

## Sommario

Monitor e display .....	2
Tubo catodico (CRT).....	6
Componenti del CRT.....	13
Display a cristalli liquidi (LCD) .....	26
Cristalli liquidi .....	37
Parametri di caratterizzazione degli LCD.....	44
Famiglie tecniche di pannelli TFT.....	51
Fabbricazione degli LCD TFT.....	62
Display al plasma.....	69
Fabbricazione dei PDP .....	80
OLED.....	82
Videoproiettori .....	97
Schermi per proiezione .....	121
Connessioni video .....	129
Profondità di colore .....	140

# Monitor e display

---

## Monitor

Il **monitor**, o **videoterminale** o, più semplicemente, **video**, è un apparecchio elettronico che consente la visualizzazione di immagini video statiche o in movimento. È considerato una periferica eventualmente collegabile ad un computer. Inoltre, può essere dotato di casse per la riproduzione dell'audio.

I monitor sono riconducibili ai seguenti tipi:

- monitor per computer,
- monitor videocomposito,
- monitor S-Video.

Il primo tipo serve, ovviamente, alla visualizzazione nei formati utilizzati dal computer.

Invece, il secondo ed il terzo tipo sono dedicati alla visualizzazione negli standard della televisione e sono quindi utilizzati nei centri di produzione e diffusione TV o per la ricezione domestica in abbinamento ad un ricevitore televisivo esterno.

Esistono però monitor in grado di visualizzare sia i formati video utilizzati dal computer sia quelli televisivi e che trovano sempre maggiore diffusione grazie all'introduzione della **connessione DVI** dedicata ai computer e della **connessione HDMI** dedicata all'home video.

I televisori dotati di ingresso video, come la **presa SCART**, svolgono anche la funzione di monitor. Se l'apparecchio è dotato di **presa VGA o DVI** si può impiegare anche come monitor per computer. La connessione HDMI, essendo compatibile con quella DVI, rappresenta un ponte tra il mondo televisivo e quello telematico. Quindi, un apparecchio TV dotato di ingresso HDMI è in grado di svolgere sia la funzione di monitor video sia di monitor per computer.

## Display

Il componente principale di un monitor è il display, cioè il dispositivo elettronico di visualizzazione. In base alla tecnologia usata, si possono distinguere vari tipi di display:

- display a tubo catodico (il passato recentissimo),
- display al plasma (il presente),
- display a cristalli liquidi (il presente),

- display OLED (il futuro prossimo?).

### **Dot pitch**

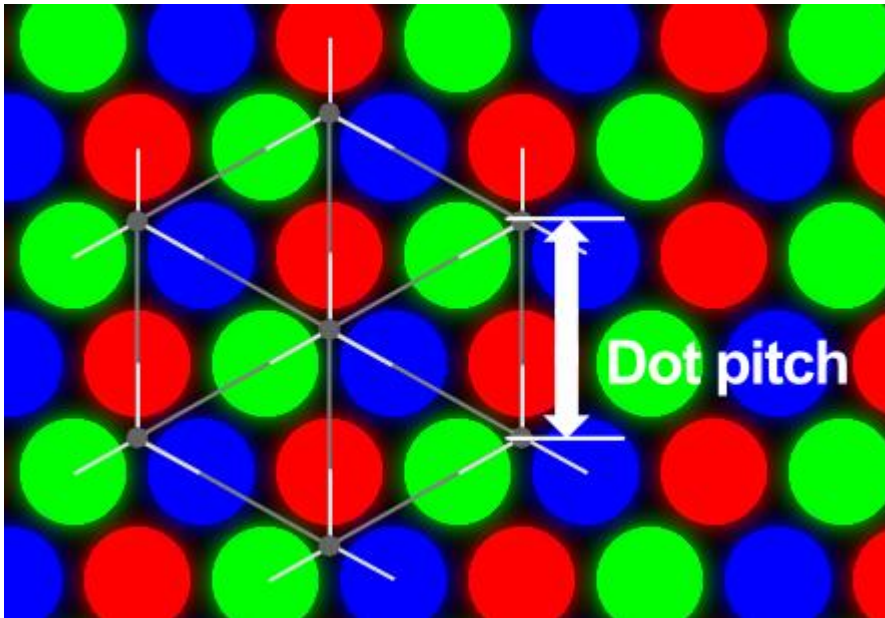
Il **dot pitch (o passo delle righe o passo dei fosfori o passo dei pixel)** è un dato caratteristico di monitor, stampanti, scanner o altre periferiche basate sui pixel che descrive la distanza tra punti di fosforo o celle LCD adiacenti dello stesso colore. Quindi, è una misura della grandezza della terna di punti di colore che compone un pixel, più l'eventuale distanza tra terne adiacenti.

È generalmente misurato in **millimetri**. Di norma, più il suo valore è piccolo e maggiore dovrebbe essere la nitidezza dell'immagine, poiché aumenta il numero di pixel per unità di area. Tuttavia, la qualità dell'immagine dipende anche da altri fattori:

- metodi di misurazione non documentati,
- passo dei pixel variabile (ad esempio, superiore negli angoli rispetto al centro dello schermo),
- differenti geometrie dei pixel,
- differenti risoluzioni dello schermo,
- collimazione ed indirizzamento del fascio di elettroni nei CRT,
- differenti formati dello schermo.

Nel caso dei CRT con shadow mask, il dot pitch si misura lungo la diagonale del monitor (**dot pitch diagonale**), per avere una stima il più possibile realistica. A partire dalla metà degli anni '90 del XX secolo, alcuni produttori hanno introdotto un dot pitch orizzontale per vantare numeri più bassi di quelli misurati nel modo tradizionale, con il risultato di trarre eventualmente in errore il cliente: anche un monitor economico e di bassa qualità poteva sostenere di avere un basso dot pitch.

La differenza esatta tra un dot pitch orizzontale e uno diagonale dipende dalla geometria dei pixel e dal formato dello schermo. In linea generale, mentre un tipico monitor economico ha un dot pitch di 0,28 mm in diagonale e di 0,24-0,25 mm in orizzontale, un monitor di qualità medio-alta ha un dot pitch di 0,26 mm in diagonale e di 0,22 mm in orizzontale.



Il suddetto metodo di misurazione del dot pitch non è però applicabile ai CRT con aperture grille ed ai pannelli LCD. I CRT con aperture grille presentano i fosfori allineati in terne di colonne verticali continue, dove il passo delle righe di scansione è limitato solo dalla risoluzione verticale del segnale video e dal diametro del pennello elettronico ed esiste quindi solo il ***dot pitch orizzontale***. Lo stesso ragionamento si applica ai pannelli LCD che sono costituiti da una matrice di pixel a righe e colonne ortogonali.

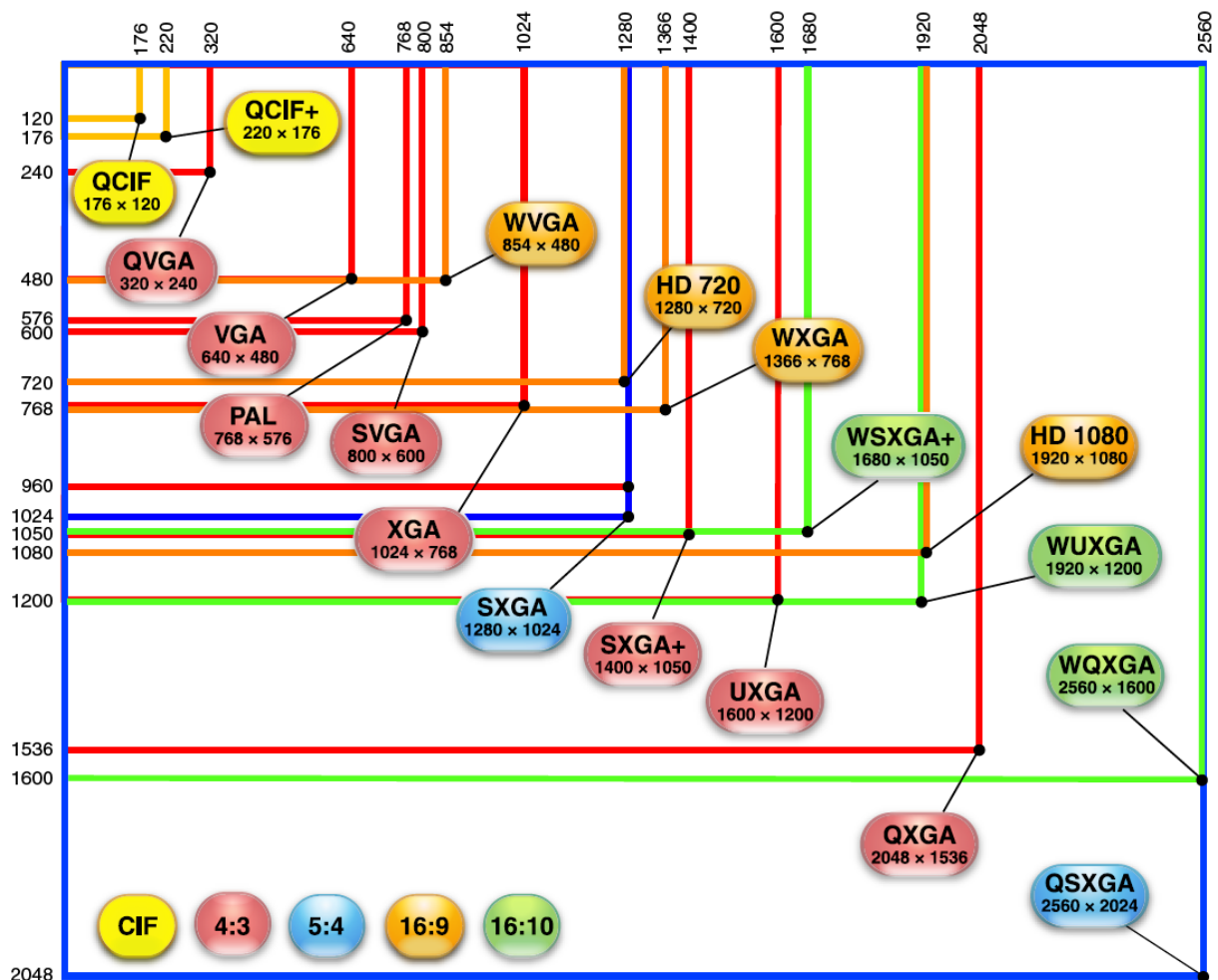
### ***Risoluzioni standard***

Nel settore informatico, le risoluzioni normalizzate per i monitor sono riassunte nella seguente tabella.

<b>Risoluzioni dei display per computer</b>	
<b>Sigla</b>	<b>Risoluzione [pixel]</b>
XGA (Extended Graphics Array)	1024 x 768
WXGA (Wide XGA)	1280 x 800
SXGA (Super XGA)	1280 x 1024
WXGA+ (WXGA plus)	1440 x 900
SXGA+ (SXGA plus)	1400 x 1050
WSXGA+ (Wide SXGA+)	1680 x 1050
UXGA (Ultra XGA)	1600 x 1200
WUXGA (Wide UXGA)	1920 x 1200
QXGA (Quad XGA)	2048 x 1536
WQXGA (Wide QXGA)	2560 x 1600
WQUXGA (Wide Quad UXGA)	3840 x 2400

Nel settore televisivo, le risoluzioni normalizzate per i televisori sono riassunte nella seguente tabella.

<b>Risoluzioni dei display TV</b>	
<b>Sigla</b>	<b>Risoluzione</b>
<b><i>TV analogica</i></b>	
NTSC	525 linee interlacciate (486 linee visualizzate)
PAL	625 linee interlacciate (576 linee visualizzate)
SECAM	625 linee interlacciate (576 linee visualizzate)
<b><i>TV digitale</i></b>	
480p	640 x 480 pixel progressivi
720p	1280 x 720 pixel progressivi
1080i	1920 x 1080 pixel interlacciati
1080p	1920 x 1080 pixel progressivi



## Tubo catodico (CRT)

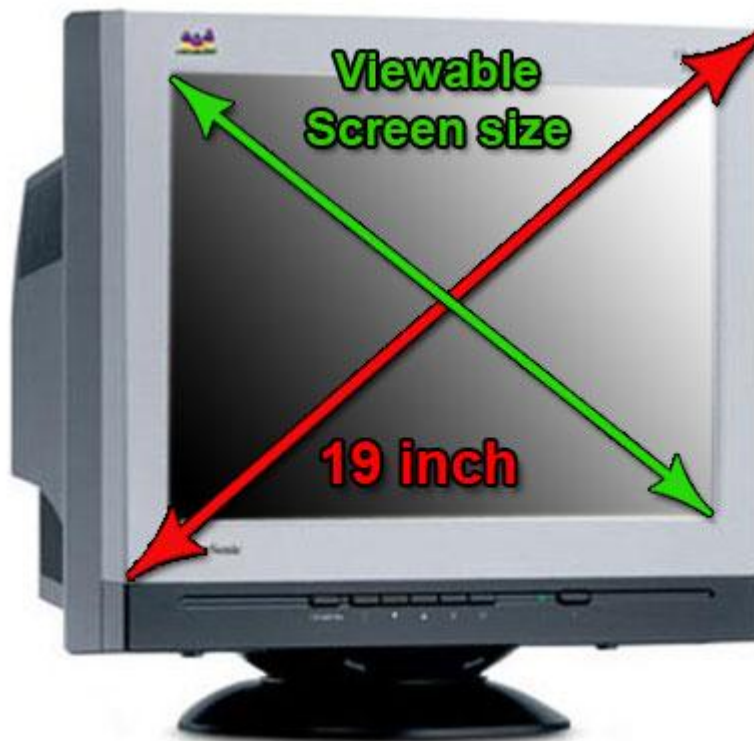
Il termine *tubo a raggi catodici*, o più comunemente *tubo catodico (CRT, Cathode Ray Tube)*, indica la tecnologia comunemente usata per la visualizzazione nei monitor e nei televisori, che consiste nel convogliare raggi catodici su una superficie sensibile per ricostruire l'immagine visibile. Il display è caratterizzato da due parametri dimensionali: **formato (aspect ratio)** e **diagonale (screen size)**. Storicamente, i display per computer e televisione analogica/digitale hanno un **formato 4:3**, ovvero il rapporto tra larghezza ed altezza dello schermo è di 4 a 3.

I display panoramici per computer e televisione digitale ad alta definizione hanno invece un **formato 16:9** (talvolta anche 16:10 o 15:9 sui PC portatili).

Tutti i tipi di display presentano una superficie di visualizzazione, denominata **schermo**. Per motivi storico-commerciali, la misurazione della

dimensione del display si effettua sulla diagonale dell'area visibile, in **pollici**.

Nei CRT, la dimensione del display corrisponde alla lunghezza della diagonale tra i vertici esterni della cornice. In altri termini, la diagonale dichiarata del monitor è superiore alla diagonale dell'area di visualizzazione effettiva.



La tecnologia alla base tubo catodico fu sviluppata nel 1897 dal fisico tedesco Karl Ferdinand Braun che realizzò il primo oscilloscopio, mentre il primo prototipo del tipo usato nei moderni televisori fu realizzato dallo statunitense Philo Farnsworth.

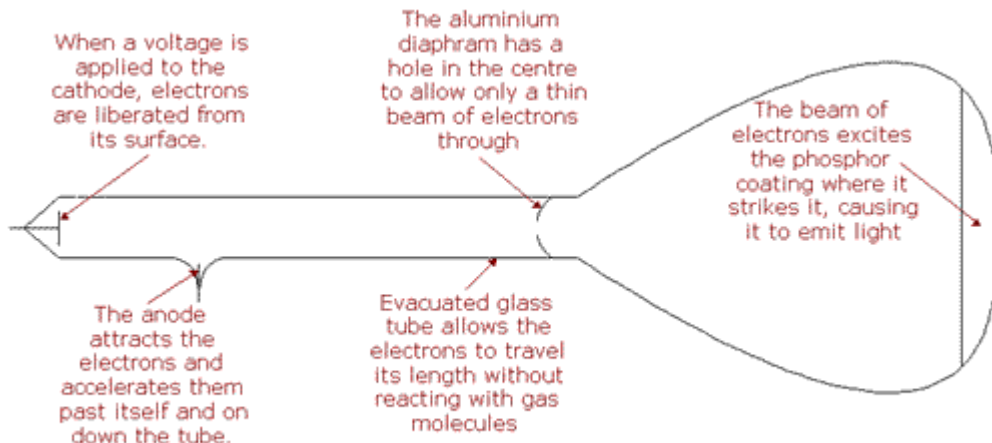
Attualmente la tecnologia del tubo catodico è in fase di progressiva obsolescenza in favore delle tecnologie al plasma, a cristalli liquidi ed a OLED, con display meno ingombranti, più parsimoniosi nei consumi elettrici e dai costi di produzione in continua discesa.

I monitor a tubo catodico presentano il vantaggio, rispetto alle tecnologie concorrenti, di una migliore velocità di risposta o minore **latenza**.

### **Struttura e funzionamento**

La struttura del tubo catodico deriva direttamente dal diodo a catodo freddo, a sua volta derivato dal tubo di Crookes, a cui è aggiunto uno schermo rivestito di materiale fluorescente, anche chiamato **tubo di**

**Braun.** Nel 1922 fu sviluppata la prima versione commerciale a catodo caldo da parte di J. B. Johnson e H. W. Weinhart, della Western Electric.



Elements of the Braun Tube (Beam Deflection Element Not Shown)

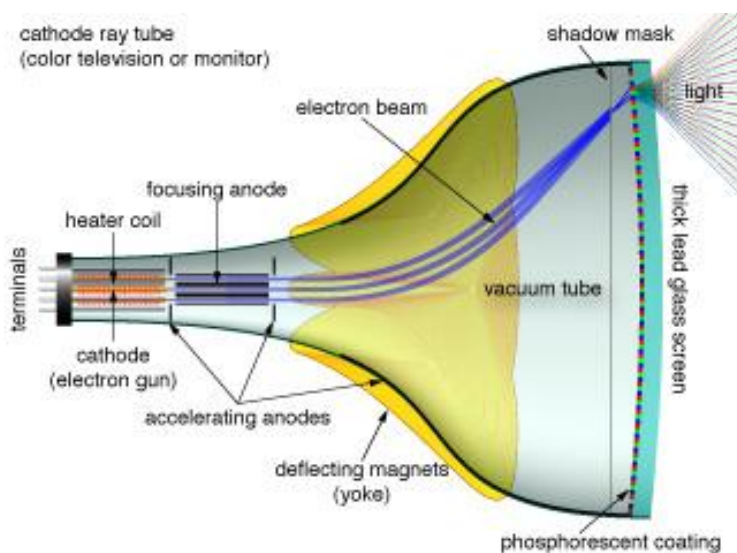




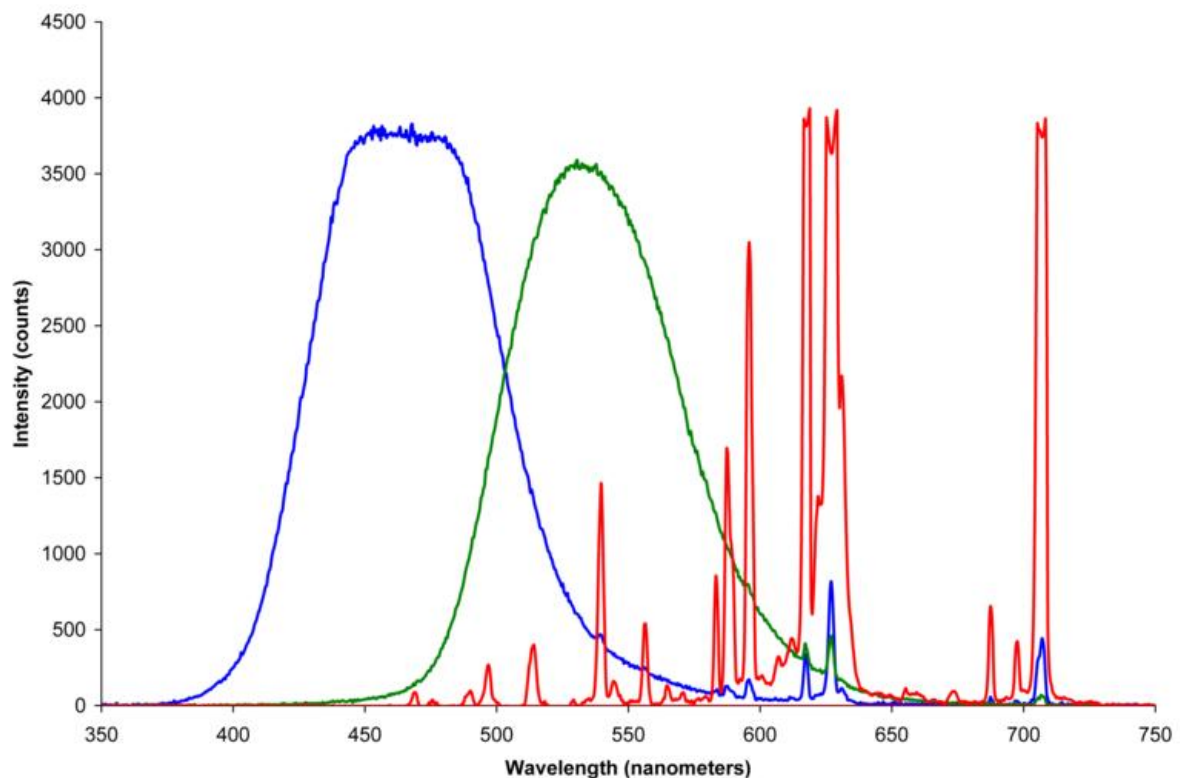


Il catodo è un piccolo elemento metallico riscaldato all'incandescenza che emette elettroni per **effetto termoelettrico** e la sua struttura è il risultato degli studi condotti dal fisico tedesco Arthur Wehnelt agli inizi del XX secolo.

All'interno del tubo catodico, in cui è stato praticato un vuoto spinto, gli elettroni vengono guidati in fascio (**raggio catodico**) mediante un'elevata **differenza di potenziale elettrico** tra catodo ed anodo e focalizzati accuratamente con l'aiuto di campi elettromagnetici opportunamente disposti. Il raggio, detto anche **pennello elettronico**, viene deflesso dall'azione dei campi elettromagnetici (**forza di Lorentz**) in modo da arrivare a colpire un punto qualunque sulla superficie interna dello schermo, che funge da anodo.



Questa superficie è rivestita di materiale fluorescente (***fosfori: metalli di transizione o terre rare***) che, eccitato dall'energia degli elettroni, emette luce.



### ***Funzione gamma***

Il tubo catodico presenta una curva di risposta caratteristica del triodo, che conduce ad una relazione non lineare tra la corrente elettronica e l'intensità della luce emessa, chiamata ***funzione gamma***. Nei primi televisori questo era positivo poiché aveva l'effetto di comprimere il contrasto (riducendo il rischio di saturazione delle parti più chiare o scure), ma in alcune applicazioni informatiche dove la resa dei colori deve essere lineare, come nel desktop publishing, è necessario applicare una ***correzione gamma***.

### ***Campi elettromagnetici***

Poiché gli elettroni vengono guidati mediante campi elettromagnetici, si deve evitare di avvicinare magneti (ad esempio altoparlanti) ad uno schermo a colori, in quanto provocherebbero la magnetizzazione della maschera e quindi la rappresentazione errata dei colori. Tale fenomeno permane anche dopo la rimozione del magnete e la correzione può essere difficoltosa.

I moderni televisori e monitor implementano una speciale **bobina di smagnetizzazione** che, all'accensione dell'apparecchio, produce un breve ma intenso campo magnetico con andamento sinusoidale smorzato, a partire dalla frequenza a 50 Hz della rete elettrica. Questo campo variabile può eliminare una modesta magnetizzazione residua. Sono disponibili anche appositi smagnetizzatori esterni da utilizzare qualora la bobina interna non sia efficace o manchi del tutto. La smagnetizzazione manuale deve iniziare dal centro, allontanandosi progressivamente dallo schermo con movimento a spirale, ripetendo il processo fino al ripristino dei colori corretti.

In casi estremi, in particolare con i magneti al neodimio-ferro-boro (Nd-Fe-B), il campo magnetico può deformare meccanicamente la maschera. Questo danno è irreversibile e rende praticamente inutilizzabile il tubo catodico.

### **Sicurezza e rischi per la salute**

#### **Campi EM**

Alcuni ritengono che i campi elettromagnetici emessi durante il funzionamento del tubo catodico possano avere effetti biologici. Al di là dei possibili effetti, l'intensità di questi campi si riduce a valori trascurabili entro un metro di distanza e comunque è più intenso ai lati dello schermo piuttosto che di fronte.

#### **Raggi X**

L'impatto degli elettroni con la maschera metallica è causa di produzione di una piccola quantità di **raggi X**. Per questo motivo la parte frontale del tubo è realizzata in **vetro al piombo**, in modo da lasciarsi attraversare dalla luce dell'immagine ma non dai raggi X. Inoltre il sistema elettronico è progettato in modo da impedire che la tensione anodica possa salire a valori eccessivi, causando l'emissione di raggi X di energia più alta.

La **Food and Drug Administration (FDA)** stabilisce un limite di 0,5 mR/h (milliroentgen/ora) per l'intensità dei raggi X alla distanza di 5 cm dalla superficie esterna di un apparecchio televisivo.

#### **Rischio di implosione**

All'interno del tubo è praticato un vuoto spinto; di conseguenza, su tutta la sua superficie agisce una

spinta risultante diretta verso l'interno, dovuta in massima parte alla spinta idrostatica dell'atmosfera ( $1 \text{ Kg/cm}^2$ ). Questo permanente stato di sollecitazione del materiale del tubo costituisce un cospicuo **accumulo di energia potenziale** al suo interno, energia che può liberarsi sotto forma di implosione per rottura del vetro. Nei tubi dei moderni televisori e monitor la parte frontale è irrobustita con l'interposizione di lamine plastiche, in modo da resistere agli urti e non implodere. La restante parte del tubo, in particolare il collo, sono invece molto delicati.

Il tubo catodico deve essere maneggiato con attenzione e competenza; per sollevarlo, si devono usare i punti appositamente previsti, evitando in particolare di sollevarlo per il collo.

#### Tossicità dei fosfori

Nei vecchi tubi venivano impiegati materiali tossici per i fosfori, sostituiti ora da altri più sicuri. L'implosione o comunque la rottura del vetro causa la dispersione di questi materiali. Nello smaltimento del tubo si deve tenere conto della presenza di piombo (Pb), che è considerato un inquinante.

#### Immagini lampeggianti

Negli apparecchi televisivi lo sfarfallio prodotto dal continuo ridisegno dell'immagine (50 volte al secondo ma in modo interlacciato, cioè vengono prima disegnate tutte le righe pari e successivamente tutte le righe dispari, portando in pratica la frequenza a 25 Hz) può in alcuni soggetti essere causa scatenante di crisi epilettiche. Sono disponibili sistemi per ridurre questo rischio.

#### Alta tensione (AT)

I tubi a raggi catodici sono alimentati con tensioni elettriche molto alte. Queste tensioni possono permanere nell'apparecchio anche per molto tempo dopo lo spegnimento e la disconnessione dalla rete elettrica. Evitare quindi di aprire monitor o apparecchi televisivi anche a spina staccata se non si ha un'adeguata preparazione tecnica e comunque adottando le necessarie precauzioni (ad esempio, scaricamento del tubo e dei condensatori).

### Degrado nel tempo

Come avviene in tutti i tubi termoionici, anche l'efficienza di emissione di elettroni da parte del catodo del CRT tende a diminuire progressivamente nel tempo, con conseguente minore luminosità delle immagini sullo schermo. Causa del degrado, è l'alterazione dello strato di ossido depositato sulla superficie del catodo e la formazione sulla superficie di minuscoli grumi, vere e proprie scorie, conseguenti alle accensioni ed agli spegnimenti, la cui presenza costituisce un ostacolo al flusso di elettroni generato.

## Componenti del CRT

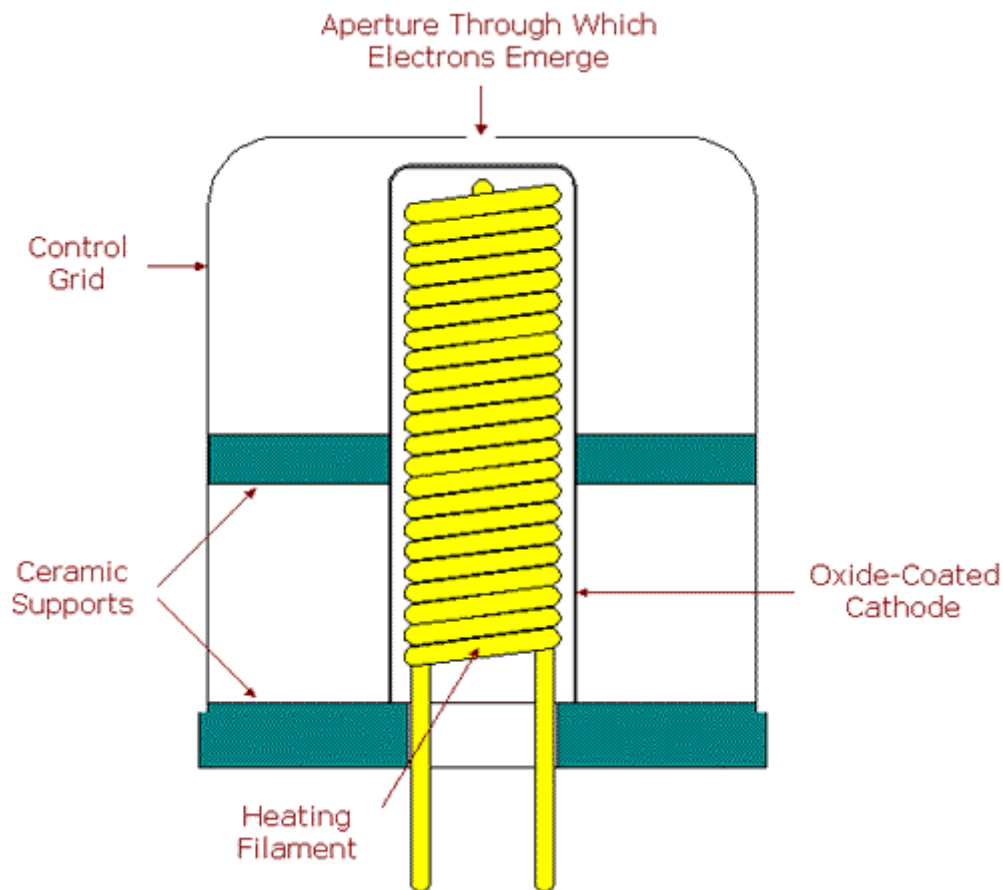
---

### *Catodo e griglia di controllo*

Il catodo è cavo per permettere l'inserimento al suo interno del filamento elettrico che lo riscalda all'incandescenza ed è ricoperto da uno strato di ossidi. Il rivestimento ha lo scopo di aumentare considerevolmente il flusso di elettroni emessi, riducendo drasticamente la tensione elettrica di esercizio.

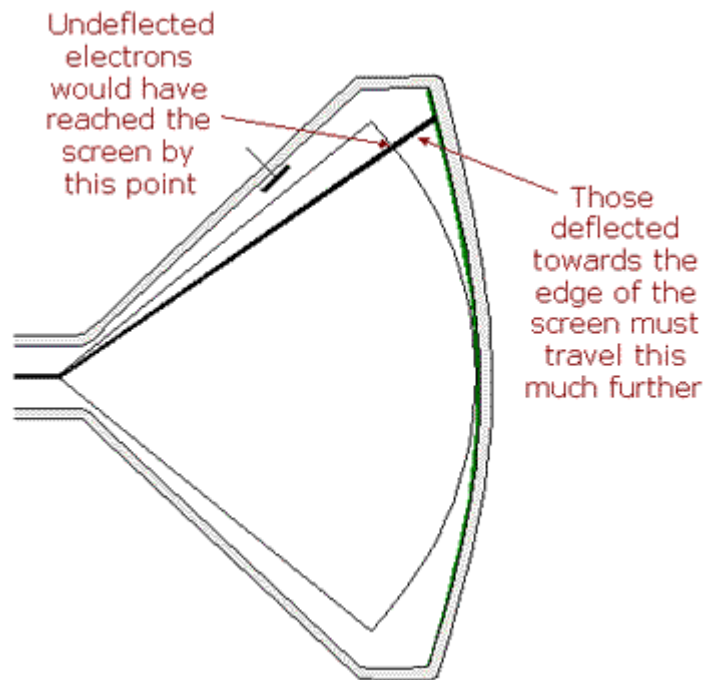


Il catodo è fissato, mediante supporti ceramici, all'interno di un cilindro metallico denominato **griglia di controllo (control grid)** e dotato di una piccola apertura all'estremità rivolta verso lo schermo. Se si applica un potenziale negativo a questo cilindro e se ne regola il valore, è possibile controllare il numero di elettroni nel fascio inviato sui fosfori e quindi la luce emessa, punto per punto, dallo schermo. Infatti, il potenziale negativo respinge gli elettroni proporzionalmente alla sua intensità, rimandandoli verso il catodo, fino ad annullare eventualmente il raggio catodico.



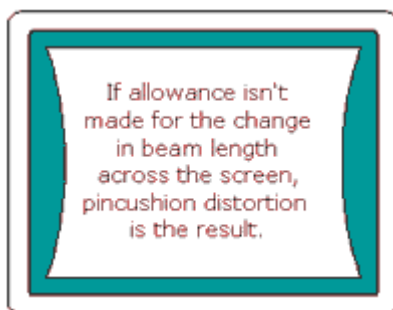
### ***Circuito e giogo di deflessione***

Gli elettromagneti del giogo di deflessione servono a modificare il percorso del pennello elettronico nel CRT. La sincronizzazione degli effetti indotti da ciascun elettromagnete per deviare il pennello elettronico sui vari punti dello schermo è compito dell'elettronica che costituisce il ***circuito di deflessione***.



Il circuito di deflessione deve procedere a regolazioni complesse per indirizzare esattamente il raggio catodico, in funzione della direzione da impostare verso lo schermo.

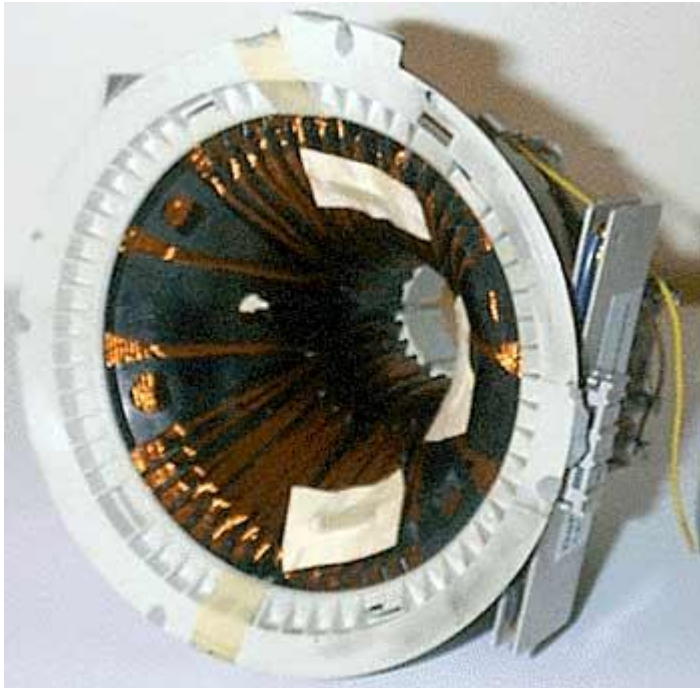
Un motivo è la distanza variabile che il raggio catodico deve percorrere prima di raggiungere ogni singolo punto dello schermo; infatti, più il fosforo da eccitare è lontano dal centro dell'immagine, maggiore è lunghezza del cammino del pennello elettronico. All'aumentare della deviazione che si deve impartire al raggio catodico corrisponde un incremento della distanza percorsa e del tempo di intervento degli elettromagneti. Se il circuito di deflessione non operasse correttamente in tal senso, si avrebbe una distorsione a cuscino dell'immagine.



Altri fattori di cui tenere conto sono il tempo variabile di attrazione del pennello elettronico da parte dell'anodo e la curvatura della superficie interna dello schermo, che influisce sulla lunghezza del percorso. Questi fattori rendono altresì necessario effettuare regolazioni di messa a fuoco del

raggio catodico che esulano dai compiti del circuito di deflessione e che spettano invece al circuito di focalizzazione.

Il **giogo di deflessione** è costituito da elettromagneti che creano due campi magnetici, tra loro perpendicolari, per il controllo della deflessione del pennello elettronico. Di norma, gli elettromagneti sono montati esternamente al CRT, nel punto dove il collo si allarga, e consistono in una serie di avvolgimenti che si conformano alla curvatura del vetro del tubo.







## **Focalizzazione**

Gli elettroni del fascio diretto verso lo schermo tendono a divergere, essendo cariche negative, quindi di segno uguale. Se non si intervenisse sulla divergenza, il diametro del pennello elettronico diventerebbe più grande dei singoli pixel.

I possibili metodi di focalizzazione sono essenzialmente due:

### **Focalizzazione elettromagnetica**

Il fascio elettronico è controllato mediante lo stesso principio impiegato nel giogo di deflessione.

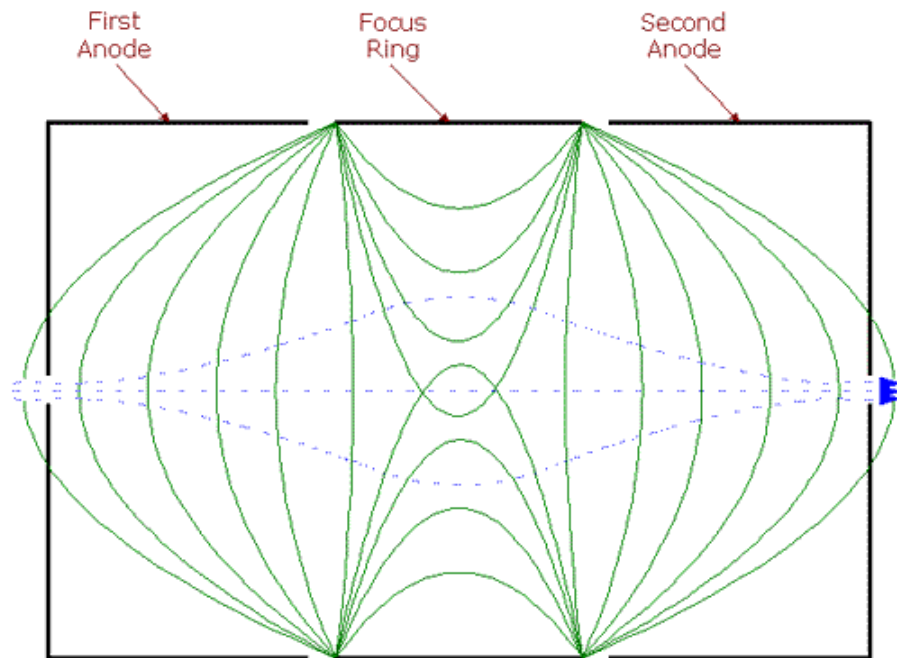
La focalizzazione elettromagnetica ha trovato utilizzo essenzialmente nei CRT monocromatici, in particolare in quelli per proiettori.

### **Focalizzazione elettrostatica**

Il fascio elettronico è controllato mediante lo stesso principio impiegato nella griglia di controllo e nell'anodo.

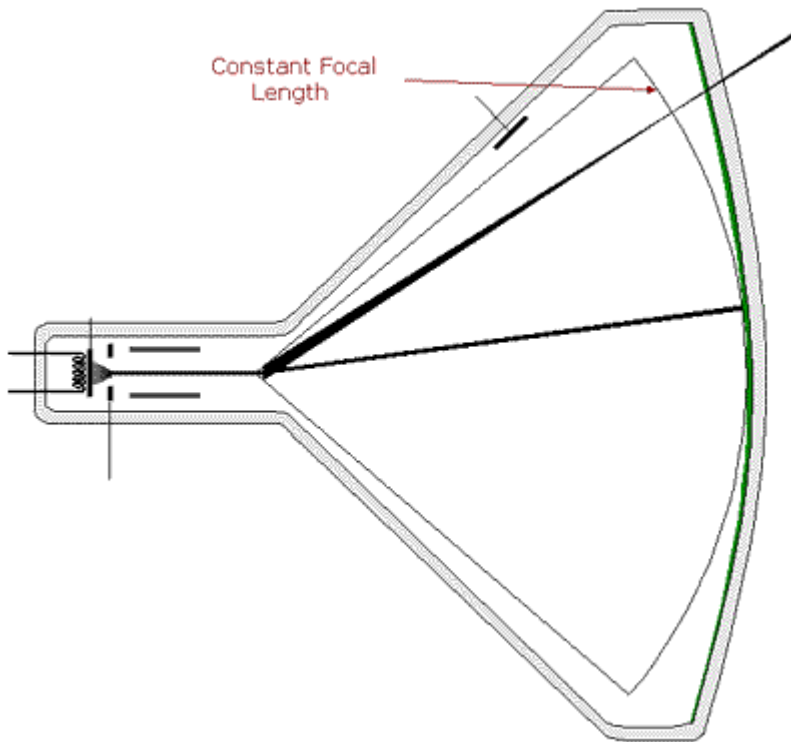
Gli elettrodi focalizzatori sono installati nel collo del CRT, a brevissima distanza dal pennello elettronico. Si trovano quindi ad operare su una sezione ristretta ed in una zona

dove l'energia del fascio è inferiore rispetto a quella di deflessione. Queste caratteristiche sono alla base dell'adozione pressochè universale della focalizzazione elettrostatica nei CRT a colori.



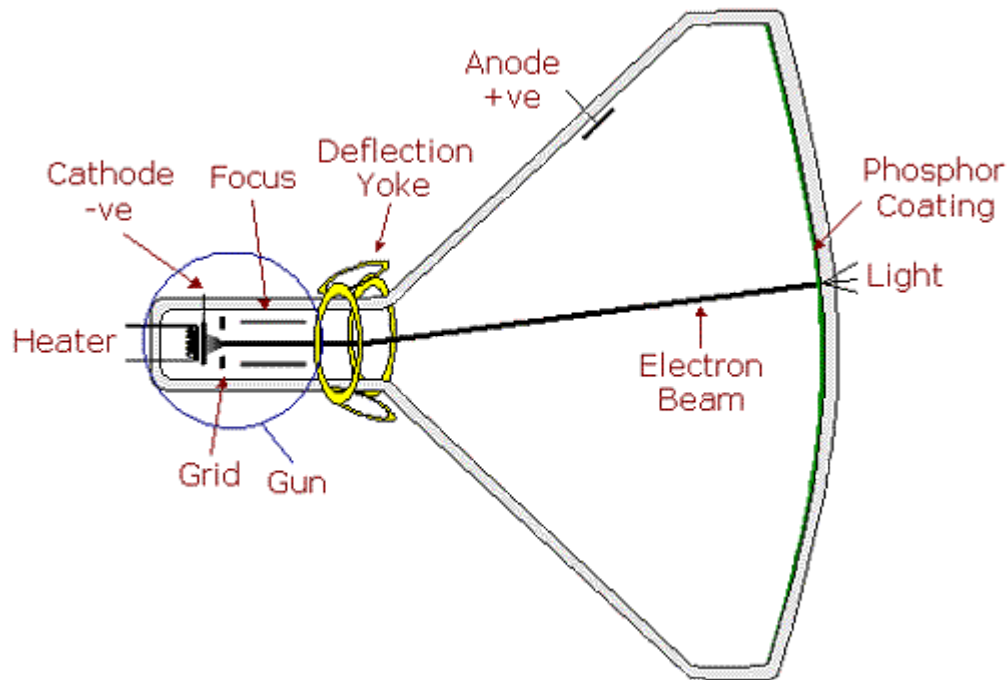
The difference in potential between the negatively charged focus ring and the anodes creates an electrostatic 'lens'. The beam of electrons, diverging as they enter the focus ring, are repelled by the ring and are converging by the time they leave it.

Il **circuito di focalizzazione** deve tenere conto delle stesse variabili del circuito di deflessione per assicurare la corretta messa a fuoco del fascio di elettroni, indipendentemente dal punto di destinazione sullo schermo. A questo fine, il sistema di focalizzazione è integrato da elettrodi ausiliari. I segnali prelevati dagli amplificatori di deflessione vengono sovrapposti alla tensione base di questi elettrodi, alterando l'intensità del loro campo elettromagnetico in fase con le regolazioni apportate all'intensità del campo elettromagnetico del giogo di deflessione. Questo processo di continua modifica delle caratteristiche di messa a fuoco del CRT è noto come **focalizzazione dinamica**.



## Anodo

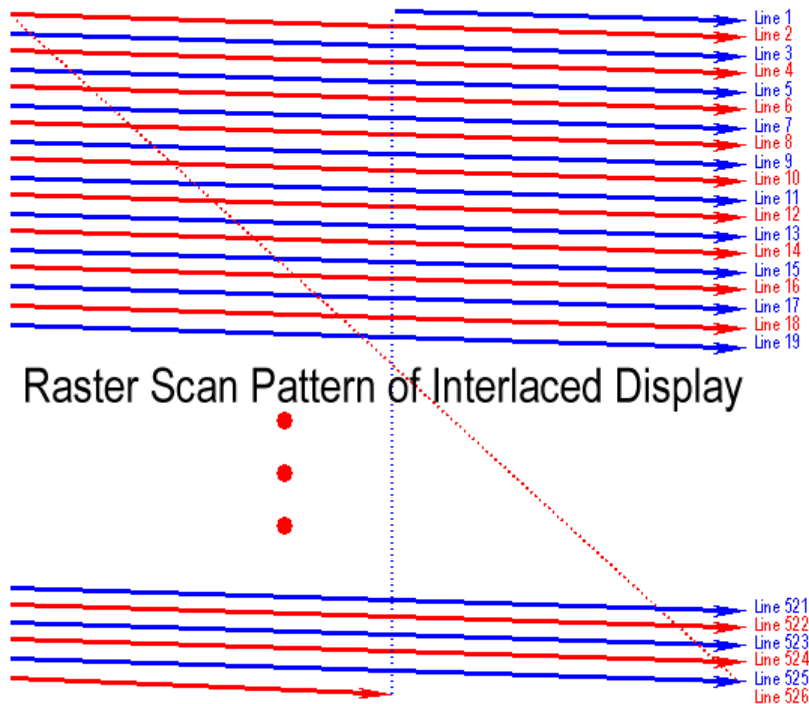
In uscita dalla griglia di controllo, occorre accelerare il fascio di elettroni lungo il tubo catodico affinché colpisca i fosfori con energia sufficiente ad eccitarli, mettendoli così in condizione di emettere luce. Mentre un potenziale negativo respinge gli elettroni, un potenziale positivo li attrae; pertanto, si utilizza un elettrodo a potenziale positivo, l'**anodo**, per fornire loro la necessaria accelerazione. Quando gli elettroni giungono in prossimità dell'anodo, sono troppo veloci per essere deviati dalla loro traiettoria e non sono quindi in grado di colpirlo.



Nel tubo di Braun, l'anodo era installato nel collo, ma successivi esperimenti dimostrarono che l'efficienza aumentava posizionandolo più vicino allo schermo ed utilizzandolo ad alte tensioni. Nei moderni CRT, l'anodo è posto sulla superficie interna del cono di vetro e consiste in un rivestimento o una lamina metallica. Nei tubi alluminati, il rivestimento di alluminio funge direttamente da anodo.

## Schermo

Nei televisori e nei monitor la superficie è scandita secondo una matrice predefinita di righe successive, chiamata **raster**, e l'immagine è creata modulando l'intensità del fascio elettronico secondo l'andamento del segnale video. La scansione è ottenuta deviando il fascio per mezzo del campo magnetico variabile generato dal giogo di deflessione, a sua volta pilotato dal circuito di deflessione, in modo da effettuare una scansione in perfetta sincronia.

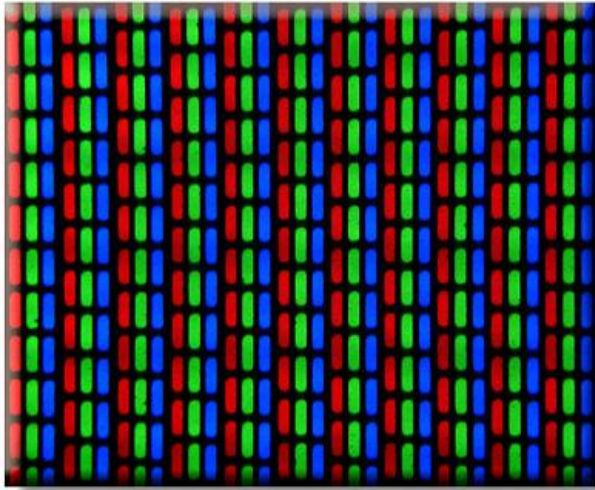


Raster Scan Pattern of Interlaced Display

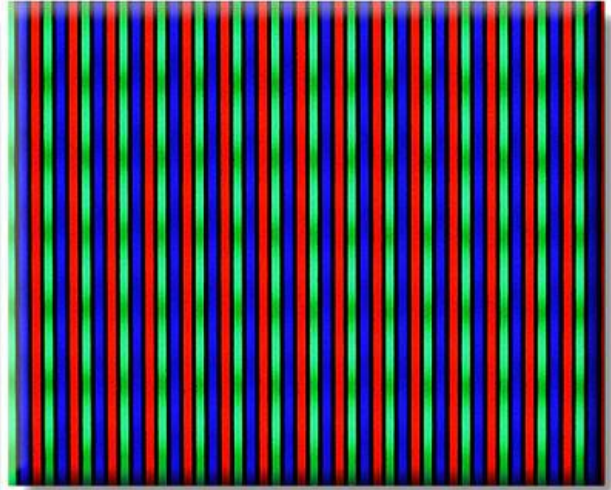
I tubi catodici a colori utilizzano differenti tipi di fosfori in grado di emettere i colori rosso, verde e blu, disposti in sottili strisce parallele (tecnica **aperture grille**) o a gruppi di punti (tecnica **shadow mask**). Questi fosfori sono facilmente visibili osservando uno schermo acceso da una distanza molto ravvicinata.

Sono quindi presenti tre catodi con tre sistemi di focalizzazione (complessivamente detti **cannoni elettronici**), che generano un raggio catodico per ciascun colore; poiché i fasci sono invisibili, la corrispondenza con il colore dipende esclusivamente da quale fosforo viene colpito.

All'interno del tubo, a breve distanza dallo schermo, è presente una maschera metallica forata con la funzione di assorbire gli elettroni che non siano sulla traiettoria esatta per raggiungere il fosforo corretto e che causerebbero altrimenti confusione nei colori visualizzati.



Shadow Mask

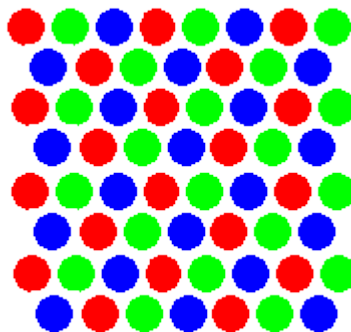


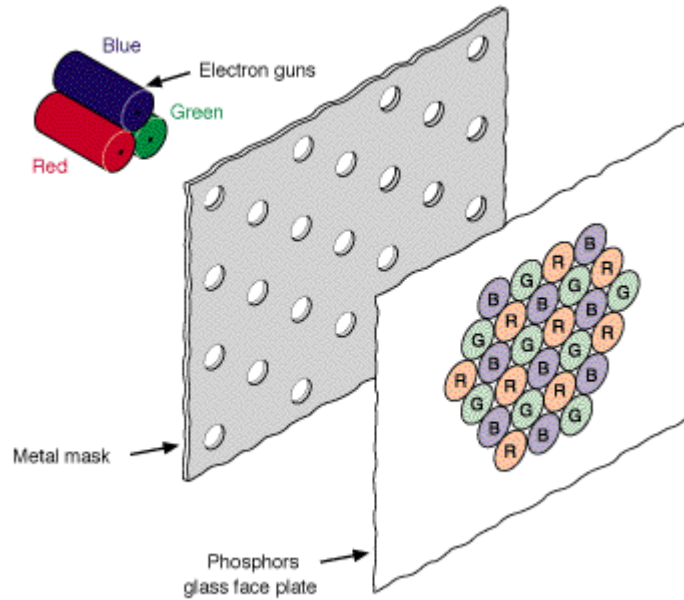
Aperture Grille

**Shadow mask**

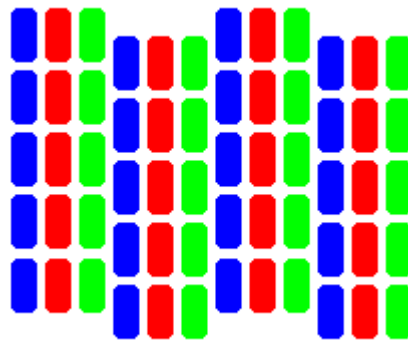
È caratterizzata dalla presenza di una griglia di fori interposta tra i cannoni elettronici e i fosfori dello schermo. I fori sono disposti in modo che gli elettroni emessi da ciascuno dei tre cannoni elettronici colpiscano solo i relativi fosfori sullo schermo. I tre fasci passano attraverso lo stesso foro nella maschera, ma con un angolo differente per ciascun cannone. Infatti, il passo tra i fori, il passo tra i fosfori e la disposizione dei cannoni sono definiti in modo che, ad esempio, solo il fascio del blu abbia un percorso libero verso i fosfori blu. I fosfori sono raggruppati in terne di colore rosso, verde e blu secondo due schemi alternativi che dipendono, a loro volta, dalla disposizione dei tre cannoni elettronici.

- **Configurazione a delta:**

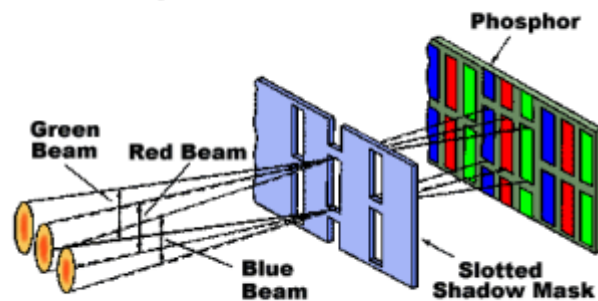




- **Configurazione in linea:**



**Phosphor Pattern of Striped Picture Tube**



Inizialmente, questa maschera era realizzata con materiali sensibili alle variazioni di temperatura e quindi soggetti ad espansioni e contrazioni dimensionali tali da

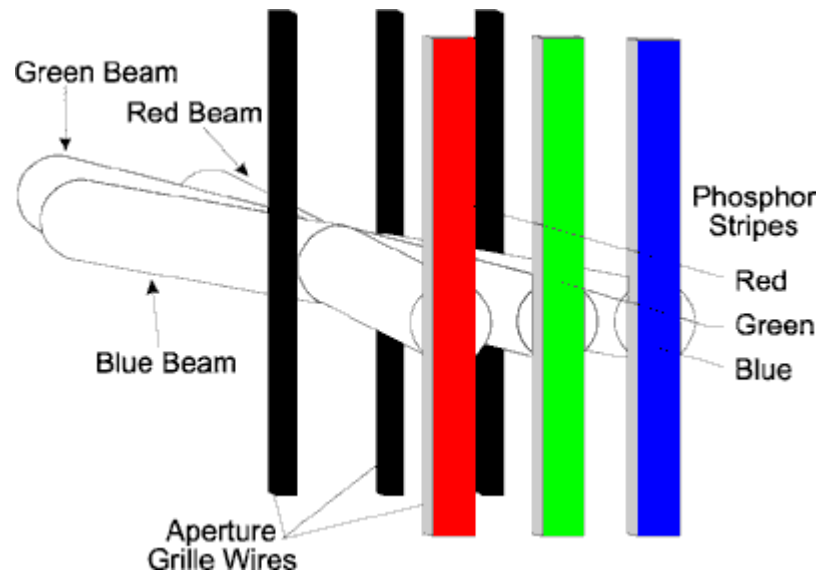
pesare negativamente sulle prestazioni. Infatti, l'energia ceduta dagli elettroni dei raggi catodici nel corso del normale funzionamento provoca il surriscaldamento e l'espansione della maschera, con conseguente sfocatura e desaturazione delle immagini. Successivamente, per la realizzazione della maschera, è stata adotta una lega nichel-ferro (Ni-Fe), nota come *invar*, caratterizzata da un coefficiente di dilatazione termica estremamente ridotto. Inoltre, limita le sollecitazioni meccaniche ed i danni a lungo termine della maschera derivanti dai ripetuti cicli di espansione/contrazione, aumentando la vita utile del CRT.





## Aperture grille

È caratterizzata dalla presenza di una griglia di sottili fili verticali interposta tra i cannoni elettronici ed i fosfori dello schermo. I singoli rettangoli di colori primari sono disposti su colonne continue con distanze minime, generando, almeno in teoria, immagini più definite e dai colori più brillanti rispetto agli schermi con tecnologia shadow mask.



A differenza degli schermi shadow mask, che sono caratterizzati da una curvatura sferica, gli schermi aperture grille hanno una curvatura cilindrica ad asse verticale. Questa caratteristica permette di sviluppare **schermi piatti o flat**, annullando anche la curvatura orizzontale.



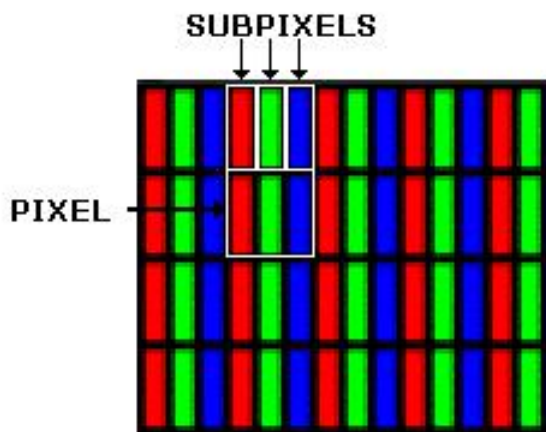
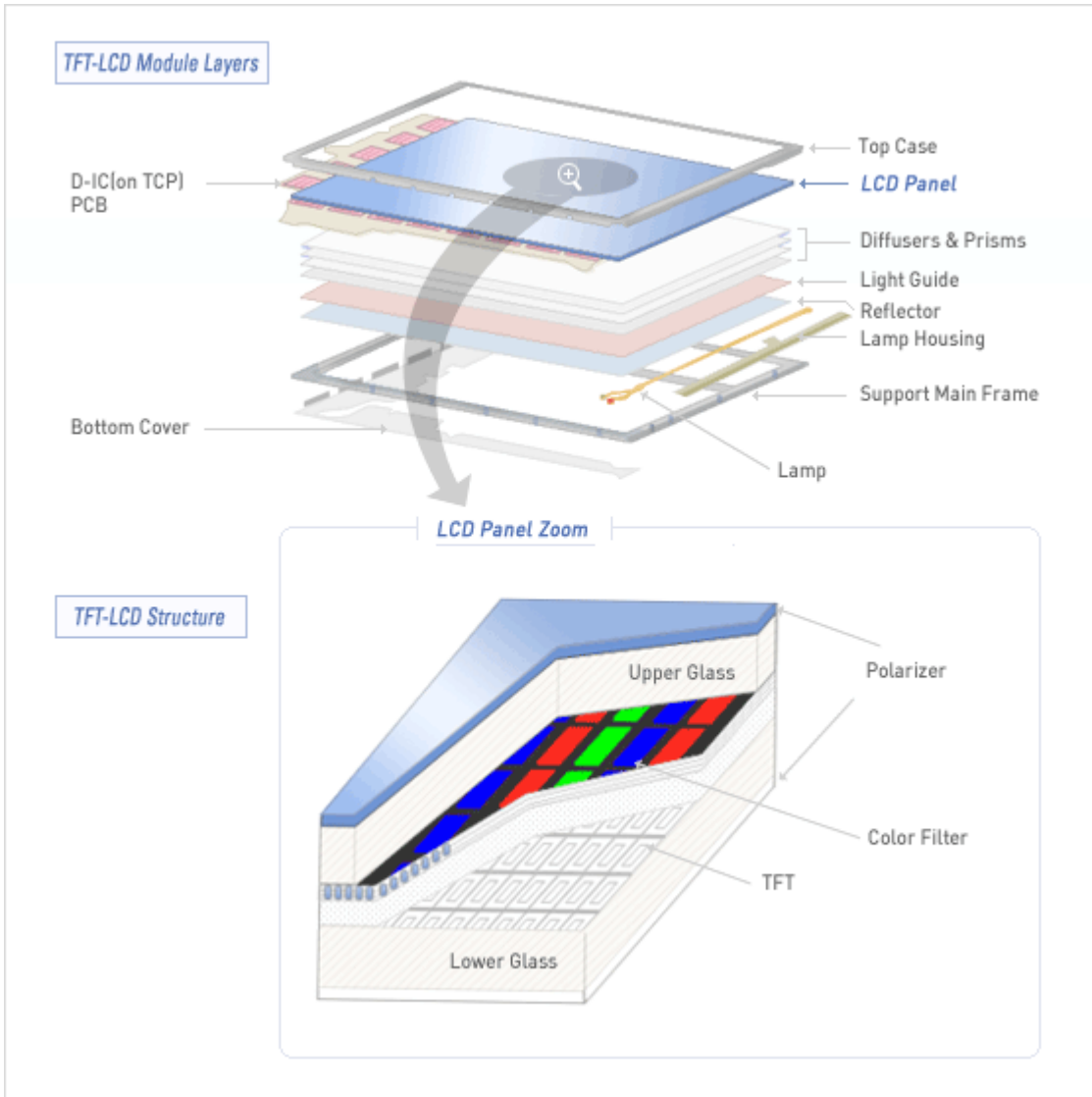


La tecnologia aperture grille è stata sviluppata da Sony negli anni '60 del XX secolo ed introdotta per la prima volta negli schermi Trinitron. Successivamente, allo scadere del brevetto, è stata adottata anche da altre marche, come Mitsubishi con la sua linea di schermi DiamandTron (riprendendo il suffisso -tron dei Trinitron).

## Display a cristalli liquidi (LCD)

---

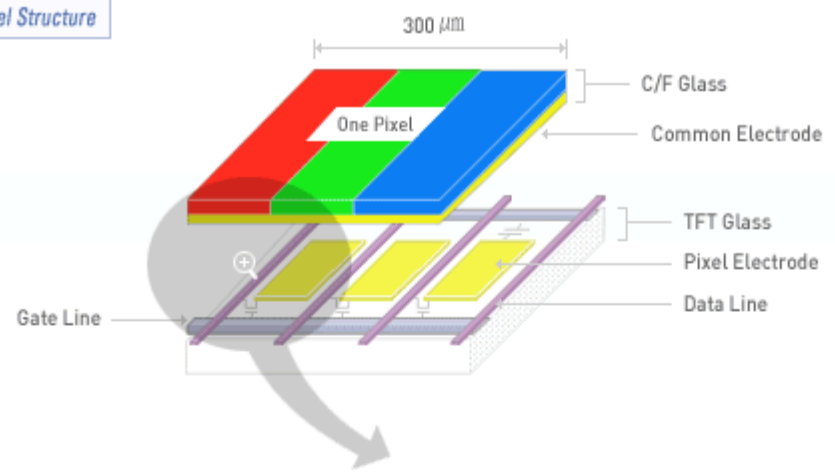
Lo **schermo a cristalli liquidi (LCD, Liquid Crystal Display)** è un display sottile e leggero basato sulle proprietà ottiche dei **cristalli liquidi**. Queste peculiari molecole sono confinate tra due lastre di vetro suddivise in celle corrispondenti ai pixel dell'immagine. A sua volta, ciascuna cella è divisa in tre sub-pixel dotati rispettivamente di filtro rosso, verde e blu per la riproduzione dei colori; la filtratura si rende necessaria poiché la retroilluminazione è in luce bianca.



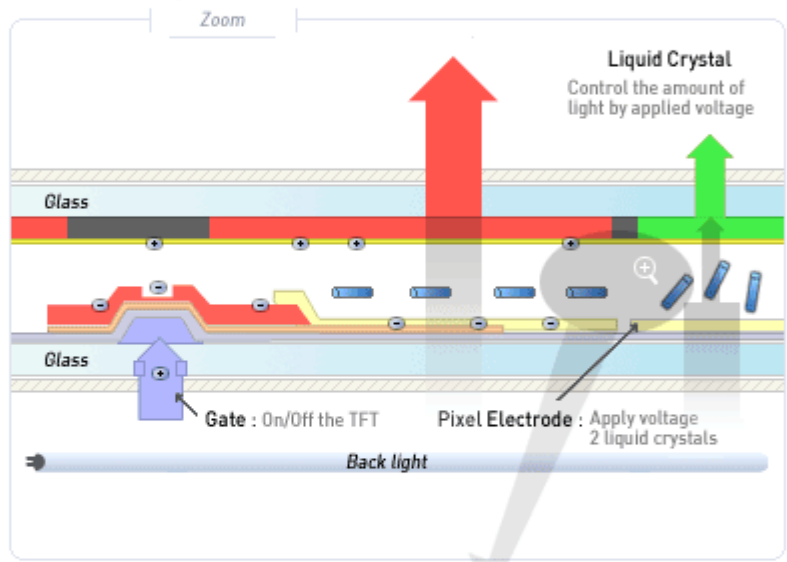
Ogni sub-pixel della cella è provvisto di contatti elettrici per l'applicazione di un campo elettrico ai cristalli liquidi che contiene. Sulle facce esterne delle lastre in vetro sono posti due **filtri polarizzatori** ad assi perpendicolari tra

loro. I cristalli liquidi ruotano di  $90^\circ$  il piano di polarizzazione della luce che arriva da uno dei polarizzatori, permettendole di passare attraverso l'altro. Quindi, se non si applica alcun campo elettrico, la luce può passare attraverso l'intera struttura e, a parte la frazione assorbita dai polarizzatori, il dispositivo risulta trasparente. Se si attiva il campo elettrico, le molecole di cristallo liquido si allineano parallelamente al campo elettrico, limitando la rotazione della luce entrante. Se i cristalli liquidi sono completamente allineati con il campo, la luce che vi passa attraverso è polarizzata perpendicolarmente al secondo polarizzatore ed è quindi completamente bloccata: il pixel apparirà non illuminato. Controllando la torsione dei cristalli liquidi in ogni pixel, si può controllare quanta luce fare passare, illuminando di conseguenza il pixel.

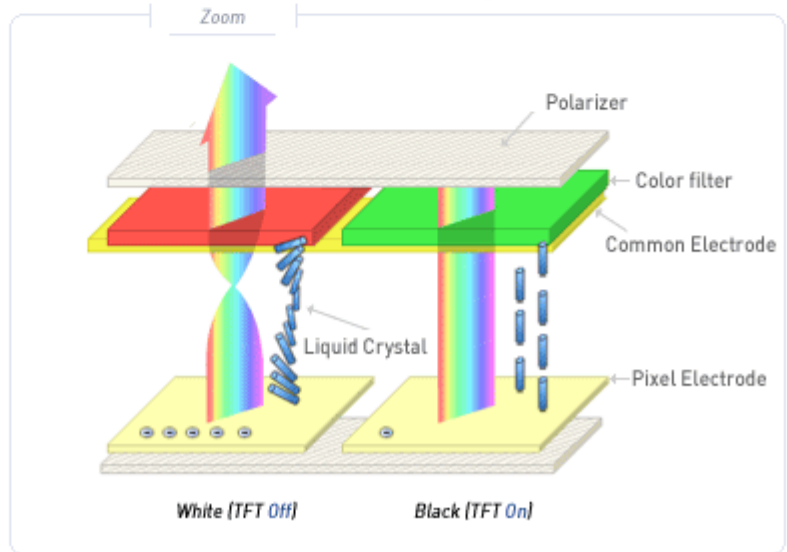
**Pixel Structure**



**TFT-LCD Cross Section**



**How it works**

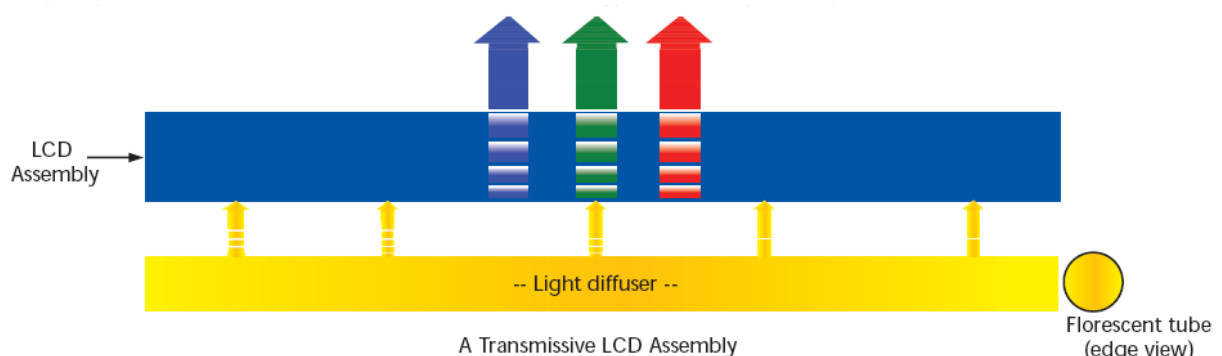


Negli LCD e nei display al plasma, la dimensione del display corrisponde alla lunghezza della diagonale tra i vertici interni della cornice. In altri termini, la diagonale dichiarata del monitor è uguale alla diagonale dell'area di visualizzazione effettiva.



Una delle caratteristiche principali dei pannelli a cristalli liquidi è il basso consumo elettrico, che li rende particolarmente indicati per applicazioni in apparecchiature alimentate da batterie elettriche. Diverso è invece il consumo elettrico attribuibile alla retroilluminazione a causa del livello di luminosità necessario: uno schermo a colori da 32" richiede potenze di circa 120-180 W.

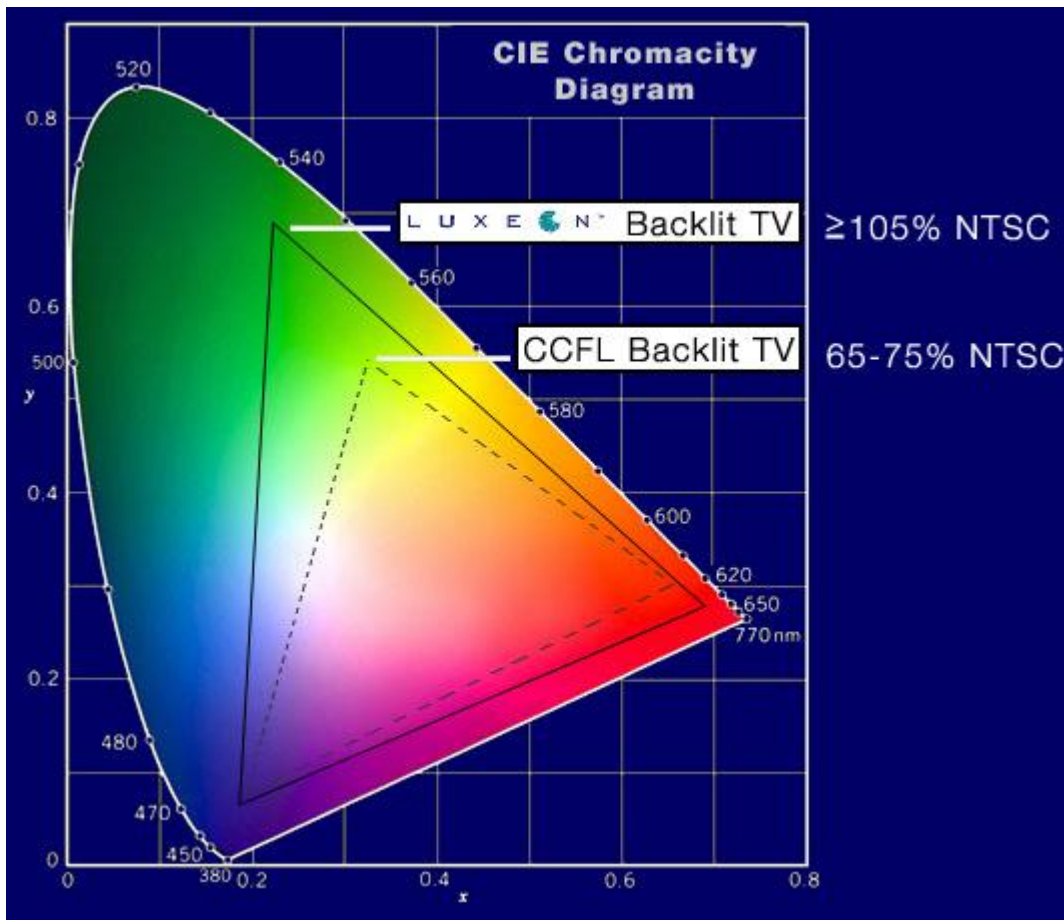
La retroilluminazione può essere ottenuta mediante lampada fluorescente e guida d'onda per la diffusione uniforme della luce sul retro del pannello:



oppure, come negli LCD più recenti, mediante LED rossi, verdi e blu opportunamente distribuiti per una diffusione uniforme sul retro del pannello:



La retroilluminazione mediante LED comporta ad oggi un costo di acquisto superiore, ma la resa cromatica e l'uniformità luminosa sono superiori rispetto alla soluzione con lampada fluorescente.



La vita utile media degli LCD si attesta attualmente intorno a 50.000 ore. Questo dato, unitamente alla notevole e costante riduzione del loro prezzo ed al progressivo aumento della risoluzione, li ha portati a soppiantare progressivamente gli schermi a tubo catodico.

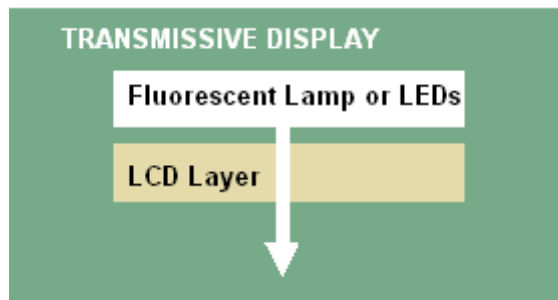
### **LCD trasmissivi, riflettivi e transriflettivi**

Gli LCD possono essere usati in **modalità trasmissiva**, in **modalità riflettiva** ed in **modalità transriflettiva**.

#### **LCD trasmissivo**

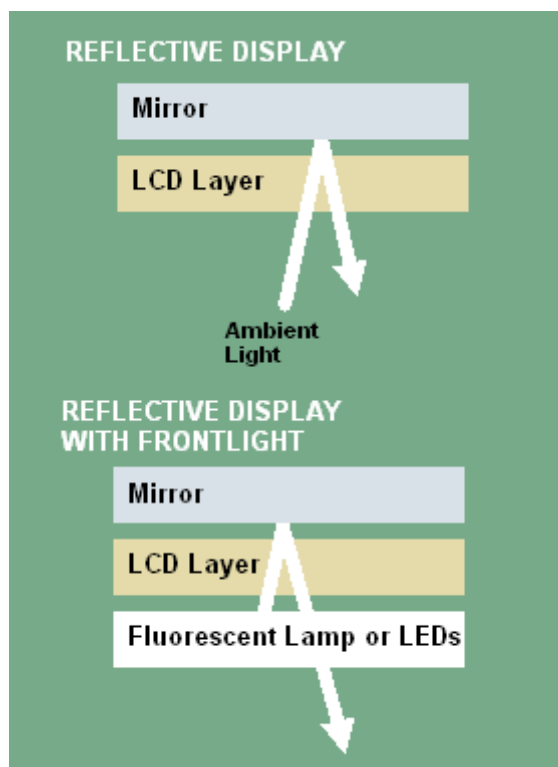
Lo schermo è illuminato da un lato ed osservato dall'altro. In pratica una sorgente luminosa viene posizionata sul retro dello schermo ed i cristalli liquidi agiscono da filtro facendo passare solo la componente cromatica desiderata. Lo schermo risulta molto luminoso, ma la fonte di luce sovente consuma più energia di quella richiesta dall'attivazione dei cristalli liquidi. Questo tipo di schermo ha una leggibilità ottimale al buio, ma decrescente all'aumentare del livello di illuminazione ambientale; risulta quindi adatto all'uso in interni.





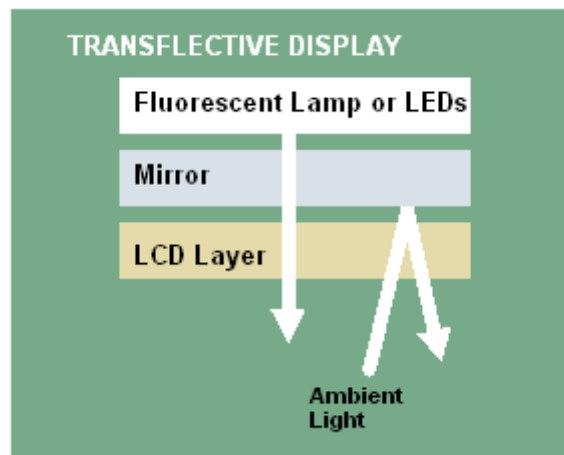
### LCD riflettivo

Lo schermo utilizza la luce presente nell'ambiente che viene riflessa da uno specchio posto sul retro. Questo tipo di schermo ha un contrasto più basso rispetto all'LCD trasmissivo, in quanto la luce è costretta a passare due volte attraverso il filtro. Il vantaggio principale è l'assenza di una fonte di luce artificiale che permette di mantenere i consumi energetici molto bassi. Un piccolo schermo LCD riflettivo consuma così poco che può essere alimentato da una semplice **cella fotovoltaica**. Ha una buona leggibilità in condizioni di forte illuminazione ambientale, mentre risulta sempre meno leggibile al suo diminuire.



### LCD transriflettivo

Lo schermo riunisce le caratteristiche migliori dei display trasmissivi e riflettivi. Ha uno specchio semiriflettente posto sul retro, in grado di riflettere la luce frontale (come i riflettivi), ma di far passare la luce proveniente da un illuminatore posteriore (come i trasmissivi). Questo tipo di display si va diffondendo rapidamente, soprattutto negli apparecchi mobili (telefoni cellulari e computer palmari) in virtù della sua buona leggibilità in tutte le condizioni di luce.



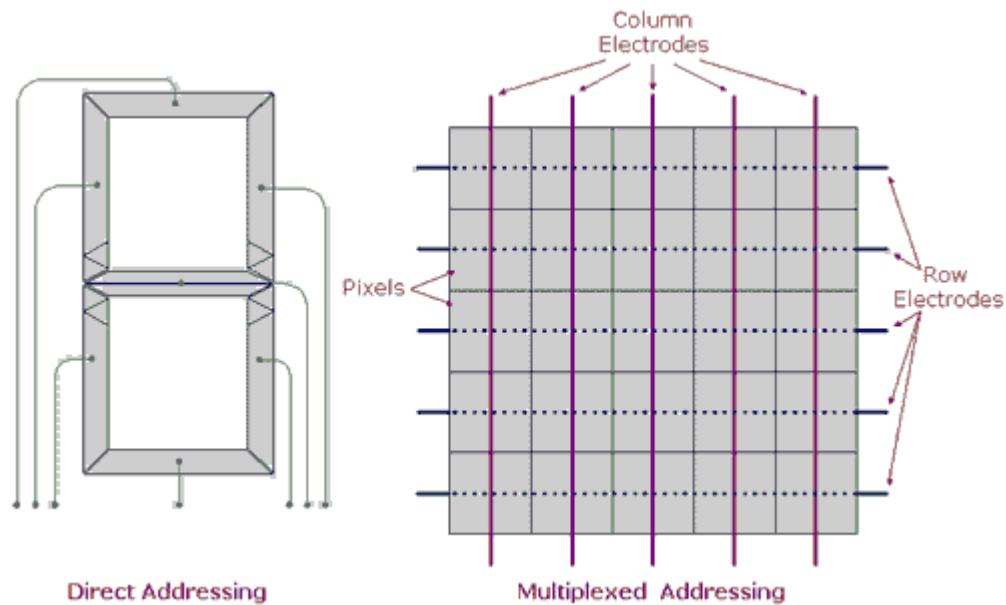
### Matrici passive ed attive

Lo sviluppo del **cristallo liquido nematico ritorto (TNLC, Twisted Nematic Liquid Crystal)**, con la sua torsione di 90°, ha reso commercialmente fattibile la produzione degli LCD. Tuttavia, benchè relativamente economici da fabbricare e parchi nei consumi elettrici (da qui la loro larga diffusione in orologi, calcolatrici, ecc.), i TNLCD presentano vari problemi all'aumentare del formato e della complessità dello schermo.

Nei display per calcolatrici, ogni segmento che costituisce i caratteri alfanumerici è attivabile (indirizzabile) singolarmente, così da ricevere l'esatto valore di tensione necessario a modificarne l'orientamento. Questo è fondamentale con i TNLC, in quanto l'intervallo delle tensioni di commutazione (cioè la differenza tra la tensione di commutazione della cella da ON ad OFF e quella da OFF ad ON) è piuttosto ampio.

I display più complessi necessitano di un indirizzamento della matrice, dove ciascun pixel è posto alla giunzione di due linee di indirizzamento e la cella viene commutata solo se entrambe sono sotto tensione. L'intervallo delle tensioni di commutazione degli LCD a matrice deve essere abbassato, rendendo di fatto poco pratici i TNLC. Gli LCD a matrice passiva sono anche noti come LCD multiplessati. Gli **LCD a matrice passiva**, come i TNLCD,

tendono ad avere rapporti di contrasto drasticamente ridotti, anche fino a valori di 5:1.



All'inizio degli anni '80 del XX secolo, Nehring e Scheffer, servendosi di simulazioni al computer, presentarono il **super twisted nematic liquid crystal (STNLC)**, che ha una torsione di oltre  $180^\circ$ , tipicamente tra  $210^\circ$  e  $270^\circ$ . Alquanto sorprendentemente, questo maggiore angolo di torsione permette di ridurre l'intervallo delle tensioni di commutazione delle catene di STNLC. Inoltre, lo schermo ha un rapporto di contrasto migliore, un angolo di visione più ampio ed un angolo di torsione regolabile con maggiore facilità, presentando così una soddisfacente scala tonale. Gli STNLC evidenziano però anche svantaggi rispetto ai TNLC: il tempo di risposta, cioè la durata della transizione ON-OFF o OFF-ON, è più lungo (circa 200 ms contro 60 ms), l'immagine meno luminosa ed il loro costo di produzione è più alto. Questi aspetti negativi erano comunque di secondaria importanza considerato che, per la prima volta, gli STNLC permettevano di produrre display utilizzabili in computer portatili.

Un altro svantaggio dei primi STNLC consisteva nella tendenza a generare immagini blu e gialle invece che bianche e nere. Si scoprì che sovrapponendo un secondo strato di STNLC al primo, con le catene di STNLC ritorte in senso opposto, lo schermo era in grado di fornire immagini realmente in bianco e nero: diventava così possibile, mediante utilizzo di filtri colorati, produrre display a colori, denominati **DSTNLC (Double Super Twisted Nematic LCD)**. Questi display erano ovviamente più spessi, più pesanti e più costosi e quando si scoprì che si potevano ottenere risultati tecnici analoghi utilizzando un film di compensazione per fabbricare

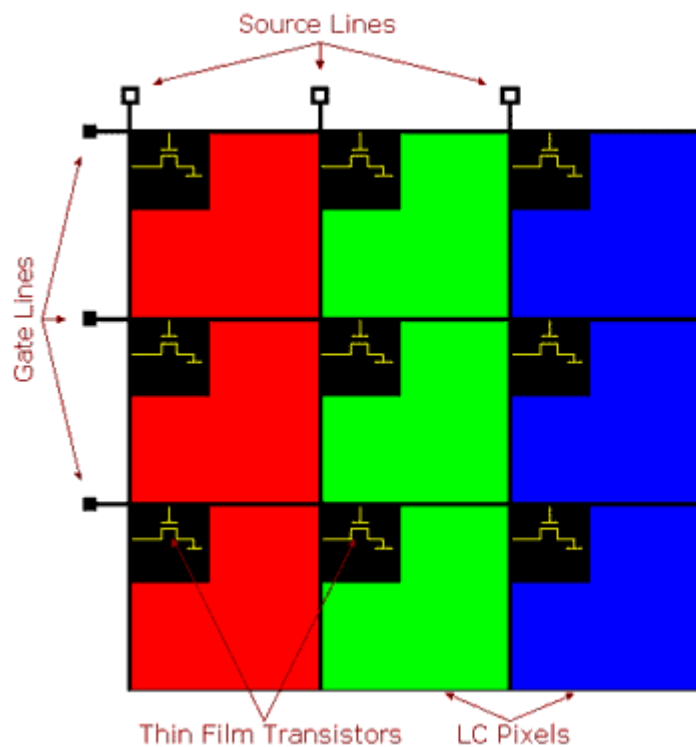
display STN più sottili, più leggeri e più economici, si passò a sviluppare i **Film-Compensated STN LCD (FSTN LCD)**.

La tecnologia ha continuato ad evolversi da quando sono stati messi a punto gli STN, ma i bassi costi di produzione degli STN LCD hanno evitato che fossero accantonati. Infatti, gli studi per il miglioramento del rapporto di contrasto, degli angoli di visione, del tempo di risposta e delle interferenze proseguono.

Come detto, il metodo utilizzato per commutare i singoli pixels negli LCD a matrice passiva presenta molti inconvenienti, tra i quali:

- dispersioni di corrente elettrica tra pixel adiacenti, con conseguenti immagini spurie, o interferenze, e contrasto ridotto;
- angoli di visione limitati a causa degli elevati angoli di torsione dei cristalli liquidi;
- tempi di risposta lenti a causa degli elevati angoli di torsione, con conseguente **effetto scia** degli elementi in movimento delle immagini (ad esempio, il puntatore del mouse).

Alla fine degli anni '60 del XX secolo, fu messa a punto un'alternativa all'indirizzamento passivo che impiegava un **diodo a film sottile**, posizionato nell'angolo di ciascun pixel a cristalli liquidi e fissato sul substrato in vetro posteriore della struttura a strati dell'LCD. Successivamente, il diodo è stato sostituito da un **transistor a film sottile (TFT, Thin Film Transistor)**, rivelatosi più efficiente. Sebbene la presenza di un TFT opaco in ciascuna cella imponga una retroilluminazione più intensa, questo metodo di indirizzamento è caratterizzato da una minore dispersione di corrente tra i substrati inferiore e superiore grazie all'isolamento fornito dal transistor. Inoltre, poiché il transistor controlla la carica sul cristallo liquido, si può utilizzare un ordinario allineamento nematico ritorto, riducendo la scia e rendendo fattibile la visione di immagini video. Inoltre, il controllo più preciso consente di scegliere tra diversi tipi di cristalli liquidi e configurazioni di cella al fine di ottenere angoli di visione più ampi. Questo metodo di attivazione è denominato indirizzamento a **matrice attiva (AM, Active Matrix)** e gli LCD di tipo AM sono diventati la norma nei notebook e nei monitor per computer, la soluzione preferita nei televisori e, in parte, nei videoproiettori e nei telefoni cellulari.



In an active matrix display, thin film transistors, used to switch power to the lower electrode, are mounted on the bottom substrate and triggered by the source and gate lines running between the pixel rows and columns. The transistors occupy part of the cell area, so cutting out a proportion of the light.

The electrodes on the top substrate are the width of each pixel and transparent, as are both top and bottom electrodes in passive matrix displays.

Tuttavia, la maggiore complessità della struttura AM, che è potenzialmente più soggetta a difetti di fabbricazione ed innalza i costi di produzione, ha richiesto un lungo periodo di sviluppo prima di diventare commercialmente valida e solo nella seconda metà degli anni '80 gli LCD TFT da 2" hanno fatto la loro comparsa in televisori a colori portatili.

I transistor dei display TFT di maggiori dimensioni sono generalmente realizzati in silicio amorfo, che non necessita di processi produttivi a temperature eccessivamente alte, ma che ha una mobilità elettronica bassa. Quelli dei piccoli display TFT sono sovente ottenuti partendo da silicio policristallino e si caratterizzano per una maggiore efficienza e capacità di integrare elementi di controllo ed altri circuiti, ma sono più complessi da produrre.

## Cristalli liquidi

I **cristalli liquidi**, ovvero le **proprietà liquido-cristalline** possedute da alcuni composti organici, furono scoperti nel 1888 dal botanico austriaco Friedrich Reinitzer.

Reinitzer notò che il benzoato di colesterina, se riscaldato, diventava inizialmente opaco per poi schiarirsi al progressivo innalzarsi della temperatura e, se raffreddato, diventava bluastro e quindi cristallizzava.

In pratica, i cristalli liquidi non passano direttamente dallo stato solido a quello liquido, ma in particolari condizioni sono in grado di organizzarsi in fasi intermedie (**mesofasi**) che presentano caratteristiche sia dello stato solido cristallino sia di quello liquido.

### **Proprietà**

I cristalli liquidi possono essere definiti come fluidi altamente anisotropi che esistono fra la fase solida cristallina e quella liquida isotropa: questo è il cosiddetto **quarto stato della materia**.

L'esistenza di queste mesofasi è dovuta all'organizzazione che le molecole possono assumere passando dalla disposizione ordinata dello stato solido cristallino alla disposizione casuale dello stato liquido.

Numerosi cristalli liquidi possono essere osservati in base alla loro birifrangenza ottica al microscopio con filtri polarizzatori incrociati.

Alle proprietà tipiche dello stato solido (anisotropia ottica ed elettrica) e dello stato liquido (fluidità e mobilità molecolare) si aggiungono caratteristiche peculiari dei cristalli liquidi: ad esempio, la possibilità di variarne il grado di ordine per mezzo di campi magnetici ed elettrici o la capacità che hanno di cambiare colore al variare della temperatura.

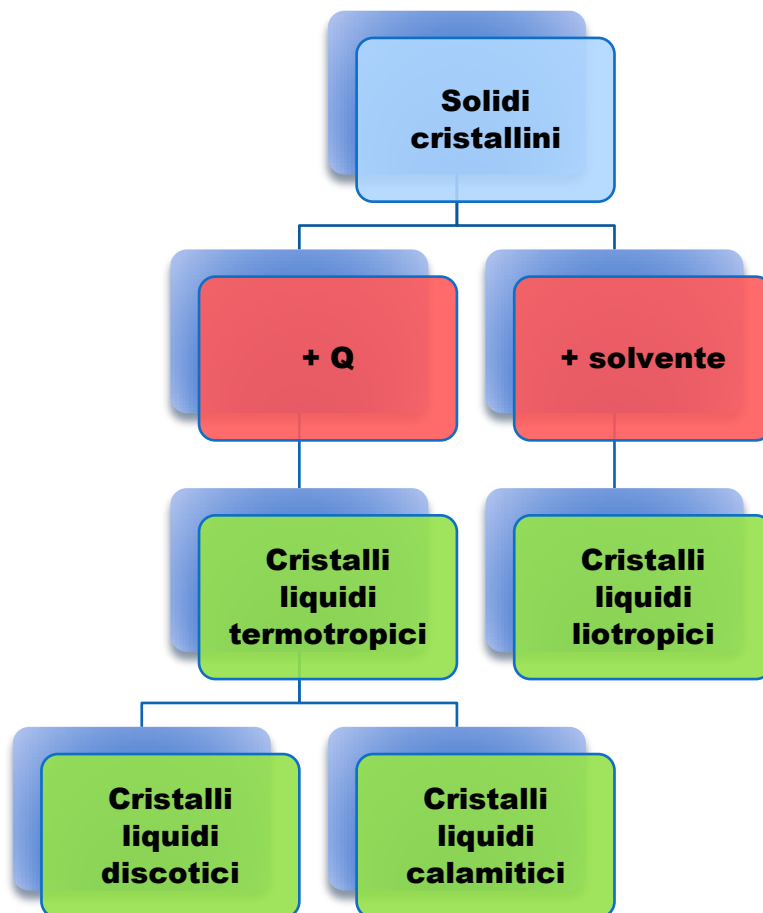
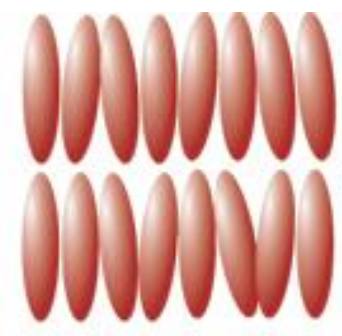
Questo ha fatto dei cristalli liquidi una classe di composti largamente utilizzata per la costruzione di oggetti di uso quotidiano.

### **Classificazione**

I composti che formano mesofasi (**mesogeni**) quando sciolti in un opportuno solvente entro un dato intervallo di concentrazione, vengono detti **cristalli liquidi liotropici**. Quelli in grado di generare mesofasi al variare della temperatura vengono chiamati **cristalli liquidi termotropici** e generalmente sono dotati di una struttura molecolare a forma di disco (**cristalli liquidi discotici**):



o a forma di bastone (**cristalli liquidi calamitici**):



Uno stesso composto, nel percorso fra lo stato cristallino e quello liquido isotropo, può passare attraverso varie mesofasi contraddistinte da un grado di ordine decrescente.

### **Mesofasi liotropiche**

Una mesofase liotropica è generata da mesogeni che disciolti in un appropriato solvente con determinati intervalli di concentrazione, si aggregano in strutture liquido-cristalline.

Sovente i mesogeni liotropici sono **molecole anfifiliche**, cioè contengono gruppi funzionali sia idrofobi sia idrofili. Al variare della concentrazione del

solvente (acqua in questo caso) le proprietà idrofile o idrofobe possono variare modificando il modo in cui le molecole si aggregano fra loro ed in rapporto alle molecole del solvente.

Il grado di ordine di aggregazione di queste molecole aumenta all'aumentare della concentrazione ed esistono numerose possibilità di aggregazione micellare, ad esempio:

- sferica,
- colonnare,
- cubica,
- lamellare.

Numerosi tensioattivi mostrano questo tipo di comportamento e si organizzano in micelle quando disciolti in acqua. Il funzionamento di molti saponi si basa su questa capacità di organizzarsi in micelle sferoidali che inglobano il grasso rimuovendolo dalla superficie trattata.

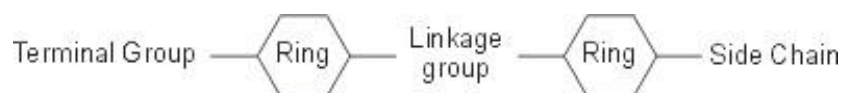
Anche in biologia si incontrano mesogeni liotropici: per esempio numerose sostanze coinvolte nel meccanismo delle membrane biologiche, alcuni virus, i fosfolipidi e lo stesso DNA.

### **Mesofasi termotropiche**

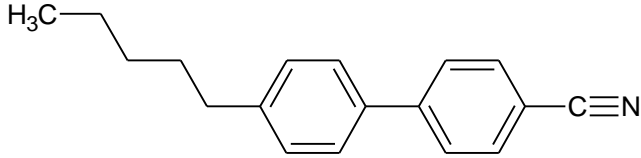
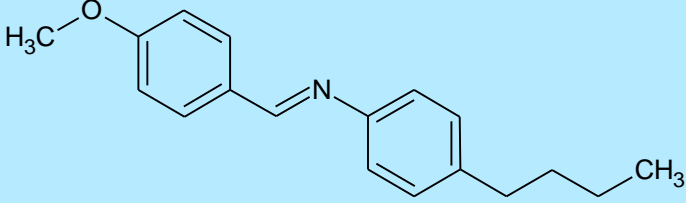
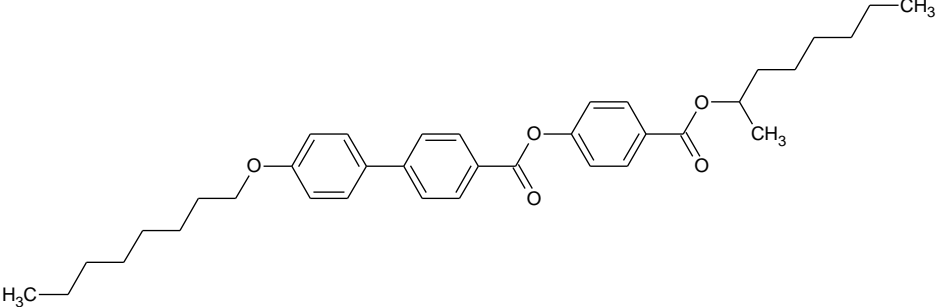

Le mesofasi calamitiche possono mostrare i seguenti tipi di organizzazione molecolare:

#### **Mesofase nematica**

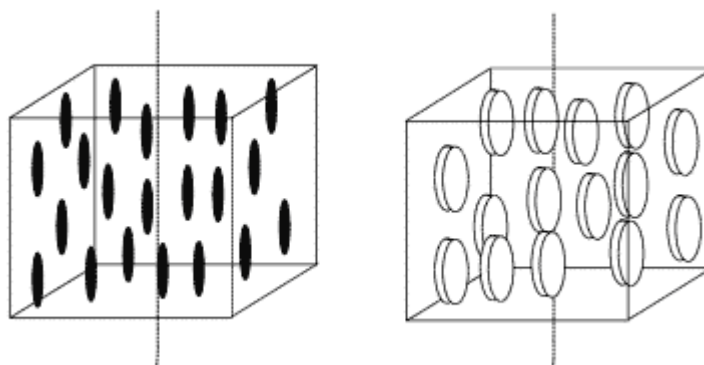
L'aspetto di un campione liquido-cristallino nematico al microscopio ottico con filtri polarizzatori incrociati ricorda un insieme di fili. La figura seguente mostra la struttura molecolare di una tipica molecola di cristallo liquido a bastone:





Cristalli liquidi nematici tipici	
Sigla	Molecola
5CB	
MBBA	
MHPOBC	
PAA	

I cristalli liquidi in fase N sono fluidi come i liquidi isotropi ed i centri di massa delle molecole sono ripartiti senza ordine nello spazio, ma è presente una direzione preferenziale di orientamento.



### Mesofase colesterica

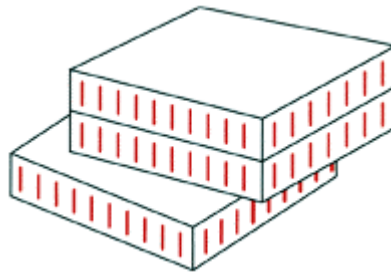
Una mesofase nematica formata da una **molecola chirale** assume un orientamento ad **elica colesterica (Ch)**, essendo stata osservata per prima nei derivati del colesterolo.

Il passo dell'elica varia al variare della temperatura e le mesofasi colesteriche sono in grado di riflettere la luce che ha una lunghezza d'onda pari alla lunghezza del passo.

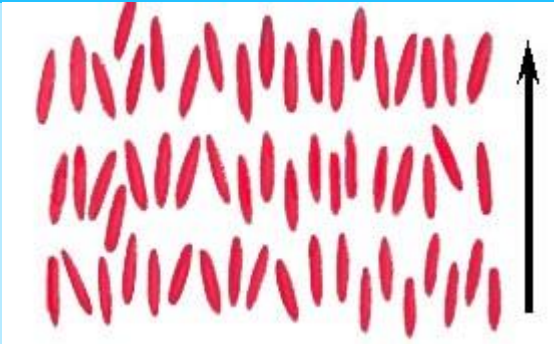
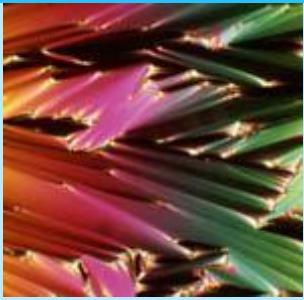

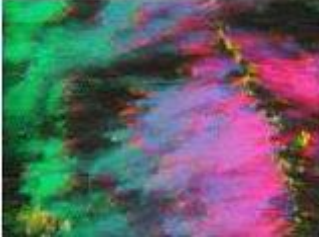
Al variare della temperatura si nota quindi una variazione di colore del cristallo liquido.

### Mesofasi smectiche stratificate

Come nella fase nematica, anche nelle mesofasi smectiche gli assi sono orientati preferenzialmente nella stessa direzione. A questo **ordine orientazionale** si aggiunge un **ordine posizionale** mono o bidimensionale dato che le molecole di queste fasi si organizzano in strati.



In funzione delle configurazioni possibili, esistono numerose fasi smectiche, ciascuna identificata da una lettera (ad esempio,  $S_A$  significa: mesofase smectica di tipo A).

Mesofasi smectiche stratificate		
Mesofase		Fotografia al microscopio polarizzatore
Tipo	Orientamento	
$S_A$		
$S_C$		

Sono stati caratterizzati molti composti che mostrano più mesofasi.

La sequenza in riscaldamento (determinata dal grado di ordine che progressivamente diminuisce) da un cristallo K ad un liquido isotropo I è la seguente:

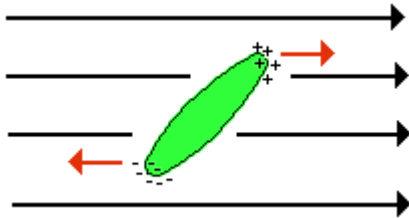


Analogamente a quanto descritto per le mesofasi calamitiche, in cui sono presenti mesofasi nematiche e smectiche, anche le discotiche possono essere classificate in nematiche, o **discotiche fluide**, e **colonnari**, analoghe alle fasi smectiche.

### **Effetti di campi magnetici ed elettrici**

La risposta delle molecole di cristallo liquido ad un campo elettrico è la principale caratteristica utilizzata nelle applicazioni industriali.

La capacità di un cristallo liquido di allinearsi al campo esterno è dovuta alla natura elettrica della molecola. Questa è un **dipolo elettrico permanente** quando una sua estremità ha una carica netta positiva e l'altra estremità una carica netta negativa. Quando si applica un campo elettrico esterno al cristallo liquido, il dipolo tende ad orientarsi lungo la direzione del campo. Nella figura seguente, le frecce nere rappresentano il vettore del campo elettrico e quelle rosse indicano il momento elettrico che agisce sulla molecola.



Anche se la molecola non forma un dipolo permanente, è ugualmente influenzabile dal campo elettrico. Infatti, in alcuni casi, il campo comporta un sia pur minimo riassetto di elettroni e protoni nella molecola, tale da generare un **dipolo elettrico indotto** in grado di allinearsi alle linee di forza del campo elettrico.

Gli effetti dei campi magnetici sulle molecole di cristallo liquido sono analoghi a quelli dei campi elettrici. Poiché i campi magnetici vengono generati da cariche elettriche in movimento, i dipoli magnetici permanenti sono prodotti dagli elettroni degli orbitali atomici. Quando si applica un campo magnetico, la molecola tende ad allinearsi con o contro le linee di forza.

## Parametri di caratterizzazione degli LCD

---

I principali parametri che caratterizzano un LCD a matrice attiva (TFT) per TV o PC sono contrasto, luminosità (o, più propriamente, luminanza), linearità dei grigi, angolo di visuale, tempo di risposta e resa cromatica. Inoltre, nei televisori, anche l'elettronica di scalatura dell'immagine è fondamentale nel determinare la qualità video, pur non facendo parte del pannello vero e proprio.

## ***Contrasto nativo e contrasto dinamico, retroilluminazione fluorescente o a LED***

Il rapporto fra la luminosità del bianco e la luminosità del nero è definito contrasto. Si tratta quindi di un parametro tipico del pannello, dipendente dalla capacità dei cristalli liquidi di bloccare la luce proveniente dalla retroilluminazione. Viceversa, il cosiddetto **contrasto dinamico** non dipende solamente dai cristalli liquidi, ma anche dalla retroilluminazione: è definito dal rapporto fra il bianco, misurato con la retroilluminazione alla massima intensità, ed il nero, misurato con la retroilluminazione al valore minimo. Pertanto, i valori di contrasto dinamico sono formalmente più alti di quello nativo dei pannelli, mediamente di cinque volte. I migliori pannelli di nuova generazione vantano contrasti nativi dello stesso ordine di grandezza di quelli dinamici dei pannelli di vecchia generazione. In genere, i contrasti dinamici sono dell'ordine di grandezza di diverse migliaia a uno, mentre quelli statici oscillano attorno a 1000:1 (ed in alcuni casi anche significativamente oltre).

Un'immagine che abbia sia parti chiare sia parti scure mette tuttavia in difficoltà un pannello che vanta alti contrasti dinamici in quanto la luminosità della retroilluminazione è unica, per cui il contrasto effettivo sarà quello nativo e non quello dinamico. Dato che le retroilluminazioni a LED (quindi più frazionate) permettono di gestire separatamente le varie parti dell'immagine, dovrebbero portare ad un miglioramento della situazione, accendendo e spegnendo singoli gruppi di LED. Forti contrasti sono tuttavia necessari solo per l'uso in piena luce dello schermo; si rileva, infatti, che il contrasto realmente percepito dipende anche dall'illuminazione dell'ambiente e dalla finitura superficiale dello schermo (lucido/riflettente od opaco/diffondente). Poiché lo schermo non è comunque un corpo nero e riflette una parte della luce che lo colpisce, è intuitivo che la luminanza del nero venga alterata qualora lo schermo sia colpito da una forte luce ambiente. Viceversa, ad esempio per la visione di un film in un ambiente scuro, contrasti elevati sono in genere fastidiosi in quanto le parti di immagine più luminose hanno un effetto abbagliante, riducendo la percezione dei dettagli nelle parti più scure ed aumentando l'effetto scia percepito.

## ***Tempi di risposta bianco-nero, grigio-grigio, tempo percepito ed effetto "scia"***

Come visto, il meccanismo di funzionamento di un LCD si basa sul fatto che, orientati in modo opportuno, i cristalli liquidi possono consentire o impedire il passaggio della luce proveniente dalla retroilluminazione del pannello. Il tempo di risposta totale è in genere definito come il tempo

necessario ai cristalli liquidi per passare da uno **stato tutto chiuso (nero)** ad uno **stato tutto aperto (bianco)**, per poi tornare allo stato tutto chiuso.

Tuttavia, alcuni produttori misurano solo il **passaggio bianco→nero** (o viceversa), con conseguenti valori di tempo più bassi. Inoltre, non è detto che il passaggio bianco→nero abbia la stessa durata del passaggio nero→bianco. In realtà, questo valore vantato dai produttori non è davvero significativo, in quanto è rarissimo che in un filmato si passi dal bianco al nero o viceversa; ben più frequente è che si passi da una sfumatura di grigio ad un'altra ed i tempi per le **transizioni grigio-grigio (G2G)** sono generalmente più lunghi di quelle bianco-nero. Oggi si è in parte corretta questa lentezza sul grigio-grigio mediante tecniche di **overdrive (sovraoltaggio)** degli LCD, al costo però di un aumento del rumore delle immagini e/o talvolta di una riduzione dei colori riproducibili (6 bit anziché 8 bit, simulati poi attraverso tecniche di **dithering**).

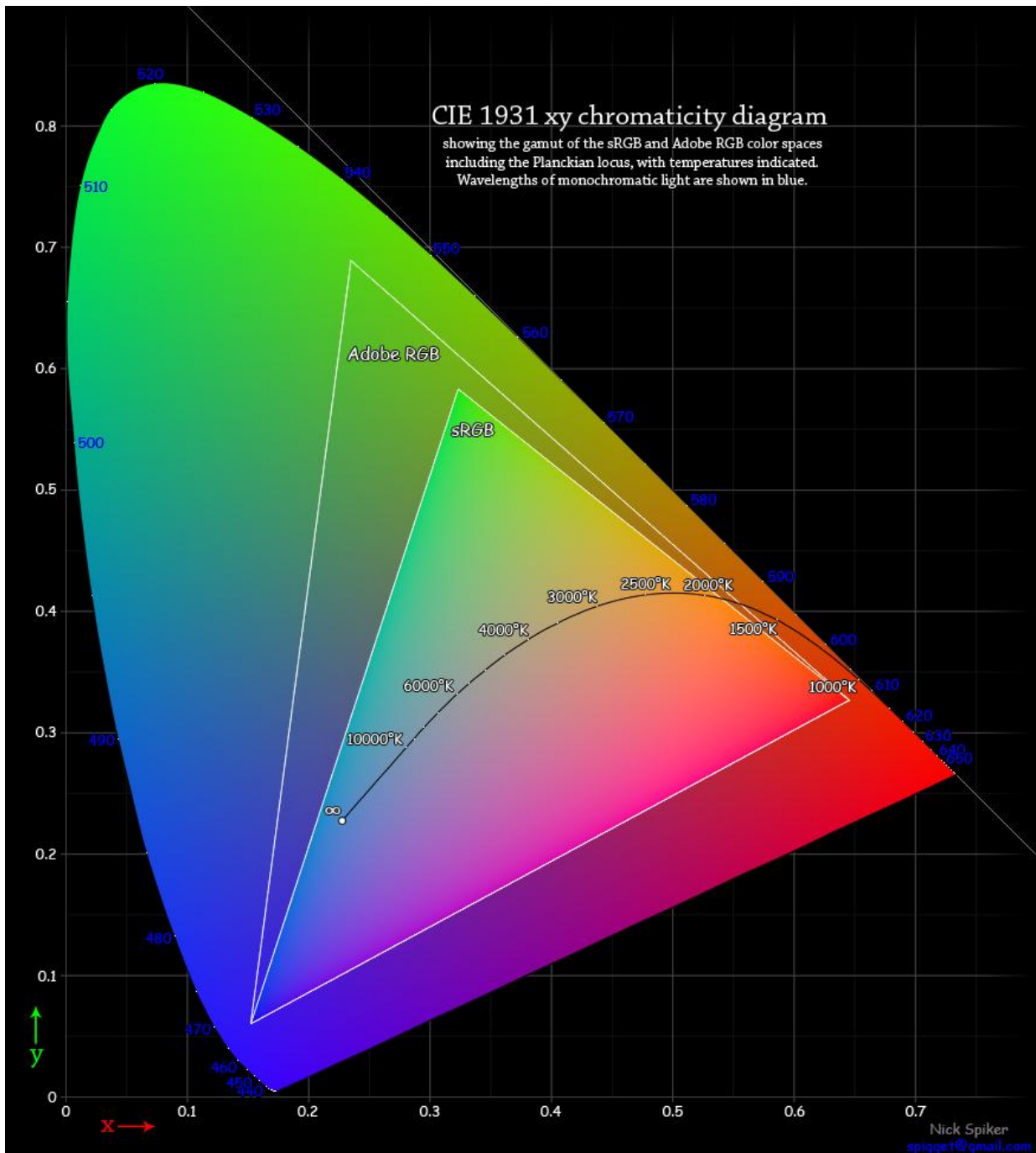
L'effetto scia, che spesso viene attribuito agli LCD è in realtà solo in parte riferibile al tempo di risposta dei cristalli liquidi, in quanto è da imputarsi anche alla **persistenza della visione retinica**, cioè alla fisiologia dell'occhio umano. Infatti, la percezione dell'effetto scia è anche legata al fatto che gli LCD mantengono l'immagine fra un frame e l'altro e sono retroilluminati in continuo, a differenza di un tradizionale tubo a raggi catodici in cui l'immagine è ricostruita alla frequenza di refresh dello schermo (50 o 100 Hz la TV; da 60 fino a 120 Hz un monitor per PC). In altre parole, mentre i fosfori di un CRT tendono da soli a spegnersi subito dopo il passaggio del pennello elettronico, i pixel di un LCD-TFT (come in tutti gli schermi a matrice attiva, plasma ed OLED) i pixel conservano la luminosità fino a nuovo ordine, cioè fino al successivo fotogramma del filmato. Questo è un grande vantaggio per i monitor per PC (l'immagine è stabile e non sfarfalla), ma diventa un problema con immagini in movimento (TV, film). Infatti, ciascun fotogramma risulta in parte sovrapposto al precedente a causa sia della lentezza dei cristalli liquidi a cambiare stato sia alla persistenza della visione retinica. Di fatto, anche un LCD con tempo di risposta istantaneo presenterebbe sempre un certo effetto scia. Le soluzioni attualmente sul mercato sono sostanzialmente tre, commercialmente spesso accomunate (anche impropriamente) da diciture tipo **100 Hz**: paradossalmente tali soluzioni non hanno sempre a che fare con i 100 Hz dei CRT ed anzi talune cercano di imitare il funzionamento di un classico CRT a 50 Hz. Tale effetto viene ottenuto mediante l'intercalamento di quadri completamente neri, quadri intermedi interpolati calcolati dall'elettronica dello schermo o spegnimenti sequenziali brevissimi delle lampade di retroilluminazione (realizzando una sorta di scansione

luminosa dello schermo). Alcune di queste soluzioni potrebbero determinare un aumento della percezione di sfarfallamento dell'LCD.

### ***Luminosità e resa cromatica della retroilluminazione***

Gli LCD televisivi sono oggi caratterizzati da una luminosità molto elevata, dell'ordine delle centinaia di candele al metro quadro ( $\text{cd/m}^2$ ). Questa elevata luminosità li rende ben visibili anche con una forte luce ambientale, ma può risultare persino fastidiosa per la visione in un ambiente buio o semibuio. Il motivo che spinge i costruttori ad adottare retroilluminazioni così intense può essere spiegato con l'effetto che l'elevata luminosità ha sul contrasto dinamico (tanto più alto quanto maggiore è il rapporto fra il bianco, misurato con la massima retroilluminazione, ed il nero, misurato con la minima retroilluminazione). L'aumento della luminosità massima è quindi il modo più semplice per pubblicizzare valori di contrasto dinamico molto elevati. Ma non va dimenticato che una forte luminosità tende ad aumentare la persistenza della visione retinica, incrementando il tempo di risposta e l'effetto scia percepiti.

Discorso a parte merita la resa cromatica del pannello, cioè la sua capacità di riprodurre una vasta gamma di colori. Premesso che nessun tipo di schermo è in grado di riprodurre tutti i colori percepibili dall'occhio umano, la resa cromatica dipende in buona parte dalla retroilluminazione, e nella fattispecie dalla monocromaticità dei colori RGB (rosso verde e blu) dei sub-pixel. Le attuali lampade di retroilluminazione a scarica elettrica forniscono risultati discreti, ma l'uso di LED permette di migliorare ulteriormente il livello di monocromaticità dei tre colori fondamentali, con il conseguente effetto di aumentare l'area del **gamut**, cioè del triangolo avente per vertici i tre colori RGB e che rappresenta le sfumature di colore riproducibili dallo schermo. Tuttavia, non è detto che le sorgenti video (compresa l'alta definizione, HD DVD e Blu-ray) possano davvero sfruttare efficacemente questi gamut più estesi, essendo comunque codificate ad 8 bit/canale.



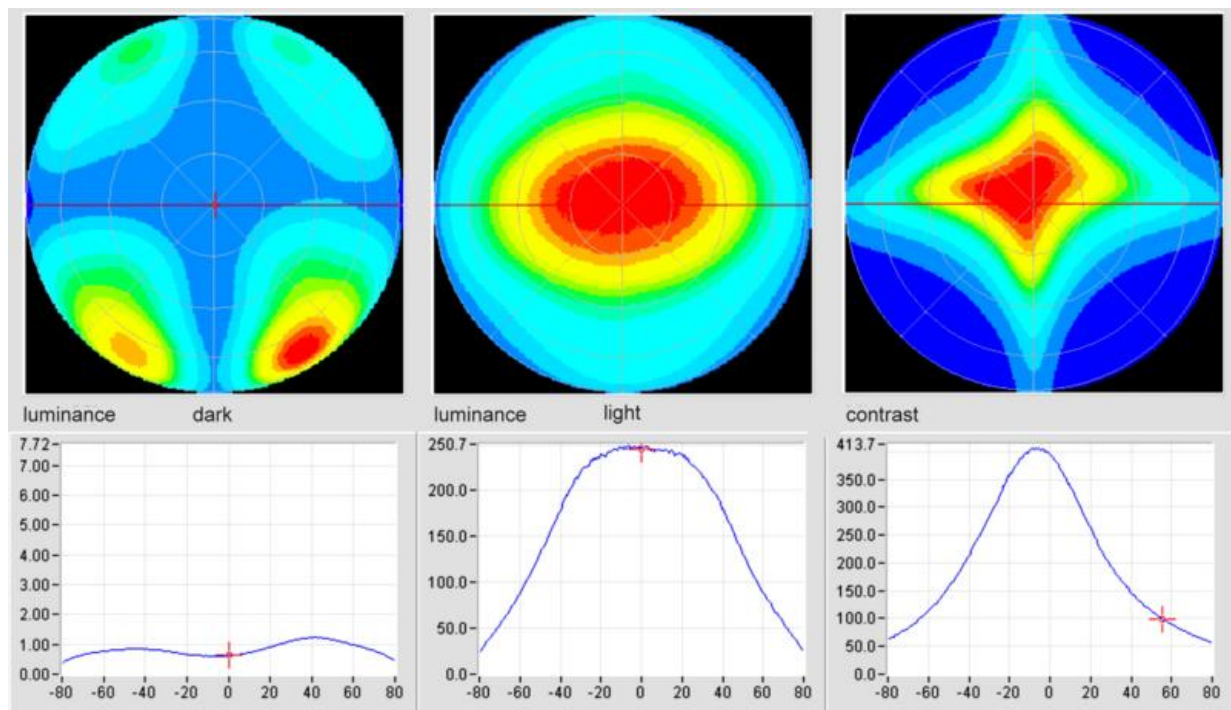
### **Angolo di visione in relazione a luminosità e contrasto**

L'angolo di visione è un altro parametro importante, valutabile con diverse modalità di misurazione. Gli angoli di visione pubblicizzati si riferiscono in genere all'angolo massimo sotto cui si può guardare lo schermo mantenendo una luminosità ed un contrasto accettabili, dove il grado di accettabilità può essere liberamente stabilito dai produttori, per cui è possibile che i dati forniti da ognuno di essi abbiano significati diversi. Ad esempio, il limite dell'angolo di visione è in genere individuato da un contrasto di 10:1; se si considera invece un valore di 5:1, l'angolo di



visione aumenterà, pur riferendosi allo stesso identico LCD con le stesse identiche caratteristiche.

Inoltre, i valori forniti dai produttori riguardano l'**angolo estremo** (in verticale ed in orizzontale) che determina un decadimento del contrasto ai suddetti valori. Ma questo dato non fornisce alcuna informazione riguardo a come il contrasto diminuisce al variare dell'angolo, a quali valori si hanno con angoli diagonali, alle differenze fra angolo verso l'alto o verso il basso (per taluni pannelli fortissime). Indicazioni di questo genere possono essere ricavate da analisi polari come quelle rappresentate nella figura sottostante, da cui si evince chiaramente che l'uniformità non è un punto di forza degli schermi LCD.



### **Non linearità della scala dei grigi**

Nel sistema RGB adottato da PC, DVD, DVB, HD TV, ecc., il grigio può assumere 256 livelli pari alle combinazioni possibili con 8 bit: il valore 0 corrisponde al nero, mentre 255 corrisponde al bianco. È intuibile quindi che, ad esempio, una luminosità massima di 400 cd/m<sup>2</sup> dello schermo corrisponde al bianco, cioè ad un valore di 255 sulla scala dei grigi. Molto meno intuitivo è il fatto che al valore di 128 (metà scala) non corrisponda il valore di 200 cd/m<sup>2</sup>: il valore reale di luminosità è generalmente molto più basso ed il parametro che correla il segnale d'ingresso all'emissione luminosa è denominato **gamma**. In altri termini, la scala di grigi non è lineare, ma segue un andamento esponenziale con dilatazioni e compressioni tonali: il nero (valore 0) non è completamente buio e,

all'aumentare dei valori RGB, l'andamento della luminosità cresce meno marcatamente di quanto ci si potrebbe aspettare, per poi aumentare notevolmente verso il fondo della scala. È quindi possibile che alcuni valori di grigio vicini non siano in pratica distinguibili fra loro, specie agli estremi della scala (basse ed alte luci). Va altresì notato che luminosità e contrasto non variano linearmente con l'angolo di visione. Le tipologie di pannelli VA presentano addirittura una scala dei grigi migliore (cioè una migliore resa e distinguibilità delle diverse tonalità di grigio, in particolare sulle basse luci) se guardati in posizione leggermente angolata piuttosto che centralmente.

## **Difetti**

Data la complessità del processo produttivo di un LCD, le aziende che dispongono degli impianti necessari per la loro realizzazione sono relativamente poche; tra queste, le più importanti sono Samsung, Hitachi, Dti, Nec, Sharp, LG e Philips. Sempre a causa della complessità, ancora oggi è quasi inevitabile che un LCD presenti pixel difettosi. Tali difetti sono di solito imputabili ad impurità che si infiltrano nei pannelli durante il ciclo produttivo.

I difetti possono essere di tre tipi:

- pixel completamente spento, quindi nero;
- pixel perennemente acceso, di colore bianco;
- uno dei tre sub-pixel componenti la cella difettoso, con conseguente problema su una delle componenti verde, rossa e blu.

Fino a poco tempo fa ogni produttore assumeva una politica arbitraria su tali tipi di difetti ed il massimo numero di pixel difettosi accettabili, per il quale il prodotto non era da considerarsi difettoso e quindi non sostituibile, era variabile. A tale diversità di comportamenti ha tentato di mettere un punto fermo un'estensione della normativa TCO 99, ma soltanto di recente si è arrivati alla definizione di uno standard che stabilisce una volta per tutte i parametri sulla qualità di un LCD. La normativa **ISO 13406-2** obbliga i produttori a definire chiaramente qual è il massimo numero di pixel difettosi che possono comparire sul proprio pannello e la loro tipologia. La normativa prevede quattro classi, così definite:

Classi di difettosità degli LCD secondo ISO 13406-2			
Classe	Pixel chiari	Pixel scuri	Sub-pixel difettosi
<b>I</b>	0	0	0
<b>II</b>	2	2	5
<b>III</b>	5	15	50
<b>IV</b>	50	150	500

La classe I è più teorica che pratica e sono veramente pochi i prodotti che vi rientrano; invece, la classe II è quella più frequentemente adottata.

## Famiglie tecniche di pannelli TFT

### *Twisted Nematic + Film*

Sono gli LCD TFT più utilizzati, in quanto gli schermi più piccoli (15", 17" e 19") sono realizzati quasi esclusivamente con questa tecnologia.

La loro ampia diffusione è dovuta a due motivi. Il primo è costituito dai costi di produzione relativamente contenuti rispetto ai pannelli realizzati con altre tecnologie. Il secondo è rappresentato dalla breve latenza dei pixel, tanto che i pannelli TN Film sono stati e, in parte, sono tuttora la scelta per eccellenza dei videogiocatori e l'adozione della tecnologia overdrive/RTC ha reso ancora più rapide le transizioni grigio-grigio.

Il problema dei pannelli TN Film consiste negli angoli di visione limitati, soprattutto in verticale, ed è reso evidente dalla rapida caduta di luminosità dell'immagine, in particolare se si osserva lo schermo dal basso. Il rumore può disturbare in parte la riproduzione di filmati e la profondità dei neri non è paragonabile a quella ottenibile con altre tecnologie a causa dell'allineamento dei cristalli. Tuttavia, negli ultimi anni, la profondità dei neri è stata migliorata così da risultare soddisfacente negli schermi di ultima generazione, specialmente se dotati di controllo del contrasto dinamico.

I pannelli TN Film hanno una profondità di colore limitata a 6 bit, ma sono in grado di visualizzare da 16,2 a 16,7 milioni di colori grazie al dithering ed ai metodi di controllo della frequenza di quadro.

## Vertical Alignment

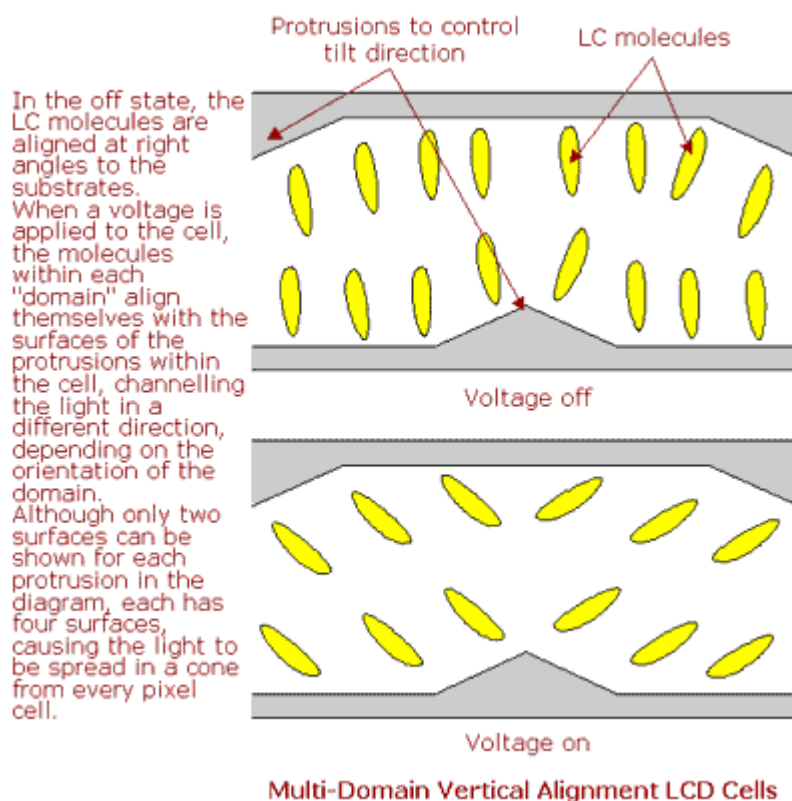
È una tecnologia sviluppata da Fujitsu nel 1996 in cooperazione con Merck, gigante dell'industria chimica.

Nei pannelli **VA (Vertical Alignment)**, come suggerisce il nome, le molecole di cristallo liquido sono normalmente allineate ad angolo retto con i substrati e ruotano di 90° per disporsi parallelamente ad essi in presenza di un campo elettromagnetico. Questo nuovo approccio permise di realizzare un pannello con angolo di visione molto ampio (140° in tutte le direzioni), contrasto elevato e luminosità più alta e tempo di risposta più breve (25 ms) rispetto alle altre tecnologie allora disponibili. Sebbene i consumi elettrici di questi pannelli risultassero ridotti, erano ancora eccessivi per un'alimentazione a batterie.

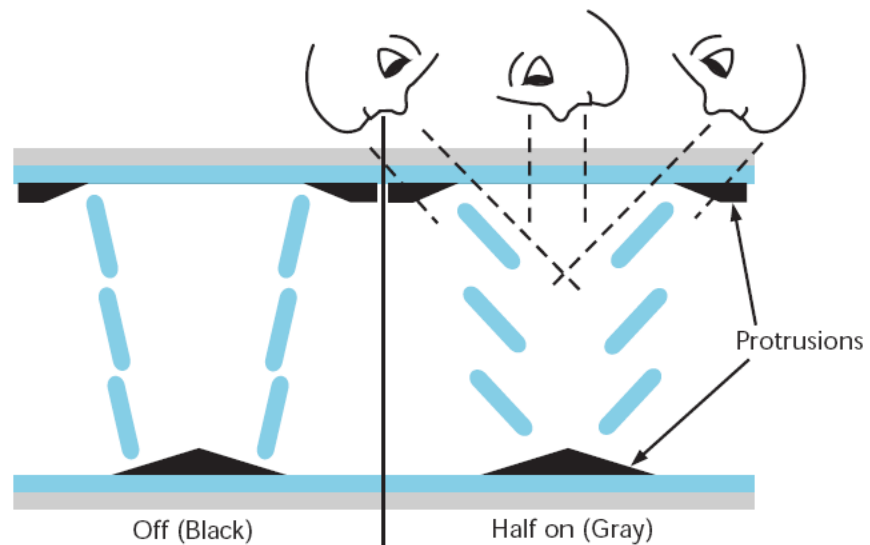
### MVA

La tecnologia **MVA (Multidomain Vertical Alignment)** è stata sviluppata da Fujitsu nel 1997.

Consiste nell'aggiunta di protuberanze piramidali all'interno di ciascuna cella al fine di suddividerla in domini separati, in ognuno dei quali i cristalli liquidi si allineano in modo differente dagli altri.



Questa tecnologia offre angoli di visione più ampi, a scapito della luminosità, poiché ciascuno dei domini multipli all'interno della cella incanala la luce angolandola rispetto alla direzione perpendicolare ai substrati.

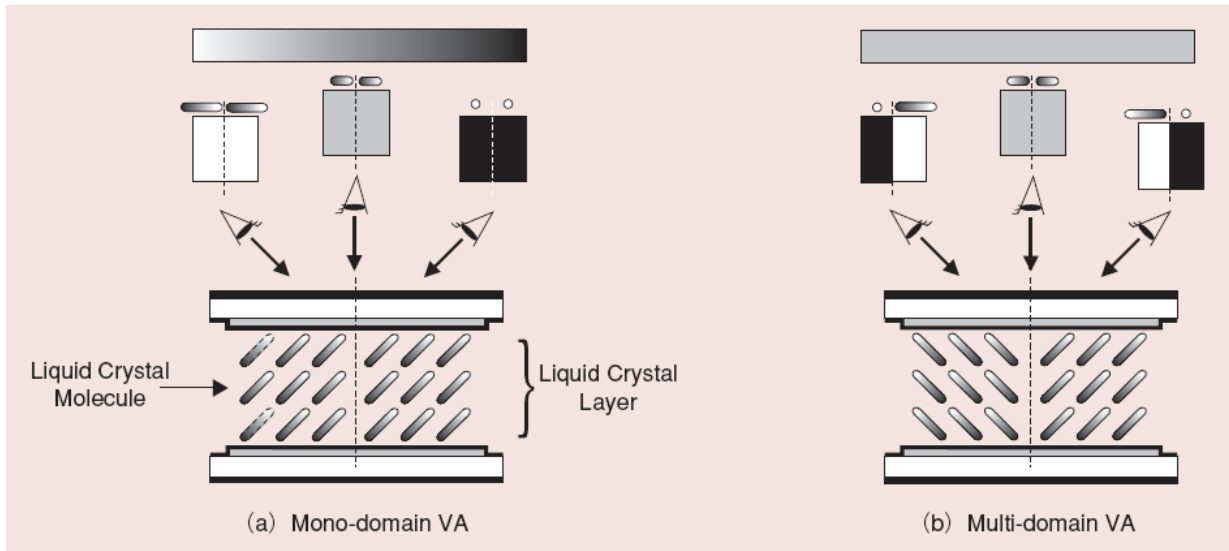


Il risultato è un incremento dell'angolo di visione senza variazione nei toni cromatici all'aumentare dell'angolo di osservazione. I pannelli che sfruttano questa variante della tecnologia VA sono denominati **MVA TFT LCD** e sono caratterizzati da angoli di visione di 160°-170° in tutte le direzioni ed un rapporto di contrasto di circa 300:1.

I pannelli MVA restituiscono colori vividi e brillanti, ma le peculiarità della tecnologia a domini portano a perdere toni cromatici molto tenui, soprattutto quelli scuri, se si osserva lo schermo esattamente lungo l'asse. Spostando anche di poco la linea visuale, i colori ricompaiono tutti. I produttori rivendicano talvolta un gamut cromatico più ampio, ma questo si deve alla qualità dei filtri a colori e della retroilluminazione piuttosto che alla matrice di celle. In definitiva, per quanto riguarda la riproduzione dei colori, la tecnologia MVA si colloca tra quella IPS e quella TN.

Tradizionalmente, i pannelli MVA hanno una profondità di colore a 8 bit con 16,7 milioni di colori veri; ma sembra che alcuni modelli recenti operino a 6 bit con

controllo della frequenza di quadro (FRC). La profondità dei neri è uno dei loro punti di forza. Inoltre, i pannelli MVA offrono una riproduzione soddisfacente di filmati, con rumore ed artefatti limitati rispetto ad altre tecnologie.



**P-MVA / S-MVA**

La tecnologia **Premium MVA (P-MVA)** di AU Optronics e la tecnologia **Super MVA (S-MVA)** di Chi Mei Optoelectronics e Fujitsu offrono tempi di risposta più brevi nelle transizioni grigio-grigio che, sebbene non ancora al livello di quelli della tecnologia TN Film, hanno contribuito ad allargare significativamente il mercato dei display MVA.

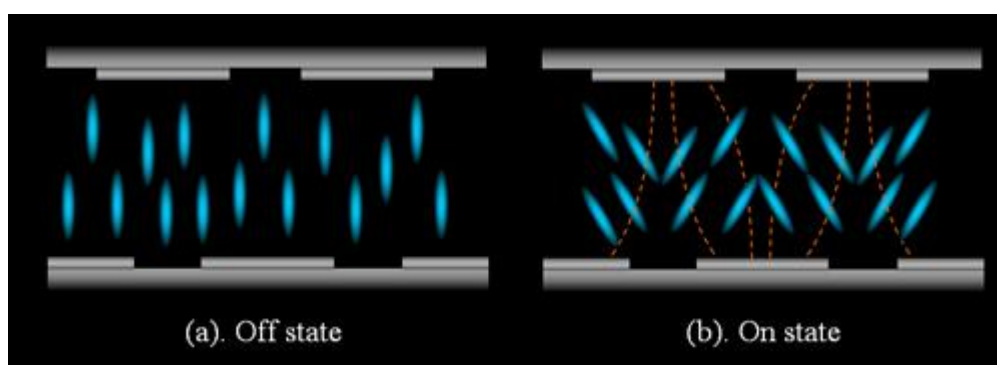
**A-MVA**

La tecnologia **Advanced MVA (A-MVA)** di AU Optronics si pone come obiettivo di migliorare le prestazioni dei pannelli MVA, compresa la soluzione del tipico problema dei pannelli con ampi angoli di visione e cioè la perdita dei toni cromatici tenui. Questa tecnologia crea più domini rispetto all'MVA e riduce la variazione della trasmittanza con l'angolo di osservazione. Inoltre, la tecnologia A-MVA offre un rapporto di contrasto superiore a 1200:1 (anche fino a 2500:1) ed un angolo di visione che può arrivare fino a 178°. Il risultato è una visione più confortevole, anche con le immagini più scure.

## **Patterned Vertical Alignment**

La tecnologia **Patterned Vertical Alignment (PVA)** è stata sviluppata da Samsung in alternativa all'MVA. I parametri e gli sviluppi delle due tecnologie sono così differenti che la PVA può essere effettivamente considerata una tecnologia indipendente.

La struttura della matrice PVA è analoga a quella MVA, con i domini ad orientamento variabile dei cristalli liquidi che permettono di mantenere invariato il colore pressoché indipendentemente dalla linea di osservazione.



Gli angoli di visione sono limitati non tanto dalla matrice quanto dalla cornice attorno allo schermo. E come nella matrice MVA, la riproduzione dei colori non è perfetta: se si osserva lo schermo lungo il suo asse, si perdono alcune tonalità, che ricompaiono non appena la linea di osservazione diventa inclinata.

Il tempo di risposta aumenta considerevolmente se la differenza tra stato iniziale e stato finale del pixel è piccola. Ma l'introduzione dell'overdrive ha consentito a Samsung di migliorare il tempo di risposta dei pannelli PVA, anche se non ancora paragonabile a quello dei pannelli TN.

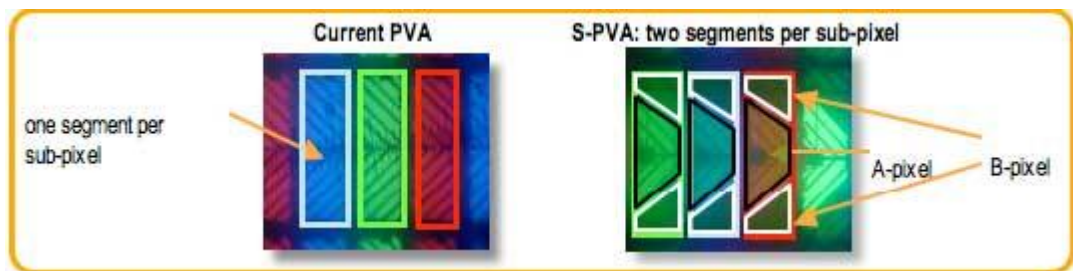
La profondità dei neri è buona ed il rapporto di contrasto è elevato, collocandosi tra 600:1 e 1000:1. Le matrici PVA sono le sole effettivamente in grado di confermare i valori di contrasto dichiarati.

La riproduzione di filmati è forse uno dei punti deboli della tecnologia PVA, specialmente nei pannelli con overdrive di Samsung, manifestando rumore ed artefatti.

Tradizionalmente, i pannelli PVA hanno una profondità di colore a 8 bit con 16,7 milioni di colori veri; ma sembra che alcuni modelli recenti operino a 6 bit con controllo della frequenza di quadro (FRC). Questa scelta qualitativamente opinabile è di natura commerciale, dettata dall'esigenza di contenere i costi di produzione.

## S-PVA

La tecnologia **Super Patterned Vertical Alignment (S-PVA)** si basa sull'introduzione dell'**overdrive Magic Speed** di Samsung, in grado di offrire tempi di risposta più rapidi rispetto alle matrici PVA tradizionali. Un'altra differenza è data dalla struttura della cella a cristalli liquidi che divide ciascun sub-pixel in due sezioni con allineamenti in direzioni opposte, migliorando gli angoli di visione e la riproduzione dei colori.



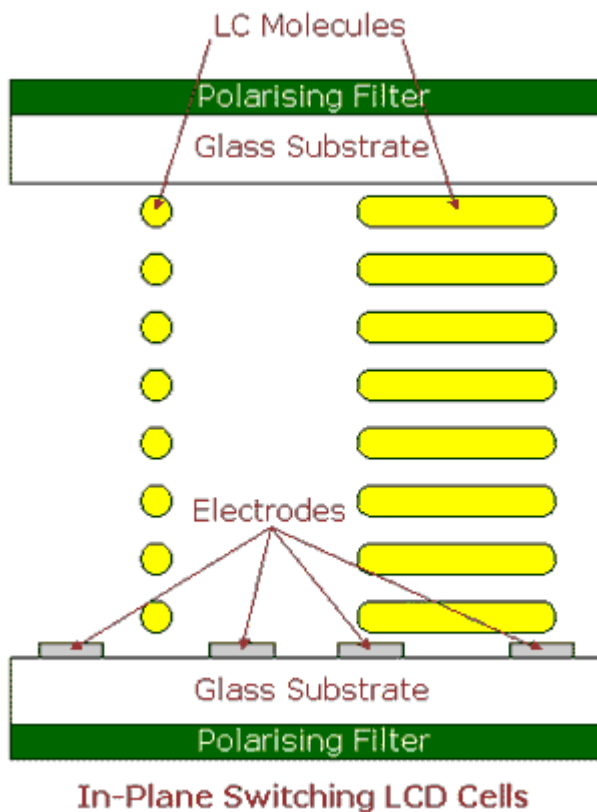
## In-Plane Switching

La tecnologia **In-Plane Switching (IPS)** è stata sviluppata da Hitachi nel 1996 per risolvere i due fondamentali problemi della matrice TN: piccolo angolo di visione e bassa qualità della riproduzione cromatica. La matrice IPS prende il nome dai cristalli liquidi nelle celle che giacciono sempre nello stesso piano, paralleli alla superficie del pannello (non tenendo conto della lieve interferenza degli elettrodi).

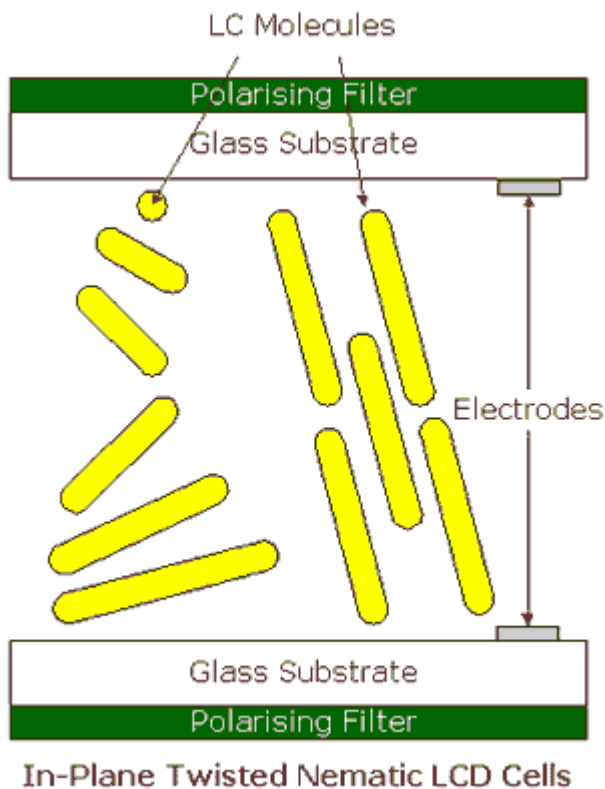
I pannelli IPS lasciano passare la luce della retroilluminazione quando sono attivati e la bloccano quando sono disattivati (tensione nulla). A differenza degli altri tipi di matrice, l'eventuale guasto di un transistor determina quindi lo spegnimento permanente del corrispondente pixel (pixel nero).

Negli altri tipi di LCD, con i due elettrodi della cella montati uno sopra l'altro su substrati separati, solo l'elettrodo inferiore è attivato dal transistor; negli LCD IPS, i due elettrodi sono installati paralleli sul substrato inferiore e quindi sono sullo stesso piano.

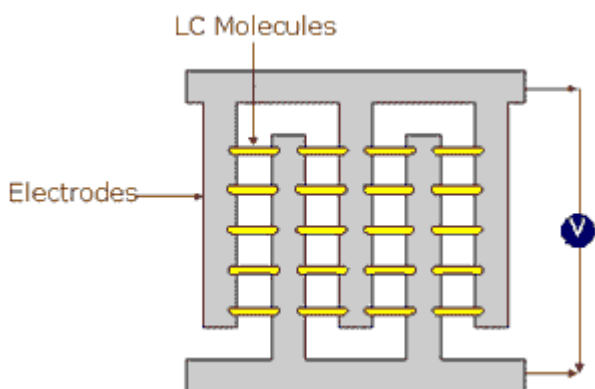




Nella posizione OFF, le molecole di cristallo liquido si dispongono parallele tra loro, ai substrati in vetro ed alla coppia di elettrodi della cella. Diversamente dagli altri tipi di matrice attiva, dove la prima molecola delle sequenze di cristalli liquidi è ancorata al substrato inferiore, tutte le molecole della matrice IPS sono svincolate dal suddetto substrato. Di conseguenza, se si mette sotto tensione una coppia di elettrodi, le molecole di cristallo liquido ruotano tutte liberamente di  $90^\circ$  per allinearsi al campo, rimanendo però parallele ai substrati.



La differenza fondamentale è che tutte le molecole rimangono parallele ai substrati, diversamente dagli altri tipi di matrice attiva dove, al crescere della distanza dall'estremità ancorata, aumenta la tendenza dei cristalli liquidi lungo la sequenza ad allinearsi al campo tra i due elettrodi, cioè perpendicolarmente ai substrati. Negli LCD tradizionali, la dipendenza dell'angolo delle molecole dalla profondità di cella determina il restringimento dell'angolo di uscita della luce e la variazione delle caratteristiche ottiche del pannello all'aumentare dell'angolo di visione (cioè le caratteristiche sono anisotrope).



La matrice IPS non evidenzia alcuna distorsione dell'immagine, se non un caratteristico difetto, non fastidioso ma che permette di distinguerla a colpo d'occhio da qualsiasi altro tipo di LCD: osservando lo schermo da

posizione decentrata, si nota che il nero tende al viola. Gli angoli di visione sono superiori a quelli dei pannelli PVA e MVA, raggiungendo valori di 176°-178° sia in orizzontale sia in verticale.



Sebbene il rapporto di contrasto degli LCD IPS sia buono, la coppia di elettrodi riduce significativamente l'apertura della cella. Si rende così necessario utilizzare una retroilluminazione più potente e conseguentemente non adatta all'alimentazione mediante batterie. Inoltre, la reattività del display è lenta, rendendolo inadatto alla riproduzione di filmati ed all'analisi per scorrimento di grandi campi di dati, come nel caso dei fogli elettronici.

Recenti sviluppi tecnologici hanno però consentito alla matrice IPS di raggiungere angoli di visione molto ampi, senza variazioni cromatiche apprezzabili, e tempi di risposta accettabili, tali da renderla adatta sia ai monitor per computer sia agli apparecchi TV . Poiché le applicazioni TV mobili richiedono ampi angoli di visione, la tecnologia IPS sta entrando anche nel settore della telefonia mobile.

#### S-IPS

La tecnologia **Super-IPS (S-IPS)** è stata messa a punto dalla joint venture LG.Philips LCD.

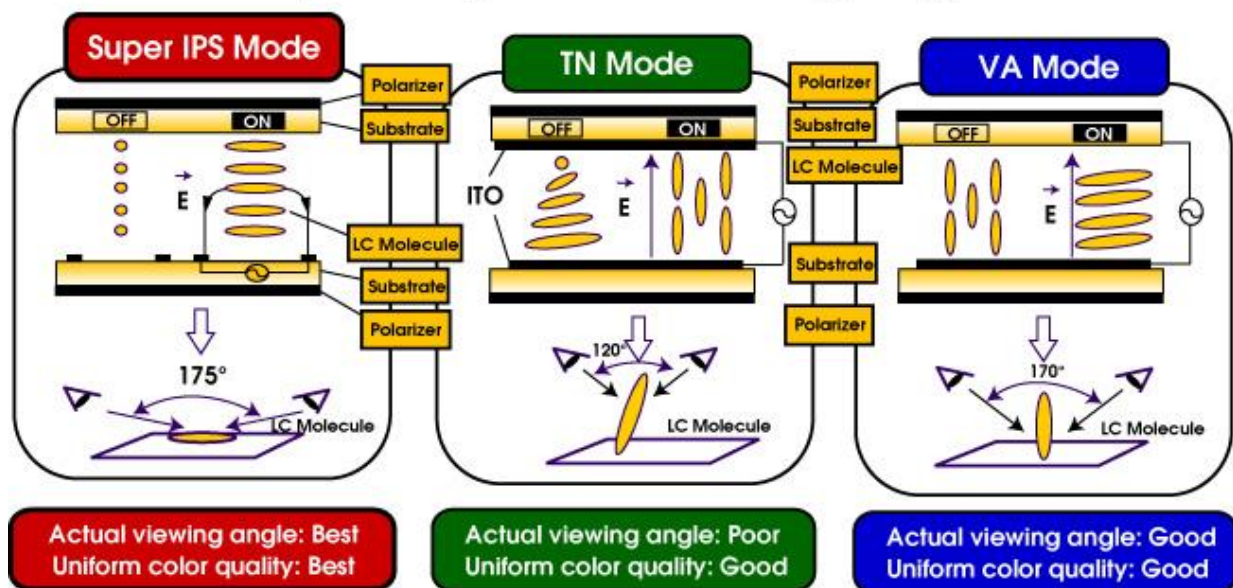
Oltre al costo elevato, uno dei principali inconvenienti della tecnologia IPS era il tempo di risposta molto lento, inizialmente pari a 60 ms per le transizioni nero-bianco-nero ed ancora maggiore per quelle grigio-grigio.

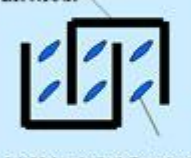

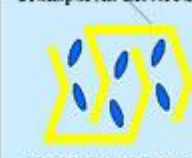





Miglioramenti tecnici successivi hanno portato il tempo di risposta a 25 ms e quindi a 16 ms. Ma è solo con l'introduzione dell'overdrive, denominato da LG.Philips **Over Driving Circuitry (ODC)**, che i pannelli IPS hanno raggiunto un'eccellente reattività, talvolta anche superiore a quella dei pannelli TN Film.

La qualità della riproduzione cromatica evidenziata dalla matrice S-IPS non ha praticamente rivali: i colori sono delicati, naturali e simili a quelli dei monitor CRT di fascia alta. Di conseguenza, quasi tutti gli LCD per uso grafico/fotografico professionale adottano questa tecnologia.

L'unico vero punto debole della tecnologia S-IPS è stato il basso rapporto di contrasto, circa 200:1 (come nella matrice TN+Film), che porta ad osservare un grigio scuro invece di un nero puro. Se questo problema non si nota in luce diurna, diventa fastidioso lavorando in un ambiente poco illuminato (per giunta accoppiato al caratteristico viraggio dal nero al violetto in caso di vision decentrata dello schermo). Fortunatamente, i pannelli più recenti presentano rapporti di contrasto migliorati, tali da porli in competizione con quelli PVA e MVA.

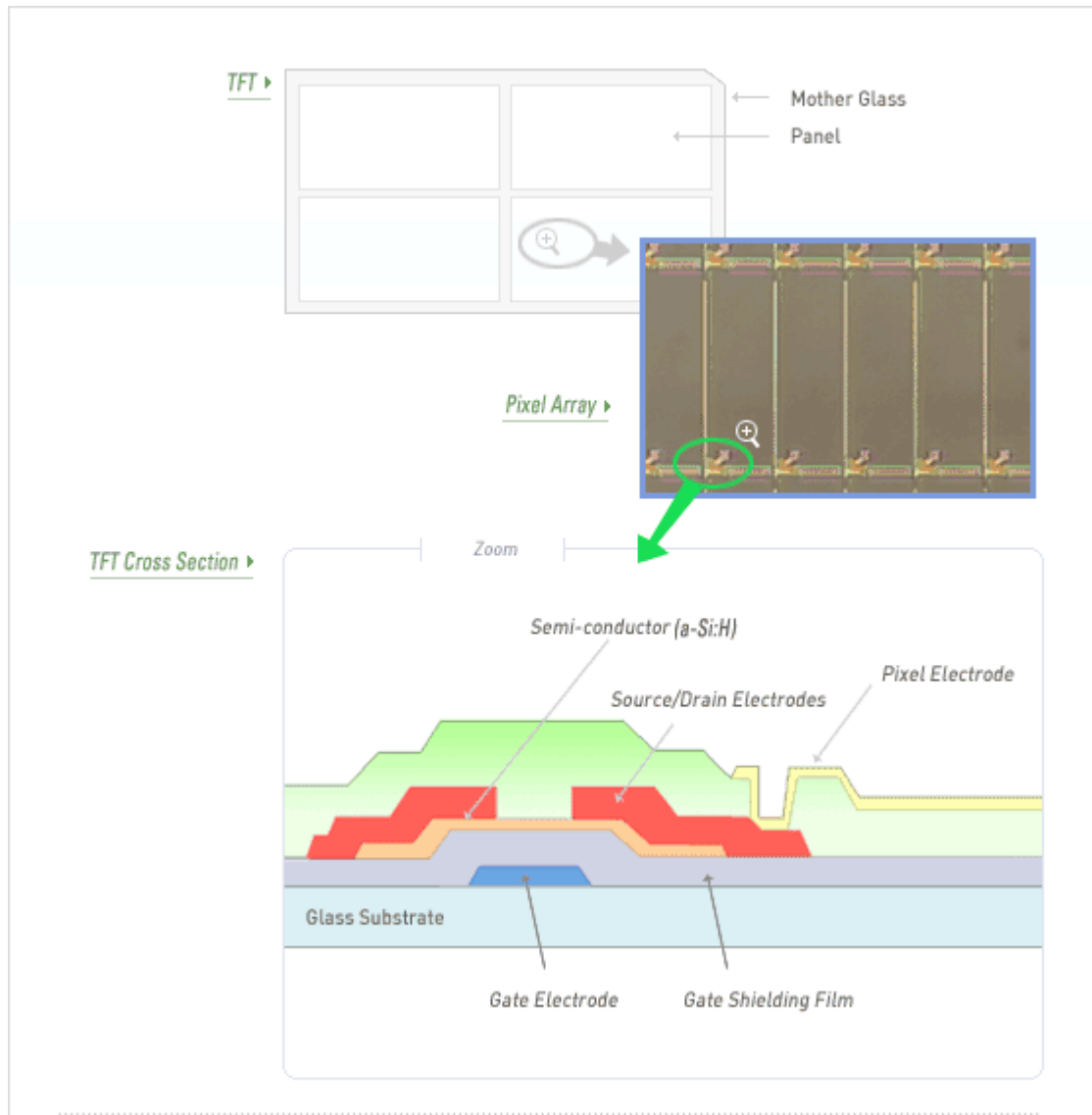
## Super IPS, wider viewing angle



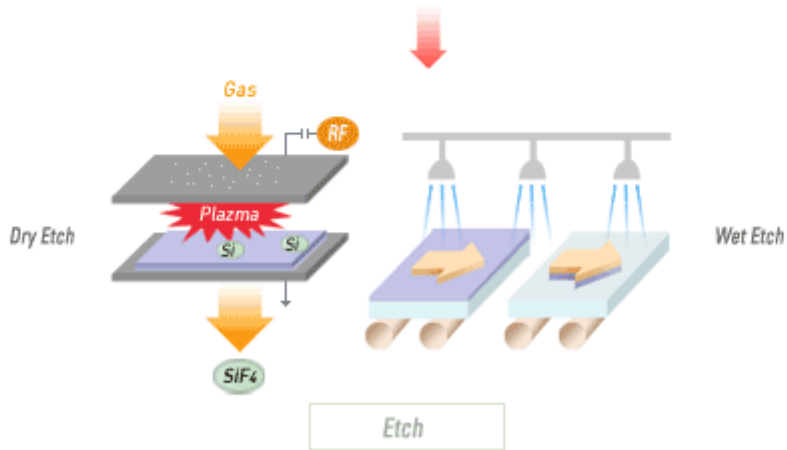
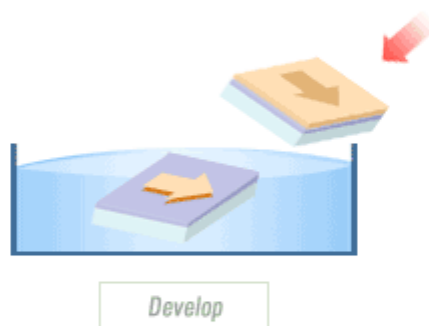
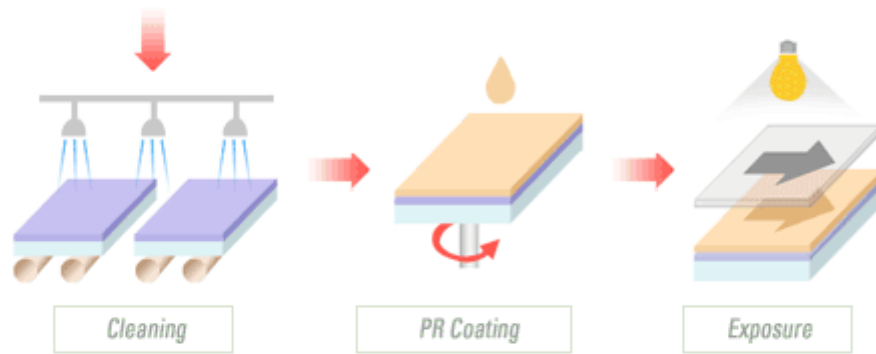
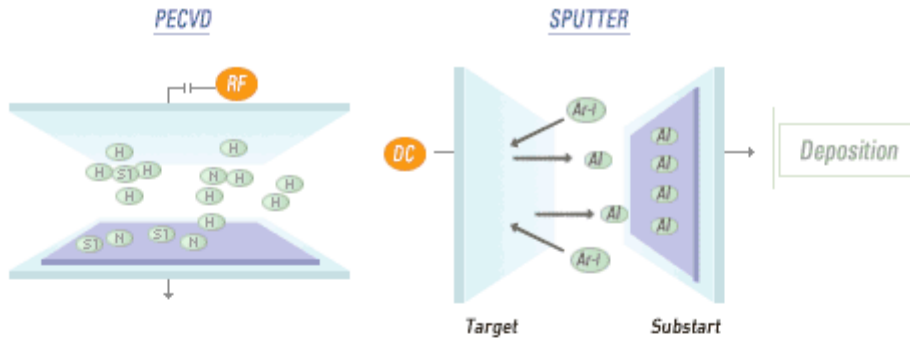
Nickname (Year)	S-TFT (1996)	S-IPS (1998)	AS-IPS (2002)	IPS-Pro (2004 -)
Advantage	Wide Viewing Angle	Color Shift Free	High Transmittance	High Contrast Ratio
Transmittance	100	100	130	156
Contrast Ratio	100	137	250	313
Plane View Electrode Structure and LC Molecule Operation	<p>Electrode</p>  <p>LC Molecule (Left Rotation) Single Domain</p>	<p>Electrode</p>  <p>LC Molecule (L/R Rotation) Two Domains</p>	<p>Transparent Electrode</p>  <p>Shield Signal Line by Common electrode</p>	<p>Transparent Electrodes</p>  <p>Inter Digital Pixel and Plane Common Electrodes</p>
Front View Photograph of a Pixel				

# Fabbricazione degli LCD TFT

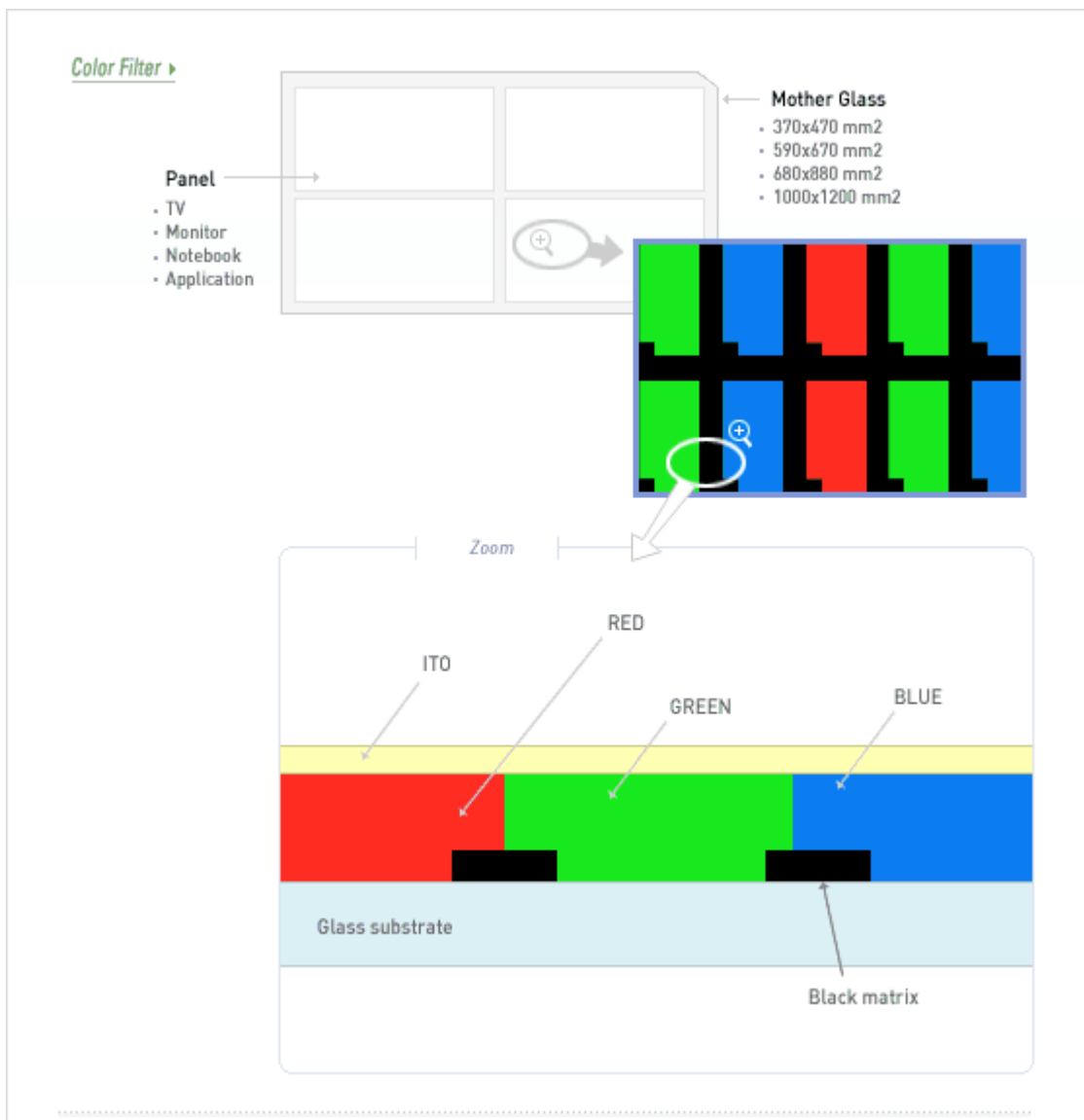
## Processo TFT



Deposition & Patterning Process

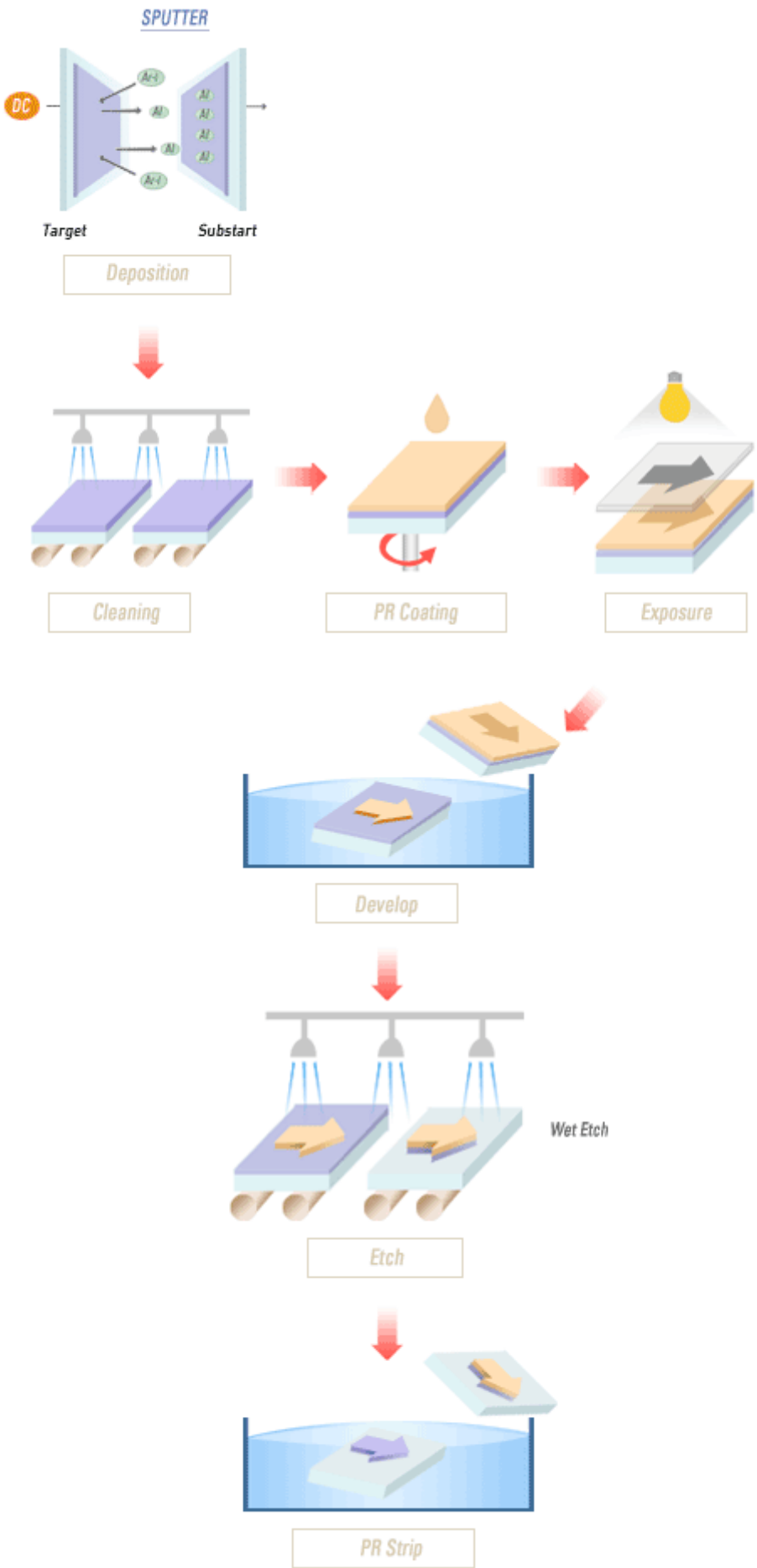


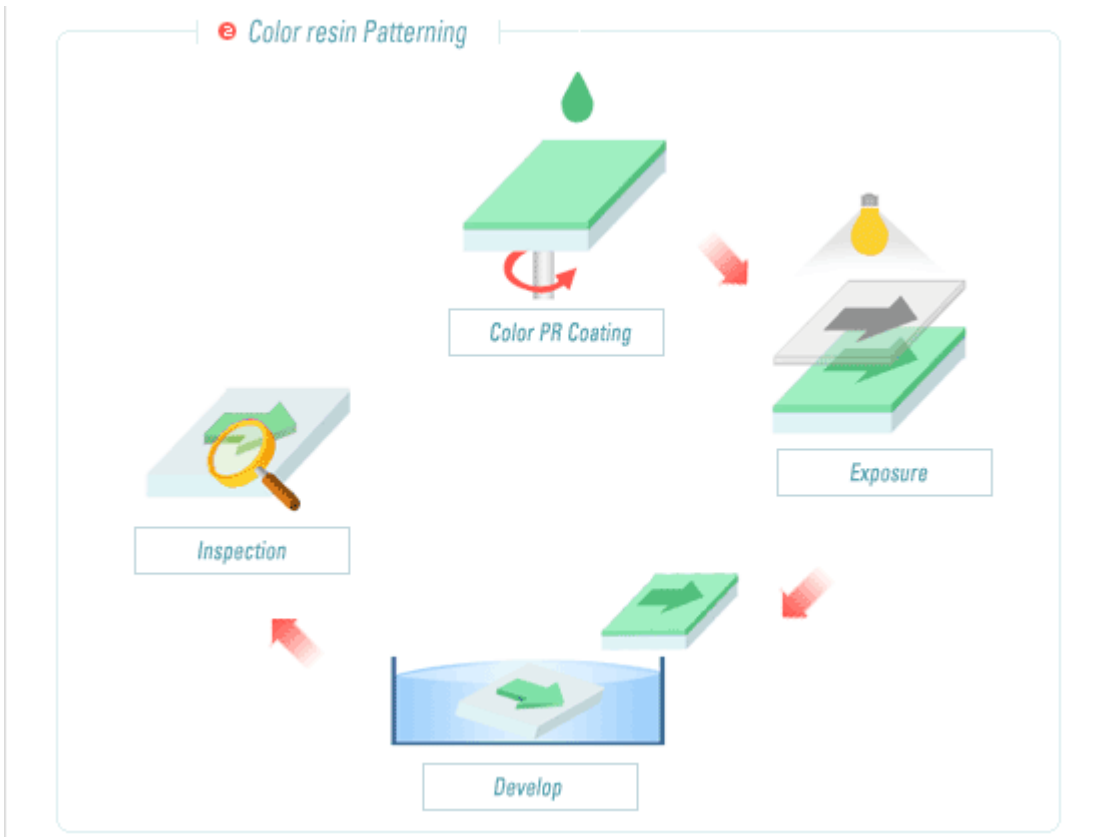
## Processo filtri a colori



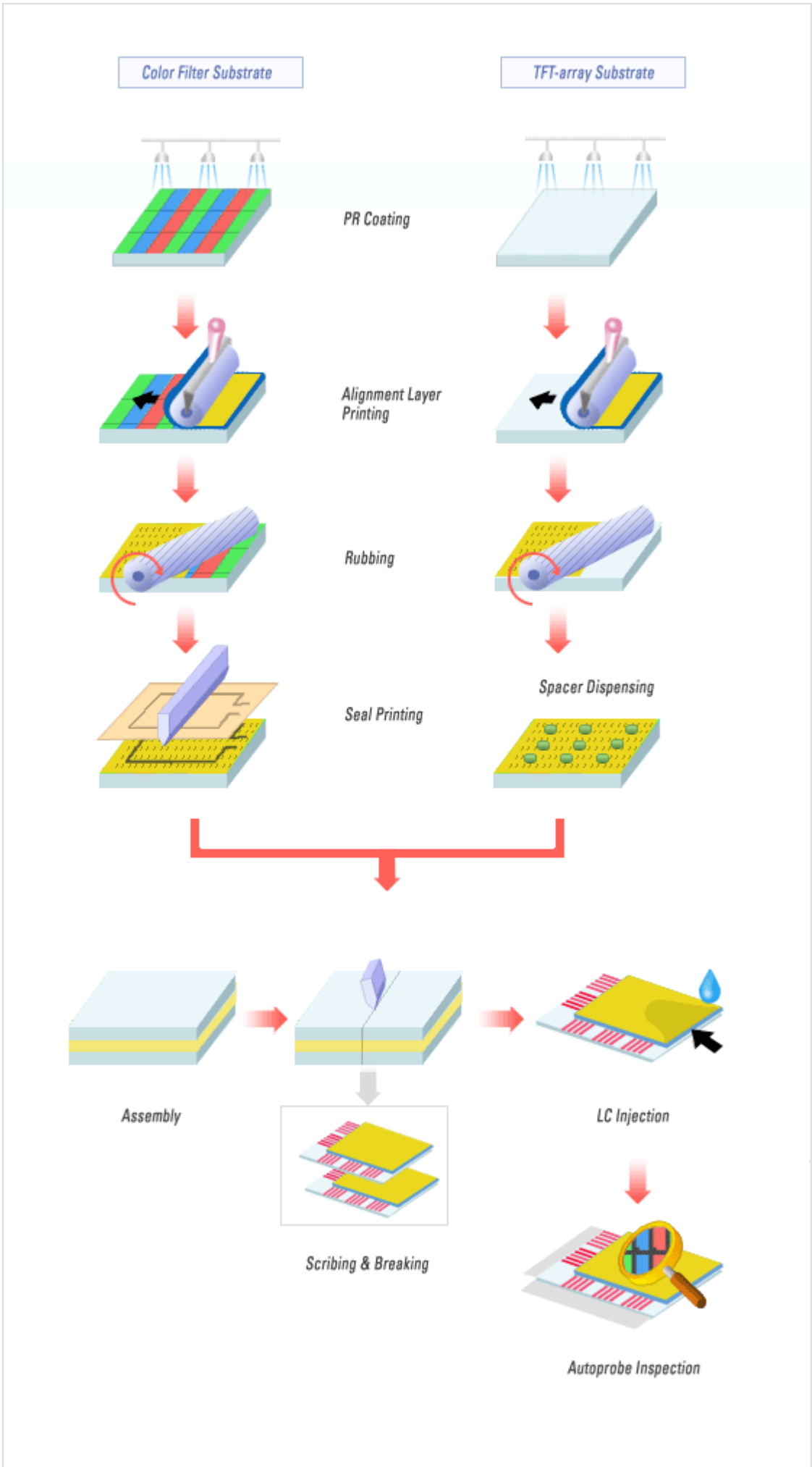


1 Black matrix Patterning

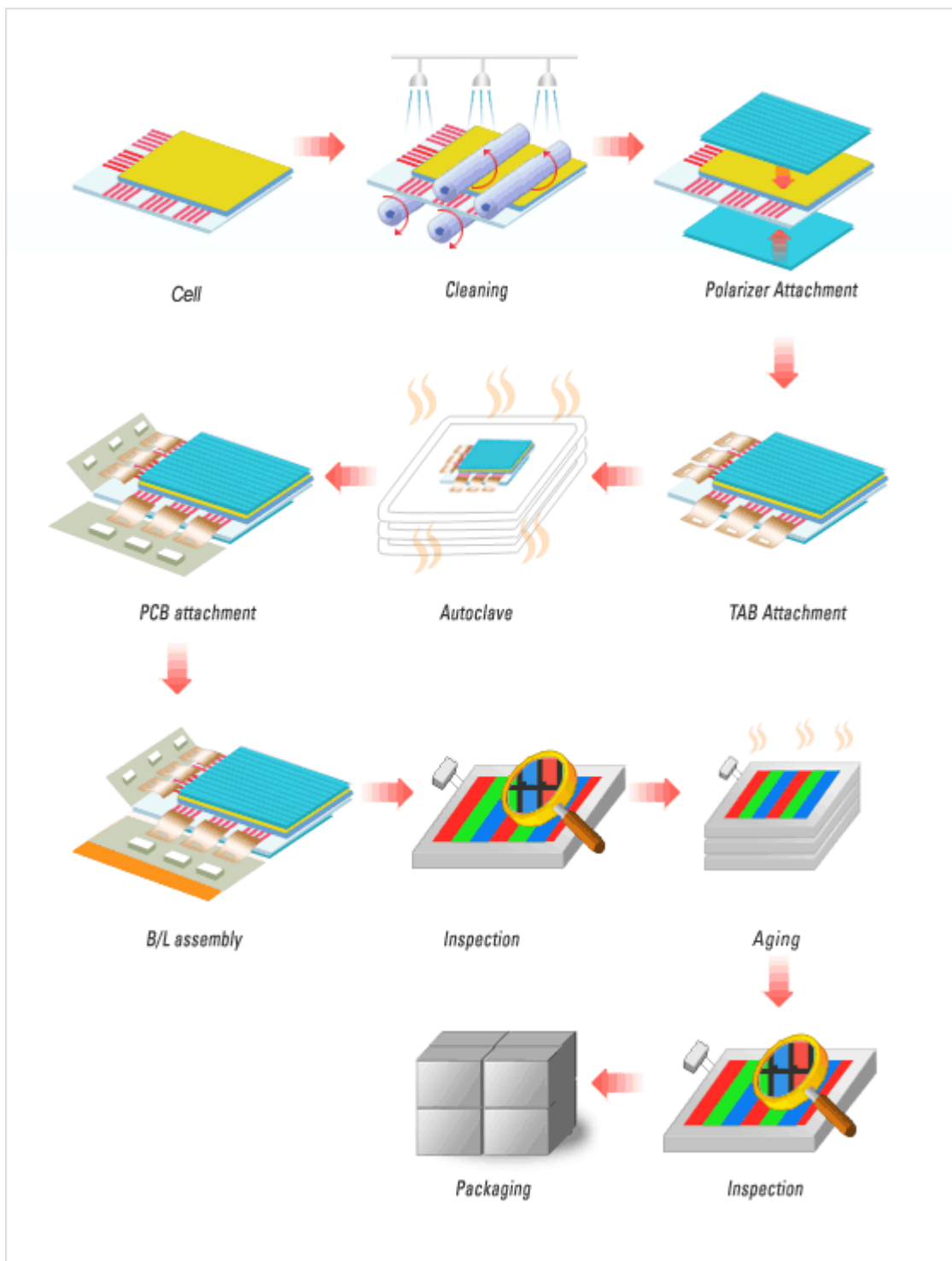




## **Processo cella**



## Processo modulo



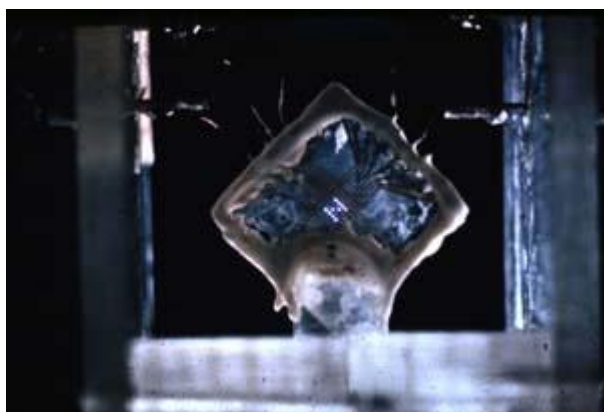
## Display al plasma

---

Lo **schermo al plasma (PDP, Plasma Display Panel)** è di tipo piatto ed è usato per apparecchi televisivi di grandi dimensioni, tipicamente con diagonale superiore a 32".

È costituito da due lastre in vetro che sigillano le celle contenenti fosfori ed una miscela di **xenon (Xe) e neon (Ne)**. Applicando un'opportuna tensione elettrica a ciascuna cella, il gas presente viene ionizzato a plasma, in grado di eccitare i fosfori ad emettere luce.

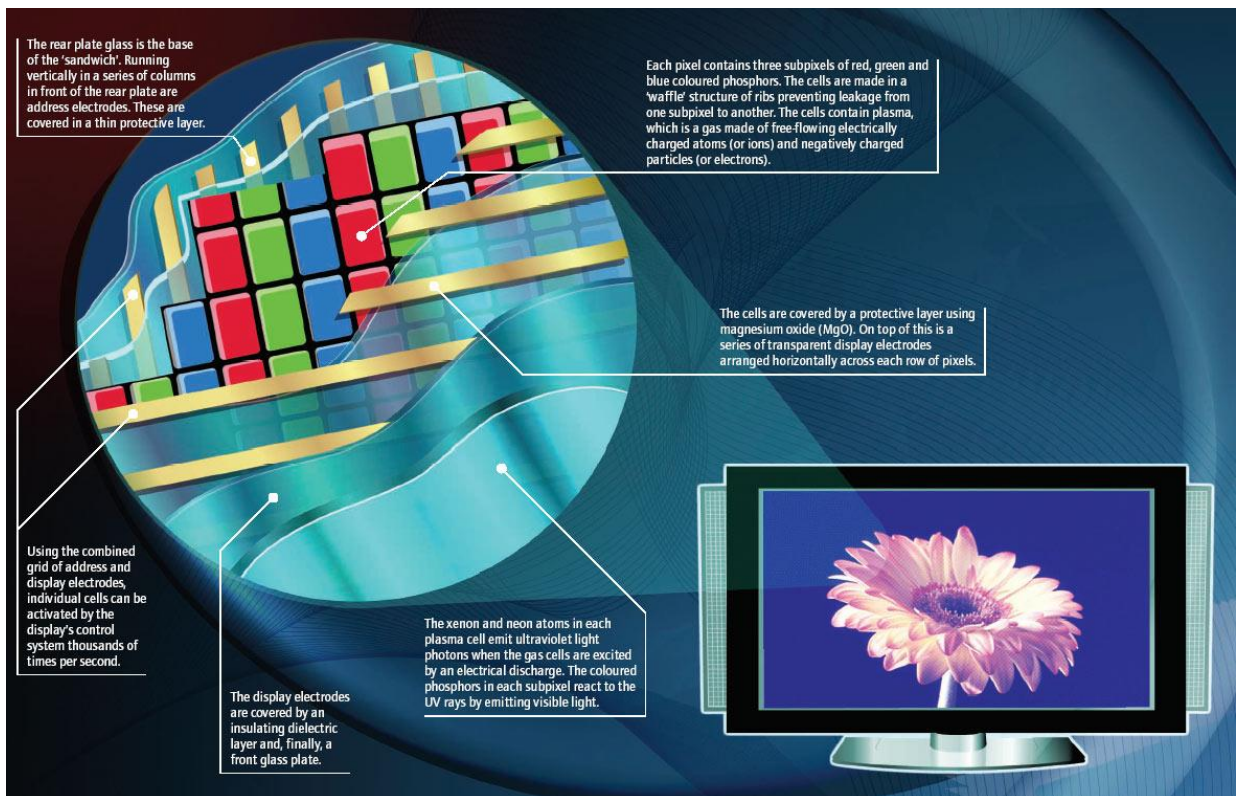
Contrariamente a quanto può sembrare, la tecnologia dei display al plasma non è recente, anche se impiegata industrialmente solo a partire dagli inizi degli anni '90 del XX secolo. Le ricerche iniziarono negli anni '60, culminando nel 1964 con la realizzazione del primo schermo da parte di Donald L. Bitzer, H. Gene Slottow e Robert Willson, presso la University of Illinois a Urbana-Champaign negli USA. Il display era costituito da una **matrice 1x1 pixel**, in grado di emettere una luce monocromatica blu; negli anni seguenti fu messa a punto una matrice 4x4 pixel.



Quindi, nel 1967, la matrice venne incrementata a 16x16 pixel ed era in grado di emettere una pallida luce monocromatica rossa grazie all'uso di neon nella miscela gassosa.



Questa tecnologia riscosse fin da subito l'interesse di società come IBM, NEC, Fujitsu e Matsushita (Panasonic), ma la mancanza di un vero e proprio mercato industriale determinò il quasi totale arresto dello sviluppo negli anni '80. Lo sviluppo della tecnologia fu portato avanti da alcuni ricercatori statunitensi e, soprattutto, dai grandi gruppi industriali giapponesi. I primi modelli commerciali comparvero sul mercato agli inizi degli anni '90 e Fujitsu fu la prima a presentare un display a colori da 21". Oggi quasi tutti i grandi produttori di apparecchi televisivi offrono schermi al plasma con diagonali comprese tra 42" e 60".



## Caratteristiche generali

Gli schermi al plasma sono luminosi (1000 lx o più), hanno un ampio gamut di colori, presentano angoli di visione analoghi a quelli dei CRT e possono essere prodotti in grandissime dimensioni, fino ad oltre 100". La profondità di nero in ambiente buio è elevatissima, creando il **nero perfetto** per guardare i filmati.

Il pannello dello schermo è spesso soltanto 6 centimetri, mentre la larghezza totale, inclusa la parte elettronica che gestisce lo schermo, è inferiore a 10 cm.

Gli schermi al plasma consumano un numero di watt per metro quadrato di superficie analogo a quello dei tubi catodici. Occorre però sottolineare che il consumo reale del display al plasma varia in funzione della luminosità da riprodurre: ad esempio, le riprese di eventi sportivi diurni, essendo molto luminose, determinano assorbimenti di potenza elettrica decisamente più elevati di film con scene prevalentemente notturne. Misure nominali indicano circa 370 W di consumo medio per uno schermo da 50".

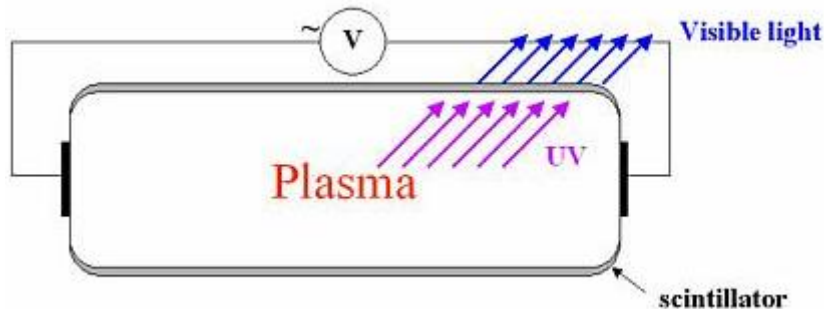
La durata degli schermi al plasma di ultima generazione è stimata in almeno 60.000 ore (pari a 27 anni per un utilizzo medio di 6 h/giorno), con punte fino ad un massimo di 100.000 ore. Più precisamente, questa è la stima di metà della vita dello schermo, cioè il momento in cui l'immagine è degradata a metà della sua luminosità originale. Successivamente, il display è ancora utilizzabile pur se viene considerato al termine della sua vita funzionale.

Il vantaggio principale di questa tecnologia è la possibilità di produrre display molto grandi utilizzando materiali molto sottili. Poiché ciascun pixel viene acceso individualmente, l'immagine è molto luminosa ed ha un ampio angolo visibile.



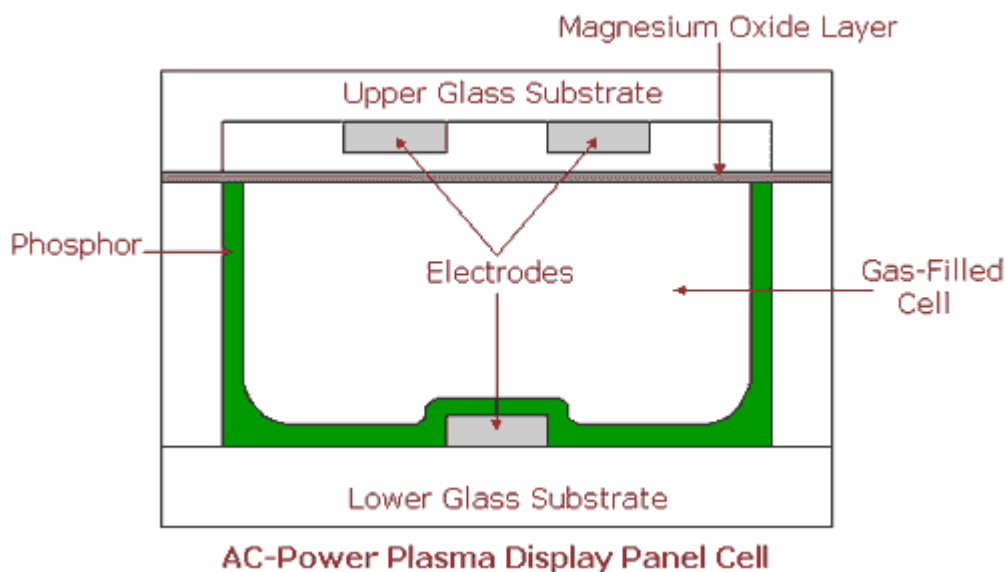
## Struttura e funzionamento

La tecnologia del display al plasma è stata sviluppata partendo dal principio di funzionamento della lampada fluorescente.



Nella lampada fluorescente, un campo elettrico attraversa il gas a bassa pressione presente nel tubo in vetro, inducendo il gas a ionizzarsi ed a passare allo stato di plasma (un mezzo elettricamente conduttore contenente un numero all'incirca uguale di particelle positive e negative) con emissione di radiazione ultravioletta. I fosfori che rivestono la superficie interna del tubo assorbono questa radiazione incidente ed utilizzano la sua energia per emettere luce visibile.

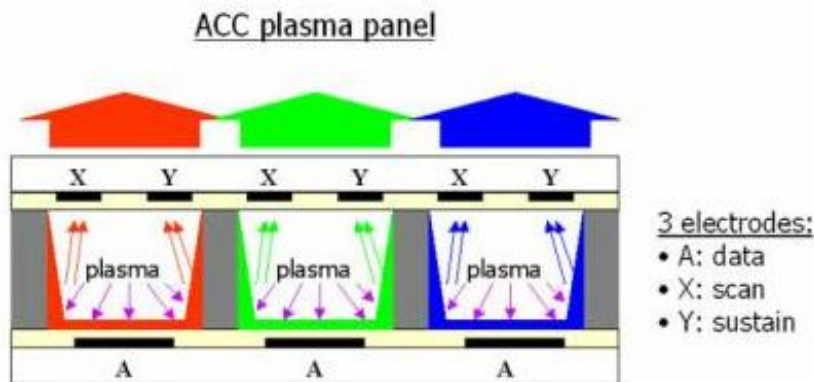
È possibile seguire diversi schemi progettuali per produrre display al plasma. Attualmente, quello utilizzato è il tipo a **scarica laterale** alimentata in corrente alternata (CA), messo a punto da Fujitsu nel 1984.



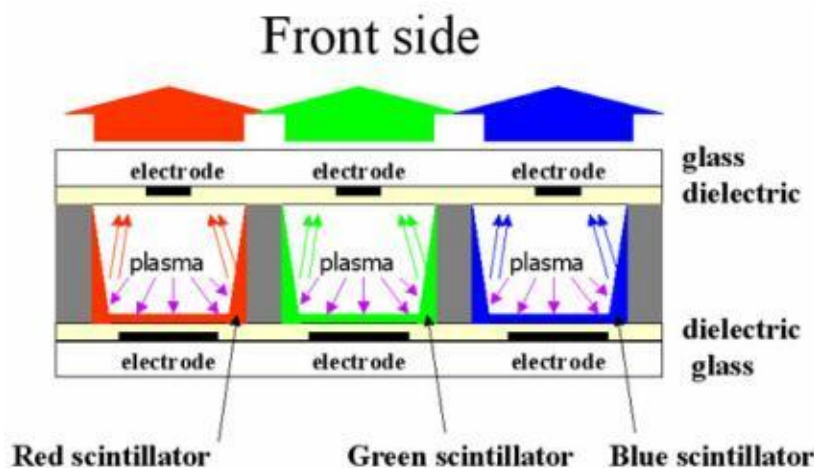
Analogamente al tubo fluorescente, questo tipo di PDP richiede inizialmente una tensione elevata per indurre il gas (solitamente una miscela di xenon e neon) a cambiare di stato e successivamente una tensione minima per



mantenere la reazione. A questo scopo, oltre all'elettrodo di indirizzamento dietro la cella, due elettrodi trasparenti, circondati da materiale dielettrico isolante e ricoperti da uno strato protettivo in ossido di magnesio (MgO), sono inseriti nella lastra in vetro superiore: uno per avviare la scarica e l'altro per mantenerla attiva.

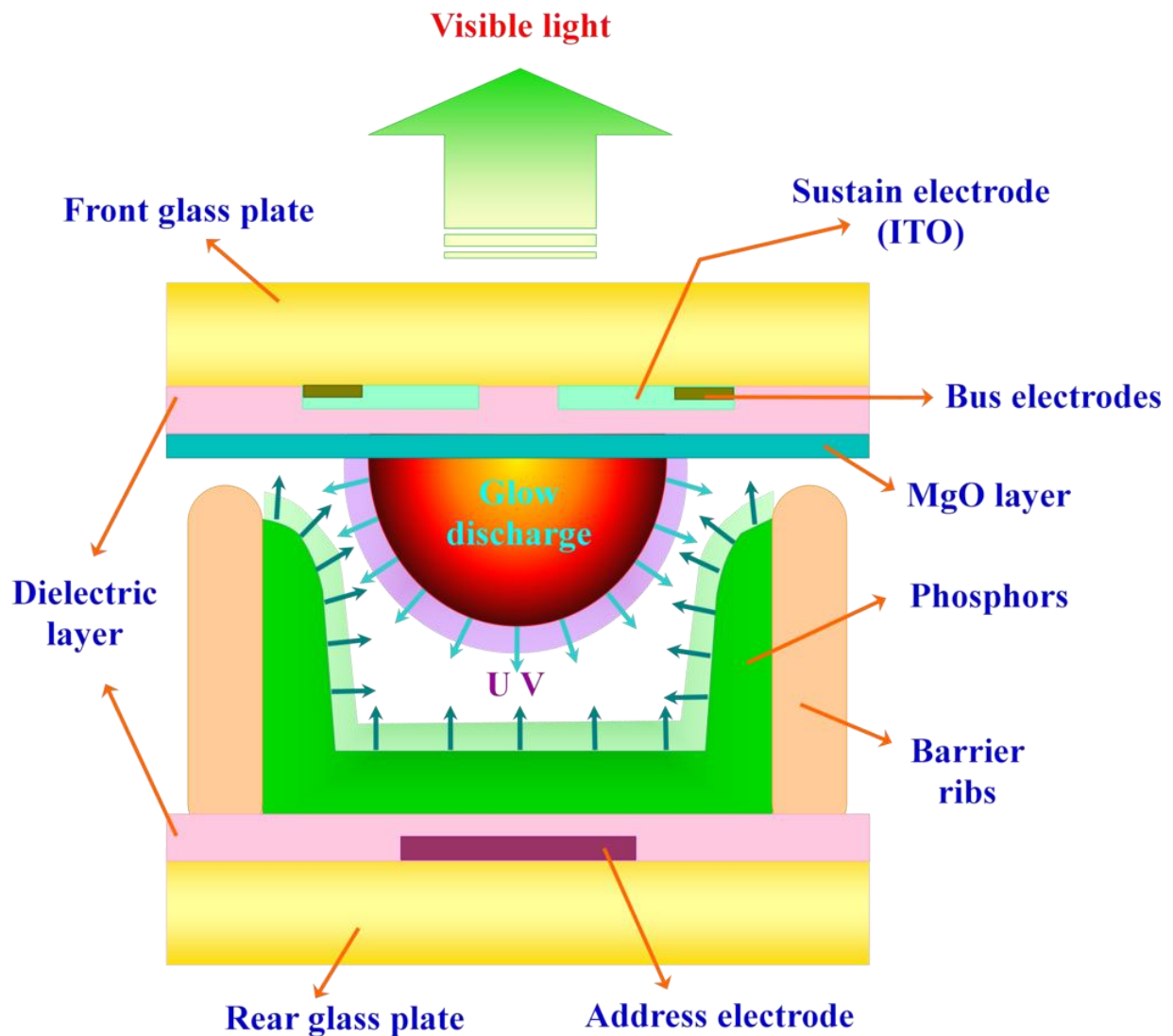


L'altro schema prevede l'alimentazione in corrente continua (CC), come negli LCD, richiede due soli elettrodi: uno sopra e l'altro sotto ciascuna cella. Tuttavia, il PDP alimentato in corrente continua richiede una tensione di esercizio più alta rispetto a quello alimentato in corrente alternata, ha una vita utile più breve, un angolo di visione più stretto ed un contrasto più basso. Di conseguenza nessun PDP attualmente in commercio utilizza questo schema, pur continuando ad essere oggetto di sviluppo.

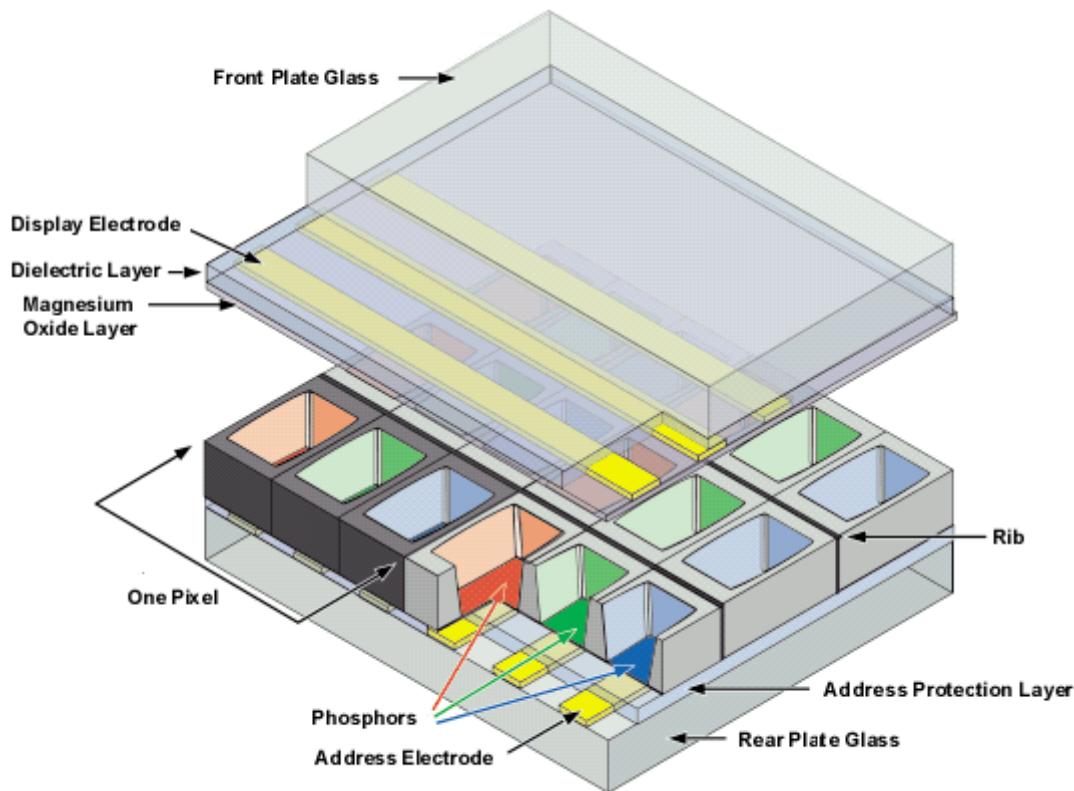


L'elettronica di controllo carica gli elettrodi della cella, creando una differenza di potenziale tra i lati anteriore e posteriore che provoca la ionizzazione del gas e la formazione di plasma, con emissione di fotoni ultravioletti. Ad eccezione della superficie anteriore, la cella è rivestita

internamente da fosfori che, eccitati dagli UV del plasma, emettono fotoni nello spettro visibile.



Nei display a colori, ciascun pixel è costituito da tre sottocelle distinte, ognuna con uno specifico tipo di fosforo: la prima ha il fosforo per la luce rossa, la seconda quello per la luce verde e la terza quello per la luce blu. Questi colori si uniscono assieme per creare il colore totale del pixel, analogamente ai CRT. Variando gli impulsi di corrente che scorrono attraverso le diverse celle dello schermo migliaia di volte al secondo, l'elettronica di controllo può aumentare o diminuire l'intensità cromatica di ciascuna sottocella per creare miliardi di diverse combinazioni di verde, rosso e blu: è così possibile riprodurre la maggior parte dei colori visibili. I display al plasma usano gli stessi fosfori dei CRT, il che porta ad una riproduzione dei colori estremamente accurata.

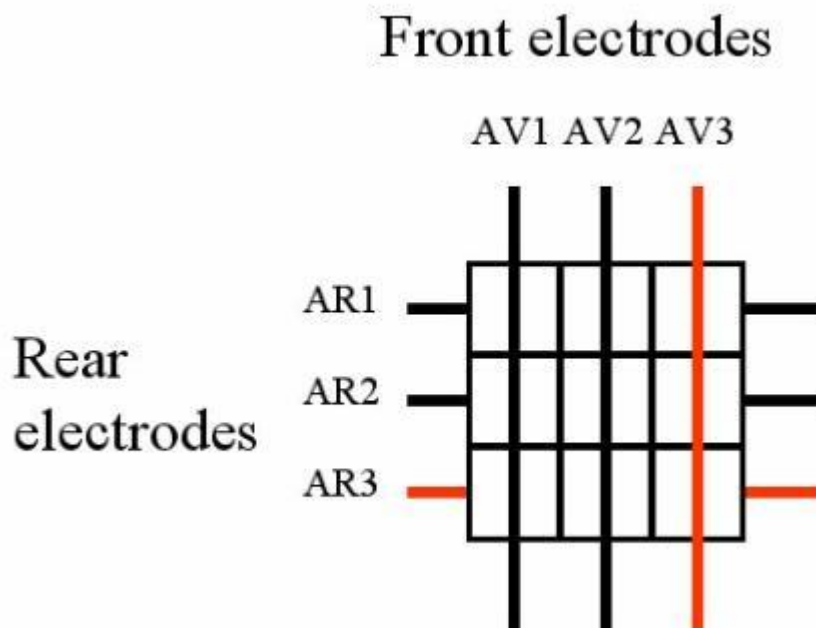


Mentre il funzionamento dei pixel del plasma è simile a quello dei tubi catodici, la fabbricazione di interi pannelli di pixel implica qualche problema tecnico. La prima difficoltà che incontrano i produttori di schermi al plasma riguarda le dimensioni dei singoli pixel: un sub-pixel (la sottocella) ha un volume pari a  **$200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$** . Inoltre, gli elettrodi frontali devono avere la massima trasparenza possibile. Grazie alle sue caratteristiche di conduttore e di trasparenza, la scelta del conduttore ricade molto spesso sull'**ossido di indio e stagno (ITO, Indium Tin Oxide)**, una miscela costituita per il 90% da  $\text{In}_2\text{O}_3$  e per il 10% da  $\text{SnO}_2$ . Sfortunatamente gli schermi al plasma possono essere talmente larghi e lo strato di ITO così sottile, che la resistenza elettrica del materiale diventa troppo alta per assicurare una buona propagazione della tensione (circa 300 V). Per risolvere questo problema si aggiunge uno strato sottile di cromo, migliore conduttore ma purtroppo opaco.

I fosfori, chiamati anche **scintillatori o luminofori**, che vengono impiegati nei pixel degli schermi al plasma dipendono dal colore desiderato:

Fosfori per schermi al plasma		
Colore	Composizione fosforo	Emissione
<b>R</b>	$Y_2O_3:Eu^{3+} / Y_{0,65}Gd_{0,35}BO_3:Eu^{3+}$	610 nm
<b>G</b>	$Zn_2SiO_4:Mn^{2+} / BaAl_{12}O_{19}:Mn^{2+}$	510-525 nm
<b>B</b>	$BaMgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$	450 nm

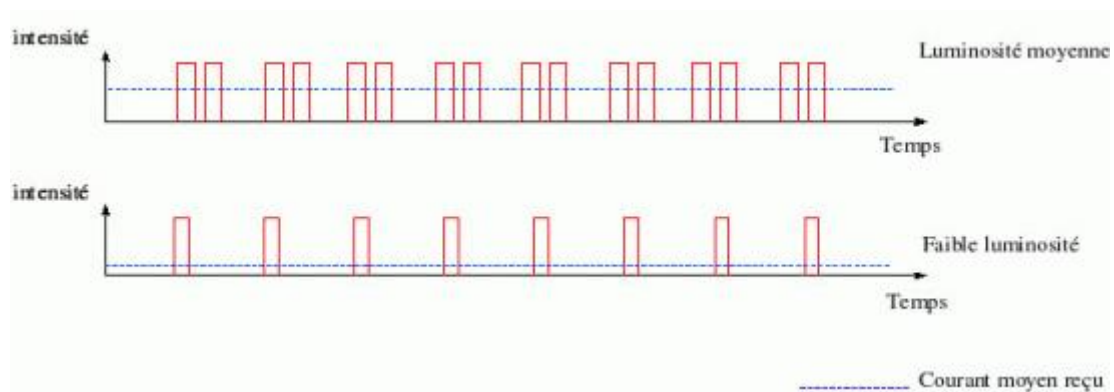
L'ultimo problema rimasto riguarda il modo in cui indirizzare i pixel, in quanto l'ottenimento delle diverse sfumature di colore richiede che l'intensità luminosa emessa dai sub-pixel possa variare indipendentemente dai pixel confinanti.



Ad esempio, uno schermo al plasma con matrice da 1280 x 768 pixel è costituito da circa tre milioni di sub-pixel con nove milioni di elettrodi. Poiché è impossibile tracciare nove milioni di linee per controllare il singolo sub-pixel, le linee di elettrodi sono multiplexate: quelle frontali sono in comune per un'intera riga, mentre ognuna di quelle posteriori collega una colonna di elettrodi. L'elettronica di controllo determina in sequenza quali pixel dovranno essere accesi sullo schermo. Questa operazione viene eseguita molto velocemente, tanto da essere completamente invisibile all'utente; accade qualcosa di simile alla scansione dei monitor CRT.

Per quanto riguarda la qualità dell'immagine, ci sono ancora problemi essenzialmente legati alla natura dei pixel stessi. Dato che ogni singola cella ha bisogno di scariche elettriche per generare luce, può essere accesa

o spenta, ma non ha uno stato intermedio. Per controllarne la luminosità, i produttori devono fare ricorso alla **modulazione a codice di impulso (PCM, Pulse-Code Modulation)**.

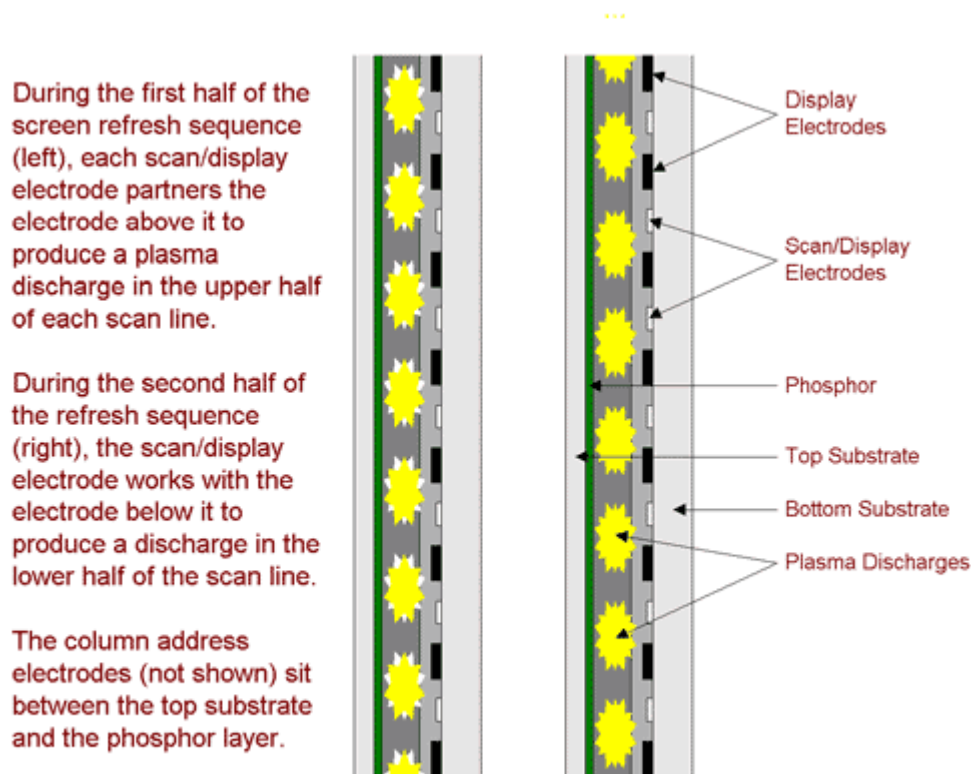


Il metodo in realtà è semplice: per rendere più brillante un pixel dell'immagine, si accende più frequentemente la corrispondente cella durante ciascun quadro. Al contrario, per ottenere un'immagine più scura, la si accende meno frequentemente. Questi effetti non vengono notati dall'occhio umano, in quanto percepisce la media temporanea dei tempi di accensione. Il metodo è quindi funzionale, ma comporta diversi problemi, il più significativo dei quali è la ridotta quantificazione dei colori meno luminosi, rendendo così più difficile la distinzione tra due tonalità scure.



Nel 1998, Fujitsu ha presentato un'evoluzione della tecnologia di scarica a tre elettrodi, denominata **Alternate Lighting of Surfaces (ALiS)**. In

questo schema, i due substrati in vetro sono separati solo da elementi distanziatori, con gli elettrodi equidistanti ed attivati alternativamente a semiquadri alterni: in pratica, è possibile indirizzare ciascuna metà della cella in modo indipendente, raddoppiando di fatto la definizione verticale.



**Vertical section through Fujitsu ALiS plasma display panel.**

Inoltre, i display ALiS risulterebbero più luminosi, affidabili e durevoli dei PDP convenzionali.

### **Rapporto di contrasto**

Il rapporto di contrasto è un valore intrinseco del display, seppur dipendente da fattori esterni come calibrazione e luminosità ambientale, e si ottiene misurando il rapporto fra la parte più luminosa e quella più buia dell'immagine cioè il bianco ed il nero. Generalmente, valori elevati indicano una immagine più realistica, in quanto sintomatica di una probabile capacità dello schermo di mostrare un alto numero di passi discreti di gradazioni (incrementi di densità). I rapporti di contrasto per gli schermi al plasma sono pubblicizzati come piuttosto alti, intorno a 10.000:1, con un margine significativo nei confronti delle altre tecnologie di visualizzazione.

Non esistendo standard industriali per misurare il rapporto di contrasto, la maggior parte dei produttori adotta quello che garantisce valori più elevati,

lo **standard VESA** (chiamato anche ON/OFF), che consiste nella visualizzazione di un'immagine totalmente nera, seguita da una totalmente bianca. Meno usato è invece lo **standard ANSI** che, utilizzando un'immagine di test a scacchiera dove i neri più scuri ed i bianchi più chiari sono misurati simultaneamente, restituisce valori di contrasto più limitati, difficilmente superiori a 600:1. Le due misurazioni possono essere considerate complementari, in quanto rappresentative di situazioni agli antipodi: la VESA è troppo ottimistica, rappresentando uno scenario visivo praticamente mai verificabile, mentre la ANSI è più vicina a quello che può essere definito come lo scenario visivo peggiore. Frequenti anche i casi in cui i produttori migliorano ulteriormente, ma artificialmente, il rapporto di contrasto intervenendo sui settaggi di luminosità e contrasto. Tuttavia, un rapporto di contrasto generato in questo modo è fuorviante dato che, a causa dei settaggi alterati, le immagini risultano praticamente inguardabili. La tecnologia alla base degli schermi al plasma favorisce comunque alti rapporti di contrasto. Infatti, analogamente ai CRT, gli schermi al plasma possono ottenere un nero pressoché pieno spegnendo i singoli pixel, sebbene questa situazione in pratica non si verifichi mai essendo le celle tenute sempre sotto tensione e pronte all'uso. Questo contrasta con la tecnologia LCD, dove i punti neri, generati mediante polarizzazione della luce, non sono in grado di bloccare completamente la luce proveniente dalla retroilluminazione.

Tuttavia, la tecnologia al plasma presenta anche punti deboli. Innanzitutto, il funzionamento dello schermo al plasma alla massima luminosità ne riduce significativamente la vita utile. Per questo motivo, è pratica piuttosto diffusa impostare il settaggio della luminosità decisamente sotto il valore massimo, il che comunque garantisce una luminosità superiore a quella degli schermi a tubo catodico. Infine, lo schermo al plasma si trova in difficoltà nelle immagini dove siano presenti molte zone chiare, poiché le celle corrispondenti necessitano di molta energia e finiscono per influenzare la luminosità generale del pannello, che cala leggermente.

### **Burn-in**

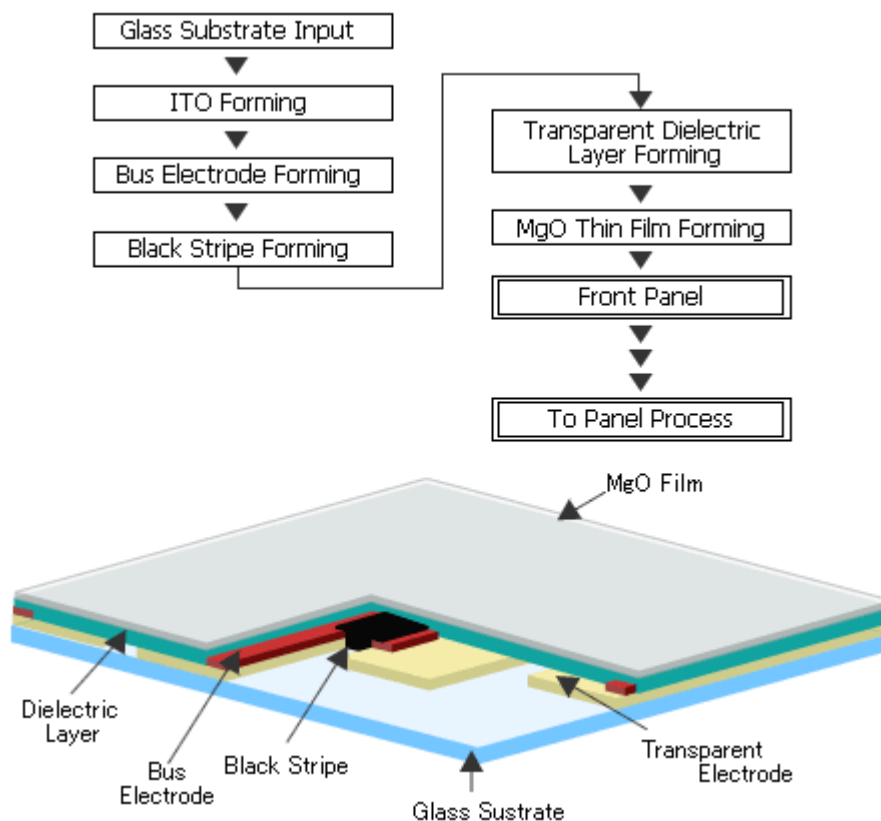
Con schermi elettronici basati sui fosfori (compresi quindi quelli a raggi catodici ed al plasma), la visualizzazione prolungata nel tempo di una barra di menu od altri elementi grafici può creare immagini fantasma di questi oggetti. Questo a causa del fatto che i componenti dei fosfori che emettono luce perdono la loro luminosità con l'uso. Come risultato, quando alcune aree dello schermo vengono usate più di frequente di altre, nel tempo le aree che hanno perso luminosità diventano visibili ad occhio nudo, creando l'effetto chiamato **burn-in**. Mentre l'immagine fantasma è l'effetto più

evidente, quello più comune è la perdita progressiva e continua di qualità dell'immagine accompagnata da variazioni di luminosità, creando un **effetto fango** nell'immagine visualizzata.

Gli schermi al plasma esibiscono anche un altro tipo di alterazione dell'immagine, a volte confuso con il danno da burn-in: quando un gruppo di pixel viene acceso e mantenuto ad alta luminosità (ad esempio, per visualizzare il bianco) per un lungo periodo, si genera una carica nella struttura dei pixel e diventa visibile un'immagine fantasma. Tuttavia, a differenza del burn-in, questa carica è transitoria e scompare spegnendo lo schermo per un periodo sufficientemente lungo o dopo aver visualizzato immagini casuali.

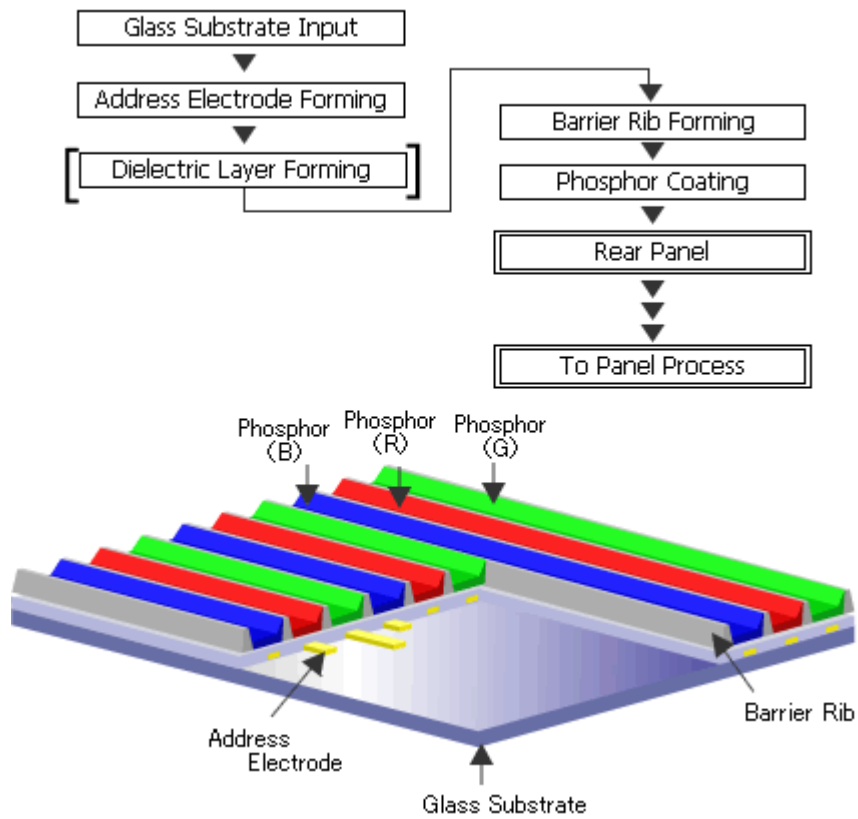
## Fabbricazione dei PDP

### Processo lastra anteriore

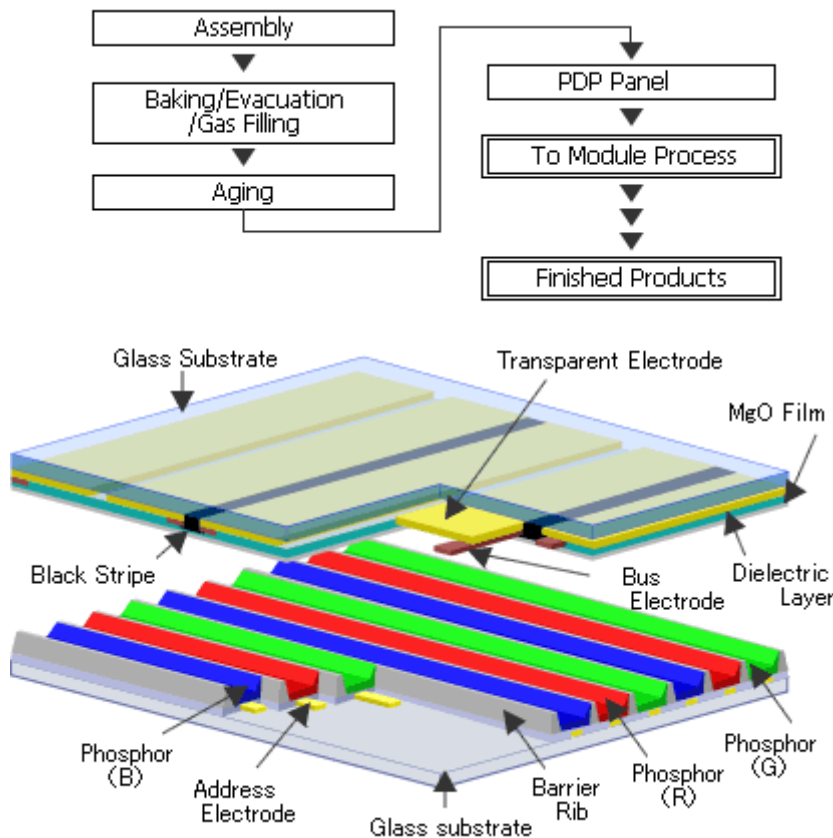




## Processo lastra posteriore



## Processo assemblaggio



## OLED

Il **diodo organico ad emissione di luce (OLED, Organic Light Emitting Diode)** è il componente base per la realizzazione di display a colori con la capacità di emettere luce propria. Infatti, a differenza degli LCD, i display OLED non richiedono componenti aggiuntivi per essere illuminati; questo permette di realizzare schermi molto sottili, addirittura pieghevoli e arrotolabili, e che richiedono minori quantità di energia per funzionare.

A causa della natura monopolare degli strati di materiale organico, i display OLED conducono corrente solo in una direzione, comportandosi quindi in modo analogo ad un diodo, da cui il nome.

Benché la proprietà di elettroluminescenza posseduta da alcuni elementi organici sia nota da lungo tempo, i primi tipi di display OLED non andarono mai oltre lo stadio di prototipo, in quanto richiedevano tensioni di alimentazione troppo alte (oltre 100 V) per risultare utili nelle applicazioni pratiche. Successivamente, furono sviluppate con successo sottili pellicole

di materiale organico elettroluminescente, le cui piccole dimensioni permettevano l'alimentazione tramite tensioni più modeste.

I primi modelli di display basati su questa tecnologia erano strutturalmente molto semplici: una pellicola di sostanza organica era posta tra due elettrodi (anodo e catodo) ed applicando una tensione ai due elettrodi, il passaggio di corrente nello strato organico ne causava l'emissione luminosa.

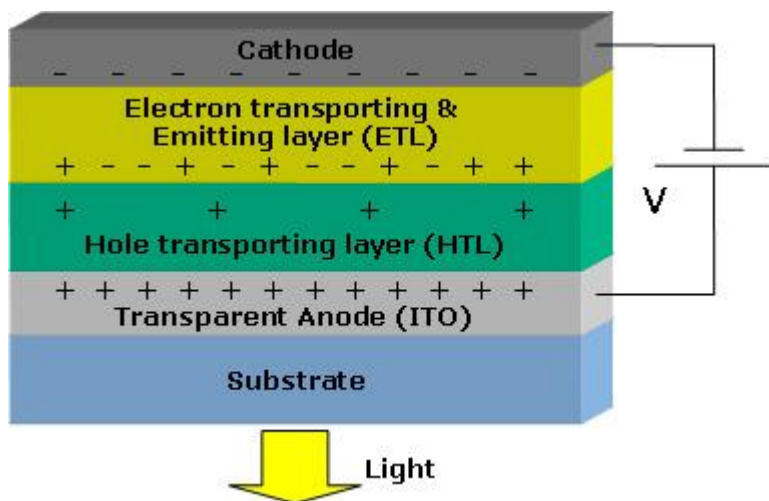
Tuttavia, questo tipo di elettrodi non era molto pratico, in quanto richiedeva, per funzionare, un'estrema precisione in fase di produzione; un allineamento non perfetto, infatti, causava grandi perdite di energia e conseguente inefficienza del display.

I primi display OLED efficienti ed a bassa tensione furono presentati nel 1987 da Ching Tang e Steve Van Slyke e comprendevano due strati organici: uno predisposto per ricevere lacune, l'altro per ricevere elettroni; grazie a successivi miglioramenti apportati a questa struttura, fu possibile costruire display ad alta luminosità alimentati da basse tensioni (circa 10 V).

Attualmente, sono disponibili materiali organici che emettono luce rossa, verde, blu e bianca e che consentono diversi approcci alla produzione di display a colori, con un tempo di risposta estremamente rapido (inferiore ad 1 ms). Inoltre, i display OLED sono caratterizzati da ampi angoli di visione, peso contenuto e costruzione relativamente semplice, rappresentando così la più promettente innovazione tecnologica nel settore degli schermi piatti (**FPD, Flat Panel Display**).

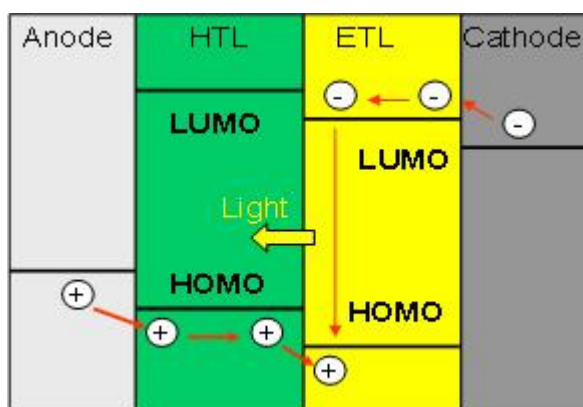
### **Struttura e funzionamento**

Un tipico OLED è costituito da due strati organici (strati per il trasporto di elettroni e lacune), posti tra due elettrodi. Normalmente, l'elettrodo posteriore è uno specchio metallico ad alta riflettanza e quello anteriore è uno strato trasparente di ITO su substrato in vetro.



Nonostante la molteplicità di strati, lo spessore totale, senza considerare lo strato trasparente, è di circa 300 nm.

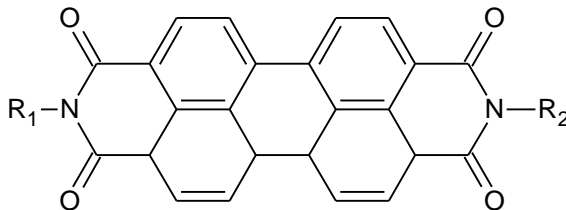
Quando si applica una tensione agli elettrodi, le cariche iniziano a spostarsi sotto l'influenza del campo elettrico. Gli elettroni e le lacune si muovono in direzioni contrapposte lasciando rispettivamente il catodo e l'anodo. La ricombinazione di un elettrone e di una lacuna genera un fotone avente una frequenza che dipende dalla differenza di energia tra i livelli LUMO e HOMO della molecola emissiva ( $f = \Delta E/h$ ).



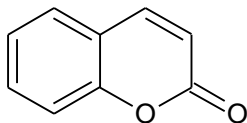
Il materiale organico può essere un polimero conduttivo elettroluminescente simile alla plastica, ed in questo caso si parla più correttamente di **POLED (Polymer Organic LED)**, o un composto organico non polimerico di peso molecolare relativamente basso (un elemento viene definito organico in quanto contenente una struttura costituita prevalentemente da carbonio).

Normalmente, gli strati organici emettono solo luce bianca, ma il drogaggio con composti elettrofosforescenti li mette in grado di generare luce colorata:

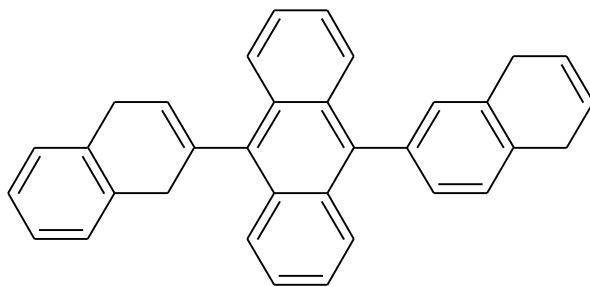
- luce rossa, drogante fluorescente a base di **perilene dicarbossammide**:



- luce verde, drogante fluorescente a base di **cumarina**:



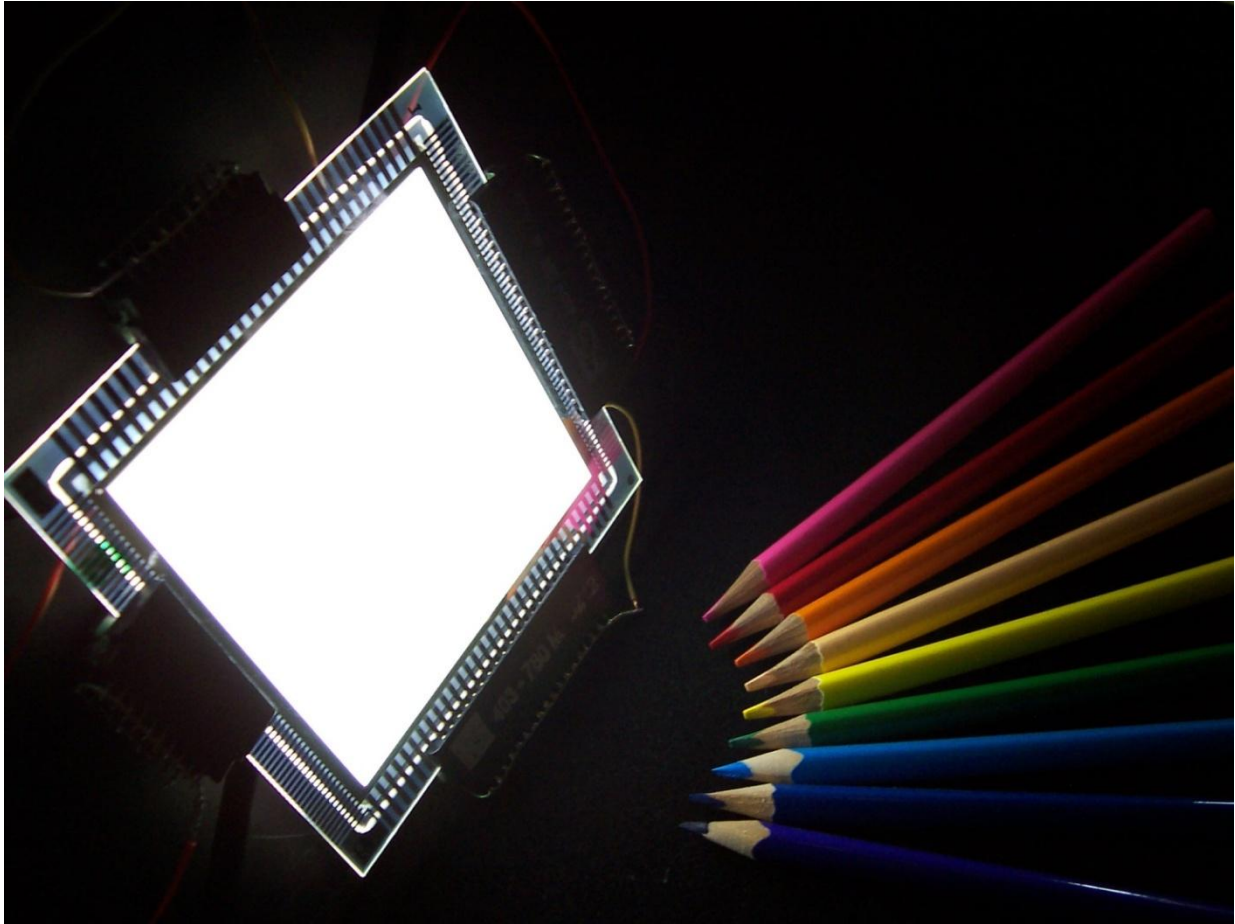
- luce blu, drogante fluorescente a base di  **$\beta$ -DNA**:



Essendo questi i colori primari, è possibile combinarli per produrre tutti i colori dello spettro visibile. Analogamente agli altri tipi di display a colori, ogni pixel dell'immagine è costituito da **tre sub-pixel affiancati**, che producono luce rossa, verde e blu. Visto da lontano, ogni elemento composto da tre sub-pixel appare all'occhio umano come un singolo punto, il cui colore cambia in funzione delle percentuali dei tre colori emessi.

Nel **diodo ad emissione di luce (LED, Light Emitting Diode)**, il materiale inorganico che emette fotoni può riassorbirne alcuni. Nel diodo organico ad emissione di luce, in grado di generare luce utilizzando lo stesso metodo di ricombinazione elettrone/lacuna del LED, le frequenze dei fotoni assorbiti dal materiale che emette sono per la maggior parte esterne

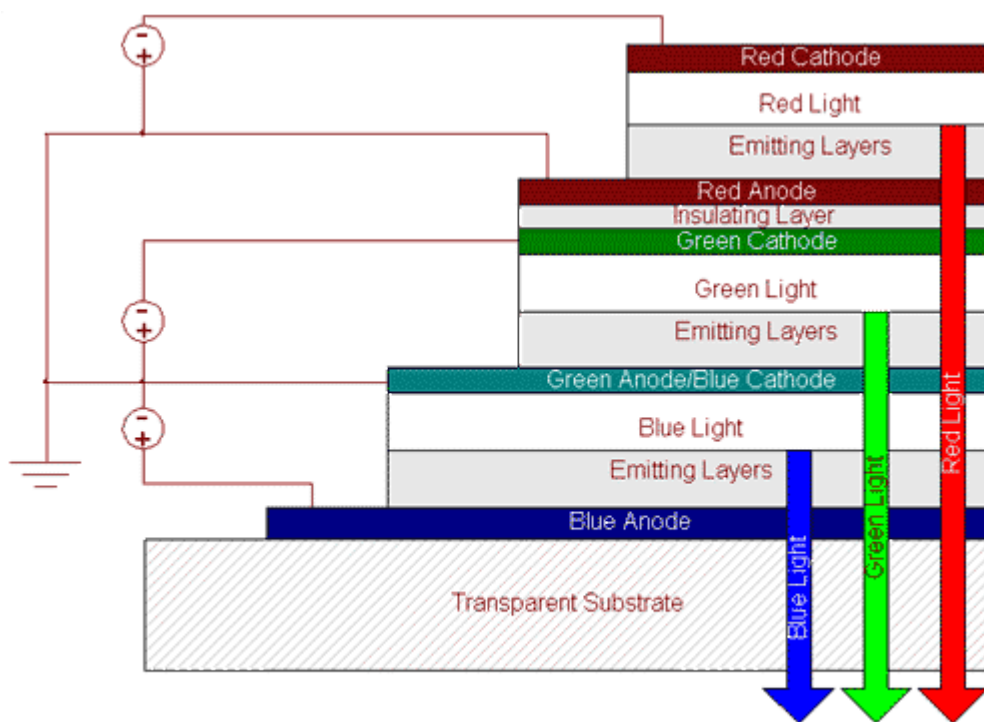
allo spettro visibile, rendendo l'OLED trasparente quando è spento ed un emettitore e trasmettitore di luce altamente efficiente quando è acceso. Usando una tensione di controllo di soli 5 V, un OLED è potenzialmente in grado di emettere 40 lm/W, tanto quanto un tubo fluorescente.



Gli OLED vengono classificati secondo le dimensioni delle molecole organiche che impiegano. Il grande numero di società (oltre 50 in tutto il mondo) che svolgono ricerche sugli **OLED a molecole piccole** e **OLED a polimeri** e l'ampia varietà di composti organici idonei all'utilizzo comportano strutture e mercati diversificati per le diverse tipologie di dispositivi. Sono infatti disponibili OLED rigidi e flessibili, di piccole e grandi dimensioni, a bassa ed alta risoluzione.

Universal Display Corporation è una delle principali società che si occupano di ricerca e sviluppo degli OLED. In collaborazione con i ricercatori della Princeton University e della University of Southern California, ha messo a punto una tecnologia basata su OLED a molecole piccole, dove gli strati del display sono stesi mediante deposizione sotto vuoto. La luminosità è superiore a 100.000 cd/m<sup>2</sup> e la vita utile è di oltre 10.000 ore 100 cd/m<sup>2</sup>.

Impiegando elettrodi trasparenti e materiali emissivi trasparenti alla luce prodotta ed alla maggior parte delle altre lunghezze d'onda del visibile, la società ha realizzato un dispositivo denominato **SOLED (Stacked OLED – OLED sovrapposti)**. È costituito da **TOLED (Transparent OLED – OLED trasparente)** rossi, verdi e blu, dove ciascun sub-pixel è controllato separatamente. Le percentuali di corrente elettrica in ognuno dei tre sub-pixel stabiliscono il colore del pixel, la corrente elettrica totale assorbita dalla terna determina la luminosità del pixel e la durata di accensione del pixel permette di controllare la gradazione tonale. Risulta così possibile ottenere un'ampia emissione cromatica e triplicare, a parità di area di emissione, la risoluzione potenziale del display.



Structure and Drive Circuitry of UDC Stacked Organic Light Emitting Device  
(One of Several Illustrated in UDC's US Patent No 5,917,280)

Una variante del TOLED è il **FOLED (Flexible OLED – OLED flessibile)**. Usando film plastici otticamente trasparenti e lamine metalliche riflettenti, il FOLED apre la strada alla realizzazione di display arrotolabili o adattabili a superfici curve quali parabrezza di autoveicoli o aeromobili.

### Tipi di OLED

Gli OLED sono riconducibili ai seguenti tipi:

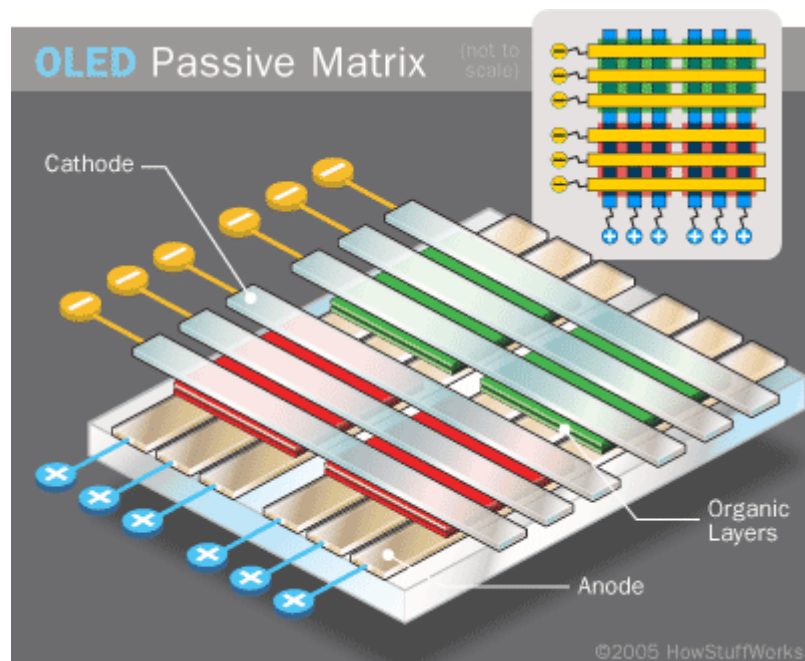
- OLED a matrice passiva,
- OLED a matrice attiva,
- OLED trasparenti,

- OLED a riflessione,
- OLED pieghevoli,
- OLED bianchi,

Ogni tipo è adatto a specifici settori di utilizzo.

#### OLED a matrice passiva

Denominati anche **PMOLED (Passive-Matrix OLED)**, sono costituiti da piste di catodi, strati organici e piste di anodi. Le due serie di piste sono tra loro perpendicolari ed in corrispondenza delle intersezioni tra catodo ed anodo sono posti i pixel, dove viene generata la luce. L'elettronica di controllo esterna eroga corrente elettrica alle piste di anodi e catodi selezionate, determinando i pixel da accendere e quelli da spegnere. La luminosità di ciascun pixel è proporzionale alla quantità di corrente fornita.



I PMOLED sono di facile realizzazione, ma consumano più corrente degli altri tipi di OLED, soprattutto a causa dell'alimentazione dell'elettronica esterna. Sono il tipo di OLED più efficienti nella visualizzazione di testi ed immagini risultano particolarmente adatti per i piccoli schermi



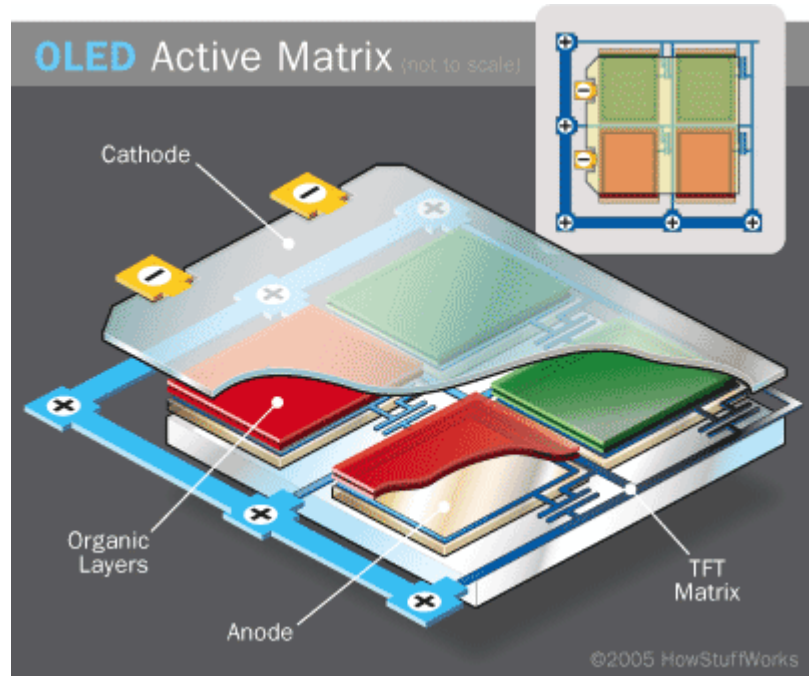
da 2"-3" che trovano impiego nelle fotocamere, nei dorsi digitali, nei telefoni cellulari, nei PDA e nei lettori MP3.



Anche tenendo conto dell'elettronica esterna, gli OLED a matrice passiva hanno consumi elettrici inferiori rispetto agli LCD impiegati in questi stessi dispositivi.

#### OLED a matrice attiva

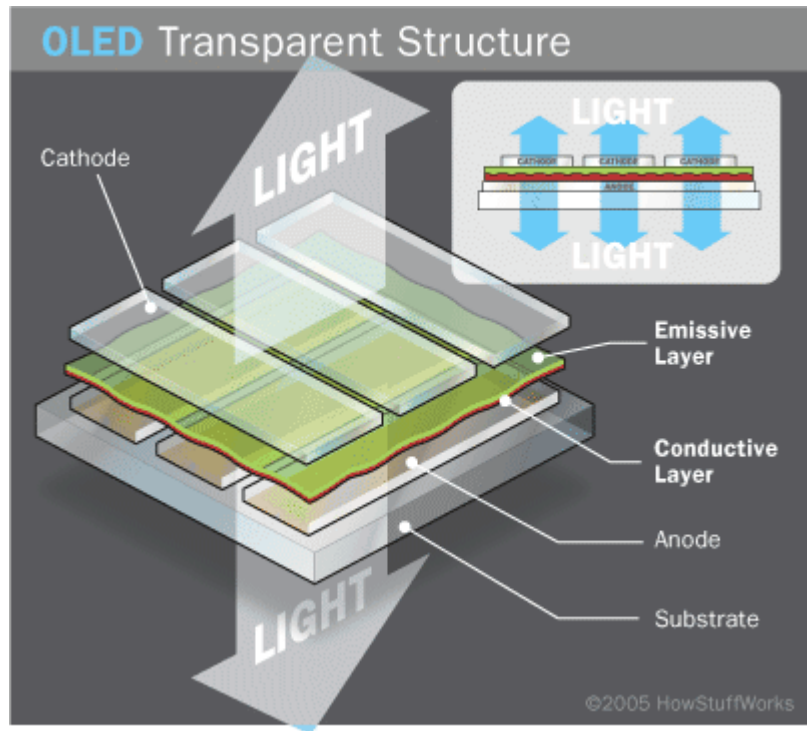
Denominati anche **AMOLED (Active-Matrix OLED)**, sono costituiti da strati ininterrotti di catodo, molecole organiche ed anodo, ma lo strato dell'anodo è sovrapposto ad una matrice di transistor a film sottile (**TFT**). Questa matrice determina i pixel da accendere per formare l'immagine.



Gli AMOLED consumano meno corrente elettrica dei PMOLED, grazie alle ridotte esigenze di alimentazione elettrica della matrice TFT rispetto all'elettronica esterna, e sono quindi adatti per schermi di grandi dimensioni; inoltre, la loro elevata frequenza di refresh rende possibile la riproduzione di immagini video. Le loro destinazioni di impiego sono i monitor per computer, gli schermi televisivi, i tabelloni informativi e quelli pubblicitari.

#### OLED trasparenti

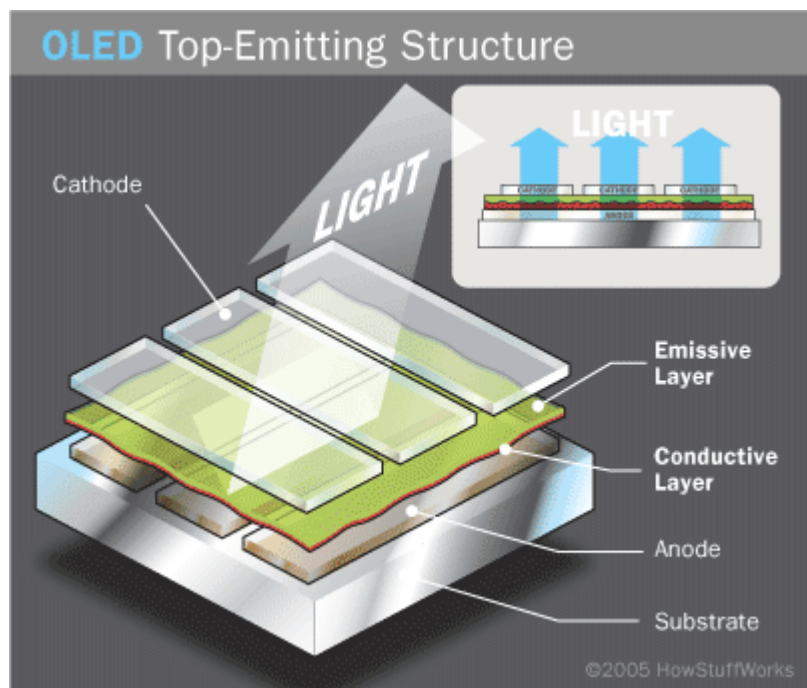
Sono costituiti unicamente da componenti trasparenti (substrato, catodo ed anodo). Quando è spento, lo schermo OLED trasparente ha una trasmittanza pari all'85% di quella del substrato. Quando è acceso, consente il passaggio di luce in entrambe le direzioni. Questo tipo di OLED può essere realizzato sia a matrice attiva sia a matrice passiva.



Gli OLED trasparenti sono adatti per **display head-up**.

**OLED a riflessione**

Sono costituiti da un substrato opaco o riflettente.



Sono preferibilmente realizzati con lo schema a matrice attiva e sono adatti all'impiego in smart card.

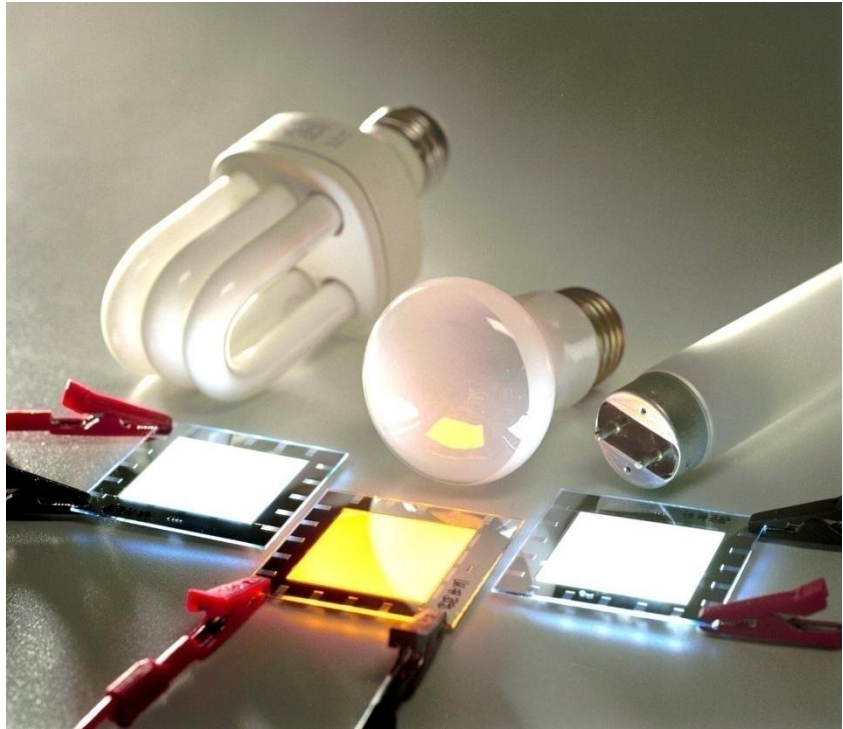
#### **OLED pieghevoli**

Hanno substrati costituiti da lamine metalliche o plastiche estremamente flessibili e sono caratterizzati da pesi molto contenuti e da un'elevata vita utile. Il loro impiego nei telefoni cellulari e nei PDA può ridurre l'incidenza della rottura del display, una delle cause principali di sostituzione o riparazione di questi dispositivi.



#### **OLED bianchi**

Emettono luce bianca con maggiore intensità, uniformità ed efficienza energetica rispetto alle lampade fluorescenti e con qualità cromatiche analoghe a quelle delle lampade ad incandescenza. Poiché sono realizzabili in lastre di grande formato, sono potenzialmente in grado di sostituire le lampade fluorescenti per l'illuminazione di interni.



### ***Vantaggi e svantaggi***

Attualmente, gli LCD sono i display di più largo impiego nei piccoli dispositivi, nei monitor per computer e nei televisori di grandi dimensioni. Ma gli OLED presentano numerosi vantaggi rispetto agli LCD ed ai LED:

- si utilizzano ***strati organici più sottili, leggeri e flessibili***,
- poiché gli strati fotoemissivi sono leggeri, si può usare un ***substrato flessibile in resina sintetica*** invece di uno rigido in vetro,
- si ottiene una ***maggiore luminosità*** (grazie al minore spessore degli strati organici rispetto agli strati inorganici cristallini, lo strato conduttivo e quello emissivo possono essere multipli; inoltre, LED e LCD necessitano di supporti in vetro che assorbono parte della luce),
- poiché gli strati emissivi non necessitano di ***nessuna retroilluminazione***, si hanno ***consumi elettrici molto ridotti*** (fattore di grande importanza nei dispositivi alimentati da batterie),
- poiché gli strati sono organici, è possibile passare ad una ***produzione più semplice ed in lastre di maggiori dimensioni***,
- gli strati emissivi consentono di ottenere ***angoli di visione ampi***, pari a circa 170°.

Almeno per il momento, gli OLED presentano però anche alcuni svantaggi:

- ***durata*** – mentre gli strati ad emissione di luce rossa e verde hanno una vita utile molto lunga (46.000 – 230.000 ore), i composti organici

che mettono luce blu hanno una vita utile limitata fino ad un massimo di circa 14.000 ore,

- **fabbricazione** – i processi produttivi sono costosi,
- **acqua** – l'umidità o il contatto diretto con l'acqua possono danneggiare gli strati.

### **Evoluzione tecnologica**

- Nel 2003, Kodak ha introdotto la prima fotocamera digitale con schermo OLED.



- Nel 2004, Samsung ha commercializzato il telefono cellulare SGH-E700, dotato di schermo esterno OLED a 256 colori con risoluzione di 64 x 96 pixel.



Immagine fornita da agenzia  
a [www.ciao.it](http://www.ciao.it)

- Nel maggio del 2005, è stato presentato un prototipo di display OLED da 40".



- Nell'aprile del 2006, l'Università di Braunschweig ha reso nota una nuova tecnologia per produrre display OLED TFT.

- Nel settembre del 2006, un gruppo di ricercatori della Cornell University ha creato un nuovo tipo di OLED flessibile che agisce da cella fotovoltaica, cioè genera elettricità dalla luce.
- Nel 2007, Sony ha avviato la commercializzazione sul mercato giapponese del primo televisore basato sulla tecnologia OLED; si tratta del modello XEL-1 da 11" con matrice di 940 x 540 pixel, contrasto 1.000.000:1, scheda di rete ethernet, porta HDMI, porta USB.

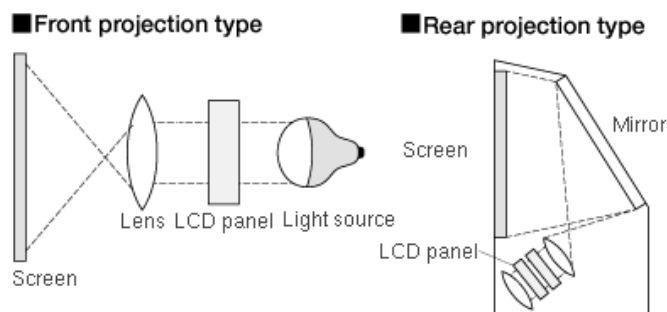


- Per il 2008, Sony ha annunciato un televisore OLED da 31" con risoluzione Full HD (1920 x 1080 pixel).



# Videoproiettori

I sistemi di proiezione di immagini su schermi di grandi dimensioni sono di due tipi: **retroproiezione e videoproiezione**.



## Retroproiezione

Si basa su un dispositivo a geometria fissa, il **televisore**, costituito dal videoproiettore che invia l'immagine sul lato posteriore dello schermo trasparente (con diagonale fino a 100", secondo i diversi modelli).

I televisori a retroproiezione hanno fatto la loro comparsa sul mercato negli anni '70 del XX secolo e sono stati sottoposti ad un continuo sviluppo fino all'avvento della **televisione ad alta definizione (HDTV, High Definition TV)**. Il ristretto angolo di visione, la bassa luminosità dell'immagine che ne limita l'impiego in ambienti illuminati e l'ingombro in profondità ne hanno però decretata l'obsolescenza in concomitanza con la comparsa sul mercato degli LCD e dei display al plasma di grandi dimensioni.

## Videoproiezione

Si basa su un dispositivo, il **videoproiettore**, che riceve il segnale video e proietta la corrispondente immagine direttamente su schermo di grandi dimensioni mediante obiettivi.

Tutti i videoproiettori utilizzano una sorgente di luce molto intensa per proiettare l'immagine e quelli di generazione più recente dispongono di una serie completa di regolazioni dei parametri video. Il

videoproiettore trova largo impiego nelle presentazioni, nelle conferenze, nella didattica e nell'home theatre.

Le tecnologie di videoproiezione attualmente disponibili ed effettivamente utilizzate sono le seguenti:

- CRT,
- DLP,
- LCD,
- LCoS.

Tutte queste tecnologie sono in grado di riprodurre immagini Full HD, quindi l'unica precauzione da prendere al riguardo al momento della scelta è verificare quale sia la risoluzione nativa del modello.

Infine, è bene rammentare che, come nel caso dei televisori a schermo piatto, il dato importante è quello del video in uscita e non quello relativo al segnale in ingresso, dato che molti videoproiettori sono perfettamente in grado di leggere e riscaldare mediante interpolazione i segnali a risoluzione più elevata di quella visualizzabile a schermo.

### ***Videoproiettori CRT***

La nascita del videoproiettore domestico coincide con la commercializzazione del primo tipo di videoproiettore in assoluto, quello basato su tecnologia CRT. Si tratta di un dispositivo che ha due caratteristiche salienti: la tecnologia di generazione delle immagini mutuata da quella dei televisori CRT ed il prezzo molto elevato.



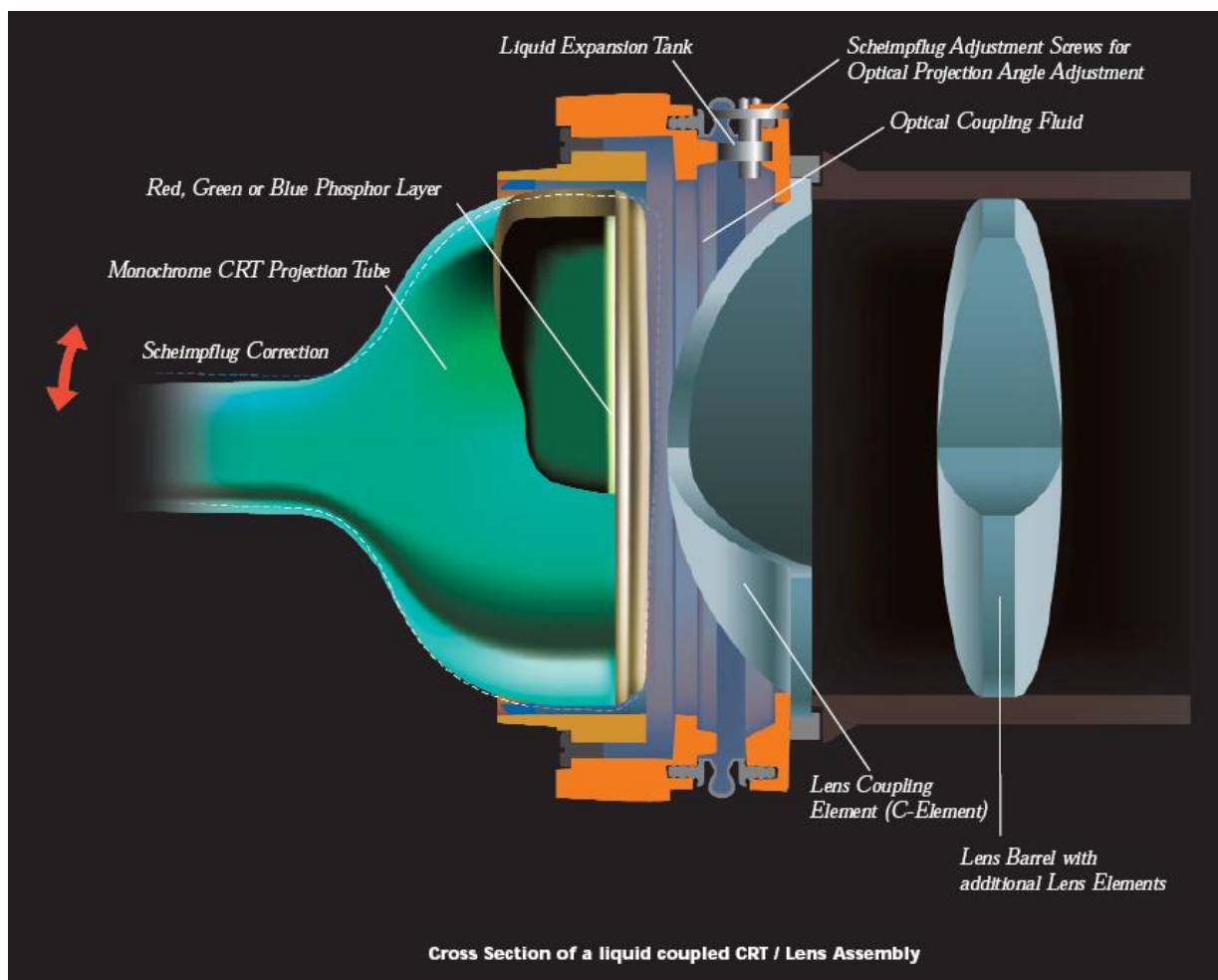
Al posto di un unico schermo costituito da terne di fosfori RGB, il videoproiettore CRT è dotato di tre tubi catodici separati. La superficie interna di ciascun tubo è ricoperta in maniera uniforme da fosfori di un unico tipo (***tubo catodico monocromatico***).



Ciò significa che, diversamente dallo schermo televisivo, il proiettore sarebbe in grado di generare immagini di qualsiasi risoluzione. All'atto pratico, tuttavia, il sistema è limitato dalle caratteristiche costruttive di ciascun dispositivo, fra le quali quelle più rilevanti sono la dimensione dei tubi utilizzati e la qualità degli obiettivi.



*Larger CRT tubes result in larger phosphor surfaces and consequently increased general brightness and sharper projected images*



Come nel televisore tradizionale, ciascuno dei tre tubi genera una delle componenti primarie dell'immagine. L'immagine a colori finale si compone direttamente sullo schermo, facendo collimare in maniera opportuna i tre fasci luminosi che proiettano le componenti monocromatiche.

Gli aspetti negativi del proiettore CRT sono essenzialmente la complessità di installazione e gestione del sistema e l'usura dei tubi. La sua corretta installazione è, infatti, un'operazione complicata e, dopo il montaggio, occorre procedere alla **calibrazione e taratura dei tubi**, procedura che, se eseguita in modo errato, può portare al danneggiamento del proiettore e che va quindi effettuata da un tecnico specializzato. Inoltre, può rendersi necessaria una regolazione periodica, il che presuppone la conoscenza del funzionamento del dispositivo da parte dell'utilizzatore.

Il tubo catodico nel tempo si usura a causa della progressiva **degenerazione dei fosfori** che ne ricoprono la superficie interna. Nel caso dei videoproiettori, il grado di usura non è uguale per i tre tubi. Dopo un considerevole numero di ore di proiezione, infatti, il verde e il blu sono i primi a mostrare segni di degrado dell'immagine (specialmente il verde),

mentre il rosso dura in genere molto di più, al punto che può capitare di non dover mai sostituire il tubo corrispondente.

Altro inconveniente tipico dei CRT è il cosiddetto **burn-in**: in presenza di immagini statiche proiettate per lunghi periodi in maniera continuativa (ad esempio, il logo dei canali televisivi), alcune zone di fosfori si possono bruciare, con la conseguenza che l'immagine rimane impressa in maniera permanente e l'unica soluzione è sostituire i tubi.

Per concludere la carrellata dei limiti tecnici, la luminosità di un proiettore CRT è inferiore a quella dei sistemi digitali e richiede un ambiente relativamente buio per essere apprezzata in pieno. Il difetto maggiore di questo tipo di sistema di videoproiezione rimane tuttavia il prezzo: basti pensare che ancora oggi, un proiettore CRT usato (praticamente nessun produttore ne ha più a catalogo) può arrivare a costare parecchie migliaia di euro.

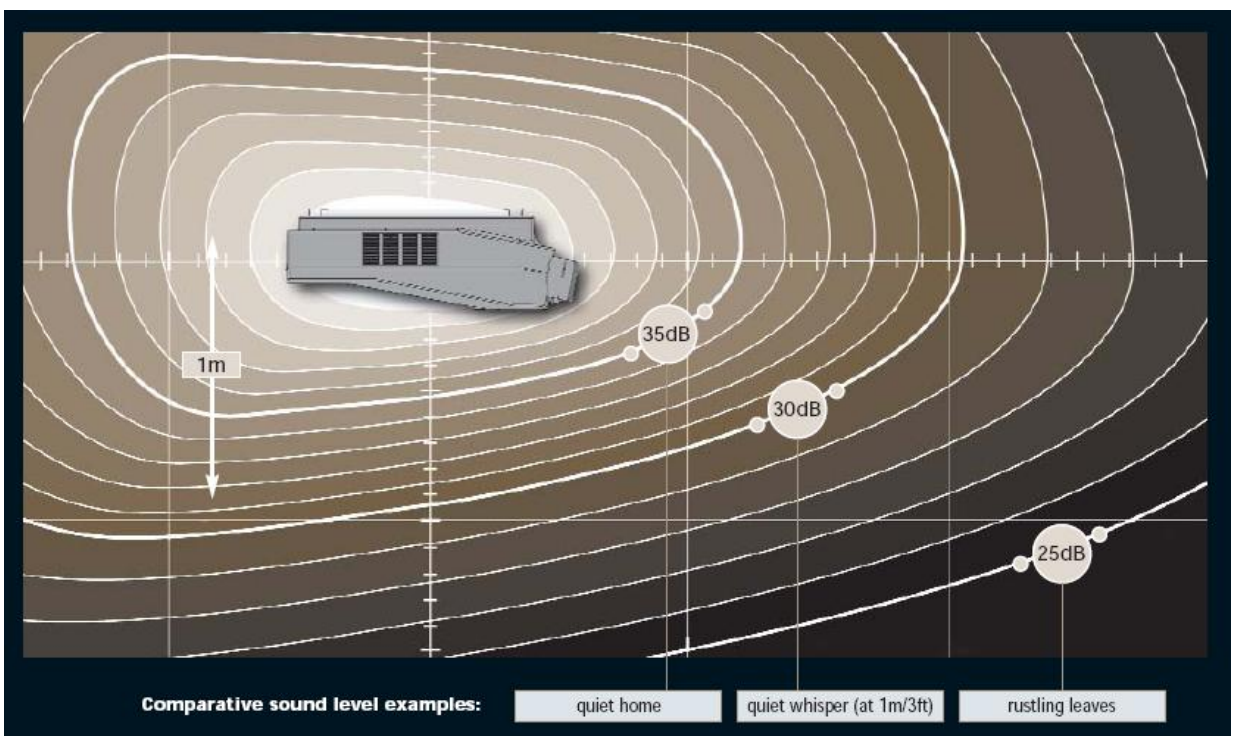
Benché non più in produzione, i proiettori CRT rimangono molto ambiti dagli appassionati, al punto che si è sviluppato un florido mercato di apparecchi usati e/o ricondizionati. La cosa può apparire in effetti strana, soprattutto alla luce dei problemi fin qui esposti, ma i motivi che possono portare a questa scelta sono molteplici.

La caratteristica più evidente di un proiettore CRT è l'elevatissima qualità dell'immagine, a tutt'oggi insuperata anche dai migliori proiettori digitali per uso home theatre. Ciò è in effetti ovvio, considerando che questa tecnologia è stata sviluppata per l'uso professionale e non domestico. La differenza a livello di qualità dell'immagine è apprezzabile innanzitutto nella profondità assoluta del nero, in quanto questo colore corrisponde allo spegnimento dei tubi e quindi all'assenza totale di luce.

Inoltre, il dispositivo è per sua natura multiscan (cioè è in grado di gestire più risoluzioni), risultando così esente dai tipici difetti dei sistemi digitali, come la presenza di artefatti visibili generati dall'interpolazione che si rende necessaria quando la risoluzione dell'immagine non coincide con quella nativa del dispositivo. Al contrario, il proiettore CRT è in grado di riprodurre senza difficoltà materiale video sia a definizione standard sia ad alta definizione, fino al massimo oggi disponibile: il Full HD 1080p (1920x1080 pixel).

Infine, il rapporto di contrasto che un proiettore CRT è in grado di offrire non ha pari nel dominio digitale. Tutto ciò si traduce, soprattutto quando si proiettano immagini dinamiche, in un'eccezionale fedeltà cromatica e naturalezza dell'immagine, che riesce a ricreare in maniera realistica la sensazione di essere al cinema.

Il proiettore CRT è quindi perfetto per l'appassionato di cinema, mentre al tempo stesso è sconsigliato (in ragione soprattutto dei difetti evidenziati poco sopra) per le immagini statiche e per i videogiochi.





## Videoproiettori DLP

Esattamente come è accaduto per le fotocamere, anche nell'ambito dei videoproiettori l'ingresso del digitale ha portato indubbi vantaggi, ma ha introdotto una serie di svantaggi rispetto al corrispettivo analogico. La prima grande differenza rispetto ai proiettori CRT riguarda le dimensioni dei dispositivi, sensibilmente inferiori. Inoltre, si è ridotta in maniera considerevole la complessità di gestione, al punto che oggi la fase d'installazione e settaggio di un proiettore digitale è veloce e può essere eseguita anche dall'utente finale senza troppi problemi. A questo si aggiunge un calo generalizzato dei costi.

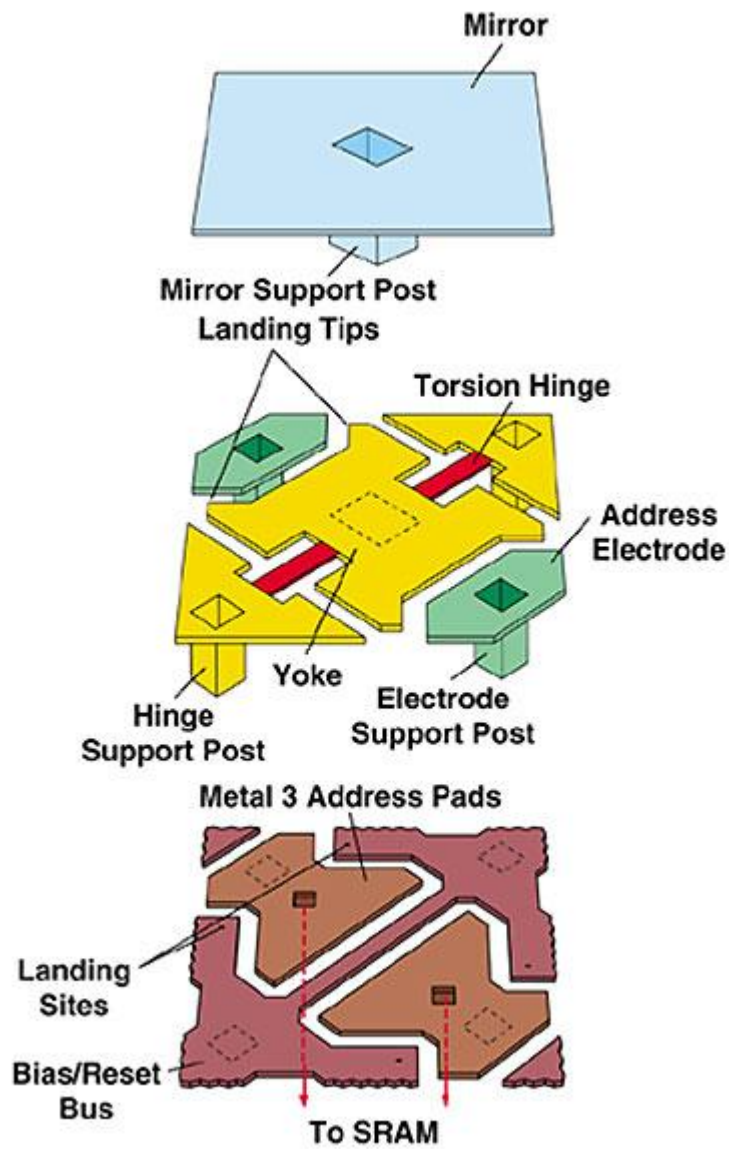
La contropartita è rappresentata dalla qualità non all'altezza del proiettore analogico.

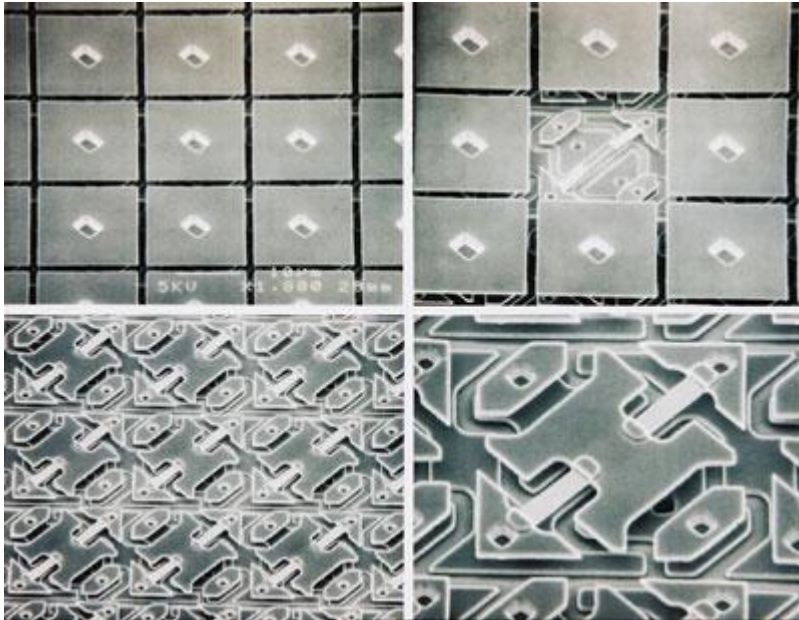
Fra le tecnologie digitali per la generazione di immagini, quella denominata **DLP (Digital Light Processing)** è la più consolidata, essendo stata messa a punto da Texas Instruments nel 1987.



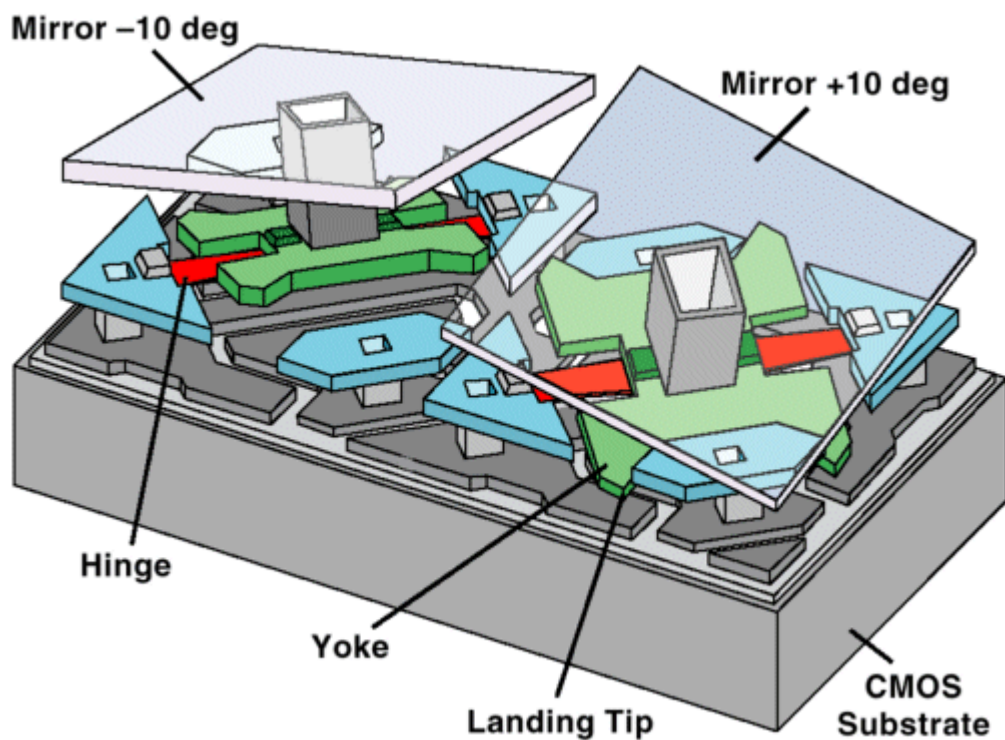
Il cuore di questo tipo di tecnologia è il chip **DMD (Digital Micro Device)**, un dispositivo in grado di indirizzare la luce per mezzo di una matrice di microspecchi, dove ad ogni elemento riflettente corrisponde ad un pixel dell'immagine. Il numero totale di microspecchi dipende dalla risoluzione

nativa del chip: ad esempio, nel caso di HDTV nel formato 1080p, sono presenti 2.073.600 elementi riflettenti.

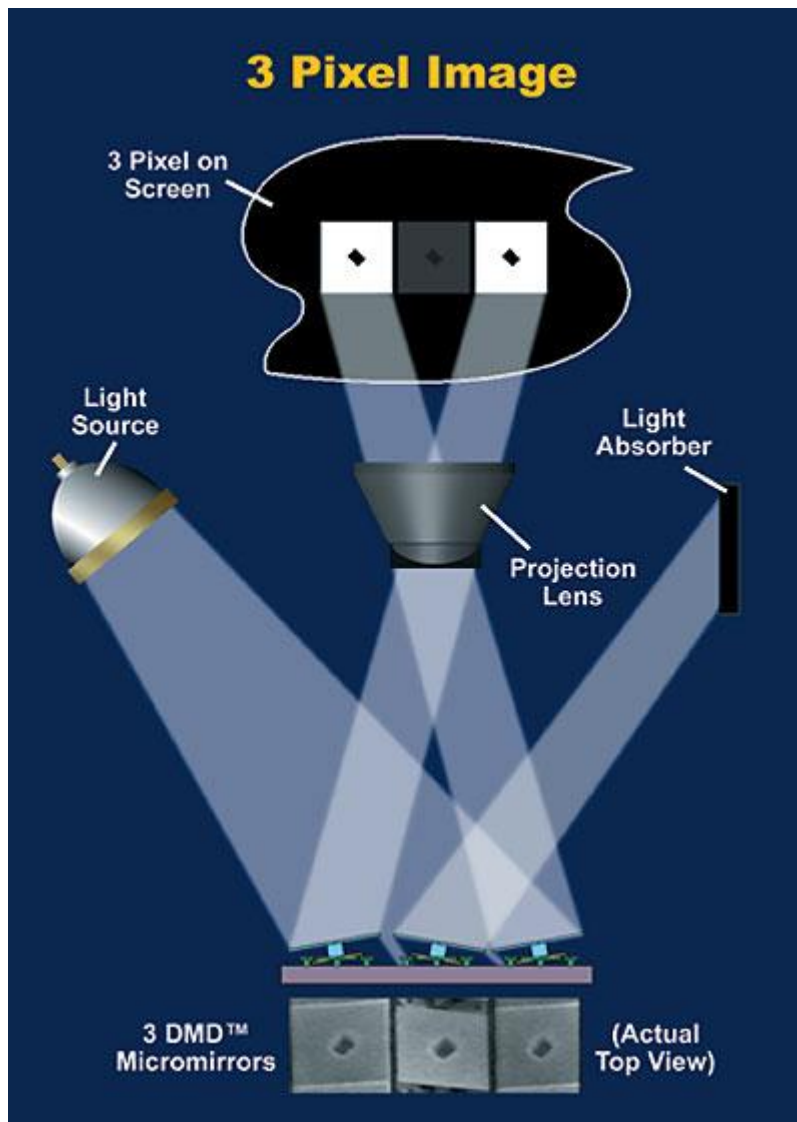




Ciascuno di questi microspecchi è orientato in due diverse posizioni caratterizzate da angolazioni di  $-10^\circ$  e  $+10^\circ$ , corrispondenti agli stati di ON e OFF della logica binaria dei computer, ed una lampada illumina l'intera superficie del chip, sulla quale viene composto ogni fotogramma. I microspecchi sono realizzati in alluminio per la massima riflettanza e durata e misurano  $16\ \mu\text{m} \times 16\ \mu\text{m}$ .



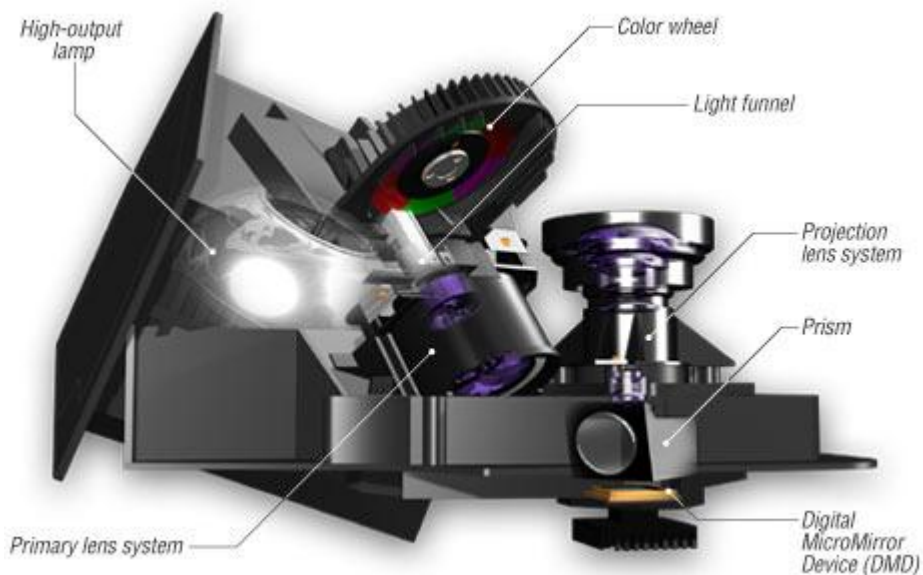
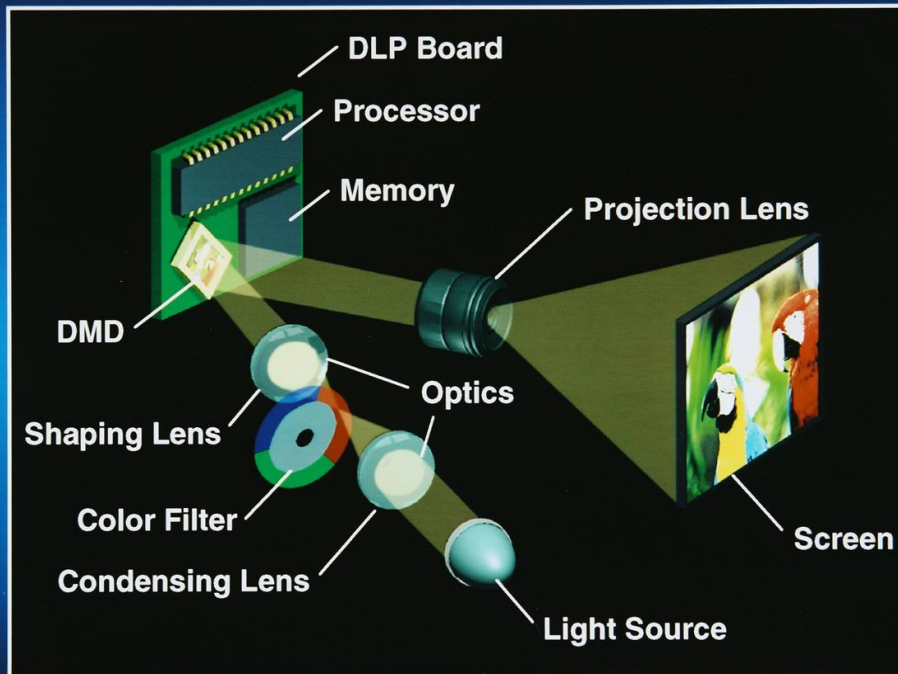
È importante sottolineare che questo fotogramma è monocromatico, essendo composto da punti bianchi, se i singoli microspecchi riflettono la luce verso l'obiettivo e quindi verso lo schermo, o neri, se la riflettono verso un'apposita superficie assorbente interna al videoproiettore.



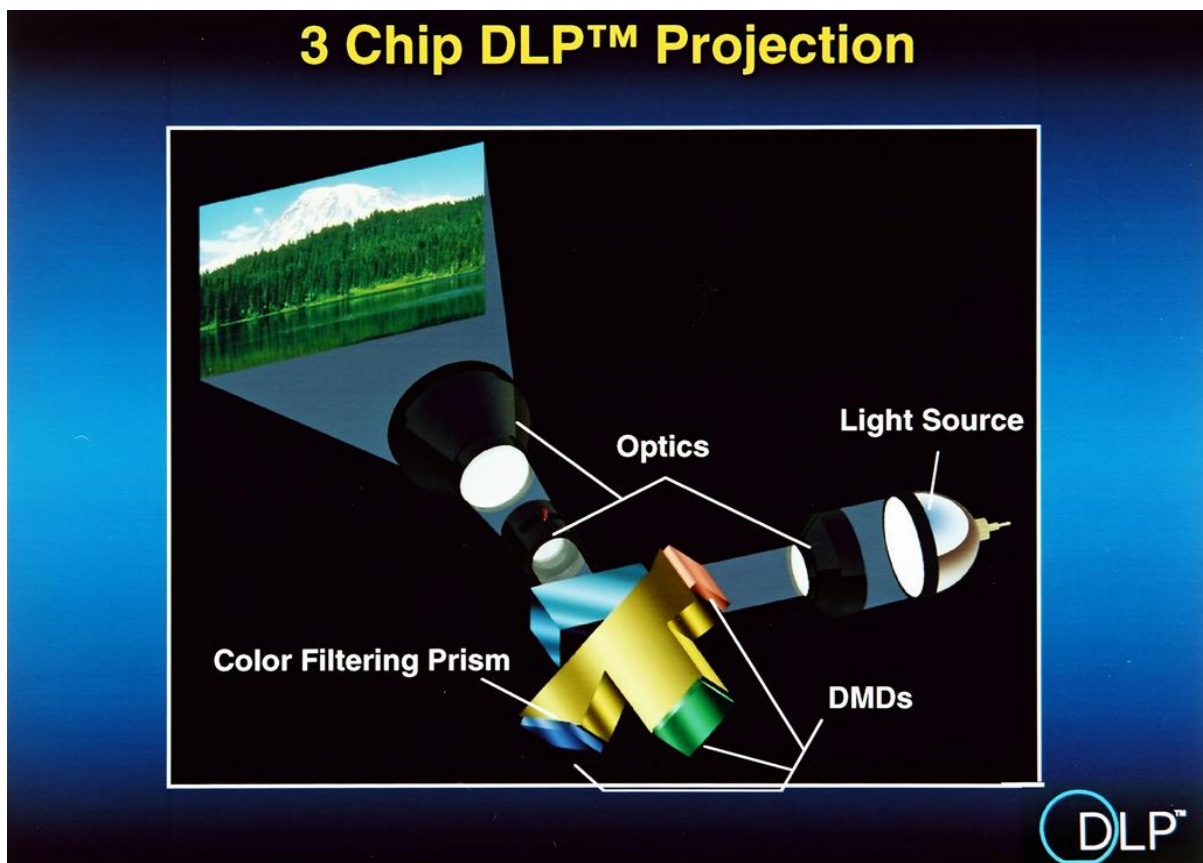
Le scale di grigio vengono ottenute sfruttando la capacità del chip di commutare la posizione degli specchi a velocità estremamente elevata. Ciò fa sì che, attribuendo a ciascun pixel la colorazione bianca o nera per un numero variabile di volte in un dato intervallo di tempo, il punto di grigio richiesto viene generato grazie a un semplice effetto ottico: è, infatti, l'occhio umano che, non riuscendo a distinguere le immagini ad alta frequenza, ne percepisce unicamente la somma. Per creare l'immagine finale a colori, si utilizza un ulteriore artificio: la luce bianca proveniente dalla lampada viene fatta passare attraverso un disco a settori colorati, in modo da produrre alternativamente i tre fasci di luce nei colori primari. Il

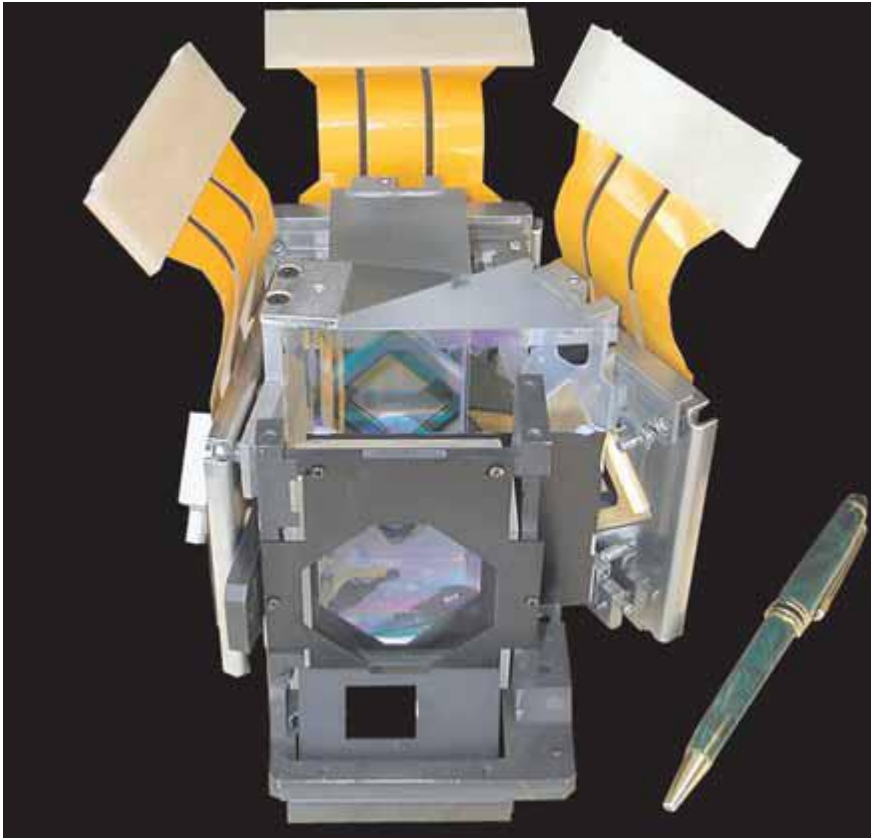
disco girevole è sincronizzato con il chip, affinché questo generi la componente del fotogramma relativa al colore corrispondente.

## 1 Chip DLP™ Projection



Una variante più raffinata della tecnologia DLP prevede l'utilizzo di tre chip distinti in luogo di uno solo. Il principio di funzionamento è analogo a quello spiegato in precedenza, ma sparisce la ruota a settori colorati, sostituita da un sistema che si ritrova anche nei proiettori LCD. La luce proveniente dalla lampada è, infatti, preliminarmente separata nelle tre componenti primarie tramite un apposito prisma. I tre fasci luminosi risultanti vengono indirizzati sui rispettivi chip, per essere poi ricomposti in un unico fascio luminoso policromatico in uscita dal proiettore. I chip DMD impiegati in questo tipo di proiettori sono in genere gli stessi utilizzati anche per i modelli a singolo chip.





Questa seconda soluzione consente di realizzare un'immagine di migliore qualità, non introducendo sfarfallamenti dovuti alla rapida successione di fotogrammi monocromatici, e di ottenere una luminosità più elevata, seppure ad un costo maggiore.

Questa tecnologia, così come le altre, presenta alcuni svantaggi. Il primo inconveniente, immediatamente rilevabile, è strettamente legato alla costruzione del chip DMD ed è nota come **effetto screendoor o effetto zanzariera o pixelizzazione (pixelation)**. A causa della distanza fra un microspecchio e l'altro, l'immagine non appare perfettamente continua come in una fotografia, bensì suddivisa nei singoli pixel, separati da sottili righe nere. Un fattore che concorre in maniera determinante a evidenziare o ridurre questo difetto è la distanza dallo schermo. Per ovviare all'inconveniente, si può utilizzare uno schermo più piccolo o mettere leggermente fuori fuoco l'immagine, in modo da ammorbidire i pixel.

L'altro inconveniente tipico dei proiettori DLP a singolo chip, ma assente in quelli a tre chip, è l'**effetto arcobaleno**, che è causato dal rapido susseguirsi delle tre immagini monocromatiche di base e che provoca, in alcuni momenti ed in alcune aree, la sensazione che l'immagine sia scomposta nei colori primari RGB. I proiettori di ultima generazione sono pressoché esenti da questo problema grazie all'aumento della velocità di rotazione del disco a settori o del numero dei settori.

Passando invece ai vantaggi, il proiettore DLP è caratterizzato da un'elevata affidabilità, da intendersi sia come vita utile sia come costanza della qualità dell'immagine. Il proiettore DLP non presenta, infatti, alterazioni visibili dell'immagine anche dopo diverse migliaia di ore di funzionamento.

Due ulteriori vantaggi della tecnologia DLP sono legati agli ultimi miglioramenti apportati ai chip DMD, grazie ai quali gli attuali proiettori vantano una profondità del nero più che soddisfacente (non all'altezza del CRT, ma certamente superiore all'LCD) ed un soddisfacente rapporto di contrasto. Per quanto riguarda la definizione, il proiettore DLP tende a smussare gli angoli dei pixel, il che può essere un vantaggio o uno svantaggio: il cinefilo non potrà che apprezzare, mentre chi utilizza il proiettore per presentazioni e videogiochi potrebbe risultare insoddisfatto della definizione. Infine, la resa cromatica è buona, ma non paragonabile a quella dei migliori proiettori LCD.

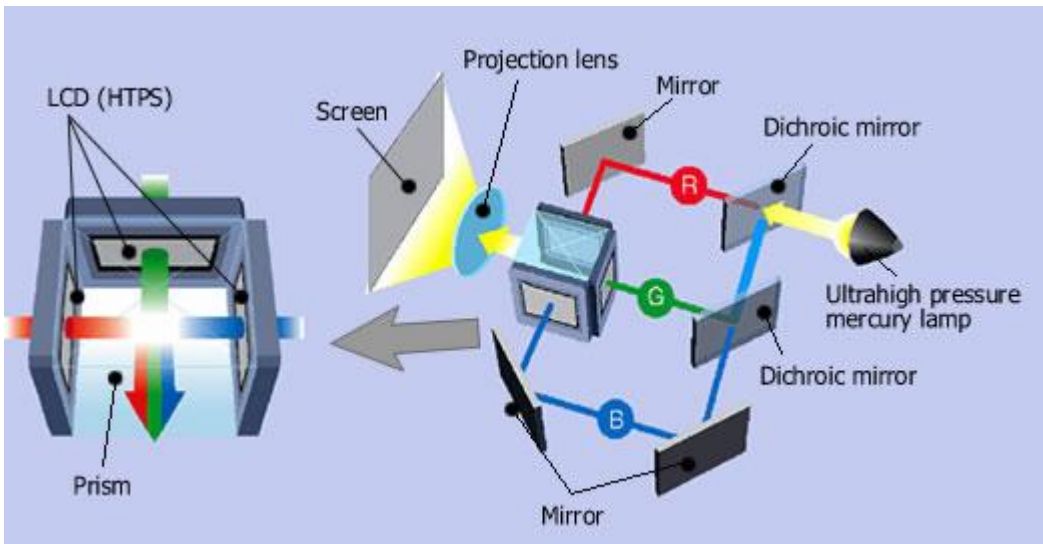


### ***Videoproiettori LCD***

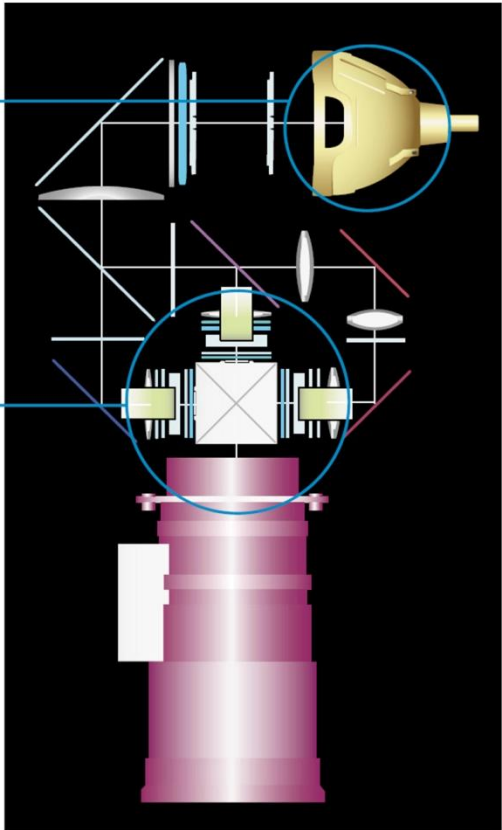
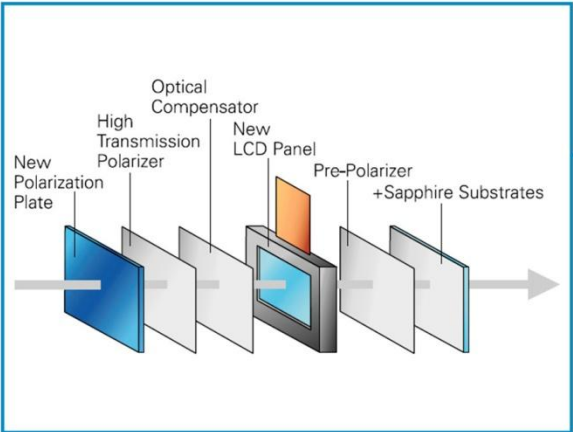
Il funzionamento del proiettore LCD presenta solo alcune differenze minori rispetto a quello del proiettore DLP a tre chip.

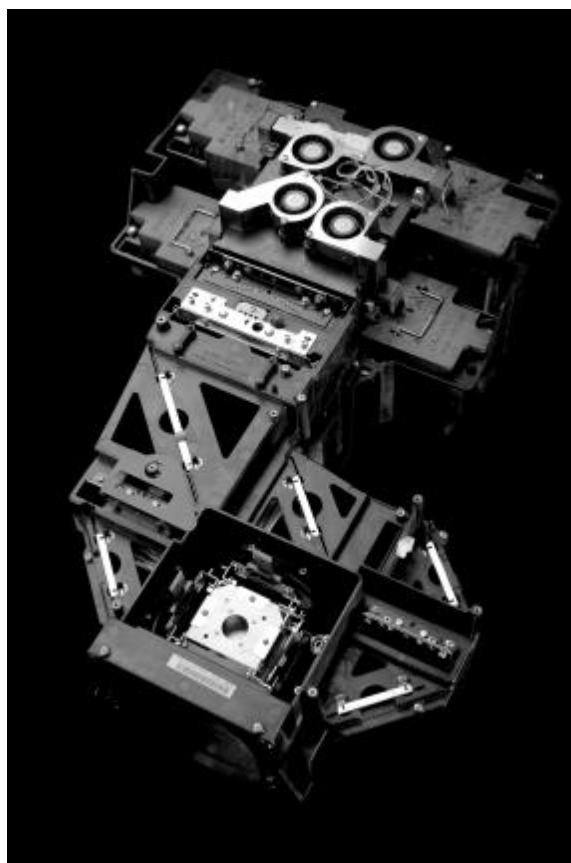
La luce bianca prodotta dalla lampada è scomposta nelle tre componenti rossa, verde e blu da un prisma o da un sistema di specchi dicroici, che hanno la capacità di riflettere le componenti luminose appartenenti a una specifica lunghezza d'onda, lasciando invece passare le rimanenti. Analogamente al proiettore DLP, ciascuna componente viene poi indirizzata su un piccolo schermo a cristalli liquidi, che agisce perciò da vero e proprio filtro, lasciando passare la luce solo nei punti interessati dalla presenza della relativa componente cromatica. Le tre risultanti vengono ricombinate tramite un ulteriore prisma, formando così l'immagine completa.





1-lamp system





Tra gli inconvenienti riscontrabili nell'immagine prodotta dal proiettore LCD sono da segnalare il rapporto di contrasto ed il livello di nero decisamente inferiori a quelli ottenibili con il proiettore DLP. Inoltre, l'effetto zanzariera si riscontra in maniera più marcata, in ragione della maggiore definizione dei singoli pixel.



Questa caratteristica può risultare invece vantaggiosa nelle applicazioni che richiedono una nitidezza dell'immagine più marcata rispetto a quella assicurata dal proiettore DLP. In tal senso, le due tecnologie possono quasi

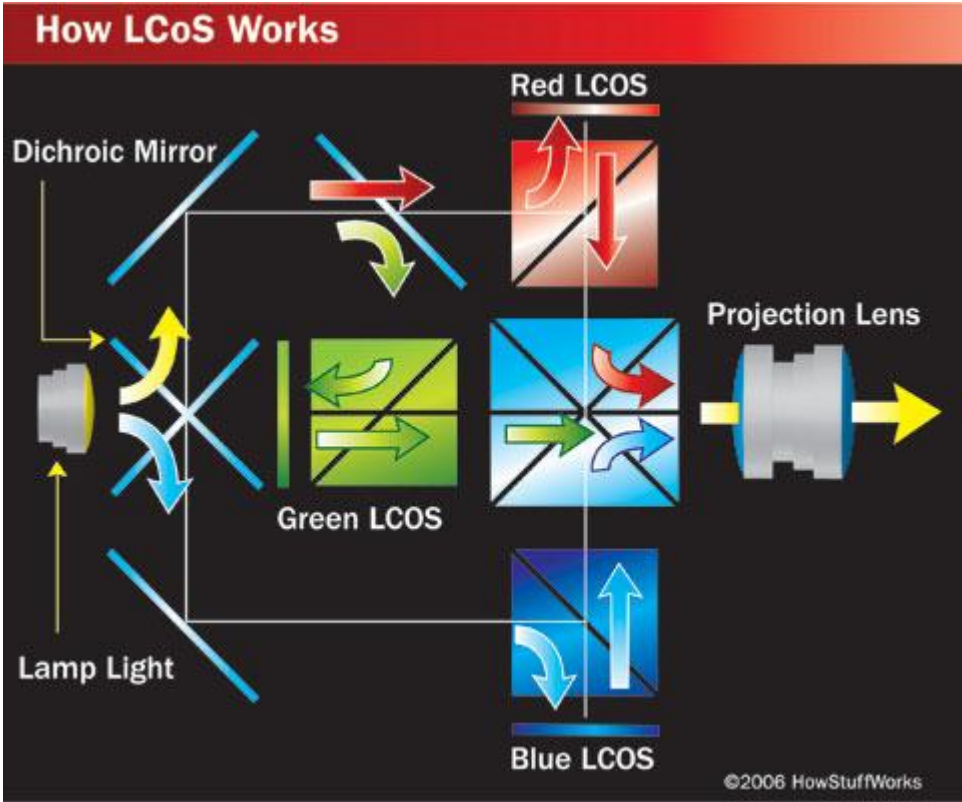
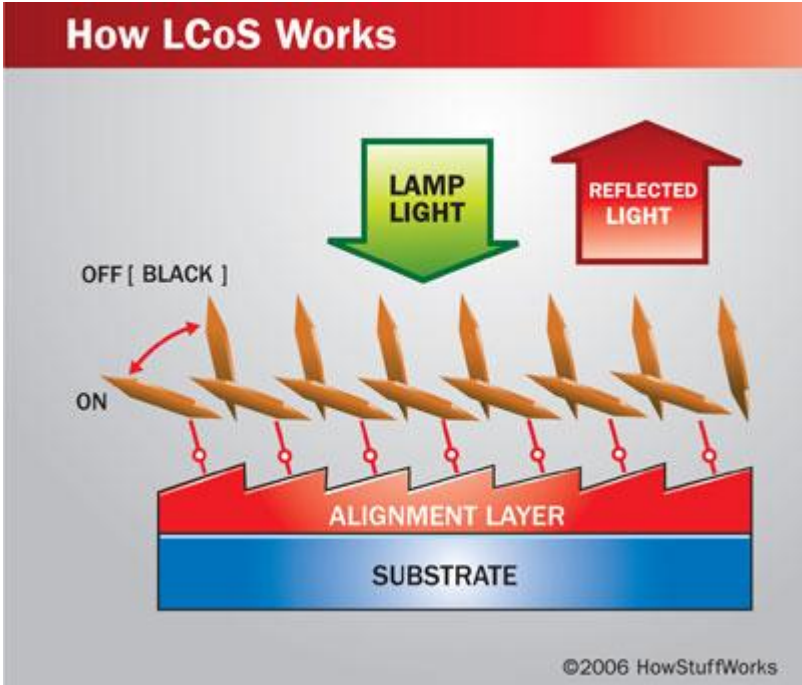
essere considerate complementari. Altro grosso inconveniente è la durata nel tempo, in quanto gli LCD possono sviluppare i cosiddetti **dead pixel** che generano punti costantemente accesi o spenti.

Tra i pregi, vi sono la maggiore fedeltà cromatica rispetto alla tecnologia DLP, l'efficienza superiore sia in termini di calore dissipato (e quindi di rumorosità delle ventole di raffreddamento) sia di luminosità, la definizione più alta dei pixel e l'assenza dell'effetto arcobaleno.

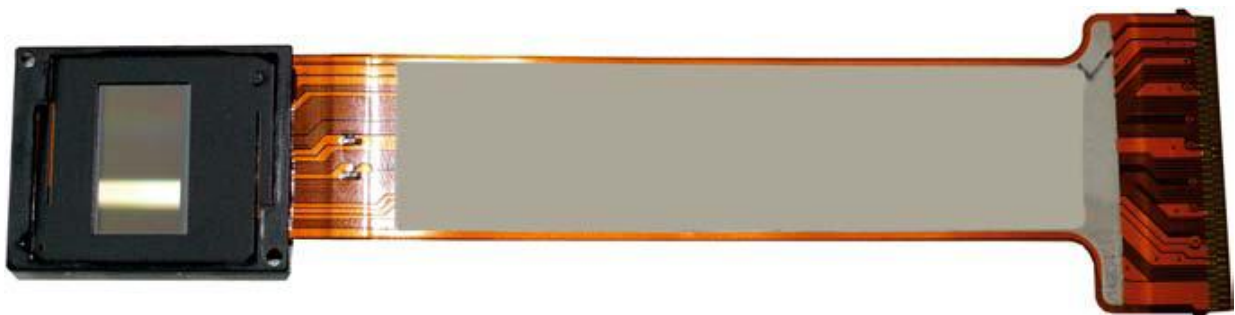
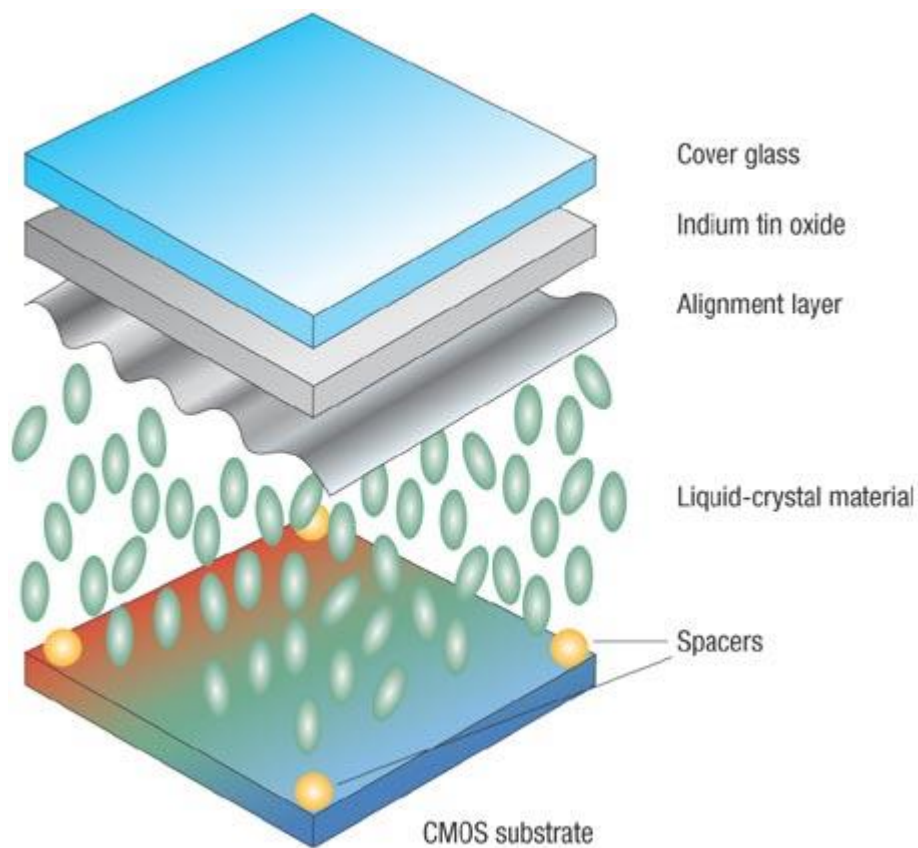


### **Videoproiettori LCoS**

Fra le tecnologie digitali di riproduzione delle immagini, la più recente è quella denominata **LCoS (Liquid Crystal on Silicon)**. È stata messa a punto con l'intento di combinare i vantaggi delle tecnologie LCD e DLP e nello stesso tempo mitigarne o ridurne gli svantaggi.



La tecnologia LCD è di tipo trasmissivo, in quanto la luce passa attraverso il display a cristalli liquidi, e quella DLP è di tipo riflessivo, in quanto la luce emessa dalla sorgente luminosa viene riflessa su microspecchi. La tecnologia LCoS utilizza cristalli liquidi disposti sulla superficie di un chip ricoperto di alluminio, in modo da renderlo riflettente come nel proiettore DLP.



La tecnologia LCoS offre risoluzioni estremamente elevate ed una luminosità significativamente più alta rispetto alle due tecnologie cui si ispira, garantendo al tempo stesso nitidezza ed **effetto film** e riducendo l'effetto zanzariera.

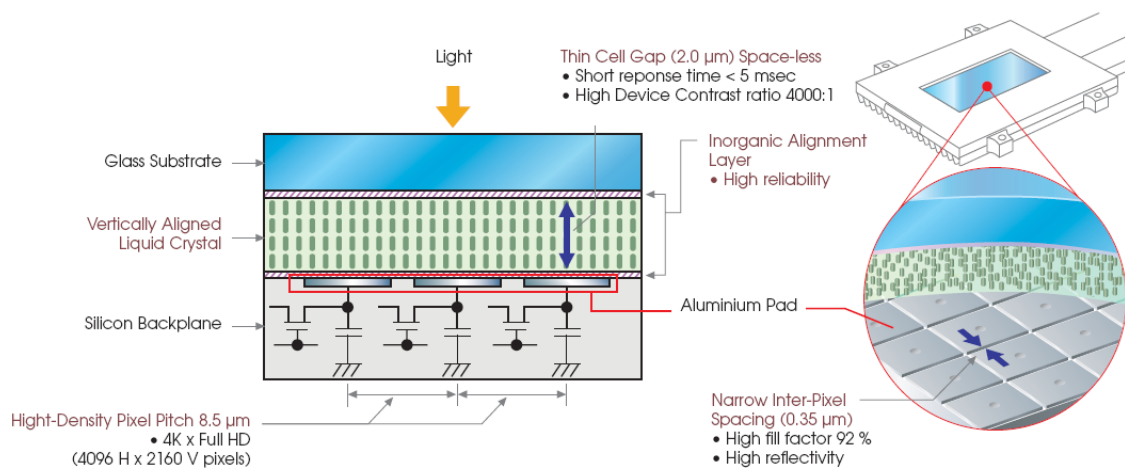
Pannello LCD	Pannello DLP	Pannello LCoS
Rapporto di apertura: 65-73%	Rapporto di apertura: 82%	Rapporto di apertura: 90%

Un punto debole del proiettore LCoS sono le lampade, che hanno in genere un ciclo di vita più breve e costano di più.



La tecnologia LCoS è stata adottata da diversi produttori, ciascuno dei quali ne ha proposto una variante proprietaria. Sul mercato sono così disponibili le seguenti versioni:

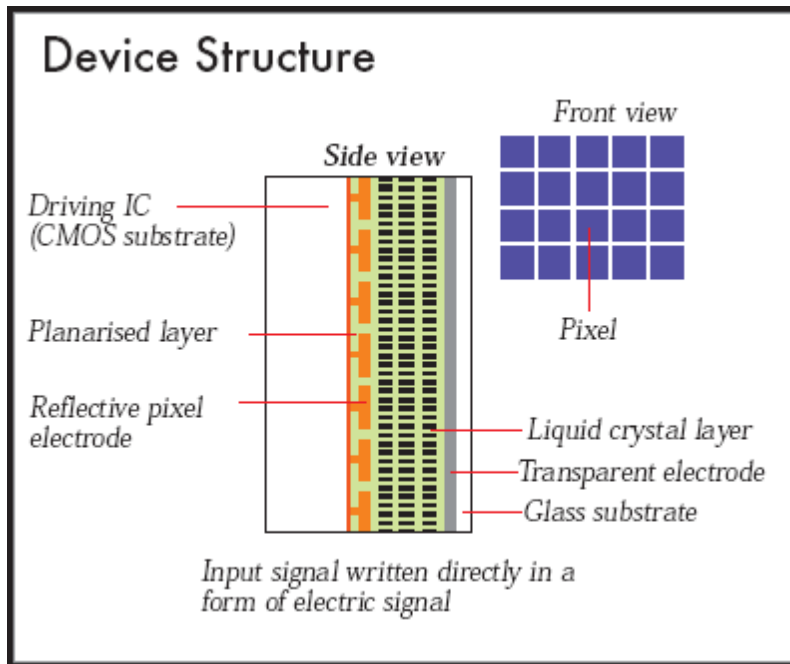
- **SXRD (Silicon Xtal Reflective Display)** di Sony,



La tecnologia SXRD utilizza un'iride, cioè un diaframma, per incrementare il livello del nero. Analogamente alla pupilla dell'occhio, l'iride si apre e si chiude per variare la quantità di luce che entra nel sistema.



- **D-ILA (Digital Direct Drive Image Light Amplifier)** di JVC,



- **Liquid Fidelity** di MicroDisplay Corporation.

Al di là delle sigle, comunque, la base tecnologica è sempre quella LCoS.



# Schermi per proiezione

---

## Tipologie

### Schermo diffondente

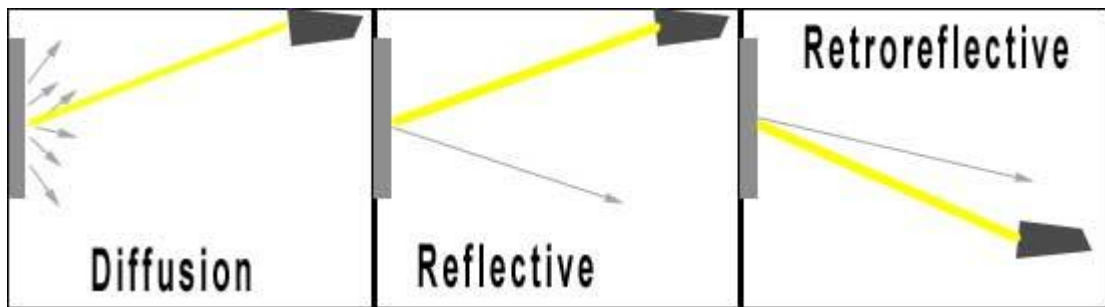
La superficie riflette la luce incidente diffondendola uniformemente in tutte le direzioni, con un angolo di visione molto ampio e senza **hot spotting** e deriva dei colori. Poiché la luce riflessa è dispersa uniformemente invece di essere indirizzata verso gli occhi degli spettatori, l'immagine appare poco luminosa. La maggior parte degli schermi diffondenti hanno un guadagno pari ad 1 circa. È preferibile usare questo tipo di schermo per assicurare una visione dell'immagine con luminosità costante e senza deriva dei colori in tutti punti della sala. È necessario che il proiettore abbia una potenza luminosa adeguata alla volumetria dell'ambiente.

### Schermo riflettente

La superficie è ricoperta esternamente con uno strato speciale che incrementa la capacità riflettente dello schermo. Poiché riflette la luce specularmente, è necessario installare il proiettore sul soffitto. Questo tipo di schermo è il più diffuso ed è adatto ad ambienti non completamente oscurati e per proiettori con potenza luminosa medio-bassa. Praticamente tutti gli schermi con guadagno superiore ad 1 sono da considerarsi riflettenti ed hanno un angolo di visione leggermente inferiore a quello degli schermi diffondenti.

### Schermo retroriflettente

La superficie riflette la luce prevalentemente in direzione del proiettore, che deve quindi essere installato sul pavimento o su un ripiano. Questo tipo di schermo è molto indicato per ambienti illuminati, in quanto il suo guadagno è superiore a 2, ma è penalizzato da un angolo di visione limitato e dalla deriva dei colori e, per alcuni modelli, da hot spotting.

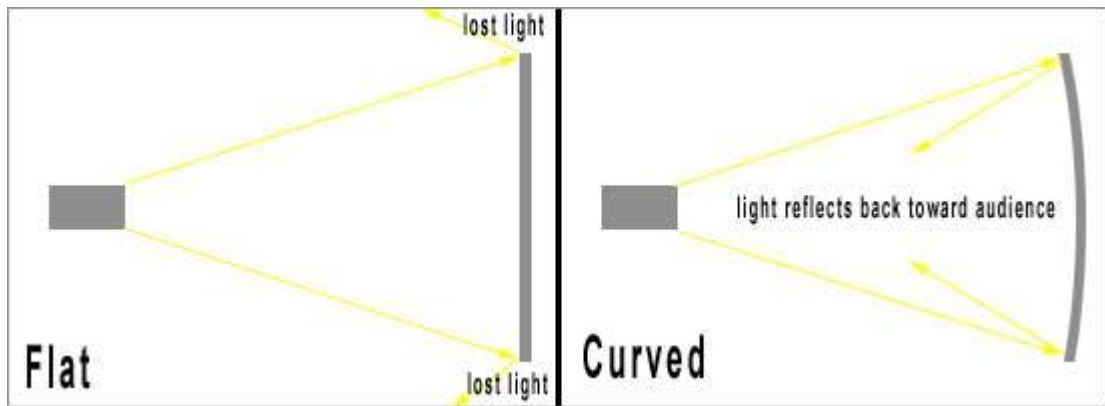


#### Schermo retroproiezione

Questo tipo di schermo è usato in combinazione con l'installazione posteriore del proiettore. I suoi punti di forza sono l'adattabilità al livello di illuminazione dell'ambiente, la sufficiente luminosità dell'immagine, il proiettore fuori vista ed il conseguente abbattimento della sua rumorosità.

#### Schermo curvo

La curvatura della superficie ha lo scopo di indirizzare tutta la luce riflessa verso il pubblico. Mentre la luce riflessa da uno schermo piatto è in parte diffusa nell'ambiente con ripetute riflessioni sulle pareti della sala, quella riflessa da uno schermo curvo è concentrata in gran parte verso il proiettore, fornendo così un'immagine molto luminosa. Questo tipo di schermo ha un guadagno molto alto, normalmente pari a 13. Un simile livello di guadagno non implica la presenza di hot spotting, in quanto lo schermo curvo è un unico **hot spot**, quindi non percepibile come tale. Il suo punto di forza è l'estrema luminosità dell'immagine anche in presenza di luce ambiente, ma può risultare penalizzato da deriva dei colori.



## Superfici

### Superfici bianche e grigie

Mentre gli schermi delle sale cinematografiche e delle sale per convegni e conferenze sono esclusivamente bianchi, quelli per home theatre possono essere bianchi o grigi. Gli schermi bianchi rappresentano i classici schermi da proiezione, di colore neutro, proprietà equilibrate e grande fattore di dispersione. È stato usato per generazioni, dalla proiezione di filmini 8 mm. alle diapositive e non rappresenta di certo un investimento a rischio. Gli schermi grigi sono stati sviluppati per migliorare le prestazioni di livello di nero dei proiettori digitali con limitato rapporto di contrasto. Essendo grigi, limitano la quantità di luce riflessa, per cui i differenti livelli di grigi dei proiettori appaiono più tenui, così da offrire un "nero più nero" rispetto ai tradizionali schermi bianchi.

Per la maggior parte dei proiettori digitali e per dimensioni di schermo fino a 230 cm di base in ambienti home theatre oscurati, normalmente sono consigliabili quelli di colore grigio. Gli schermi grigi abbassano idealmente i livelli di nero e mantengono sotto controllo i picchi di bianco, con valori costanti di neutralità e fedeltà del colore. Ci sono diversi tipi di schermi grigi, ciascuno con un nome diverso e fatto di materiali differenti, ma tutti offrono più o meno i medesimi vantaggi.

Per dimensioni maggiori sono preferibili gli schermi bianchi perché mantengono intatta la dinamicità

della proiezione e permettono di avere immagini di grandi dimensioni e di luminosità adeguata.

In linea di massima, non sono raccomandabili schermi perforati o trasparenti al suono per sistemi THX, perché in un modo o nell'altro influenzano la qualità della proiezione. Gli schermi trasparenti al suono non sono inadeguati, ma non sono mai la soluzione migliore in quanto sono trasparenti anche alla luce, riducendo così dinamicità e contrasto. Inoltre, posizionando un diffusore acustico dietro lo schermo, si possono verificare perdite dei toni alti e influenze sonore con la presenza di sfumature naturali dell'audio. Uno schermo perforato può anche peggiorare l'immagine poiché i fori interferiscono con la struttura dei pixel del proiettore, creando un fastidioso effetto moiré nelle aree bianche del telo, con il rischio di rovinare totalmente la proiezione.

È fondamentale avere un'ampia cornice nera (5-10 cm) attorno all'area di proiezione dello schermo, che delinea perfettamente l'immagine proiettata ed il suo formato. La cornice nera funge da riferimento per gli occhi degli spettatori incrementando notevolmente il livello di contrasto percepito. Normalmente un soggiorno utilizzato come sala home theatre, non ha muri di colore nero o scuri e la cornice è quindi utilizzabile come sostituto. Senza il colore nero come riferimento, gli occhi riducono immancabilmente il contrasto dell'immagine.

#### Superficie diffondente

È una superficie vinilica adatta per le sale cinematografiche ed in esterni, in grado di offrire una definizione ed una riproduzione accurate dei colori e del bianco e nero. Il guadagno è mediamente pari a  $0,90 \pm 5\%$  e la microforatura rappresenta circa il 5-6% dell'area dello schermo, mentre l'angolo di visione si attesta attorno a  $55^\circ$  senza perdita di risoluzione.

#### Superficie perlescente

È una superficie vinilica madreperlacea adatta per proiezioni in ambienti espositivi. Il rivestimento perlescente è caratterizzato da un elevato guadagno, in grado di offrire immagini definite e luminose entro un angolo di visione di 30°, senza perdita di risoluzione. Il guadagno è mediamente pari a 1,40 e la microforatura rappresenta circa il 5-6% dell'area dello schermo.

#### Superficie flessibile

È una superficie vinilica ad alta flessibilità adatta per schermi di grandi dimensioni. Il guadagno è mediamente pari a  $0,80 \pm 5\%$  e la microforatura rappresenta circa il 5-6% dell'area dello schermo, mentre l'angolo di visione si attesta attorno a 55° senza perdita di risoluzione.

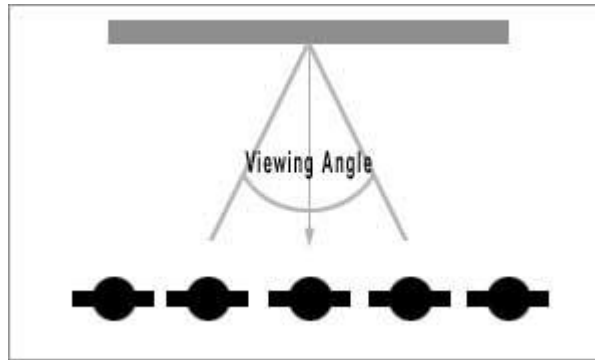
#### Superficie a bassa microforatura

È una superficie acusticamente trasparente adatta per la visione a distanza ravvicinata. Il diametro dei microfori è meno della metà del valore standard e l'immagine è più luminosa grazie all'aumentata riflettanza della superficie. Il guadagno è mediamente pari a 1,10 e la microforatura rappresenta meno del 5% dell'area dello schermo. Questo tipo di superficie riduce l'effetto della pixelizzazione dell'immagine digitale ed è adatta per l'home theatre, per il cinema digitale e per proiezioni in sale medio-piccole.

### Terminologia

#### Angolo di visione

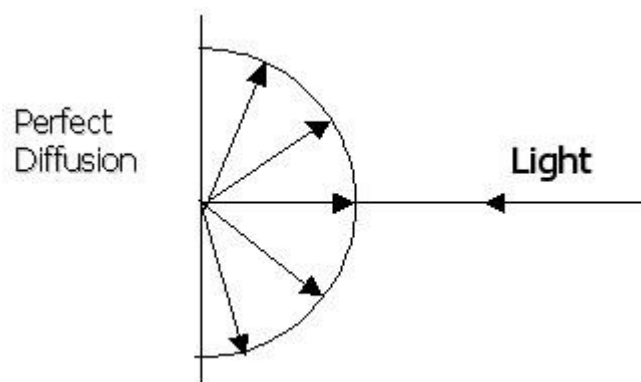
Anche noto come **cono di visione**, è l'angolo centrato sulla perpendicolare dello schermo che assicura una visione ottimale. Gli spettatori all'interno di questo angolo godono della massima qualità dell'immagine, mentre quelli all'esterno usufruiscono di una visione meno luminosa ed eventualmente accompagnata da deriva dei colori.



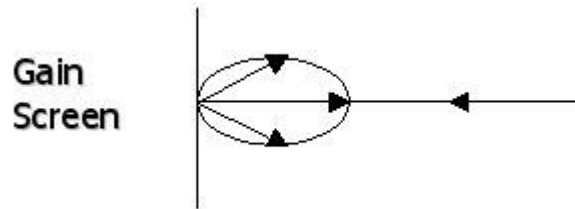
## Guadagno

È la misura della luminosità rispetto ad una superficie di carbonato di magnesio ( $\text{MgCO}_3$ ), che corrisponde ad un guadagno standard di 1,0. All'aumentare del guadagno cresce la riflettanza dello schermo, con conseguente incremento della luminosità dell'immagine agli occhi degli spettatori. A questo proposito, è bene ricordare che lo schermo non può accrescere la potenza luminosa del proiettore; il solo modo per fare percepire una maggiore luminosità è di concentrare la luce riflessa dalla sua superficie verso gli spettatori intervenendo sull'angolo di visione. All'aumentare del guadagno la luminosità dello schermo cresce all'interno dell'angolo di visione e decresce rapidamente spostandosi lateralmente al suo esterno:

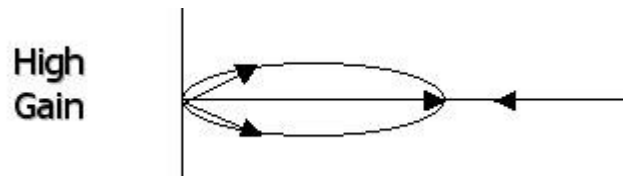
- **schermo diffondente, guadagno = 1,0**



- **schermo riflettente, guadagno = 1,3**



- *schermo retroriflettente, guadagno > 2,0*



### Deriva colori

È un problema esclusivo dei proiettori CRT, in quanto solo il tubo catodico del verde è in posizione centrale, mentre quelli del rosso e del blu sono disposti ai lati. Di conseguenza, spostandosi lateralmente rispetto al cono di visione, l'immagine tenderà al rosso in una direzione ed al blu in quella opposta. Se la deriva dei colori è trascurabile con gli schermi a basso guadagno, diventa invece evidente con quelli ad alto guadagno.

### Hot spotting

Si manifesta con una maggiore luminosità dell'immagine al centro rispetto ai bordi ed è causato da un'insufficiente diffusione della luce. Mentre è trascurabile con gli schermi a basso guadagno, può invece diventare un problema con quelli ad alto guadagno.



## Foot Lambert

È un'unità di misura della luminosità effettiva dello schermo:

$$1 \text{ fL} = 3,4 \text{ cd/m}^2$$

Il valore ideale è di 11 fL, mentre quello nell'intervallo 10-11 fL è soddisfacente; come termine di paragone, quello dello schermo televisivo è di 25-35 fL. Per il calcolo dei foot lambert di una combinazione proiettore/schermo si utilizza la seguente espressione:

$$fL = [(lm \text{ ANSI}) / (ft^2 \text{ schermo})] \cdot \text{guadagno}$$

Ad esempio, un proiettore da 400 lm ANSI abbinato ad uno schermo da 100" con dimensioni 60" x 80" (33,34 ft<sup>2</sup>) e guadagno pari a 1,3 fornisce un'immagine con:

$$\text{luminosità} = [400 / 33,34] \cdot 1,3 = 15,6 \text{ fL}$$





## Connessioni video

---

Per visualizzare i dati, il computer invia al monitor un segnale in formato analogico o digitale.

### **VGA**

La sigla **VGA (Video Graphics Array)** indica specificamente l'hardware grafico introdotto nel 1987 nella linea di computer IBM PS/2; ma nel corso del tempo e grazie alla sua larghissima diffusione ha assunto anche il significato di standard analogico di visualizzazione per computer, connettore a 15 pin e risoluzione video di 640 x 480 pixel.

VGA è stato l'ultimo standard grafico introdotto da IBM seguito dalla maggioranza di produttori di cloni di PC, facendone fino ad oggi l'elemento comune che tutte le schede grafiche devono essere in grado di gestire prima di caricare il driver specifico dell'hardware all'avviamento del PC. Ad esempio, lo **splash screen** iniziale di Windows è visualizzato mentre il computer sta operando in modalità VGA, non avendo ancora caricato i driver specifici, ed è anche il motivo della bassa risoluzione e profondità di colore della schermata.

Se ufficialmente VGA è stato superato dallo standard XGA di IBM, in realtà è stato sostituito da numerose e differenti sue estensioni introdotte dai produttori di cloni e note collettivamente come **Super VGA**.

VGA è un **array (matrice)** e non un **adapter (adattatore)**, in quanto progettato fin dall'inizio come chip singolo per rimpiazzare i vari chip installati sulle schede madri **ISA (Industry Standard Architecture)**, che implementavano gli standard **MDA (Monochrome Display Adapter)**, **CGA (Color Graphics Adapter)** ed **EGA (Enhanced Graphics Adapter)**. Questo ha consentito di installare il chip VGA direttamente sulla scheda madre, essendo gli unici elementi indispensabili la memoria video, un oscillatore quarzato ed un RAMDAC esterno.

I dati di visualizzazione generati dalla scheda grafica in forma analogica sono inviati al monitor con un **cavo VGA**, allacciato al computer mediante un **connettore D-Sub** (analogico) dotato di 15 pin disposti su tre file:



Il connettore VGA ha tre linee distinte per i segnali cromatici rosso, verde e blu e due linee per i segnali di sincronizzazione orizzontale e verticale. Mentre un normale televisore analogico riceve tutti questi segnali combinati in un singolo segnale video composito, il monitor per computer li riceve separati ed è quindi in grado di visualizzare immagini con una risoluzione più alta.

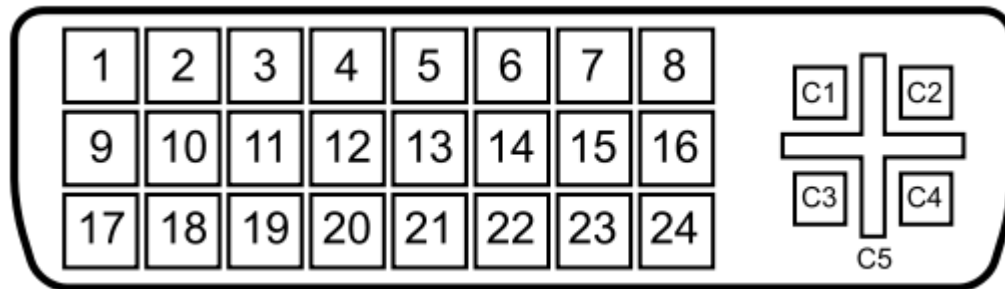


## **DVI**

La sigla **DVI (Digital Visual Interface)** indica una porta, cioè un dispositivo in grado di trasmettere dati in forma digitale dal computer al monitor, senza disturbi e senza bisogno di convertirli in forma analogica. La porta DVI è ormai implementata su tutte le schede grafiche di ultima generazione e porta ad un notevole miglioramento rispetto alle precedenti interfacce analogiche. Le immagini prodotte dalle interfacce DVI sono molto nitide, ad alta risoluzione e predisposte per l'HDTV. I monitor LCD operano in digitale e supportano il formato DVI, in quanto il segnale digitale consente di ottenere immagini di migliore qualità. Alcuni modelli accettano comunque il segnale analogico convertendolo internamente in digitale.

Lo standard DVI si basa sul **TMDS (Transition Minimized Differential Signaling)** di Silicon Image ed è caratterizzato da un'interfaccia digitale ad alta velocità. Il trasmettitore della scheda grafica invia i dati digitali al ricevitore del monitor. Il TMDS preleva il segnale dalla scheda grafica, determina la **risoluzione** e la **frequenza di refresh** utilizzata dal monitor e distribuisce il segnale sulla larghezza di banda disponibile per ottimizzare il trasferimento di dati dal computer al monitor.

I cavi DVI possono essere **cavi a singolo collegamento**, con un unico trasmettitore TMDS, o **cavi a doppio collegamento**, con due trasmettitori. La connessione ed il cavo DVI a singolo collegamento supportano immagini 1920x1080, mentre la connessione ed il cavo DVI a doppio collegamento supportano immagini fino a 2048x1536. Il cavo DVI ha una lunghezza massima operativa di 5 m: qualora si superi questo limite, la qualità video diventa inaffidabile.

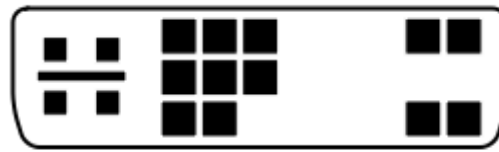


- |    |                         |
|----|-------------------------|
| 1  | T.M.D.S DATA 2-         |
| 2  | T.M.D.S DATA 2+         |
| 3  | T.M.D.S DATA 2/4 SHIELD |
| 4  | T.M.D.S DATA 4-         |
| 5  | T.M.D.S DATA 4+         |
| 6  | DDC CLOCK               |
| 7  | DDC DATA                |
| 8  | ANALOG VERT. SYNC       |
| 9  | T.M.D.S DATA 1-         |
| 10 | T.M.D.S DATA 1+         |
| 11 | T.M.D.S DATA 1/3 SHIELD |
| 12 | T.M.D.S DATA 3-         |
| 13 | T.M.D.S DATA 3+         |
| 14 | +5V POWER               |
| 15 | GND                     |
| 16 | HOT PLUG DETECT         |
| 17 | T.M.D.S DATA 0-         |
| 18 | T.M.D.S DATA 0+         |
| 19 | T.M.D.S DATA 0/5 SHIELD |
| 20 | T.M.D.S DATA 5-         |
| 21 | T.M.D.S DATA 5+         |
| 22 | T.M.D.S CLOCK SHIELD    |
| 23 | T.M.D.S CLOCK+          |
| 24 | T.M.D.S CLOCK-          |
| C1 | ANALOG RED              |
| C2 | ANALOG GREEN            |
| C3 | ANALOG BLUE             |
| C4 | ANALOG HORZ SYNC        |
| C5 | ANALOG GROUND           |

I tipi di interfacce DVI sono tre:

### DVI-A

Trasporta esclusivamente il segnale analogico ed è quindi equivalente alla porta VGA, assicurando però una migliore qualità dell'immagine.



DVI-A

### DVI-D

Trasporta esclusivamente il segnale digitale, assicurando così un notevole miglioramento rispetto all'interfaccia VGA e l'uso dell'alta definizione. È indispensabile che la scheda grafica abbia un'uscita DVI-D e che il monitor abbia un ingresso DVI-D. Il connettore dispone di 24 pin/alveoli su 3 file da 8 più uno slot di messa a terra per il supporto del doppio collegamento. Il connettore per il supporto del singolo collegamento dispone invece di 18 pin/alveoli.



DVI-D (Single Link)



DVI-D (Dual Link)

### DVI-I

Trasporta sia il segnale digitale che quello analogico e dunque equivale ad una porta DVI-A unita ad una DVI-D, permettendo così di collegare monitor con ingresso sia analogico sia digitale. Oltre ai pin/alveoli tipici del connettore DVI-D, presenta altri 4 pin/alveoli per la trasmissione del segnale digitale.



DVI-I (Single Link)



DVI-I (Dual Link)

***Il connettore DVI-D trasporta unicamente segnali digitali, mentre quello DVI-I dispone di altri quattro pin per l'invio anche dei segnali analogici. Entrambi i connettori sono utilizzabili con cavi a singolo o a doppio collegamento, in funzione dei requisiti del display.***

Non è possibile stabilire un collegamento tra DVI-A e DVI-D, in quanto uno è solo analogico e l'altro è solo digitale. È invece possibile eseguire il collegamento DVI-A/I – VGA usando un apposito cavo, poiché DVI-I e DVI-A inviano segnali analogici. Il collegamento diretto tra una porta DVI-D ed una VGA non risulta fattibile giacché DVI-D usa solo segnali digitali. Per collegare una DVI-D ad una VGA, occorre utilizzare un convertitore DVI per trasformare il segnale da digitale ad analogico e viceversa.



## **HDMI**

La sigla **HDMI (High-Definition Multi-media Interface, interfaccia multimediale ad alta definizione)** identifica uno standard commerciale completamente digitale per l'interfaccia dei segnali audio e video, creata nel 2002 dai principali produttori di elettronica. Lo standard gode anche dell'appoggio dei principali produttori cinematografici e degli operatori televisivi.

È la prima interfaccia non compressa completamente digitale a trasportare contemporaneamente segnali audio e video, ed è retrocompatibile con l'interfaccia digitale DVI, che però è in grado di trasportare solamente il segnale video. Dal punto di vista della semplicità di utilizzo da parte di un utente, HDMI ricorda molto la connessione SCART introdotta negli anni '80 del XX secolo per collegare periferiche audio/video al televisore con un'unica presa. Anche HDMI è utilizzabile con differenti dispositivi audio/video e costituisce una soluzione adatta, benché non l'unica, per il trasporto del segnale di apparecchi digitali come set-top box, lettori DVD e ricevitori satellitari verso schermi anch'essi digitali come LCD, plasma e videoproiettori.

A differenza di quanto è avvenuto in passato con altri tipi di interfacce di collegamento, lo sviluppo di HDMI non è affatto concluso. Infatti, uno dei principi base della nuova interfaccia, fortemente voluto dai produttori, è proprio la sua caratteristica di essere in costante evoluzione, con ogni nuova versione identificata da un numero univoco. La prima versione,

uscita come detto nel 2002, era la HDMI 1.0. Successivamente, sono arrivati 2 aggiornamenti, 1.1 e 1.2, che hanno progressivamente aumentato la velocità di trasferimento dei dati, introducendo contemporaneamente altre funzionalità. Dal punto di vista dei componenti hardware non è cambiato nulla, infatti, il cavo e il connettore sono rimasti invariati, ma è cambiata la gestione software del protocollo di trasmissione. Grazie a questa serie di aggiornamenti, si è arrivati a quella che al momento è l'ultima evoluzione di HDMI, ovvero la versione 1.3, datata giugno 2006. Per avere un'idea di quali sono stati i progressi compiuti in soli 4 anni, basti pensare che mentre HDMI 1.0 era in grado di offrire un bitrate massimo di 4,9 GB/s, la versione 1.3 arriva fino a 10,2 GB/s. Di seguito vengono illustrate brevemente alcune delle peculiarità di ciascuna versione:

- **HDMI 1.0 – dicembre 2002**
  - Bitrate massimo di 4,9 GB/s. Supporta fino a 165 Mpixel/s di flusso video (1080p a 60 Hz o UXGA) ed audio a 8 canali codificato a 192 kHz e 24 bit.
- **HDMI 1.1 – maggio 2004**
  - Supporto addizionale per la protezione dei contenuti dei DVD Audio.
- **HDMI 1.2 – agosto 2005**
  - Supporto addizionale per i Super Audio CD.
  - Connessione HDMI Tipo A disponibile per i PC.
  - Possibilità per i PC di utilizzare colori RGB nativi con l'opzione dei colori YCbCr.
  - Supporto per le fonti a bassa tensione.
- **HDMI 1.3 – giugno 2006**
  - Bitrate aumentato a 10,2 GB/s.
  - Supporto (opzionale) colori 30 bit, 36 bit e 48 bit (RGB o YCbCr).
  - Supporto standard colori xv YCC.
  - Supporto funzionalità di sincronizzazione audio automatica.
  - Supporto (opzionale) uscita Dolby TrueHD e DTS-HD Master Audio stream (formati audio utilizzati con i dischi HD DVD e Blu-ray).

Più nello specifico, le differenze tra le ultime 2 evoluzioni, la versione 1.2 e la 1.3, sono le seguenti:



Evoluzione dello standard HDMI		
Caratteristiche	HDMI 1.2	HDMI 1.3
Data rate massimo	4,95 GB/s	10,2 GB/s
Ampiezza di banda massima	165 MHz	340 MHz
Risoluzione massima	1920x1080 progressiva (1080p)	2560x1440 progressiva (1440p)
Profondità colori massima	24 bit	48 bit
Colori visualizzati	$16,7 \cdot 10^6$	$281 \cdot 10^{18}$
Supporto DTS & Dolby Digital 5.1	Sì	Sì
Supporto Dolby TrueHD & DTS-HD	No	Sì
Campionamento audio (2 canali)	192 KHz	768 KHz
Campionamento audio (da 3 a 8 canali)	96 KHz (max 4 flussi)	192 KHz (max 8 flussi)

L'interfaccia HDMI è compatibile con tutti i principali formati video, compresi PAL, NTSC e ATSC. Tra le innovazioni che si sono susseguite nel corso dello sviluppo dello standard, vi è anche l'aumento della massima risoluzione video supportata. Se inizialmente questa era la 1080p utilizzata attualmente dalla televisione ad alta definizione e quindi anche dai supporti ottici HD DVD e Blu-ray, con la versione 1.3 si è arrivati al formato 1440p (2560x1440 progressivo) ed anche la profondità dei colori massima è aumentata enormemente arrivando a 48 bit, il che si traduce nella possibilità (teorica) di visualizzare oltre  $280 \cdot 10^{18}$  colori; tutto questo abbinato ad un refresh massimo di 120 Hz.

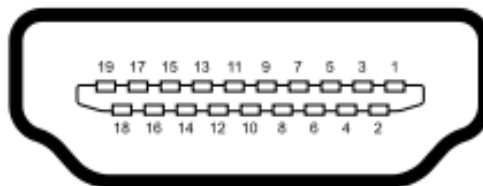
Per essere accettato dall'industria cinematografica, lo standard HDMI ha dovuto essere dotato di un sistema di protezione dei contenuti chiamato **HDCP (High-Definition Content Protection)**, supportato a partire dalla versione 1.1.

Tale tecnologia, sviluppata inizialmente da Intel, è implementata in tutti i prodotti HD DVD e Blu-ray ed è un meccanismo di codifica decrittabile solo da particolari dispositivi hardware e dovrebbe, quindi, essere più difficile da aggirare da parte dei pirati (in realtà sono già state individuate diverse tecniche per superare tali difese). Ad ogni modo, per godere pienamente dei contenuti ad alta definizione è necessario appoggiarsi a questa

tecnologia abbinata all'interfaccia HDMI, perché se si utilizzano altre connessioni, come il **video component**, il segnale viene automaticamente degradato e la qualità dell'immagine risulta molto simile a quella offerta dai tradizionali DVD, rendendo quindi inutile l'utilizzo di sorgenti ad alta definizione.

Lo standard HDMI supporta 3 modalità di trasferimento del segnale video (**standard, enhanced, high definition**) e del segnale audio digitale multicanale su un unico cavo. Non dipende dai vari standard di televisione digitale quali ATSC e DVB, in quanto sono forme di incapsulamento di flussi dati MPEG, che vengono inviati a un decoder e quindi visualizzati sotto forma di segnale video non compresso (eventualmente ad alta definizione). Tali dati video vengono successivamente codificati in tecnologia TMDS e trasmessi in modalità digitale su un canale HDMI. Lo standard prevede inoltre il supporto per segnali audio digitali non compressi a 8 canali. A partire dalla versione 1.2 sono supportati fino a 8 canali audio a 1 bit, la tecnologia usata dai Super Audio CD.

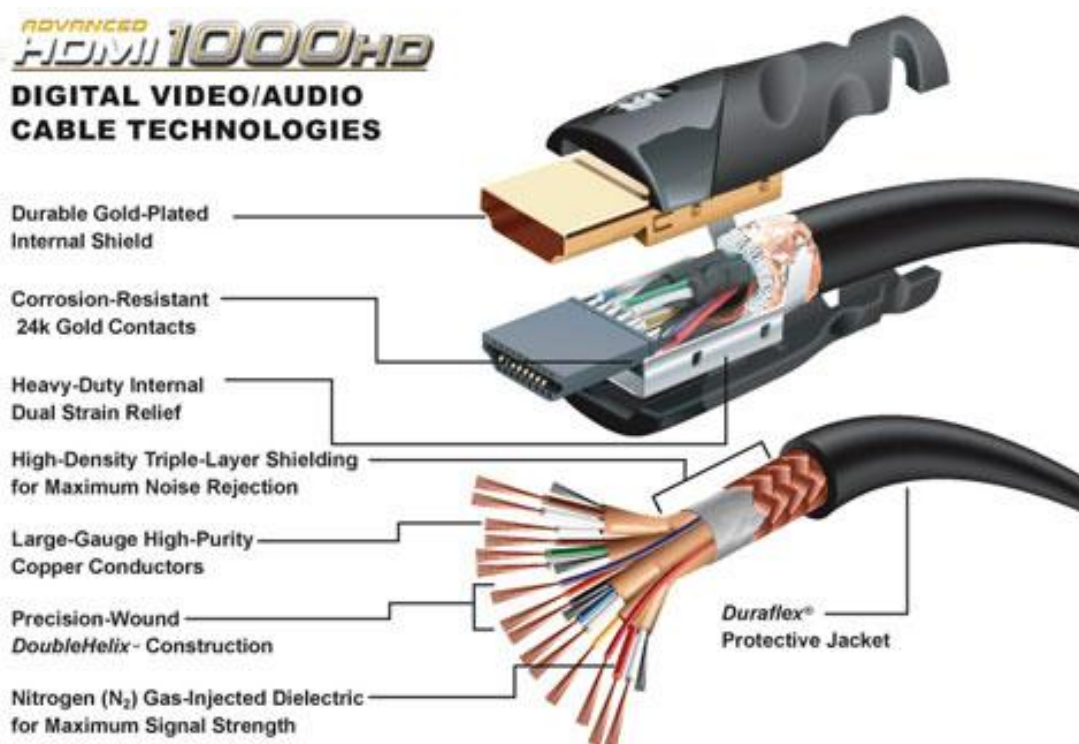
Il connettore **HDMI tipo A** è a 19 pin; lo standard definisce anche il connettore **HDMI tipo B** per risoluzioni più elevate, che però non risulta ancora molto diffuso. Quest'ultimo tipo è a 29 pin e consente il trasporto di un segnale video espanso per display ad alta risoluzione (superiore a 1080p).



- |    |                                  |
|----|----------------------------------|
| 1  | <b>TMDS DATA2+</b>               |
| 2  | <b>TMDS DATA2 SHIELD</b>         |
| 3  | <b>TMDS DATA2-</b>               |
| 4  | <b>TMDS DATA1+</b>               |
| 5  | <b>TMDS DATA1 SHIELD</b>         |
| 6  | <b>TMDS DATA1-</b>               |
| 7  | <b>TMDS DATA0+</b>               |
| 8  | <b>TMDS DATA0 SHIELD</b>         |
| 9  | <b>TMDS DATA0-</b>               |
| 10 | <b>TMDS CLOCK+</b>               |
| 11 | <b>TMDS CLOCK SHIELD</b>         |
| 12 | <b>TMDS CLOCK-</b>               |
| 13 | <b>CEC</b>                       |
| 14 | <b>RESERVED (N.C. ON DEVICE)</b> |
| 15 | <b>SCL</b>                       |
| 16 | <b>SDA</b>                       |
| 17 | <b>DDC/CEC GROUND</b>            |
| 18 | <b>+5 V POWER (MAX 50 mA)</b>    |
| 19 | <b>HOT PLUG DETECT</b>           |

L'HDMI tipo A è retrocompatibile con l'interfaccia DVI single-link attualmente usata sui monitor e schede grafiche per computer. In tal modo, una sorgente di segnale DVI è in grado di gestire un monitor HDMI (o viceversa) attraverso un opportuno cavo o adattatore, anche se è necessario rinunciare all'audio e alle funzioni di controllo remoto previste dallo standard HDMI. Inoltre, per i motivi accennati in precedenza, in assenza del supporto per la tecnologia di protezione HDCP, il dispositivo di visualizzazione degraderà la qualità e la risoluzione dell'immagine. Analogamente, l'HDMI tipo B è retrocompatibile con la tecnologia DVI dual-link.

Se dal punto di vista della riproduzione di contenuti ad alta definizione, lo standard HDMI risulta uno dei migliori, la stessa cosa non si può dire della registrazione di contenuti audio/video. I dati che passano nell'HDMI non sono compressi e la funzione primaria dell'HDCP è proprio quella di proteggere i dati non compressi dalla possibilità di copie. Quindi, al momento, non esiste alcuna possibilità di registrare i dati tramite l'HDMI, ma non è escluso che queste funzionalità vengano introdotte con versioni future dell'interfaccia.



## Profondità di colore

---

La combinazione delle modalità di visualizzazione supportate dalla scheda grafica e la gamma cromatica del monitor determina il numero di colori riproducibili a video.

Ad esempio, un display operante in modalità SuperVGA (SVGA) può visualizzare fino a 16.777.216 colori (in breve: ~ 16,8 milioni di colori), poiché è capace di elaborare una descrizione a 24 bit di ciascun pixel. Con 24 bit complessivi, a ciascuno dei tre colori primari RGB sono riservati 8 bit. Questa modalità di rappresentazione cromatica è nota come **true color**, in quanto è in grado di riprodurre i 10.000.000 di colori discernibili dall'occhio umano, mentre un display a 16 bit può riprodurre solo 65.536. Il passaggio dai display a 16 bit a quelli a 24 bit è stato motivato dall'esigenza di facilitare il compito di sviluppatori e programmatori.

Riassumendo, la **profondità di bit del colore** (o, più semplicemente, **profondità di bit** o **profondità di colore**) si riferisce al numero di bit utilizzati per descrivere il colore di ogni singolo pixel. La profondità di bit determina il numero di colori visualizzabili contemporaneamente. La tabella seguente riporta il numero di colori riproducibili in funzione della profondità di bit:

Profondità di colore	
Bit	Numero di colori
1	2 (monocromo)
2	4 (CGA)
4	16 (EGA)
8	256 (VGA)
16	65.536 (XGA)
24	16.777.216 (SVGA)
32	16.777.216 (true color + alpha channel)

La profondità di colore a 32 bit è una modalità grafica speciale utilizzata in riprese, filmati ed animazioni digitali e nei videogiochi per ottenere effetti particolari. In sostanza, 24 bit servono per la riproduzione dei colori e gli altri 8 bit sono utilizzati come strato separato per rappresentare i livelli di semitrasparenza in oggetti o immagini.