

Che cosa è, come funziona: display a cristalli liquidi (LCD, DSTN, TFT)

ricerca bibliografica e testo:
ing. Marzio **Barbero** e
ing. Natasha **Shpuza**

grafica 3D: ing. Mario **Muratori**

1. Premessa

Questa è la prima di una serie di “schede” intitolate “Che cosa è, come funziona”. Tali “schede” hanno lo scopo di illustrare le tecnologie o i sistemi che sono normalmente oggetto degli articoli pubblicati su Elettronica e Telecomunicazioni, per fornire alcune informazioni di base che ne facilitino la lettura e comprensione.

Fra le tecnologie per realizzare gli schermi piatti o FPD (*Flat Panel Display*), quella basata sui cristalli liquidi ha avuto negli ultimi anni una rapida evoluzione in termini di prestazioni e dimensioni diventando la predominante nell'ambito informatico; più recentemente sono stati proposti anche televisori dotati di grande schermo a cristalli liquidi.

2. Cenni storici

Gli scienziati erano a conoscenza dell'esistenza dei cristalli liquidi fin dalla fine del 19° secolo. Un botanico austriaco, Friedrich Reinitzer, notò il fenomeno nel 1888: aveva riscaldato un composto organico, il cholesteryl benzoate, ed aveva osservato che aveva due punti di fusione differenti, a 145° diventava un liquido opaco e tornava chiaro a 179°.

Un professore di fisica tedesco, Otto Lehmann, studiò il fenomeno e, utilizzando un microscopio in grado di riscaldare il composto, verificò che le molecole non fondono direttamente, ma passano per una fase in cui si comportano

come un liquido, pur mantenendo la struttura molecolare e le proprietà ottiche di un cristallo solido. Coniò quindi, nel 1889, il termine “cristallo liquido”.

Solo nel 1968 furono sviluppati i primi display a cristalli liquidi presso il Centro Ricerche David Sarnoff della RCA negli Stati Uniti.

La tecnologia si è sviluppata notevolmente e gli LCD (Liquid Crystal Display) trovano oggi applicazione in orologi, strumentazione, telecamere e monitor, notebook, telefoni mobili.

Sono in uso due tipologie di LCD:

- *dual-scan twisted nematic* (DSTN), di minor costo
- *thin film transistor* (TFT), caratterizzati da elevata qualità dell'immagine

3. Principio di funzionamento dei cristalli liquidi

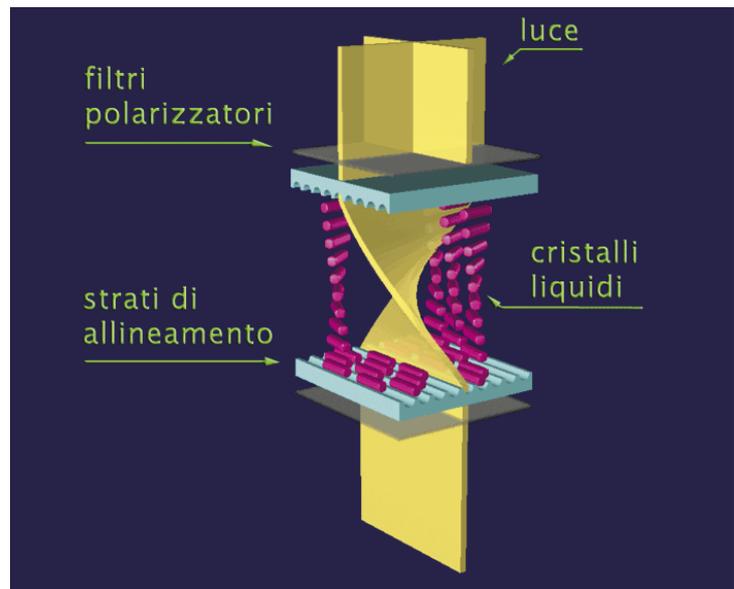
Gli LCD sono una tecnologia di tipo trasmissivo, a valvola di luce: la luce bianca viene filtrata (viene variata la quantità di luce che transita attraverso il dispositivo) ottenendo la scala dei grigi. I colori vengono ottenuti semplicemente filtrando la luce bianca.

La maggior parte dei cristalli liquidi è costituita da molecole allungate che, normalmente, si dispongono con l'asse maggiore parallelo a quelle delle molecole a loro prossime. E' pos-

sibile controllare l'allineamento delle molecole se il cristallo liquido è posto su una superficie finemente corrugata: se le corrugazioni sono parallele anche le molecole si dispongono parallele l'une alle altre.

Un LCD consiste in un cristallo liquido compreso fra due superfici finemente corrugate, le corrugazioni di una superficie sono perpendicolari a quelle dell'altra superficie. Se le molecole prossime ad una superficie hanno direzione nord-sud, quelle prossime all'altra superficie hanno direzione est-ovest, quelle intermedie sono ruotate nella direzione intermedia (figura 1). La luce che passa attraverso il dispositivo modifica la propria polarizzazione seguendo l'orientamento delle molecole; quindi, transitando per il cristallo liquido, viene ruotata di 90°. I laboratori della RCA dimostrarono che, quando viene applicata un campo elettrico al cristallo liquido, le molecole si dispongono verticalmente e quindi la luce passa senza subire la rotazione di polarizzazione (figura 2).

Esternamente a questi tre strati (superficie corrugata - cristallo liquido - superficie corrugata) vengono posti due ulteriori strati: filtri polarizzanti per la luce disposti a 90° fra loro. Se non è applicata tensione, la luce passa per il primo filtro e viene polarizzata, tran-



sita per il cristallo liquido, subisce quindi una rotazione della polarizzazione pari a 90° e infine transita per il secondo filtro: in assenza di tensione la luce passa. Se è applicata tensione, la luce viene polarizzata dal primo filtro, transita inalterata per il cristallo liquido e viene bloccata dal secondo filtro: in presenza di tensione la luce viene bloccata. Al fine di ridurre il consumo di energia elettrica in genere si preferisce far sì che la mancanza

Fig. 1 - In un LCD le molecole prossime ad una delle superfici hanno direzione nord-sud, quelle prossime all'altra superficie hanno direzione est-ovest, quelle intermedie sono ruotate nella direzione intermedia. La luce che passa attraverso il dispositivo modifica la propria polarizzazione seguendo l'orientamento delle molecole e viene ruotata di 90°.

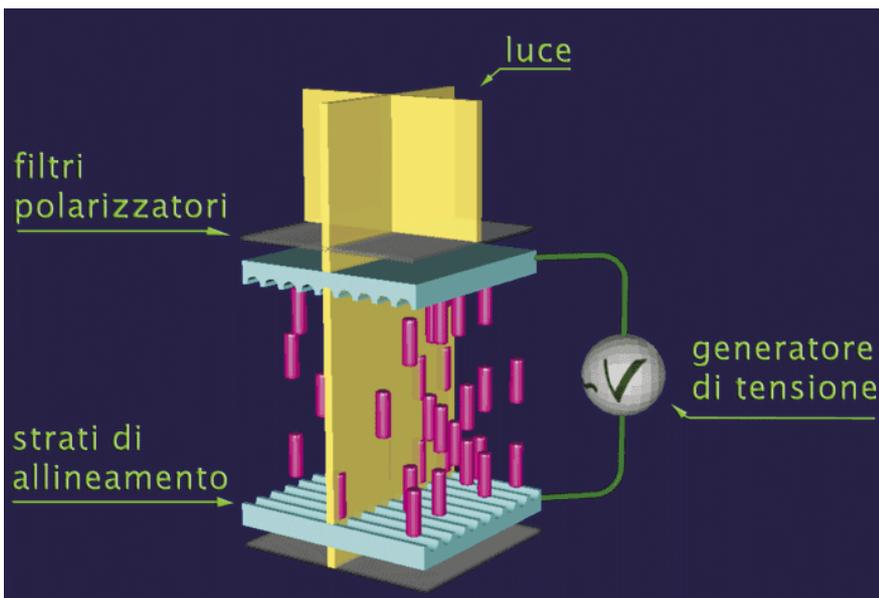


Fig. 2 - Quando viene applicato un campo elettrico al cristallo liquido, le molecole si dispongono verticalmente: la luce passa senza subire la rotazione.

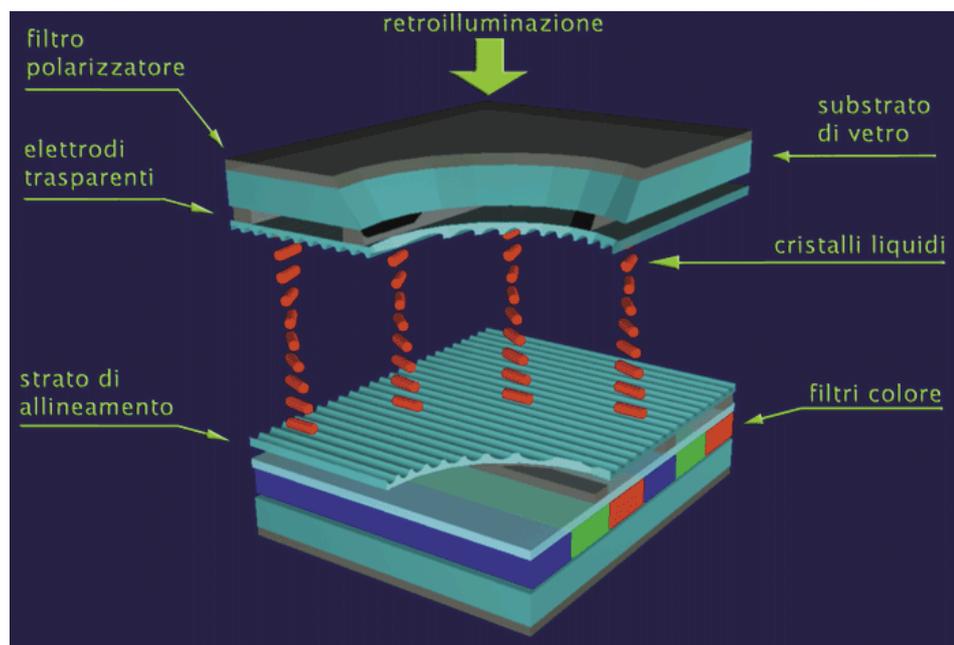


Fig. 3 - I diversi strati che costituiscono un LCD a matrice passiva (DSTN).

di tensione applicata corrisponda al passaggio della luce, anche se è possibile operare nel modo duale.

4. I display a matrice passiva TN e DSTN (Dual Scan Twisted Nematic)

Un LCD a matrice passiva è costituita da un insieme di strati (figura 3):

- un elemento è costituito da un substrato di vetro con superficie in ossido di metallo, molto trasparente per non compromettere la qualità dell'immagine. E' dotato di una griglia di elettrodi, necessari ad attivare i singoli elementi dello schermo. Su di esso è uno strato di polimero con una serie di solchi paralleli per allineare le molecole del cristallo liquido.
- un altro elemento, analogo al primo, è costituito da un altro substrato di vetro, completo di strato di allineamento, e dotato di spaziatori per mantenere una distanza uniforme tra i due elementi.

I due elementi sono saldati con una resina epossidica ai lati e il cristallo liquido è iniettato nell'intercapedine. L'insieme è sigillato com-

pletamente. Vengono infine applicati gli strati polarizzati esterni. Negli LCD l'orientamento degli strati di allineamento varia da 90° a 270° , in funzione della rotazione totale del cristallo liquido compreso fra di essi.

La luce posteriore è fornita generalmente da tubi fluorescenti a catodo freddo montati lungo i lati superiori e inferiori ed è distribuita su tutto il pannello usando guide di luce o prismi di plastica.

La griglia di elettrodi è organizzata in righe e colonne, in uno schermo VGA ^{Nota 1} vi sono quindi 640 transistor per pilotare le colonne e 480 transistor per pilotare le righe. Per indirizzare i singoli pixel, le righe sono attivate in sequenza, e quindi ogni riga è attiva solo per un breve tempo in ogni periodo di rinfresco dello schermo. Ne consegue che la risposta degli LCD con il sistema di pilotaggio a matrice passiva risulta molto lenta e non è in grado di seguire i cambiamenti veloci nel contenuto d'immagine. Inoltre si ha il fenomeno di "ghosting", l'area di pixel "accesi" interferisce con i pixel "spenti" appartenenti alle stesse righe e colonne.

Migliori tempi di risposta sono stati ottenuti organizzando lo schermo in due parti e effettuando il rinfresco in modo indipendente

per ciascuna di esse, questi schermi sono denominati DSTN.

Nel corso degli anni '90 vi sono stati numerosi miglioramenti tecnologici per quanto riguarda la velocità di risposta (con formulazioni del cristallo liquido caratterizzati da minor viscosità), nel contrasto, nel pilotaggio degli elettrodi.

Per ottenere gli LCD a colori si aggiungono semplicemente dei filtri colorati (rosso, verde e blu) in modo che a ciascun pixel corrispondano tre elementi colorati.

Il livello di luminanza di ciascun pixel è ottenuto variando la tensione applicata al cristallo liquido, infatti la posizione delle molecole del cristallo liquido, e di conseguenza la quantità di luce che transita, è proporzionale alla tensione applicata. La precisione che si può ottenere è pari a circa 64 livelli (ovvero 6 bit) per ciascun colore. Per consentire applicazioni multimediali, per cui è importante la fedeltà cromatica per le immagini, sono state sviluppate tecniche in base alle quali vengono modificati i livelli nel corso di tre o quattro rinfreschi consecutivi dell'immagine. In questo modo si ottengono precisioni prossime a 256 livelli (8 bit) per ciascuno dei colori primari, analoghe a quelle *TrueColour* (24 bit, 16 milioni di colori) fornite dai CRT (*Cathod-Ray-Tube*).

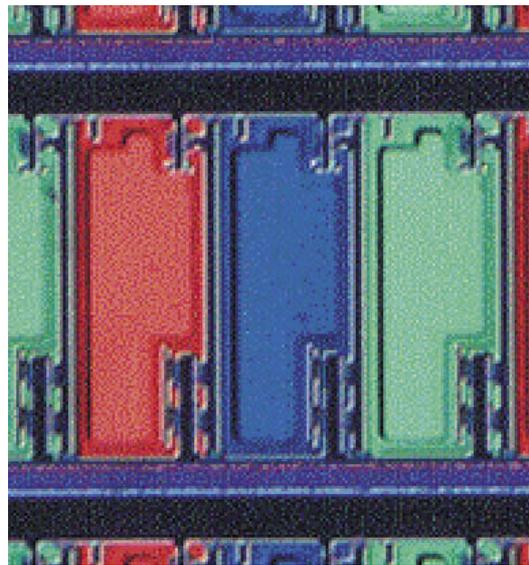


Fig. 4 - Immagine ingrandita di un TFT

5. I display a matrice attiva o TFT (*Thin Film Transistor*)

Nei display a matrice attiva ad ogni elemento di ciascun pixel è associato un transistor (figura 4). Pilotando i singoli elementi di immagine si eliminano i problemi di "ghosting" e di bassa velocità di commutazione. Si ottengono così tempi di risposta dell'ordine di 25 ms (contro i 300 ms dei DSTN), rapporti di contrasto compresi fra 200:1 e 400:1 (40:1 per i DSTN), e valori di flusso luminoso tra le 200 e le 250 cd/m^2 ^{Nota 2}.

Nota 1.

VGA - Video Graphics Array o Video Graphics Adapter. Indicava in origine un formato di immagine pari a 640x480 pixels, con 16 colori. Questo standard ha sostituito i primi standard grafici, il **CGA** (Colour Graphics Adapter) e **EGA** (Enhanced Graphics Adapter).

SVGA - Super-VGA descriveva inizialmente le schede grafiche in grado di supportare risoluzioni di 800x600 pixel con 256 colori o 1024x768 pixel con 16 colori.

Attualmente le denominazioni si riferiscono al formato massimo dell'immagine, poiché in genere vengono, almeno nominalmente, supportati 16 milioni di colori.

XGA (1024x768),

SXGA+ (1400x1050), UXGA (1600x1200) e QXGA (2048x1536)

Nota 2.

Duecento anni fa la candela di riferimento era costituita da 0,167 libbrae troy di grasso di balena, di diametro sufficientemente grande da bruciare a 120 grani per ora per una durata di 8 ore. Al giorno d'oggi la candela è un delle unità base SI, per l'intensità luminosa. La candela (cd) è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente luminosa che emette una radiazione monocromatica di frequenza 540x10¹² Hertz e che possiede una intensità radiante in quella direzione di 1/683 watt per steradiano.

Il flusso luminoso si misura in lumen (lm), il lumen è definito come il flusso luminoso emesso in un angolo solido di 1 steradiano da una sorgente luminosa puntiforme dell'intensità di 1 candela.

Luminanza è la quantità di radiazione luminosa per unità di area della sorgente luminosa, è misurata in nit (candele per metro quadro).

Illuminanza è la quantità di radiazione visibile che cade sull'unità di area, è misurata in lux (lx. lumen per metro quadro).

I TFT sono più leggeri e più veloci (nella commutazione) dei DSTN, ma i costi di produzione sono molto più elevati. Uno schermo VGA richiede 921 mila transistor (640x480x3), mentre 2,359 milioni di transistor sono necessari per una risoluzione di 1024x768 pixel. L'intera matrice di transistor deve essere realizzata su un solo *wafers* di silicio e l'intero wafer deve essere scartato se la presenza di impurità dà origine ad alcuni pixel difettosi. Si definiscono come pixel difettosi "accesi" quelli che appaiono come elementi rossi, blu o verdi su un fondo completamente nero, si definiscono come pixel "mancanti" o "morti" quelli che appaiono come pixel neri su fondo completamente bianco. La presenza di pixel accesi è il difetto più frequente, dovuto alla presenza di transistor cortocircuitati.

Alla fine del 1996 fu introdotto un TFT che utilizzava un nuovo tipo di cristallo liquido in cui le molecole sono allineate verticalmente (VA, *vertically-aligned*): essendo perpendicolari al substrato quando non è applicata alcuna tensione, l'immagine è nera. Quando è applicata tensione, le molecole passano ad una posizione orizzontale, e l'immagine è bianca. In assenza di tensione, anche le molecole in prossimità ai substrati sono completamente verticali, ciò migliora la qualità del nero e l'angolo di visione, che raggiunge i 140° in tutte le direzioni, migliora anche il contrasto, che può raggiungere 300:1. I successivi miglioramenti (tecnologia MVA - *Multi-domain Vertical Alignment*) hanno portato ad angoli di visione ancora più ampi (160°), mentre il contrasto può ora raggiungere 500:1 e la luminanza le 250 cd/m². La vita di un TFT è dell'ordine di 60 mila ore: quindi, in media, la luce di un display TFT tenuto sempre in funzione si spegne dopo circa 7 anni. A scopo comparativo si consideri che un CRT non si spegne, ma ha un graduale degradamento della luminosità, tale degradamento è sensibile a partire dalle 40 mila ore di funzionamento.

6. Il mercato

I produttori di LCD furono inizialmente solo giapponesi, a partire da metà degli anni 90, si aggiunsero Corea e Taiwan.

Nello sviluppo della produzione e della commercializzazione dei TFT sono individuate varie generazioni, caratterizzate dall'incremento della superficie dello schermo e da successive generazioni degli impianti di fabbricazione. La legge di Nishinura indica un incremento della superficie di un fattore da 1,7 a 1,9 nel passaggio da una generazione alla successiva. La prima generazione (1991) era caratterizzata da dimensioni di 400x300 pixel, con la seconda generazione (1994) si passò a 500x400, la terza (1996) 650x550 e 720x600, la quarta (2000) 800x680 e 920x730, attualmente siamo alla quinta (2002) 1200x1000. Le prossime generazioni sono previste per il 2005 e 2007. La quinta e la sesta generazione sono ottimizzate per la produzione di schermi di 19" - 30".

Le vendite sono aumentate esponenzialmente in questi anni poiché la tecnologia per schermi piatti TFT è quella che attualmente soddisfa la gamma più ampia di applicazioni (dai display di orologi e telefoni ai monitor e agli schermi televisivi). Fino ad ora è stata in grado di fronteggiare la competizione con altre tecnologie (PDP, *Plasma Display Panel*, e OLED, *Organic Light Emitting Diode*) che hanno campi di applicazione più ristretti, ma è probabile che continui ad esservi una coesistenza, uno sviluppo ed una crescita delle diverse tecnologie in funzione del tipo di applicazione.

Previsioni del maggio di quest'anno (che si sono però in seguito rivelate ottimistiche) indicavano, per i TFT di ampie dimensioni (>10"), un mercato nel 2002 di circa 70 milioni di unità, per un importo di 20 milioni di \$ (essendo 24 milioni di \$ il mercato complessivo dei TFT e circa 32 milioni di \$ quello di tutti gli schermi piatti).

E' stato ipotizzato che il costo dei TFT per pollice quadrato scenda a 9 \$ nel 2005, ma le riduzioni dei costi di produzione e l'incremento di mercato fanno pensare che si possa raggiungere questo obiettivo in anticipo.

Nel mese di aprile è stato introdotto un televisore con grande schermo TFT da 30" compatibile con l'alta definizione (16:9, 1280 x 768 pixel, luminanza 430 cd/m², rapporto di contrasto 500:1, angolo di visione 170° x 170°) ad un prezzo di listino (per il mercato USA) prossimo a 8000 \$. Il prezzo di televisori con schermo di dimensioni inferiori è ovviamente più accessibile (si può acquistare il modello da 20" con meno di 2000 \$).

Riferimenti bibliografici

Sul web è possibile reperire numerose informazioni sulle attività di ricerca e tutorial sul tema "cristalli liquidi" (ad esempio il programma pilota Polymers and liquid Crystals propone un ipertesto ed un laboratorio virtuale, www.abalone.phys.cwru.edu) e sulle tecnologie LCD (ad esempio www.pctechguide.com e www.sharp.co.jp/sc/library/lcd_e/indexe.htm).