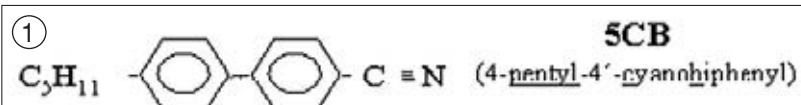


Tecnologia familiare... ma non troppo: note sui cristalli liquidi

Le attività quotidiane delle società industrializzate dipendono fortemente dai dispositivi di visualizzazione, sia per attività legate alla produzione ed ai servizi, sia per gli aspetti riferibili all'intrattenimento; varie tecnologie sono state sviluppate allo scopo, ma tra tutte una è, al momento, quella che trova la maggior diffusione: nelle note che seguono facciamo, perciò, il punto sugli LCD.

di Giancarlo Corri

Questa è una delle molecole più utilizzate denominate 5CB (5 ciano-bifenile) che mostra una parte flessibile, quella composta dagli anelli ed una più rigida dovuta al gruppo ciano. È proprio dalla coesistenza di queste due sezioni che la molecola può orientarsi.



Quando, nel 1888, il botanico Friederich Reinitzer scoprì quella famiglia di composti che oggi viene chiamata dei cristalli liquidi, sicuramente non aveva idea dell'impatto che la sua scoperta avrebbe avuto su un'infinità di applicazioni; le notevoli proprietà elettriche di tali composti sono, infatti, utilmente sfruttate nei dispositivi di visualizzazione che per praticità e costo contenuto trovano ampie applicazioni nei monitor per PC, nei telefoni cellulari, nei televisori, ma anche negli apparecchi elettromedicali e negli strumenti di misura in genere. Le proprietà elettriche che queste molecole mostrano sono strettamente correlate alla dipendenza dalla temperatura; proprietà che viene sfruttata nella costruzione di termometri che cambiano colore con la temperatura (e fu proprio questa particolarità termica ad essere osservata da Reinitzer).

La scoperta, dimenticata per ottant'anni, tornò alla ribalta negli anni '60 del secolo scorso quando, ad opera di varie aziende elettroniche ed informatiche, iniziò uno studio massiccio ed accurato di questi sistemi: possiamo perciò datare a questo punto le indagini da cui nascono i display quali oggi li conosciamo.

A parte i prototipi realizzati dai laboratori aziendali di ricerca e sviluppo, i display a cristalli liquidi iniziano a farsi conoscere dal grande pubblico nei primi anni Settanta, quando vengono messi in commercio i primi orologi da polso e la prima calcolatrice tascabile (Sharp) basati su questa tecnologia di visualizzazione, ovviamente ancora soltanto monocromatica.

Ma è soltanto negli ultimi anni che i processi e le macchine per la produzione di dispositivi LCD raggiungono un livello di sviluppo così sofisticato da garantire un prodotto finale ragionevolmente economico e privo, o quasi, dei problemi di difettosità che si riscontravano ancora poco tempo addietro; a seguito delle continue ricerche, inoltre, la qualità degli attuali display ha raggiunto livelli di eccellenza e promette ulteriori grandi miglioramenti per il prossimo futuro.

Un po' di fisica

I cristalli liquidi appartengono alla sterminata famiglia dei composti organici e si collocano nella regione delle strutture molecolari di media complessità ①: l'origine del loro nome va ricercata nel singolare comportamento che se da un lato ricalca quello tipico degli ordinari liquidi, dall'altro risulta caratterizzato da proprietà peculiari dello stato cristallino. Come i liquidi, infatti, hanno piccole viscosità e si organizzano in strutture più o meno ordinate soltanto su piccole distanze e per brevi periodi di tempo, perdendo qualsiasi forma di ordinamento su distanze e tempi maggiori; dai cristalli mutuano in-



Questi sono gli effetti di un indice di rifrazione che dipende dalla direzione: per quanto quello mostrato sia un cristallo di tormalina quindi solido, il comportamento dei cristalli liquidi è assolutamente analogo.

vece la tendenza all'organizzazione spaziale a lungo raggio e la notevole proprietà della birifrangenza ②, termine con il quale si indica un'anisotropia dell'indice di rifrazione, grandezza che come è noto caratterizza le proprietà ottiche della materia. Ed è proprio questa anisotropia la proprietà che permette di costruire i pannelli LCD.

Innanzitutto osserviamo che l'anisotropia molecolare è necessariamente legata ad una geometria sufficientemente lontana da quella sferica; i cristalli liquidi perciò si presentano con varie "forme", tra le quali quella più utilizzata nei display, somigliante ad un bastoncino. Una tale geometria porta con sé l'esistenza di una direzione privilegiata, coincidente con quella dell'asse maggiore della struttura, e da questa proprietà segue la possibilità di un livello di ordinamento ulteriore, detto orientazionale, che si aggiunge a quello caratteristico dei cristalli che, detto posizionale, fa riferimento alla reciproca disposizione delle singole molecole ma non al loro orientamento nello spazio.

Le due modalità di ordinamento sono mutuamente indipendenti e perciò le sostanze appartenenti alla classe dei cristalli liquidi si presentano in vari stati, che si differenziano per il tipo e l'entità dell'ordinamento coinvolto e si trasformano l'uno nell'altro al variare della temperatura; ciascuno di questi stati è ovviamente caratterizzato da differenti proprietà elettro-ottiche.

Osserviamo innanzitutto che, come è ragionevole attendersi, quanto più alta è la temperatura tanto più disordinato è il sistema e tanto più forte è il suo carattere di liquido: partendo dalla fase liquida completamente disordinata, al diminuire della temperatura si incontrano dapprima la fase "nemática" (quella in cui si trovano i cristalli liquidi utilizzati nei display), nella quale in assenza di ordine posizionale le molecole raggiungono uno stato di parziale ordine orientazionale e dunque definiscono una direzione speciale, seguita poi dalle diverse fasi "smettiche", nelle quali si instaurano anche vari gradi di ordine posizionale, per arrivare, infine, alla fase solida, cristallina e pertanto completamente ordinata ③.

Fissiamo l'attenzione sulla fase nemática: poiché i bastoncini sono in media orientati attorno ad una direzione comune, è ragionevole associare a tale direzione un vettore \vec{n} detto **direttore**, e misurare

l'orientazione della singola molecola, espressa dal vettore \hat{a} di modulo unitario (versore), rispetto a \vec{n} . Se si utilizza un sistema di coordinate in cui l'asse z coincide con la direzione di \vec{n} , per il versore direzionale molecolare si ha la rappresentazione $\hat{a} = (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$.

Ogni molecola dunque è descritta dal proprio vettore \hat{a} e tutti questi vettori sono statisticamente orientati lungo la direzione di \vec{n} ed hanno pertanto angoli θ e ϕ distribuiti secondo una certa funzione $f(\theta, \phi)$ che raggiunge il suo massimo valore proprio quando θ è pari al valor medio; questa funzione esprime la probabilità che, nel volumetto in cui è contenuta, la molecola sia orientata proprio con quei due valori per gli angoli. Osserviamo ora che data la simmetria cilindrica della molecola, l'angolo azimutale ϕ in realtà non può comparire nella funzione di distribuzione (è irrilevante di quanto la molecola è ruotata attorno all'asse z, ciò che la distingue dalle altre è invece la sua inclinazione rispetto allo stesso asse), ragion per cui la nostra funzione avrà la sola dipendenza $f(\theta)$ dall'angolo polare. Fatte queste osservazioni siamo in posizione per esprimere quantitativamente il livello di ordinamento tramite il parametro di ordinamento S definito come valor medio su tutti i possibili orientamenti molecolari dalla

$$S = \frac{\int_0^\pi \frac{1}{2}(3 \cos^2 \theta - 1) f(\theta) \sin(\theta) d\theta}{\int_0^\pi f(\theta) \sin(\theta) d\theta}$$

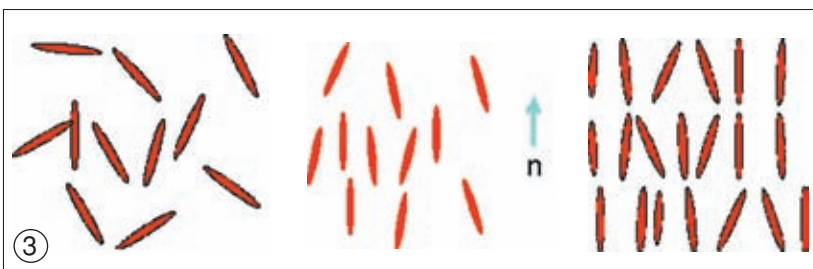
in cui l'integrando $\frac{1}{2}(3 \cos^2 \theta - 1)$ viene scelto perché così facendo il parametro S assume i valori compresi nell'intervallo (0,1), il primo dei quali associato ad un sistema totalmente caotico ed il secondo all'ordine cristallino. Una volta definito il parametro d'ordine, possiamo calcolare i valori medi

$$\langle \cos^2 \theta \rangle = \frac{2S+1}{3} \quad \langle \cos \theta \rangle = 0$$

che confermano, rispettivamente, che nella situazione di massimo ordine ogni molecola è allineata lungo \vec{n} , e dunque $\cos \theta = 1$, ovvero che per una molecola con orientamento θ ce n'è sempre un'altra con orientamento $(\pi - \theta)$.

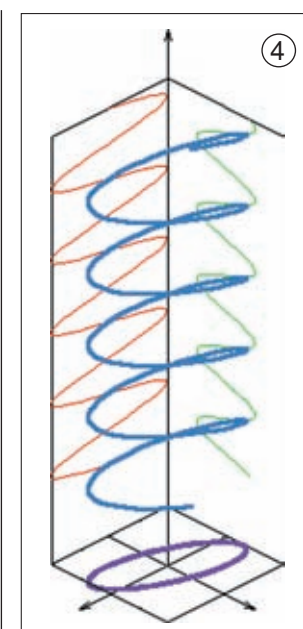
La particolare forma delle molecole non agisce però soltanto sulla loro disposizione spaziale ma genera delle particolari interazioni, di natura elettromagnetica, responsabili del comportamento collettivo sotto l'azione dei campi elettrici e magnetici: fissiamo l'attenzione sulle sole proprietà elettriche delle molecole, tralasciando quelle magnetiche, ed in particolare sul momento di dipolo. Con tale termine si indica una grandezza fisica che nasce dallo scostamento della distribuzione di carica dalla simmetria sferica e che matematicamente prende la forma di vettore. Un esempio semplice di dipolo elettrico è dato da due distribuzioni di carica, positiva l'una e negativa l'altra, a distanza mutua d . È alle interazioni tra i dipoli delle molecole che devono essere ascritte le forze di interazione mutua, generalmente di intensità sufficiente a produrre quell'effetto di allineamento che riassumiamo con il vettore \vec{n} . Il momento di dipolo è però interessante anche perché da esso dipende la polarizzabilità del sistema, ovvero le modalità con cui esso risponde ai campi elettrici; osserviamo innanzitutto che la polarizzabilità prende in generale contributi da tre distinti processi:

- 1) La deformazione della nuvola elettronica
- 2) Il conseguente riarrangiamento degli ioni atomici



Al variare della temperatura le molecole di cristallo liquido si organizzano secondo forme di ordinamento differenti: da destra si parte dalla fase isotropa tipica del liquido ad alta temperatura. Diminuendo la temperatura si passa poi alla fase nematica in cui si genera una qualche forma di ordinamento orientazionale ed, infine, si arriva alla fase smettica e le molecole mostrano anche ordinamento posizionale.

Quando le ampiezze delle due componenti del vettore spostamento elettrico sono differenti e c'è una differenza di fase il campo è polarizzato ellitticamente: la curva blu nel grafico rappresenta la punta del vettore ed il moto è dovuto alla sovrapposizione del moto ellittico nel piano e del moto armonico lungo la direzione di propagazione.



- 3) L'eventuale momento di dipolo permanente delle molecole polari.

Ciascuno di questi contributi dipende dalla frequenza del campo applicato, ma ragionando empiricamente possiamo osservare che data la loro massa, notevolmente minore di quella molecolare e ionica, gli elettroni sono i soli in grado di seguire le variazioni di alta frequenza del campo, e dunque la polarizzabilità nella banda visibile dipenderà soltanto dalla polarizzazione elettronica.

Riassumendo l'anisotropia del sistema nella polarizzabilità molecolare α e nel tensore di campo interno \vec{K} e considerando le componenti di queste grandezze nelle direzioni parallela (indicata con il simbolo \parallel) e perpendicolare (\perp) al direttore \vec{n} , si trovano i seguenti risultati

- 1) l'anisotropia nell'indice di rifrazione vale

$$n_{\parallel}^2 - n_{\perp}^2 = \frac{N}{\epsilon_0} (\alpha_{\parallel} K_{\parallel} - \alpha_{\perp} K_{\perp}) S$$

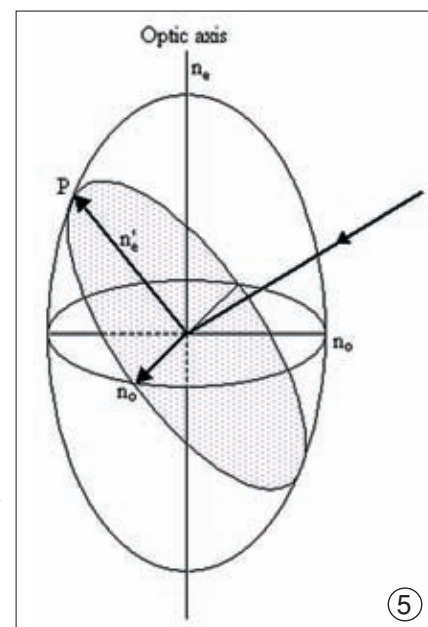
- 2) n dipende dalla frequenza tramite la

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} \text{ e}$$

- 3) la luce viene assorbita quando il campo elettrico è polarizzato parallelamente al momento di dipolo.

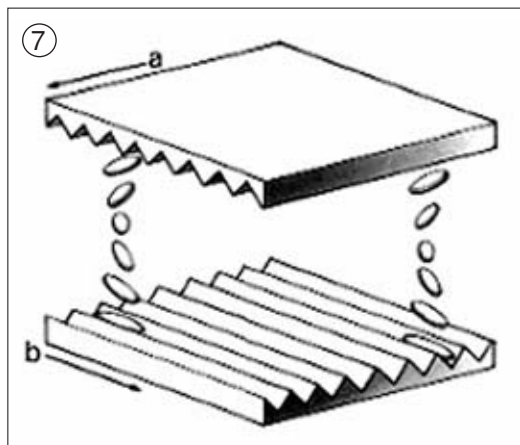
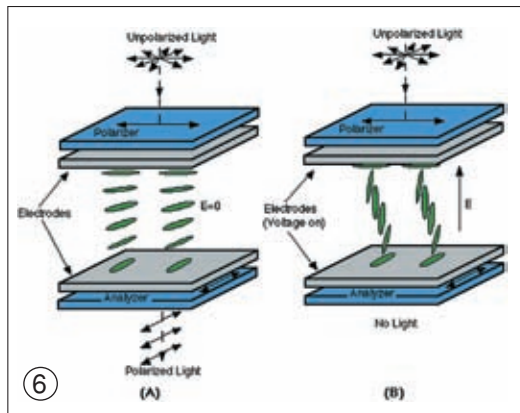
Per analizzare l'interazione dei cristalli liquidi con la luce occorre partire dalle equazioni di Maxwell che regolano il comportamento dei campi elettromagnetici: da tali relazioni segue che nella propagazione della generica onda piana il campo elettrico, rappresentato in un mezzo dielettrico dal vettore spostamento elettrico \vec{D} , vive nel piano perpendicolare alla direzione di propagazione associata al vettore d'onda \vec{k} . Esiste dunque un sistema di riferimento privilegiato in cui uno degli assi, e per fissare le idee sia z , è quello della direzione di propagazione, mentre nel piano determinato dagli altri due vibra il campo elettrico. Questo è il significato della frase "la luce è trasversale".

Ora, il vettore \vec{D} può rimanere nel piano normale alla direzione di propagazione seguendo comportamenti differenti che determinano i vari stati di po-



Questa è una rappresentazione grafica, detta ellissoide degli indici, dell'anisotropia ottica: nella figura sono evidenziati gli indici ordinario e straordinario.

Rappresentazione pittorica di una cella TN: a sinistra le molecole funzionano da guida d'onda, mentre a destra il pannello è buio.



Per bloccare le molecole in una direzione parallela all'asse ottico del polarizzatore si utilizza un film sottile provvisto di scanalature che verranno occupate dalle molecole di cristallo liquido.

larizzazione: ad esempio se le componenti D_x e D_y , che oscillano alla frequenza dell'onda monocromatica da esse descritta, sono in fase, la loro direzione rispetto al sistema di riferimento non cambia nel tempo e la luce è polarizzata linearmente. Se, invece, le ampiezze delle componenti sono diverse e c'è una differenza di fase nelle due oscillazioni, la polarizzazione sarà ellittica ed il vettore del campo \vec{D} descriverà nel tempo un'elica a base ellittica **7**; la polarizzazione circolare si ottiene come caso particolare quando le ampiezze sono uguali.

I ragionamenti poco sopra esposti ci dicono allora che nell'attraversare il film di cristallo liquido la luce si comporta in maniera differente se la polarizzazione è lungo l'asse ottico della molecola oppure a questo perpendicolare: riassumiamo questo comportamento dicendo che esistono due indici di rifrazione, n_o ed n_e , che chiamiamo rispettivamente "ordinario" e "straordinario" che determinano la velocità di propagazione nelle due direzioni secondo la relazione generale $v = \frac{c}{n}$ dove c è la velocità della luce nel vuoto **8**.

Si dimostra che nel mezzo esistono delle direzioni di polarizzazione privilegiate, dette **modi normali**, tali che un campo incidente con polarizzazione uguale ad una di queste direzioni viene trasmesso senza attenuazione; l'unico effetto che il mezzo ha sulla propagazione è un semplice ritardo che, seguendo il formalismo di Jones, viene espresso tramite la matrice

$$\vec{G}(\Gamma) = \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma/2} \end{pmatrix}$$

Se \vec{E}_i è il campo elettrico incidente ed \vec{E}_o quello uscente, la relazione che li lega è $\vec{E}_o = \vec{G}(\Gamma) \vec{E}_i$. In queste formule,

$$\Gamma = 2\pi \frac{(n_e - n_o)h}{\lambda}$$

in cui h è lo spessore del film e λ la lunghezza d'onda della radiazione, come si vede il ritardo cresce al crescere dell'anisotropia e dello spessore del sistema. È ora chiaro come si possano utilizzare i cristalli liquidi per controllare il passaggio della luce.

I pannelli LCD

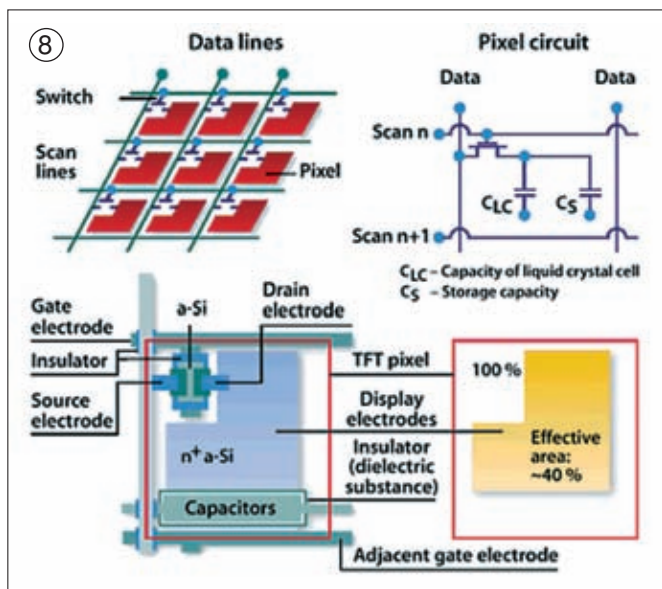
L'applicazione delle proprietà cui si è accennato nei ragionamenti precedenti può essere illustrata facendo riferimento alla cosiddetta 'cella Twisted Nematics' o TN **6**: la struttura è composta da due substrati di vetro molto sottile (per minimizzare gli effetti dell'indice di rifrazione del vetro) contrapposti, sulle cui facce interne viene depositato un film di materiale 'orientatore' **7** il cui scopo è quello di bloccare le molecole, con esso a contatto, in una direzione ben precisa. Alle facce esterne, invece, sono applicati due film polarizzatori con gli assi ottici non paralleli: lo scopo del polarizzatore posizionato dal lato in cui entra la luce è quello di selezionare soltanto una direzione di vibrazione del campo elettrico (la luce ordinaria, infatti, è non polarizzata, intendendo con questo che il campo elettrico ha tutte le possibili polarizzazioni). La funzione del secondo polarizzatore sarà chiara tra un attimo.

Tra i due vetri viene depositato un film sottile (spessore dell'ordine di qualche μm) di cristallo liquido; poiché i due strati orientatori sono disposti con gli assi perpendicolari, nell'andare dalla faccia d'ingresso a quella d'uscita le molecole si allineano in una spirale.

La luce che passa attraverso il polarizzatore di ingresso trova le molecole di cristallo liquido allineate con la direzione di vibrazione del campo e, dato che questa è la direzione di uno dei modi normali, passa senza attenuazione semplicemente variando la direzione della propria polarizzazione: la 'pila' di molecole si comporta come una guida d'onda. Arrivata all'orientatore opposto, la luce trova di nuovo un allineamento favorevole con le molecole e dunque può uscire verso l'osservatore.

A questo punto resta da capire come si fa ad interrompere la propagazione del campo elettrico nel cristallo liquido. Il metodo è molto semplice e si basa sul fatto che i cristalli liquidi possiedono un momento di dipolo indotto, ovvero permanente, e sono dunque sensibili alla presenza di un campo elettrico costante, al quale reagiscono allineandosi nella sua direzione. Questo nuovo ordinamento distrugge la guida d'onda e la luce non può più passare.

Il sistema sin qui descritto ancora non si comporta come un display, dato che non abbiamo modo di controllarne le piccole porzioni necessarie per 'disegnare' i punti: anche qui la soluzione arriva subito e consiste nel 'quadrettare' il substrato e controllare poi ogni cellula singolarmente. La 'quadrettatura' si ottiene tramite i cosiddetti elettrodi ITO (Indium-Tin-Oxide), che ad una buona conducibilità associano una buona trasparenza alla luce visibile, depositi utilizzando due tecniche differenti: la prima, detta matrice passiva, consiste nel creare una rete di contatti e pilotare ciascuna cella dall'esterno individuandola con il contatto di riga e quello di colonna. Nella seconda, detta matrice attiva ed oggi praticamente universalmente uti-



La disposizione dei componenti TFT sul substrato di vetro occupa una zona collocata in un angolo della cella; evidentemente questa superficie viene sottratta alla cella: nella figura sono anche mostrati la struttura complessiva della matrice attiva e lo schema della singola cella.

lizzata, ciascuna cella ospita alcuni componenti elettronici (tipicamente un FET ed un condensatore, usati il primo come interruttore ad alta impedenza di pilotaggio, e dunque a bassa corrente, ed il secondo come memoria per mantenere la cella accesa tra un impulso di scrittura e l'altro), che vengono depositi direttamente sul substrato e per le loro dimensioni dell'ordine dei $40 \times 20 \mu\text{m}$ sono detti 'Thin Film Transistors' (TFT) 8.

Il nostro display sta prendendo forma, quello che ancora ci manca è il colore. Ancora una volta la soluzione è geniale: su ciascuna cella applichiamo una goccia di resina colorata in modo che celle adiacenti rispettino la sequenza RGB dei colori primari. La luce emergente dalla cella sarà allora colorata come la gocciolina e noi dovremo soltanto trovare il modo di pilotare i singoli sub-pixel, così da generare la più ampia gamma cromatica 9.

Da qui si intuisce che manca ancora un pezzo e cioè la sorgente di illuminazione, che normalmente viene detta sistema di retroilluminazione.

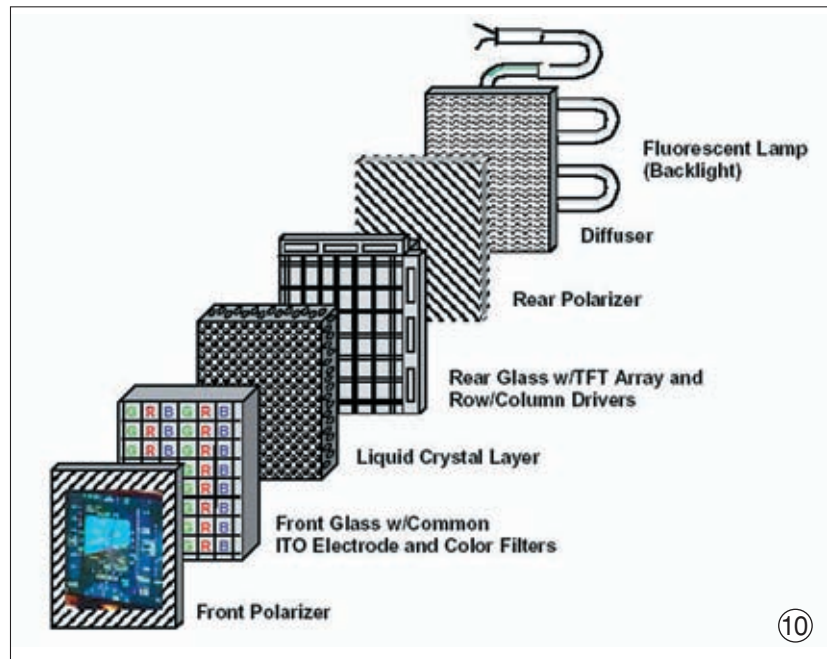
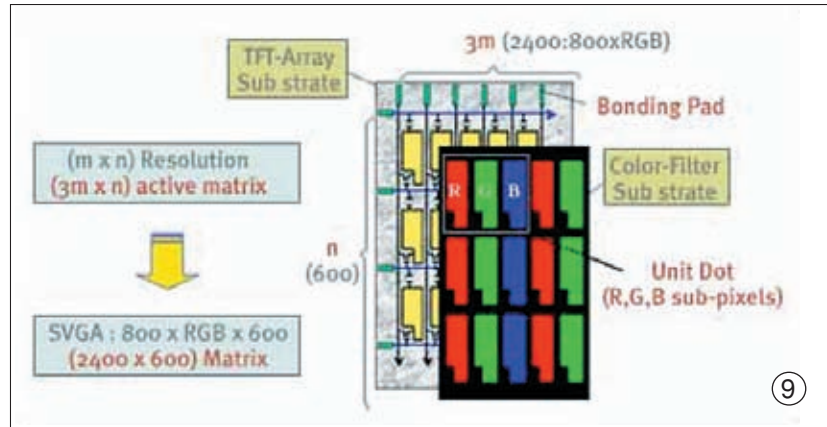
Partiamo proprio dalla retroilluminazione per mettere in evidenza i punti deboli del sistema e le soluzioni elaborate per tenerli sotto controllo.

Il requisito fondamentale che una sorgente luminosa deve possedere è quello della neutralità cromatica perché eventuali componenti cromatiche dominanti falsano la risposta del filtro colore; da queste osservazioni si capisce come, in realtà, qualsiasi sistema di retroilluminazione viene progettato in funzione del filtro colore e funziona correttamente soltanto con il proprio.

Ma questo ancora non basta perché in molte applicazioni, per esempio nei dispositivi portatili, il consumo è argomento di primaria importanza; alle usuali lampade fluorescenti, che normalmente vengono costruite così da emettere su tre o quattro lunghezze d'onda e che divorano energia elettrica, sono perciò stati affiancati i sistemi a LED caratterizzati da un consumo minore. Ma il vantaggio di questa soluzione non si limita al consumo, dato che le piccole dimensioni dei componenti elettronici permettono di controllare capillarmente l'illuminazione del display e dunque l'uniformità; il minore ingombro e la più bassa dissipazione termica costituiscono, poi, altri punti a favore del LED. Un aspetto negativo è, invece, rappresentato dal maggior costo, conseguenza del fatto che i LED utilizzati nei pannelli sono sviluppati appositamente per questa applicazione; come al solito questo è però un particolare destinato all'influenza nel momento in cui si passa ad una produzione su grandi volumi 10.

Lo schema di display che abbiamo tratteggiato non tiene conto di alcuni particolari che nell'uso si dimostrano significativi: parliamo di angolo di visuale, rapporto di contrasto e tempo di risposta.

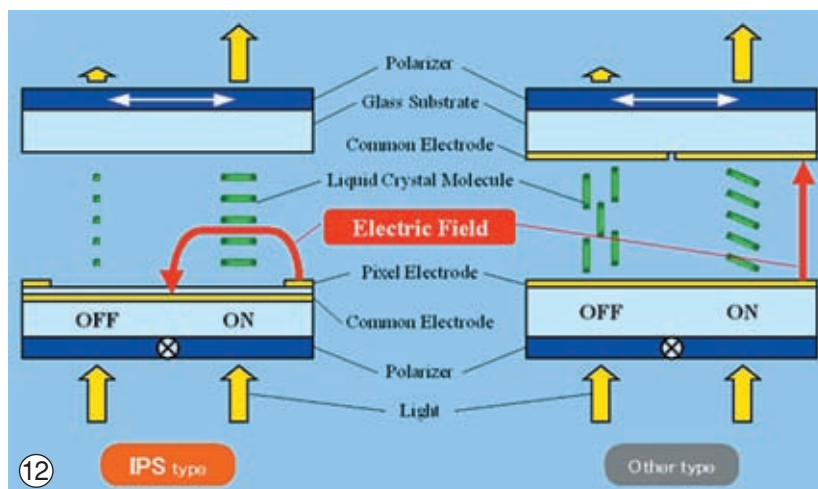
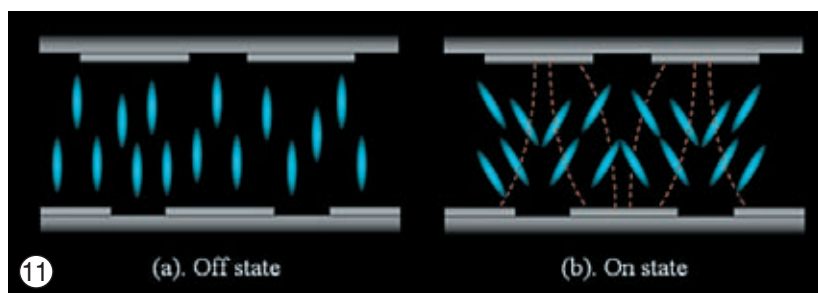
Nell'esempio della cella TN, le molecole di cristallo liquido nello stato ON sono disposte in maniera anisotropa, il che implica la non equivalenza delle posizioni di osservazione: la cosa appare evidente ad esempio con gli schermi dei portatili, che normalmente sono di tipo TN e perciò consentono una visione chiara soltanto all'osservatore disposto perpendicolarmente allo schermo. Nel caso di un televisore questo comportamento diventa intollerabile. Per ovviare all'inconveniente sono stati sviluppati sistemi di orientamento delle molecole alternativi al TN; un paio di questi, il VA (Vertical Alignment) e l'IPS (In-Plane Switching), con tutte le loro varianti, costituiscono oggi le due tecniche di più larga applicazione. Nei sistemi VA 11 le molecole sono normalmente



orientate perpendicolarmente al substrato, e quindi il display è normalmente scuro; applicando la polarizzazione si ottiene un allineamento parallelo al substrato che permette, con il meccanismo illustrato sopra, il passaggio della luce. I vantaggi di questa disposizione sono rappresentati innanzitutto dalla disposizione isotropa rispetto all'osservatore tanto in fase OFF quanto in quella ON e, secondo poi, dal miglior controllo dell'orientamento rispetto al TN. Dal primo punto segue un più ampio angolo di visuale e dal secondo il più alto valore del rapporto di contrasto tra quelli offerti dalle tecnologie oggi in uso. Tra i produttori di pannelli in questa tecnologia ricordiamo Fujitsu e Samsung.

Nell'IPS, invece, la novità è rappresentata dalla posizione dei contatti che, anziché essere disposti sui due substrati, sono diffusi su una sola delle lastre 12; il campo elettrico di polarizzazione è quindi parallelo al substrato, mentre l'orientamento delle molecole è vincolato dai due orientatori. I vantaggi che una tale disposizione offre vanno ricercati nel minor costo di produzione, nella minore attenuazione dovuta alla presenza dei contatti ITO su una sola delle lastre e nella disposizione isotropa negli stati ON ed OFF. Lo svantaggio maggiore, ed anche il limite rispetto alla VA, è che al bordo della cella delimitata dai contatti il

Il pannello finito è una struttura notevolmente complessa: i vari strati visibili in figura devono essere in alcuni casi, quale ad esempio il filtro colore, perfettamente allineati. Nella figura non sono espressamente riportati i due orientatori.



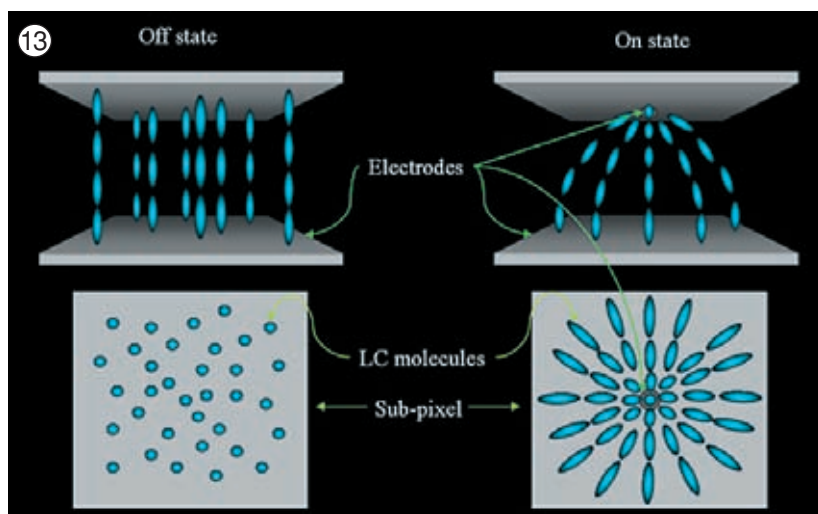
Nei pannelli IPS gli elettrodi sono disposti soltanto su uno dei substrati per cui sotto l'azione del campo di polarizzazione le molecole, che normalmente hanno orientazione uniforme, si orientano parallelamente a questo lasciando ferme quelle più esterne. La struttura che si crea somiglia alla TN.

Un forte grado di simmetria assiale può essere ottenuto con la tecnica ASV: dalla simmetria discende poi un angolo di visione maggiore ed un rapporto di contrasto incredibile. Recenti prototipi mostrano infatti un CR=1000000.

campo elettrico costringe le molecole a tutti gli orientamenti, compresi tra quello verticale di riposo e quello orizzontale di polarizzazione: da questo segue un rapporto di contrasto minore che nel caso VA, mentre l'angolo di visuale assume valori confrontabili.

Tra i produttori che adottano tale tecnica ricordiamo Panasonic, Toshiba ed Hitachi che, a scopi di ricerca e produzione, hanno dato vita alla 'IPS Alfa Technology Europe'.

Accenniamo, infine, anche ad una terza tecnologia che viene utilizzata anche nei display destinati a dispositivi mobili ed è detta ASV (Advanced Super View): in questa tecnologia gli elettrodi sono disposti su entrambi i substrati, ma se quello inferiore ha una superficie piuttosto estesa, nella lastra superiore ne viene diffuso un altro di dimensioni estremamente contenute. Questa disposizione genera un campo



Nella struttura PVA (Patterned Vertical Alignment) sviluppata da Samsung l'originale disposizione verticale delle molecole viene ripetuta su scala spaziale minore: così facendo si creano dei domini parzialmente separati e questo introduce un grado di isotropia maggiore di quello ottenibile con la struttura VA originale. Dall'iniziale orientazione verticale segue poi un nero più profondo perché le molecole bloccano la radiazione incidente.

elettrico a 'campana', che perciò forza le molecole ad un orientamento assialmente simmetrico e dunque porta ad un angolo di visuale molto ampio perché l'asse di simmetria è perpendicolare al pannello; ottimo risulta poi anche il rapporto di contrasto. Questa tecnica è stata sviluppata da Sharp, che la utilizza nei suoi pannelli.

Avendo già accennato al rapporto di contrasto, almeno nell'ambito delle tecnologie illustrate che, pur senza esaurire tutte le possibilità, rappresentano quelle di maggior diffusione e/o pregio, non resta che parlare del tempo di risposta.

Come dovrebbe essere intuibile dalla discussione del principio di funzionamento, che è sempre basato sulla variazione dell'orientamento, le molecole del cristallo liquido sono soggette a forze di rotazione e torsione; la reazione a tali forze prende contributi dalla deformazione della struttura interna e dalle interazioni con le altre molecole.

Le forze che tengono assieme le parti della singola molecola possono essere classificate, da un punto di vista macroscopico, come forze elastiche e, quindi, compendiate in tre costanti relative alle tre possibili deformazioni delle molecole a bastoncino. La modifica della forma molecolare dunque necessita di un certo tempo, che dipende dal tipo di deformazione dato che i valori delle tre costanti sono in linea di principio differenti anche per una stessa molecola; un tempo analogo è poi necessario per far riacquistare al bastoncino la sua forma originaria.

Anche quando si cerca di far ruotare la molecola si genera una resistenza dovuta alla struttura della molecola ed alla presenza dei vicini, ed anche in questo caso l'effetto è una certa lentezza nella risposta.

Per ovviare a questo inconveniente sono state sviluppate molecole particolari e, dal lato dell'elettronica di controllo, metodi di pre-orientamento che accorciano i tempi di risposta. Altri esperimenti che prendono in esame sistemi a temperatura maggiore di quella ambiente, perché in queste condizioni l'aumentata agitazione termica indebolisce le interazioni mutue, mostrano che ci sono ancora margini per un miglioramento.

La tecnologia dei cristalli liquidi è progredita molto rapidamente negli ultimi anni, ma da quanto esposto dovrebbe essere chiaro che ci sono ancora parecchi aspetti che possono essere migliorati; alcuni prototipi recentemente mostrati parlano molto chiaramente di una tecnologia dalle grandi possibilità. ■

Bibliografia

- <http://www.hitachi-displays.com/en/technology/index.html>
- Advanced Technology Seminar
- Liquid Crystal for Active Matrix Display-Brochure Merck
- P.G. de Gennes, J. Prost 'The Physics of liquid crystals', Oxford University Press, 1993
- http://w4.siemens.de/Ful/en/archiv/zeitschrift/heft2_97/artikel08/index.html