

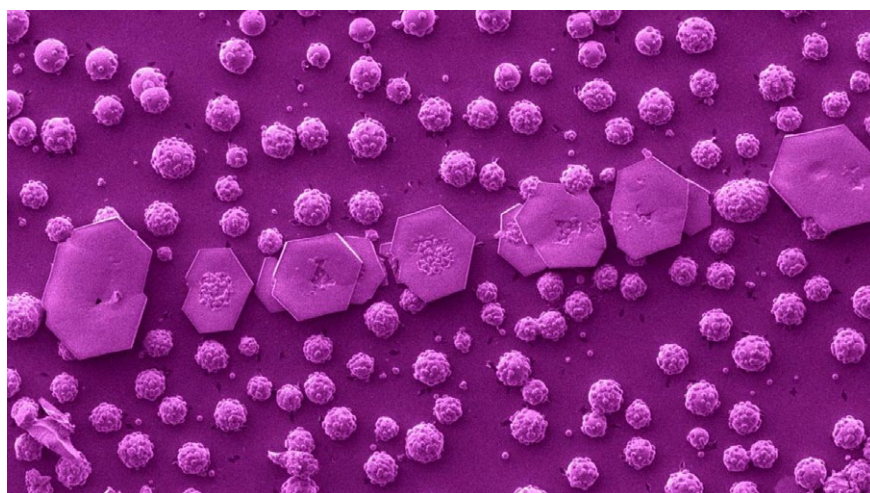
La tecnologia Lcd, dopo aver spazzato via la concorrenza del plasma, vede arrivare un altro nemico, l'Oled. Serve quindi una nuova arma per combattere e i quantum dot sono l'ideale.

◆ Di Nicola Martello

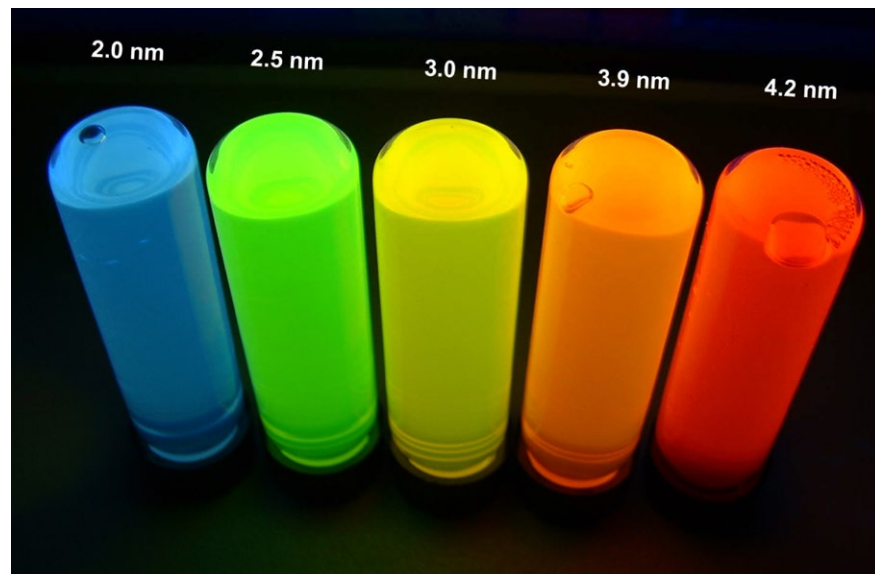
# QUANTUM DOT



**I pannelli Lcd dominano incontrastati il mercato dei prodotti elettronici** dotati di display (Tv, monitor, tablet, smartphone) ma hanno limiti che si trascinano fin dalla loro nascita: livello del nero elevato, contrasto ridotto, resa dei colori non ottimale. Per i primi due ancora oggi non c'è niente da fare, mentre è possibile migliorare nettamente la risposta cromatica grazie ai quantum dot, nanocristalli inseriti nel sistema di retroilluminazione degli Lcd, che non solo permettono di ottenere colori più saturi e belli ma consentono anche di ridurre l'energia necessaria a far funzionare il display, un plus molto importante per i dispositivi portatili.



In questa immagine (fatta con un microscopio elettronico) i quantum dot sono raggruppati nelle piccole sfere sparse su un wafer di silicio. Gli elementi esagonali sono larghi 45 micron.



A seconda del loro diametro (che vedete indicato in nanometri), i quantum dot emettono una luce di colore diverso quando sono colpiti da fotoni con frequenza nel blu.

Questo miglioramento sarà evidente anche agli occhi dell'utente più distratto, a differenza di quanto sta accadendo con i pannelli Tv Ultra Hd, presentati al pubblico come un importante passo in avanti della tecnologia di visualizzazione ma che non sono riusciti a innescare il ricambio delle Tv sperato dai produttori, sia per la mancanza di contenuti Ultra Hd sia per l'oggettiva impossibilità di apprezzare un miglioramento visivo quando si osserva uno schermo Ultra Hd di piccole dimensioni, magari pure da una distanza eccessiva.

**Le Tv con quantum dot (che rimangono sempre Tv Lcd** dato che il pannello a cristalli liquidi non cambia in alcun modo) e più in generale tutti i display a cristalli liquidi che impiegano i nanocristalli nel sistema di illuminazione rappresentano un rinnovamento importante della tecnologia Lcd, che nel prossimo futuro dovrà combattere l'avanzata dell'Oled, il sistema di visualizzazione che promette di sostituire degnamente l'ormai defunto plasma.

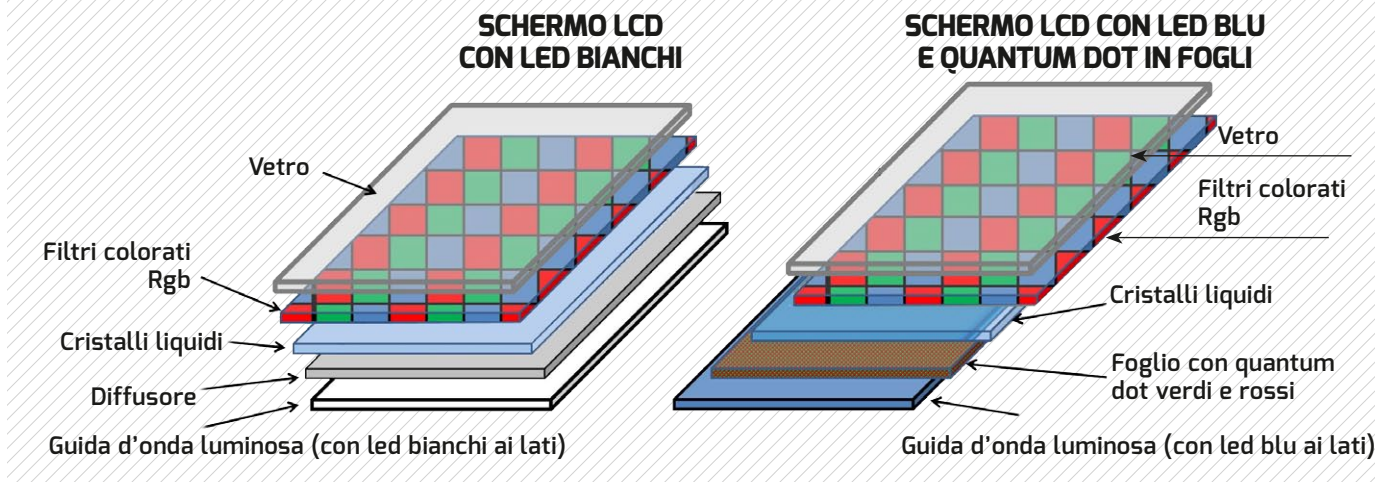
“

*I quantum dot sono nanocristalli fatti con materiali semiconduttori, dalle dimensioni che variano tra 1,5 e 6 nanometri.*

”



## TECNOLOGIA LCD: LED E QUANTUM DOT



Messe a confronto, le componenti dei pannelli Lcd con led bianchi e quelle degli Lcd con led blu e quantum dot distribuiti dietro l'intero schermo sono molto simili. Le uniche differenze sono l'impiego di led blu invece di quelli bianchi e l'uso di un foglio con i quantum dot al posto del diffusore.

I quantum dot sono nanocristalli fatti con materiali semiconduttori, dalle dimensioni che variano tra 1,5 e 6 nanometri, equivalenti a circa 10 – 30 atomi. Le proprietà elettroniche di questi cristalli sono una via di mezzo tra quelle classiche dei semiconduttori e quelle delle singole molecole e sono interpretabili grazie alla meccanica quantistica. La caratteristica principale dei quantum dot è quella di emettere luce quando vengono colpiti da fotoni o da elettroni, luce concentrata su una lunghezza d'onda che è direttamente proporzionale alla dimensione dei quantum dot stessi. In altre parole più è piccolo il quantum dot e minore è la lunghezza d'onda dei fotoni emessi. Variando la dimensione di pochi nanometri è quindi possibile ottenere la

generazione di luce con colore che va dal blu al rosso. In pratica sostituendo i led bianchi, usati nei moduli di retroilluminazione dei display Lcd odierni, con led blu che illuminano quantum dot di dimensioni adeguate è possibile ottenere una luce bianca composta dalle tre componenti Rgb molto pure (il blu generato dai led, il verde e il rosso dai quantum dot), ideali per far funzionare al meglio gli Lcd.

**In effetti questa tecnologia è destinata a rivoluzionare** e a dare nuova linfa all'Lcd per i prossimi anni e il 2015 sarà l'inizio di una sua diffusione capillare in tutti i settori in cui si usano pannelli Lcd, non solo Tv e monitor per computer ma anche tablet e smartphone. Le previsioni

per il settore industriale dedicato alla produzione dei quantum dot sono rosee: già nel 2013, quando è iniziata la produzione di massa, i ricavi a livello mondiale sono stati di oltre 120 milioni di dollari, con una previsione per il 2016 di 1,1 miliardi, cifra che dovrebbe salire a 3,1 miliardi nel 2018, con una crescita stimata anno su anno di circa il 90% (fonte *Bcc Research*). Sebbene l'impiego dei quantum dot nei pannelli Lcd sia recente, la loro creazione risale al 1981 da parte dello scienziato russo Aleksey Ekimov, che li ha osservati come inclusioni in una matrice vetrosa. Il ricercatore americano Louis Brus, lavorando in maniera totalmente indipendente, li ha osservati nel 1985 presso i Bell Labs, all'interno di una soluzione colloidale.

## PRO E CONTRO TECNOLOGIE DI VISUALIZZAZIONE

	LCD CON LED BIANCHI	LCD CON LED RGB	LCD CON QUANTUM DOT	OLED
<b>PRO</b>	Costo contenuto	Ottima resa cromatica	Ottima resa cromatica Consumi ridotti	Buona resa cromatica Contrasto infinito Nero assoluto Consumi ridotti
<b>CONTRO</b>	Resa cromatica limitata Consumi piuttosto elevati	Costo molto elevato Consumi elevati	Costo piuttosto elevato	Costo elevato

# PERCHÉ SERVONO

**P**er capire bene i vantaggi ottenibili con i quantum dot bisogna conoscere le soluzioni tecniche implementate oggi per illuminare i pannelli Lcd. La quasi totalità dei display intorno a noi (Tv, monitor, tablet, smartphone) adottano led bianchi disposti lungo i due lati maggiori dello schermo, una configurazione conosciuta come *led edge*.

Il problema è che i led bianchi sono in realtà led blu ricoperti da fosfori che emettono nel giallo, in modo che la luce blu e gialla appaia bianca ai nostri occhi. Questa luce, però, mal si adatta al passaggio attraverso i filtri Rgb posti davanti ai subpixel del display Lcd. La componente blu non ha problemi, ma la parte gialla deve diventare verde e rossa,

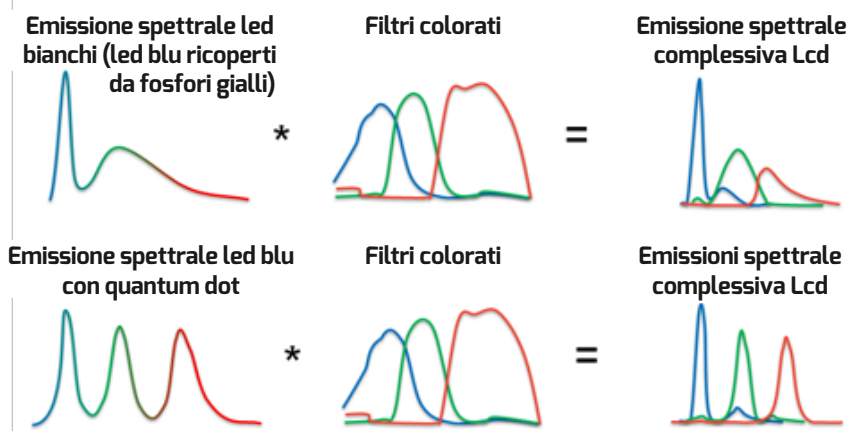
una trasformazione che comporta uno spreco enorme di fotoni, dato che solo una piccola parte di questi (il 10% circa) riesce a superare i filtri verdi e rossi.

**Il processo è intrinsecamente molto inefficiente**, e il minor consumo energetico dei led edge rispetto alle vecchie lampade fluorescenti (che emettevano luce con uno spettro molto più regolare e ricco nelle sezioni verde e rossa) è dovuto unicamente all'elevata efficienza energetica dei led. Per ovviare ai problemi del led edge, i produttori ricorrono talvolta alla configurazione *full Rgb*, in cui i led bianchi cedono il posto a led rossi, verdi e blu. Sebbene la resa cromatica sia ottima, questa soluzione è molto costosa e quindi riservata a pochi monitor professionali che devono garantire un gamut molto ampio. Si perché il led edge non è solo energeticamente inefficiente ma rende anche molto difficile ottenere un gamut che soddisfi gli standard cromatici attuali. In pratica i display con led bianchi arrivano a malapena a coprire lo spazio colore sRgb, mentre per soddisfare i più estesi Adobe Rgb e Dci è necessario incrementare di molto la luce emessa dai led, quindi aumentare i diodi luminosi e consumare più corrente.

I quantum dot si sostituiscono ai fosfori gialli che ricoprono i led blu e convertono in verde e rosso parte della luce emessa da questi diodi luminosi, con un'efficienza e con una precisione molto elevate. I vantaggi ottenibili sono sia energetici sia cromatici. Poiché la luce bianca prodotta ha tre picchi ben definiti e centrati sulle lunghezze d'onda dei filtri cromatici Rgb, buona parte dei fotoni riesce a passare, quindi è possibile impiegare led meno potenti e ridurre il consumo di corrente.

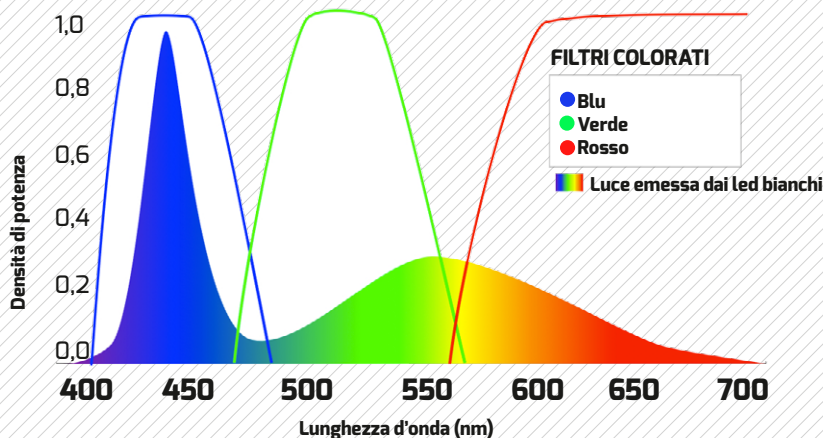
Per quanto riguarda il gamut, i progettisti possono regolare con precisione le lunghezze d'onda dei fotoni emessi dai quantum dot, così da ottenere colori primari molto puri e corrispondenti alle specifiche richieste dagli standard. Grazie ai nanocristalli è quindi possibile ampliare il gamut per coprire al 100% non solo lo spazio colore sRgb ma anche quello Adobe Rgb e Dci, fino ad arrivare a circa il 95% del Rec 2020, che richiede primari monocromatici.

## INTERAZIONE TRA LUCE E FILTRI COLORATI



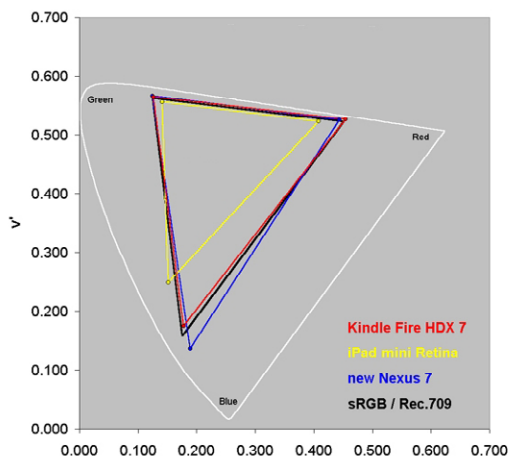
La luce rossa e verde emessa dai quantum dot ha una frequenza ben centrata su quella dei rispettivi filtri, così la luce emessa è maggiore e molto più bilanciata cromaticamente.

## EMISSIONE CON LED BIANCHI STANDARD



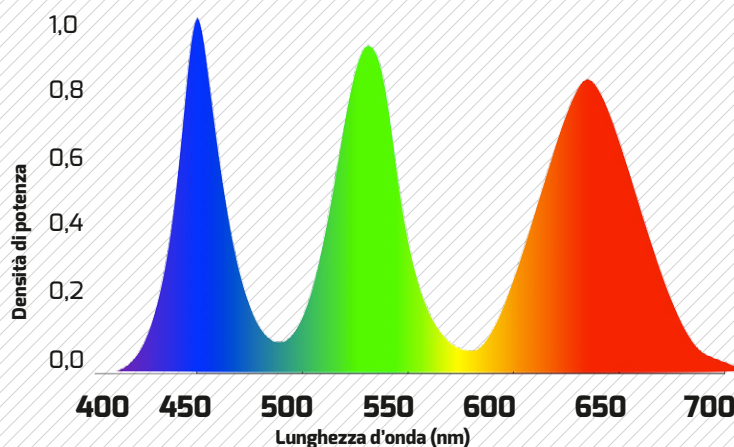
I led bianchi emettono prevalentemente luce blu e gialla. Il primo colore passa senza problemi il relativo filtro colorato, ma la luce gialla viene in gran parte bloccata dai filtri rosso e verde.

## IL GAMUT DI ALCUNI TABLET



Grazie ai quantum dot, il tablet Kindle Fire Hdx 7 ha un gamut che risulta quasi coincidente con il riferimento sRGB/Rec. 709.

## EMISSIONE CON LED BLU E QUANTUM DOT



Grazie a un'emissione di luce Rgb con frequenze ben centrate su quelle dei filtri colorati, il sistema Qdef di Nanosys ha resa luminosa e cromatica molto elevate.

## COME SONO FATTI I QUANTUM DOT

Come abbiamo accennato all'inizio, i quantum dot sono cristalli semiconduttori di dimensioni estremamente ridotte, con un diametro pari a circa 10 – 30 atomi (1,5 – 6 nanometri), e composti di solito da un nucleo di seleniuro di cadmio (CdSe) o di solfuro di cadmio (CdS), circondato da un sottile guscio di seleniuro di zinco o di solfuro di zinco. In alternativa al cadmio e allo zinco è possibile usare indio oppure piombo. Per favorire una dispersione uniforme dei nanocristalli, spesso l'involucro esterno è ricoperto da molecole che si

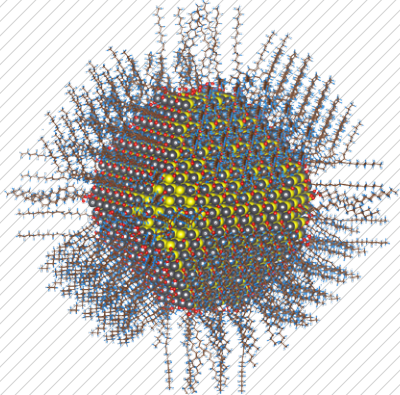
legano all'acqua, una delle sostanze che compongono la soluzione colloidale in cui sono immersi durante le fasi di creazione e di installazione nel sistema di illuminazione degli Lcd.

**Quando un quantum dot è colpito da un elettrone** o da un fotone ad alta energia (lunghezza d'onda nel blu o nel vicino ultravioletto), emette un fotone la cui lunghezza d'onda è in relazione alla dimensione del nanocristallo. Quindi, per esempio, un quantum dot grande 6 nm emette luce rossa mentre uno con diametro di 2 nm genera luce azzurra blu. Questo comportamento è spiegabile grazie alla fisica quantistica,

in particolare con il fenomeno del *confinamento quantistico*. In pratica, la generazione dei fotoni è dovuta all'unione di elettroni e lacune all'interno del quantum dot, con l'energia del fotone emesso che cresce con l'energia associata alla *banda proibita (band gap)* del semiconduttore. Poiché l'energia della banda proibita è inversamente proporzionale al quadrato della dimensione del quantum dot, più piccolo è quest'ultimo maggiore sarà l'energia della banda proibita e di conseguenza più elevata sarà l'energia del fotone emesso.

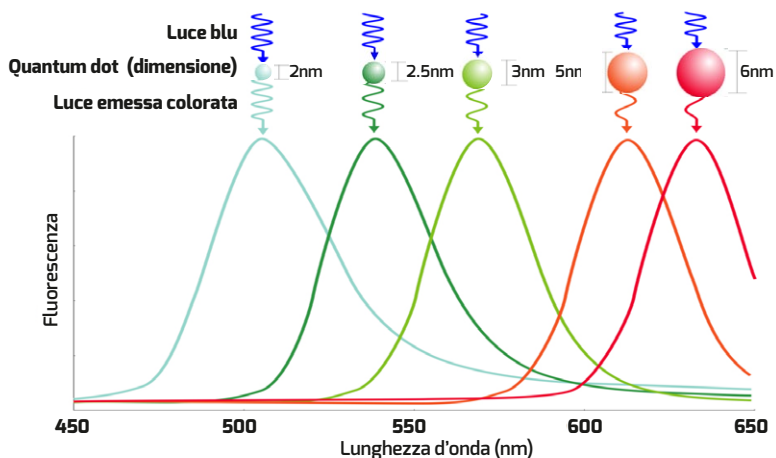
In breve, l'energia (e quindi la frequenza) del fotone emesso cresce man mano che diminuisce la dimensione

## LA STRUTTURA

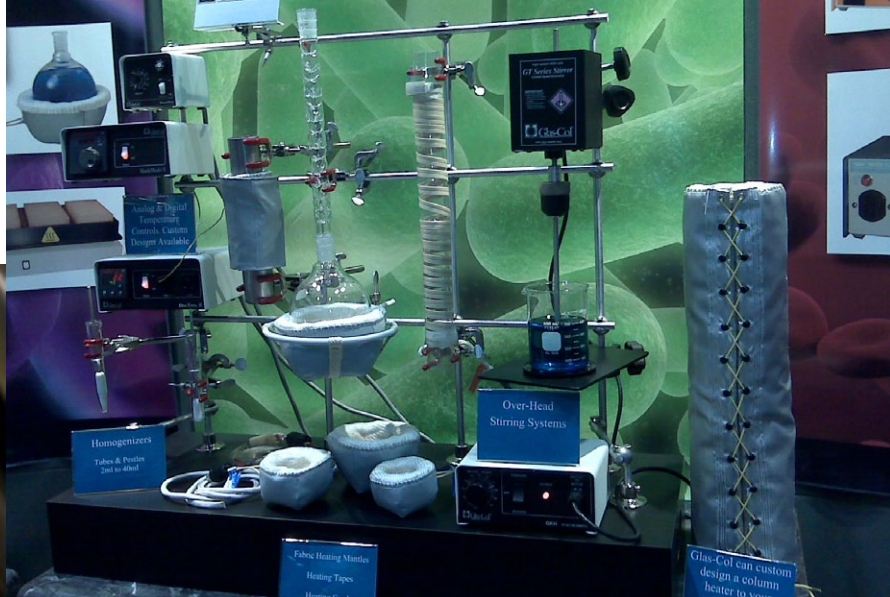
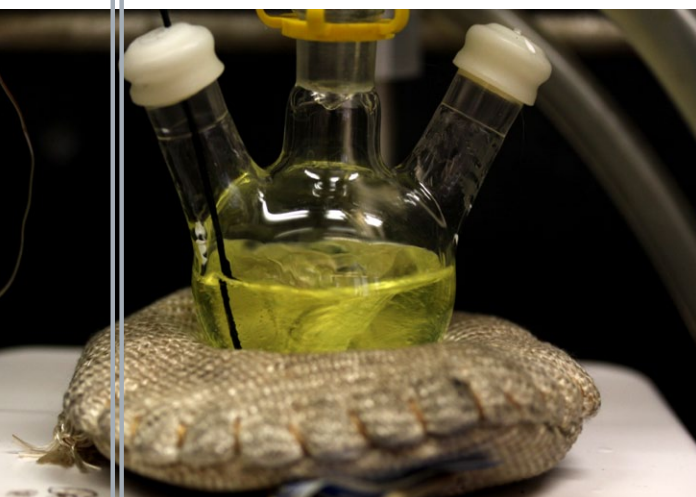


Le "antenne" sono molecole idrofile, che facilitano la dispersione uniforme nelle soluzioni acquose.

## DIMENSIONE E COLORE DELLA LUCE EMESSA







Gli attuali sistemi di produzione industriale dei quantum dot sono la sintesi colloidale e la semina molecolare. Entrambi si basano su reazioni chimiche che avvengono tra i reagenti a temperature relativamente basse (meno di 350 °C). I nanocristalli crescono nei reattori, le ampole visibili nelle foto.



del quantum dot. Questi nanocristalli hanno un'efficienza di conversione molto elevata, che raggiunge il 90 - 95%. Inoltre la luce emessa ha una variazione della lunghezza d'onda molto limitata, pari a meno di 35 nm di larghezza a metà altezza (Fwhm, acronimo di *full width at half maximum*) della curva di Gauss che ne descrive l'andamento spettrale, quindi la luce prodotta è cromaticamente molto pura, ideale per display dai colori ricchi e fedeli.

La vita dei quantum dot creati con metodi di produzione recenti arriva anche a 50.000 ore, ma la loro durata è inversamente proporzionale alla loro dimensione. In altre parole, più il nanocristallo è piccolo meno ore rimane integro e funzionante quando è sottoposto a irradiazione e calore intensi.

## I METODI DI CREAZIONE

Attualmente esistono quattro metodi diversi per creare i quantum dot: *impianto di ioni*, *epitassia*, *sintesi colloidale*, *semina molecolare*. Il primo sistema richiede l'impiego di tecniche litografiche avanzate, un'evoluzione di quelle usate per la costruzione dei chip elettronici. L'epitassia si basa sull'accrescimento dei nanocristalli tramite la deposizione di sottili strati su un supporto (anche questo cristallino) che fa da base. Entrambi i metodi sono lenti e costosi, adatti alla creazione di campioni da laboratorio, non per una produzione di massa. Il terzo sistema, la sintesi colloidale, è puramente chimico e permette l'accrescimento dei quantum dot in una soluzione colloidale tenuta a una temperatura di

poco inferiore a 350 °C. La dimensione dei nanocristalli è regolabile con precisione variando le condizioni di sintesi, ovvero la concentrazione dei reagenti, la temperatura e il tempo di reazione. Questo metodo è facilmente scalabile, relativamente veloce ed economico, permette la produzione di molti chilogrammi di nanocristalli per ogni ciclo di reazione e quindi si presta bene alle necessità di un mercato di livello mondiale. Della sintesi colloidale è stata sviluppata anche una variante a flusso continuo, che permette di incrementare ulteriormente la quantità di nanocristalli prodotti e che per di più consente di eliminare le variazioni di dimensioni dei quantum dot tra un ciclo e l'altro. Anche il quarto sistema, la semina molecolare, è ben adatto a una produzione di massa. Si basa su un processo di accrescimento



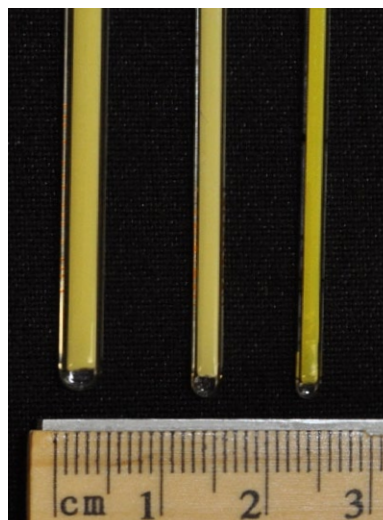
cristallino che non richiede temperature elevate ed è particolarmente indicato per quantum dot a base di indio, assai meno inquinanti di quelli con cadmio. La crescita dei quantum dot è regolata tramite l'aggiunta periodica di reagenti a temperatura moderata, fino al raggiungimento delle dimensioni desiderate.

## I PRODUTTORI DI QUANTUM DOT

Come abbiamo detto all'inizio, la produzione di quantum dot è in rapida crescita e le aziende in grado di crearli si stanno moltiplicando velocemente. Le prime a sviluppare i processi produttivi a livello industriale sono state Nanoco (Uk), Nanosys (California, Usa) e Qd Vision (Massachusetts, Usa).

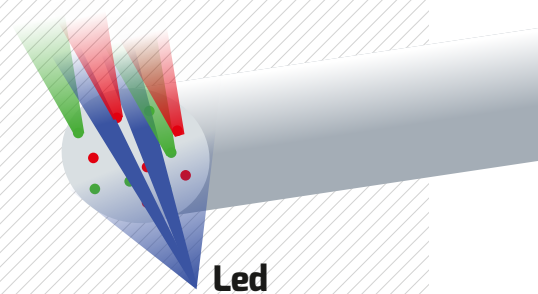
**Nanoco** propone ai costruttori di Tv e di monitor una pellicola grande quanto lo schermo Lcd, che sostituisce il diffusore posto davanti alle luci led usate per la retroilluminazione. All'interno di questo film sono dispersi i quantum dot, che vengono eccitati dalla luce prodotta dai led blu. Poiché i quantum dot non sono vicini ai led, si scaldano di meno e durano di più, inoltre il montaggio della pellicola al posto del diffusore (e l'impiego di led blu invece di quelli bianchi) non comporta praticamente alcuna modifica al processo produttivo dei pannelli Lcd, fatto che limita i costi al solo film con nanocristalli, che comunque non è affatto trascurabile. Nanoco si è specializzata nella produzione di nanocristalli privi di metalli pesanti (cadmio), che quindi non sono soggetti ai divieti in vigore in diversi paesi.

Anche **Nanosys**, come Nanoco, produce fogli che contengono quantum dot (Qdef, *Quantum Dot Enhancement Film*). I fogli di Nanosys, sviluppati in collaborazione con 3M, sono composti da tre strati: i due più esterni sono in Pet e includono una sottile barriera di 3M che impedisce all'aria di raggiungere i quantum dot (che si rovinano se esposti all'ossigeno e all'umidità), mentre quello centrale è una matrice polimerica con in sospensione i nanocristalli. Nel caso di display progettati per lo spazio colore sRgb, i nanocristalli emettono luce verde a 545 nm e rossa a 610 nm, lunghezze d'onda che corrispondono bene ai filtri colorati posti davanti ai subpixel. Se invece lo spazio colore è Adobe Rgb, più ampio sul verde,



## IL SISTEMA QD VISION

Verde Blu Rosso



Led

I quantum dot sono contenuti in sottili tubi, che corrono lungo la fila di led blu.

l'emissione per questo colore passa a 530 nm. Ma non è finita: grazie ai quantum dot, è possibile estendere il gamut del display fino a coprire il 94 - 97% del recente Rec 2020, lo standard colore del formato Ultra Hd. Secondo Nanosys, i nanocristalli hanno un'efficienza del 95% e hanno una vita utile che supera le 30.000 ore, equivalenti a circa 10 anni con il pannello acceso per otto ore ogni giorno. Per di più permettono di ridurre il consumo elettrico dei display Lcd fino al 50%, un plus molto importante per smartphone e tablet, in cui il 45% circa dell'energia impiegata va allo schermo.

**Qd Vision** è un'azienda fondata da alcuni ricercatori del Mit (*Massachusetts Institute of Technology*) proprio per produrre e commercializzare i quantum dot. A differenza di Nanoco e Nanosys, il sistema sviluppato da Qd Vision non impiega un film grande quanto il pannello ma un sottile tubicino schiacciato,

che corre lungo i bordi del display dove sono posti i led blu. Questa soluzione ha il vantaggio di richiedere una quantità inferiore di nanocristalli, che però sono più vicini ai led e quindi esposti a un calore maggiore. Secondo Qd Vision, i suoi quantum dot non sono soggetti a un più rapido decadimento causato dalla temperatura elevata perché sono progettati e costruiti proprio per resistere al calore intenso.

## QUANTUM DOT NEI DISPLAY LCD IN COMMERCIO

La prima apparizione dei quantum dot in un prodotto commerciale è stata nel 2013, all'interno dei televisori top di gamma di Sony, più precisamente nei modelli della serie X9. Più recentemente i nanocristalli sono stati utilizzati nel tablet Kindle Fire di Amazon e nel notebook Zenbook NX500 di Asus. Al Computex Taipei 2014 l'azienda Top



### Purezza

I Qdled sono, per purezza cromatica, ben superiori agli Oled: arrivano a coprire il 95% del Rec2020





Victory Electronics ha mostrato diversi monitor dotati di quantum dot prodotti da Qd Vision, capaci di visualizzare tutte le sfumature cromatiche dello spazio colore Adobe Rgb. Ma è stato durante il Ces 2015 che è stato possibile farsi un'idea precisa dell'ondata di schermi con quantum dot che sommergerà il mercato di tutto il mondo. Changhong, Hisense, Lg, Samsung, Sony e Tcl hanno infatti mostrato le nuove linee di Tv per il 2015, quasi tutte dotate di nanocristalli.

**Le cinesi Changhong e Hisense hanno presentato** le linee di Tv Qled e Uled, rispettivamente, composte da televisori dotati della tecnologia sviluppata da Nanosys in collaborazione con 3M e basata su quantum dot dispersi in una pellicola che sostituisce il diffusore davanti ai led blu.

Lg ha scelto di usare per i propri televisori Lcd Ultra Hd il film prodotto da Nanoco, che ingloba quantum dot privi di cadmio e quindi non soggetti alle restrizioni che alcuni paesi hanno adottato per combattere l'inquinamento.

Samsung offre la linea di Tv che chiama S-Uhd, in pratica televisori Ultra Hd che impiegano i nanocristalli prodotti in proprio (ma su licenza di Nanosys), dispersi nella pellicola grande quanto il pannello Lcd.

Sony impiega i quantum dot prodotti da Qd Vision per i suoi televisori Triluminos, nanocristalli che sono raccolti in un sottile tubo posto davanti ai led blu. Sony afferma di aver venduto più di un milione di Tv Triluminos a partire dal 2013, un'ottima garanzia per quanto riguarda la tenuta nel tempo della soluzione sviluppata da Qd Vision. Anche la cinese Tcl ha scelto la tecnologia di Qd Vision per il suo nuovo televisore Ultra Hd grande 55 pollici, per ora destinato unicamente al mercato cinese.

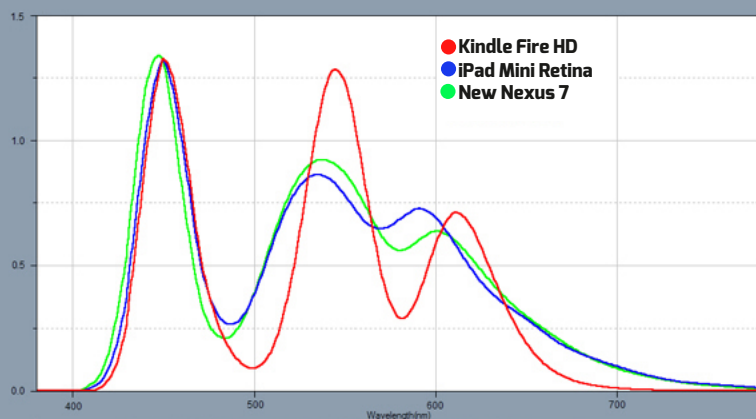
## I QUANTUM DOT LIBERI DAGLI LCD

Nelle implementazioni viste finora, i quantum dot emettono luce perché stimolati con fotoni prodotti da led blu. Ma i nanocristalli possono emettere la luce anche quando sono colpiti da elettroni, quindi è possibile immaginare un display che non usa un pannello Lcd ma invece è costituito da una griglia di celle contenenti unicamente quantum dot, eccitati con la corrente. Questi elementi luminosi prendono il nome di Qdled o Qled. L'idea di usare i quantum dot

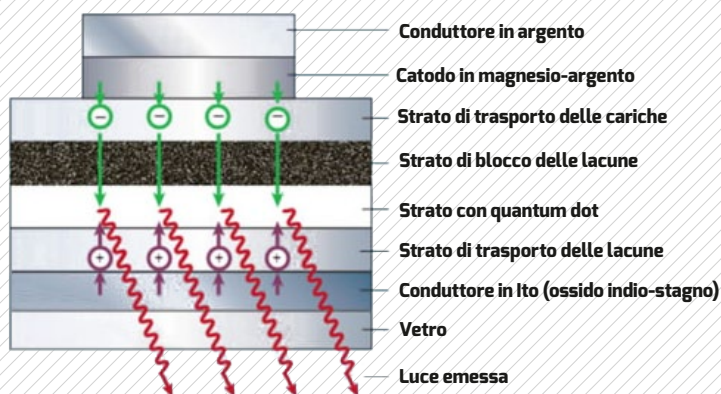
Il Kindle Fire HD 7 di Amazon è stato il primo tablet a integrare uno schermo con quantum dot. Grazie a questa soluzione, la sua resa cromatica è eccezionalmente fedele.



## EMISSIONE SPETTRALE: 3 TABLET A CONFRONTO



## STRUTTURA DI UN QDLED



Il Qdled è un elemento luminoso (subpixel) costituito da quantum dot eccitati direttamente da cariche elettriche e non dalla luce come nei pannelli Lcd.

come sorgenti dirette di luce è emersa negli anni '90 del secolo scorso, quando i ricercatori hanno evidenziato l'efficienza dei nanocristalli nel processo di conversione da corrente elettrica a luce.

**La struttura di un pannello con Qdled è simile** a quella di uno Oled, con i quantum dot suddivisi in celle (una per ogni colore Rgb) e racchiusi tra due strati conduttori, che portano le cariche elettriche. Gli elettroni e le lacune si ricombinano all'interno dei nanocristalli, formando eccitoni che a loro volta causano l'emissione di fotoni con lunghezze d'onda proporzionali alle dimensioni dei quantum dot.

L'architettura che abbiamo appena descritto richiama da vicino quella dei nuovi televisori Oled e in effetti ne ricalca la maggior parte delle caratteristiche: nero assoluto perché i subpixel si possono spegnere completamente, contrasto praticamente infinito, luminosità elevata, nessuna scia o trascinamento, consumo energetico molto ridotto, pannello estremamente sottile ed eventualmente anche flessibile. Rispetto agli Oled, i Qdled sono più performanti per quanto riguarda la purezza dei colori, dato che la dispersione delle lunghezze d'onda dei tre primari Rgb è molto ridotta, inoltre i quantum dot sono più efficienti e quindi consumano di meno pur avendo una luminosità più elevata. Non è un caso, infatti, che attualmente i Qdled possano arrivare a coprire il 95% dello spazio colore Rec 2020, mentre gli Oled si fermano (almeno per ora) all'80%.

Naturalmente anche i Qdled hanno qualche difetto. Innanzitutto sono costosi (ma il prezzo diminuirà con l'affermarsi della produzione di massa), inoltre è difficile creare quantum dot che emettono luce blu, perché devono essere molto piccoli, circa 1,5 nm, una dimensione al limite delle tecnologie di produzione attuali. La vita utile è limitata a poche migliaia di ore, a causa dell'elevata temperatura a cui sono sottoposti durante il funzionamento. Infine, sono soggetti a una riduzione dell'efficienza di conversione corrente-luce dovuta a correnti parassite, come vedremo meglio tra poco.

Qd Vision è molto attiva nello sviluppo dei Qdled, anzi, stando alle dichiarazioni

di Seth Coe-Sullivan, uno dei suoi fondatori e direttore della sezione ricerche, questa implementazione dei quantum dot era l'obiettivo originale dell'azienda, così da riprendere la struttura dei pannelli Oled ma con i nanocristalli al posto dei composti organici.

**Nonostante i numerosi annunci e i diversi prototipi** mostrati negli anni (non solo di Qd Vision ma anche di Samsung), il traguardo finale appare ancora lontano, tanto è vero che Lg, che ha collaborato con Qd Vision nella ricerca sui quantum dot, ha preferito concentrarsi sugli Oled e iniziare con questi la produzione di massa di televisori liberi dai difetti degli Lcd.

Per costruire pannelli Qdled a costi contenuti, Qd Vision ha sviluppato un sistema di stampa a contatto. Il processo inizia con la distribuzione del liquido colloidale contenente i quantum dot su una superficie in rapida rotazione, così la forza centrifuga distribuisce uniformemente il liquido che forma un velo sottile. Subito dopo una matrice, composta da piccoli rettangoli distribuiti in maniera regolare, è appoggiata sul liquido e di seguito sulla base del pannello in costruzione, su cui sono già stati creati i circuiti necessari (transistor a film sottile Tft e piste di conduzione) tramite le comuni tecniche di fotoincisione. Il liquido con i nanocristalli appena depositato forma le celle dei subpixel di uno dei tre colori Rgb. Ripetendo il processo altre due volte, con quantum dot di diversa dimensione e sfasando ogni volta la deposizione dei nuovi rettangoli, si



I nuovi televisori Triluminos di Sony impiegano i quantum dot prodotti da Qd Vision. Sony afferma di aver venduto più di un milione di Tv Triluminos a partire dal 2013.



crea una serie completa di celle, che, raggruppate tre a tre, definiscono i pixel del display. Il pannello è completato da uno strato superiore trasparente, che sigilla il layer con i quantum dot (che vanno protetti dall'ossigeno e dall'umidità) e che completa i circuiti con piste elettriche trasparenti in Ito (ossido di indio-stagno).

Questo processo di costruzione consente di raggiungere densità di pixel molto elevate, anche fino a 1.000 ppi (*pixel per inch*). Nel recente passato sia Qd Vision sia Samsung hanno mostrato prototipi di display flessibili Qdled, con diagonale di quattro pollici e dalla luminosità elevata.

**Qd Vision è riuscita a ottenere quantum dot** che emettono luce rossa con un'efficienza quantica esterna (*Eqe, external quantum efficiency*) pari al 18%, molto vicina al massimo teorico del 20%. Questo risultato si traduce in una luminosità di 22 lumen per watt e in 18 candele per ampere, prestazioni superiori ai migliori composti organici fosforescenti usati nei pannelli Oled. Purtroppo per il verde e soprattutto per il blu la resa è nettamente inferiore, grosso modo pari a quella dei composti organici fluorescenti impiegati per il blu negli schermi Oled. Il problema con questi due colori (con lunghezze d'onda inferiore al rosso) è che tra i quantum dot si creano correnti parassite che disperdono sotto forma di calore l'energia immessa. Questo fenomeno è una conseguenza dell'*effetto Auger*, che si verifica quando in un atomo un elettrone in un orbitale superiore riempie una lacuna in un orbitale inferiore e l'energia così liberata causa l'espulsione di un elettrone dall'orbitale più esterno dell'atomo. Le correnti vaganti sono composte proprio da questi elettroni espulsi. Per contrastare questo fenomeno, i ricercatori hanno scoperto l'utilità di ricoprire i quantum dot con gusci di solfuro di cadmio. Anche l'isolamento del layer con i nanocristalli tramite due film di ossido di silicio aiuta.

**In definitiva c'è ancora parecchio lavoro da fare** prima di vedere in produzione i display Qdled, ma le ottime prestazioni dei quantum dot stimolati elettricamente fanno ben sperare gli esperti del settore. In altre parole, ci sono buone probabilità che nel prossimo futuro questa tecnologia sarà in competizione con quella Oled per la supremazia nel settore dei display. •

## QUANTUM DOT È L'AMBIENTE

**B**uona parte dei quantum dot prodotti oggi è a base di cadmio, un metallo pesante che è nella lista nera di molte nazioni che vogliono combattere l'inquinamento. La direttiva europea Rohs, per esempio, limita l'impiego di cadmio nei liquidi, nella plastica e nelle vernici a una concentrazione massima di 100 parti per milione (ppm). Vincoli simili sono in corso di definizione anche in altri paesi, come Stati Uniti, Giappone, Cina e Corea del Sud.

Proprio per evitare restrizioni di questo tipo, Nanoco ha sviluppato quantum dot che non usano cadmio ma indio e zinco, più precisamente InP/ZnS (fosforo di indio/solfuro di zinco) oppure CuInS/ZnS (solfuro di indio e rame/solfuro di zinco). Secondo Nanoco, questi composti hanno prestazioni molto simili a quelle dei nanocristalli con base cadmio.

Nanosys produce invece quantum dot con cadmio, ma l'azienda sottolinea che la quantità di questo metallo pesante in ogni foglio Qdef è veramente piccola, inoltre i nanocristalli sono sigillati all'interno di una matrice epossidica, chiusa a sua volta tra due film protettivi. Secondo Nanosys, test eseguiti in base alle normative americane Epa (*Environmental Protection Agency*) hanno dimostrato che non si verifica alcuna perdita di cadmio durante la vita prevista del Qdef e anche il suo smaltimento può avvenire con le stesse modalità stabilite per i comuni prodotti elettronici.

Per quanto riguarda il nostro continente, nella primavera 2014 l'Unione Europea ha rivisto le specifiche Reach e Rohs relative ai componenti che contengono quantum dot a base di cadmio usati nei display. In seguito a questa analisi è stato deciso di estendere fino al 30 giugno 2018 la durata dell'Esenzione 39, che ammette una concentrazione massima di 0,2 microgrammi per millimetro quadrato di cadmio per questo tipo di componenti. I fogli Qdef hanno una concentrazione di cadmio pari a un terzo del limite massimo ammesso, quindi il prodotto di Nanosys è conforme alle normative. L'Esenzione 39 è applicabile anche ai nanocristalli di Qd Vision, sempre basati sul cadmio, quindi pure questa società può dormire sonni tranquilli, almeno fino alla fine di giugno 2018.

