

Lo Smart Binning con le ellissi di MacAdam in tre fasi

Si possono scegliere i colori dei LED utilizzando una tecnica basata sulle ellissi di MacAdam efficace e precisa quanto semplice ed elegante

Dr. Christopher Keusch
Everlight Electronics

Nella percezione del colore da parte dell'occhio umano vi sono discrepanze da persona a persona e sono stati fatti molti studi per tentare di definire degli standard sulla consistenza dei colori. David MacAdam è famoso per un esperimento del 1942 nel quale un osservatore si trovava di fronte a due colori diversi in una condizione di luminosità costante. Uno dei colori era fisso, ossia il colore "test", mentre l'altro era regolabile dall'osservatore stesso al quale veniva chiesto di modificarlo finché giudicasse di aver eguagliato il colore di test.

Dato che l'accuratezza dell'occhio umano è limitata risultò impossibile per chiunque eguagliare esattamente la tonalità dei due colori, ma MacAdam dimostrò che tutti i diversi osservatori a cui faceva ripetere l'esperimento arrivavano a un colore che si trovava all'interno di una ben precisa ellisse nel diagramma di cromaticità CIE 1931. Precisamente, MacAdam rifece l'esperimento 25 volte trovando altrettante 25 ellissi sul diagramma di cromaticità e comprese anche che la dimensione e l'orientamento delle ellissi variava parecchio in funzione del colore di test di partenza. Nella figura 1 sono riportate le 25 ellissi dell'esperimento originale di MacAdam. Perché l'industria dell'illuminazione necessita di definire in modo preciso i colori dei LED?

Nell'illuminazione la coerenza del colore è un elemento fondamentale per la qualità dei risultati decorativi e può variare da LED a LED in funzione dei processi di fabbricazione impiegati. Ci sono due modi per garantire l'uniformità dei colori. Il primo è quello di miscelare colori diversi generati da più LED in un supporto unico su scheda in modo tale da ottenere una ben precisa CCT

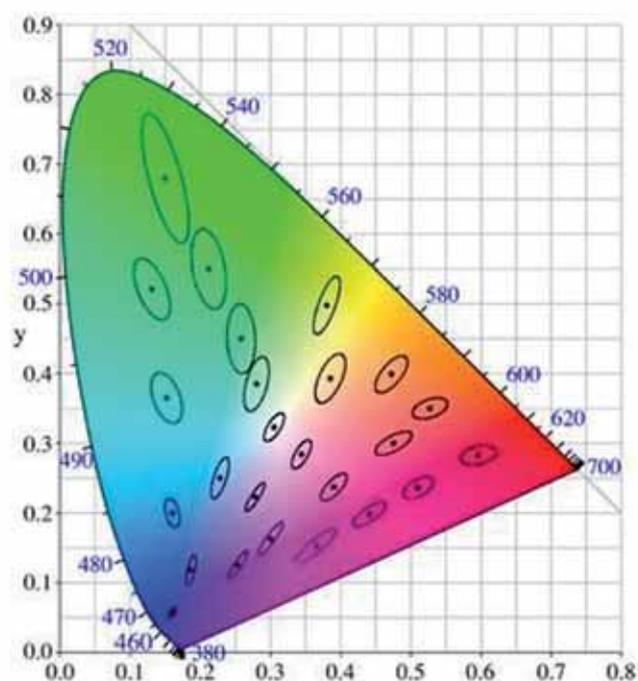


Fig. 1 - Le 25 ellissi definite sul diagramma di cromaticità nell'esperimento di MacAdam

(Correlated Color Temperature). Questa soluzione, tuttavia, richiede complessi algoritmi matematici senza i quali è molto difficile garantire un valore di CCT equilibrato e ripetibile e, inoltre, dipende fortemente dalla qualità delle ottiche necessarie per miscelare e diffondere i colori, ma è comunque una soluzione valida anche se un po' impegnativa a livello produttivo. Un altro approccio è quello di cercare dei LED con emissione estremamente circoscritta in termini di colore, ma questa scelta comporta evidentemente costi superiori e, inoltre, può portare a risultati diversi da costruttore a costruttore. Un approccio più efficace consiste nel scegliere in modo

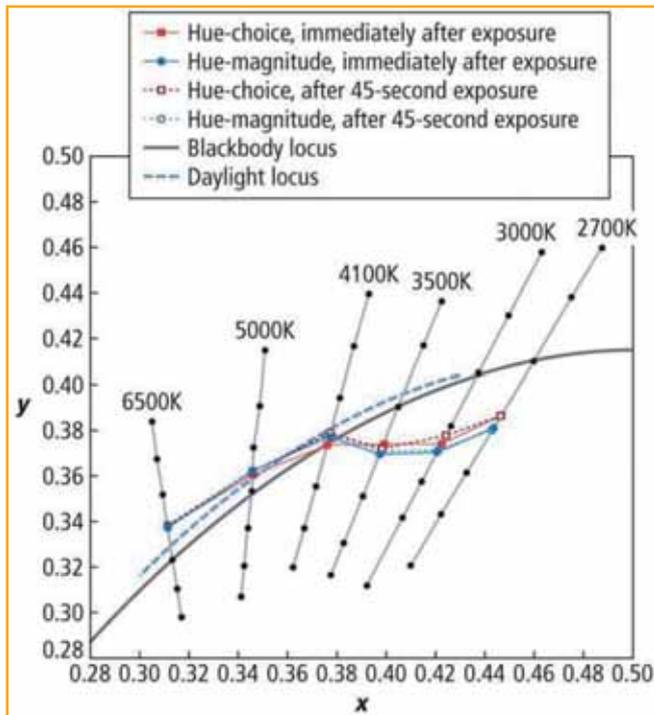


Fig. 2 - Distribuzione delle temperature di colore nella luce bianca

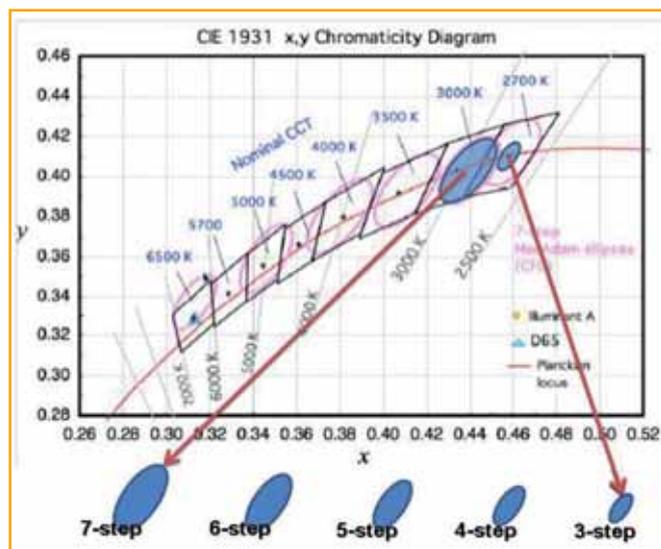


Fig. 4 - La metodologia standard ANSI Binning e un confronto fra le ellissi MacAdam Step7 e Step3

intelligente i colori fra i LED disponibili a catalogo presso i costruttori di LED ossia fare “Smart Binning” o “miscelazione intelligente dei colori”. Questa soluzione nasce da tre evidenti considerazioni. Innanzi tutto, la temperatura di colore è un indicatore troppo indeterminato per poter scegliere bene i colori dato che nello spazio dei colori produce una retta e non un singolo punto.

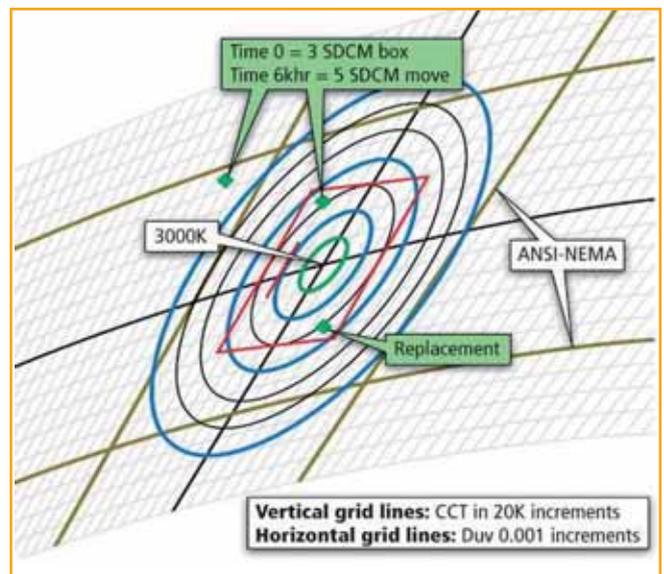


Fig. 3 - La variabilità dei colori nei LED diventa problematica quando si deve sostituire una sola delle sorgenti luminose in un gruppo di lampade. SDCM è la Standard Deviation of Color Matching ossia la deviazione standard della tonalità del colore rispetto al suo valore nominale

Si pensi che i ricercatori dell’LRC (Lighting Research Center) hanno dimostrato che alle temperature più calde le persone tendono a confondere i colori al punto da non percepire l’intera cromaticità della luce bianca (Fig. 2). Inoltre, è indispensabile garantire a lungo la coerenza dei colori nelle lampade per l’illuminazione e, per di più, occorre fare in modo che il colore risultante dall’emissione di numerose lampadine nello stesso ambiente possa rimanere coerente e conforme anche quando viene sostituita una sola delle lampadine. Si sa bene, infatti, che due lampadine possono emettere luce con la stessa temperatura di colore, ma nel contempo essere diverse in termini di cromaticità nello spazio dei colori

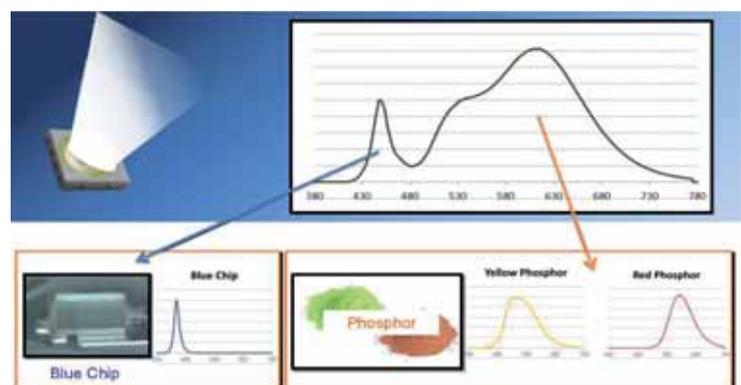


Fig. 5 - Spettro di emissione dei LED a luce bianca

CIE 1931 (Fig. 3). Considerando tutto ciò gli esperti del settore hanno definito una metodologia standard che può essere utilizzata per determinare la temperatura dei colori utilizzando le ellissi SDCM nello spazio dei colori, come si vede nella figura 4.

Lo spettro dei LED a luce bianca

I LED bianchi sono generalmente fabbricati con LED blu di InGaN sopra ai quali viene steso uno spessore epossidico di fosforo, mentre il tutto viene incapsulato nel silicene. Lo spettro viene definito dalla luce emessa dal LED blu con lunghezza d'onda di circa 450 nm alla quale viene sovrapposta la luce a banda larga emessa dal fosforo nell'intervallo da 500 a 700 nm, ma per fare in modo di ottenere una buona tonalità di luce bianca i costruttori applicano insieme fosfori gialli e fosfori rossi.

Per verificare la temperatura di colore dei LED a luce bianca nel diagramma CIE occorrono tre operazioni che consentono di disegnare altrettante tre ellissi di MacAdam. Primo: miscelare i fosfori gialli e rossi nel corretto rapporto (g:r) per determinare la larghezza di banda che essi producono insieme e disegnare la relativa ellisse sul

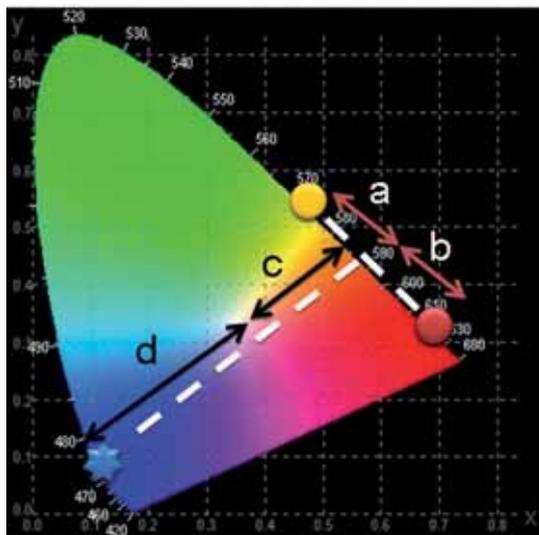


Fig. 6 - Verifica della posizione del LED a luce bianca sul diagramma CIE

diagramma. Secondo: scegliere il LED blu valutando bene la lunghezza d'onda e la potenza nelle condizioni di picco e trovare la sua ellisse sul diagramma. Terzo: selezionare la zona di sovrapposizione fra le ellissi sul diagramma CIE in corrispondenza della miscela fra il blu e i fosfori.

Smart Binning per la produzione di massa

Una corretta fase preventiva di Smart Binning effettuata con i diagrammi CIE permette di giungere alla fase produttiva con risultati più precisi e ripetibili in termini di coerenza dei colori.

Non c'è più bisogno di eseguire complessi algoritmi matematici per selezionare i colori delle lampade d'illuminazione perché ogni colore ha la sua CCT stabilita con le ellissi di MacAdam. Questo è il modo più semplice ed efficace per la produzione degli apparecchi d'illuminazione con colori coerenti. Nelle industrie del settore si sono stabiliti due metodi per implementare questa tecnologia di fabbricazione denominati Solid Phosphor Sheet e Spray-Coating, ma è quest'ultimo che segue più da vicino l'approccio Smart Binning.



Fig. 7 - Procedura per la metodologia Solid Phosphor Sheet

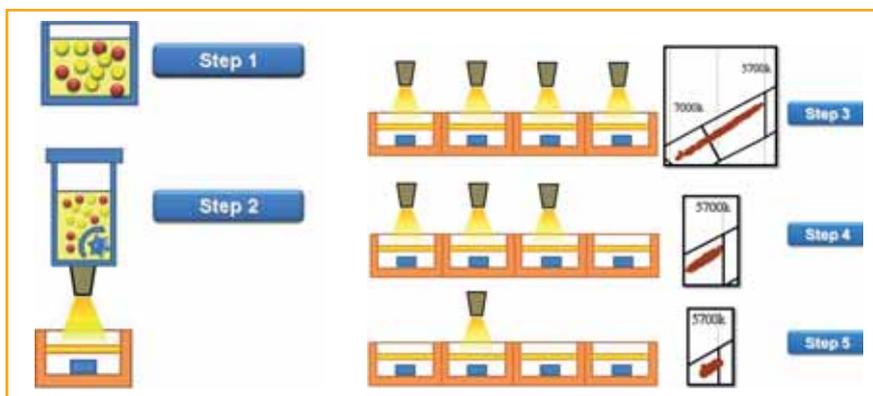


Fig. 8 - Procedura per la metodologia Spray-Coating

La metodologia Solid Phosphor Sheet, o a fogli di fosforo, si esegue in due passaggi. Primo: miscelare i fosfori rossi e gialli in un foglio di fosforo con il corretto rapporto (g:r) e valutare l'effetto prima della polimerizzazione. Secondo: applicare il foglio di fosforo sul chip, eseguire la polimerizzazione e testarne l'emissione dopo.

La metodologia Spray-Coating, o a spruzzo, richiede cinque passaggi. Primo: miscelare i fosfori rossi e gialli e preparare un gel con il corretto rapporto (g:r). Secondo: caricare il gel nella cartuccia che servirà per spruzzare il rivestimento e ricordarsi di fare attenzione che durante l'intero processo la concentrazione permanga nel corretto rapporto iniziale (g:r). Terzo: spruzzare il gel di fosfori sul silicene. Quarto: verificare tutti i LED uno per uno per capire quali devono essere spruzzati di nuovo. Quinto: spruzzare nuovamente il gel laddove serve e verificare l'emis-