



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

# Relazione relativa all'attività B: Ricerca sperimentale e qualificazione sistemi di illuminazione innovativa Punto 2: Resa cromatica

*Maurizio Rossi, Fulvio Musante, Daria Casciani*



RELAZIONE RELATIVA ALL'ATTIVITÀ B: RICERCA SPERIMENTALE E QUALIFICAZIONE SISTEMI  
DI ILLUMINAZIONE INNOVATIVA  
PUNTO 2: RESA CROMATICA

Maurizio Rossi, Fulvio Musante, Daria Casciani, (Politecnico di Milano, Dipartimento INDACO)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Progetto: Simonetta Fumagalli, ENEA



**Accordo di collaborazione tra ENEA e Politecnico di Milano, Dipartimento INDACO, nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2008-2009, Progetto 3.2 "Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica", per una attività di ricerca dal titolo: "Advance LED Lighting Design nell'Illuminazione Pubblica".**

Relazione relativa all'attività B: Ricerca sperimentale e qualificazione sistemi di illuminazione innovativa

Punto 2: Contributo alla definizione delle specifiche di sviluppo del software per progettazione illuminotecnica mirata all'efficienza energetica.

## Sommario

1	Introduzione.....	2
2	CQS .....	2
2.1	Spazio colore .....	7
2.3	Il fattore saturazione.....	8
	Utilizzo dello scarto quadratico medio.....	9
3	Comparazioni tra CRI e CQS .....	11
4	Misurazioni effettuate col CQS.....	13
4.1	Misura Spettrale .....	14
4.2	Risultati delle misure.....	14
7	Conclusioni .....	26

Milano, 24.3.2011

Il responsabile scientifico della ricerca

Prof. Maurizio Rossi

Politecnico di Milano



## 1 Introduzione

Il Colour Rendering Index (CRI) così come definito nella pubblicazione CIE 13.3-1995 non è molto adatto per confrontare la resa cromatica di sorgenti luminose quando tra di esse siano presenti LED; questo è ciò che afferma, in sintesi, il Technical Report CIE 177-2007. Sulla base di alcuni esperimenti effettuati<sup>1</sup>, il Comitato Tecnico CIE ha concluso che è auspicabile lo sviluppo di un nuovo indice di resa cromatica (o un nuovo insieme di indici) valido per tutte le sorgenti e non solo per i LED, che integri il CRI in una fase iniziale di sviluppo per poi sostituirlo definitivamente una volta verificata la sua validità.

Attualmente sono stati proposti sette metodi alternativi al CRI:

### **Rank-order based color rendering index (RCRI)**

*(Bodrogi, Bruckner, & Khanh)*

### **Feel of contrast index (FCI)**

*(Hashimoto, Yano, & Nayatani)*

### **CRI-CAMO2UCS**

*(Li, Luo, & Li)*

### **Color quality scale (CQS)**

*(Davis & Ohno)*

### **Harmony rendering index (HRI)**

*(Szabo, Bodrogi, & Schanda)*

### **Categorical color rendering index (CCRI)**

*(Yaguchi, Endoh, Moriyama, & Shioiri)*

### **Memory CRI (MCRI)**

*(Smet, Forment, Hertog, Deconinck, & Hanselaer)*

Lo scopo della presente ricerca è quello di valutare in modo approfondito uno dei metodi proposti all'interno del progetto "Advance LED Lighting Design nell'illuminazione Pubblica". Sulla base di valutazioni di natura pratica il metodo considerato nella presente valutazione è il CQS di Davis e Ohno sviluppato al NIST (National Institute of Standard and Technology), che risulta tra i più accreditati a sostituire il CRI. Una delle principali decisioni adottate in questa nuova metrica è il fatto di continuare ad utilizzare un unico indice per definire la resa cromatica delle sorgenti. Se da un lato questo comporta degli inevitabili compromessi legati alla voluta semplificazione, dall'altro questa impostazione permette di mantenere uno stretto legame con il CRI, utilizzato ormai da oltre trent'anni.

## 2 CQS

Il CQS, così come il CRI, è un metodo basato sull'utilizzo di un set di campioni.

---

<sup>1</sup> A tale proposito, si veda quanto riportato nel paragrafo "VISUAL EXPERIMENTS AND SIMULATIONS ON COLOR RENDERING" del Technical Report CIE 177:2007



Alla base dello sviluppo del CQS c'è la volontà di superare quelli che sono i problemi più evidenti del CRI, soprattutto in virtù del fatto che tali problematiche si evidenziano nel caso di sorgenti a stretto spettro come nei LED (in particolar modo nel caso di sintesi RGB).

Nella definizione del nuovo sistema si è deciso di mantenere un unico indicatore della resa cromatica, modificando in parte il metodo utilizzato nella determinazione del CRI. Allo scopo di essere utile al maggior numero possibile di utenti, molti dei quali con conoscenze limitate di colorimetria, un indicatore numerico unico è sicuramente preferibile.

Le principali caratteristiche del nuovo metodo possono essere così riassunte:

- I campioni colore diventano 15 e sono colori saturi<sup>2</sup>.
- Viene utilizzato lo spazio colore CIELAB.
- Viene tenuto in conto il fattore saturazione.
- Viene espresso su una scala da 0 a 100 e non può assumere valori negativi come il CRI.
- Viene definito tramite lo scarto quadratico medio delle distanze e non più come media di tali valori.
- Viene mantenuta la consistenza rispetto al CRI per le lampade fluorescenti.

### **Nuovo set di campioni nel CQS**

Uno dei principali problemi del CRI è il fatto che la resa cromatica di colori saturi potrebbe essere molto bassa anche con un valore del CRI alto. Gli 8 campioni del CRI funzionano bene per sorgenti ad ampio spettro ma possono essere problematici per sorgenti LED a spettro stretto con picchi elevati e ampie zone vuote. Una sorgente RGB a LED può produrre una buona resa dei campioni colore poco saturi (ed avere quindi un alto CRI), anche se la resa sui colori saturi è estremamente bassa. Per questo motivo gli 8 campioni del CRI vengono sostituiti da 15 campioni differenti nel CQS.

Nel CRI i campioni compresi tra il TCS01 e il TCS08 sono di media saturazione e tutti aventi approssimativamente la stessa luminanza. I restanti 6 campioni, dal TCS09 al TCS14 sono usati meno frequentemente e includono colori più saturi, il colore della pelle umana di razza caucasica e il colore del fogliame (fig. 1)

---

<sup>2</sup> Nell'indice CRI i campioni saturi sono quelli numerati da 8 a 14 e costituiscono un set di campioni supplementari. I primi 8 campioni sono tutti insaturi.

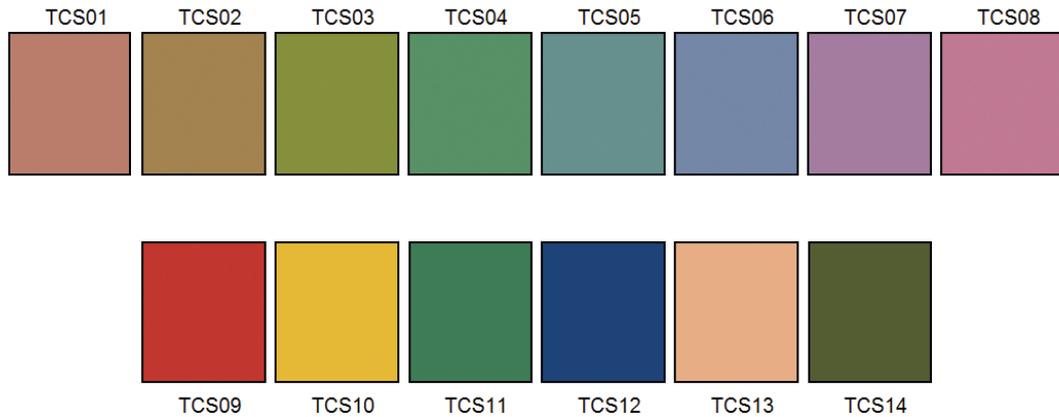


fig. 1 Campioni Colore del CRI

I coefficienti di riflessione spettrale degli 8 + 6 campioni utilizzati nel CRI sono raffigurati nella fig. 2.

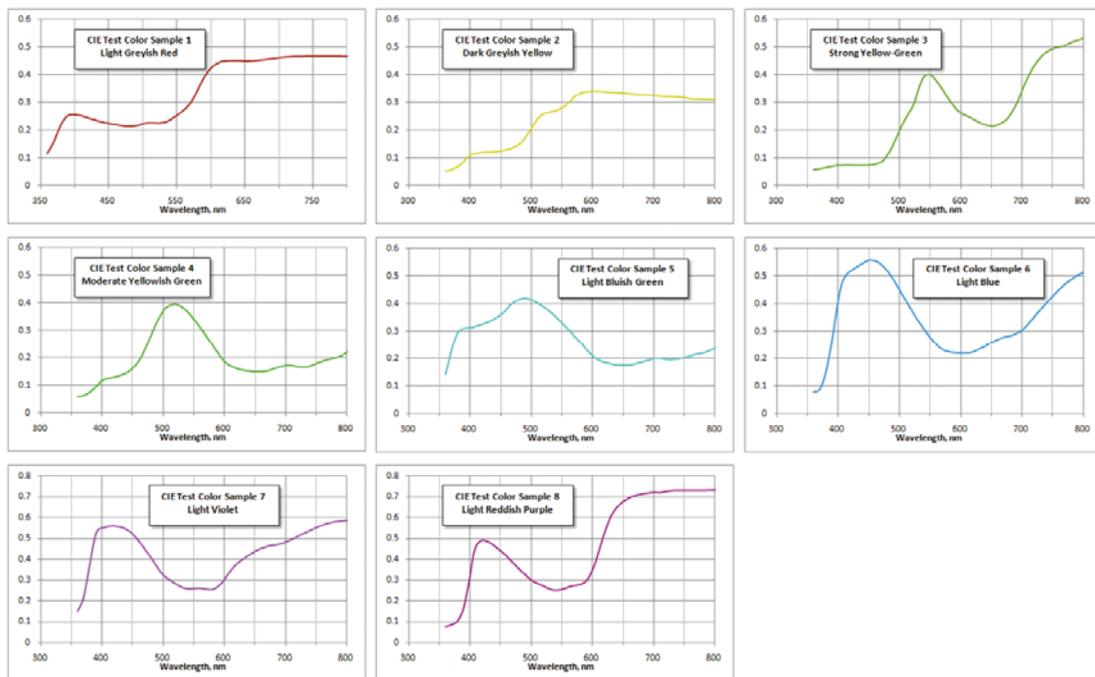


fig. 2 Coefficienti di riflessione spettrale dei campioni utilizzati nel CRI

Così come il CRI quindi il CQS è un metodo basato su un set di campioni di riferimento. Per superare uno dei problemi più seri del CRI, ovvero la possibilità di avere una resa cromatica molto scarsa su colori saturi anche con elevati valori dell'indice, gli otto campioni sono stati sostituiti con 15 campioni aventi alta saturazione cromatica ed equidistanti all'interno del cerchio colore.

I campioni colore dell'atlante Munsell utilizzati nel CQS hanno i seguenti valori: 7.5 P 4 / 10, 10 PB 4 / 10, 5 PB 4 / 12, 7.5 B 5 / 10, 10 BG 6 / 8, 2.5 BG 6 / 10,



2.5 G 6 / 12, 7.5 GY 7 / 10, 2.5 GY 8 / 10, 5 Y 8.5 / 12, 10 YR 7 / 12, 5 YR 7 / 12, 10 R 6 / 12, 5 R 4 / 14 7.5 RP 4 / 12 (fig. 3).

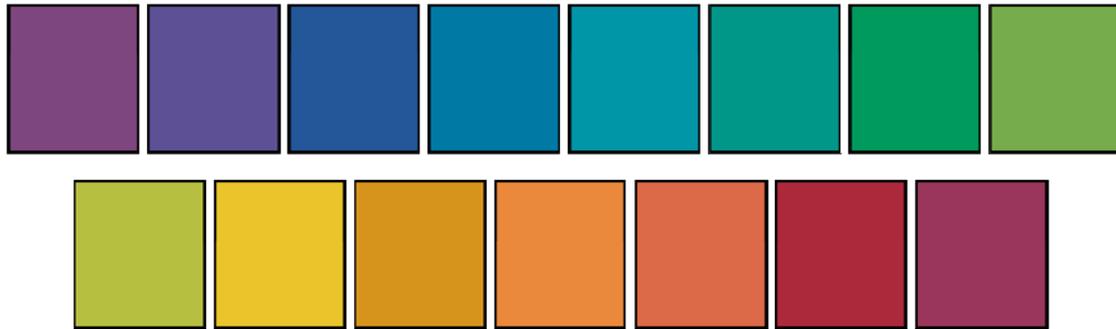


fig. 3 Campioni Colore del CQS

Nella fig. 4 vengono riportati i coefficienti di riflessione spettrale dei campioni colore utilizzati nel CQS.

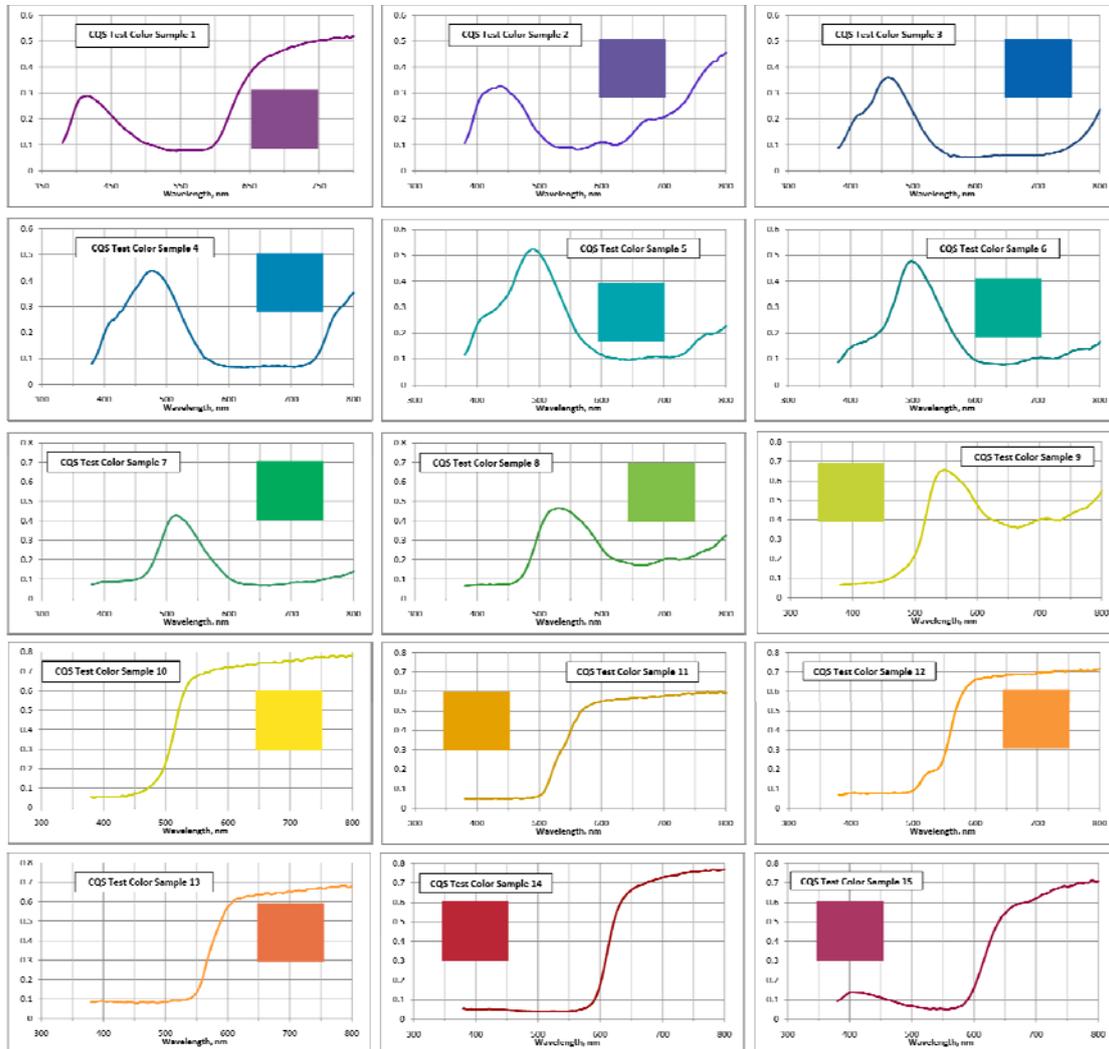


fig. 4 Coefficienti di riflessione spettrale dei campioni utilizzati nel CQS

In fig. 5 vengono rappresentati nello spazio colore CIE 1976 L\*a\*b\* (CIELAB) i campioni colore utilizzati nel CRI e i campioni colore utilizzati nel CQS. È evidente la maggiore saturazione dei campioni del CQS e la loro più uniforme distribuzione nello spazio rispetto a quelli usati nel CRI.

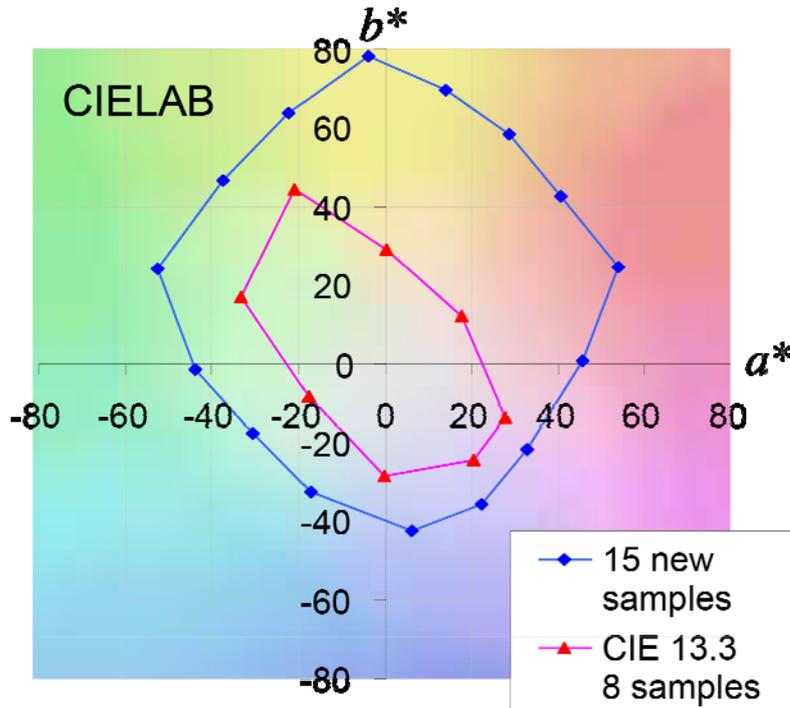


fig. 5 Confronto tra i campioni colore usati nel CQS e nel CRI

## 2.1 Spazio colore

Lo spazio colore usato nel CRI, il CIE 1964  $U^*V^*W^*$  viene sostituito nel CQS con il CIE 1976  $L^*a^*b^*$  (CIELAB) a causa della mancanza di uniformità del primo, ove le differenze di colore sono estremamente esagerate soprattutto nella regione del rosso e ridotte nelle regioni del giallo e del blu. La scelta del CIE  $L^*a^*b^*$  è legata al fatto che attualmente è quello raccomandato dalla CIE ed è ampiamente utilizzato in molti settori della tecnica.

Nelle fig. 6 sono riportate le coordinate cromatiche dei 15 campioni del CQS nei due spazi colore; è evidente la differenza di uniformità.

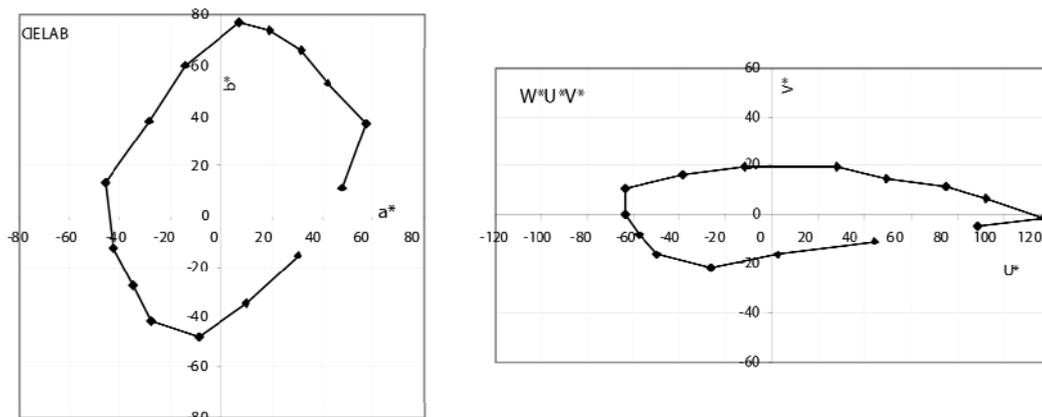


fig. 6 - I 15 nuovi campioni usati nel CQS nello spazio colore CIE 1976  $L^*a^*b^*$  e CIE 1964  $W^*U^*V^*$ .



### La sorgente di riferimento.

Come nel CRI, anche il CQS utilizza un illuminante di riferimento alla medesima temperatura correlata di colore (CCT) della sorgente di test; anche in questo caso la sorgente di riferimento sarà il corpo nero se la CCT della sorgente test risulta inferiore a 5.000K o gli illuminanti della serie D (daylight) qualora la CCT sia uguale o superiore a 5.000K.

### Il fattore saturazione.

Una delle principali differenze tra CRI e CQS è relativa al "fattore di saturazione". Il CRI penalizza le sorgenti in relazione a qualsiasi scostamento rispetto alla sorgente di riferimento; qualsiasi variazione in tinta, saturazione e luminanza comporta una riduzione in termini di indice di resa cromatica. Nel CQS invece le sorgenti non vengono penalizzate per incrementi positivi nella saturazione; ciò tiene in conto il fatto che mentre un decremento della saturazione ha un effetto ovviamente negativo, un incremento della saturazione degli oggetti è da considerarsi positivo. Nel CQS le sorgenti non sono penalizzate come nel CRI nel caso producano un incremento di saturazione (anche se, in questo caso, il punteggio non viene aumentato).

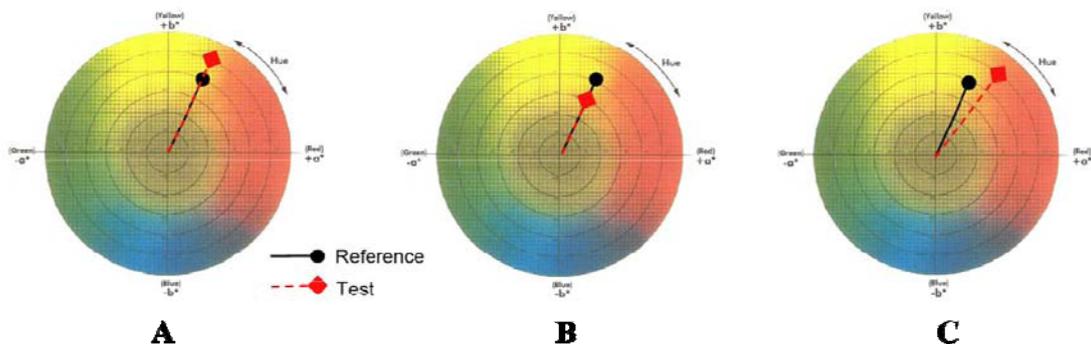


fig. 7 Effetti del fattore saturazione rappresentati nello spazio CIELAB

Nel caso A della fig. 7, la sorgente ha un incremento nella saturazione e non viene penalizzata dal CQS (a differenza di ciò che avverrebbe con CRI). Nel caso B la sorgente viene penalizzata così come nel CRI mentre nel caso C la sorgente viene penalizzata esclusivamente per quanto riguarda lo scostamento cromatico.



### Utilizzo dello scarto quadratico medio.

Nel CRI la differenza di colore tra test e riferimento è mediata; questo da la possibilità ad alcune sorgenti di avere un indice buono anche nel caso rendano il colore di alcuni campioni in modo pessimo. Per ovviare a questa criticità nel CQS viene utilizzato lo scarto quadratico medio degli scostamenti dei 15 campioni:

$$\Delta E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta E_i^2}$$

Elevando al quadrato ogni valore prima di mediarlo vengono enfatizzati gli errori (scostamenti) e si garantisce che il basso indice anche di soli pochi campioni abbia un significativo impatto sull'indice globale.

### Fattore di scala

Nel CRI il valore dell'indice di ogni singolo campione viene definito dalla formula

$$R_i = 100 - 4,6 * \Delta E_i$$

Il valore 4,6 è stato introdotto al fine di avere un indice di resa cromatica pari a 50 per una tipica lampada fluorescente con temperatura colore calda. Questo fattore di scala deve essere modificato nel CQS per tener conto del fatto che i campioni test e lo spazio colore sono stati modificati e soprattutto per fare in modo che l'indice mantenga la sua consistenza con il CRI.

### Conversione su una scala 0-100

Nel CRI esiste la possibilità che l'indice assuma valori negativi; questo potrebbe essere in qualche modo fonte di confusione. Inoltre occorre dire che sotto valori di 30 o 20 del CRI si hanno rese cromatiche estremamente basse e la linearità della scala non è da considerare importante per valori inferiori. Sulla base di queste considerazioni nel CQS viene adottata una conversione di scala per evitare valori negativi. La formula utilizzata è la seguente:

$$R_{out} = 10 * \ln[\exp(R_{in} / 10) + 1]$$

dove  $R_{in}$  è il valore in ingresso (che può essere anche negativo) e  $R_{out}$  è l'output della funzione di conversione. Solo valori inferiori a 20 vengono modificati, mentre al di sopra di 20 i valori rimangono sostanzialmente immutati, come si può vedere chiaramente in fig. 8.

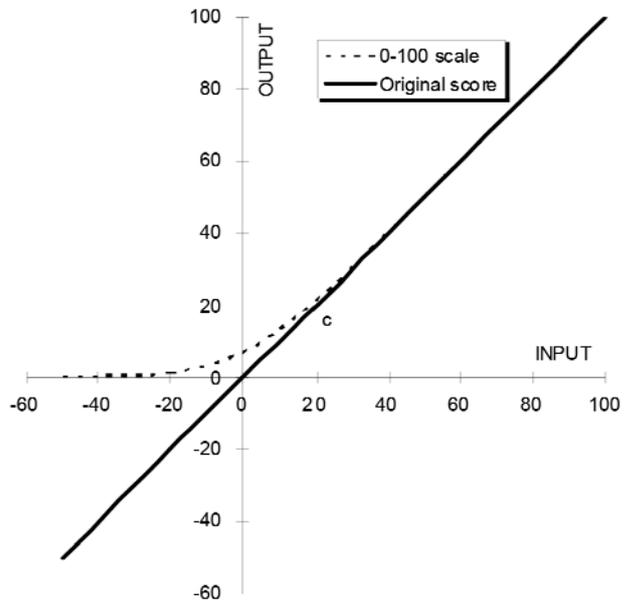


fig. 8 Relazione tra  $R_{in}$  e  $R_{out}$



### 3 Comparazioni tra CRI e CQS

Il fatto di calcolare il CRI come semplice media degli scostamenti cromatici degli 8 campioni da la possibilità ad alcune sorgenti di avere elevati valori dell'indice pur rendendo molto male alcuni campioni. Questo è estremamente evidente con sorgenti a LED RGB dove la scelta delle lunghezze d'onda dei tre colori è estremamente critica. Un leggero scostamento, anche di soli pochi nanometri, nel picco di emissione può far passare il CRI da un valore di 70 ad un valore di 90. Questa è evidentemente una criticità del CRI in quanto se da un punto di vista percettivo non ci sono significative modificazioni, dal punto di vista numerico il valore dell'indice è estremamente differente. Ciò comporta anche la possibilità per i produttori di "calibrare" accuratamente le emissioni di picco in modo da ottenere valori elevati del CRI.

Vediamo un esempio: in fig. 9 è rappresentato lo spettro di una sorgente RGB a LED con lunghezze d'onda centrate sui valori di 460, 540 e 605 nm. Ad una temperatura di colore correlata nominale di 3.300K questa sorgente ha un CRI calcolato pari a 81, valore considerato abbastanza buono in termini di resa cromatica.

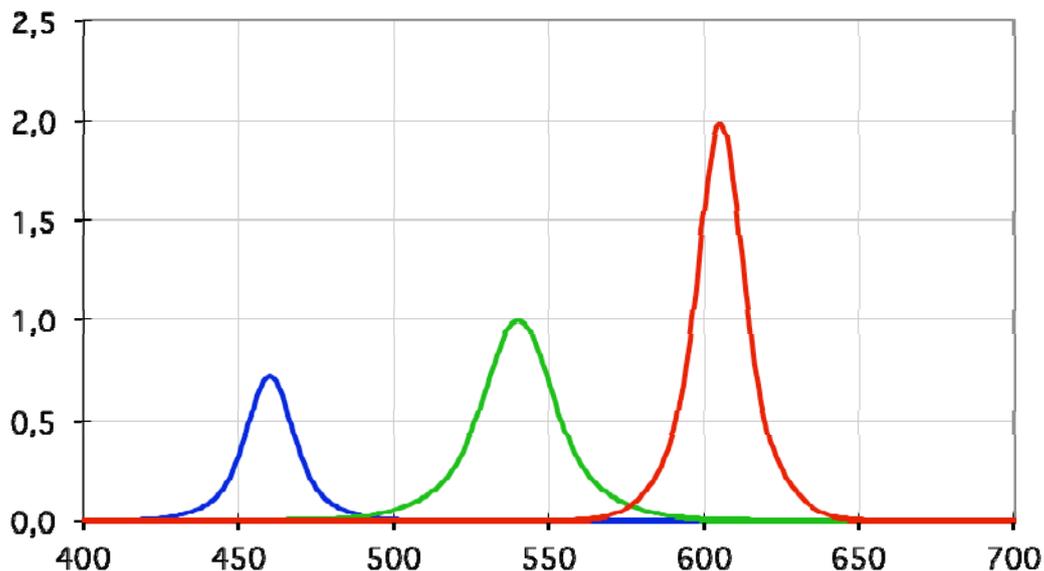


fig. 9 Spettro di un RGB con CRI = 81

In fig. 10 possiamo vedere gli scostamenti dei colori campione rispetto alla sorgente di riferimento; si nota immediatamente che la sorgente rende molto male i rossi mentre enfatizza i blu saturi.

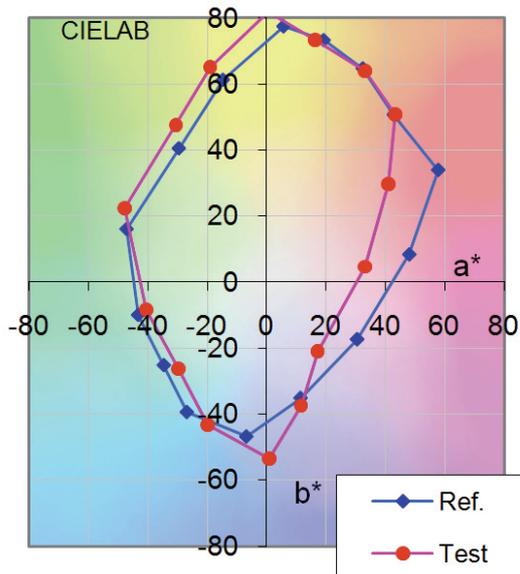


fig. 10 LED RGB con CRI = 81

Spostiamo ora solo leggermente le lunghezze d'onda dei LED in modo da avere i picchi rispettivamente a 455, 534 e 616 nm (fig. 11); il risultato di questa leggera modifica porta ad avere un CRI di 67, livello considerato in genere abbastanza scadente.

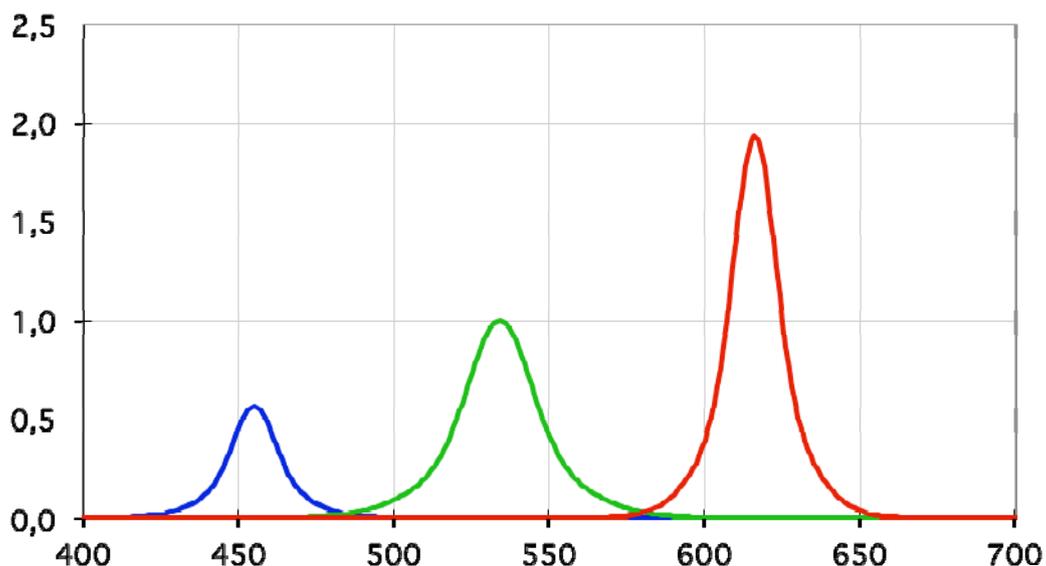


fig. 11 Spettro di un RGB con CRI = 67

Se valutiamo però gli scostamenti rispetto alla sorgente di riferimento in fig. 12 ci accorgiamo che in genere i colori vengono resi meglio rispetto alla situazione precedente (in cui il CRI era 81). Gli scostamenti maggiori si hanno nella zona dei verdi e dei rossi con colori enfatizzati e si nota che nessun campione è reso con una inferiore saturazione. Da un punto di vista percettivo questa situazione è



preferibile rispetto a quella precedente pur avendo un valore del CRI decisamente inferiore.

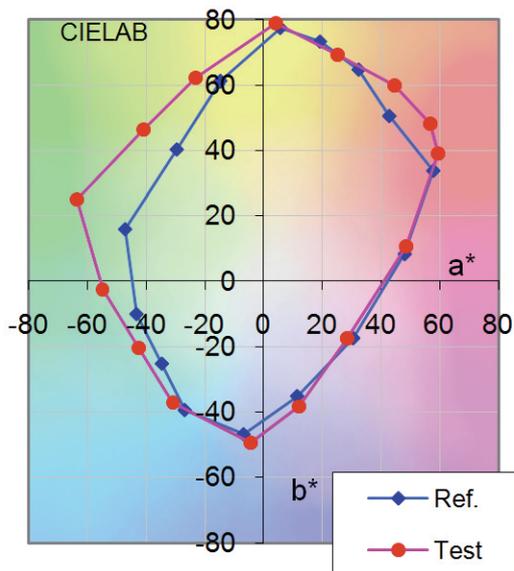


fig. 12 LED RGB con CRI = 67

#### 4 Misurazioni effettuate col CQS

Allo scopo di valutare il nuovo indice di resa cromatica e di verificare le differenze rispetto al CRI abbiamo effettuato una serie di misurazioni comparative su alcuni LED bianchi. Le valutazioni sono state effettuate su tipologie di LED frequentemente utilizzate per l'illuminazione stradale e su LED Array; i LED bianchi presi in considerazione sono esclusivamente di tipo a conversione delle lunghezze d'onda (LED blu e fosfori di conversione). Non sono stati verificati moduli LED RGB in quanto non utilizzati generalmente per applicazioni di street lighting.

I LED misurati sono i seguenti:

- Cree XP-G
- Osram Oslon
- Edison
- Bridgelux
- Modulo Edison

Lo spettro dei LED è stato misurato a differenti correnti di alimentazione (350, 700 e 1.000 mA) e in alcuni casi (Cree XPG e Osram OSLON) inserendo un'ottica secondaria utilizzata in ambito stradale (Ledil Strada T-DN), allo scopo di valutare anche la variazione in termini di coordinate cromatiche e di resa del colore nel caso di utilizzo di lenti.



#### 4.1 Misura Spettrale

Le misure spettrali sono state effettuate andando a valutare l'irradianza spettrale ( $W/m^2$ ) emessa dai LED in asse (la normale alla superficie sensibile dello strumento è stata allineata con la direzione di massima intensità luminosa emessa dalla sorgente). Le misure sono state realizzate ponendo lo strumento ad una distanza pari a 37 cm dalla sorgente.

Lo spettro-radiometro utilizzato è il Photoresearch Spectra Scan PR 701s, munito di adattatore CR-55 per la misura della irradianza spettrale; le caratteristiche tecniche dello strumento sono riassunte alla Tabella 1.

Tabella 1 Caratteristiche dello strumento utilizzato per il rilievo

Wavelength	380-780 nm
Apertura	1/2°
Luminance Accuracy	±2% riferito al NIST con illuminante standard a 2.856K
Luminance Precision	La deviazione standard di misure ripetute su un periodo di 30 minuti, è minore del 0.1% quando lo strumento funziona nelle normali condizioni operative
Accuratezza Colorimetrica per illuminante CIE A	CIE 1931 $x \pm 0.015$ $y \pm 0.001$
Color Precision	±.005 per CIE 1931 x,y misurando l'illuminante A della CIE
Errore Polarizzazione	>=5% quando si misurano sorgenti 100% polarizzate linearmente
Risoluzione Digitale	65536:1 (16 bits)
Tempo integrazione	Da 25 ms a 60000 ms

La prova è stata condotta per diversi valori di corrente 350mA, 500mA, 1.000mA, attendendo, dopo ciascuna variazione dei parametri di alimentazione 15 minuti prima di effettuare la misura.

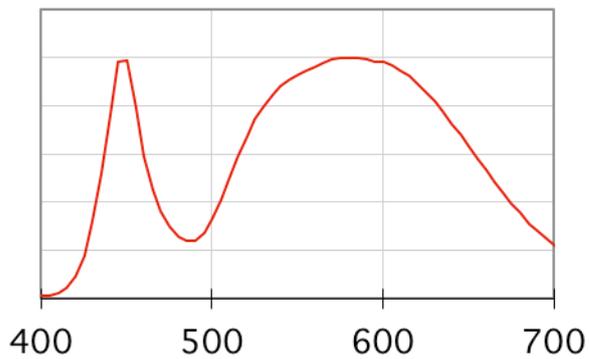
Sono stati quindi determinati i valori di CCT e di CRI a partire dai dati spettrali misurati; il calcolo della CRI è stato effettuato utilizzando sia il programma di calcolo CIE della pubblicazione 13.2, che il programma di calcolo CQS 7.5a del NIST per la valutazione del CQS e per la determinazione grafica degli scostamenti cromatici.

#### 4.2 Risultati delle misure

Di seguito vengono analizzati i campioni testati e le differenze nei valori tra CRI e CQS. Per ogni LED viene riportata la curva spettrale di emissione, la CCT, il CRI, la media degli ulteriori 4 campioni saturi del CRI (R9-R12), il valore dell'R9 e il CQS.

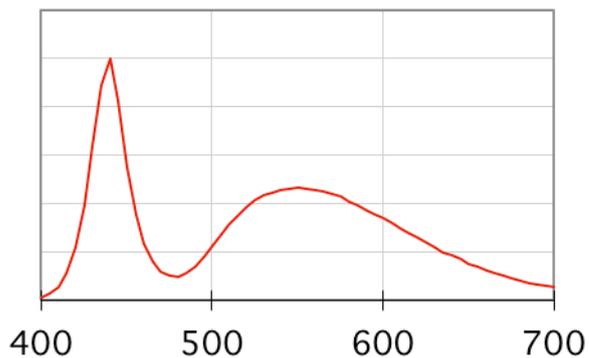


XPG 350 CL



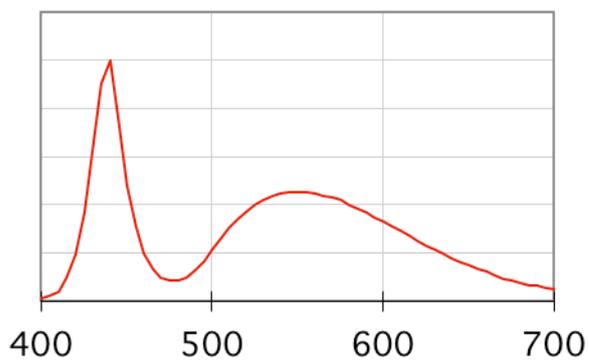
<b>CCT:</b>	<b>3971</b>
Duv:	0,000
<b>CRI Ra:</b>	<b>80</b>
R(9-12):	51
R9:	17
<b>LER (lm/W):</b>	<b>317</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

OSL 700 CL



<b>CCT:</b>	<b>6846</b>
Duv:	0,001
<b>CRI Ra:</b>	<b>70</b>
R(9-12):	35
R9:	-16
<b>LER (lm/W):</b>	<b>300</b>
<b>CQS</b>	<b>72</b>

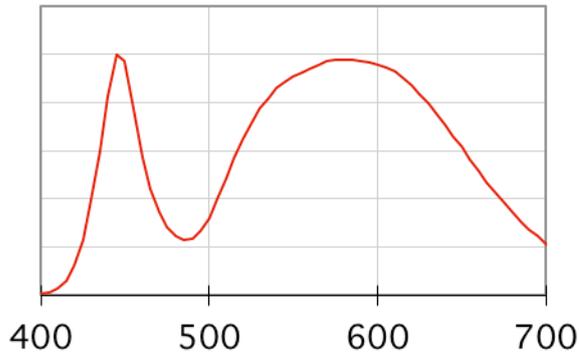
OSL 350 CL



<b>CCT:</b>	<b>6614</b>
Duv:	0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>69</b>
R(9-12):	33
R9:	-20
<b>LER (lm/W):</b>	<b>304</b>
<b>CQS</b>	<b>72</b>

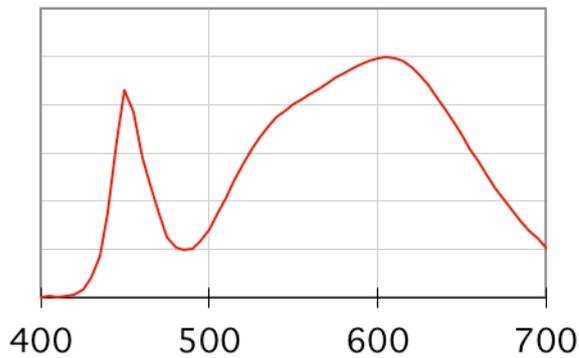


XPG 700 CL



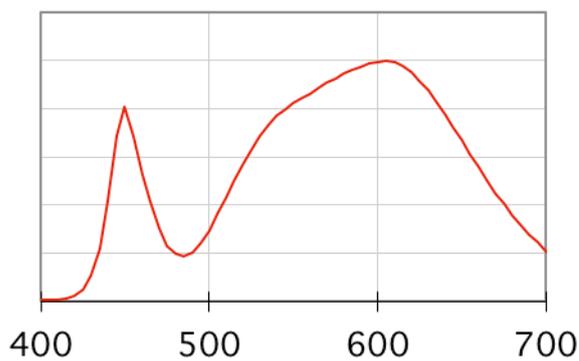
<b>CCT:</b>	<b>4006</b>
Duv:	-0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>80</b>
R(9-12):	52
R9:	18
<b>LER (lm/W):</b>	<b>314</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

BRI 350 SL



<b>CCT:</b>	<b>3410</b>
Duv:	-0,001
<b>CRI Ra:</b>	<b>83</b>
R(9-12):	57
R9:	24
<b>LER (lm/W):</b>	<b>318</b>
<b>CQS</b>	<b>82</b>

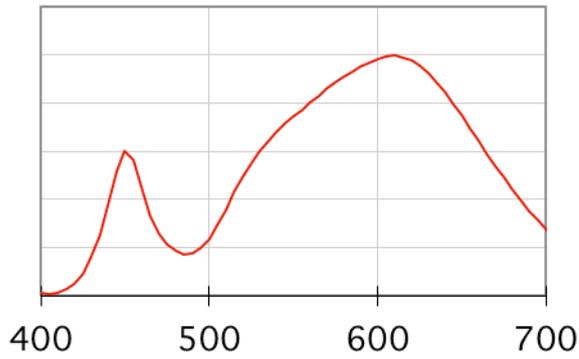
BRI 700 SL



<b>CCT:</b>	<b>3440</b>
Duv:	0,001
<b>CRI Ra:</b>	<b>82</b>
R(9-12):	54
R9:	20
<b>LER (lm/W):</b>	<b>322</b>
<b>CQS</b>	<b>82</b>

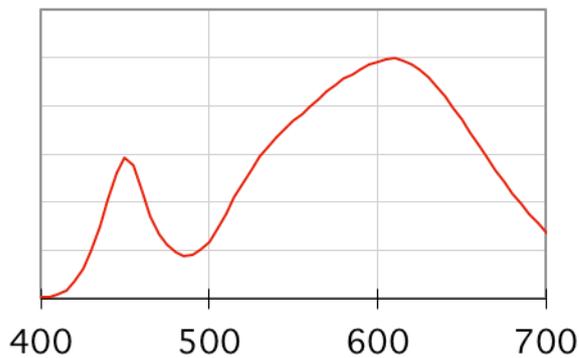


MCE 350



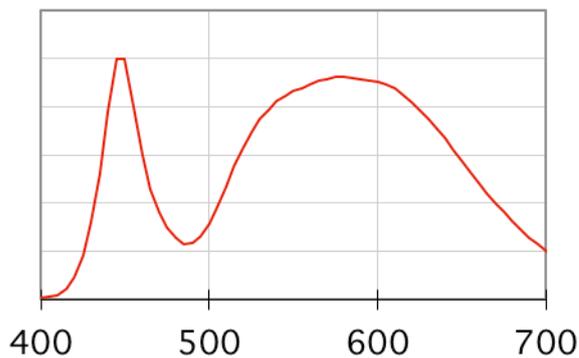
<b>CCT:</b>	<b>3112</b>
Duv:	-0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>83</b>
R(9-12):	59
R9:	29
<b>LER (lm/W):</b>	<b>305</b>
<b>CQS</b>	<b>82</b>

MCE 700



<b>CCT:</b>	<b>3111</b>
Duv:	-0,003
<b>CRI Ra:</b>	<b>83</b>
R(9-12):	59
R9:	28
<b>LER (lm/W):</b>	<b>303</b>
<b>CQS</b>	<b>81</b>

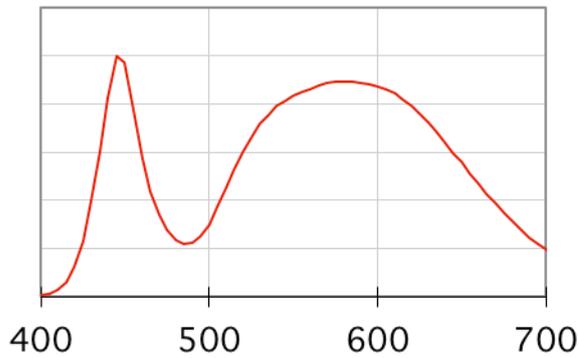
XPG 350 SL



<b>CCT:</b>	<b>4095</b>
Duv:	-0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>80</b>
R(9-12):	53
R9:	20
<b>LER (lm/W):</b>	<b>314</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

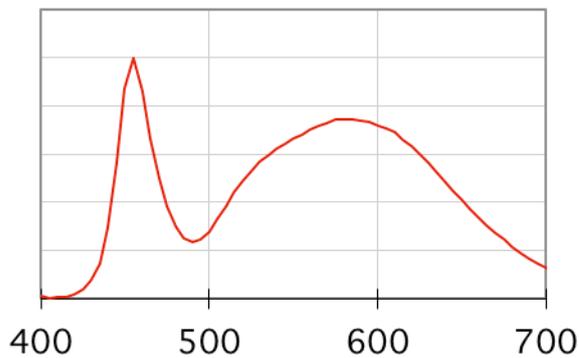


XPG 700 SL



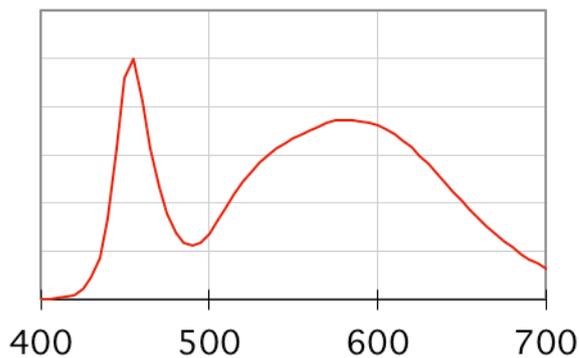
<b>CCT:</b>	<b>4136</b>
Duv:	-0,003
<b>CRI Ra:</b>	<b>80</b>
R(9-12):	53
R9:	21
<b>LER (lm/W):</b>	<b>310</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

EDI 350



<b>CCT:</b>	<b>4315</b>
Duv:	-0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>82</b>
R(9-12):	53
R9:	17
<b>LER (lm/W):</b>	<b>317</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

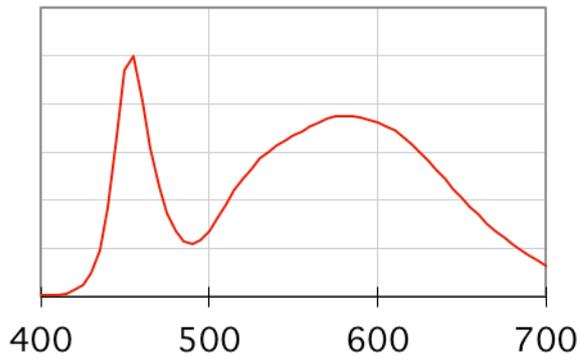
EDI 700



<b>CCT:</b>	<b>4320</b>
Duv:	-0,002
<b>CRI Ra:</b>	<b>82</b>
R(9-12):	53
R9:	16
<b>LER (lm/W):</b>	<b>317</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

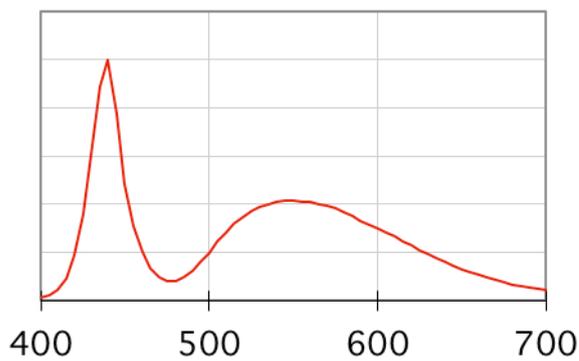


EDI 1000



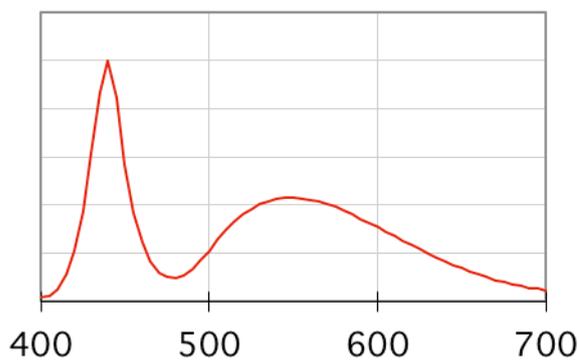
<b>CCT:</b>	<b>4331</b>
Duv:	-0,003
<b>CRI Ra:</b>	<b>82</b>
R(9-12):	53
R9:	16
<b>LER (lm/W):</b>	<b>316</b>
<b>CQS</b>	<b>79</b>

OSL 350 SL



<b>CCT:</b>	<b>7138</b>
Duv:	0,000
<b>CRI Ra:</b>	<b>70</b>
R(9-12):	35
R9:	-15
<b>LER (lm/W):</b>	<b>297</b>
<b>CQS</b>	<b>72</b>

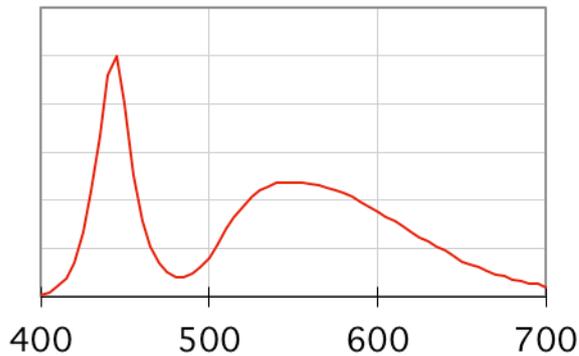
OSL 700 SL



<b>CCT:</b>	<b>7404</b>
Duv:	0,000
<b>CRI Ra:</b>	<b>71</b>
R(9-12):	37
R9:	-11
<b>LER (lm/W):</b>	<b>293</b>
<b>CQS</b>	<b>72</b>



LON 350

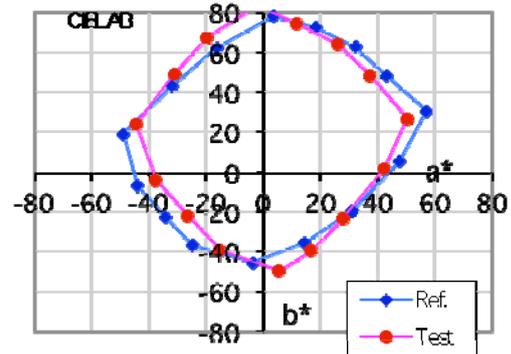
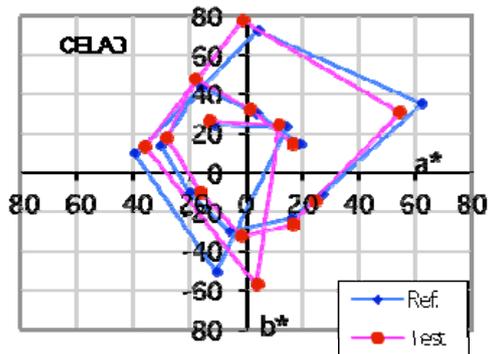


<b>CCT:</b>	<b>6666</b>
Duv:	-0,001
<b>CRI Ra:</b>	<b>70</b>
R(9-12):	33
R9:	-17
<b>LER (lm/W):</b>	<b>307</b>
<b>CQS</b>	<b>69</b>

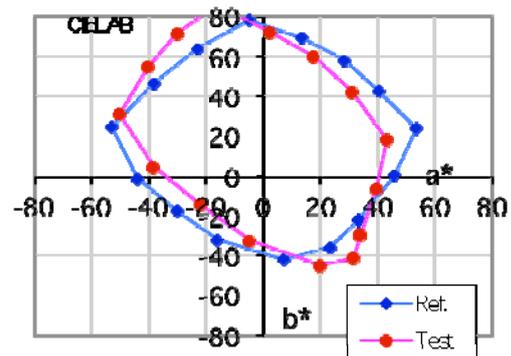
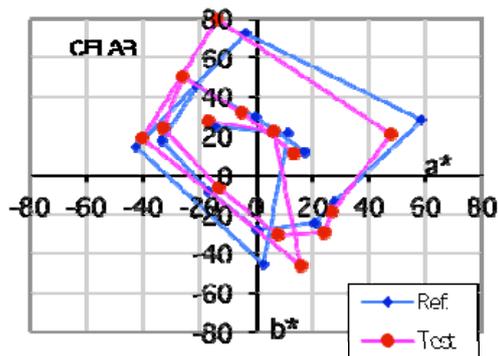
La differenza riscontrata tra i valori del CQS e quelli del CRI è al massimo di 3 punti (LED Array Edison) e si attesta mediamente tra 1 e 2 punti di differenza. Ciò da un lato è in linea con l'intenzione degli ideatori del CQS di mantenere un alto livello di consistenza nei confronti del CRI; dall'altro stabilisce che le differenze tra CRI e CQS nel caso di sorgenti a spettro relativamente ampio (dovute alle caratteristiche di conversione dei fosfori utilizzati) non sono molto elevate (a differenza di quanto accade nelle sorgenti a spettro stretto). Estremamente significativa è la visualizzazione dei campioni utilizzati nel CRI e nel CQS nello spazio colore  $L^*a^*b^*$ . Nei grafici a destra in tabella seguente sono specificate le coordinate cromatiche dei 15 campioni del CQS. È immediatamente evidenziato il tipico comportamento spettrale dei LED a conversione di lunghezza d'onda in cui si riscontra un aumento di saturazione in corrispondenza delle due aree a maggior contenuto energetico, ovvero l'area blu ma soprattutto l'area gialla.



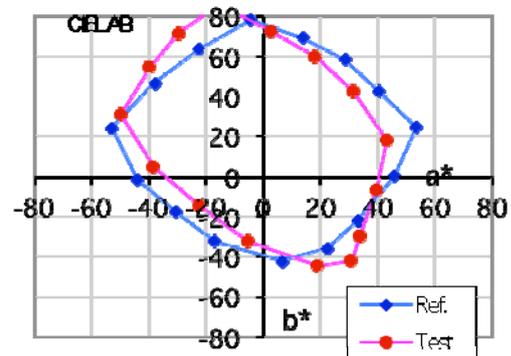
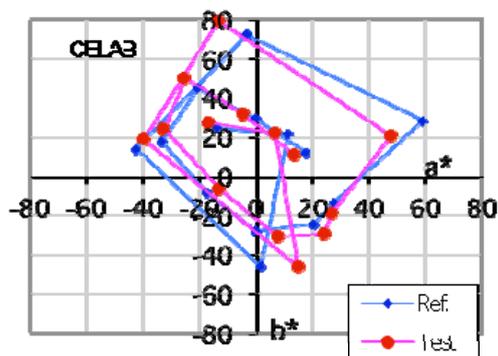
XPG 350 CL



OSL 700 CL

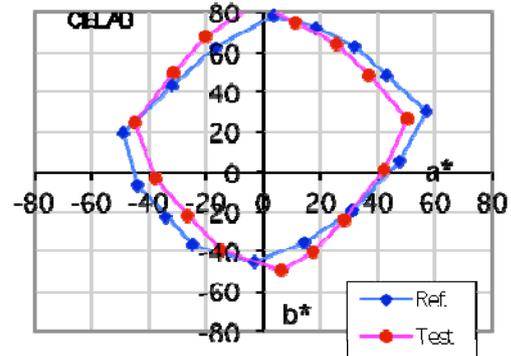
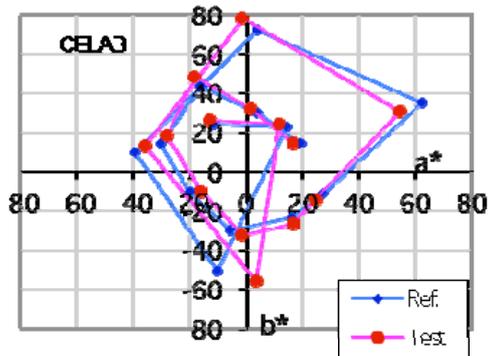


OSL 350 CL

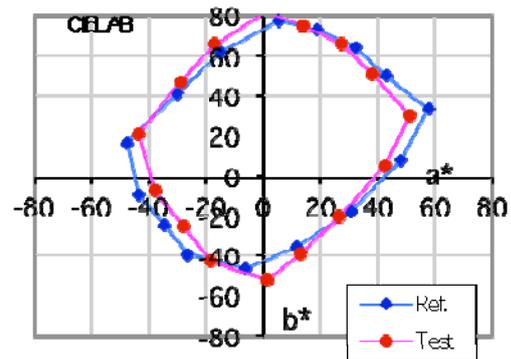
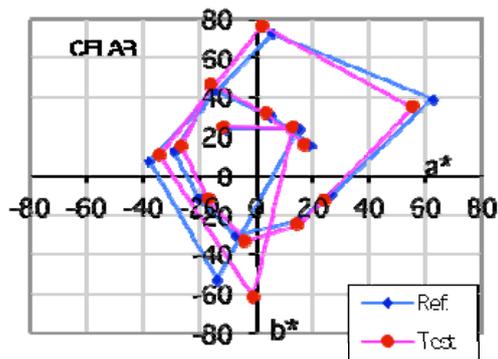




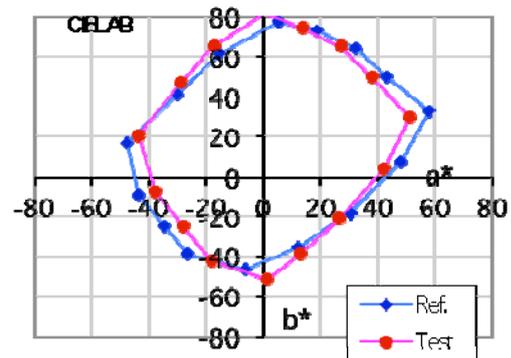
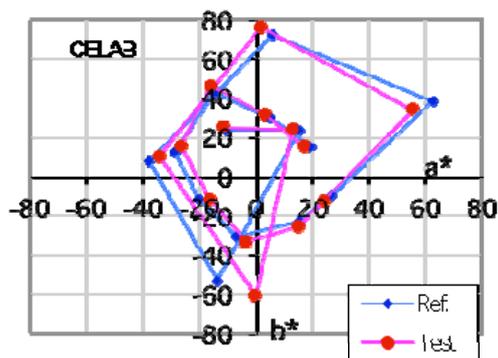
XPG 700 CL



BRI 350 SL

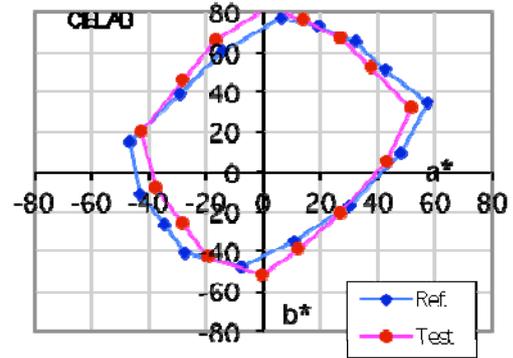
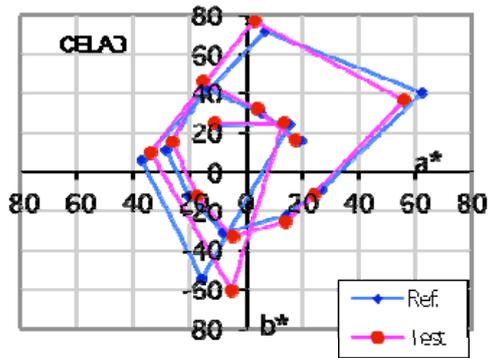


BRI 700 SL

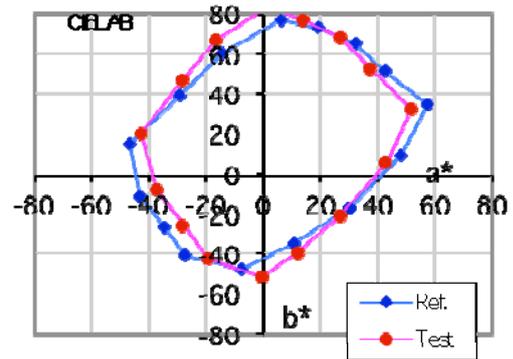
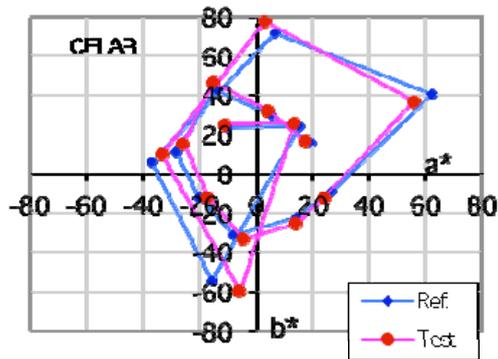




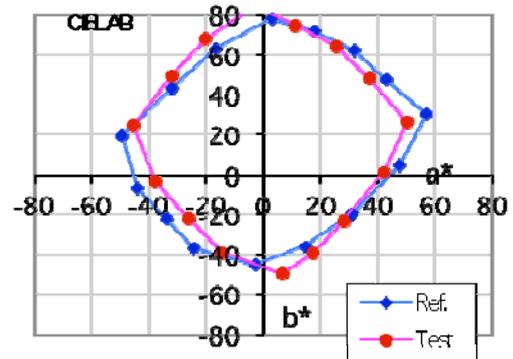
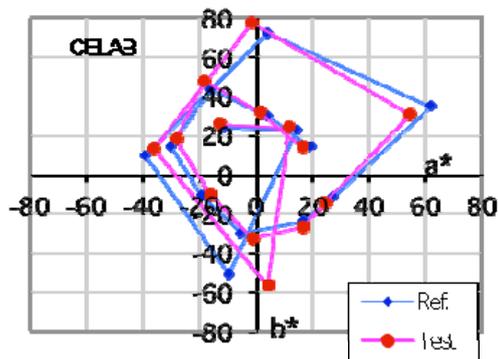
MCE 350



MCE 700

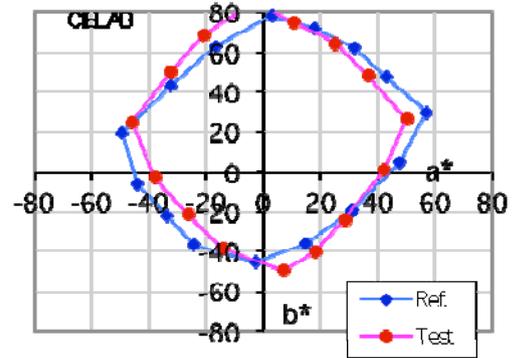
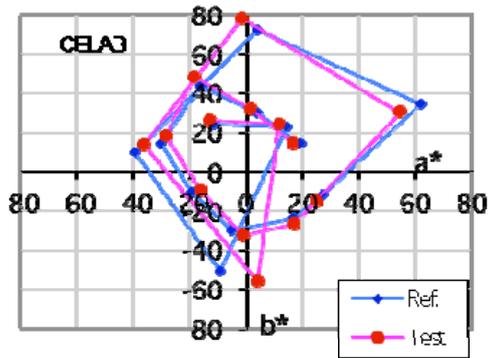


XPG 350 SL

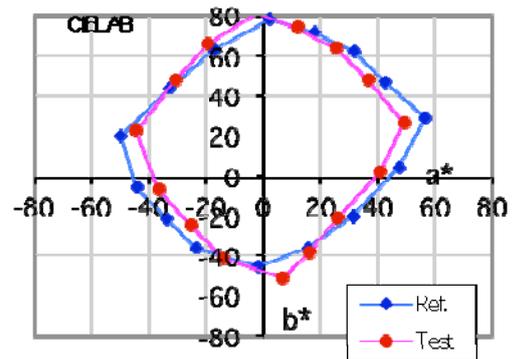
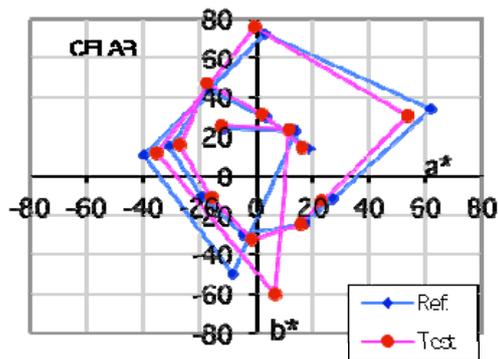




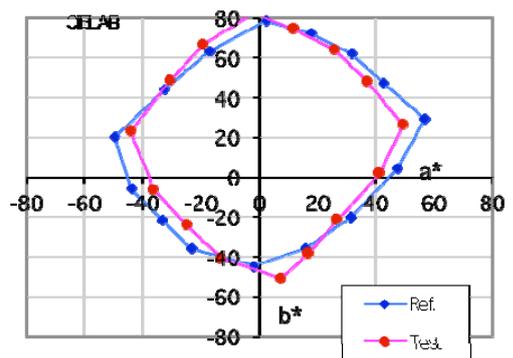
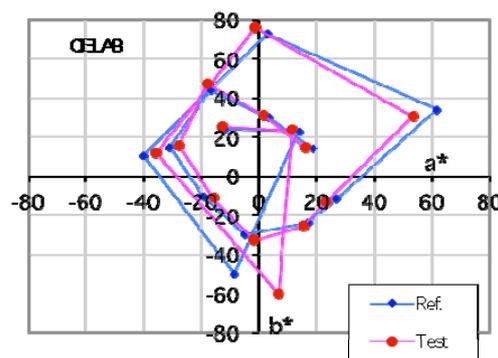
XPG 700 SL



EDI 350

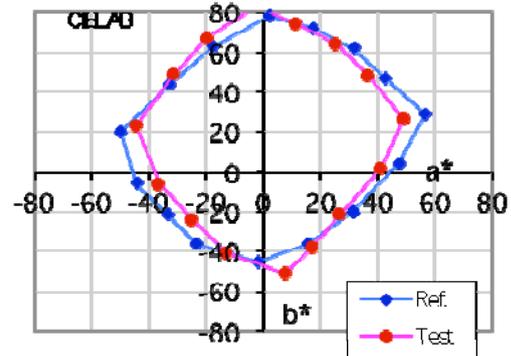
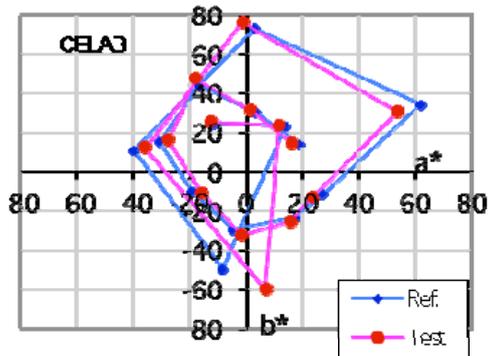


EDI 700

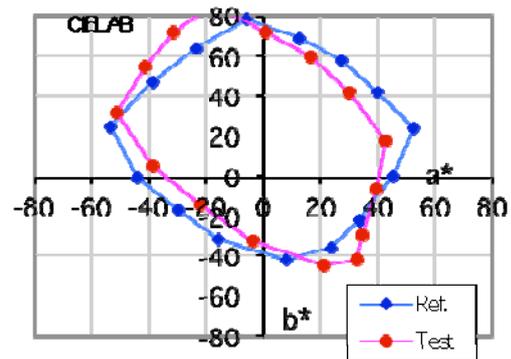
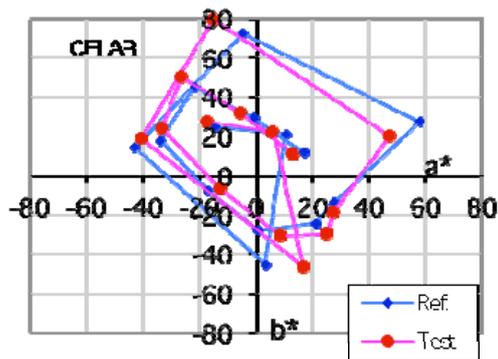




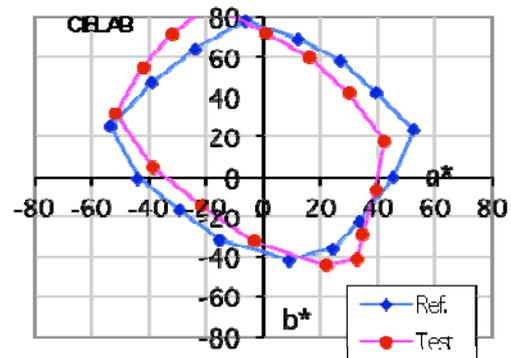
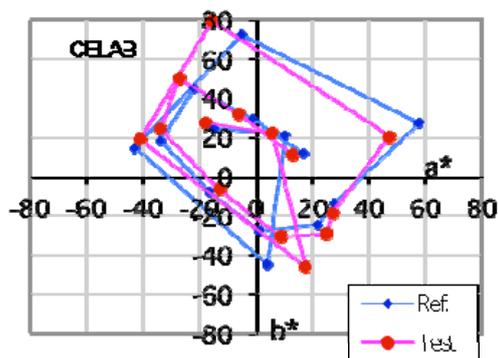
EDI 1000



OSL 350 SL

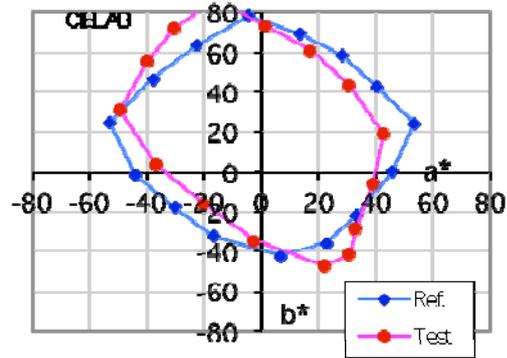
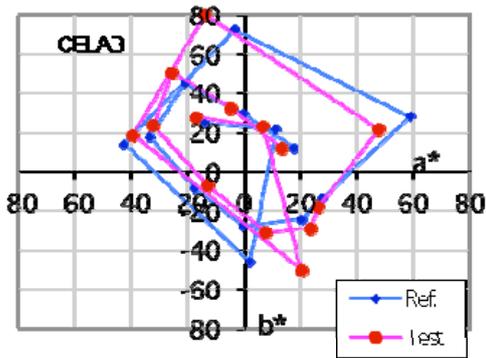


OSL 700 SL





LON 350



## 7\_Conclusioni

Dalle misure effettuate, non si sono registrate variazioni significative nella predizione della capacità di valutare la resa cromatica da parte dei due indici (CQS e CRI), in accordo con quanto enunciato nei paragrafi precedenti. Questo risultato dipende essenzialmente dall'emissione spettrale delle sorgenti considerate, differenze maggiori potrebbero riscontrarsi qualora si utilizzassero sorgenti LED composte da bianchi a differente temperatura di colore e LED colorati RGB per la creazione di fasci luminosi a temperatura di colore variabile. Questo tipo di dispositivi non è stato considerato dal momento che il suo impiego è limitato a particolari applicazioni in interni, stante il suo ancora elevato costo iniziale.

Molto interessante dal punto di vista applicativo (soprattutto nella illuminazione degli ambienti interni) appare la possibilità offerta dal nuovo indice di valutare la *gamut area* della sorgente in esame nello spazio  $L^*a^*b^*$  e di porla a confronto con quella ottenuta dall'illuminante di riferimento.