



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



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Test percettivi sull'indice di resa cromatica

*Alessandro Rizzi, Cristian Bonanomi, Saim Rasheed*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA E COMUNICAZIONE  
VIA COMELICO 39 - 20135 MILANO - ITALIA

## TEST PERCETTIVI SULL'INDICE DI RESA CROMATICA

Alessandro Rizzi, Cristian Bonanomi, Saim Rasheed (Università degli Studi di Milano, Dipartimento Informatica e Comunicazione)

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

Il rapporto comprende allegati



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**

**DIPARTIMENTO DI INFORMATICA E COMUNICAZIONE**

**VIA COMELICO 39 – 20135 MILANO – ITALIA**

## **Test percettivi sull'indice di resa cromatica**

## **1. Introduzione**

L'indice di resa cromatica o CRI è la misura che quantifica la capacità di un illuminante di preservare il metamerismo. Rispetto al segnale colore percepito sussiste sempre un dualismo ineliminabile detto dell'illuminante-riflettanza. Questo dualismo descrive il fatto che quello che il nostro sistema visivo percepisce è sempre una composizione dell'illuminante e della riflettanza. Se parliamo di metamerismo queste due componenti si mescolano e contribuiscono entrambe al comportamento finale che il CRI tenta di misurare.

I test presentati in questo documento hanno lo scopo di determinare una valutazione qualitativa e quantitativa di entrambe le componenti del metamerismo (metamerismo dell'illuminante e metamerismo della riflettanza) per poter avere dei dati psicofisiologici con cui comparare il CRI classico (ed in futuro eventuali CRI alternativi).

## **2. Primo esperimento**

### **2.1 Descrizione introduttiva**

Scopo dell'esperimento è confrontare l'indice di resa cromatica con la valutazione della capacità dell'illuminante di mantenere il colore degli oggetti (metamerismo dell'illuminante). Il test è eseguito su un certo numero di osservatori.

Sono state costruite due "light boot" di dimensioni 36x36x46 cm con la possibilità di posizionare all'interno una sorgente di luce. Entrambe le camere sono internamente dipinte di bianco. Nella prima camera è alloggiata la sorgente di luce di riferimento (quindi una sorgente di luce con un CRI prossimo a cento), nella seconda la luce che si vuole testare.

Al fine di confrontare le due sorgenti di luce, la temperatura colore di queste è scelta in modo da essere il più possibile simile.

Sul fondo dei due light boot è posto in ciascuno un Macbeth Color Checker. Una immagine del setup sperimentale è visibile in figura 1.



Figura 1 vista dei due light boot per il primo esperimento

L'esperimento è svolto in un ambiente completamente buio, dopo opportuno adattamento del sistema visivo dell'osservatore.

Agli osservatori è chiesto di valutare le differenze di colore di ogni patch del Color Checker, osservate sotto la sorgente di riferimento e sotto la sorgente di test.

Attraverso un questionario, descritto in seguito, viene rilevato il grado di apparenza di preservazione del colore.

## 2.2 Sorgenti di luce

Per questo test sono state utilizzate 5 sorgenti di luce, visibili in tabella 1.

|              | CCT  | CRI | EV   |
|--------------|------|-----|------|
| tungsteno    | 2929 | 99  | 13.1 |
| fluorescente | 2870 | 83  | 12.1 |
| alogeno 70 W | 2977 | 99  | 12.6 |
|              |      |     |      |
| alogeno 18 W | 2736 | 99  | 10.0 |
| Led          | 2760 | 56  | 10.3 |

tabella 1 caratteristiche degli illuminanti scelti

In particolare il test è stato diviso in due. Nel primo è stata usata come sorgente di riferimento la lampadina al tungsteno, e sono state testate la lampadina fluorescente, e la lampada alogeno da 70W.

Per testare le strisce LED con una sorgente luminosa di intensità paragonabile è stata usata come sorgente di riferimento la lampadina alogena da 18W. Con un esposimetro (Minolta Spotmeter) è stata calcolata l'intensità luminosa proveniente dalle patch bianche e all'interno delle light boot, sotto le varie sorgenti di luce (vedi tabella 1). Ricordiamo che l'esperimento non ha lo scopo di testare gli illuminanti quanto piuttosto quello di fornire una serie di dati percettivi per validare il CRI scelto.

### **2.3 L'esperimento**

All'esperimento hanno partecipato 9 osservatori. Ad essi è stato chiesto di valutare le differenze di colore di ogni patch del Color Checker (per un totale di 24 patch), osservate sotto la sorgente di riferimento e sotto la sorgente di test. La comparazione avveniva dopo un periodo di adattamento, non aveva limiti di tempo e all'osservatore era concesso di spostare l'attenzione da un boot all'altro senza limitazioni.

Il confronto avveniva in due momenti: in prima istanza l'osservatore valuta qualitativamente la differenza cromatica tra le due patch osservate sotto le due sorgenti di luce secondo la seguente scala:

- le patch sono identiche
- le patch sono simili
- le patch sono differenti
- le patch sono molto differenti
- le patch sono completamente differenti

In un secondo momento l'osservatore valuta quantitativamente le differenze, in una scala da 1 a 100, secondo la seguente suddivisione suggerita:

- le patch sono identiche: (100)
- le patch sono simili: (80-99 )
- le patch sono differenti (50-79)
- le patch sono molto differenti (1-49)
- le patch sono completamente differenti (0)

Vogliamo qui sottolineare che dei 9 osservatori uno è stato scartato (soggetto 2, J.N.), in quanto i valori riportati erano assolutamente fuori dalla media. Il soggetto ha dato prova di non aver compreso il compito. La nostra scelta è giustificata dal fatto che non riteniamo possibile che due campioni di colore corrispondenti (con riflettanza identica) vengano valutati "completamente differenti", per quanto le sorgenti di luce possano essere diverse.

### **2.4 Risultati**

I risultati dei test sono riportati nei grafici di figura 2 e 3 . I grafici rappresentano gli stessi dati ma organizzati in maniera diversa.

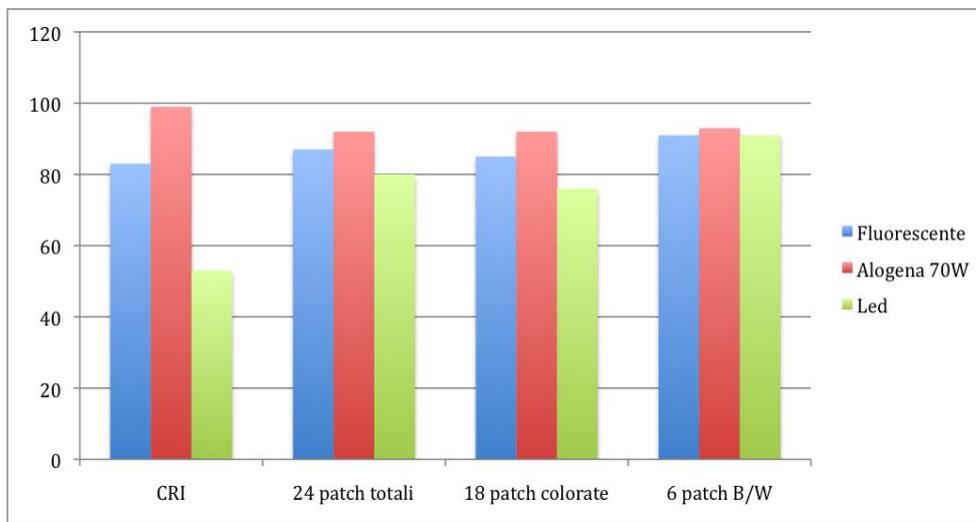


Figura 2 CRI e valutazioni qualitative degli utenti

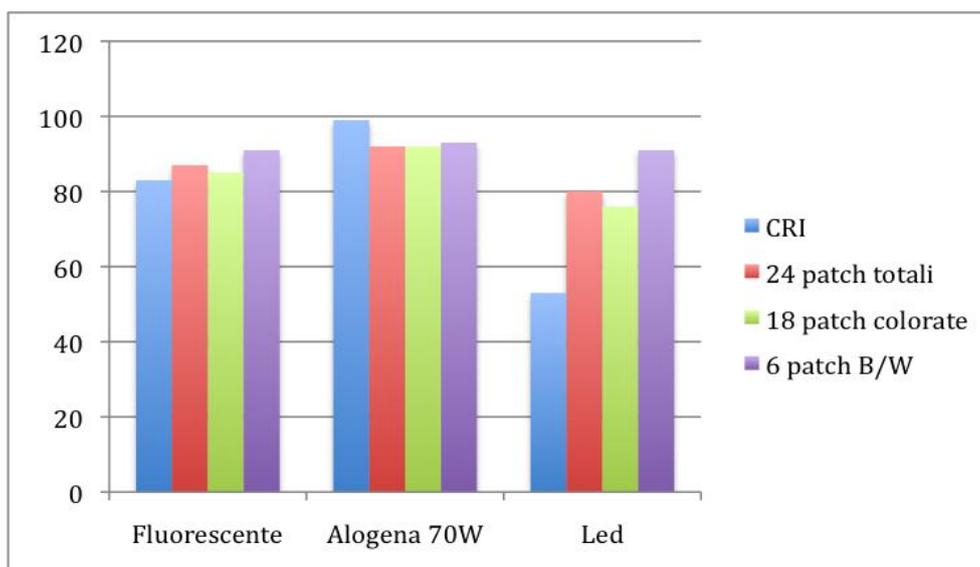


Figura 3 CRI e valutazioni qualitative degli utenti

Dalle figure si possono trarre le seguenti osservazioni:

- La sorgente di luce fluorescente ha un indice di resa cromatica calcolato che è minore di quello effettivamente percepito dagli osservatori.
- La sorgente di luce alogena ha un indice CRI maggiore di quello percepito dagli osservatori
- L'indice di resa cromatico dei LED è molto inferiore a quello percepito dall'osservatore umano.

Sebbene nei primi due casi (sorgenti di luce fluorescente e alogena), la corrispondenza tra indice CRI, e indice percettivo non sia perfetta, è tuttavia comparabile. Nel caso dei LED invece l'indice calcolato è notevolmente inferiore a quello percepito dagli osservatori.

Questi dati confermano l'ipotesi da molti sostenuta che l'indice di resa cromatica attualmente utilizzato come standard non sia in realtà adatto per valutare la resa cromatica dei LED.

Per valutare la consistenza dei dati è stata calcolata la deviazione standard dei dati per ogni soggetto, e ne è stata fatta la media (si veda la figura 4). Inoltre è stata calcolata la deviazione standard tra dei valori medi degli indici percettivi ottenuti dagli osservatori (figura 5).

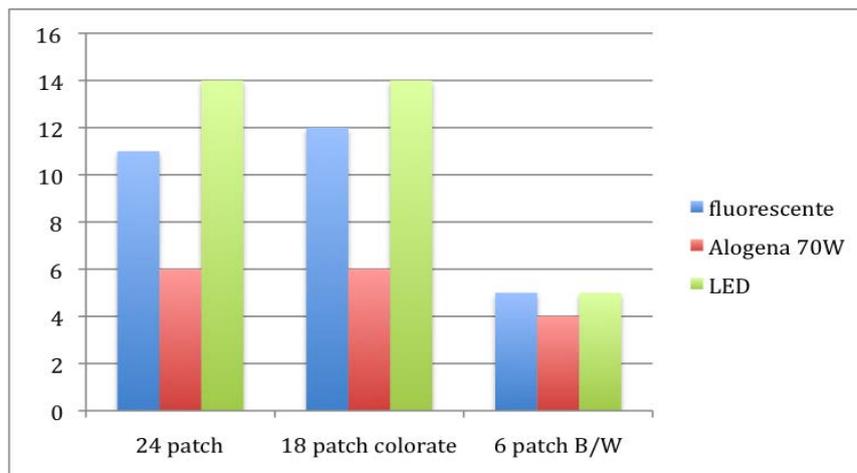


Figura 4 deviazione standard dei dati di figura 2

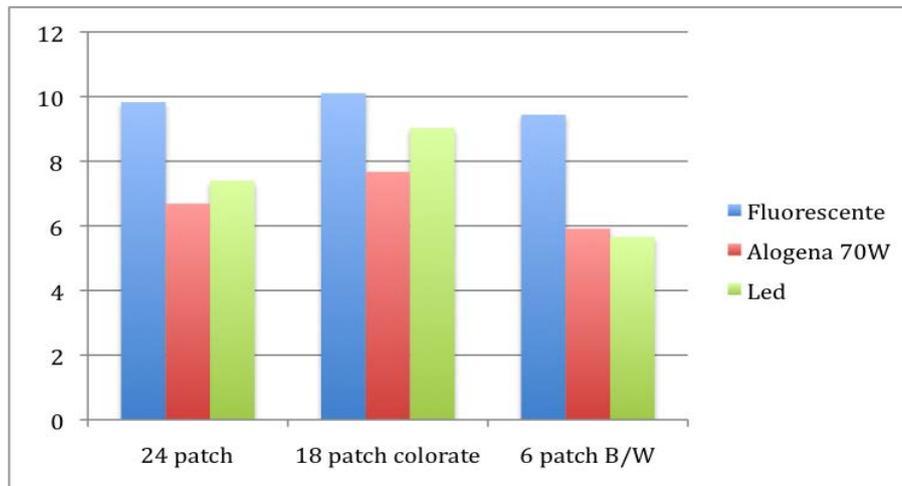


Figura 5 deviazione standard dei dati di figura 3

In appendice vengono riportate tutti i dati dell'esperimento.

### 3. Secondo esperimento

#### 3.1 Introduzione

Questo secondo esperimento ha lo scopo di testare la conservazione del metamerismo della riflettanza sotto l'illuminante di test.

In questo caso si è utilizzata una light boot con dimensioni: 50x60x60 cm, dipinta di bianco all'interno.

Posizionati sul fondo è stato posto un MacBetch Color Checker originale e una sua riproduzione (ottenuta tramite scansione e stampa laser a colori). Il setup è visibile in fig. 6.

In un simile esperimento si pone il problema che le patch metameriche del checker sono solo uno dei possibili metamerismi. Va detto però che la riproduzione CMYK è sicuramente la forma di metamerismo della riflettanza più diffusa, e che questo test, come del resto il CRI stesso, ha la necessità di semplificare l'infinito campo di variazione possibile della riflettanza.

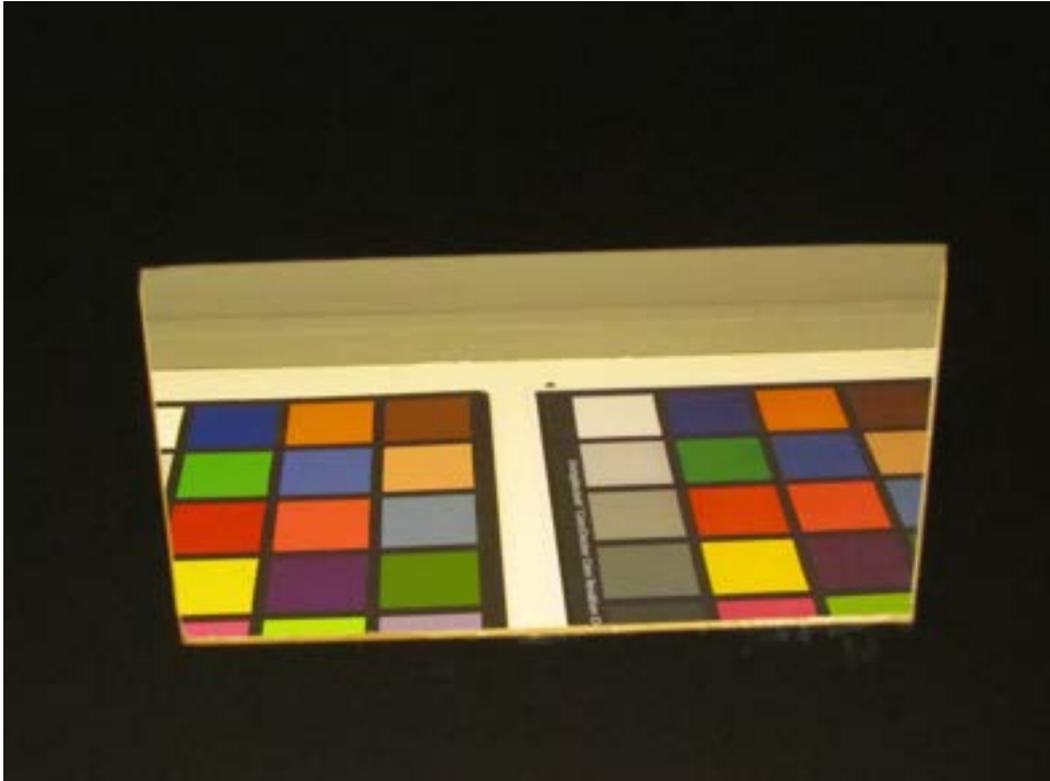


Figure 6: setup del secondo esperimento. A destra il Color Checker originale, a sinistra la sua riproduzione

Come nell'esperimento precedente, agli osservatori viene chiesto di valutare la similitudine in una scala da 1 a 100 per tutte le 24 patch del Color Checker. Anche in questo secondo esperimento le valutazioni compiute dall'osservatore J.N. non sono state considerate, per le stesse motivazioni presentate nell'esperimento precedente. I dati degli sperimentatori sono presentati in appendice B.

### 3.2 Sorgenti di luce

Le sorgenti di luce utilizzate in questo secondo esperimento sono riportate in tabella 2.

|                 | CCT  | CRI |
|-----------------|------|-----|
| fluorescente    | 2870 | 83  |
| alogeno 70<br>W | 2977 | 99  |
| alogeno 18<br>W | 2736 | 99  |

Tabella 2 caratteristiche degli illuminanti testati nell'esperimento 2

### 3.3 Risultati

La figura 7 rappresenta la media dei valori medi scelti dagli osservatori per ogni gruppo di patch (ossia la media delle similarità delle 24 patch totali del Macbeth Color Checker, la media delle 18 patch colorate ed infine la media delle 6 patch acromatiche), illuminate dalle tre sorgenti di luce: fluorescente, alogena 18W e alogena 70W. Dai dati osserviamo che i tre gruppi di patch illuminate dalla luce alogena a 70 W hanno lo stesso grado di similarità, cosa che non avviene per le altre due sorgenti di luce.

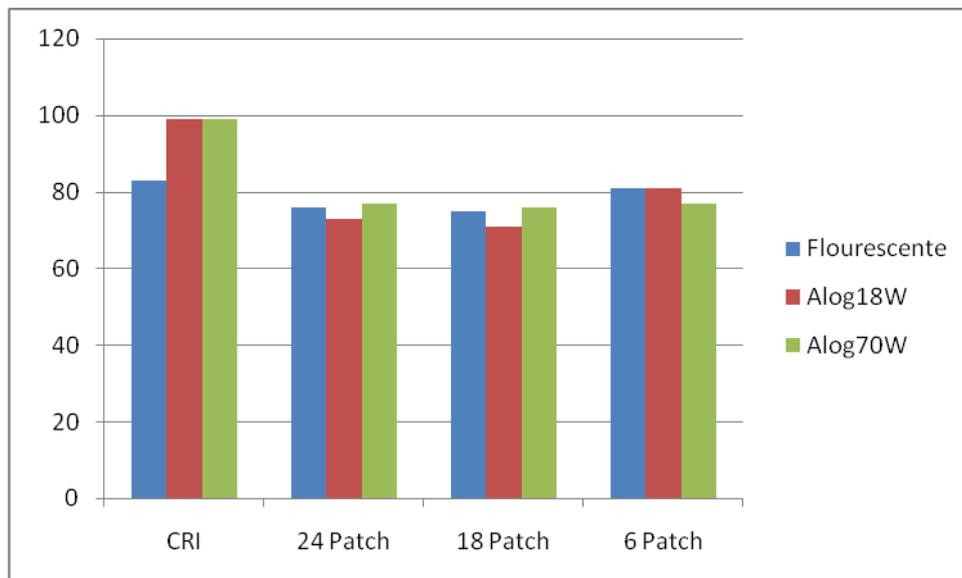


Figura 7 CRI e media dei valori medi scelti dagli osservatori per ogni gruppo di patch

Dalla figura 7 il CRI sembrerebbe sovrastimare leggermente il metamerismo della riflettanza rispetto ai valori relativi alla percezione degli osservatori. In realtà non è ragionevole considerare il valore assoluto dei dati psicofisiologici, quanto piuttosto il loro trend proporzionale. Emerge quindi una leggera sottostima nel caso della lampada fluorescente.

Il gruppo di patch che appaiono più stabili è quello delle patch acromatiche. La deviazione standard dei dati percettivi è riportata in figura 8.

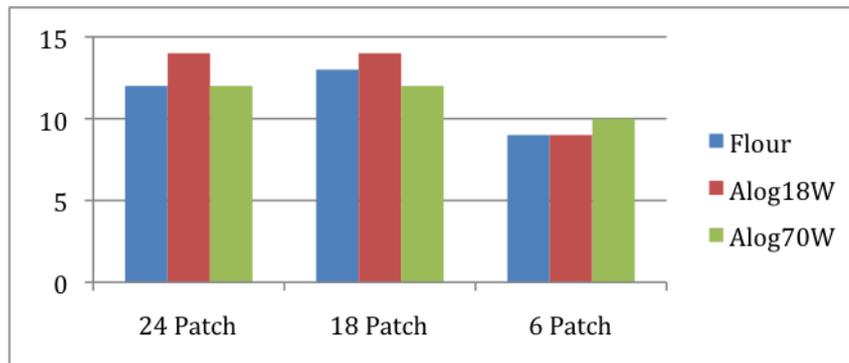


Figura 8 deviazione standard dei dati percettivi di figura 7

Anche in questo caso le patch acromatiche risultano più stabili. Risulta ragionevole il fatto che la deviazione standard tende ad aumentare all'aumentare della differenza percepita.

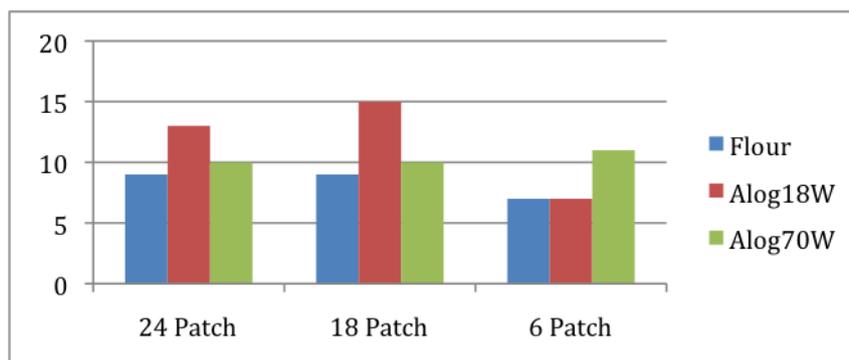


Figura 9 deviazione standard dei valori medi percettivi per tutti i soggetti

La figura 9 mostra la deviazione standard dei valori medi percettivi per tutti i soggetti, cioè quanto i soggetti deviano dal loro valore medio percettivo al variare delle patch. È possibile osservare che tutti i soggetti sono piuttosto consistenti nella percezione riguardo alla sorgente alogena 70W, in confronto all'alogeno 18 W e alla sorgente di luce fluorescente.

#### 4. Conclusioni

Come è stato più volte osservato, scopo del color rendering index (CRI) è quantificare la capacità di un illuminante di preservare il metamerismo.

In questo documento sono stati presentati due esperimenti realizzati da osservatori, al fine di valutare tale indice.

Nel primo esperimento un Macbeth Color Checker viene illuminato da una sorgente di riferimento ed un secondo viene illuminato da una serie di sorgenti di luce test

(fluorescente, alogena, LED). Di tali sorgenti viene calcolato il CRI secondo il metodo attuale, standardizzato dalla CIE. Il risultato della computazione viene confrontato con un indice percettivo, calcolato in base alle valutazioni degli osservatori.

Dai risultati dei test si nota che l'indice di resa cromatica corrisponde approssimativamente all'indice percettivo per quanto riguarda le sorgenti di luce fluorescente e alogena, mentre è decisamente sottostimato per quanto riguarda i LED.

Nel secondo esperimento un Color Checker originale ed una sua copia sono stati posizionati all'interno di una light boot ed illuminati dalla stessa sorgente di luce. In questo caso il test valuta il metamerismo legato al variare della riflettanza. Di nuovo agli osservatori è stato chiesto di valutare la similarità tra le corrispondenti patch nei due Color Checker.

I risultati indicano che il grado di similarità tra le patch è abbastanza omogeneo tra le tre sorgenti di luce testate (fluorescente, alogena 70W e alogena 18W), con un lieve peggioramento nel caso della sorgente a 18W. Tale calo si riscontra soprattutto nelle 18 patch colorate del Color Checker. Un calo analogo si ha nel caso della luce alogena, nel caso delle patch acromatiche.

Questi risultati sembrano non accordarsi bene con le differenze piuttosto grandi del calcolo dell'indice di resa cromatica per le sorgenti di luce, infatti, le sorgenti alogene hanno entrambe un indice pari a 99, mentre la fluorescente un valore pari ad 83. Un valore così basso della luce fluorescente infatti sembra non essere in accordo con i dati sperimentali.

Da questi test emerge che l'indice di resa cromatica standard, invariato dagli anni 70, non è forse il più adatto a valutare sorgenti di luce progettate in anni recenti. Sarà quindi utile una misura alternativa per valutare la resa cromatica della luce.

I dati qui riportati sono stati confrontati con il CRI tradizionale. Il confronto con CRI alternativi sarà oggetto delle prossime ricerche

## Appendice A:

Di seguito le tabelle di tutti i soggetti, relative al primo esperimento.

| E.C.                | anni: 27 | Sesso: M | visus: Y, miopia |     |     |  |
|---------------------|----------|----------|------------------|-----|-----|--|
| <b>Fluorescente</b> |          |          |                  |     |     |  |
| 98                  | 95       | 90       | 60               | 90  | 80  |  |
| 100                 | 100      | 100      | 65               | 60  | 75  |  |
| 75                  | 50       | 85       | 80               | 100 | 100 |  |

|                    |    |    |     |    |     |     |
|--------------------|----|----|-----|----|-----|-----|
|                    | 65 | 70 | 80  | 85 | 100 | 100 |
| <b>Alogena 70W</b> |    |    |     |    |     |     |
|                    | 95 | 95 | 90  | 95 | 100 | 90  |
|                    | 95 | 95 | 95  | 95 | 90  | 95  |
|                    | 75 | 80 | 100 | 98 | 80  | 98  |
| <b>LED</b>         | 80 | 80 | 80  | 80 | 85  | 100 |
|                    | 85 | 95 | 95  | 90 | 90  | 90  |
|                    | 90 | 95 | 65  | 50 | 75  | 75  |
|                    | 85 | 90 | 50  | 60 | 55  | 100 |
|                    | 55 | 65 | 80  | 90 | 100 | 100 |

| J.N.                | anni:24 | sesso: F | Visus: Y |     |     |     |
|---------------------|---------|----------|----------|-----|-----|-----|
| <b>Fluorescente</b> |         |          |          |     |     |     |
|                     | 60      | 99       | 20       | 0   | 82  | 0   |
|                     | 100     | 90       | 100      | 70  | 70  | 70  |
|                     | 85      | 85       | 85       | 70  | 90  | 5   |
|                     | 100     | 90       | 90       | 90  | 90  | 100 |
| <b>Alogena 70W</b>  |         |          |          |     |     |     |
|                     | 96      | 100      | 96       | 76  | 99  | 60  |
|                     | 100     | 98       | 100      | 98  | 100 | 100 |
|                     | 79      | 100      | 100      | 100 | 100 | 100 |
|                     | 100     | 100      | 98       | 98  | 98  | 100 |
| <b>LED</b>          |         |          |          |     |     |     |
|                     | 85      | 80       | 50       | 50  | 80  | 0   |
|                     | 80      | 80       | 80       | 50  | 50  | 80  |
|                     | 50      | 50       | 50       | 100 | 80  | 50  |
|                     | 100     | 100      | 80       | 80  | 80  | 100 |

| B.B.                | anni: 33 | sesso: F | visus: Y, miopia |     |     |     |
|---------------------|----------|----------|------------------|-----|-----|-----|
| <b>Fluorescente</b> |          |          |                  |     |     |     |
|                     | 100      | 99       | 99               | 90  | 100 | 80  |
|                     | 100      | 100      | 100              | 90  | 80  | 80  |
|                     | 90       | 90       | 100              | 85  | 99  | 99  |
|                     | 99       | 100      | 100              | 100 | 100 | 100 |
| <b>Alogena 70W</b>  |          |          |                  |     |     |     |
|                     | 100      | 95       | 99               | 99  | 99  | 95  |
|                     | 99       | 95       | 100              | 99  | 99  | 99  |
|                     | 99       | 99       | 99               | 95  | 100 | 99  |
|                     | 100      | 99       | 99               | 100 | 100 | 100 |
| <b>LED</b>          |          |          |                  |     |     |     |
|                     | 85       | 70       | 90               | 99  | 90  | 99  |
|                     | 70       | 80       | 70               | 50  | 90  | 50  |
|                     | 90       | 85       | 50               | 60  | 50  | 85  |
|                     | 99       | 90       | 90               | 99  | 99  | 99  |

| D.C.                | anni: 25 | sesso: M | visus: N |     |     |  |
|---------------------|----------|----------|----------|-----|-----|--|
| <b>Fluorescente</b> |          |          |          |     |     |  |
| 100                 | 81       | 79       | 82       | 85  | 79  |  |
| 100                 | 59       | 97       | 100      | 100 | 96  |  |
| 53                  | 85       | 100      | 100      | 97  | 97  |  |
| 100                 | 99       | 99       | 95       | 100 | 100 |  |
| <b>Alogena 70W</b>  |          |          |          |     |     |  |
| 100                 | 99       | 95       | 85       | 83  | 100 |  |
| 100                 | 93       | 92       | 100      | 87  | 100 |  |
| 96                  | 97       | 99       | 92       | 98  | 100 |  |
| 98                  | 97       | 97       | 95       | 100 | 100 |  |
| <b>LED</b>          |          |          |          |     |     |  |
| 95                  | 60       | 70       | 70       | 50  | 95  |  |
| 80                  | 70       | 60       | 50       | 95  | 50  |  |
| 95                  | 90       | 50       | 85       | 50  | 95  |  |
| 90                  | 80       | 80       | 80       | 90  | 95  |  |

| S.B.                | Anni: 23 | Sesso: M | Visus: N |    |    |  |
|---------------------|----------|----------|----------|----|----|--|
| <b>Fluorescente</b> |          |          |          |    |    |  |
| 95                  | 75       | 90       | 92       | 95 | 75 |  |
| 85                  | 90       | 92       | 90       | 75 | 70 |  |
| 85                  | 80       | 90       | 88       | 92 | 85 |  |
| 97                  | 95       | 94       | 93       | 92 | 98 |  |
| <b>Alogena 70W</b>  |          |          |          |    |    |  |
| 97                  | 78       | 85       | 95       | 95 | 80 |  |
| 87                  | 95       | 95       | 90       | 96 | 85 |  |
| 86                  | 85       | 96       | 90       | 86 | 82 |  |
| 90                  | 95       | 94       | 92       | 91 | 98 |  |
| <b>LED</b>          |          |          |          |    |    |  |
| 87                  | 79       | 92       | 89       | 90 | 88 |  |
| 75                  | 92       | 85       | 86       | 93 | 88 |  |
| 92                  | 92       | 89       | 88       | 76 | 77 |  |
| 96                  | 98       | 97       | 97       | 98 | 97 |  |

| S.R.                | Anni: 33 | Sesso: M | Visus: Y |     |     |  |
|---------------------|----------|----------|----------|-----|-----|--|
| <b>Fluorescente</b> |          |          |          |     |     |  |
| 95                  | 95       | 95       | 95       | 95  | 95  |  |
| 95                  | 100      | 95       | 95       | 95  | 95  |  |
| 95                  | 95       | 10       | 100      | 100 | 95  |  |
| 100                 | 95       | 95       | 100      | 95  | 95  |  |
| <b>Alogena 70W</b>  |          |          |          |     |     |  |
| 95                  | 100      | 100      | 95       | 100 | 100 |  |
| 100                 | 100      | 95       | 95       | 100 | 100 |  |
| 95                  | 95       | 100      | 100      | 100 | 100 |  |
| 100                 | 100      | 100      | 95       | 95  | 95  |  |

|            |    |    |    |    |    |    |
|------------|----|----|----|----|----|----|
| <b>LED</b> |    |    |    |    |    |    |
|            | 70 | 70 | 90 | 90 | 90 | 90 |
|            | 70 | 90 | 90 | 70 | 90 | 70 |
|            | 70 | 90 | 90 | 90 | 70 | 90 |
|            | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |

|                     |                 |                 |                 |    |    |    |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|----|----|
| <b>C.I.</b>         | <b>anni: 27</b> | <b>sesso: F</b> | <b>visus: Y</b> |    |    |    |
| <b>Fluorescente</b> |                 |                 |                 |    |    |    |
|                     | 75              | 55              | 55              | 50 | 85 | 55 |
|                     | 60              | 70              | 80              | 30 | 55 | 40 |
|                     | 40              | 65              | 50              | 85 | 50 | 80 |
|                     | 85              | 80              | 65              | 55 | 65 | 85 |
| <b>Alogena 70W</b>  |                 |                 |                 |    |    |    |
|                     | 55              | 65              | 55              | 85 | 70 | 80 |
|                     | 55              | 85              | 70              | 55 | 90 | 75 |
|                     | 55              | 76              | 85              | 98 | 85 | 76 |
|                     | 98              | 100             | 75              | 78 | 85 | 98 |
| <b>LED</b>          |                 |                 |                 |    |    |    |
|                     | 60              | 40              | 87              | 85 | 70 | 20 |
|                     | 60              | 75              | 30              | 10 | 70 | 65 |
|                     | 80              | 55              | 30              | 85 | 55 | 30 |
|                     | 85              | 100             | 90              | 75 | 87 | 85 |

|                     |                 |                 |                 |     |     |     |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----|-----|
| <b>A.R.</b>         | <b>anni: 45</b> | <b>sesso: M</b> | <b>Visus: N</b> |     |     |     |
| <b>Fluorescente</b> |                 |                 |                 |     |     |     |
|                     | 96              | 85              | 93              | 83  | 96  | 90  |
|                     | 97              | 93              | 98              | 87  | 96  | 93  |
|                     | 96              | 90              | 98              | 98  | 99  | 98  |
|                     | 100             | 98              | 100             | 99  | 99  | 100 |
| <b>Alogena 70W</b>  |                 |                 |                 |     |     |     |
|                     | 95              | 92              | 91              | 96  | 93  | 90  |
|                     | 99              | 97              | 96              | 98  | 99  | 99  |
|                     | 96              | 97              | 99              | 100 | 96  | 98  |
|                     | 100             | 98              | 100             | 98  | 98  | 100 |
| <b>LED</b>          |                 |                 |                 |     |     |     |
|                     | 75              | 77              | 92              | 85  | 79  | 96  |
|                     | 75              | 90              | 70              | 68  | 98  | 79  |
|                     | 100             | 96              | 70              | 92  | 73  | 96  |
|                     | 99              | 99              | 98              | 99  | 100 | 98  |

|                     |                 |                 |                 |     |     |    |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|-----|----|
| <b>V.M.</b>         | <b>Anni: 25</b> | <b>sesso: F</b> | <b>visus: N</b> |     |     |    |
| <b>Fluorescente</b> |                 |                 |                 |     |     |    |
|                     | 90              | 79              | 80              | 85  | 85  | 75 |
|                     | 90              | 85              | 85              | 60  | 95  | 75 |
|                     | 85              | 79              | 95              | 100 | 100 | 90 |

|                    |    |    |    |    |    |     |
|--------------------|----|----|----|----|----|-----|
|                    | 90 | 90 | 70 | 75 | 75 | 100 |
| <b>Alogena 70W</b> |    |    |    |    |    |     |
|                    | 85 | 90 | 99 | 85 | 99 | 100 |
|                    | 90 | 95 | 90 | 80 | 90 | 99  |
|                    | 99 | 99 | 95 | 99 | 99 | 99  |
|                    | 99 | 75 | 80 | 85 | 80 | 99  |
| <b>LED</b>         |    |    |    |    |    |     |
|                    | 70 | 85 | 75 | 79 | 80 | 80  |
|                    | 70 | 85 | 79 | 60 | 90 | 79  |
|                    | 80 | 80 | 60 | 80 | 65 | 70  |
|                    | 90 | 85 | 85 | 79 | 90 | 99  |

## Appendice B

Dati riguardanti le valutazioni degli osservatori. Il color checker è da considerarsi disposto in verticale, in cui il campione in alto a sinistra corrisponde al bianco.

| <b>B.B.</b>         | <b>anni: 33</b> | <b> Sesso: F</b> | <b>visus: Y</b> |
|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| <b>alogeno 18W</b>  |                 |                  |                 |
|                     | 90              | 50               | 70              |
|                     | 60              | 1                | 50              |
|                     | 70              | 40               | 90              |
|                     | 60              | 1                | 60              |
|                     | 60              | 1                | 1               |
|                     | 99              | 1                | 70              |
| <b>alogeno 70W</b>  |                 |                  |                 |
|                     | 85              | 85               | 90              |
|                     | 99              | 85               | 80              |
|                     | 60              | 90               | 99              |
|                     | 60              | 55               | 90              |
|                     | 90              | 85               | 80              |
|                     | 100             | 50               | 60              |
| <b>fluorescente</b> |                 |                  |                 |
|                     | 99              | 99               | 99              |
|                     | 85              | 60               | 50              |
|                     | 80              | 90               | 99              |
|                     | 80              | 80               | 65              |
|                     | 85              | 80               | 80              |
|                     | 100             | 50               | 90              |

| J.N.                | anni:24 | sezzo: F | Visus: Y |
|---------------------|---------|----------|----------|
| <b>alogeno 18W</b>  |         |          |          |
| 60                  | 85      | 20       | 60       |
| 60                  | 60      | 0        | 60       |
| 80                  | 85      | 20       | 20       |
| 80                  | 0       | 20       | 20       |
| 20                  | 20      | 20       | 20       |
| 100                 | 20      | 85       | 0        |
| <b>alogeno 70W</b>  |         |          |          |
| 20                  | 20      | 20       | 20       |
| 20                  | 20      | 0        | 20       |
| 20                  | 20      | 20       | 10       |
| 0                   | 0       | 10       | 20       |
| 0                   | 20      | 10       | 20       |
| 100                 | 0       | 20       | 0        |
| <b>fluorescente</b> |         |          |          |
| 20                  | 0       | 85       | 5        |
| 20                  | 5       | 0        | 5        |
| 1                   | 85      | 5        | 5        |
| 5                   | 0       | 0        | 5        |
| 5                   | 5       | 0        | 5        |
| 100                 | 0       | 5        | 0        |

| C.B.               | Anni: 30 | Sesso: M | Visus: N |
|--------------------|----------|----------|----------|
| <b>alogeno 18W</b> |          |          |          |
| 73                 | 75       | 83       | 75       |
| 78                 | 77       | 75       | 85       |
| 78                 | 88       | 90       | 70       |
| 75                 | 90       | 80       | 78       |
| 78                 | 78       | 73       | 73       |
| 95                 | 78       | 90       | 75       |
| <b>alogeno 70W</b> |          |          |          |
| 77                 | 77       | 87       | 81       |
| 70                 | 70       | 75       | 90       |
| 78                 | 92       | 95       | 70       |
| 75                 | 85       | 75       | 75       |

|                     |    |    |    |
|---------------------|----|----|----|
| 78                  | 75 | 75 | 80 |
| 95                  | 80 | 92 | 75 |
| <b>fluorescente</b> |    |    |    |
| 75                  | 85 | 80 | 75 |
| 80                  | 75 | 75 | 82 |
| 75                  | 90 | 85 | 72 |
| 75                  | 90 | 78 | 75 |
| 77                  | 73 | 73 | 70 |
| 95                  | 78 | 90 | 75 |

| <b>S.R.</b>         | <b>Anni: 33</b> | <b>Sesso: M</b> | <b>Visus: Y</b> |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>alogeno 18W</b>  |                 |                 |                 |
| 83                  | 49              | 65              | 65              |
| 83                  | 65              | 65              | 83              |
| 83                  | 83              | 83              | 83              |
| 83                  | 83              | 65              | 65              |
| 65                  | 83              | 83              | 65              |
| 83                  | 83              | 83              | 83              |
| <b>alogeno 70W</b>  |                 |                 |                 |
| 86                  | 70              | 70              | 70              |
| 86                  | 70              | 70              | 86              |
| 86                  | 86              | 86              | 86              |
| 70                  | 86              | 70              | 70              |
| 70                  | 87              | 70              | 87              |
| 87                  | 70              | 87              | 87              |
| <b>fluorescente</b> |                 |                 |                 |
| 85                  | 65              | 65              | 65              |
| 65                  | 65              | 65              | 85              |
| 85                  | 65              | 85              | 85              |
| 85                  | 85              | 85              | 70              |
| 85                  | 85              | 70              | 85              |
| 85                  | 70              | 85              | 85              |

| <b>E.C.</b>        | <b>anni: 27</b> | <b> Sesso: M</b> | <b>visus: Y</b> |
|--------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| <b>alogeno 18W</b> |                 |                  |                 |
| 90                 | 65              | 80               | 60              |

|                     |    |    |    |
|---------------------|----|----|----|
| 75                  | 80 | 40 | 70 |
| 70                  | 80 | 70 | 70 |
| 65                  | 85 | 80 | 70 |
| 80                  | 65 | 65 | 55 |
| 85                  | 55 | 90 | 50 |
| <b>alogeno 70W</b>  |    |    |    |
| 75                  | 60 | 85 | 70 |
| 60                  | 60 | 45 | 75 |
| 60                  | 80 | 80 | 65 |
| 60                  | 90 | 75 | 65 |
| 75                  | 70 | 55 | 65 |
| 90                  | 40 | 85 | 60 |
| <b>fluorescente</b> |    |    |    |
| 80                  | 75 | 85 | 75 |
| 75                  | 65 | 45 | 75 |
| 75                  | 85 | 80 | 70 |
| 75                  | 80 | 55 | 70 |
| 80                  | 60 | 40 | 70 |
| 95                  | 40 | 85 | 60 |

| <b>V.M.</b>         | <b>Anni: 25</b> | <b>sessu: F</b> | <b>visus: N</b> |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>alogeno 18W</b>  |                 |                 |                 |
| 85                  | 70              | 85              | 60              |
| 79                  | 55              | 30              | 70              |
| 80                  | 95              | 85              | 60              |
| 70                  | 90              | 55              | 49              |
| 60                  | 70              | 49              | 30              |
| 95                  | 40              | 95              | 60              |
| <b>alogeno 70W</b>  |                 |                 |                 |
| 70                  | 70              | 85              | 79              |
| 55                  | 50              | 40              | 55              |
| 50                  | 98              | 95              | 49              |
| 49                  | 85              | 45              | 30              |
| 45                  | 60              | 50              | 20              |
| 80                  | 60              | 80              | 25              |
| <b>fluorescente</b> |                 |                 |                 |
| 80                  | 70              | 85              | 40              |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 60 | 40 | 30 | 60 |
| 60 | 75 | 90 | 50 |
| 55 | 90 | 35 | 49 |
| 55 | 80 | 49 | 30 |
| 90 | 50 | 85 | 50 |

| A.R.                | anni: 45 | sesso: M | Visus: N |
|---------------------|----------|----------|----------|
| <b>alogeno 18W</b>  |          |          |          |
| 98                  | 94       | 93       | 92       |
| 92                  | 90       | 85       | 98       |
| 94                  | 96       | 97       | 92       |
| 94                  | 97       | 97       | 93       |
| 99                  | 93       | 95       | 91       |
| 98                  | 82       | 95       | 90       |
| <b>alogeno 70W</b>  |          |          |          |
| 99                  | 93       | 98       | 88       |
| 87                  | 84       | 82       | 97       |
| 95                  | 95       | 97       | 92       |
| 91                  | 98       | 79       | 78       |
| 93                  | 96       | 93       | 79       |
| 97                  | 82       | 98       | 90       |
| <b>fluorescente</b> |          |          |          |
| 98                  | 88       | 99       | 79       |
| 77                  | 79       | 75       | 94       |
| 85                  | 96       | 97       | 83       |
| 83                  | 94       | 77       | 79       |
| 85                  | 97       | 86       | 90       |
| 98                  | 70       | 98       | 78       |