



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.

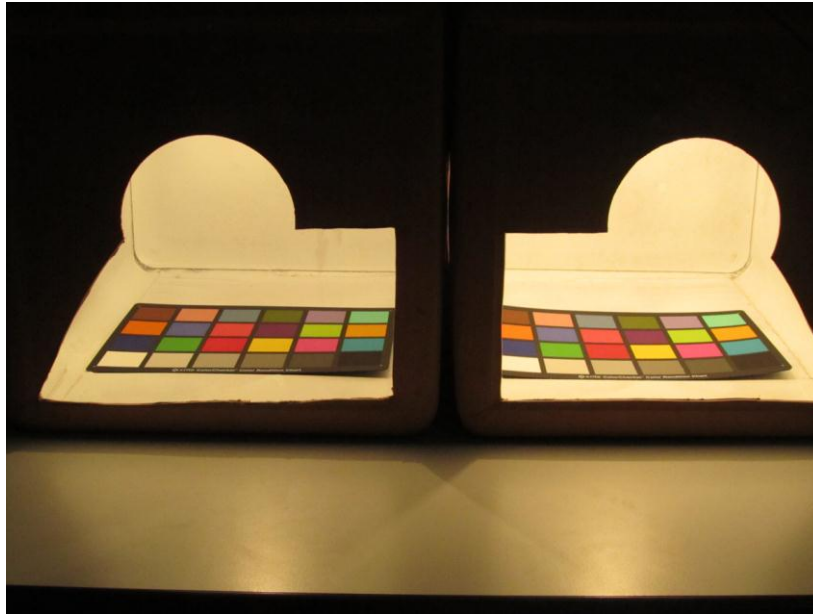


Figura 1 vista dei due light boot per il primo esperimento

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.

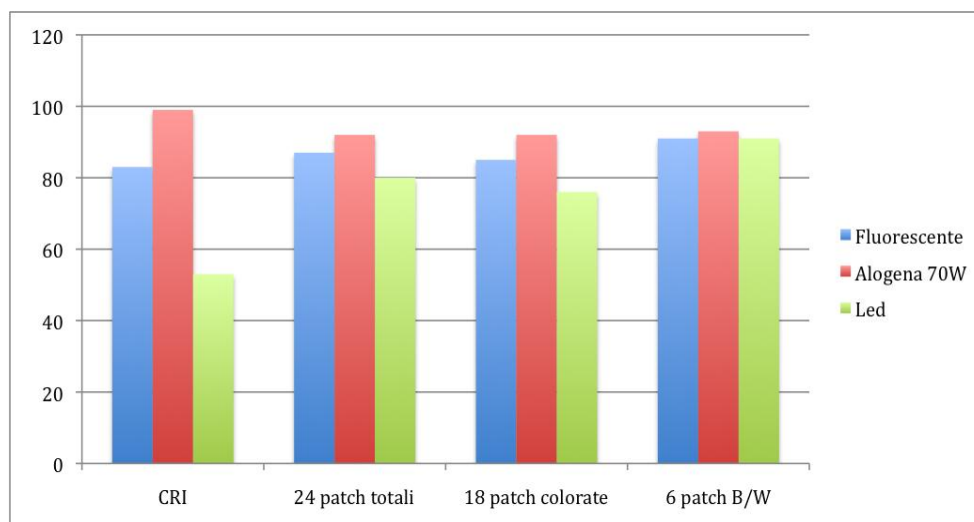


Figura 2 CRI e valutazioni qualitative degli utenti

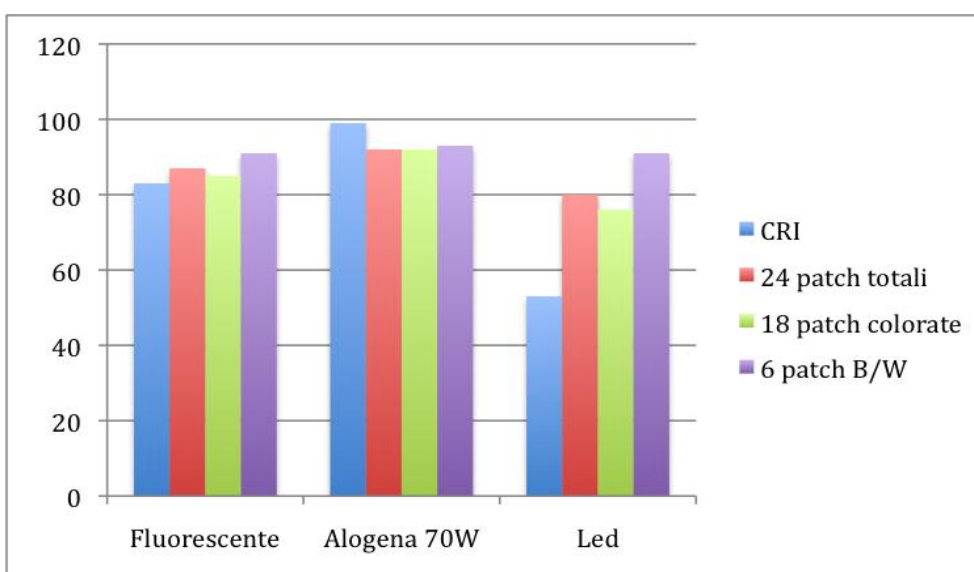


Figura 3 CRI e valutazioni qualitative degli utenti

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).

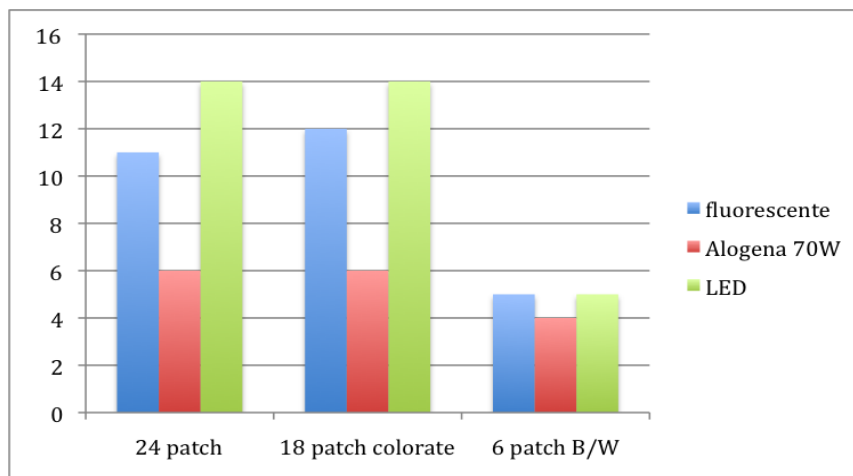


Figura 4 deviazione standard dei dati di figura 2

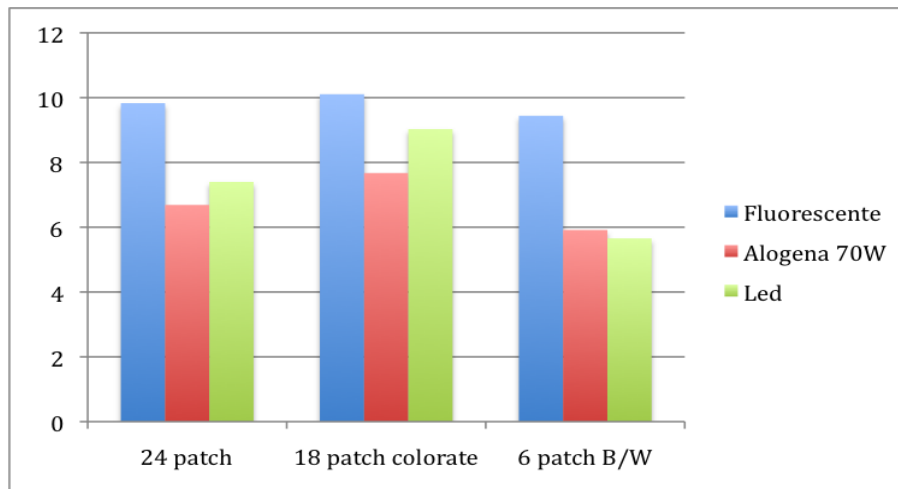


Figura 5 deviazione standard dei dati di figura 3

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.

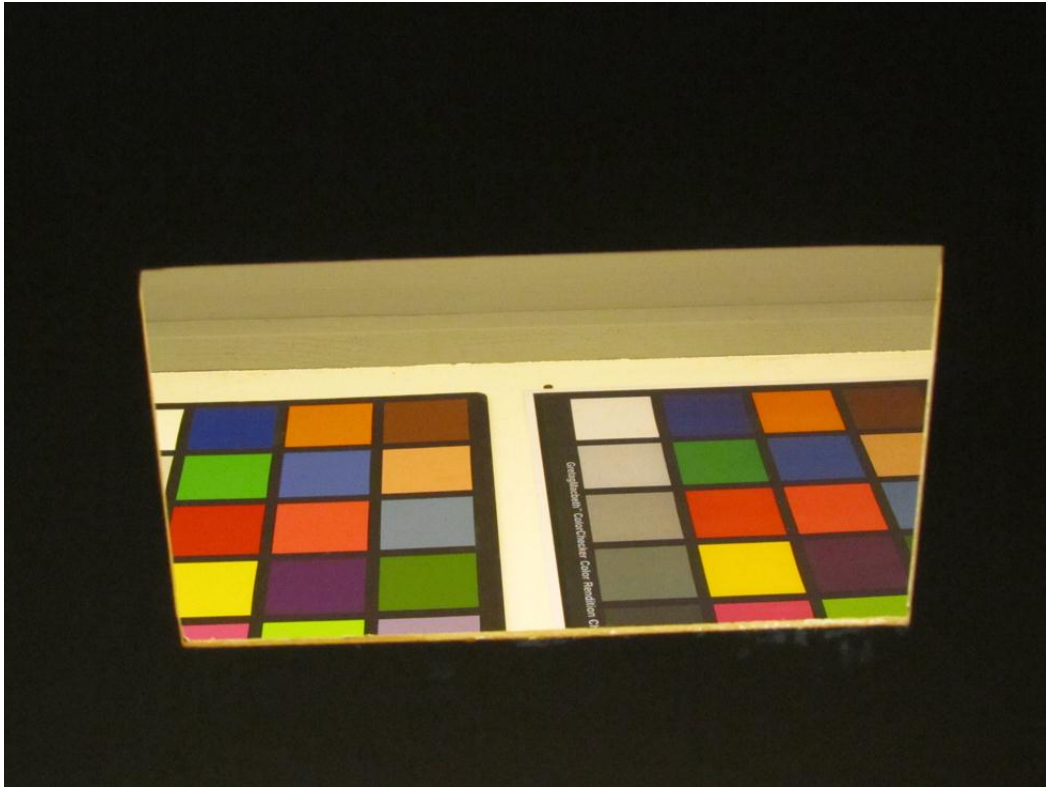


Figure 6: setup del secondo esperimento. A destra il Color Checker originale, a sinistra la sua riproduzione

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 W	2977	99
alogeno 18 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.

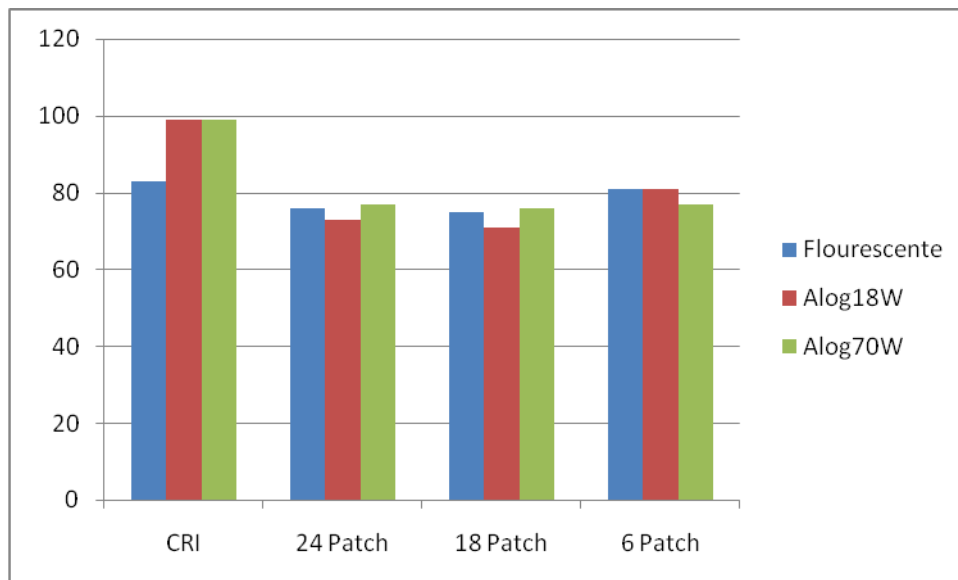


Figura 7 CRI e media dei valori medi scelti dagli osservatori per ogni gruppo di patch

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.

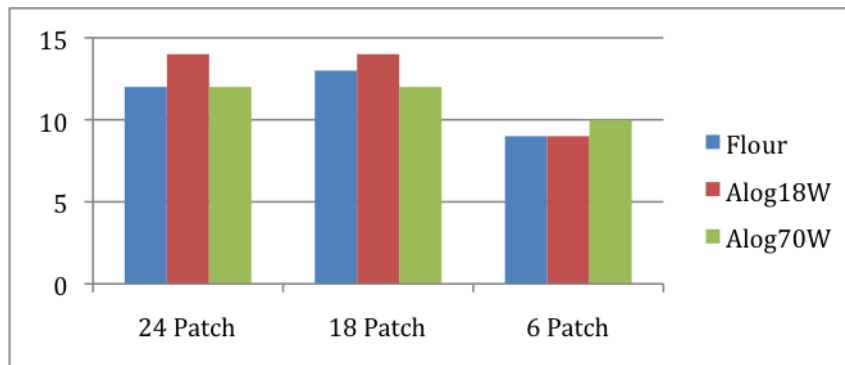


Figura 8 deviazione standard dei dati percettivi di figura 7

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.

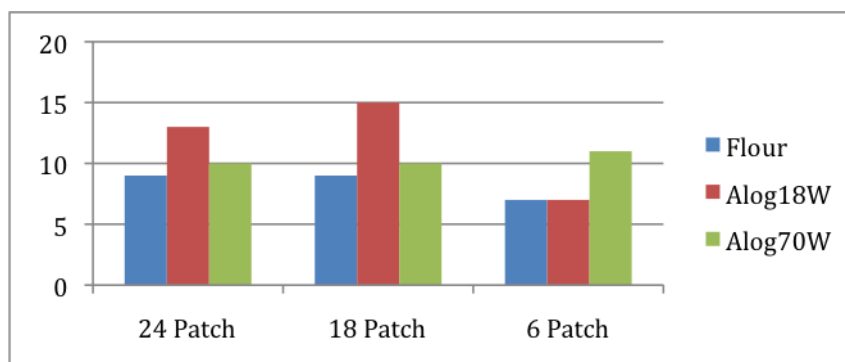


Figura 9 deviazione standard dei valori medi percettivi per tutti i soggetti

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'alogena 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 una 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	sessu: M	visus: Y, miopia			
Fluorescente						
98	95	90	60	90	80	
100	100	100	65	60	75	
75	50	85	80	100	100	

	65	70	80	85	100	100
Alogena 70W						
	95	95	90	95	100	90
	95	95	95	95	90	95
	75	80	100	98	80	98
LED	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			
Fluorescente						
	60	99	20	0	82	0
	100	90	100	70	70	70
	85	85	85	70	90	5
	100	90	90	90	90	100
Alogena 70W						
	96	100	96	76	99	60
	100	98	100	98	100	100
	79	100	100	100	100	100
	100	100	98	98	98	100
LED						
	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			
Fluorescente						
	100	99	99	90	100	80
	100	100	100	90	80	80
	90	90	100	85	99	99
	99	100	100	100	100	100
Alogena 70W						
	100	95	99	99	99	95
	99	95	100	99	99	99
	99	99	99	95	100	99
	100	99	99	100	100	100
LED						
	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			
Fluorescente						
100	81	79	82	85	79	
100	59	97	100	100	96	
53	85	100	100	97	97	
100	99	99	95	100	100	
Alogena 70W						
100	99	95	85	83	100	
100	93	92	100	87	100	
96	97	99	92	98	100	
98	97	97	95	100	100	
LED						
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			
Fluorescente						
95	75	90	92	95	75	
85	90	92	90	75	70	
85	80	90	88	92	85	
97	95	94	93	92	98	
Alogena 70W						
97	78	85	95	95	80	
87	95	95	90	96	85	
86	85	96	90	86	82	
90	95	94	92	91	98	
LED						
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			
Fluorescente						
95	95	95	95	95	95	
95	100	95	95	95	95	
95	95	10	100	100	95	
100	95	95	100	95	95	
Alogena 70W						
95	100	100	95	100	100	
100	100	95	95	100	100	
95	95	100	100	100	100	
100	100	100	95	95	95	

LED						
	70	70	90	90	90	90
	70	90	90	70	90	70
	70	90	90	90	70	90
	90	90	90	90	90	90

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

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

V.M.	Anni: 25	sesso: F	visus: N			
Fluorescente						
	90	79	80	85	85	75
	90	85	85	60	95	75
	85	79	95	100	100	90

	90	90	70	75	75	100
Alogena 70W						
	85	90	99	85	99	100
	90	95	90	80	90	99
	99	99	95	99	99	99
	99	75	80	85	80	99
LED						
	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.	anni: 33	sesso: F	visus: Y
alogeno 18W			
	90	50	70
	60	1	50
	70	40	90
	60	1	60
	60	1	1
	99	1	70
alogeno 70W			
	85	85	90
	99	85	80
	60	90	99
	60	55	90
	90	85	80
	100	50	60
fluorescente			
	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
alogeno 18W			
60	85	20	60
60	60	0	60
80	85	20	20
80	0	20	20
20	20	20	20
100	20	85	0
alogeno 70W			
20	20	20	20
20	20	0	20
20	20	20	10
0	0	10	20
0	20	10	20
100	0	20	0
fluorescente			
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
alogeno 18W			
73	75	83	75
78	77	75	85
78	88	90	70
75	90	80	78
78	78	73	73
95	78	90	75
alogeno 70W			
77	77	87	81
70	70	75	90
78	92	95	70
75	85	75	75

78	75	75	80
95	80	92	75
fluorescente			
75	85	80	75
80	75	75	82
75	90	85	72
75	90	78	75
77	73	73	70
95	78	90	75

S.R.	Anni: 33	Sesso: M	Visus: Y
alogeno 18W			
83	49	65	65
83	65	65	83
83	83	83	83
83	83	65	65
65	83	83	65
83	83	83	83
alogeno 70W			
86	70	70	70
86	70	70	86
86	86	86	86
70	86	70	70
70	87	70	87
87	70	87	87
fluorescente			
85	65	65	65
65	65	65	85
85	65	85	85
85	85	85	70
85	85	70	85
85	70	85	85

E.C.	anni: 27	Sesso: M	visus: Y
alogeno 18W			
90	65	80	60

75	80	40	70
70	80	70	70
65	85	80	70
80	65	65	55
85	55	90	50
alogeno 70W			
75	60	85	70
60	60	45	75
60	80	80	65
60	90	75	65
75	70	55	65
90	40	85	60
fluorescente			
80	75	85	75
75	65	45	75
75	85	80	70
75	80	55	70
80	60	40	70
95	40	85	60

V.M.	Anni: 25	sessu: F	visus: N
alogeno 18W			
85	70	85	60
79	55	30	70
80	95	85	60
70	90	55	49
60	70	49	30
95	40	95	60
alogeno 70W			
70	70	85	79
55	50	40	55
50	98	95	49
49	85	45	30
45	60	50	20
80	60	80	25
fluorescente			
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
alogeno 18W			
98	94	93	92
92	90	85	98
94	96	97	92
94	97	97	93
99	93	95	91
98	82	95	90
alogeno 70W			
99	93	98	88
87	84	82	97
95	95	97	92
91	98	79	78
93	96	93	79
97	82	98	90
fluorescente			
98	88	99	79
77	79	75	94
85	96	97	83
83	94	77	79
85	97	86	90
98	70	98	78