

# **La progettazione della luce tra nuove tecnologie ed esigenze di sostenibilità ambientale**

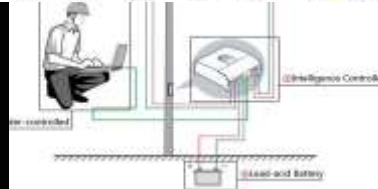
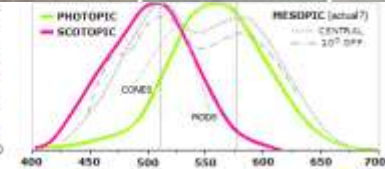
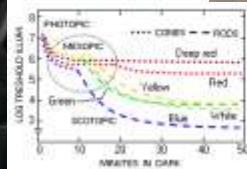
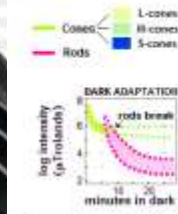
**Laura Bellia**

*Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II*

# Il mondo dell'illuminazione è in continua evoluzione



EYE SPECTRAL RESPONSE



**VISUAL**

- See
- Be seen
- Safety
- Orientation

**BIOLOGICAL**

- Alertness
- Cognitive performance
- Sleep/wake cycle

**EMOTIONAL**

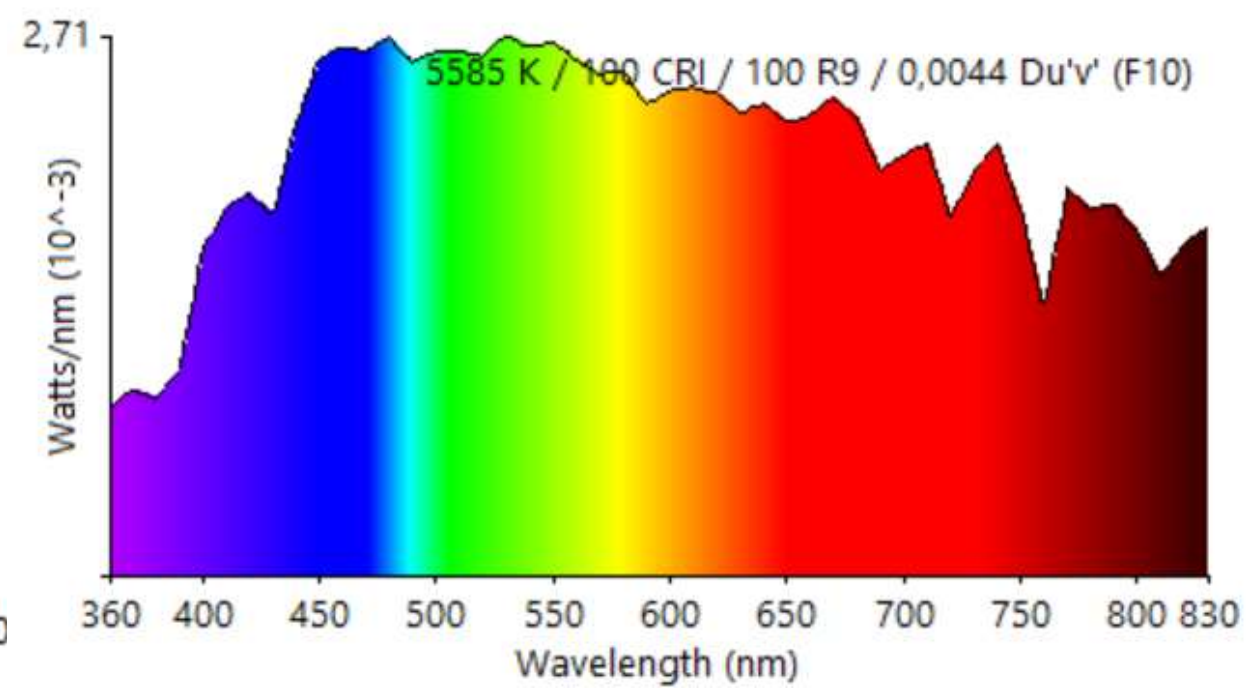
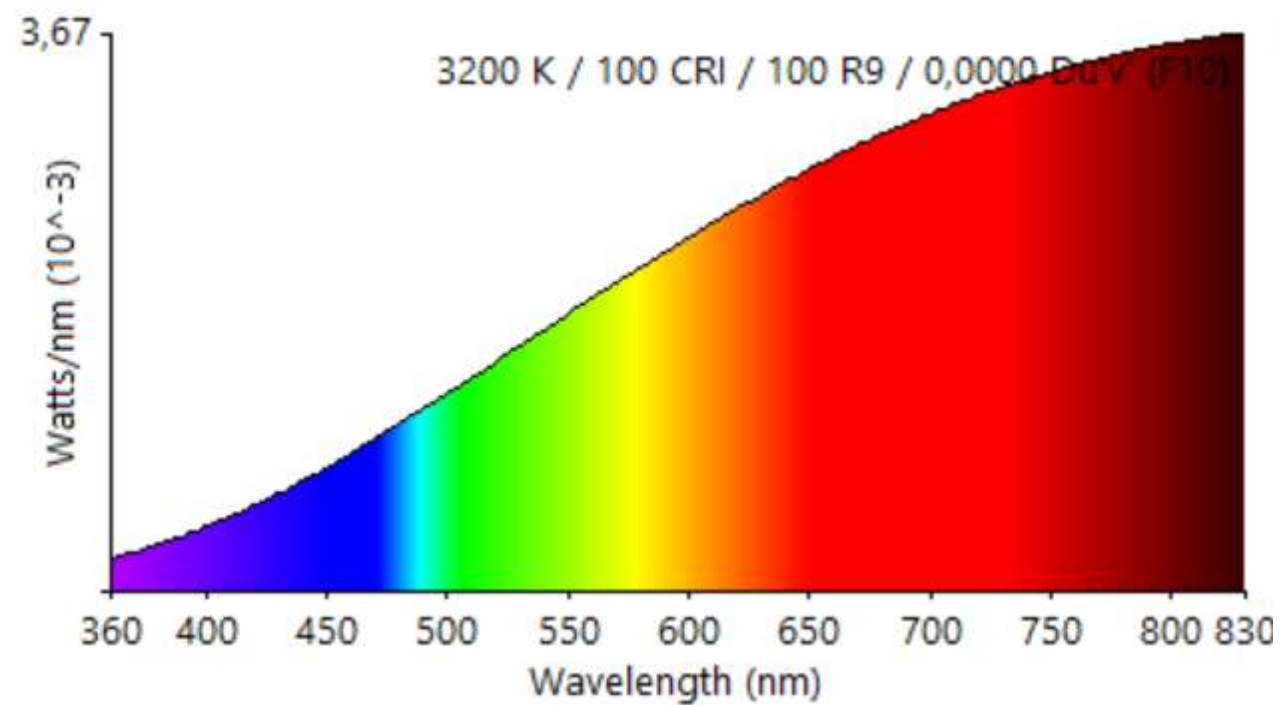
- Mood
- Energize
- Relaxation

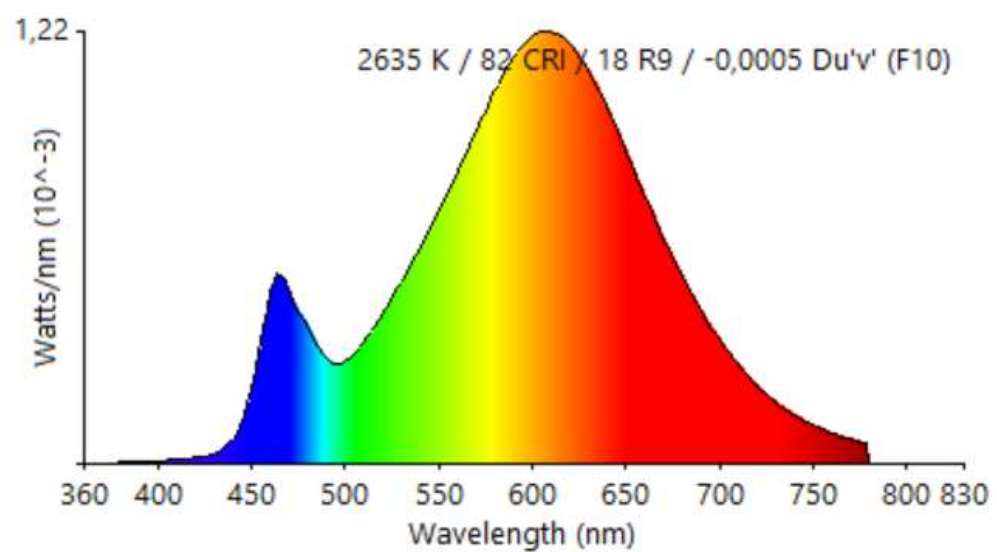
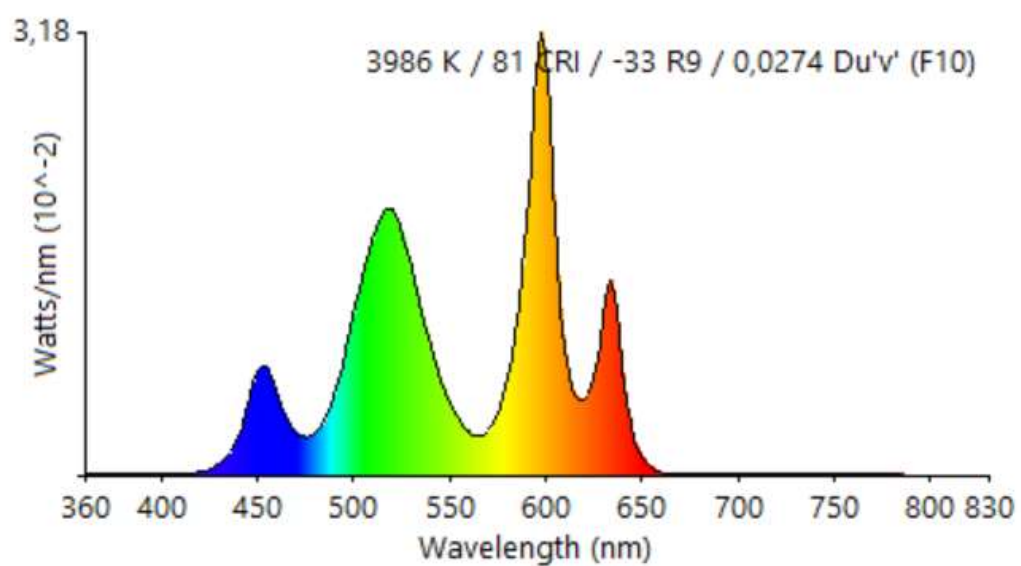
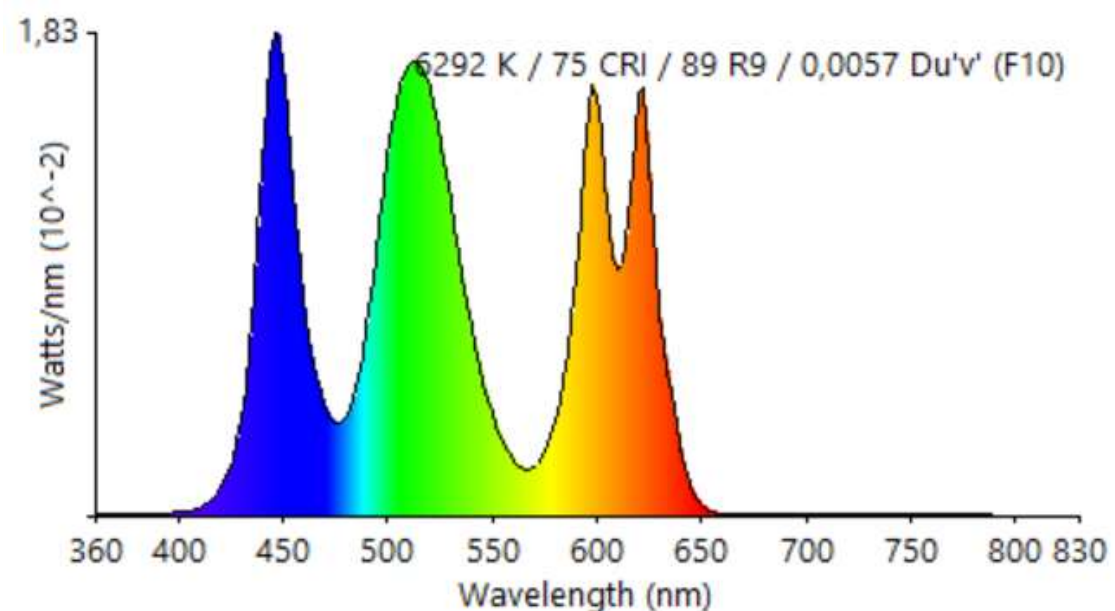
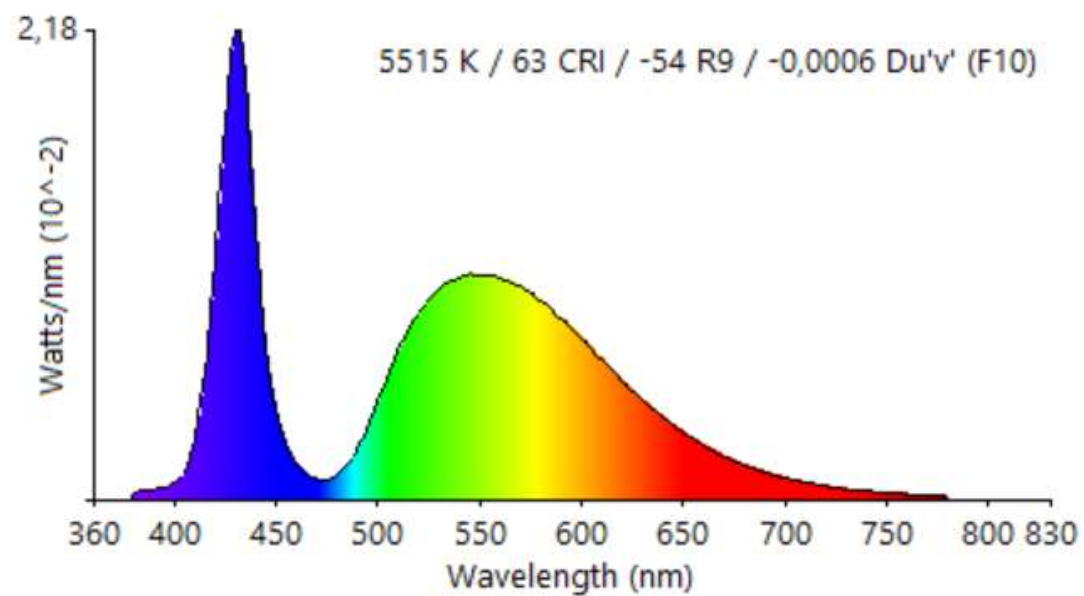


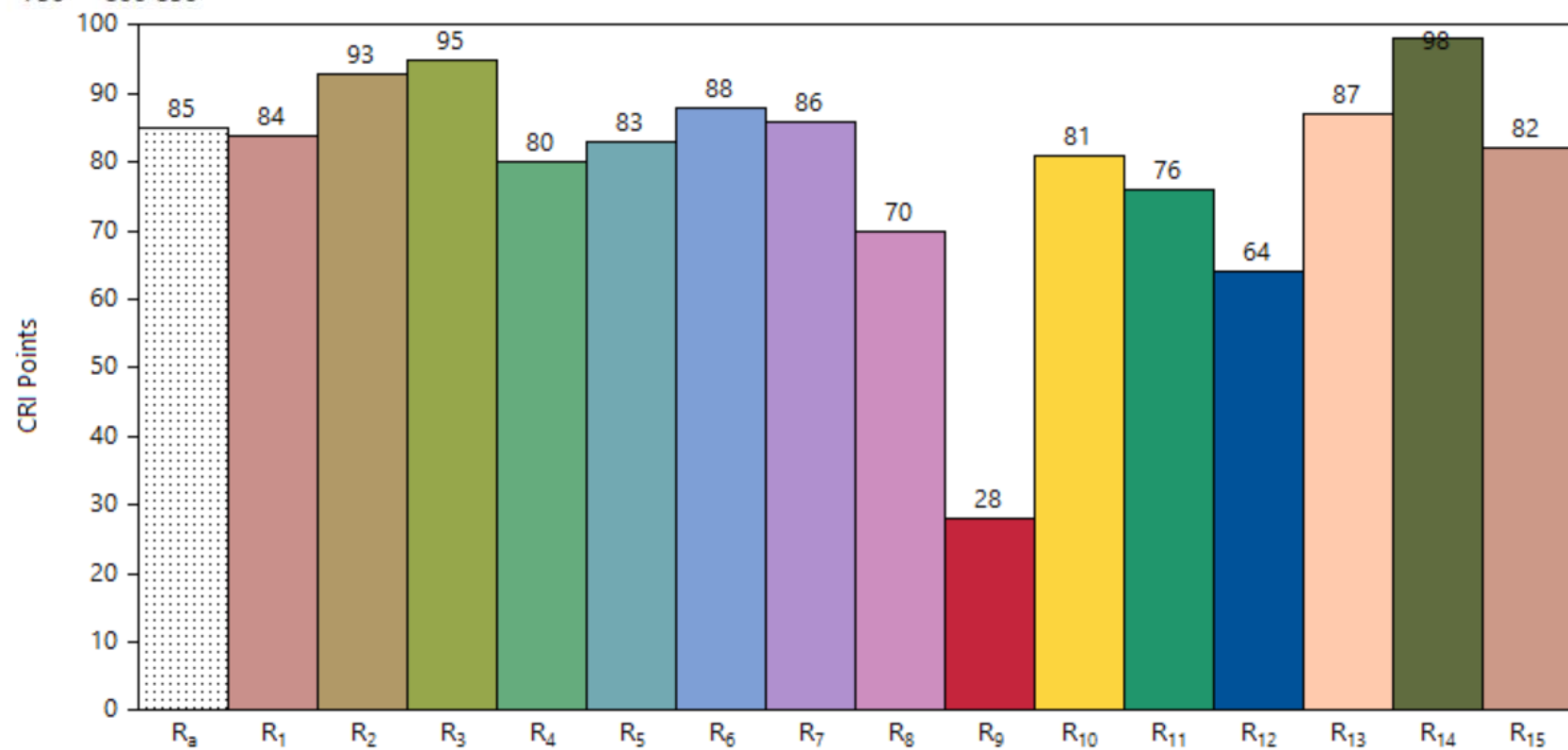
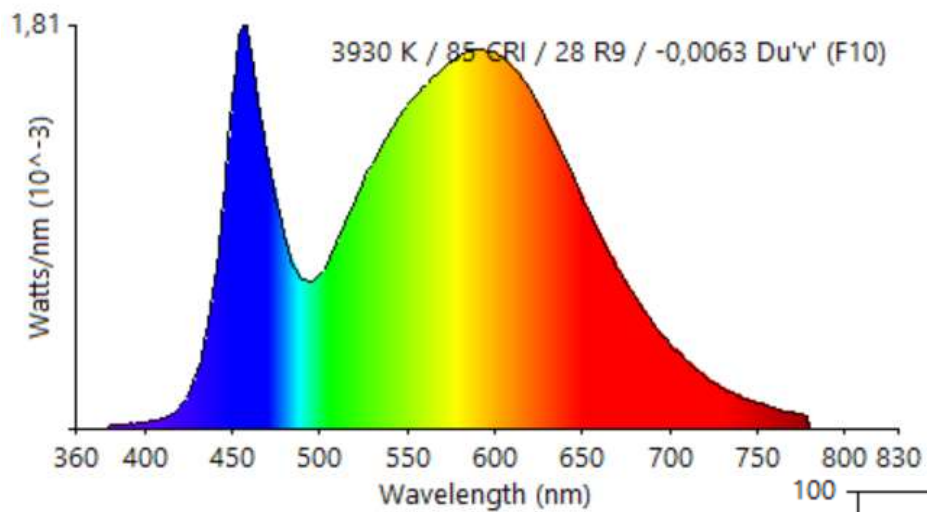
CCT 4780 K I-Time 6 ms  
 CRI 97 λp 441 nm  
 LUX Err  
 λp 441 nm

CIE1931 CIE1976  
 x : 0.3518 y : 0.3585 u' : 0.2132 v' : 0.4890

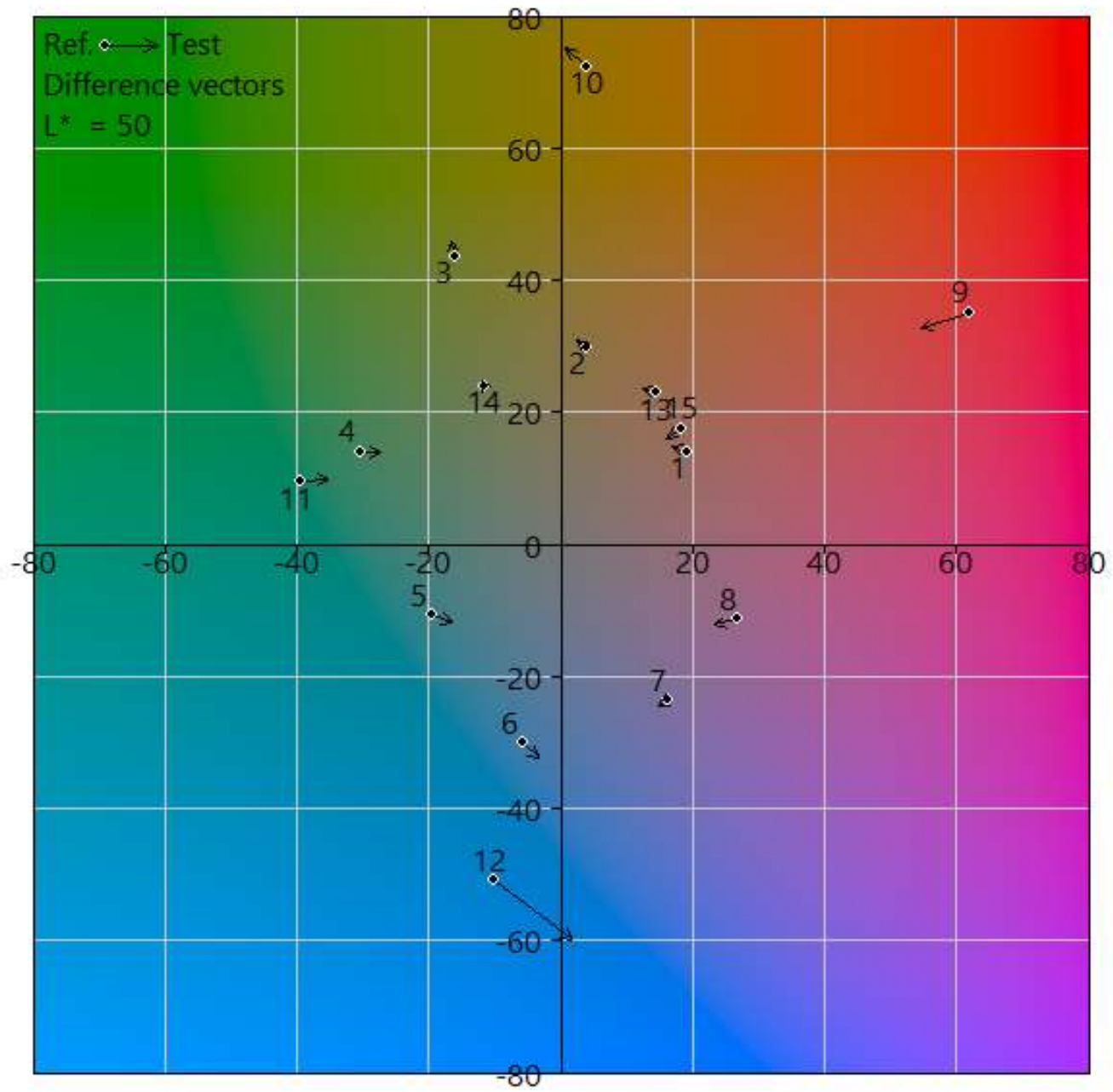


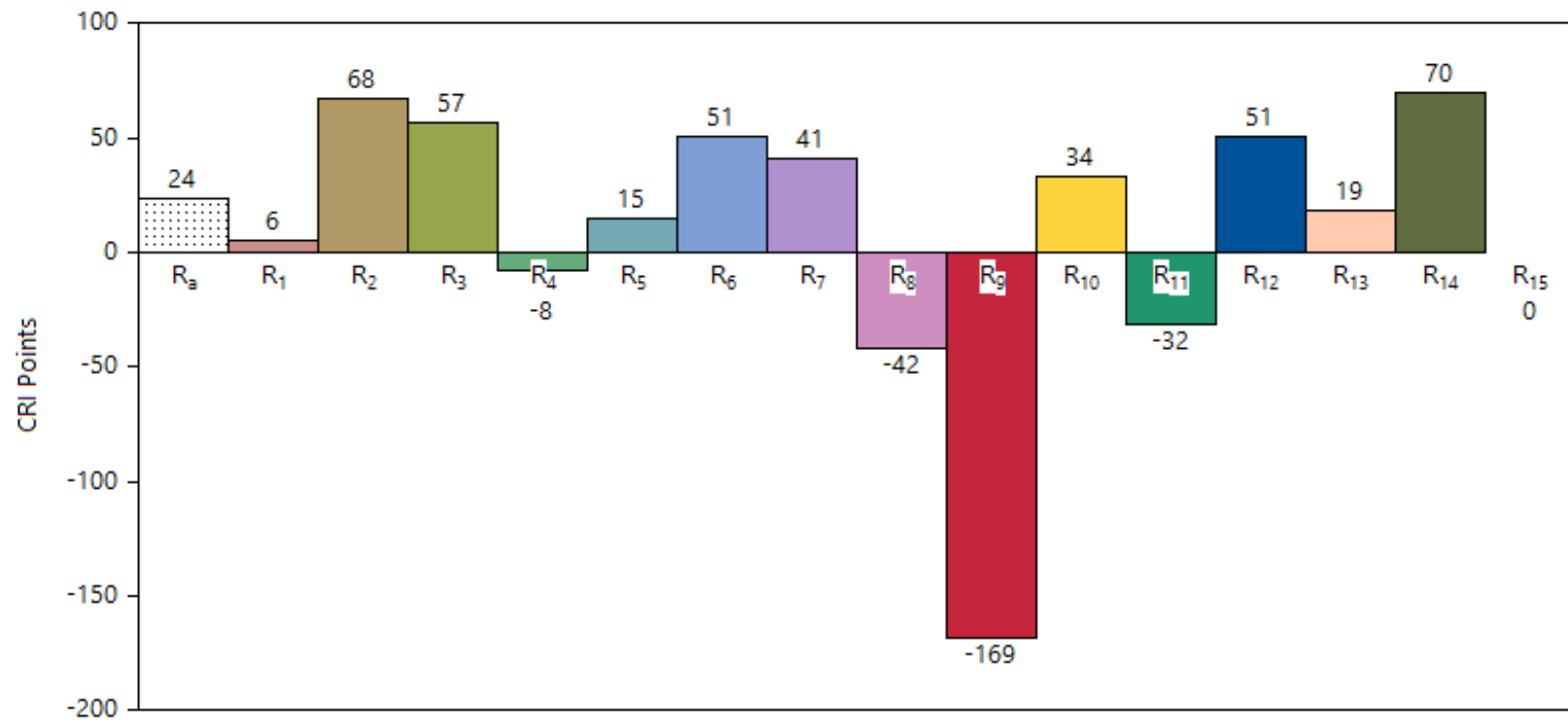
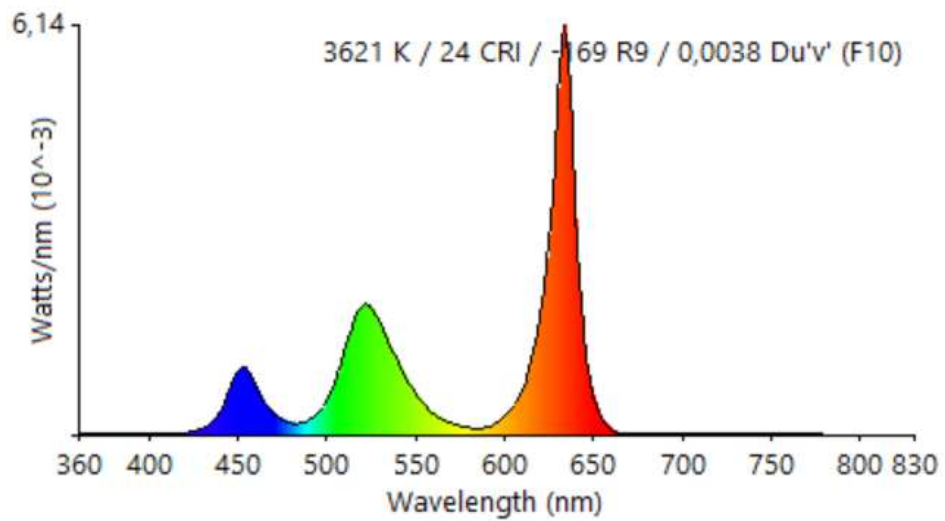






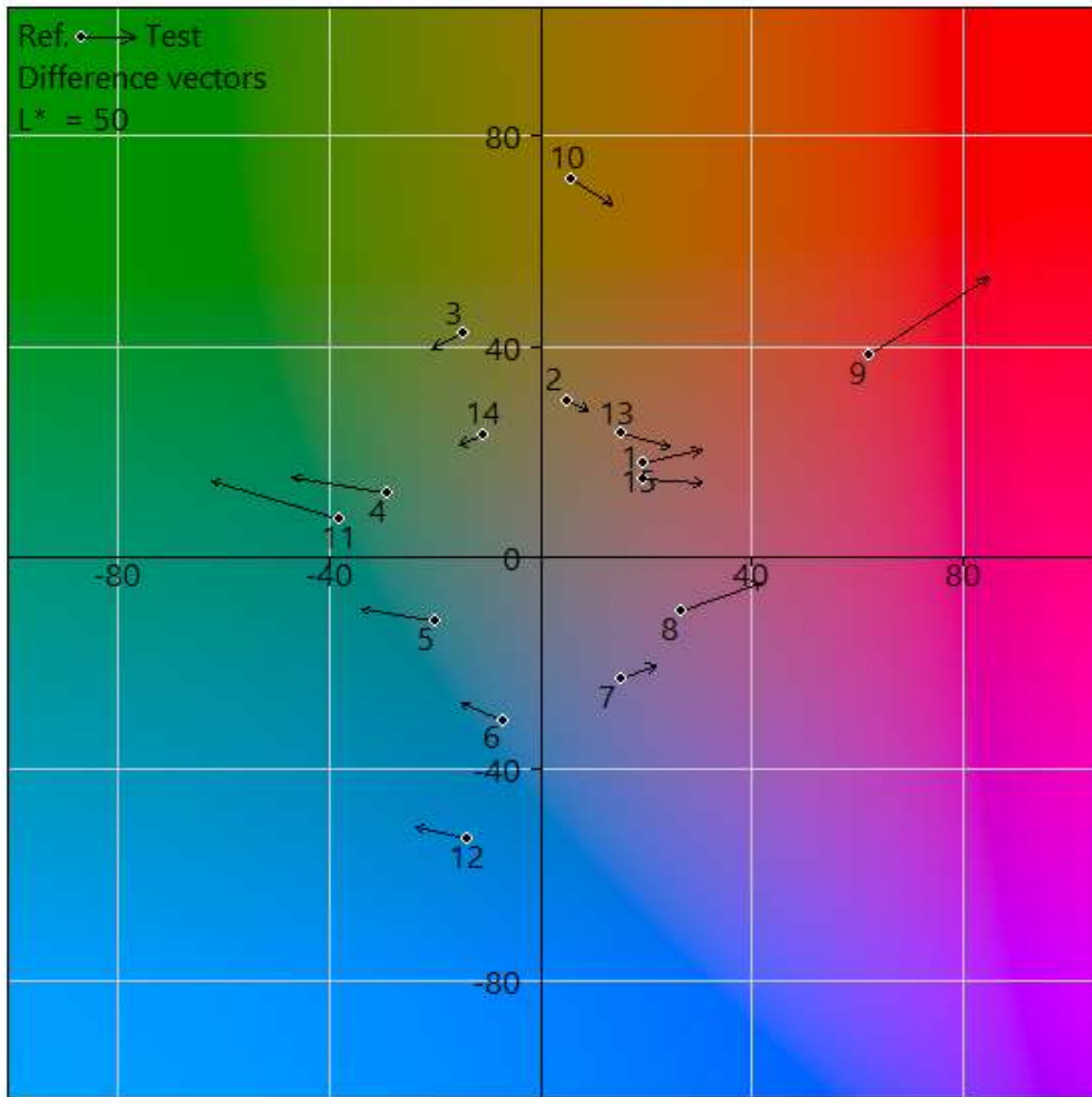
	TCS01	TCS02	TCS03	TCS04	TCS05	TCS06	TCS07	TCS08
Ref.								
Test								
dE*ab	2.6	1.8	2.8	3.3	3.5	3.6	1.7	3.7
	TCS09	TCS010	TCS11	TCS12	TCS13	TCS14	TCS15	
Ref.								
Test								
dE*ab	7.8	4.4	4.4	15.2	2.2	1.1	2.7	





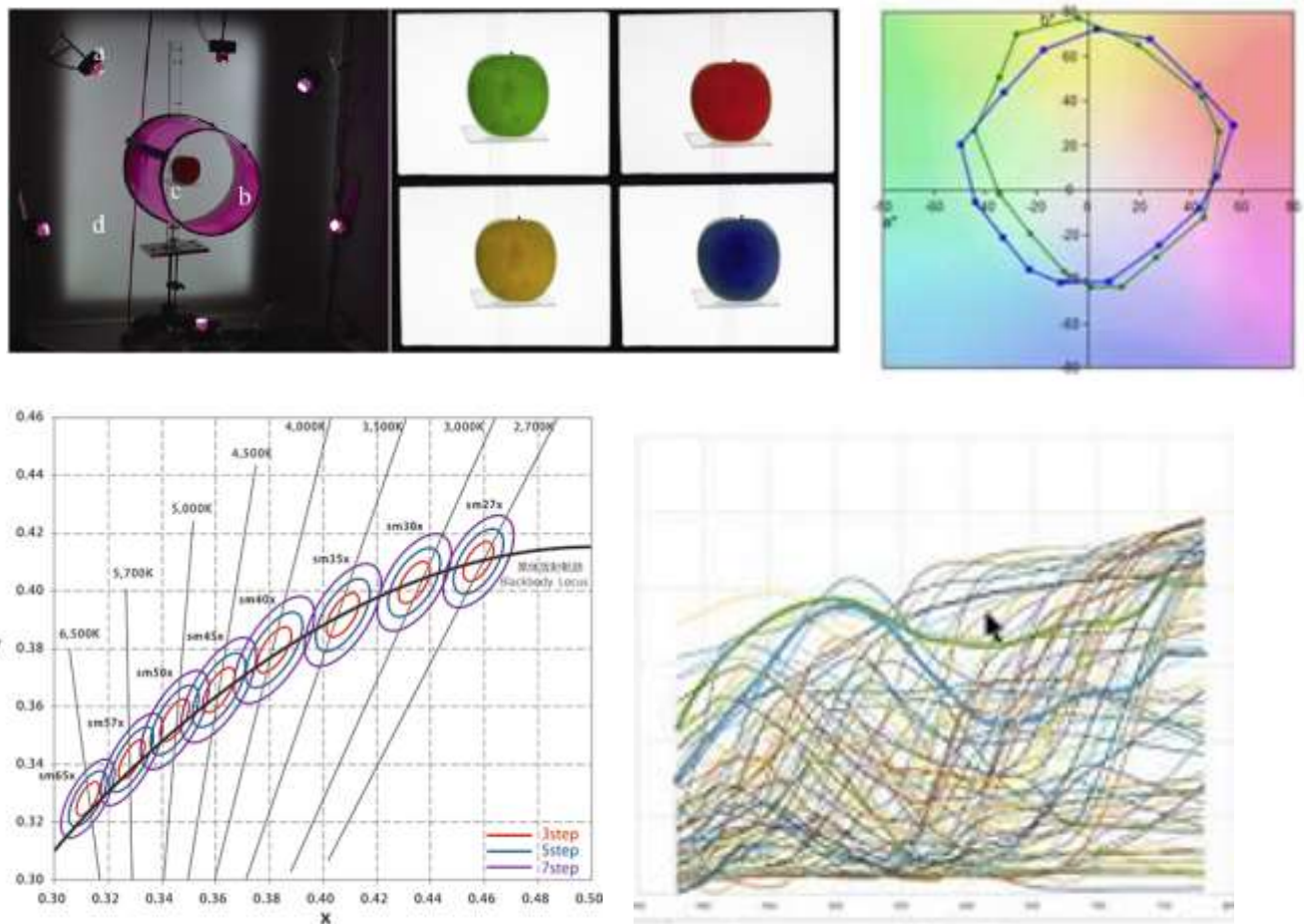


	TCS01	TCS02	TCS03	TCS04	TCS05	TCS06	TCS07	TCS08
Ref.								
Test								
dE*ab	11.4	4.8	6.7	18.3	14.1	8.8	7.6	16.3
	TCS09	TCS010	TCS11	TCS12	TCS13	TCS14	TCS15	
Ref.								
Test								
dE*ab	28.2	9.5	25.8	10.9	10.2	5.2	11.5	



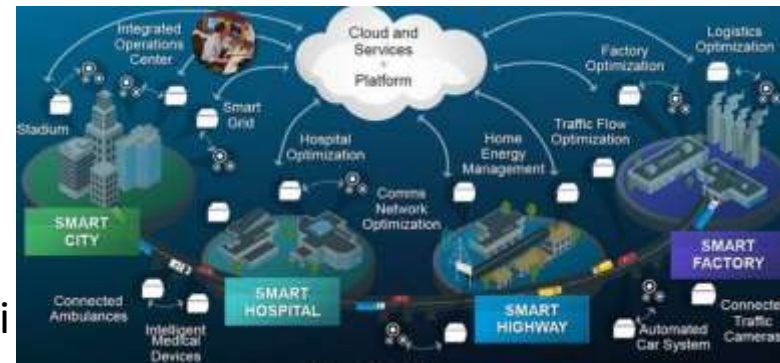
# Qualità della luce emessa dalle sorgenti nella resa dei colori

Il tema del colore della luce e della sua qualità influisce significativamente sullo sviluppo e la scelta delle sorgenti. L'evoluzione dei LED, caratterizzati da spettri di emissione sensibilmente diversi rispetto alle sorgenti tradizionali, ha portato allo studio di nuovi indici, alternativi o complementari all'indice di resa cromatica, ma ancora insufficienti a garantire una corretta valutazione della qualità globale del colore della luce. Ulteriori ricerche sono necessarie per giungere alla definizione di un nuovo indicatore, realmente rappresentativo della qualità percepita del colore della luce (ad esempio in termini di naturalezza o preferenza del colore).



# Illuminazione adattiva, intelligente e dinamica

Gli sviluppi tecnologici in ambito elettronico e ICT hanno aperto la strada ad una significativa evoluzione nel settore del controllo dell'illuminazione, rendendo possibili soluzioni definite adattive, intelligenti o dinamiche. In sostanza un controllo della luce in rapporto alle reali esigenze di illuminazione, oltre ad essere ormai previsto, quando non richiesto, a livello normativo, è reso attuabile da tecnologie e soluzioni "smart" sempre più facilmente disponibili. Cionondimeno si evidenzia ancora una sostanziale carenza per quanto attiene le regole di applicazione e l'usabilità di queste tecnologie sia per gli ambienti interni che per l'illuminazione urbana. In particolare si hanno ancora poche informazioni sull'impatto che queste soluzioni possono avere sul comportamento e la risposta degli utenti finali e sulle possibilità di sviluppo e applicazione di algoritmi di controllo sempre più sofisticati, basati su modelli predittivi e capacità di autoapprendimento dei sistemi.



Sperimentazioni su individui in ambiente controllato per indagare se la temperatura di colore ha influenza sulla percezione termica.

Si ringrazia Zumtobel per le sorgenti

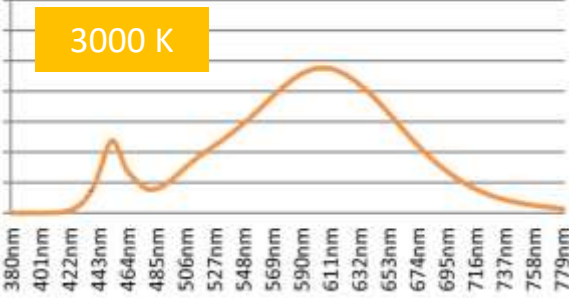
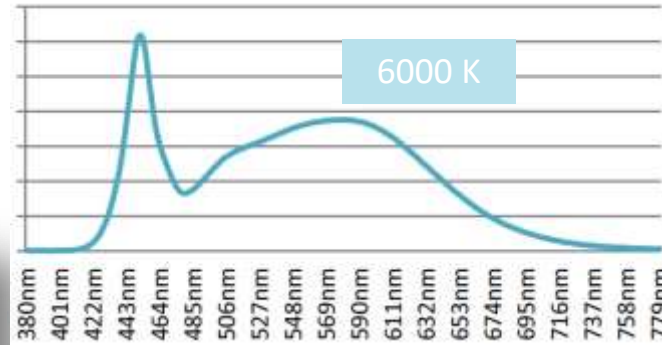
**SEZIONE 1**

1. Come ti senti in questo momento? (PERCEZIONE TERMICA)

- molto caldo
- caldo
- leggermente caldo
- né caldo né freddo
- leggermente freddo
- freddo
- molto freddo

Questa sensazione ti procura uno stato di?

- benessere
- leggero fastidio
- fastidio
- molto fastidio



La centralina misura:

la temperatura dell'aria;

la temperatura di rugiada

la temperatura del pavimento;

la velocità dell'aria,

la temperatura piana radiante;

l'umidità relativa.

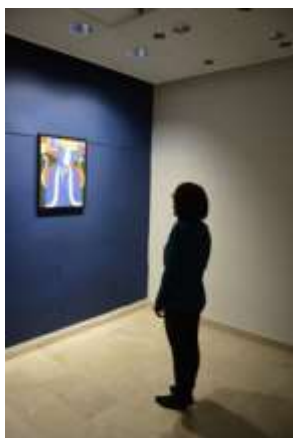


3000K/300lx



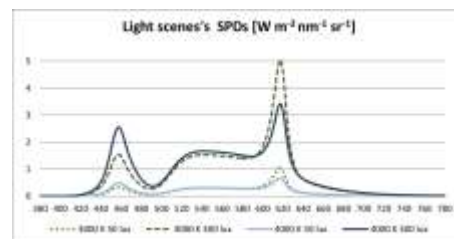
6000K/300lx



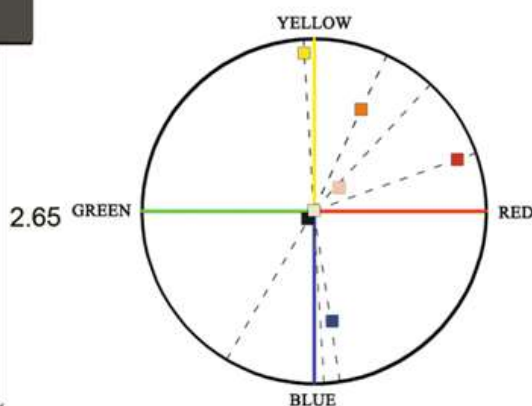
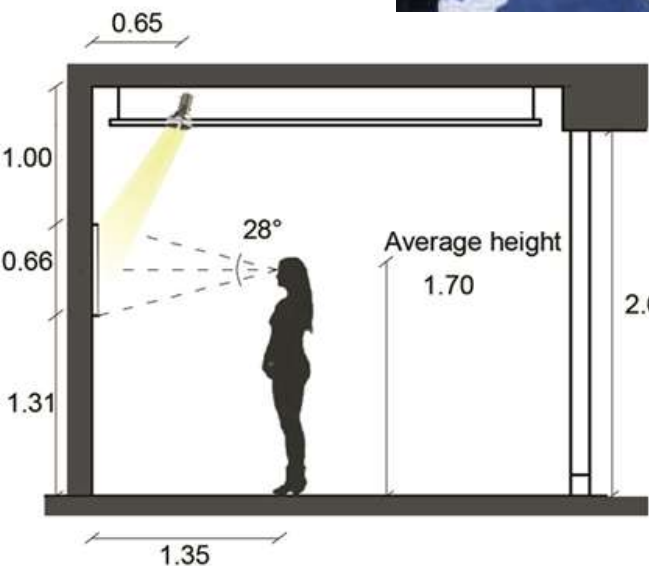


Light scenes	Illuminances [lx]	CCTs [K]	CRI	$\Delta_{uv}$
3000 K	61	3005	91	-0.0042
3000 K	308	3013	91	-0.0029
4000 K	57	4004	90	-0.0045
4000 K	299	4071	88	-0.0024

Luce e beni culturali: analisi soggettive sulla percezione cromatica di opere pittoriche sotto diversi illuminamenti, temperature di colore e colore dello sfondo.

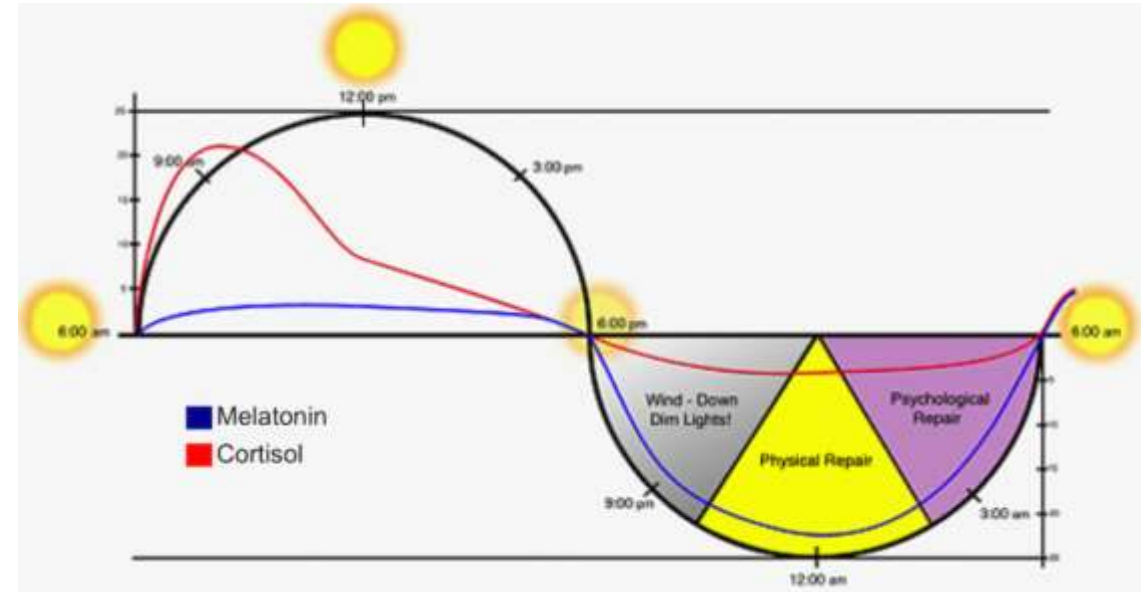


Apparecchi forniti da Zumtobel



# Illuminazione per la salute ed effetti non visivi della luce

L'esistenza di effetti non visivi, con implicazioni a livello fisiologico e psicologico, dovuti alla captazione della luce rappresenta una conoscenza ormai consolidata. Gli sviluppi della ricerca in campo fotobiologico continuano ad accrescere la consapevolezza dell'importanza di questi effetti su vita e salute degli individui.



## **Sviluppo di specifiche raccomandazioni illuminotecniche per particolari categorie di individui**

Ad oggi le raccomandazioni illuminotecniche sono basate sui risultati di studi condotti su una popolazione di individui adulti e sani e non forniscono quindi indicazioni utili a rispondere alle problematiche e alle esigenze di categorie più specifiche di persone quali anziani o ipovedenti.

Col crescere della consapevolezza dell'importanza della luce su salute e benessere degli individui e di fronte ad un quadro demografico internazionale che vede aumentare sensibilmente la percentuale di anziani e quindi l'esigenza di garantire a questa categoria di popolazione una vita sana e attiva, diventa importante ampliare la ricerca, nell'ottica di produrre indicazioni e raccomandazioni mirate a gruppi definiti di soggetti. Per quanto siano note le principali trasformazioni delle capacità visive dovute all'invecchiamento dell'organo visivo, ad oggi non è ancora evidente come adattare di conseguenza le raccomandazioni illuminotecniche e le normative tecniche di settore.

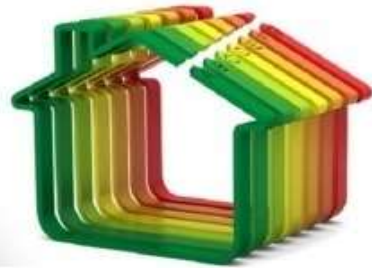
Le implicazioni di una ricerca in questo senso possono interessare sia il settore della progettazione che della produzione industriale, chiamata a rispondere a nuove esigenze con nuove soluzioni tecnologiche.



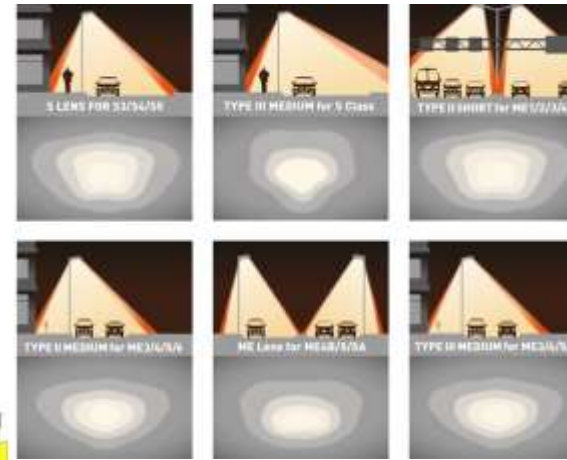


# anche gli standard e le normative si devono adeguare...

## EN 12464-1 Lighting of work places



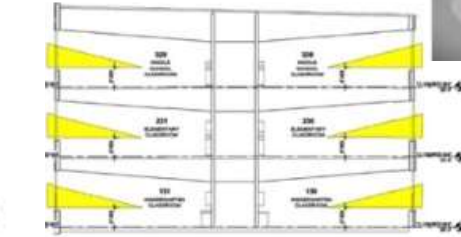
EN 15193-1 (2017)



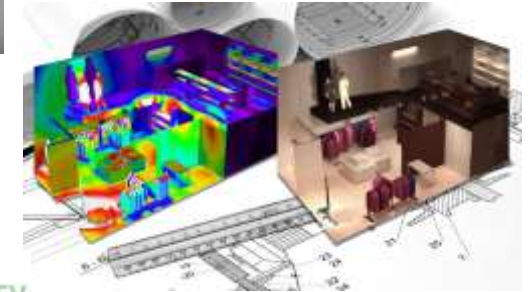
EN 13201-5 (2015)



## LEED Credit Categories



prEN 17037 (2017)



UNI 11630



CEN/TR 16791:2017

# **ILLUMINAZIONE PER ESTERNI**

## **Strade con prevalente traffico motorizzato**

Assicurare condizioni di visibilità tali da garantire la sicurezza, la scorrevolezza ed il comfort di marcia per gli automobilisti, nonché di sicurezza per i pedoni e per i ciclisti nelle zone miste e di attraversamento.

### **Principali riferimenti normativi**

- UNI EN 13201 1-5 Requisiti illuminotecnici per le strade con traffico motorizzato
- UNI 11248 – Selezione delle categorie illuminotecniche
- CIE 115 (1995) Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic
- DM 27 settembre 2017 - Criteri Ambientali Minimi per l'acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica

# ILLUMINAZIONE PER ESTERNI

## Aree con prevalente o esclusivo traffico pedonale

- dare sicurezza ai cittadini sia per quanto riguarda gli incidenti stradali che per gli atti criminosi (scippi, aggressioni, atti vandalici...);
- consentire ai pedoni il riconoscimento dell'ambiente in cui si trovano;
- creare, nelle aree commerciali, nei centri storici ed in generale nelle zone particolarmente destinate al traffico pedonale, le condizioni per cui il pedone trovi attraente e confortevole l'ambiente in cui si trova e possa apprezzare il contesto architettonico che lo circonda.

# L'illuminazione dei luoghi urbani: parametri da controllare e requisiti

- La resa cromatica e la tonalità della luce
- La limitazione dell'ingresso della luce attraverso le finestre delle abitazioni
- Adeguate caratteristiche estetiche dell'installazione ed appropriato inserimento nel contesto urbano
- La limitazione dell'inquinamento luminoso
- Il contenimento dei consumi energetici













# L'illuminazione dei luoghi urbani: parametri da controllare e requisiti

- L'illuminamento orizzontale sulla strada.
- L'illuminamento semicilindrico all'altezza dei visi delle persone.
- L'illuminamento delle facciate degli edifici
- La limitazione dell'abbagliamento
- La resa cromatica e la tonalità della luce
- La limitazione dell'ingresso della luce attraverso le finestre delle abitazioni
- Adeguate caratteristiche estetiche dell'installazione ed appropriato inserimento nel contesto urbano
- La limitazione dell'inquinamento luminoso
- Il contenimento dei consumi energetici

**2016**

**UNI 11630:2016** sui criteri per la  
stesura del progetto illuminotecnico  
(Criteria for the preparation of the lighting Project)

**Lighting Project**

**Electrical Project**

**Il progetto luminotecnico**  
comprende aspetti  
fotometrici, ergonomici, energetici.

**UNI 11630**

**Other Law (UNI CEI)**



## **UNI 11630 - Luce e illuminazione - Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico**

La norma si applica al progetto illuminotecnico degli impianti di illuminazione relativi ai seguenti ambiti:

- a) ambienti interni ed esterni quali: ospedali, alberghi, uffici, commerciali, industriali, ecc.;
- b) ambienti esterni quali parchi, giardini, parcheggi, ecc.;
- c) impianti sportivi, in ambienti interni ed esterni;
- d) impianti di illuminazione stradale;
- e) impianti di illuminazione architettonica e monumentale, in ambienti interni ed esterni;
- f) gallerie e sottopassi.

E. Sistemi intelligenti

D. Riqualificazione urbana

C. Riqualificazione energetica

B. Conformità normativa

A. Censimento dell'impianto

# RIQUALIFICAZIONE URBANA DM 27 settembre 2017

	Tipologia	Descrizione	Punteggio	Valutazione
1.	Integrazione con strumenti di pianificazione	No	0	
		Piano della Luce parziale	2	
		Piano della Luce completo	3	
2.	Adozione all'interno del Regolamento Edilizio	No	0	
	o Urbanistico di norme riguardanti l'illuminazione	Si	2	
3.	Analisi e mitigazione degli effetti di abbagliamento	No	0	
	molesto o illuminazione intrusiva <sup>37</sup>	Si	2	
4.	Analisi impatto sociale illuminazione	No	0	
		Si	2	
5.	Caratterizzazione delle aree a valenza architettonica	su meno del 5% delle aree	0	
	ed urbana con progetti ad hoc	su 5% ÷ 50% delle aree	1	
		su 50% ÷ 75% delle aree	2	
		su più del 75% delle aree	3	
6	Adozione di parametri di qualità per la progettazione	su meno del 5% dei PL	0	
	dell'impianto, come colore della luce, resa cromatica,	su 5% ÷ 50% dei PL	1	
	diffusione luminosa, ecc.	su 50% ÷ 75% dei PL	2	
		su più del 75% dei PL	3	
7	Utilizzo professionisti illuminotecnici	No	0	
	urbanistici, ambientali, ecc. coordinati fra loro	Si	3	

# Illuminazione per interni: Cosa si chiede oggi



# Cosa si intende per qualità

## **Non solo:**

- Ottenere condizioni ottimali per lo svolgimento dei compiti visivi
- Assenza di abbagliamento molesto ed effetti di abbagliamento velante
- Assenza di flicker
- Utilizzare quando possibile luce naturale, con sistemi schermanti quando necessario

## **Ma anche:**

- Realizzare ambienti luminosi gradevoli in cui gli individui tendono a permanere
- Migliorare le prestazioni dell'individuo e la produttività
- Proteggere la salute dell'uomo (regolazione dei ritmi circadiani)



### **Qualità delle sorgenti:**

- Scelta appropriata della temperatura di colore
- Elevata resa cromatica

### **Qualità dell'illuminazione:**

Realizzare distribuzioni di luminanza adeguate allo svolgimento delle attività in condizioni di comfort visivo.

Realizzare scene di luce che si adattano a diverse condizioni ambientali (disponibilità di luce naturale) e a diverse esigenze.

**Risparmio energetico:** conseguibile con sorgenti di elevata efficienza luminosa, ma soprattutto con una buona gestione dell'impianto.

**È obbligatorio un  
buon progetto illuminotecnico**

# Disturbi derivanti da impropria illuminazione

Bruciore agli occhi

Ammiccamento frequente

Lacrimazione

Secchezza

Stanchezza alla lettura

Visione annebbiata o sdoppiata

Fastidio alla luce

Mal di testa

Disturbi del sonno (alterazione dei cicli circadiani)



## Perché gli ambienti di lavoro?

- 1- Vi trascorriamo molto tempo (circa 1/3 della nostra giornata);
- 2 – Non siamo noi a scegliere e spesso a controllare il sistema di illuminazione



## Cosa riporta la normativa, quali sono i parametri da controllare?

**Compito visivo:** Insieme degli elementi visivi del lavoro effettuato (dimensioni-luminanza-contrasto-durata).

**Zona del compito:** Parte del posto di lavoro in cui viene svolto il compito.

**Zona immediatamente circostante:** Fascia di almeno 0,5 m intorno alla zona del compito all'interno del compito visivo.

**Zona di sfondo:** fascia di almeno 3 m adiacente alla zona immediatamente circostante

**Illuminamento medio mantenuto:**  $E_m$ .  
Illuminamento medio nel momento in cui dovrebbe essere eseguita la manutenzione.

**Uniformità dell'illuminamento:** Rapporto tra i valori minimo e medio degli illuminamenti di una superficie.

**L'illuminamento nella zona di sfondo deve essere almeno 1/3 di quello dell'area immediatamente circostante**



Zona del compito e zona circostante

Illuminamento sul compito visivo, $E_{task}$ , lx	Illuminamento sull'area immediatamente circostante, lx
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{task}$
100	$E_{task}$
50	$E_{task}$

Riferimento: UNI EN 12464-1

## I requisiti illuminotecnici

Tipo di area, compito o attività	<i>Em</i> lx	<i>UGR<sub>L</sub></i> –	<i>U<sub>o</sub></i> –	<i>Ra</i> –	Requisiti specifici
Fotocopie, fascicolazione	300	19	0,40	80	
Scrittura, lettura, dattilografia, elaborazione dati	500	19	0,60	80	Videoterminali, vedere punto 4.9
Disegno tecnico	750	16	0,70	80	
Postazioni CAD	500	19	0,60	80	Videoterminali, vedere punto 4.9.
Sale riunioni e conferenze	500	19	0,60	80	L'illuminazione dovrebbe essere regolabile.
Banco di accettazione	300	22	0,60	80	
Archivi	200	25	0,40	80	

## La distribuzione delle luminanze

La distribuzione delle luminanze deve essere ben bilanciata per incrementare le prestazioni visive ed in particolare:

- L'acuità visiva
- La sensibilità al contrasto
- L'efficienza delle funzioni oculari

Per superfici uniformemente diffondenti si ha:

$$L = E \cdot \rho / \pi$$

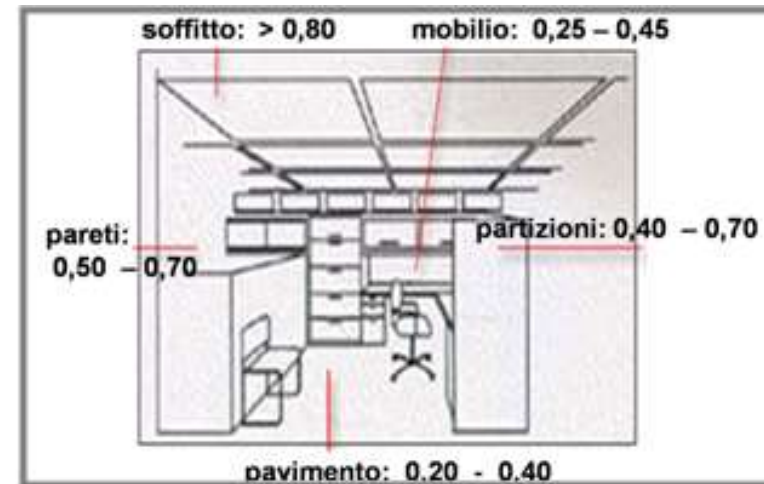
Illuminamenti raccomandati sulle superfici:

**Pareti:**  $E_m > 50\text{lx}$  ed  $U_0 \geq 0,10$

( $E_m > 75\text{lx}$  ed  $U_0 \geq 0,10$  per scuole, ospedali, corridoi, scale)

**Soffitto:**  $E_m > 30\text{lx}$  ed  $U_0 \geq 0,10$

( $E_m > 50\text{lx}$  ed  $U_0 \geq 0,10$  per scuole, ospedali, corridoi, scale)



Fattori di riflessione consigliati dall'IESNA

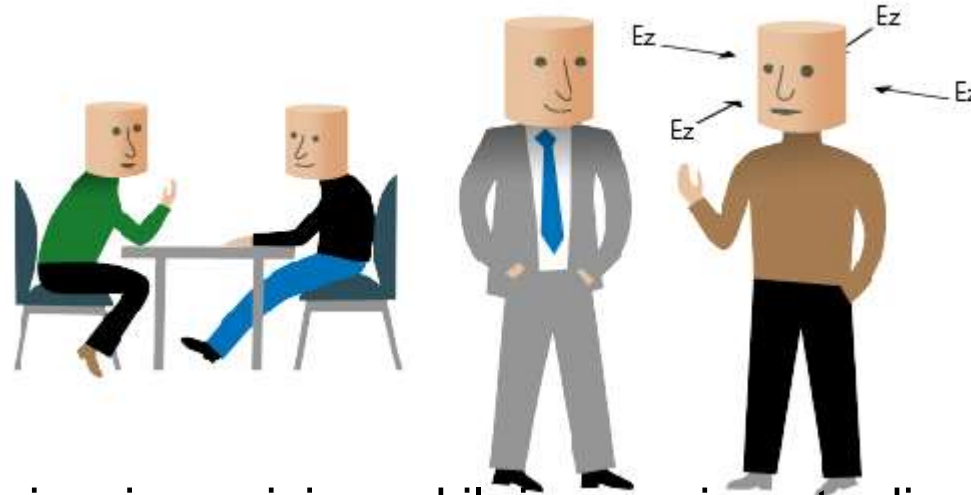
Intervalli raccomandati per i fattori di riflessione

- soffitto: da 0,7 a 0,9
- pareti: da 0,5 a 0,8
- pavimento: da 0,2 a 0,4

I fattori di riflessione della maggior parte degli oggetti dovrebbe ricadere nell'intervallo tra 0,2 e 0,9

Fattori di riflessione consigliati dalla EN12464-1

## Illuminamento medio cilindrico



Una buona comunicazione visiva ed il riconoscimento di oggetti nello spazio richiede che il volume dello spazio in cui la gente si muove e lavora sia ben illuminato.

Ciò si garantisce con un opportuno illuminamento medio cilindrico.

L'illuminamento medio mantenuto non deve essere inferiore a 50 lx con  $U_0 \geq 0,10$ , valutato su un piano orizzontale ad una specifica altezza, ad esempio 1,2 m per persone sedute e 1,60 m per persone in piedi.

Nelle zone in cui è importante una buona comunicazione visiva, come in uffici sale riunioni ed aule, l'illuminamento medio cilindrico non dovrebbe essere inferiore a 150 lx, sempre con  $U_0 \geq 0,10$ .





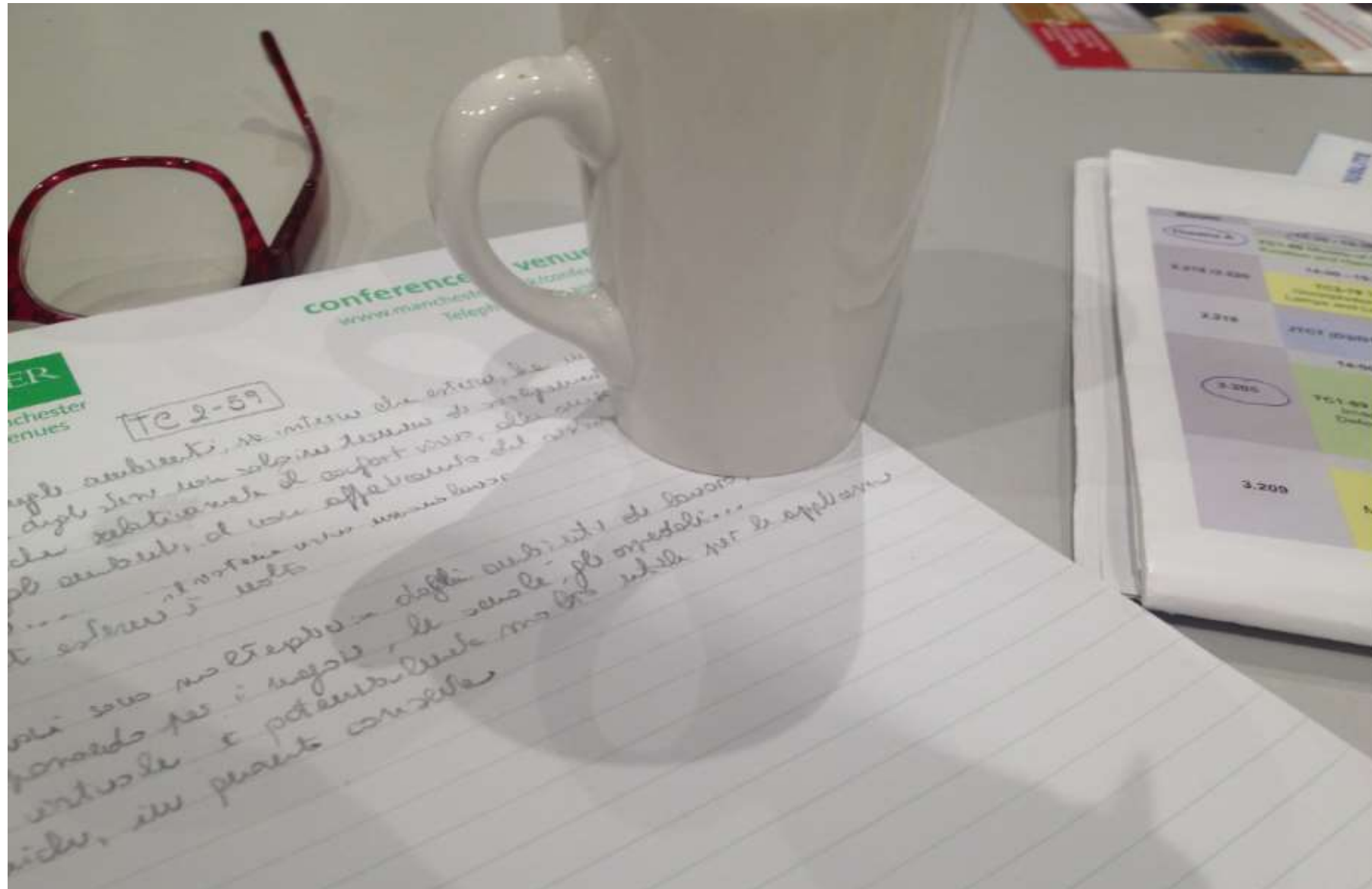
## Il modellato

L'illuminazione direzionale viene utilizzata per mettere in evidenza oggetti, rivelare la trama dei tessuti e migliorare l'aspetto delle persone nello spazio. Il modellato è il risultato dell'equilibrio tra illuminazione diffusa e direzionale.



In presenza di installazioni uniformi di corpi illuminanti o lucernai, tale rapporto dovrebbe essere compreso tra 0,30 e 0,60. Luce naturale da superfici verticali e luce artificiale hanno in genere distribuzioni spaziali notevolmente differenti e l'integrazione non appare sempre «armonica»

## Effetti di ombre multiple



## Integrazione luce naturale - artificiale





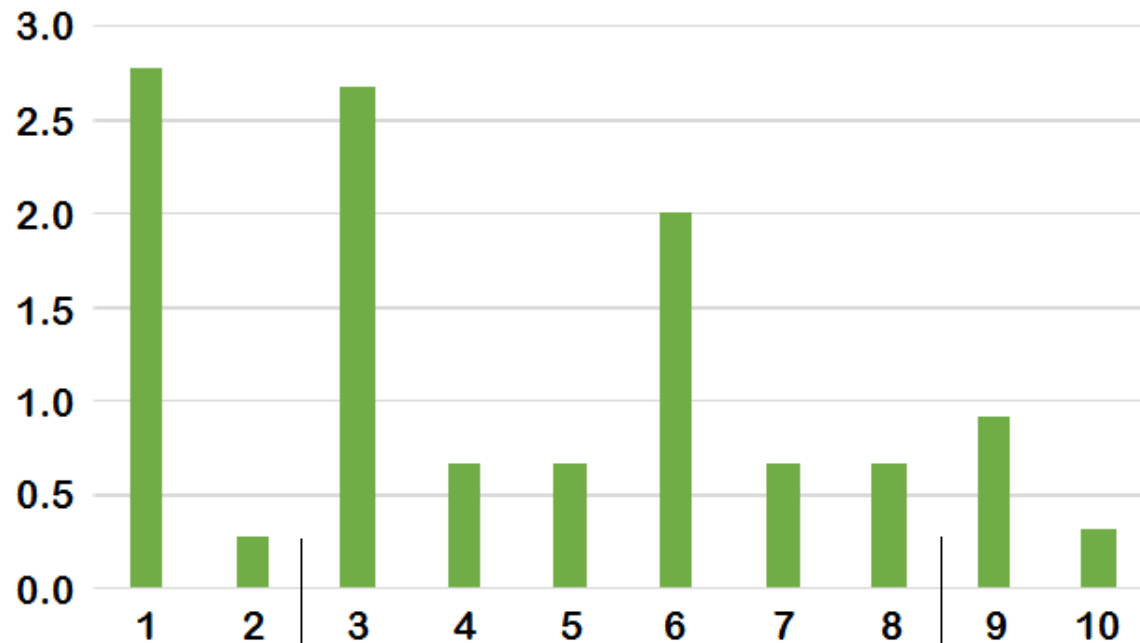






# LIGHTING ROLE IN CERTIFICATION SYSTEMS AVAILABLE IN ITALY

Lighting incidence on total score [%]



1. Daylighting
2. Automated systems

---

3. Daylighting
4. View out
5. Internal and external lighting levels, zoning and control
6. Energy efficient design features
7. External lighting
8. Reduction of night time light pollution

---

9. Indoor lighting
10. Exterior lighting



L'energia totale utilizzata per l'illuminazione è data da:

$$W = W_L + W_p \text{ [kWh/anno]},$$

in cui:

- $W_L$  è l'energia consumata dagli apparecchi illuminanti
- $W_p$  è l'energia parassita necessaria al circuito di messa in carica del sistema di illuminazione di emergenza e dal sistema di controllo dell'illuminazione in stand-by.

Il Lighting Energy Numeric Indicator è definito come

$$\text{LENI} = W / A \text{ [kWh/(m}^2\text{x anno)],}$$

in cui  $A$  è l'area utile totale del pavimento dell'edificio [ $\text{m}^2$ ]

## Valutazione dell'energia dovuta all'illuminazione

$$W_L = \frac{\sum \{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_o \cdot F_D) + (t_N \cdot F_o)]\}}{1000}$$

In cui:

$P_n$  = la potenza totale per l'illuminazione installata nell'ambiente o nella zona considerata [W];

$F_c$  = Fattore di illuminamento costante

$F_o$  = Fattore di occupazione

$F_D$  = Fattore di dipendenza dalla luce naturale

$t_D$  = ore di funzionamento in presenza di luce naturale [h]

$t_N$  = ore di funzionamento in assenza di luce naturale [h]

Valutazione dell'energia parassita:

$$W_P = \frac{\sum \{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + (P_{em} \cdot t_{em})\}}{1000}$$

In cui:

$P_{pc}$  = potenza di input per tutti i sistemi di controllo degli apparecchi illuminanti [W];

$P_{em}$  = Potenza totale installata per l'alimentazione del sistema di emergenza [W];

$t_{em}$  = Periodo di tempo in ore n cui le batterie si ricaricano

$t_y$  = numero di ore dell'anno = 8760 h;

$t_D$  = ore di funzionamento in presenza di luce naturale;

$t_N$  = ore di funzionamento in assenza di luce naturale

## Potenze

**Potenza** assorbita per l'illuminazione

**Potenza** assorbita per i sistemi di controllo

**Potenza** assorbita per la ricarica delle luci di emergenza

## Tempi

**Ore** in cui è disponibile la luce naturale

**Ore** in cui non è disponibile la luce naturale

**Ore** di ricarica batterie per luci di emergenza

**Ore** per anno

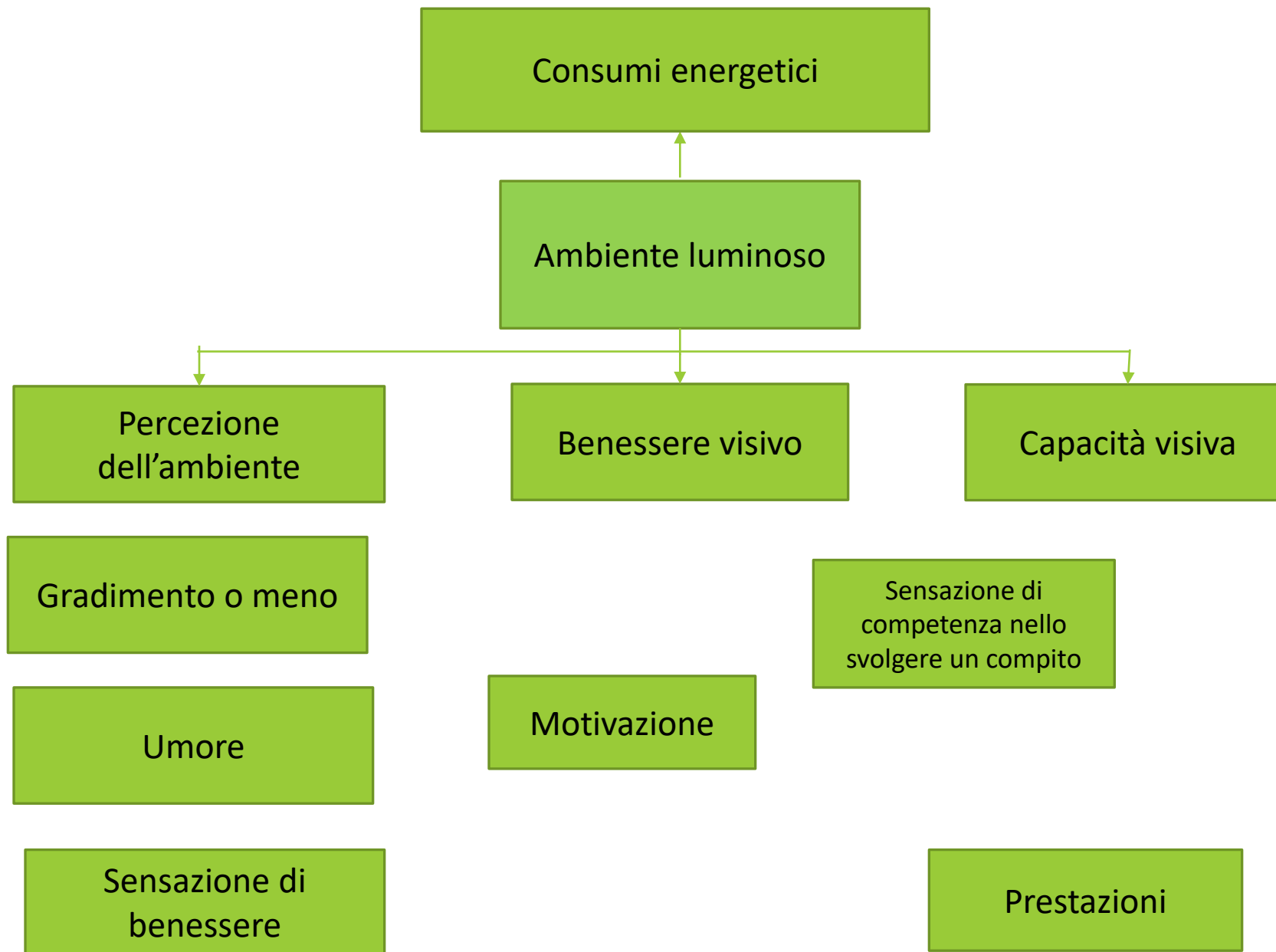
## Fattori riduttivi del fabbisogno energetico

**Fattore** di illuminamento costante

**Fattore** di dipendenza dall'occupazione

**Fattore** di dipendenza dalla luce naturale

$$\text{LENI} = \frac{\text{Energia}}{\text{Area utile edificio}} \quad [\text{kWh/m}^2 \text{ anno}]$$



# Ambiente luminoso

Caratteristiche  
e ottiche e  
geometriche  
delle superfici

Scelta e  
collocazione  
e sorgenti,  
fotometrie

Distribuzione  
e spettrale  
sorgenti

Accesso di luce  
naturale

Sistemi di regolazione e  
controllo

Luminanze,  
distribuzioni  
, contrasti

Abbagliamento

Illuminamenti,  
uniformità

Modellato

Flicker

Prestazioni visive

Senso di spazialità

Comunicazione  
interpersonale

Effetti sui ritmi  
circadiani

Umore

Benessere visivo

Prestazioni  
nell'eseguire attività

Attenzione

Gradimento  
estetico

Effetti su  
disturbi affettivi  
stagionali

Preferenze

# Essere umano

# Approccio dinamico

Variabilità della luce naturale

Variabilità in relazione a differenti attività

Variabilità in funzione dell'ora del giorno

## In che modo integrare?

Gli intervalli di variazione dei parametri fotometrici che consentono una adeguata percezione dell'ambiente circostante sono molto ampi ed inoltre dipendono dalla posizione e dall'orientamento dell'osservatore (adattamento visivo).

Gli illuminamenti su superfici orizzontali non sempre sono rappresentativi della percezione di luminosità di un ambiente.



Gli illuminamenti misurati a livello degli occhi sono proporzionali alla luminanza media in ambiente (luminanza di adattamento), rispetto alla quale si possono valutare i vari gradienti.  $L = E/\pi$ . Tuttavia si preferisce considerare gli illuminamenti su superfici orizzontali (compiti visivi).



## Utilizzo dell'illuminazione naturale

In presenza di luce naturale, è indispensabile il suo utilizzo, ma è altresì necessario garantire che l'illuminazione artificiale possa integrare quella naturale quando questa non è sufficiente. Inoltre quando la luce naturale è sufficiente, è opportuno spegnere le sorgenti artificiali.



Sistemi di controllo automatico (daylight linked controls)

La scelta di un particolare tipologia di controllo dipende dalla **distribuzione** e dalla **variabilità** della luce naturale e può determinare diverse entità di risparmio conseguibile.

È opportuno che tale scelta sia effettuata in fase di progetto preliminare, onde consentire una adeguata realizzazione che ottimizzi le diverse esigenze

## Sistema di gestione e controllo

Un sistema di gestione e controllo della luce è l'insieme di una serie di dispositivi atti a ricevere dati e a rielaborarli in segnali, in modo da modificare le condizioni di funzionamento dei sistemi di illuminazione naturale o artificiale.

I sistemi di controllo possono essere classificati in tre macro categorie sulla base delle modalità di controllo:

➤ manuali



➤ automatici



➤ misti



## Perché scegliere un sistema automatico?

L'utilizzo di un sistema di controllo automatico consente di ottenere diversi benefici:

- risparmio energetico;
- miglioramento delle condizioni di comfort visivo;
- controllo degli effetti sul comfort termico dovuti all'illuminazione;
- maggiore flessibilità dell'impianto;
- valorizzazione dello spazio architettonico;
- semplificazione delle operazioni di manutenzione.

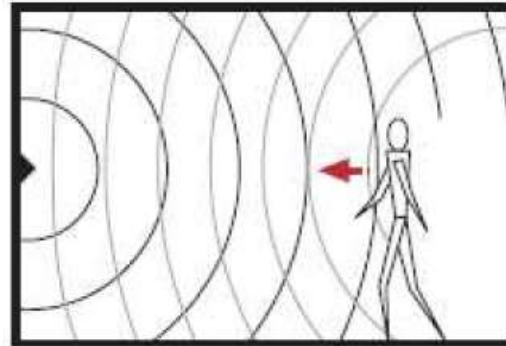
## Tipologie di sistemi automatici

I sistemi automatici per il controllo dell'illuminazione si dividono in tre grandi famiglie:

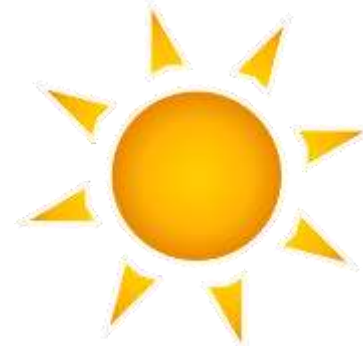
➤ Timer based systems



➤ occupancy based systems



➤ daylight-linked systems



## Daylight-linked systems



Un sensore rileva  
la luce naturale

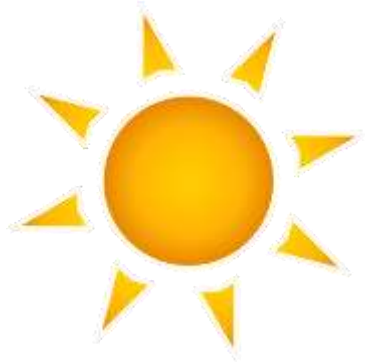
invia un segnale  
ad un controller  
che lo rielabora  
sulla base di un  
algoritmo di  
controllo e lo  
traduce in un  
comando

che gestisce  
l'accensione, lo  
spegnimento e la  
regolazione degli  
apparecchi  
illuminanti

## Daylight-linked systems

Sono i sistemi più complessi da progettare:

### ➤ daylight-linked systems



- si basano sullo sfruttamento di luce naturale, che è una risorsa estremamente variabile;
- a differenza degli altri, che si limitano a spegnere le luci quando gli utenti sono assenti, regolano l'emissione di flusso luminoso dei corpi illuminanti quando gli utenti sono presenti. Di conseguenza influiscono più degli altri sistemi sul benessere degli occupanti di uno spazio;
- numerosi parametri influenzano le loro prestazioni.

## Valutazione della disponibilità di luce naturale

A prescindere dal contesto geografico e meteorologico, l'accesso e la distribuzione della luce naturale all'interno degli ambienti di un edificio dipendono da:

- Posizione, orientamento e dimensioni delle superfici trasparenti, in relazione alle dimensioni delle superfici opache ed alle caratteristiche geometriche degli ambienti illuminati
- Caratteristiche ottiche delle superfici interne (fattori di riflessione luminosa).

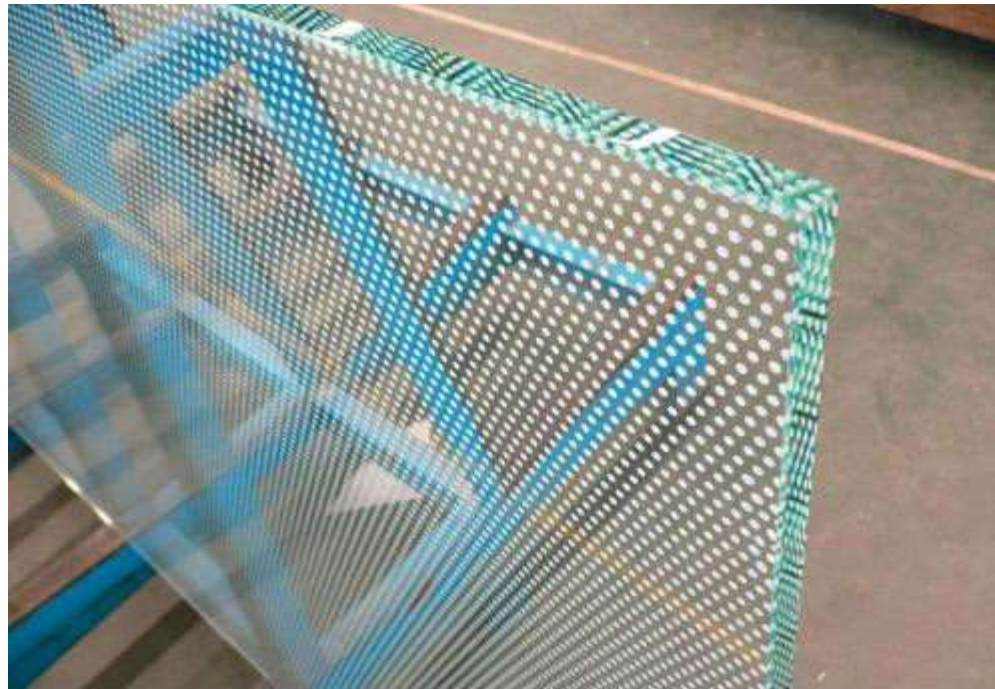
L'accesso di luce naturale, evitando fenomeni di abbagliamento e surriscaldamento, può essere massimizzato mediante l'adozione di adeguate strategie.

I componenti trasparenti, comprensivi di dispositivi accessori, consentono di modificare:

- La quantità di luce in ingresso
- La distribuzione spaziale
- La distribuzione spettrale

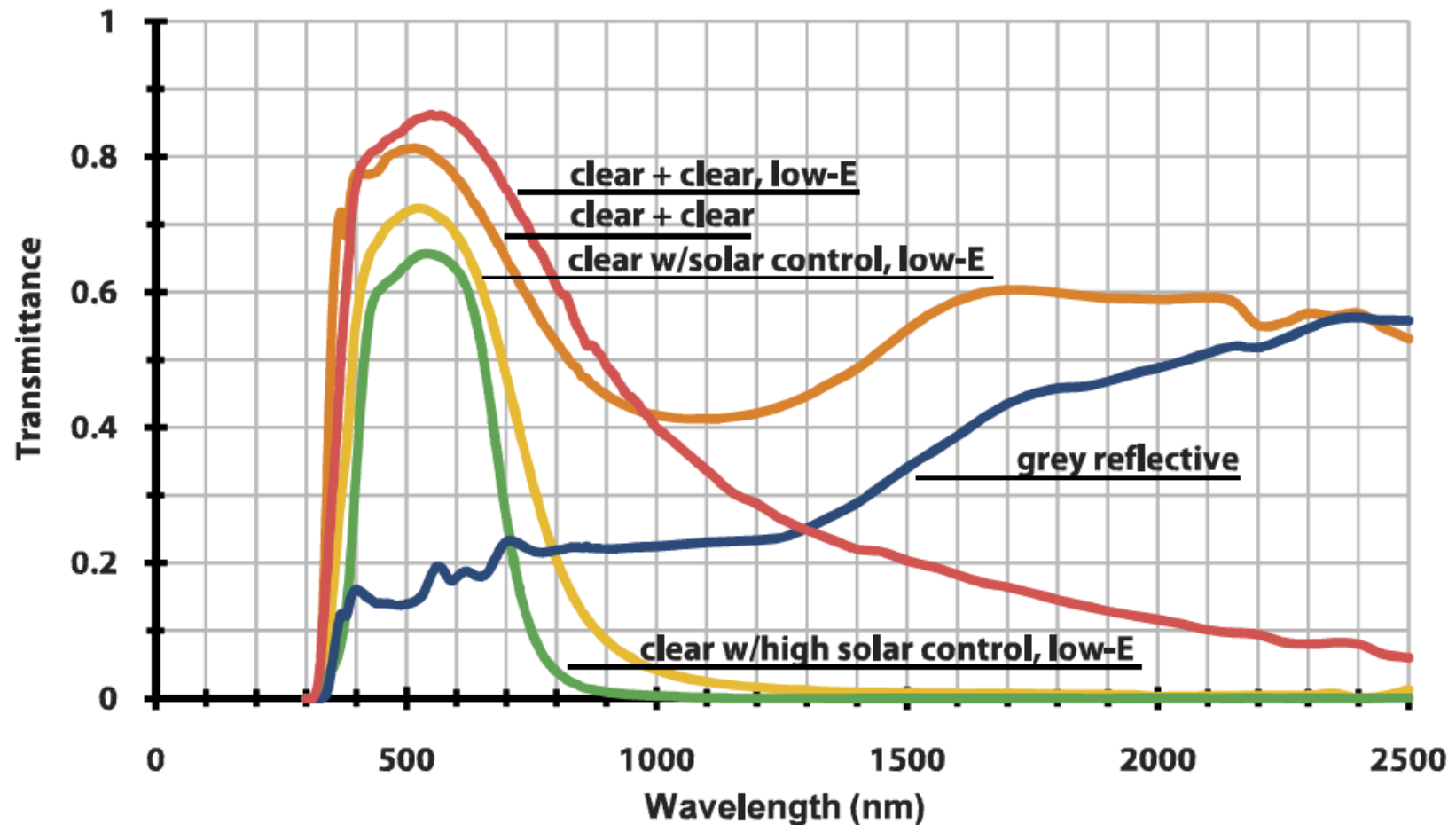


Effetti visivi  
Effetti non visivi  
Riduzione consumi





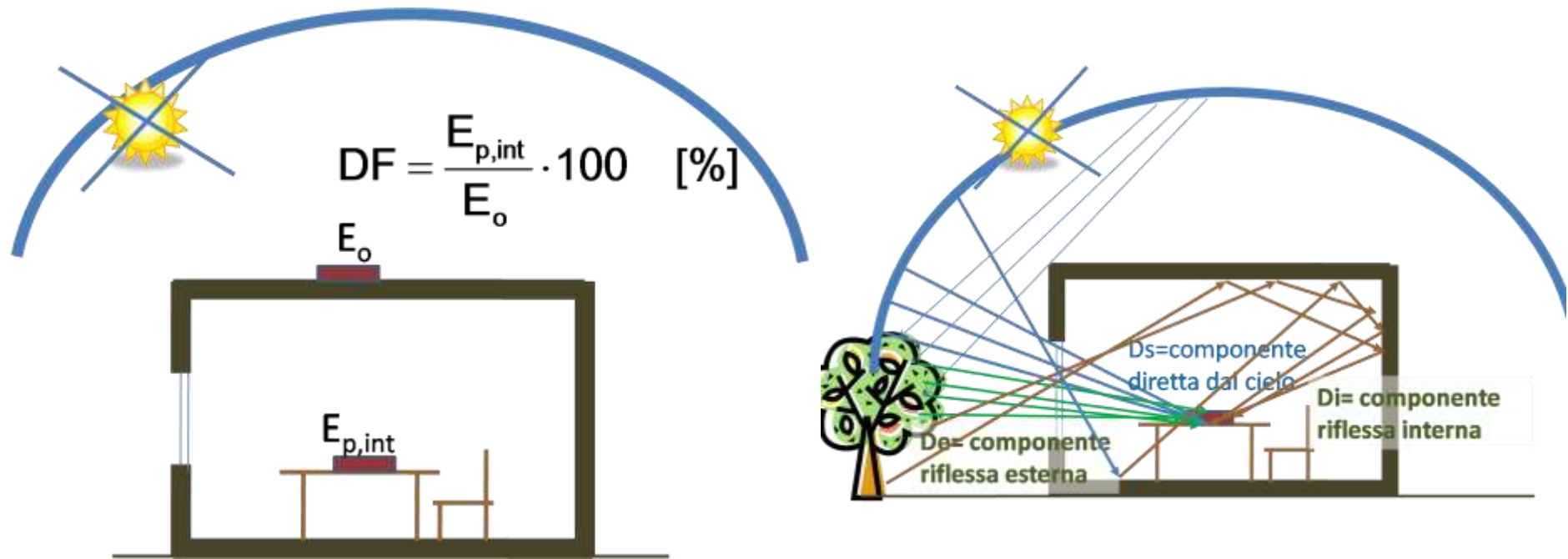
Indipendentemente dal quantitativo di luce naturale che penetra all'interno degli edifici, la scelta di un particolare componente trasparente rispetto ad un altro determina un diverse distribuzioni spettrali per le radiazioni in ingresso.



## Come quantificare l'accesso di luce naturale?

Parametro «statico»: **fattore di luce diurna (DF)**.

Finalità: garantire un minimo accesso di luce naturale, indipendentemente dall'orientamento e dalla presenza di radiazione solare diretta.

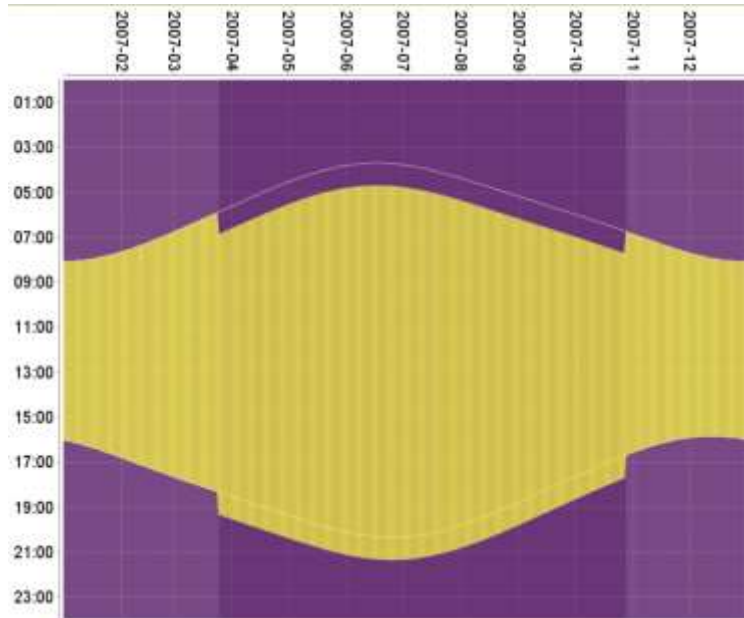


## Approccio dinamico (CBDM)

- Variazioni spaziali
- Variazioni temporali
- Le variazioni nel tempo di accesso di luce naturale producono effetti istantanei. → I valori medi nel tempo non sono molto significativi.

### Uso di file climatici

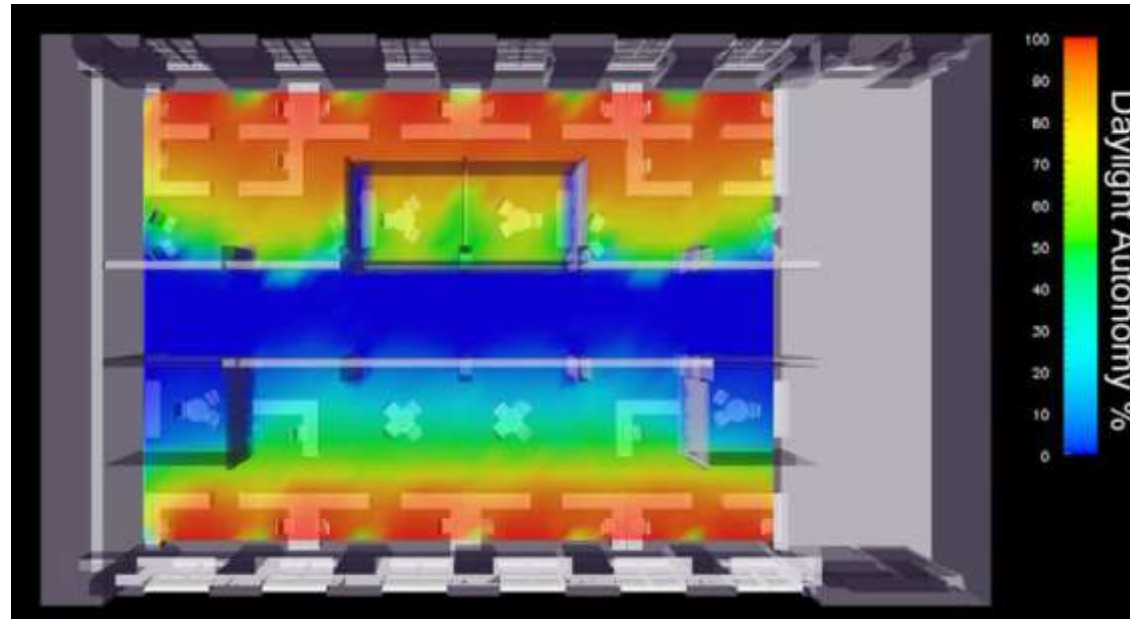
- Il dimensionamento dell'impianto di illuminazione artificiale va effettuato in assenza di illuminazione naturale (ma deve tenere conto della disponibilità di luce naturale nelle varie aree).



## Daylight Autonomy

(il concetto fu introdotto nel report CIE «Daylight» del 1970)

Fissato il valore di illuminamento minimo ( $E_m$ ) da realizzare in corrispondenza di un dato punto o su una data superficie e l'intervallo di tempo giornaliero in cui l'ambiente è utilizzato (profilo di occupazione) in un dato periodo (ad esempio un anno), tale parametro rappresenta la percentuale del tempo di occupazione (calcolata con passo di un'ora) per cui non è necessario usufruire della luce artificiale, ossia la luce naturale riesce a garantire l'illuminamento richiesto. Una autonomia del 100% significa che, nel periodo in esame, non è mai necessaria l'integrazione con luce artificiale.



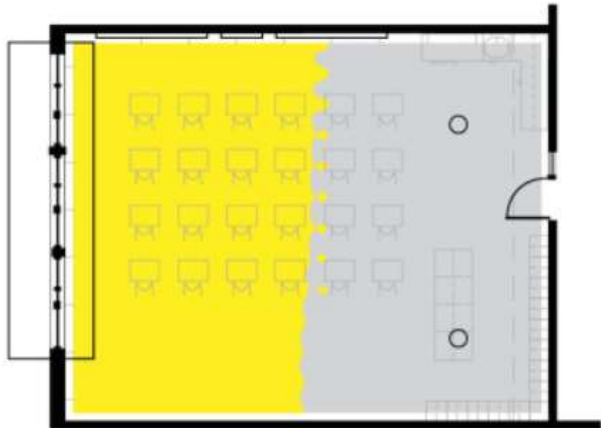
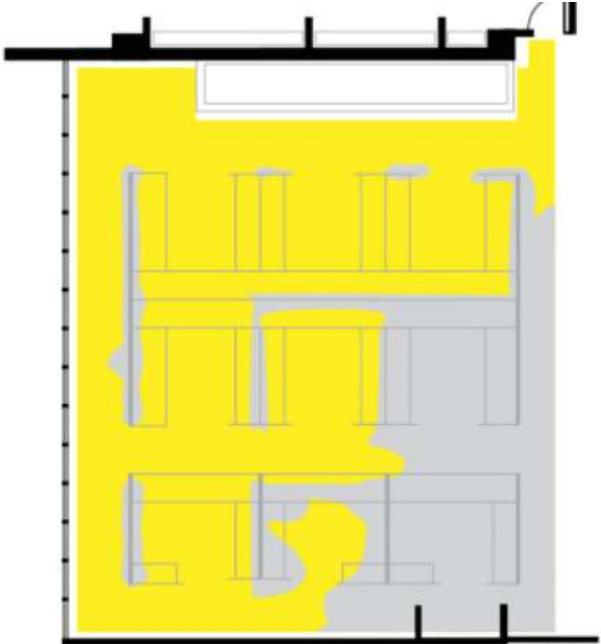
Questo parametro può essere impiegato per la valutazione della **qualità dell'ambiente luminoso**, per il **risparmio energetico**, per l'**illuminazione in ambito museale** in presenza di materiali sensibili alla luce.

## **Autonomia continua di luce naturale (Continuous daylight autonomy).**

E' possibile conseguire risparmi, anche quando l'illuminazione naturale non realizza i valori di illuminamento richiesti, ma una percentuale di questi (ad es il 50%). In tal caso è possibile valutare in che percentuale di tempo gli illuminamenti nelle zone esaminate raggiungono una data frazione degli illuminamenti richiesti. Tale percentuale, al variare delle percentuale degli illuminamenti, viene definita autonomia "continua" di luce naturale.

**Autonomia spaziale di luce naturale (Spatial daylight autonomy).** Descrive quanta percentuale di una superficie riceve *sufficiente* luce naturale. Normalmente viene calcolata come la percentuale dell'area di un ambiente in cui si raggiungono 300lx per almeno il 50% delle ore in cui lo spazio è occupato. In base alla definizione di tale parametro, non viene fornita alcuna indicazione riguardante la contemporaneità o meno del raggiungimento delle suddette condizioni.

# Spatial daylight autonomy (SDA)



## **Zonal Daylight Autonomy (zDA)**

E' un parametro descrittivo di quanto è disponibile in media la luce naturale in una data area o zona, con riferimento ai valori di illuminamento prescritti.

Una volta definita tale area ed in essa una griglia di sensori o punti di misura, fissato un periodo di osservazione, si contano le occorrenze (con cadenza oraria) per cui sono raggiunti o superati i livelli di illuminamento richiesti (ad esempio 300 lx) e si sommano tali occorrenze per tutti i sensori. Tale somma viene poi divisa per il numero di sensori e per il numero di ore che definisce il periodo in esame (spesso coincidente con le ore di utilizzo in un anno).

## **Temporal Daylight Autonomy (tDA)**

La «temporal Daylight Autonomy» rappresenta la frazione di tempo in cui il valore di illuminamento prescritto è raggiunto o superato per una percentuale dell'area in esame (o del numero di sensori) pari ad almeno il 75%.

## **Direct Sunlight Hours**

E' un parametro che rappresenta il numero di ore in cui su un dato punto o su una data area incide radiazione solare diretta.

Tale informazione può essere utile per quantificare l'uso di dispositivi schermanti mobili oppure per la scelta delle più opportune strategie di controllo della radiazione solare diretta.

## Annual Sunlight Exposure (ASE).

Describe quanta percentuale di spazio riceve troppa radiazione solare diretta, che può essere causa di fenomeni di surriscaldamento ed abbagliamento.

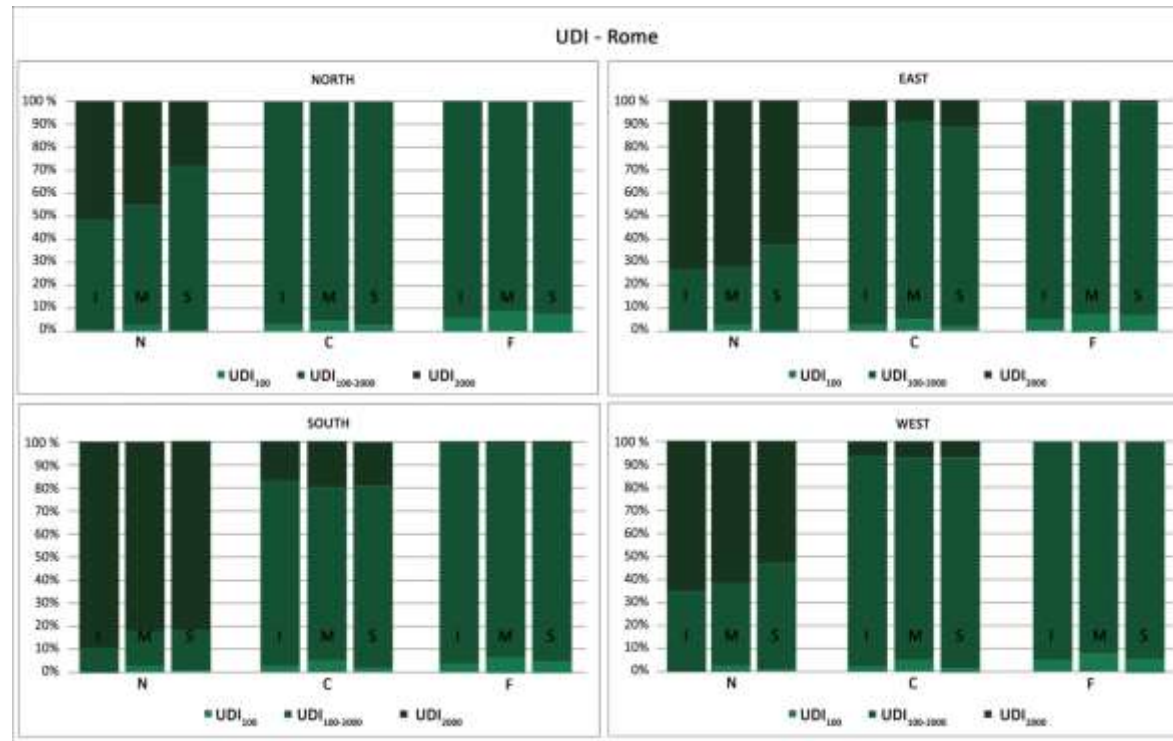
ASE rappresenta la percentuale di area su superficie orizzontale che riceve almeno 1000 lux di illuminamento diretto per almeno 250 ore di occupazione all'anno.





## Useful Daylight Illuminance (UDI)

Analizzando i valori degli illuminamenti dovuti a luce naturale in un dato punto o su una assegnata superficie per un dato periodo in esame, si considerano “inutili” i valori di illuminamento al di sotto dei 100 lux, utili quelli compresi tra 100 e 2000 lux ed eccessivi quelli che superano i 2000 lux, poiché ad essi possono essere associati fenomeni di abbagliamento. E' dunque possibile calcolare le percentuali di tempo in cui si verificano le suddette condizioni, ossia la luce naturale determina illuminamenti insufficienti, sufficienti o integrabili con un funzionamento parzializzato dell'illuminazione artificiale.



## Scelta della tipologia di controllo

**Open loop:** il sensore rileva solo l'illuminazione esterna

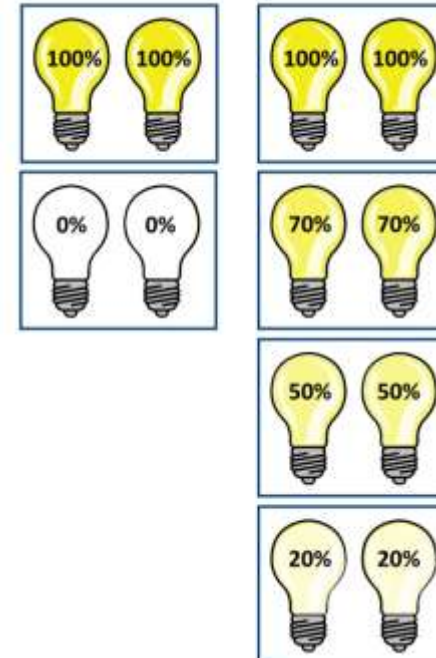
**Closed loop:** il sensore rileva sia l'illuminazione esterna che interna

**On-off switching:** la luce elettrica viene accesa e spenta in funzione della luce naturale disponibile

**Dimming:** la luce elettrica viene regolata in continuo in funzione della luce naturale disponibile

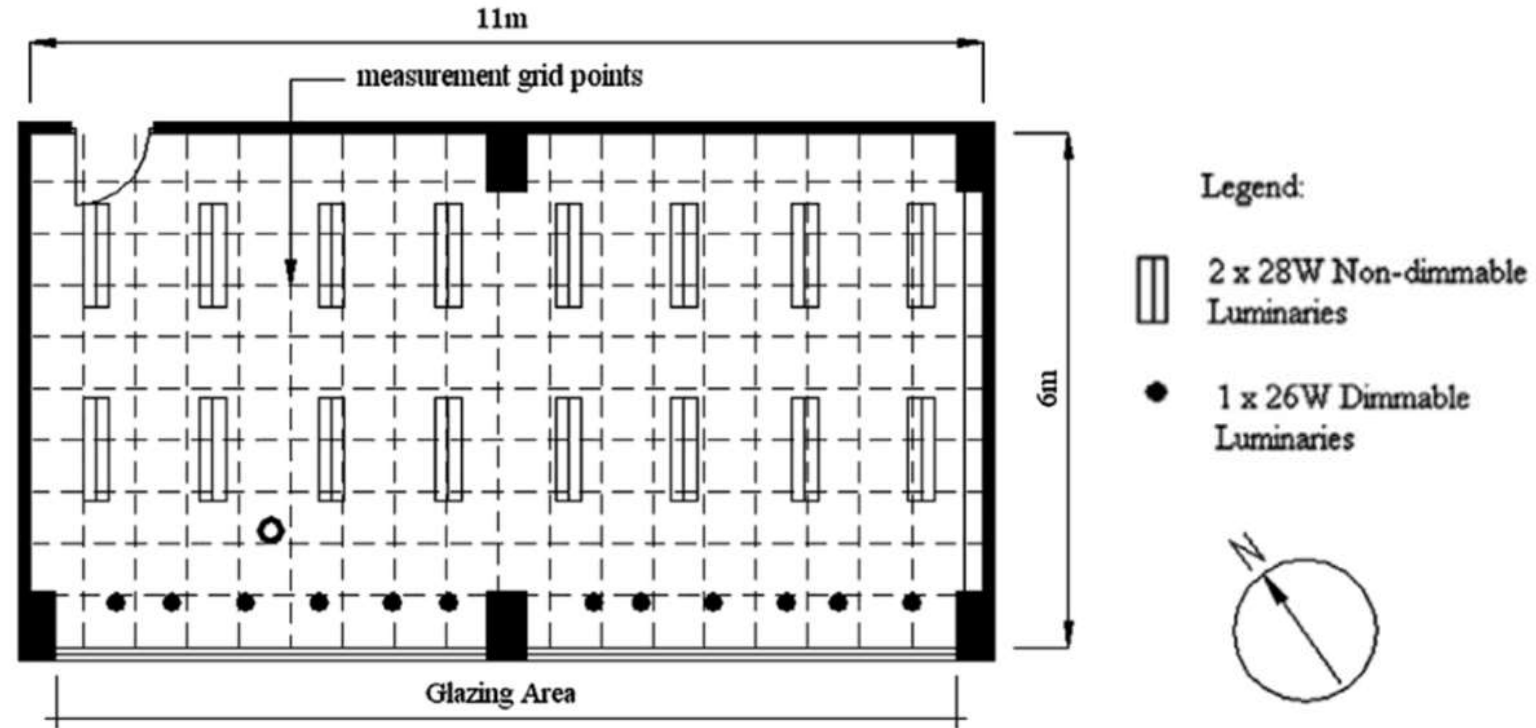
### ON-OFF SWITCHING

### DIMMING



## Definizione dei gruppi di controllo

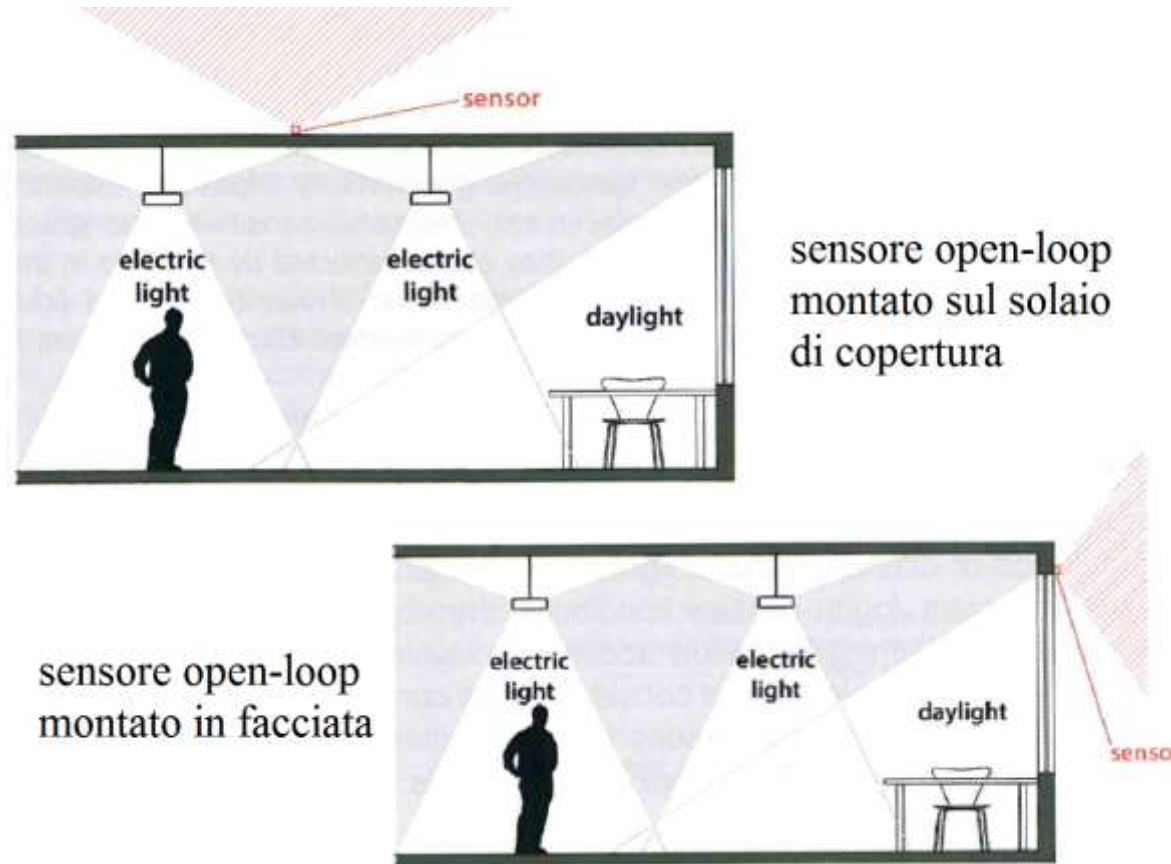
Si definisce gruppo di controllo un insieme di apparecchi illuminanti regolati tutti allo stesso modo.



Fonte: Li, Danny HW, et al. "An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls." *Applied Energy* 87.2 (2010): 558-567.

## Scelta e collocazione dei fotosensori

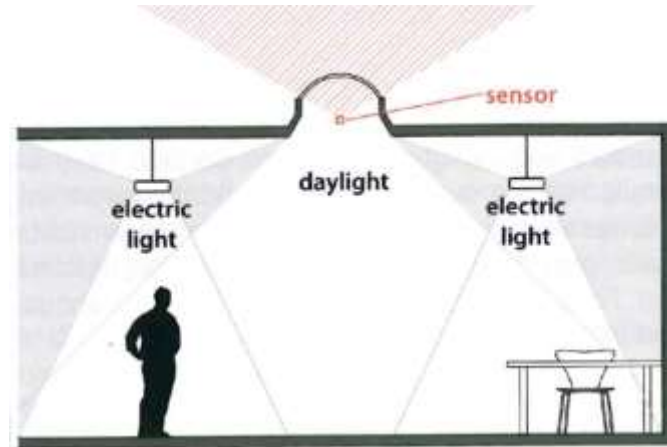
Sensori open-loop da esterno: il sensore rileva solo la luce naturale



Fonte: IES, Recommended practice for daylighting buildings, 2013

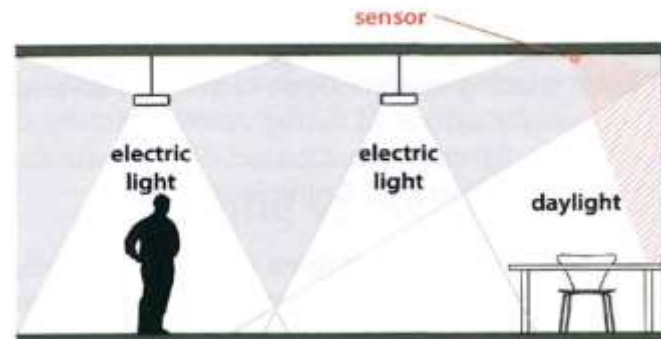
## Scelta e collocazione dei fotosensori

**Sensori open-loop da interno:** il sensore è puntato verso i sistemi finestrati e rileva solo luce naturale



seniore open-loop  
montato all'interno  
di un lucernaio

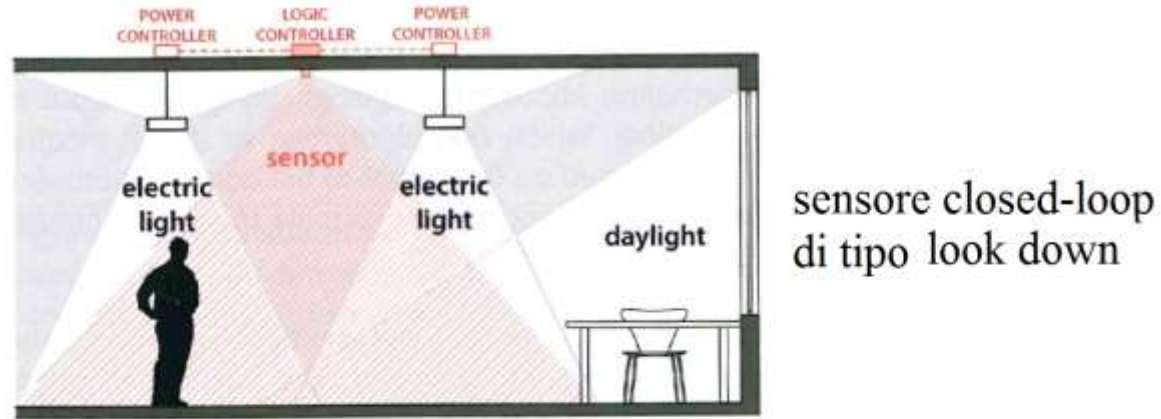
seniore open-loop  
di tipo look out



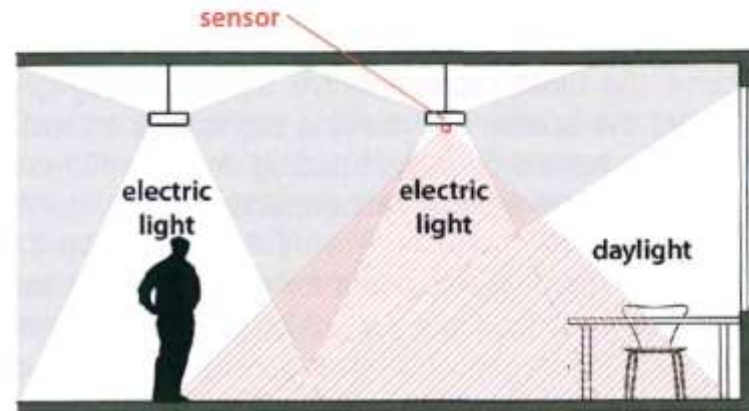
Fonte: IES, Recommended practice for daylighting buildings, 2013

## Scelta e collocazione dei fotosensori

Sensori closed-loop: rilevano sia la luce naturale che quella artificiale



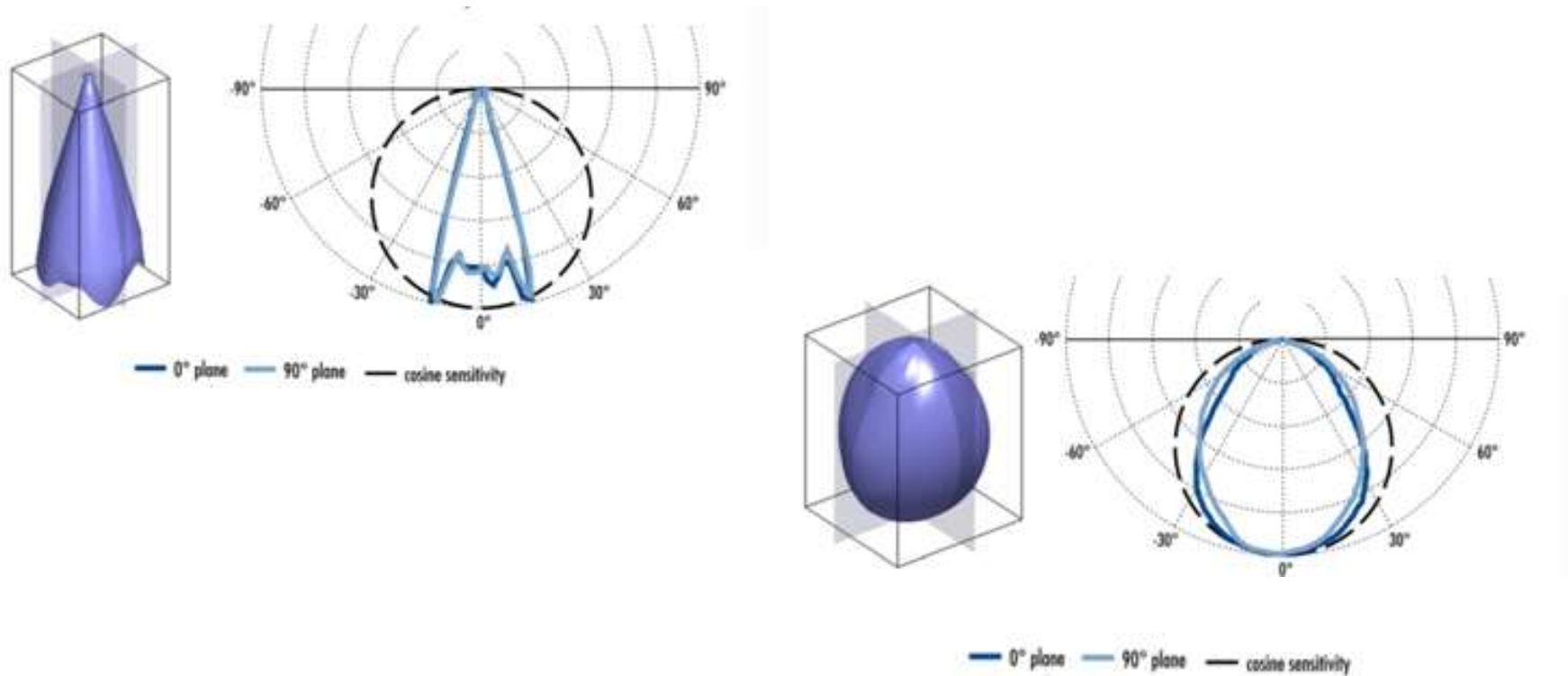
sensore closed-loop  
incorporato nel corpo  
illuminante



Fonte: IES, Recommended practice for daylighting buildings, 2013

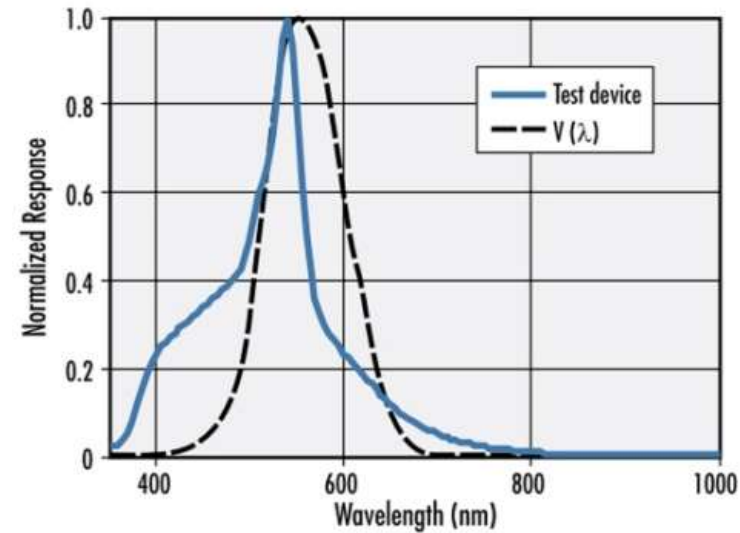
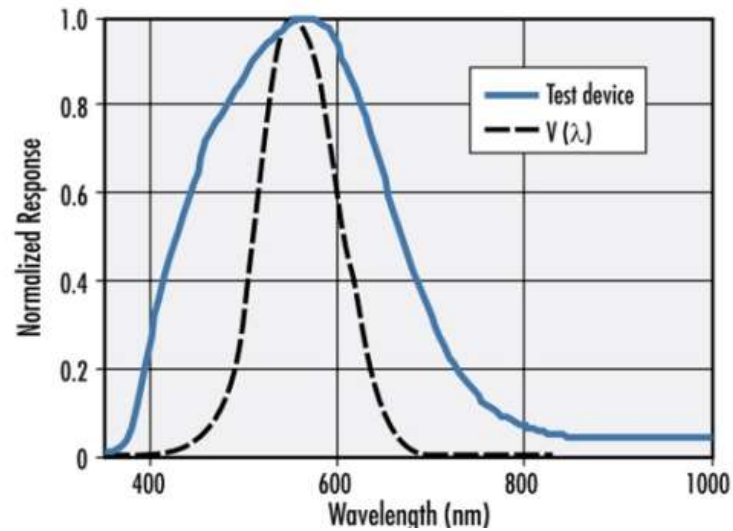
## Caratteristiche dei fotosensori

**La risposta spaziale:** descrive la sensibilità del sensore rispetto alla direzionalità della radiazione incidente.



## Caratteristiche dei fotosensori

La **risposta spettrale**: descrive la sensibilità del sensore al variare della lunghezza d'onda della radiazione incidente

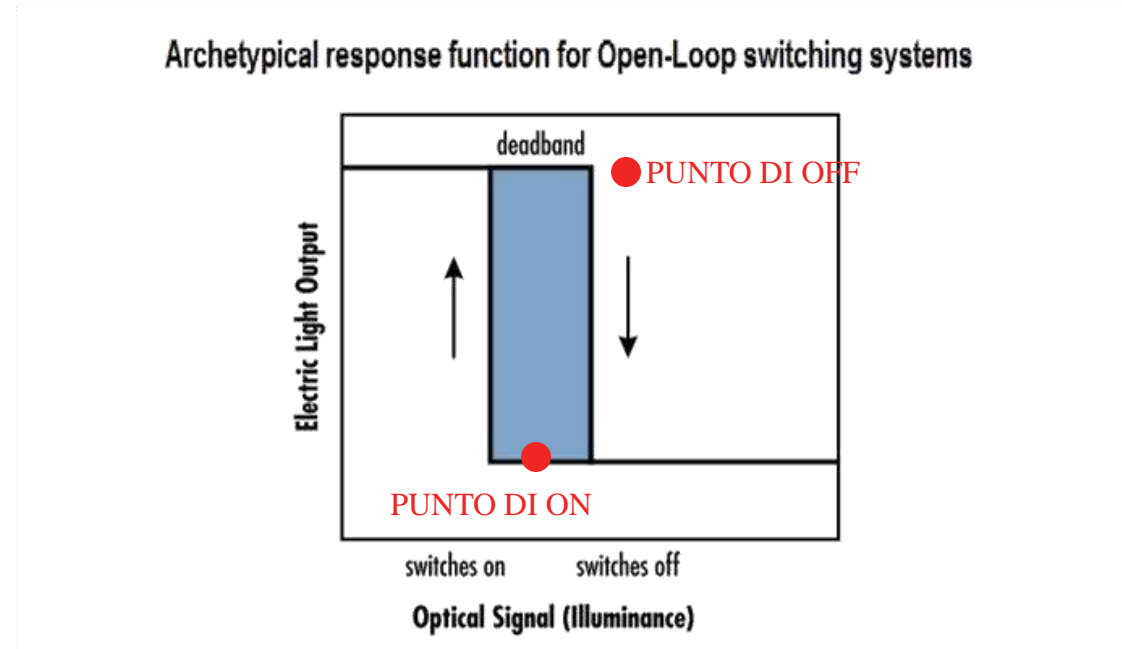


Fonte: NLPIP National Lighting Product Information Photosensors Program - Dimming and Switching Systems for Daylight Harvesting; 2007.



## Algoritmi di controllo

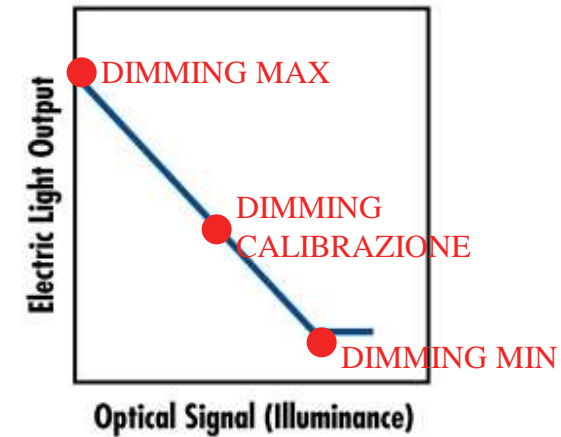
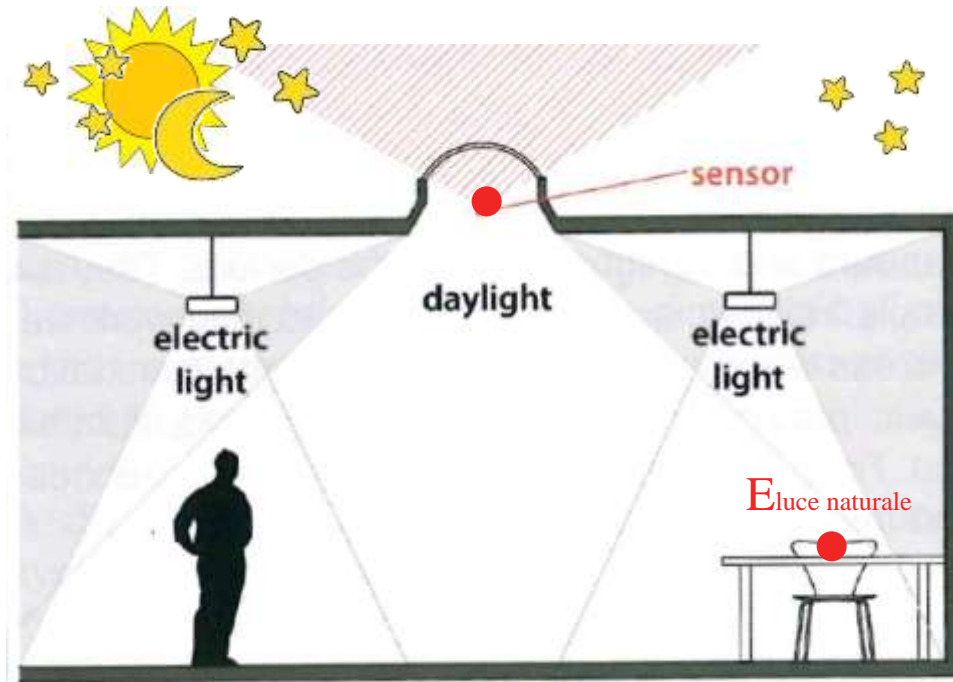
Il segnale generato dal sensore viene inviato al controller che lo rielabora sulla base di un algoritmo di calcolo integrato. L'algoritmo consente di trasformare il segnale di input in un comando per i terminali controllati, ossia gli apparecchi illuminanti.



Fonte: NLPIP National Lighting Product Information Photosensors Program - Dimming and Switching Systems for Daylight Harvesting; 2007.

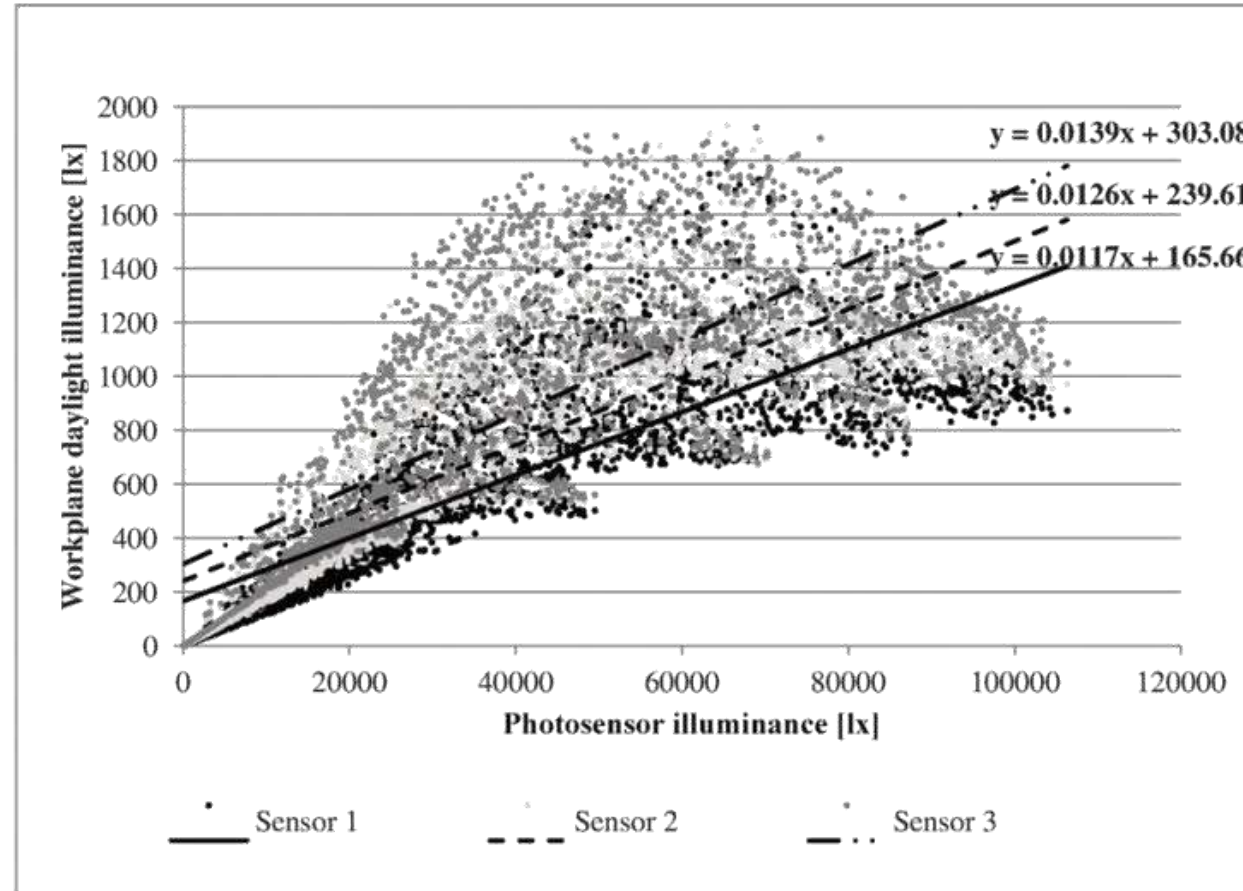
## Calibrazione del sistema

La fase di calibrazione consiste nell'individuare, sulla base di misure in campo, i punti fondamentali necessari a settare l'algoritmo di controllo.



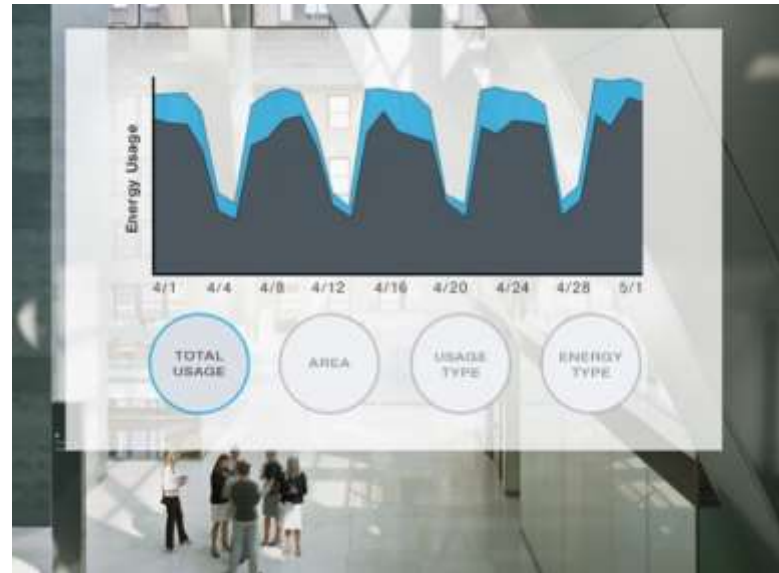
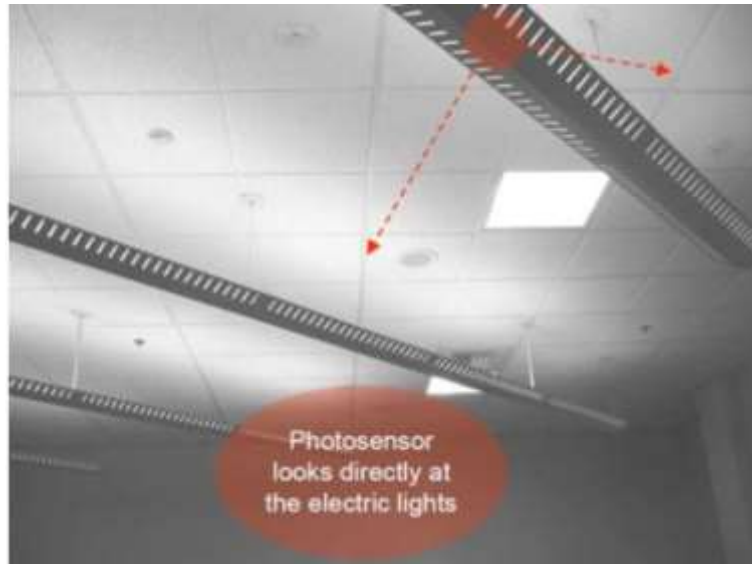
# Calibrazione del sistema

The correlation between photosensor illuminance [lx] and workplane daylight illuminance [lx]



Fonte: Bellia L, Fragliasso F, Pedace A. Evaluation of Daylight Availability for Energy Savings. Journal of Daylighting 2015; 2: 12-2.

## Monitoraggio, controllo e messa a punto del sistema (commissioning)

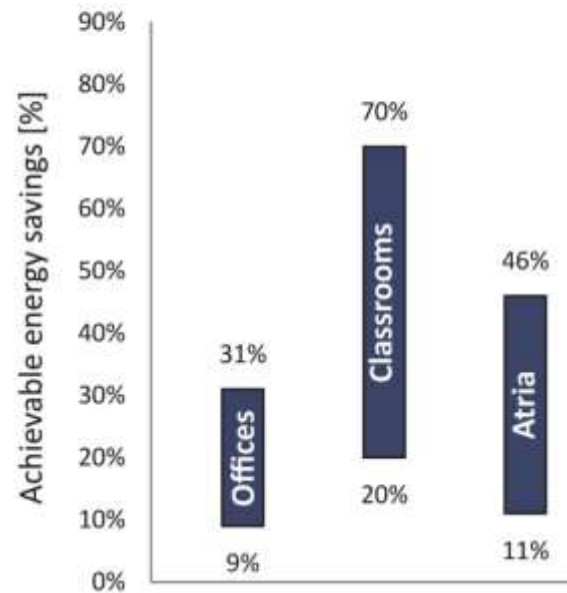


La verifica che il sistema si comporti effettivamente come teorizzato è fondamentale. Date le incertezze legate alla variabilità della luce naturale, al fatto che ciò che «vedono» i sensori non coincide con quanto deve essere ottenuto, dal fatto che l'algoritmo di controllo si basa su dati statistici mediati, può accadere che, a valle della installazione e messa in opera del sistema, si verifichino condizioni non soddisfacenti. Attraverso il monitoraggio è possibile effettuare diagnosi su anomalie di comportamento ed apportare delle modifiche al sistema ed al funzionamento dello stesso. Tale fase è fondamentale sia ai fini del comfort visivo e del benessere dell'uomo che per gli aspetti energetici e di impatto ambientale e va eseguita con accuratezza.

## Daylight-linked systems: benefici

Solo una progettazione rigorosa ed una regolazione accurata consentono di ottenere i benefici desiderati in termini sia di risparmio energetico che di soddisfazione degli occupanti.

Energy savings achievable thanks to the use of daylight-linked controls

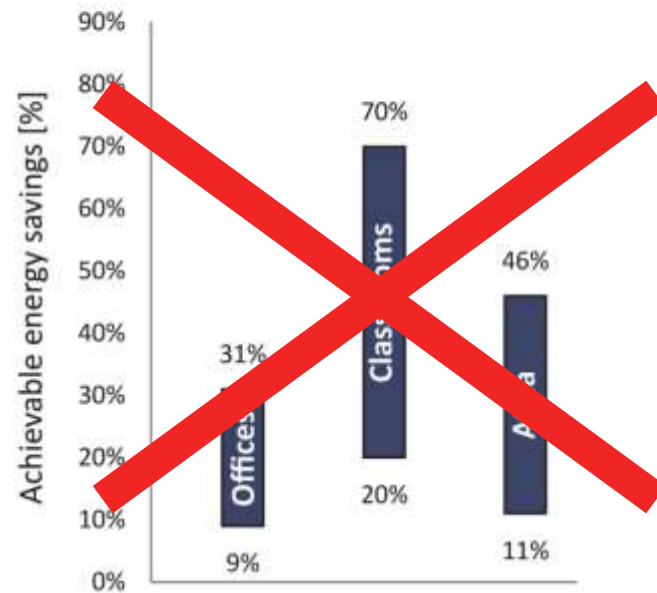


Fonte: Mohammed Asif ul Haq, Mohammed Yusri Hassan, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin, Dalila Mat Said. A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 33:268-279

## Daylight-linked systems: potenziali svantaggi

Un occupante insoddisfatto tende a disabilitare il controllo automatico ed i risparmi energetici attesi vengono persi. Un occupante attento risparmia più energia di un sistema automatico progettato male.

Energy savings achievable thanks to the use of daylight-linked controls



Fonte: Mohammed Asif ul Haq, Mohammed Yusri Hassan, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin, Dalila Mat Said. A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 33:268-279

Grazie