



Università degli Studi di Cassino
Facoltà di Ingegneria - Polo di Frosinone

Lezioni del Corso

Tecnica del Controllo Ambientale

lezione n.03

A.A. 2005-2006 docente: ing. Giorgio Ficco



Indice

1. Le Grandezze Fotometriche
2. La Misura di Illuminamento
3. La Misura dell'Intensità Luminosa
4. La Misura di Luminanza
5. La Misura del Flusso Luminoso
6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche
7. L'Inquinamento Luminoso





1. Le Misure Fotometriche

- (1) **intensità luminosa (I , cd)**
rapporto tra flusso luminoso ed angolo solido
- (2) **flusso luminoso (f , lm)**
quantità totale di energia luminosa emessa da una sorgente in un intervallo di tempo (potenza)
- (3) **luminanza (L , cd/m^2)**
rapporto tra l'intensità luminosa irradiata e la superficie emittente apparente (proiezione della superficie emittente sull'ortogonale alla direzione)
- (4) **radianza (R , $lm\ s.b.$)**
radiazione visibile emessa da una superficie riflettente (bianco di riferimento)
- (5) **illuminamento (E , lm/m^2)**
quantità di luce che arriva su una superficie - *lux* ($lumen/m^2$)

**1. Le Misure Fotometriche**

<i>Simbolo</i>	<i>Grandezza</i>	<i>Espressione</i>	<i>Unità di misura</i>
Φ	Flusso Luminoso	$K(\lambda) \cdot P(\lambda)$	Lumen (<i>lm</i>)
E	Illuminamento	$\frac{d\phi}{dA}$	Lux (lm/m^2)
I	Intensità Luminosa	$\frac{d\phi}{d\Omega}$	Candela (<i>lm/sr</i>)
L	Luminanza	$\frac{dI}{dA \cos \alpha}$	Nit (cd/m^2)
M	Radianza	$\frac{d\phi}{dA}$	Lux s.b. (lm/m^2)



1. Le Misure Fotometriche

(1) **intensità luminosa** (I , cd) e (2) **flusso luminoso** (ϕ , lm) sono caratteristiche proprie della sorgente luminosa, mentre l'illuminamento rappresenta l'effetto da questa prodotto su una superficie ricevente; l'**intensità luminosa** è la grandezza fotometrica fondamentale e la sua unità di misura, la **candela** (cd), è una delle 7 unità di misura fondamentali del SI.

(3) **luminanza** (L , cd/m^2) e (4) **radianza** (R , $lm\ s.b.$) sono grandezze rappresentative sia delle sorgenti illuminanti che delle superfici riceventi

5) **illuminamento** (E , lm/m^2) e luminanza sono le grandezze utilizzate nelle normative per il benessere visivo:

- quanta luce occorre per un compito visivo (**illuminamento**)
- contenimento dei fenomeni di abbagliamento (**luminanza**)



1. Le Misure Fotometriche

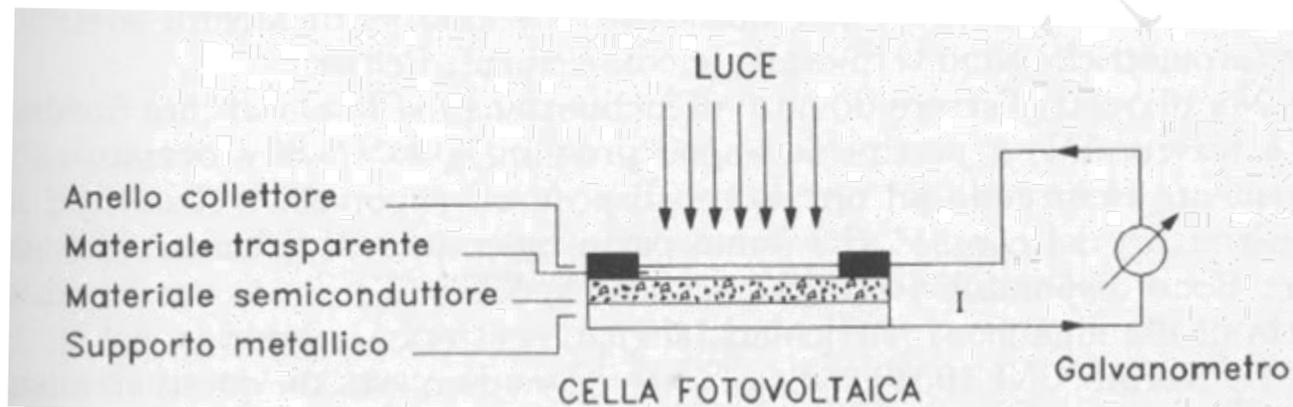
I principali parametri illuminotecnici da controllare in un ambiente sono:

- ✚ il fattore di luce diurna FLD_m ricostruibile da misurazioni di livelli di illuminamento
- ✚ livello di illuminamento (quantità dell'illuminazione in un ambiente)
- ✚ luminanza (qualità dell'illuminazione in un ambiente)

2. La Misura di Illuminamento

La misura di illuminamento (*luxmetro*)

Si impiega una tecnica fotoelettrica, ossia la luce incide su un ricettore costituito di silicio (materiale semiconduttore fotovoltaico) e genera una corrente misurabile in un circuito di misura attraverso un microamperometro (risoluzione anche di 10^{-14} A).



La corrente generata risulta proporzionale alla quantità di energia luminosa incidente e quindi la sua misura conduce, mediante opportune scale di conversione, alla misura dell'energia luminosa.



2. La Misura di Illuminamento

Il segnale in microcorrente generato viene amplificato attraverso un amplificatore con uscita in tensione e successivamente viene tradotto in segnale in corrente da un convertitore tensione-corrente (trasporta il segnale senza perdite significative anche con cavi lunghi).

Per descrivere l'efficienza spettrale del flusso luminoso del campo di frequenze tra 380nm e i 780nm, il fotometro deve avere una risposta all'energia luminosa quanto più vicina alla curva fotopica di sensibilità relativa $V(\lambda)$, ovvero deve simulare il più possibile l'occhio umano normalizzato dal punto di vista fotometrico.

Questo si realizza impiegando dei filtri effettuati sovrapponendo degli strati colorati in modo tale da ottenere una risposta spettrale vicina alla curva $V(\lambda)$.



2. La Misura di Illuminamento

Le cause di errore nelle misure di illuminamento sono le seguenti:

A. scostamento tra la curva di funzionamento dello strumento e quella dell'occhio in visione fotonica

Per poter abilitare uno strumento, costituito da una cellula fotoelettrica e da un microamperometro ad eseguire misure fotometriche di illuminamento, si dovrà verificare prima di ogni altra cosa che la sensibilità spettrale del fotoelemento sia quanto più possibile vicina alla curva di visibilità dell'occhio medio internazionale. In pratica è possibile raggiungere apprezzabili risultati con l'impiego di particolari filtri da disporre sull'elemento fotosensibile. Del fattore di trasmissione di tali filtri si tiene conto di solito nella fase di taratura dello strumento.

B. difetti di linearità del rapporto illuminamento-corrente dell'elemento fotosensibile; in generale gli scarti di linearità aumentano con l'aumentare della resistenza esterna e dell'illuminamento. Il pregio degli strumenti che mantengono lineare tale rapporto è quello di poter disporre di un'unica scala di lettura, uniforme per diversi tempi di misura;

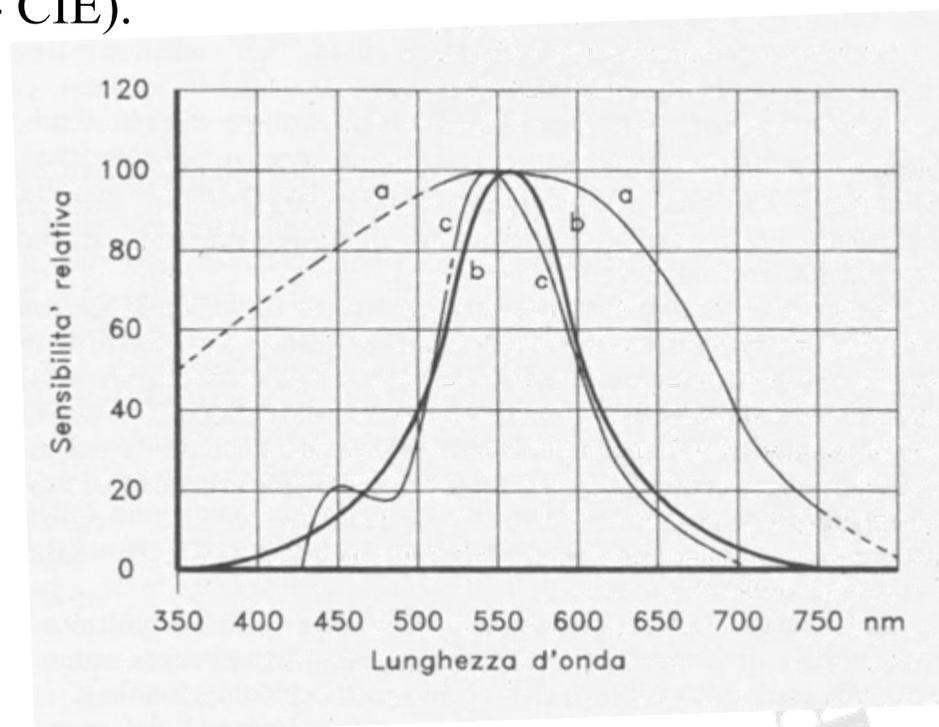


2. La Misura di Illuminamento

- C. variazioni di temperatura: forti scostamenti dalla temperatura di taratura, influenzano la resistenza interna del fotelemento e l'esattezza delle misure può risentirne, soprattutto quando si opera con deboli illuminamenti e forti resistenze di galvanometro. Oltre i 50°C è possibile danneggiare irrimediabilmente il fotelemento e per questo nei Laboratori di Misura sovente le teste fotometriche sono termostatate con elementi Peltier;
- D. inclinazione del fascio di luce incidente rispetto alla verticale:
La taratura dei luxmetri viene sempre effettuata con luce che colpisce perpendicolarmente il piano della cellula; il loro impiego in condizioni differenti di esposizione si traduce quindi in un errore tanto più grave quanto maggiore è l'angolo di inclinazione dei raggi luminosi. Nei luxmetri l'errore dovuto all'inclinazione del fascio di luce incidente non è trascurabile a partire da angoli prossimi a 45° . Si è ovviato all'inconveniente ricorrendo ad opportuni dispositivi, chiamati “diffusori od anche correttori del coseno” che fanno parte integrante dell'elemento fotosensibile.

2. La Misura di Illuminamento

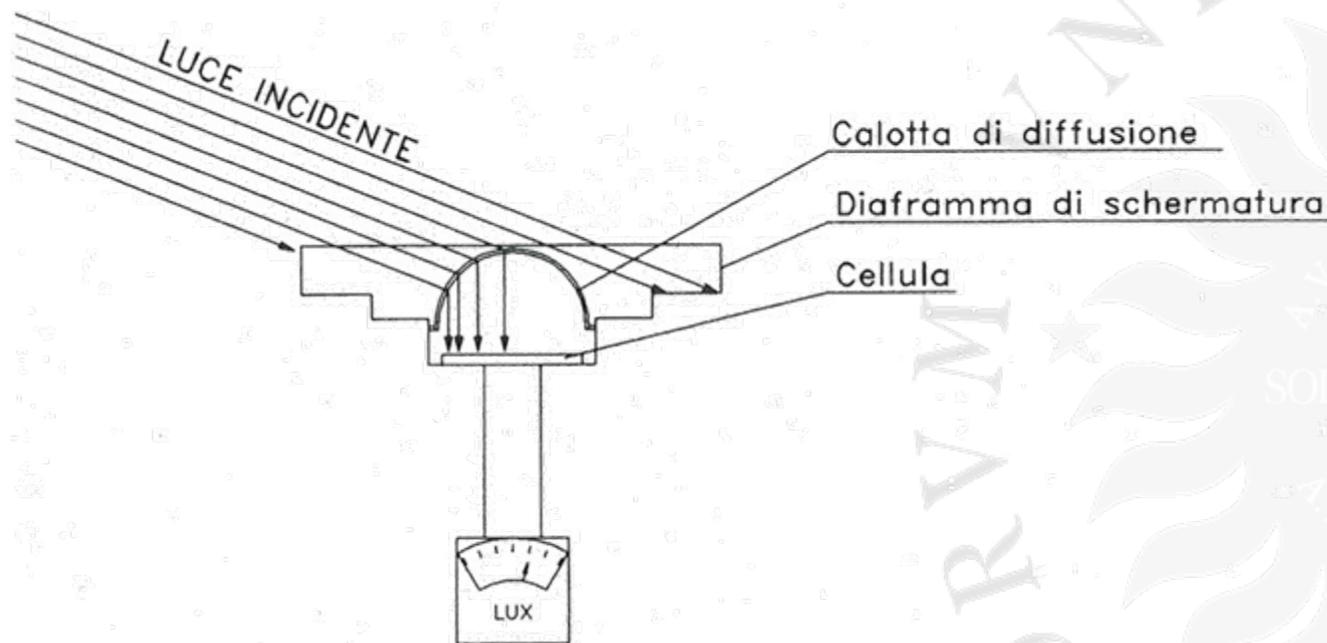
La misura viene corretta mediante filtri ed effettuando una taratura con sorgenti campione in funzione della risposta spettrale (non coincidenza della curva di sensibilità spettrale dello strumento con quella dell'occhio medio internazionale - CIE).



In figura si riporta la risposta di una cella fotovoltaica senza filtro di correzione (a), con filtro di correzione (b) in relazione alla curva (c) di visibilità dell'occhio medio internazionale.

2. La Misura di Illuminamento

Per evitare l'effetto dell'angolo di incidenza (l'effetto è considerevole per angoli superiori a 45°) si utilizzano dei dispositivi (*diffusori*, o *correttori del coseno*) che deviano i raggi luminosi in modo che incidano perpendicolarmente al piano della cella fotovoltaica.



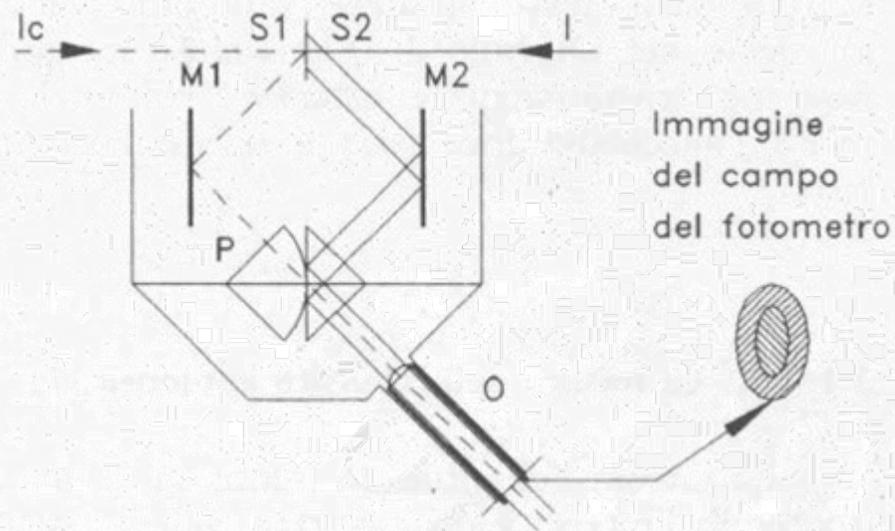
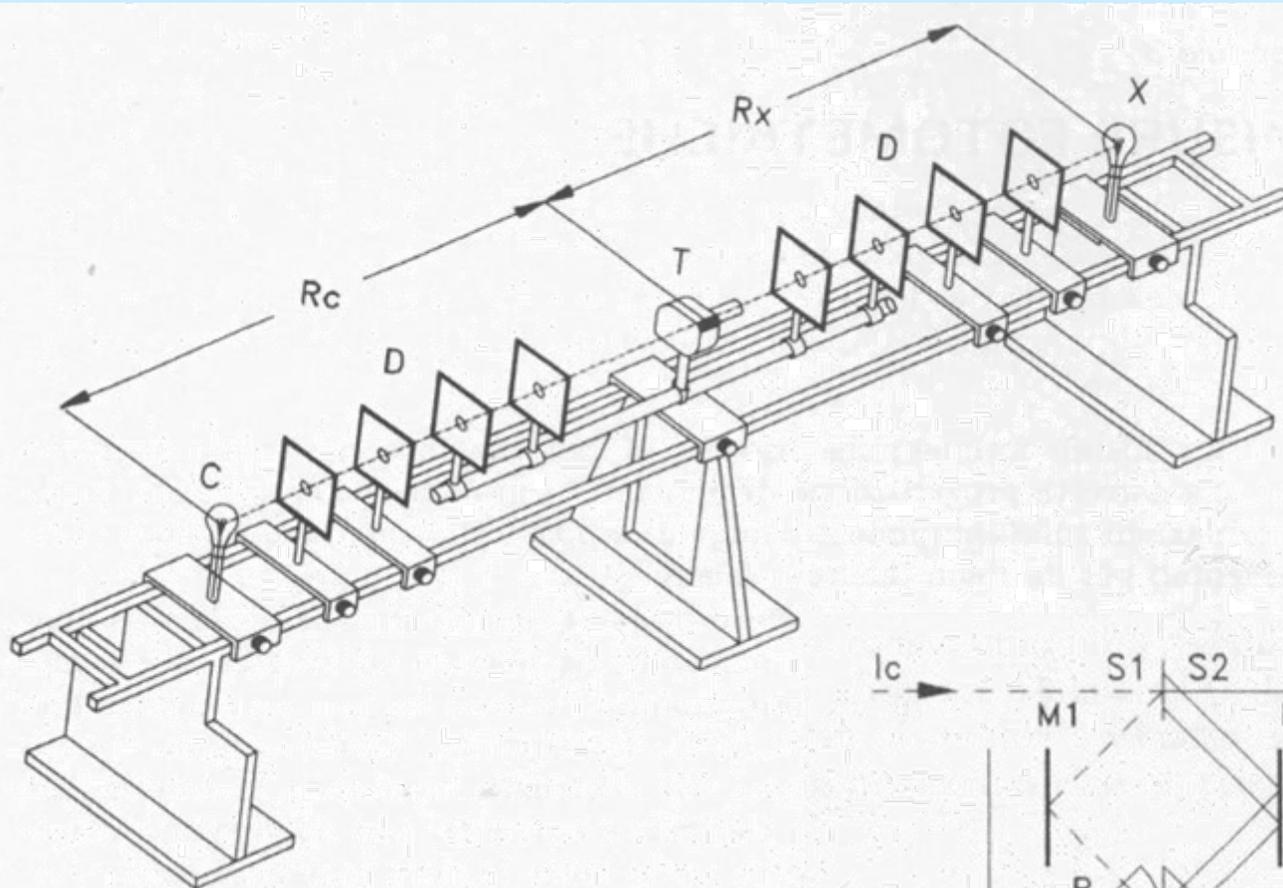
3. La Misura dell'Intensità Luminosa

La misura dell'Intensità Luminosa viene effettuata confrontando l'intensità da misurare con quella di una sorgente campione di riferimento di uguale colore.

Banco Fotometrico di *Lummer e Brodhun*:

- ✚ il confronto avviene tra gli illuminamenti di due superfici uniformemente diffondenti ed identiche illuminate contemporaneamente (nella direzione normale) dalla sorgente campione e da quella incognita.
- ✚ le due sorgenti sono alle estremità di un banco fotometrico rettilineo e schermato lateralmente per evitare illuminamenti dovuti ad altre sorgenti (anche di luce riflessa) che non siano quelli in esame
- ✚ le due superfici sono le due facce diffondenti di un disco piano circolare disposto su un carrello che può muoversi in maniera rettilinea sulle guide del banco
- ✚ il banco fotometrico viene ancora utilizzato per la taratura dei luxmetri (si mette una testina fotometrica su un supporto mobile ad una estremità)

3. La Misura dell'Intensità Luminosa



3. La Misura dell'Intensità Luminosa

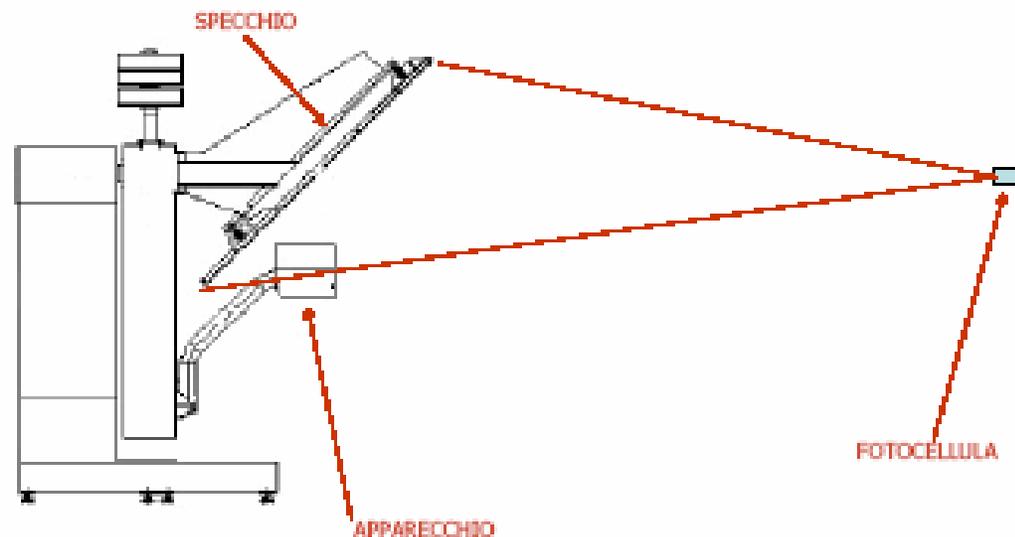
Vale la relazione:

$$E_C = \frac{I_C}{R_C^2} \quad E_X = \frac{I_X}{R_X^2}$$

Quando gli illuminamenti sulle due facce risultano uguali:

$$\frac{I_C}{R_C^2} = \frac{I_X}{R_X^2}; \quad I_X = \frac{I_C \cdot R_X^2}{R_C^2}$$

E' quindi possibile dalla misura di R_C e di R_X ricavare il valore di illuminamento I_X



3. La Misura dell'Intensità Luminosa

La misura dell'intensità luminosa (Goniofotometro)

Il goniofotometro valuta la distribuzione spaziale delle intensità luminose.

Il goniofotometro orienta la superficie sensibile del fotometro perpendicolarmente alla direzione di misura, in maniera da mantenere costante la distanza sorgente - fotocellula per ogni direzione (è come se la superficie sensibile del fotometro si muovesse sulla superficie di una sfera immaginaria di raggio uguale alla distanza di misura tra centro fotometrico e fotometro).

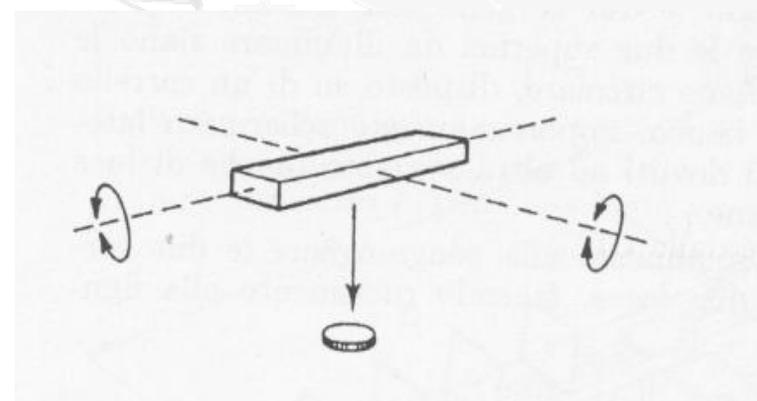
Si può calcolare l'intensità luminosa (I) usando la formula (dove $\cos\alpha=1$).

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}$$

Tecniche di misura:

- a) fotocellula fissa e sorgente che ruota attorno agli assi longitudinale e trasversale

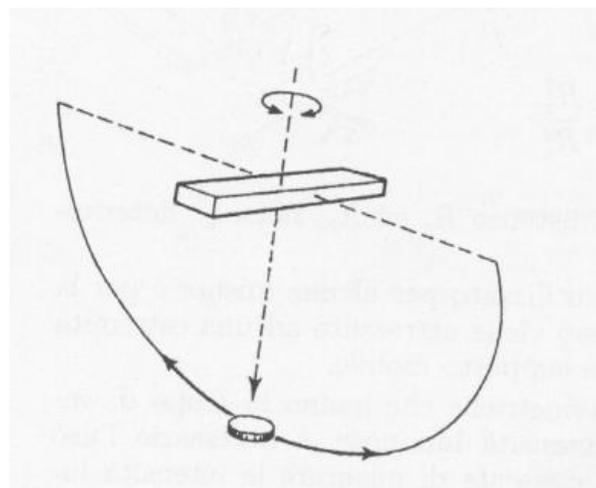
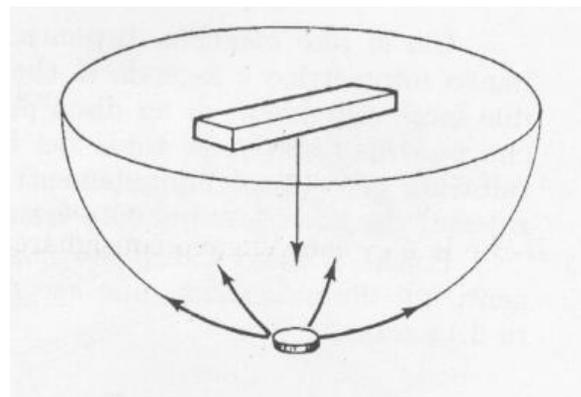
non è adatta per sorgenti influenzate dalla posizione



3. La Misura dell'Intensità Luminosa

- b) sorgente fissa e fotocellula mobile su una superficie emisferica

richiede molto spazio di misura

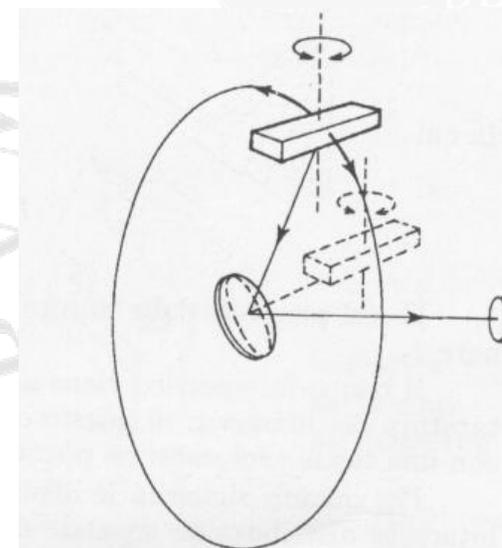


- c) sorgente che ruota intorno al proprio asse verticale e fotocellula mobile su traiettoria semicircolare

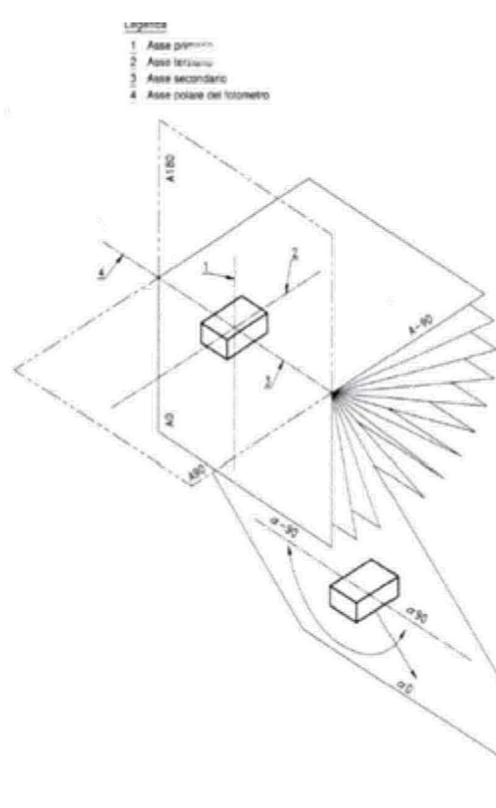
rispetto a b) riduce lo spazio in una direzione

- d) sorgente mobile su traiettoria circolare o rotazione intorno all'asse verticale con uno specchio che invia sempre la luce sulla fotocellula fissa

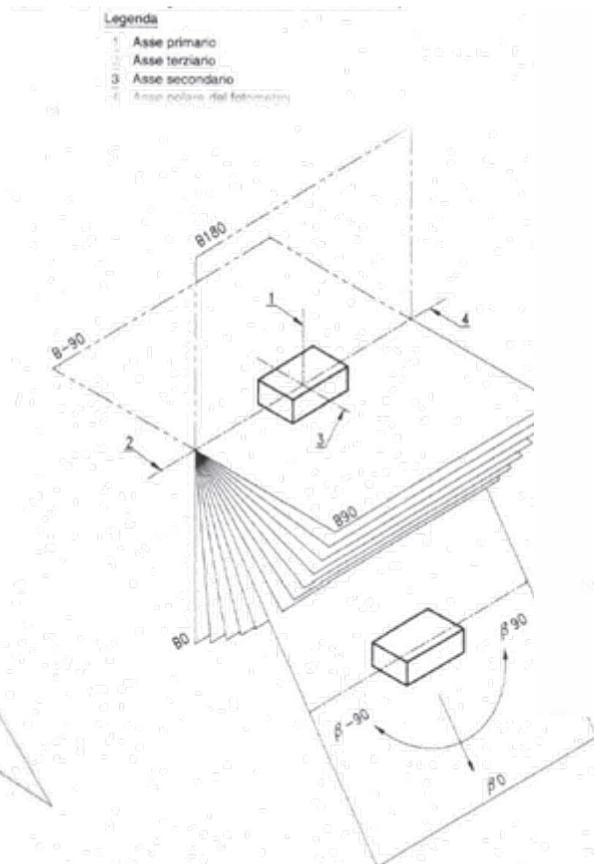
*ha il vantaggio di richiedere grandi spazi solo in una direzione
(la distanza tra specchio e cellula varia tra 10 e 50 m)*



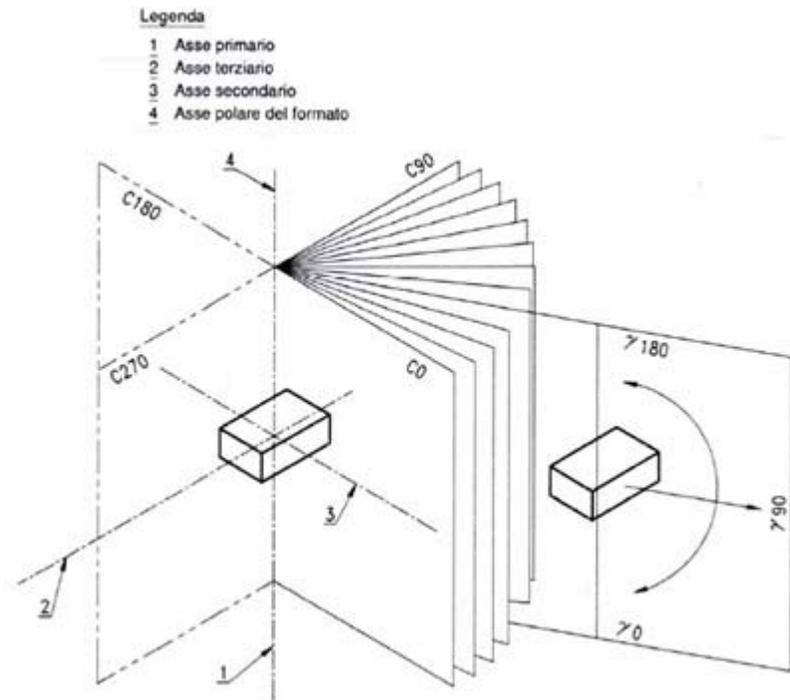
3. La Misura dell'Intensità Luminosa



Orientamento A- α



Orientamento B- β



Orientamento C- γ

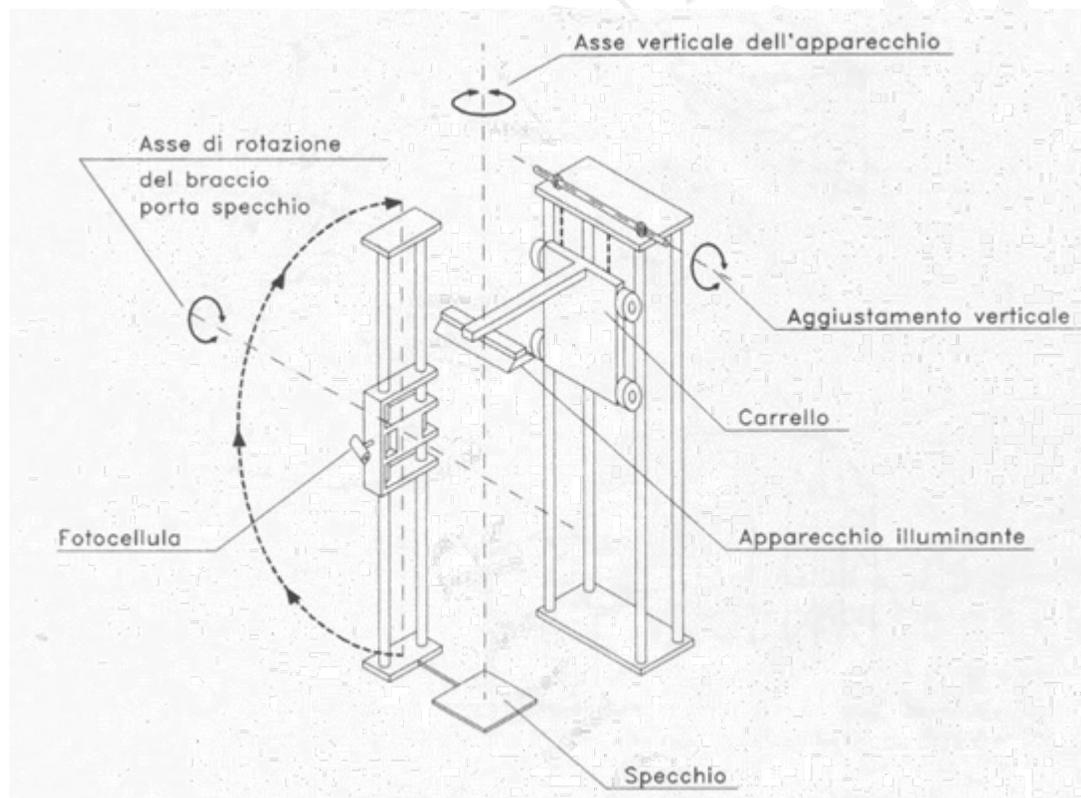
Modalità di presentazione dei risultati



3. La Misura dell'Intensità Luminosa

Nell'uso del goniometro è opportuno osservare le seguenti precauzioni:

- ✚ la cellula deve essere raggiunta solo dai raggi luminosi provenienti dallo specchio
- ✚ lo specchio deve essere sufficientemente grande rispetto alle dimensioni della sorgente da misurare
- ✚ occorre considerare la riflessione e la polarizzazione dello specchio



3. La Misura dell'Intensità Luminosa

Parametro	Requisiti
Stabilità meccanica	la struttura meccanica deve essere tale da garantire, per ogni posizione di misura, che il raggio luminoso uscente dal centro fotometrico della sorgente non diverga per più di $0,5^\circ$ rispetto alla direzione ideale di misurazione
Intersezione degli assi orizzontale e verticale	la distanza tra gli assi orizzontale e verticale non deve essere maggiore di 5mm
Perpendicolarità degli assi orizzontale e verticale	entro un limite di $0,5^\circ$
Posizione e inclinazione dello specchio	<ol style="list-style-type: none">1. la posizione dello specchio deve coincidere a meno 5mm rispetto a quella nominale de progetto riferita alla struttura del goniofotometro.2. l'inclinazione della normale dello specchio deve coincidere a meno di $0,5^\circ$ rispetto a quella nominale di progetto della struttura del goniofotometro
Vibrazione delle parti mobili durante la misurazione	minori di $0,1^\circ$ e con frequenza minore di 10Hz
Posizione errata del rilevatore fotometrico	deve essere posizionata con la superficie sensibile perpendicolare all'asse ottico entro $\pm 0,5^\circ$ e centrata sullo stesso asse entro $\pm 0,2d$, dove d è il diametro dell'area sensibile
Rotazione della sorgente non continua per vibrazioni o sbilanciamenti dei bracci meccanici	<ol style="list-style-type: none">1. <i>misurazione continua</i>: i movimenti della sorgente di luce, trascurando gli istanti iniziali e finali, devono essere contenuti entro il 10% della velocità media di regime2. <i>misurazione a passi</i>: Il movimento di posizionamento devi avvenire senza strappi e a velocità controllata

parametri caratteristici del goniofotometro per misure di illuminamento

3. La Misura dell'Intensità Luminosa

Parametro caratteristico ¹	Simbolo	Valore UNI 10671	Valore CIE 121
Taratura ²	-	2.0%	-
Sensibilità spettrale ³	f ₁	2.0%	2.0%
Sensibilità direzionale ⁴	f ₂	3.0%	1.5%
Linearità ⁵	f ₃	1.0%	0.2%
Errori sul visualizzatore	f ₄	0.2%	0.4%
Affaticamento ⁶	f ₅	1.0%	0.2%
Dipendenza con la temperatura	α	0.3/K%	0.2/K%
Misurazione della luce modulata	f ₇	0.5%	0.1%
Polarizzazione	f ₈	1.0%	0.2%
Influenza illum. non uniforme sul rivelatore ⁷	f ₉	1.5%	0.2%
Cambio della scala	f ₁₁	0.3%	0.1%
Sensibilità agli ultravioletti	u	0.3%	0.2%
Sensibilità agli infrarossi	r	0.3%	0.2%

1) Per la definizione dei parametri vedere pubblicazione CEI 69
2) Eseguita con illuminante A che generi, sulla superficie sensibile del rilevatore, un illuminamento uniforme pari al fondo scala delle scale utilizzate
3) Il parametro deve essere rimisurato nel caso di variazioni maggiori del 2% della taratura
4) Nell'apertura angolare effettivamente utilizzata durante la misurazione
5) Per valori compresi tra 0.1 e 1 del fondo scala
6) Misurato dopo 30 min e con illuminamento di 1000lx
7) Valore non critico

Valori consigliati dei parametri caratteristici del **rilevatore fotometrico** per misure di illuminamento dalla UNI 10671 e CIE 121

3. La Misura dell'Intensità Luminosa

Caratteristica	Requisito
Deviazione dalla superficie piana	Il limite di planarità dipende dalla distanza di misurazione, dal diametro del rilevatore e dalle dimensioni della sorgente di luce. Misurata la non planarità, anche dinamica, dello specchio, occorre verificare geometricamente che <u>nessun raggio luminoso uscente dalla sorgente divenga per più di 0.5° rispetto alla direzione ideale di misurazione</u> . Questo valore deve essere valutato congiuntamente all'incertezza assoluta angolare.
Variazioni locali del fattore di riflessione globale	<u>Il fattore di riflessione su tutta la superficie dello specchio, utile ai fini della misurazione, deve essere costante entro lo 0.5%.</u>
Flusso luminoso diffuso dalla superficie	Il flusso luminoso diffuso dalla superficie in direzioni non speculari, per polvere o deterioramento della superficie riflettente, deve essere minore allo 0.3% del flusso luminoso totale incidente.
Polarizzazione	Il fenomeno deve essere valutato teoricamente e considerato nella valutazione complessiva dell'incertezza.
Fattore spettrale di riflessione	Il fattore spettrale di riflessione deve essere costante su tutta la superficie dello specchio, utile ai fini della misurazione, entro lo 0.5%; inoltre, la sensibilità spettrale del sistema rilevatore fotometrico-specchio deve rientrare nei limiti previsti per il parametro f1 vedi tabella precedente
Planarità tra substrato vetro e strato riflettente (specchi non metallizzati in superficie)	Occorre evitare l'effetto lente dovuto alle due superfici non parallele del vetro. Valgono le stesse considerazioni geometriche indicate alla voce "non planarità".

Caratteristiche fondamentali dello specchio, da UNI 10671

3. La Misura dell'Intensità Luminosa

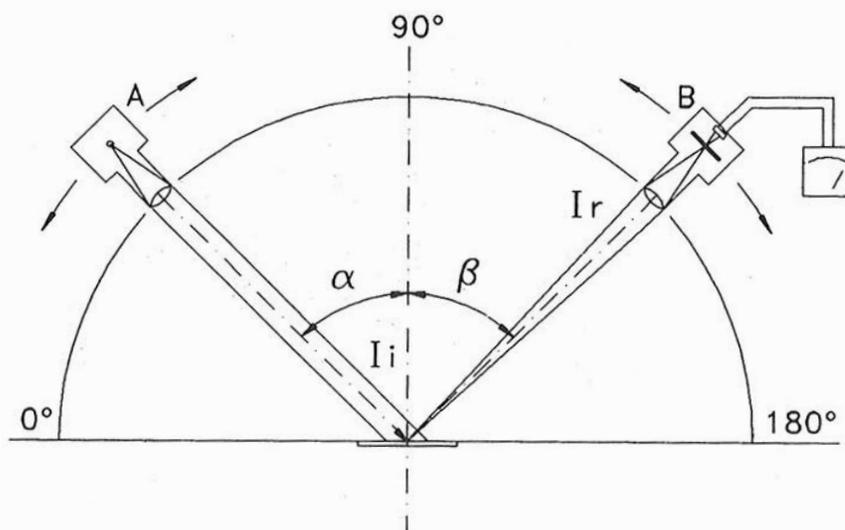
Il gonioreflettometro:

Serve per misurare il coefficiente di riflessione di una superficie per diversi angoli di inclinazione. Il dispositivo ottico di puntamento (A) che ruota tra $0 \div 90^\circ$ invia sulla zona di misura del campione l'intensità incidente I_i . L'intensità riflessa I_r è misurata da un fotoricevitore (B) mobile tra $0 \div 180^\circ$. Vale la relazione:

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E} = \frac{L \cdot \pi \cdot d^2}{I_i \cos \alpha}$$

dove L è la luminanza misurata da (B), E è l'illuminamento della zona di osservazione e d è la distanza campione-dispositivo ottico di puntamento.

Un'applicazione pratica è data dallo studio della caratterizzazione dei manti stradali, per il progetto di impianti di illuminazione basati sul criterio delle luminanze.



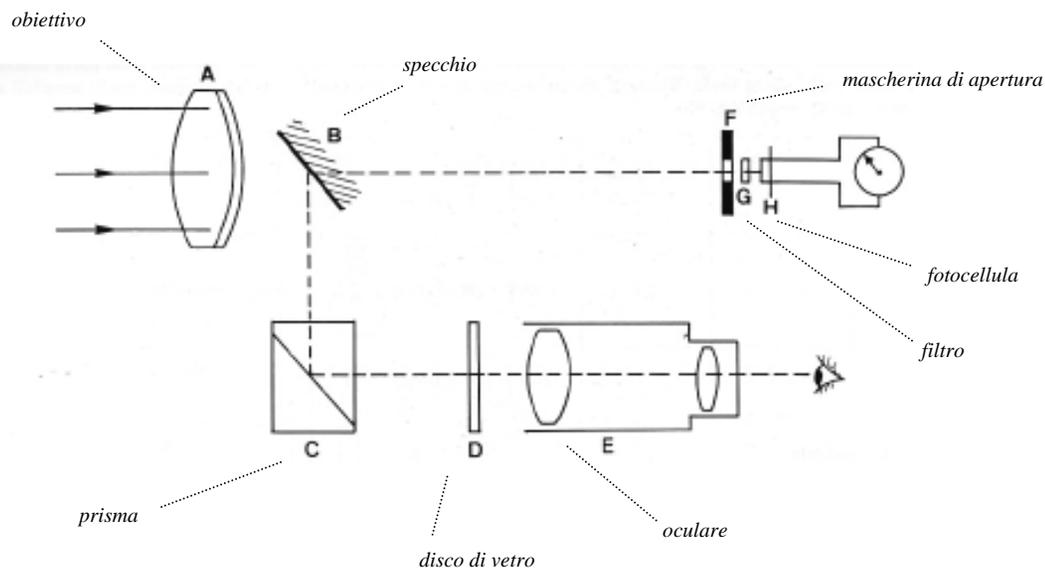
4. La Misura di Luminanza

La misura di luminanza (*luminanzometro*)

Può essere fatta per:

- misura diretta (confronto di due luminanze)
- misura indiretta dalla misura di altre grandezze (illuminamento) e dall'uso di formule di correlazione

$$L = E \frac{\rho}{\pi}$$



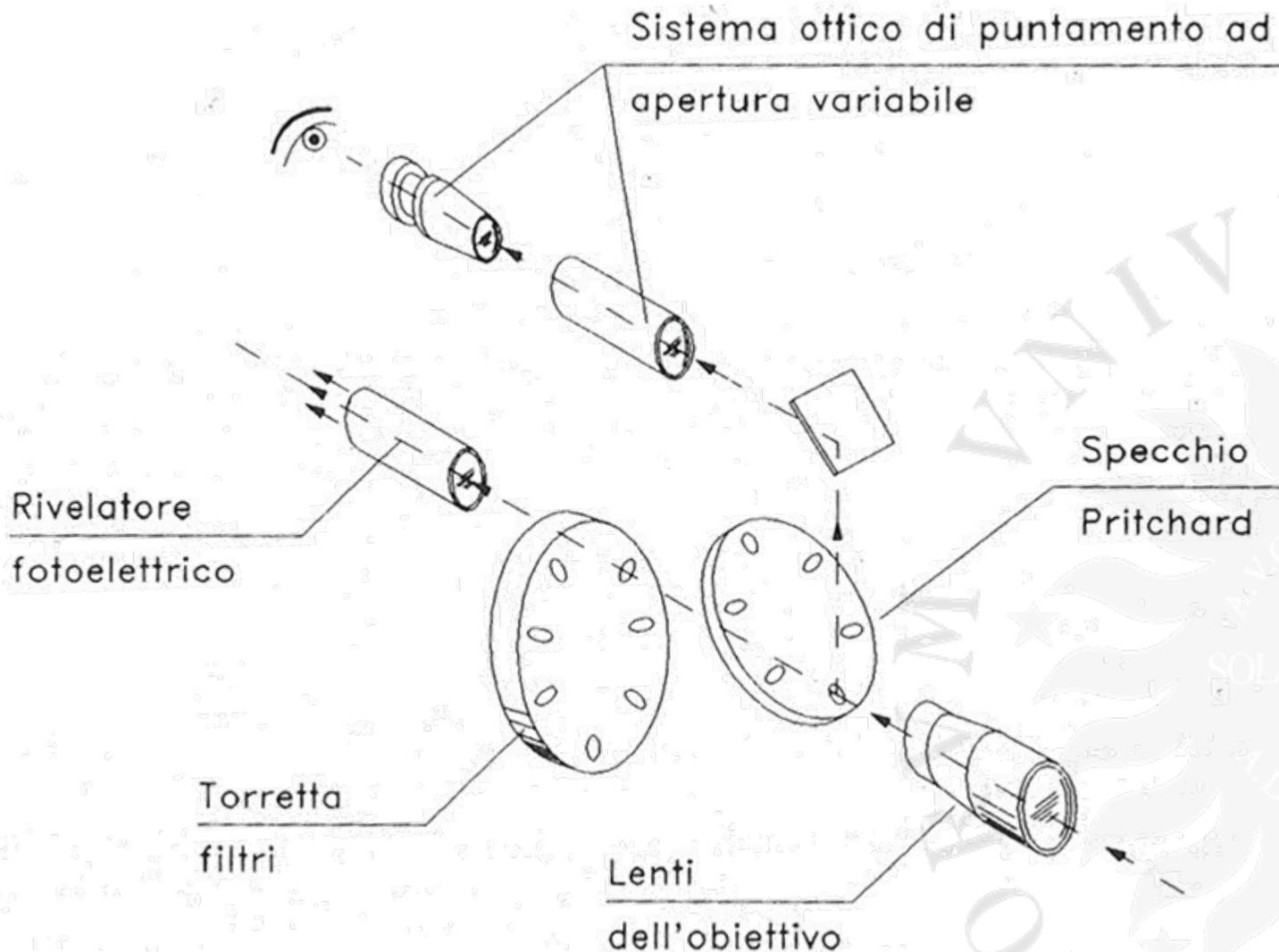
4. La Misura di Luminanza

Lo schema generale di funzionamento di un *luminanzometro* è:

- ✚ un obiettivo che forma in uno specchio l'immagine del campo visivo con la zona di misura
- ✚ la luce attraversa il filtro prescelto e colpisce il fotomoltiplicatore
- ✚ il resto dell'immagine è riflesso dallo specchio al sistema ottico ad apertura variabile e raggiunge l'occhio dell'osservatore
- ✚ l'operatore vede quindi l'immagine con un cerchio nero (corrispondente al filtro)
- ✚ l'apertura definisce quindi esattamente la porzione di superficie entro la quale lo strumento valuta la luminanza media
- ✚ non sono presenti errori dovuti alla polarizzazione della luce dal momento che sul cammino della luce non sono presenti specchi fibre ottiche o altri impedimenti



4. La Misura di Luminanza



4. La Misura di Luminanza

In tabella sono riportati i campi di apertura dello specchio e la relativa sensibilità dello strumento

Campo di Apertura	Sensibilità (cd/m ²)
3°	da 10 ⁻⁴ a 10 ⁴
1°	da 10 ⁻³ a 10 ³
20°	da 10 ⁻² a 10 ⁴
6°	da 10 ⁻¹ a 10 ⁷
2°	da 10 ⁻⁰ a 10 ⁸

Gli angoli di apertura sono scelti in funzione del misurando:

- ✚ per luminanza di punti e piccole superfici o di oggetti molto distanti si utilizzano piccoli angoli di apertura (da 1/3° fino a 1°)
- ✚ per superfici più ampie si sale sopra la soglia di 3°



La misura del Flusso Luminoso

Il flusso luminoso di una sorgente può essere calcolato (per integrazione) dalle intensità luminose misurate secondo le diverse direzioni, oppure misurato direttamente attraverso un *fotometro integratore* (*Sfera di Ulbricht*).

La sfera di Ulbricht è costituita da una lamiera metallica di diametro molto più grande rispetto alle dimensioni della sorgente luminosa da misurare (diametro > 3 m); la superficie interna è verniciata con vernice bianca opaca diffondente e non selettiva.

La sorgente in misura viene sospesa al centro della sfera. A causa delle continue riflessioni l'illuminamento di ogni punto della superficie interna della sfera è costante e proporzionale al flusso totale emesso dalla lampada.

5. La Misura del Flusso Luminoso

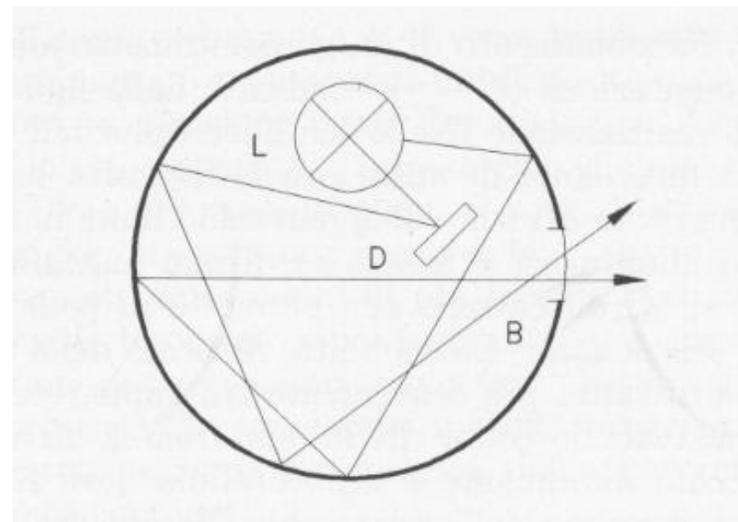
Sulla sfera è praticata una apertura protetta da un vetro opalino, dietro la quale è posto il luxmetro.

La presenza di un schermo opaco impedisce che la cellula sia illuminata direttamente .

Se la vernice è perfettamente diffondente e non selettiva, e gli accessori dentro la sfera hanno effetto trascurabile, allora l'illuminamento (E) sulla finestrella B (dovuto alla luce riflessa dalle pareti) è direttamente proporzionale al flusso totale (ϕ) emesso dalla lampada. Quindi:

$$\phi = k \cdot E$$

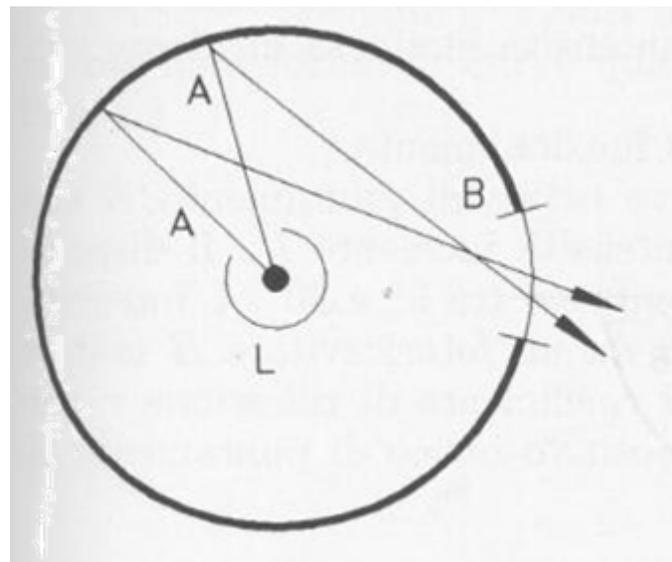
K è una costante che dipende dalle caratteristiche del sistema e che si determina per taratura (confronto con una sorgente campione a flusso luminoso noto).



5. La Misura del Flusso Luminoso

La *Sfera di Ulbricht* viene utilizzata anche per la misura del coefficiente di riflessione diffusa:

$$\rho = \frac{\phi_{\text{riflessa}}}{\phi_{\text{incidente}}}$$



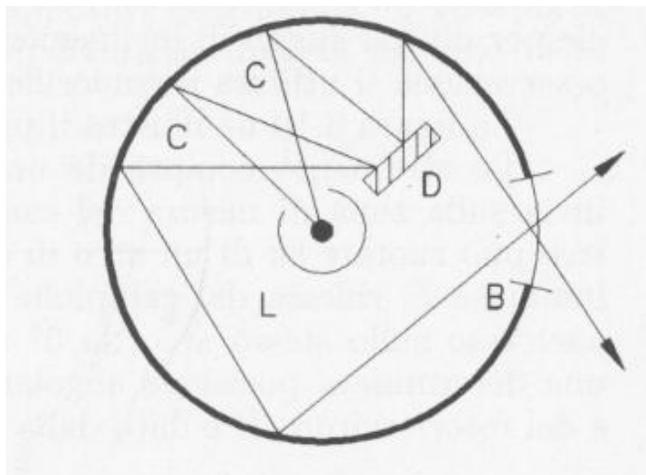
La sorgente (L) irradia verso una porzione di sfera un flusso (ϕ).
Una parte (ρ) viene diffusa dalla porzione di superficie della sfera ricoperta di vernice bianca con fattore di riflessione (ρ).

5. La Misura del Flusso Luminoso

Sull'apertura B l'illuminamento indiretto (S =superficie interna della sfera) sarà:

$$E_{m,1} = \frac{\rho \cdot \phi}{S} \cdot \frac{1}{1-\rho} = k' \rho \phi$$

Se si pone sulla superficie in questione un elemento di superficie con coefficiente ρ' incognito e si introduce nella sfera uno schermo D che impedisce al flusso di raggiungere direttamente l'apertura B



$$E_{m,2} = \frac{\rho' \cdot \phi}{S} \cdot \frac{1}{1-\rho} = k' \rho \rho' \phi$$

$$\frac{E_{m,1}}{E_{m,2}} = \rho'$$

6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Luci parassite

- ✚ E' indispensabile che il rivelatore fotometrico riceva esclusivamente la luce proveniente direttamente (a mezzo dello specchio) dalla sorgente.
- ✚ Non devono essere presenti nessun tipo di altre sorgenti luminose e nessun tipo di riflessione all'interno del laboratorio.
- ✚ La luce parassita deve mantenersi sotto la soglia 0,5% del flusso luminoso misurato.
- ✚ Pareti, pavimenti e tutti gli apparecchi presenti in laboratorio (condizionatori, fari di illuminazione) devono essere trattati con vernici o velluti nero opaco (coefficiente di riflessione $\leq 3\%$), in modo da annullare qualsiasi tipo di luci parassite al suo interno.
- ✚ Nel caso che la luce parassita non sia eliminabile, può essere sottratta alle letture eseguite sul raggio diretto (correzione della misura)

6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Temperatura dell'Ambiente

- ✚ la temperatura dell'ambiente in prossimità della lampada o dell'apparecchio di illuminazione, deve essere mantenuta entro i $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- ✚ per particolari lampade si può anche prendere come temperatura di funzionamento un altro valore, ricordandosi di indicarlo nel certificato di misura.
- ✚ la temperatura influenza notevolmente il flusso luminoso emesso dalla sorgente luminosa,
- ✚ soprattutto per quanto riguarda le lampade fluorescenti, in cui questo effetto si accentua molto di più.

6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Caratteristiche dell'Aria

- ✚ il movimento dell'aria in prossimità della sorgente luminosa, influenza il suo stato termico e quindi il flusso luminoso emesso dalla lampada
- ✚ i moti d'aria presenti nel laboratorio possono essere provocati dal sistema di condizionamento, dalla rotazione degli assi del goniometro, e dai moti convettivi generati dal calore della sorgente.
- ✚ la velocità dell'aria, misurata in prossimità dello stesso punto di misura della temperatura, in condizioni di funzionamento (assi del goniometro in rotazione, lampada accesa, e condizionatori funzionanti) deve essere inferiore a 0,2 m/s
- ✚ l'aria deve essere priva di fumi, polveri, e vapori in grado di attenuare o diffondere la luce che si vuole misurare.
- ✚ l'umidità accentua notevolmente il fastidio prodotto dalle polveri presenti, pertanto deve restare compresa tra 45% e 55%.

6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Distanza di Misura

- ✚ la goniofotometria si basa sulla legge dell'inverso del quadrato della distanza per calcolare l'intensità luminosa attraverso l'illuminamento
- ✚ la sorgente luminosa viene considerata puntiforme alla distanza di misura
- ✚ in realtà questo non è del tutto corretto, ci sono apparecchi con dimensioni non trascurabili, si rende necessaria una distanza di prova alla quale possiamo considerare ancora puntiforme la sorgente luminosa.

una regola pratica con la quale si determina la minima distanza è la seguente: data L_1 la lunghezza massima e L_2 la larghezza massima dell'apparecchio da provare, la minima distanza di prova è uguale alla maggiore tra le seguenti: 5 volte la lunghezza o 15 volte la larghezza (con questo criterio l'intensità luminosa che si va a misurare durante la prova, avrà un errore massimo nell'ordine del 1%)

6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Alimentazione della Sorgente Luminosa

Durante la misurazione la tensione assunta come riferimento è quella posta ai morsetti dell'alimentazione della sorgente luminosa.

Questa tensione deve essere pari alla tensione nominale della lampada o dell'alimentatore, nel caso sia presente.

L'alimentazione della sorgente deve garantire:

- ✚ la stabilità della tensione, come accennato prima, seguendo per ogni tipo di lampada i valori di stabilizzazione della UNI 10671 (appendice C) e deve essere mantenuta durante tutto lo svolgimento della prova
- ✚ la potenza e la corrente adeguate per il carico da alimentare,
- ✚ la stabilità della frequenza, UNI 10671 (appendice C) ;
- ✚ una bassa distorsione armonica, UNI 10671 (appendice C)
- ✚ i collegamenti elettrici per l'alimentazione del campione in esame, devono essere a bassa impedenza, in modo da garantire una limitata caduta di tensione, non più del 0.5% della tensione nominale.



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Incertezza

Le principali fonti di incertezza comuni alle misure fotometriche sono:

- + valore assoluto ed instabilità dell'alimentazione elettrica (in particolare variazioni della tensione e della frequenza di alimentazione)
- + instabilità della sorgente (in particolare variazioni del flusso emesso durante una accensione e tra accensioni successive)
- + disallineamento della sorgente nell'apparecchio rispetto alla condizione prevista;
- + deformazioni meccaniche della sorgente durante la misura;
- + disallineamento dei componenti ottici dell'apparecchio;
- + disallineamento della sorgente rispetto alle condizioni ideali di orientamento nel sistema di misura;



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

- ▣ valore assoluto ed instabilità della temperatura ambiente;
- ▣ valutazione e correzione dell'influenza della luce parassita;
- ▣ condizioni elettriche e termiche dell'alimentatore;
- ▣ influenza degli strumenti di misura dei parametri elettrici;
- ▣ influenza della lunghezza dei fili di collegamento e delle capacità parassite;
- ▣ velocità dell'aria nei pressi della sorgente;
- ▣ polvere nell'ambiente;
- ▣ condizioni di pulizia dei componenti ottici dell'apparecchio;
- ▣ condizioni di taratura e classe della strumentazione elettrica;
- ▣ condizioni di taratura e classe della testa fotometrica



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche**PRECISIONI RICHIESTE AGLI STRUMENTI DI MISURA IN
RELAZIONE ALLE CLASSI D'IMPIEGO**

Classe	Impiego	Livello di Incertezza	
		<i>Luxmetro</i>	<i>Luminanzometro</i>
A	Misure di Precisione	5 %	7,5 %
B	Misure su Impianti in Esercizio	10 %	10 %
C	Misure Orientative	20 %	20 %



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Caratteristiche di un Laboratorio Fotometrico

- ✚ alto grado di ripetibilità locale delle misure sulle lampade e gli apparecchi
- ✚ operare secondo criteri normalizzati prescritti dalle norme tecniche specifiche (vedi UNI 10671)
- ✚ strumentazione e i campioni di riferimento:
 - luxmetro, che deve avere una buona approssimazione con la curva fotopica di sensibilità relativa $V(\lambda)$ e un buon sistema di acquisizione di letture.
 - goniofotometro, stabile, rigido, con una adeguata precisione angolare.
 - multimetro per il controllo dei parametri elettrici della lampada



6. Le Variabili di Influenza nelle Misure Fotometriche

Le lampade prima di poter essere utilizzate in una misura fotometrica, vengono sottoposte a un processo di invecchiamento normato sia a livello internazionale che nazionale (UNI 10670 appendice D) dopo essere state accoppiate ad un alimentatore con il quale subiscono sia il processo di invecchiamento e sia la misura fotometrica.

L'alimentazione elettrica è garantita da uno stabilizzatore elettronico che regola la tensione e frequenza entro lo 0.1% del valore assegnato.

Il mantenimento delle condizioni ambientali è garantito dalla presenza di un impianto di condizionamento che mantiene la temperatura e l'umidità dentro i limiti previsti, pur non provocando uno spostamento d'aria che potrebbe nuocere alla riuscita di una misura a regola d'arte (2m/s).

La luce parassita deve essere totalmente eliminata tramite l'impiego di vernici nero opaco per tutte le pareti e tutti gli apparecchi presenti nella sala di rilevazione (goniofotometro, condizionatori).



7. L'Inquinamento Luminoso

Cos'è?

- ✚ Ogni forma di irradiazione di luce artificiale rivolta direttamente o indirettamente verso la volta celeste (rif L.R. della regione Lazio n.23 del 13 aprile 2000)
- ✚ Producono inquinamento luminoso sia i flussi di luce direttamente rivolti verso l'alto (a causa anche di sistemi di illuminazione male orientati o apparecchiature mal progettate) sia la luce riflessa da superfici e oggetti illuminati con intensità eccessive, superiori a quanto necessario ad assicurare la funzionalità e la sicurezza di quanto illuminato.
- ✚ L'inquinamento luminoso è in rapida crescita; alcuni studi evidenziano come l'inquinamento luminoso aumenti esponenzialmente con il 7% circa di incremento annuo.



7. L'Inquinamento Luminoso

Dove si trova?

- ✚ le principali sorgenti di inquinamento luminoso sono gli impianti di illuminazione esterna notturna come ad esempio gli impianti di illuminazione stradale, l'illuminazione di monumenti, di stadi e dei complessi commerciali, i fari rotanti delle discoteche, le insegne pubblicitarie e le vetrine, impianti di illuminazione privati;
- ✚ può essere prodotto anche da illuminazione interna che sfugge all'esterno come ad esempio dalle finestre degli edifici e dalle vetrine dei negozi.



7. L'Inquinamento Luminoso

Quale rischio comporta?

- ✚ aumento della brillantezza del cielo notturno con effetti negativi sotto diversi punti di vista.
- ✚ alterazione del ciclo naturale “giorno-notte” con conseguenze su specie animali (es. uccelli migratori disorientati dal chiarore proveniente da grossi centri urbani) e vegetali (subiscono variazioni del loro ciclo fotosintetico)
- ✚ nell'uomo le conseguenze sono di tipo fisiologico e psichico: troppa luce o la sua diffusione in ore notturne destinate al riposo può provocare vari disturbi (es. minore produzione di melatonina, ormone per la difesa immunitaria) in persone che lavorano la notte con forte illuminazione artificiale.
- ✚ ricadute sui consumi energetici; nel 2001, in Italia, sono stati utilizzati circa 7150 milioni di kWh per illuminare strade, monumenti ed altro. Per vari fattori, una grossa percentuale di questa potenza viene dispersa verso il cielo.



7. L'Inquinamento Luminoso

Cosa dice la legge?

La L.R. del Lazio n. 23 del 13 aprile 2000 “*Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso*” prescrive misure per la prevenzione dell'inquinamento luminoso sul territorio regionale al fine di tutelare e migliorare l'ambiente, di conservare gli equilibri ecologici nelle aree naturali protette e di promuovere le attività di ricerca e divulgazione scientifica degli osservatori astronomici.

La legge definisce le competenze della Regione e dei Comuni, definisce i contenuti del Piano Regionale di Prevenzione dell'Inquinamento Luminoso, del Piano Comunale dell'Illuminazione Pubblica, stabilisce inoltre la tutela degli osservatori astronomici professionali e non professionali, le norme minime di protezione del territorio inserendo le aree particolari di tutela e stabilisce le sanzioni.

Il 13 marzo 2003, inoltre, è stata approvata dal Parlamento italiano la Risoluzione sull'inquinamento luminoso, che impegna il governo a proporre, in sede UNESCO, il cielo notturno come patrimonio dell'umanità e ad agire in ogni sede internazionale affinché il cielo notturno venga dichiarato e considerato un bene ambientale da tutelare.



7. L'Inquinamento Luminoso

Prevenzione

Azioni preventive devono essere attuate sia dalle amministrazioni locali che dai privati cittadini nella realizzazione di impianti di illuminazione esterni.

Il contenimento dell'inquinamento luminoso consiste essenzialmente nell'illuminare razionalmente senza disperdere luce verso l'alto, utilizzando impianti e apparecchi correttamente progettati e montati e nel dosare la giusta quantità di luce.

E' necessario seguire le disposizioni della Legge Regionale, e, in ogni caso, utilizzare apparecchiature luminose che disperdano il minimo possibile verso l'alto (3% per legge); i globi luminosi ad esempio, sono assolutamente da evitare come anche i proiettori installati non orizzontalmente.

L'uso di particolari lampade, come quelle a vapori di sodio ad alta pressione (come raccomandato dalla L.R. 22/97), può ridurre l'inquinamento luminoso e consentire nel contempo un risparmio energetico.

E' importante anche il contributo dovuto alla riflessione della luce dovuta al suolo (potenza della lampada)