

1 – Introduzione

1.1 Esperimenti di biologia sull'orientamento direzionale dei vertebrati con luce polarizzata.

L'orientamento direzionale è una forma di orientamento a distanza, propria di molti vertebrati, in cui le scelte direzionali dell'animale dipendono dal sistema bussolare ovvero dall'utilizzo di un tipo di orientamento astrotassico.

In precedenti esperimenti è già stato dimostrato che il vertebrato *podarcis sicula* (famiglia delle lucertole) utilizza una bussola solare per l'orientamento direzionale. Con questa nuova serie di esperimenti si è voluto indagare sul funzionamento della bussola solare della *podarcis sicula*. In particolare, si è cercato di verificare se il funzionamento della bussola solare fosse basato sulla percezione del disco solare o sull'**e-vector della luce che viene polarizzata** per effetto della diffusione in atmosfera dei raggi solari. Inoltre, si è voluto appurare l'eventuale coinvolgimento dell'occhio parietale in questo processo.



podarcis sicula

Svolgimento degli esperimenti

I 73 esemplari di *podarcis sicula* a disposizione sono stati suddivisi in gruppi.

Singolarmente ogni lucertola è stata posta al centro di una vasca piena d'acqua. Lungo una direzione preferenziale sono stati posti ai bordi della vasca due appoggi leggermente sommersi sui quali le lucertole potessero trovare ristoro. Gli appoggi sono stati resi invisibili opacizzando l'acqua con della farina fossile e la vasca è stata irraggiata con luce polarizzata, avendo cura di evitare qualunque altra fonte luminosa inquinante. In una prima fase dell'esperimento (training e-vector), le lucertole, suddivise per gruppi, sono state addestrate a raggiungere gli appoggi. Scartati gli esemplari incapaci di apprendere, si è passati ad una seconda fase degli esperimenti. In questa seconda fase (test e-vector) è stato ruotato di 90° l'asse di

polarizzazione e si è registrato il comportamento direzionale delle lucertole. Per un gruppo di lucertole, durante la fase di training, l'asse di polarizzazione era parallelo alla direzione dei due appoggi mentre, per un altro gruppo, era perpendicolare. Ad entrambi i gruppi di lucertole, in una terza fase degli esperimenti (test par. c) è stato coperto l'occhio parietale.

Risultati sperimentali degli esperimenti di biologia

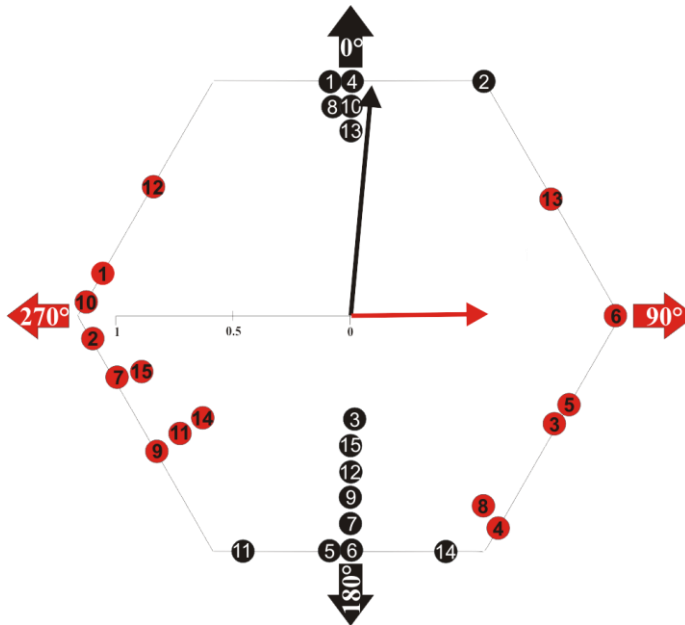
TRAINING E-VECTOR PARALLELO vs TEST E-VECTOR RUOTATO DI 90°

TRAINING	
ATTESA= 0°	
r=0,9	α=3
HC=0,92	N=15
V TEST	P<0,0005

TEST	
ATTESA= 90°	
r=0,5	α=89
HC=0,55	N=15
V TEST	P<0,0025

Hotelling Test
P < 0,0005

- TRAINING
- TEST



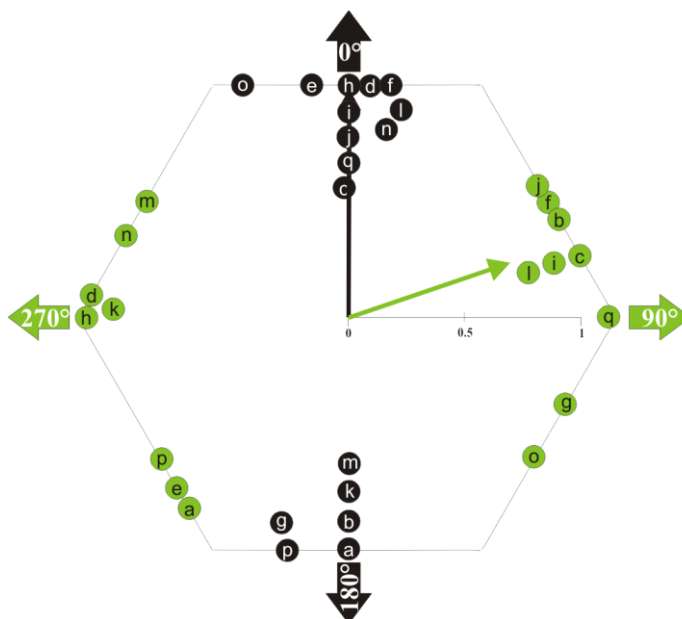
TRAINING E-VECTOR PERPENDICOLARE vs TEST E-VECTOR RUOTATO DI 90°

TRAINING	
ATTESA= 0°	
r=0,9	α=0
HC=0,89	N=17
V TEST	P<0,0005

TEST	
ATTESA= 90°	
r=0,6	α=71
HC=0,55	N=17
V TEST	P<0,0025

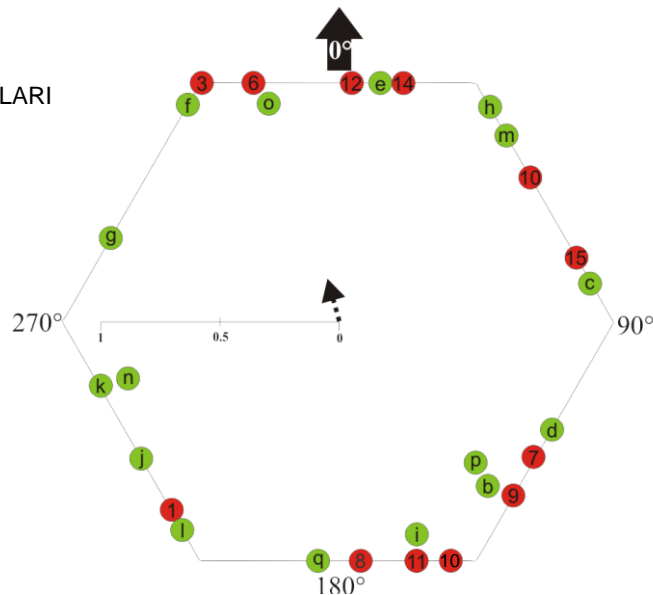
Hotelling Test
P < 0,0005

- TRAINING
- TEST



TEST PAR-C: OCCHIO PARIETALE COPERTO

- PARALLELI
- PERPENDICOLARI



N=29	
r=0,2	α=343
HC=0,19	
V TEST	NS

Gli esperimenti hanno dimostrato che questi vertebrati sono in grado di orientarsi utilizzando come riferimento solo l'e-vector della luce polarizzata e che l'occhio parietale di cui sono dotati svolge un ruolo determinante.

Questi risultati si riferiscono ad esperimenti effettuati con l'utilizzo di luce bianca polarizzata. In seguito sono stati fatti altri esperimenti utilizzando luce polarizzata di diversi colori con risultati analoghi.

I risultati ottenuti da questi esperimenti sono stati presentati al XCV° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si è tenuto a Bari dal 24 al 27 settembre 2009.

1.2 Descrizione dell'apparato sperimentale di biologia

L'apparato sperimentale realizzato per l'esperimento di biologia è costituito dai seguenti elementi:

- Vasca esagonale parzialmente riempita di acqua e provvista di appoggi interni adiacenti al perimetro della vasca.

- Struttura per isolare otticamente la vasca da fonti di luce esterne ed in grado di sostenere il peso della TV-LCD utilizzata come sorgente di luce polarizzata.
- TV-LCD collegato ad un computer per poter gestire intensità luminosa e spettro di radiazione (colorazione della luce)

Elementi dell'apparato sperimentale

Vasca:

distanza tra 2 spigoli \cong 182 cm

distanza tra 2 lati \cong 154 cm



vasca esperimenti (sono visibili i due appoggi laterali)

Impalcatura per la protezione da fonti luminose inquinanti.

Per oscurare l'ambiente di lavoro si usa una tenda nera con orifizi (piccoli oblò) per l'osservazione dell'esperimento e per le riprese con la telecamera.



Televisore LCD Daewoo collegato a pc.

Per creare la sorgente di luce desiderata sono stati personalizzati diversi sfondi del programma di presentazione Microsoft Office PowerPoint.




Prima di utilizzare un TV-LCD come sorgente di luce polarizzata erano state utilizzate due lampade la cui luce veniva filtrata da un polaroid.

I costi per l'eventuale acquisto di altre lampade capaci di fornire diverse colorazioni di luce hanno fatto preferire l'utilizzo di un televisore LCD collegato ad un pc.





Scheda tecnica televisore








TV LCD: DLT-46U1 FH

46". Full HD. DVB-T integrato. HDMI






Caratteristiche generali

Full HD/HD Ready	Full HD
Sintonizzatore Digitale Terrestre integrato	•
Dimensione schermo	46 pollici
Formato	16:9
Risoluzione	1920x1080p
Tempo di risposta	6 ms
Luminosità (cd/mq)	500
Rapporto di contrasto	6000:1
Angolo di visuale	178°/178°
Processore ottimizzazione immagini MGDi Plus	•
Standard Colore	PAL/SECAM
Standard Video	PAL-B/G, D/K, I, SECAM, NTSC (AV)
Standard Audio	A2/NICAM
Boost Bass System	•
Processore audio	DDX
Digital Index/Smart Icon	Digital Index
Comb Filter integrato	3D
Potenza audio Watt	10+10
Picture in Picture (PIP)	•
Teletext	•
OSD	•
RF (75 Ohm Coaxial)	•
S-Video	•
AV / RCA	•
Component RCA	•
Scart	•
PC RGB	-
HDMI	• x2
PC Audio (3.5mm Mini-Jack)	•
Cuffia (3.5mm Mini-Jack)	•
Design	Glossy Black
Alimentazione	AC 100/240, 50/60Hz
Dimensioni Prodotto con Stand (LxAxP)mm	1144x810x348
Dimensioni Prodotto senza Stand (LxAxP)mm	1144x745,5x127,5



I parametri tecnici dichiarati dalla casa costruttrice sono indicativi e riferiti al funzionamento di un modello standard.

1.3 Evidenze scientifiche sull'orientamento direzionale dei vertebrati

Numerosi studi e ricerche sono stati fatti per comprendere i meccanismi che permettono ai vertebrati di orientarsi.

Ad esempio, negli uccelli migratori è stata dimostrata l'esistenza di un meccanismo di orientamento basato su più sistemi di riferimento (geomagnetico, disco solare, e-vector della luce polarizzata dall'atmosfera).

La coesistenza di più sistemi di riferimento ha posto nei ricercatori la domanda su quale potesse essere il comportamento degli uccelli in caso di discordanza tra i dati provenienti da ciascun sistema di riferimento. In altre parole, era plausibile pensare che gli uccelli avessero un meccanismo di calibrazione in base al quale tarare i vari sistemi di riferimento. In effetti il campo geomagnetico terrestre è soggetto a variazioni, il disco solare varia il suo percorso giornaliero a seconda del periodo dell'anno e l'e-vector della luce polarizzata varia la sua intensità e direzione nei vari momenti della giornata (in particolare l'intensità è massima all'alba e al tramonto).

I risultati di esperimenti pubblicati nell'anno 2006 hanno dimostrato che gli uccelli migratori tarano il loro sistema di riferimento geomagnetico con quello basato sull'e-vector della luce polarizzata dell'alba e del tramonto. È stata pertanto dimostrata una gerarchia tra i sistemi di riferimento che gli uccelli migratori utilizzano per il loro orientamento, gerarchia che ha evidenziato l'importanza primaria dell'e-vector della luce polarizzata dall'atmosfera.

Esperimenti scientifici hanno dimostrato che la lucertola *Tiliqua rugosa* basa il suo sistema di orientamento sull'e-vector della luce polarizzata. Anche per il sistema di orientamento di molti altri vertebrati si parla di bussola celeste basata su modelli di polarizzazione della luce coerenti col modello di luce diffusa dall'atmosfera terrestre.

Solo per le api operaie e formiche del Sahara è stata però dimostrata l'esistenza di un sistema di compensazione che permette a questi animali di tener conto della variazione della direzione dell'e-vector in funzione della rotazione terrestre e quindi della posizione apparente del sole.

Per gli altri vertebrati che utilizzano sistema di orientamento basato su modelli di polarizzazione della luce coerenti col modello di luce diffusa dall'atmosfera terrestre non è chiaro invece come funzioni questo meccanismo di compensazione. I risultati degli esperimenti, che hanno dimostrato l'utilizzo della luce polarizzata come riferimento bimodale di molti vertebrati, sono coerenti con l'esistenza di un meccanismo di compensazione che permetta di tener conto della variazione della direzione dell'e-vector in funzione della rotazione terrestre, ma non sono in grado di darne dimostrazione.

1.4 Obiettivi del lavoro di tesi

Con questo lavoro di tesi ci si è posto l'obiettivo primario di caratterizzare otticamente lo schermo TV-LCD Daewoo per il suo utilizzo negli esperimenti di biologia riguardanti l'orientamento direzionale dei vertebrati. Secondariamente si è voluto fornire materiale teorico per l'utilizzo di televisori o monitors LCD come sorgenti di luce polarizzata, sfruttando i risultati sperimentali ottenuti.

2 Luce polarizzata e metodi per produrla

2.1 Metodi per la realizzazione di luce polarizzata

La luce si dice linearmente o totalmente polarizzata quando i piani di vibrazione del campo elettrico e del campo magnetico (ortogonali alla direzione di propagazione della luce), caratteristici della radiazione luminosa, rimangono fissi. In genere i piani di vibrazione dei campi elettrico e magnetico variano continuamente in tutte le direzioni: si parla in questo caso di luce non polarizzata. Può accadere che solo una parte delle radiazione luminosa sia polarizzata ed, in questo caso, si parla di luce parzialmente polarizzata.

Per realizzare in laboratorio luce polarizzata sussistono, in prima analisi, due possibilità:

- Trasformare la luce non polarizzata di una qualunque fonte luminosa (ad esempio una lampada).
- Utilizzare una sorgente di luce polarizzata.

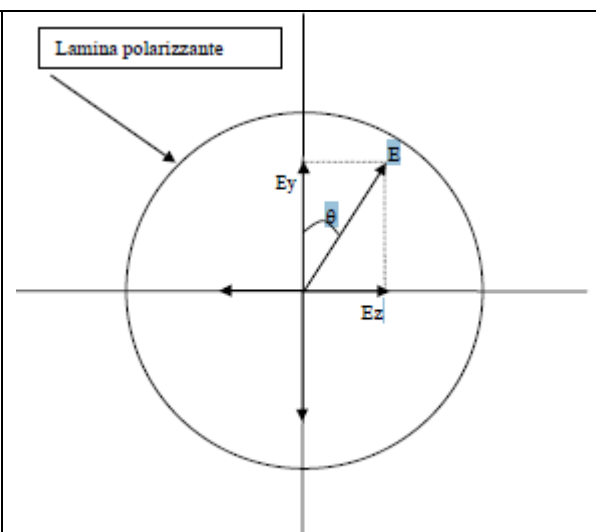
Metodi di trasformazione della luce non polarizzata in luce polarizzata:

✓ Lamina polarizzante (o Polaroid).

Nel piano della lamina **esiste una direzione di polarizzazione**. La lamina funziona in questo modo: le componenti dei vettori del campo elettrico parallele alla direzione di polarizzazione vengono trasmesse attraverso la lamina polarizzante. Le componenti perpendicolari alla direzione di polarizzazione vengono assorbite dalla lamina. La direzione di polarizzazione della lamina viene stabilita durante la sua produzione, intrappolando molecole a catena lunga in un foglio di plastica flessibile e quindi allungando il foglio in modo che le molecole siano **allineate parallelamente le une alle altre**.

Nella figura (a lato) vediamo che solo le componenti verticali del campo elettrico vengono trasmesse dalla lamina; le componenti orizzontali vengono assorbite. Ciò trasforma la luce originariamente non polarizzata in luce (verticalmente polarizzata).

Nella figura (a lato) la lamina polarizzante o polarizzatore giace nel piano della pagina e la direzione di propagazione va verso l'interno della pagina. La freccia del vettore E mostra il piano di vibrazione di un'onda scelta a caso che si sposta verso il foglio. Questo vettore può essere suddiviso in due componenti E_z ($E \sin\theta$) ed E_y ($=E \cos\theta$). Solo E_y sarà trasmesso; E_z sarà assorbito dalla lamina.



- ✓ **Diffusione:** se si osserva la luce diffusa proveniente dall'atmosfera attraverso un polaroid ci si accorge che, in direzione approssimativamente perpendicolare alle direzioni di emissioni del sole, l'intensità trasmessa dipende dall'orientazione del polaroid, indicando un parziale stato di polarizzazione della luce solare diffusa.

- ✓ **Riflessione e rifrazione:** si può aumentare o diminuire il riverbero prodotto dalla luce solare riflessa nell'acqua, per esempio, facendo ruotare una lamina polarizzante attorno alla propria direzione di osservazione. Ciò è possibile perché la luce riflessa è **completamente o parzialmente** polarizzata da un processo di riflessione alla superficie. Prendiamo inoltre in considerazione un raggio **non polarizzato** incidente su una superficie di vetro. I vettori campo elettrico della luce possono essere scomposti in componenti perpendicolari (al piano di incidenza), e componenti parallele (che giacciono su piano di incidenza). Per la luce incidente non polarizzata, queste due componenti sono di uguale intensità. Per il vetro o altri materiali dielettrici, esiste un particolare angolo di incidenza, chiamato **angolo di Brewster**, per il quale la riflessione delle componenti parallele è nulla. Questo significa che la luce riflessa dal vetro a questo angolo di incidenza è **completamente polarizzata** con il piano di vibrazione perpendicolare al piano di incidenza. Per altri angoli di incidenza, la luce riflessa è **parzialmente polarizzata**, perché in questo caso la riflessione delle componenti parallele non si annulla ma è debole.

- ✓ **Interazione con materiali anisotropi**

Birifrangenza

La calcite, il quarzo, il nitrato di sodio ed il ghiaccio sono esempi di materiali birifrangenti (lo stesso materiale sembra presentare due differenti indici di rifrazione). Questi materiali, se attraversati da luce non polarizzata in opportune condizioni, generano due fasci uscenti distinti che, se analizzati con un polaroid, risultano polarizzati.

Dicroismo

Sono detti dicroici quei materiali, naturali o artificiali che, per la loro particolare struttura molecolare, presentano una direzione privilegiata lungo la quale possono essere facilmente indotte correnti elettriche. I materiali dicroici, se investiti da luce naturale, trasmettono una parte della luce incidente che risulta polarizzata.

Utilizzazione di sorgente di luce polarizzata

Si tratta di tutti gli strumenti che si trovano in commercio e che irradiano luce polarizzata. A titolo di esempio, gli schermi LCD (televisori o monitor da computer), diffusissimi e versatili, pur non essendo stati progettati come strumenti per la produzione di luce polarizzata, ben si prestano a questo scopo.

2.2 Funzionamento di uno schermo TV LCD

LCD

La tecnologia dei monitor LCD è forse più conosciuta e familiare rispetto a quella del plasma.

Brevemente, in questi televisori (Liquid Crystal Display), lo schermo è composto da uno strato sottile di liquido intrappolato in piccolissime celle distribuite sulla superficie del pannello, ciascuna dotata di contatti elettrici. Quando si applica energia elettrica, si crea un campo elettrico nella cella che polarizza i cristalli liquidi. Per effetto della polarizzazione, essi ruotano lasciando passare la luce retrostante. Naturalmente il principio è molto complesso, ma concettualmente la visione è possibile, proprio grazie al controllo della torsione dei cristalli liquidi nelle celle tramite i campi elettrici.

L'LCD è basato sulle proprietà ottiche di particolari sostanze denominate cristalli liquidi. Tale liquido è intrappolato fra due superfici vetrose provviste di numerosissimi contatti elettrici attraverso i quali poter applicare un campo elettrico al liquido contenuto. Ogni contatto elettrico comanda una piccola porzione del pannello, identificabile come un pixel (o subpixel per gli schermi a colori). Sulle facce esterne dei pannelli vetrosi sono poi posti due filtri polarizzatori disposti su assi perpendicolari tra loro. I cristalli liquidi torcono di 90° la polarizzazione della luce che arriva da uno dei polarizzatori, permettendole di passare attraverso l'altro.

Prima che il campo elettrico sia applicato, la luce può passare attraverso l'intera struttura ed, a parte la porzione di luce assorbita dai polarizzatori, l'apparecchio risulta trasparente. Quando il campo elettrico viene attivato, le molecole del liquido si allineano parallelamente al campo elettrico, limitando la rotazione della luce entrante. Se i cristalli sono completamente allineati col campo, la luce che vi passa attraverso è polarizzata perpendicolarmente al secondo polarizzatore e viene quindi bloccata del tutto, facendo apparire il pixel non illuminato. Controllando la torsione dei cristalli liquidi in ogni pixel, si può dunque regolare la quantità di luce da far passare. Si noti però che in questo modo un pixel guasto apparirà sempre illuminato. In realtà alcune tipologie di pannelli funzionano all'opposto, cioè sono trasparenti quando accesi ed opachi quando spenti, per cui un pixel guasto resta sempre opaco.

Parlando di schermi a colori per pc o tv, l'unità di misura delle dimensioni dello schermo è comunemente il pollice (2,54 cm), attraverso il quale si misura la distanza in diagonale tra due angoli opposti del pannello. Le dimensioni variano oggi da 12 a oltre 100 pollici, con risoluzioni che, nelle tv, vanno da 640 x 480 a 1920 X 1080 pixel ed anche oltre per applicazioni speciali.

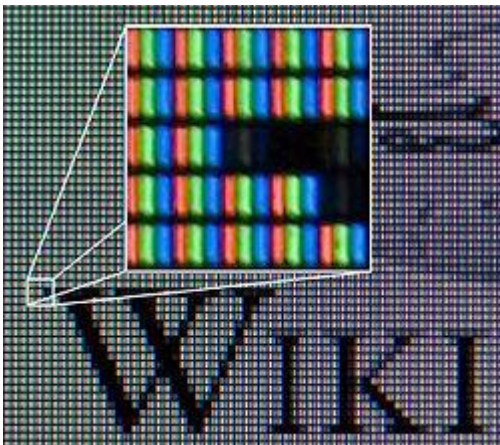
Una delle caratteristiche principali dei pannelli a cristalli liquidi (fatta salva la retroilluminazione) è il basso consumo di potenza elettrica, che li rende particolarmente indicati per applicazioni in apparecchiature alimentate da batterie elettriche. Gran parte del consumo è invece attribuibile alla retroilluminazione: ad esempio nelle TV, a causa della particolare luminosità richiesta, i consumi elettrici complessivi sono piuttosto

elevati (un TV 32" ha potenze di circa 120-180W, ma attenzione: è circa 30" effettivi), anche se l'ultima generazione di TV LCD ha sostituito la retroilluminazione con i led riducendo sensibilmente i consumi.

Schermi trasmissivi, riflettivi e transriflettivi



Tipico esempio di display a "cristalli liquidi" riflettivo



Ingrandimento di uno schermo LCD a colori trasmissivo (cioè dotato di retroilluminazione). Come si vede, in uno schermo a colori ogni pixel è in realtà suddiviso in 3 subpixel dotati di filtro rosso verde o blu: variando la luminosità di ogni sezione si può ottenere una vasta gamma di colori.

Gli schermi LCD possono essere usati in due modalità denominate *trasmissivo* e *riflettivo*. Gli schermi di tipo *trasmissivo* sono illuminati da un lato e vengono visti dall'altro. In pratica una luce viene posizionata sul retro dello schermo e i cristalli liquidi agiscono da filtro facendo passare solo la componente cromatica desiderata. In questo modo si ottengono schermi molto luminosi, d'altro canto, però la fonte di luce spesso consuma più energia di quella richiesta dallo schermo in sé. Questi schermi hanno una buona leggibilità in condizioni di scarsa luce ambientale, mentre diventano poco visibili in condizioni di forte illuminazione, risultando adatti per l'uso in interni.

Gli schermi LCD di tipo *riflettivo* usano la luce presente nell'ambiente che viene riflessa da uno specchio posto dietro lo schermo. Questo schermo ha un contrasto più basso rispetto al LCD *trasmissivo*, infatti la luce è costretta a passare due volte attraverso il filtro. Il vantaggio principale di questo tipo di schermo è che l'assenza di una fonte di luce artificiale mantiene i consumi energetici molto bassi. Un piccolo schermo LCD

consuma così poco che può essere alimentato da una semplice cella fotovoltaica. Questi schermi hanno una buona leggibilità in condizioni di forte illuminazione ambientale, mentre risultano sempre meno leggibili al diminuire dell'illuminazione esterna.

Gli schermi *transriflettivi* cercano di unire le caratteristiche migliori dei trasmissivi e dei riflettivi. Hanno un semi-specchio posto dietro al display in grado di riflettere la luce frontale (come i riflettivi), ma di far passare la luce proveniente da un illuminatore posto nella parte posteriore (come i trasmissivi). Questo tipo di display si va diffondendo rapidamente, soprattutto negli apparecchi mobili (telefoni cellulari e computer palmari), per la sua buona leggibilità in tutte le condizioni di luce.

Schermi attivi e passivi

Gli schermi LCD con un numero modesto di segmenti, come quelli usati nelle calcolatrici o negli orologi digitali, sono provvisti di un contatto elettrico per ogni segmento. Il segnale elettrico, per controllare ogni segmento, è generato da un circuito esterno. Questo tipo di struttura diventa improponibile man mano che il numero di segmenti aumenta.

Gli schermi di medie dimensioni, come quelli delle agende elettroniche, hanno una struttura a matrice passiva. Questo tipo di struttura ha un gruppo di contatti per ogni riga e colonna dello schermo invece che una per ogni pixel. Lo svantaggio è che può essere controllato solo un pixel alla volta mentre gli altri devono ricordare il loro stato finché il circuito di controllo non si dedica nuovamente a loro. Il risultato è un contrasto ridotto ed una certa difficoltà a visualizzare bene le immagini in rapido movimento. Il problema chiaramente va peggiorando man mano che il numero di pixel aumenta.

Per gli schermi ad alta risoluzione, come i monitor per computer, si usa un sistema a matrice attiva. In questo caso lo schermo LCD contiene una sottile pellicola di transistor (*Thin Film Transistor - TFT*). Questo dispositivo memorizza lo stato elettrico di ogni pixel dello schermo mentre gli altri pixel vengono aggiornati. Questo metodo permette di ottenere immagini molto più luminose e nitide rispetto agli LCD tradizionali.

La durata media degli schermi LCD si attesta, al giorno d'oggi, intorno alle 50.000 ore. Questo dato, unitamente alla notevole e costante riduzione del loro prezzo, rende questa tecnologia una valida alternativa agli schermi a tubo catodico (ormai quasi abbandonata).

Parametri di caratterizzazione di un pannello LCD

I principali parametri che caratterizzano un recente schermo LCD a matrice attiva (TFT) per TV o PC sono: contrasto, luminosità (o più propriamente luminanza), linearità dei grigi, angolo di visuale, tempo di risposta e resa cromatica. Inoltre per la televisione, pur non facendo parte del pannello vero e proprio, anche l'elettronica di scalatura dell'immagine è fondamentale per determinare la qualità video.

3 – Parte sperimentale

Per poter utilizzare il televisore come sorgente di luce polarizzata nell'esperimento di biologia, in primo luogo, è stato necessario determinare se la polarizzazione dello stesso sia totale o parziale ed individuarne la direzione. In seguito si è dovuto definire il profilo di illuminamento su un piano parallelo allo schermo.

Per verificare il grado e la direzione di polarizzazione è sufficiente utilizzare un polaroid.

Per le misure di illuminamento è possibile procedere in due modi:

- Misurando direttamente il valore di illuminamento in una serie di punti su di una superficie, sufficienti a definirne il profilo
- In maniera indiretta, determinando prima il valore della luminanza, cioè caratterizzando il TV-LCD, poi calcolando l'illuminamento di qualunque punto raggiungibile dalla radiazione luminosa in base alla geometria ed alle dimensioni della sorgente luminosa (porzione di schermo illuminante)

In questo lavoro di tesi si è, in primo luogo, caratterizzato il TV-LCD ed impostato l'integrale la cui risoluzione fornisce il valore di illuminamento di un qualunque punto raggiunto dalla radiazione luminosa, in secondo luogo, si è misurato direttamente l'illuminamento su una serie di punti di un piano parallelo alla sorgente, al fine di determinarne il profilo.

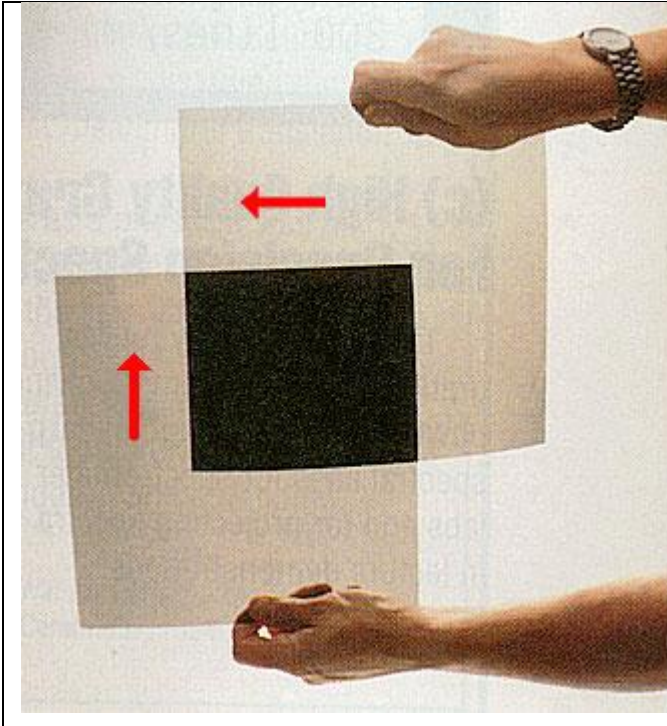
3.1 Determinazione del grado e della direzione di polarizzazione di uno schermo TV-LCD.

Per determinare la polarizzazione del televisore Daewoo (naturalmente acceso), è stato necessario posizionarsi frontalmente allo schermo e far ruotare un foglio di polaroid, osservando le variazioni di intensità luminosa.

Poiché ad un determinato grado di rotazione del foglio polaroid non passa luce, è possibile affermare che la luce proveniente dallo schermo è linearmente (o totalmente) polarizzata.

Fissato il polaroid nella posizione in cui non permette il passaggio della luce dello schermo; la direzione di polarizzazione dello schermo del televisore è esattamente perpendicolare a quella del polaroid stesso, che è nota.

Esempio funzionamento polaroid



La foto a lato mostra due fogli polaroid sovrapposti con direzioni di polarizzazione perpendicolari tra loro.

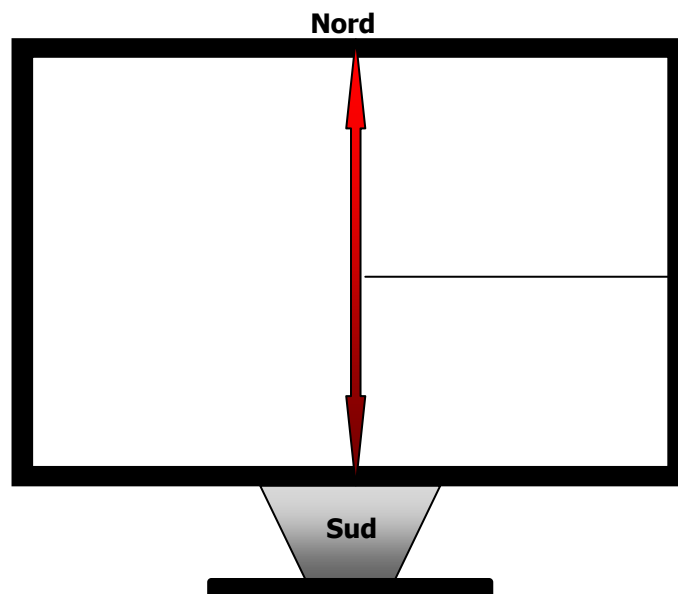
Il risultato è che nella zona di sovrapposizione non passa luce.

Il foglio retrostante polarizza orizzontalmente la luce che proviene da dietro.

Il foglio antistante è polarizzato verticalmente, cioè fa passare solo la componente verticale della luce.

La componente verticale di una luce polarizzata orizzontalmente è nulla. Ecco perché la zona di sovrapposizione risulta nera.

Direzione di polarizzazione Tv Lcd Daewoo:



La freccia rossa indica la direzione di polarizzazione della radiazione luminosa

3.2 Descrizione e caratteristiche del luxmetro utilizzato per le misurazioni di illuminamento

Il luxmetro, utilizzato per tutte le misure sperimentali di questo lavoro, è il modello T-10 della marca Konica Minolta. Il luxmetro è stato tarato precedentemente a questo lavoro di tesi.

Dati Tecnici

Modello	<i>Illuminance meter T-10</i>
Tipo	<i>Luxmetro digitale</i>
Recettore	<i>Fotocella in silicone</i>
Unità di misura illuminanza	<i>Lux [lx]</i>
Funzioni di misurazione	<i>Norm: il luminanza istantanea [lx] Σ: il luminanza integrata nel tempo [lx × h]; il luminanza media [$\frac{lx \times h}{h}$]</i>
Range di misurazione	<i>0.01 – 299.900 [lx]</i>
Accuratezza	<i>±2%; ±1 ultima cifra del valore visualizzato</i>
Limiti operatività	<i>Temperatura/Umidità: da -10 a + 40 °C con umidità relativa 85% o meno (da +35 °C) senza formazione di condensa Altitudine massima: 2000 metri</i>
Dimensioni Recettore	<i>64 × 174 × 35 [mm]</i>

Responsività Spettrale Relativa

Idealmente la responsività spettrale relativa del contatore illuminamento deve corrispondere a quella di $V(\lambda)$ (efficienza spettrale luminosa dell'occhio umano per la visione fotopica). La responsività spettrale relativa (f'_1) di Minolta è entro l'8% del CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) spettrale di efficienza luminosa $V(\lambda)$.

$$f'_1 = \frac{\int_{\lambda=380}^{780} |\tilde{S}(\lambda)_{rel} - V(\lambda)| \times d\lambda}{\int_{\lambda=380}^{780} V(\lambda) \times d\lambda} \times 100\% \leq 8\%$$

$$\tilde{S}(\lambda)_{rel} = \frac{\int_{\lambda=380}^{780} \tilde{S}(\lambda) \times V(\lambda) \times d\lambda}{\int_{\lambda=380}^{780} \tilde{S}(\lambda) \times S(\lambda)_{rel} \times d\lambda} \times S(\lambda)_{rel}$$

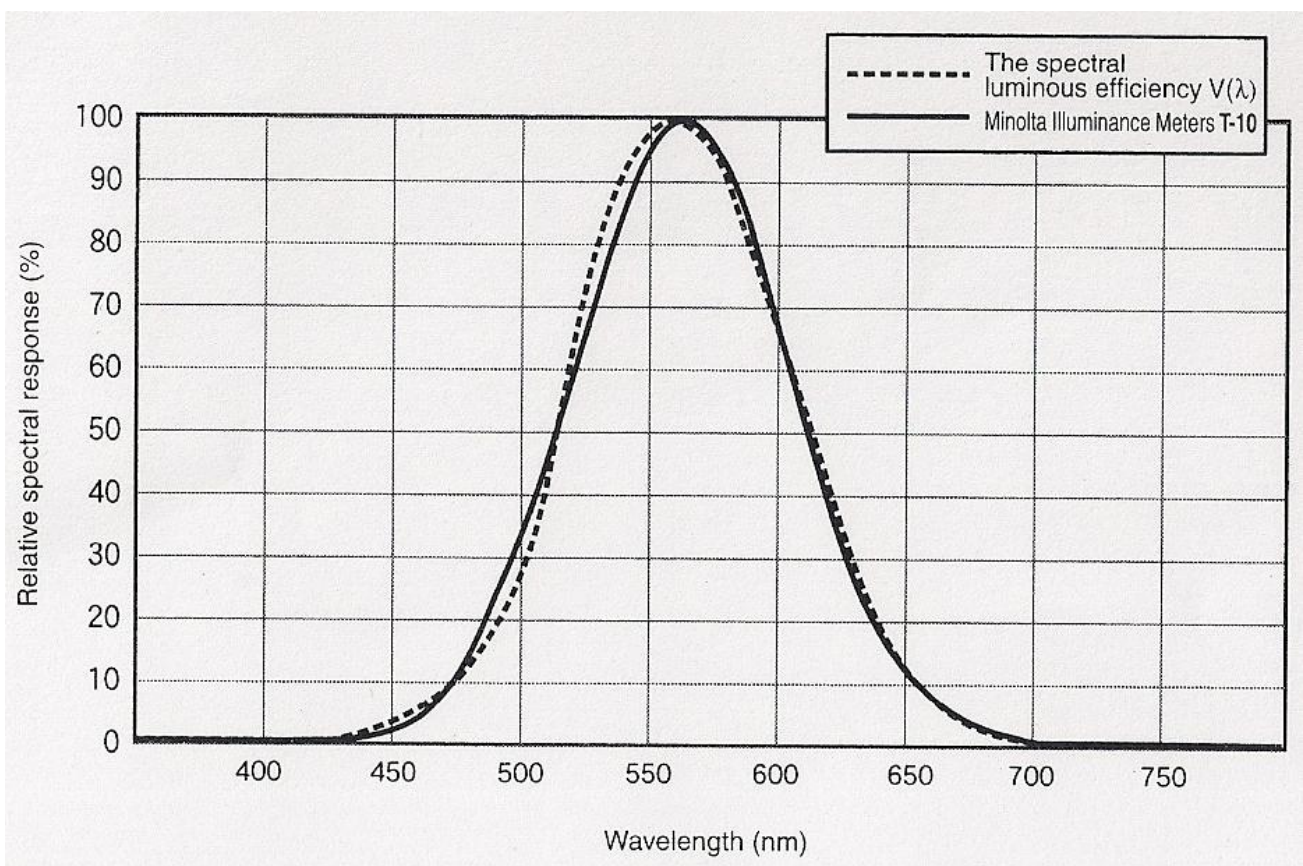
f'_1 = responsività spettrale relativa

$S^-(\lambda)_{rel}$ = responsività spettrale relativa normalizzata

$S^-(\lambda)_a$ = distribuzione spettrale del dispositivo standard utilizzato per la calibrazione

$S(\lambda)_{rel}$ = responsività spettrale relativa con riferimento arbitrario

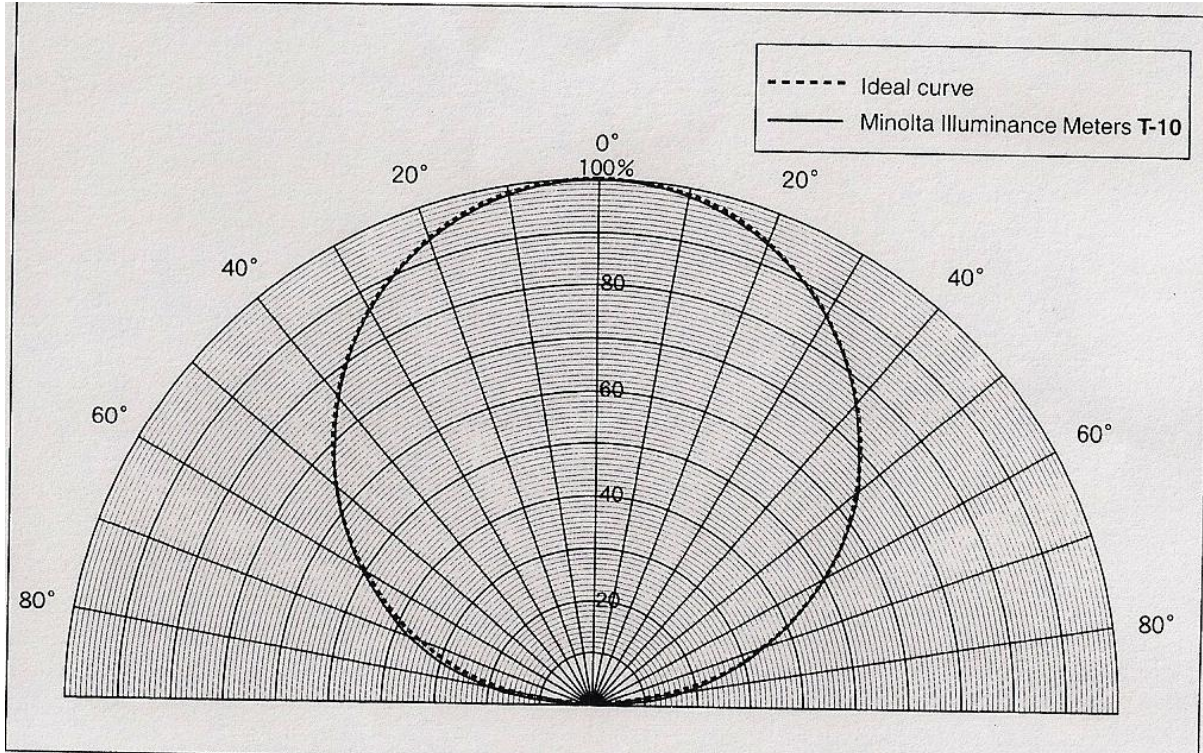
Grafico di confronto tra la responsività spettrale di $V(\lambda)$ e del T-10



Caratteristiche di correzione del coseno

Poiché la luminosità sul piano di misurazione è proporzionale al coseno dell'angolo in cui la luce è incidente, la risposta del recettore deve essere proporzionale al coseno dell'angolo di incidenza.

Caratteristiche di correzione del coseno del T-10



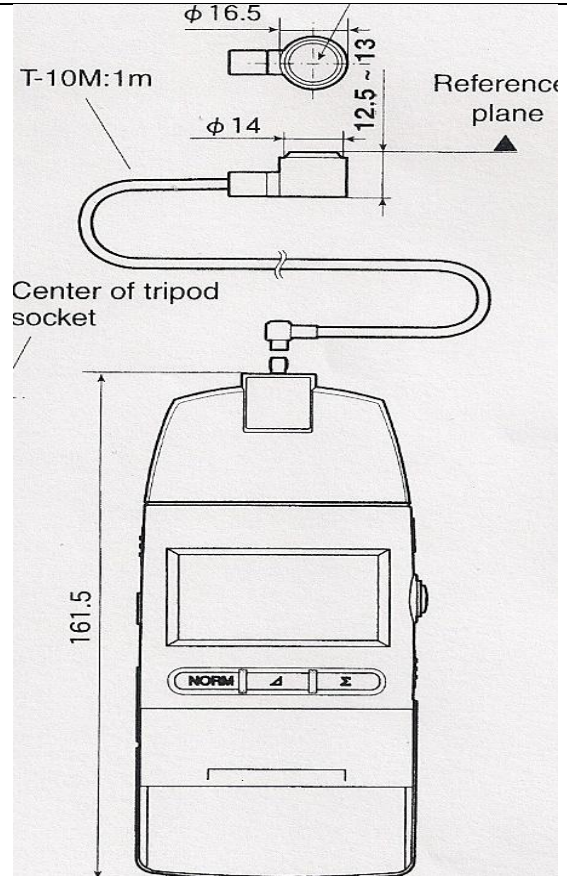
Incidence angle (deg.)	Cosine error (within)
10°	± 1%
30°	± 2%
50°	± 6%
60°	± 7%
80°	± 25%

TABELLA DELL'ERRORE DEL COSENO DEL LUXMETRO IN RAGIONE DELL'ANGOLO DI INCIDENZA DELLA LUCE

Modello T-10 Konica Minolta

**Nell'immagine a lato è raffigurato il luxmetro
Modello T – 10 Konica Minolta completo di:**

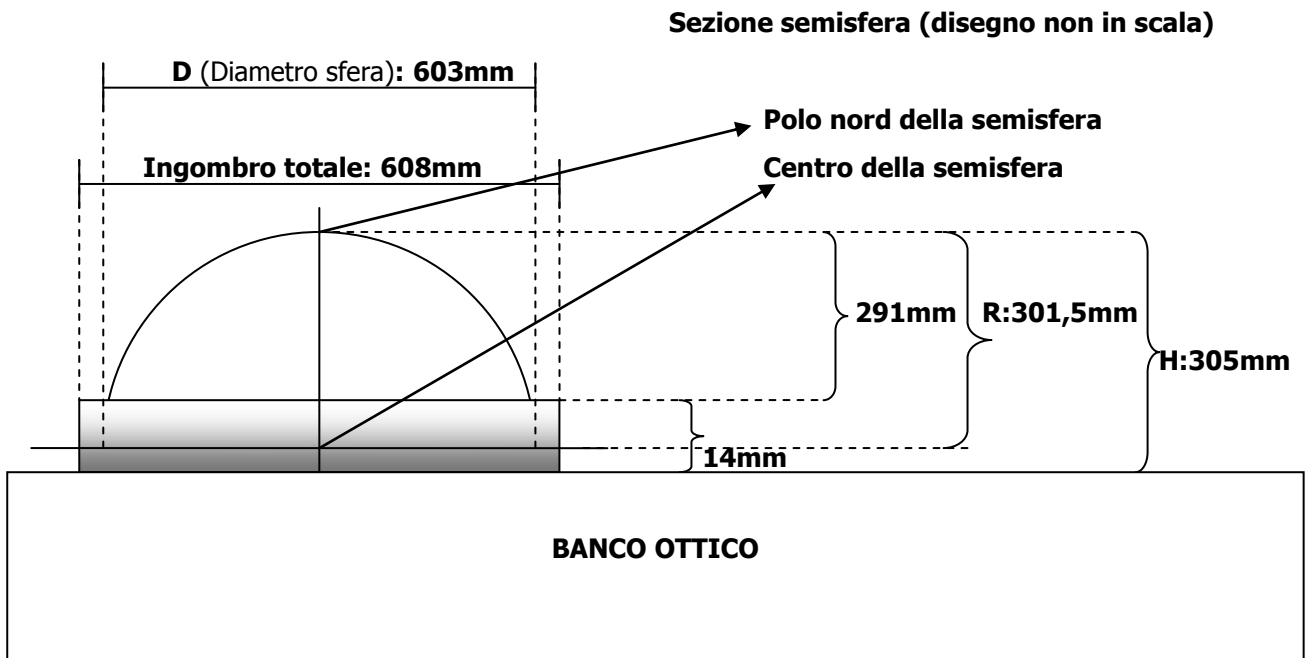
- **Display multifunzione**
- **Fotorivelatore (recettore)**
- **Cavo di collegamento**



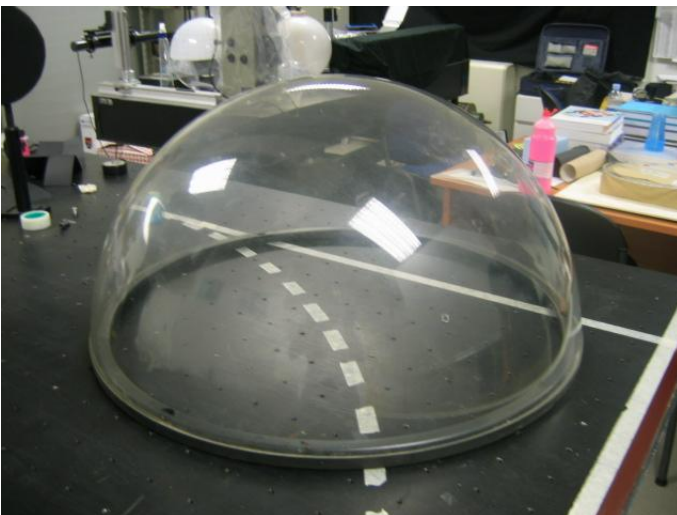
3.3 Caratterizzazione schermi TV-LCD

3.3.1 Fase preparatoria semisfera

Per la caratterizzazione dello schermo con metodo indiretto è stato necessario dotarsi di una semisfera in plastica trasparente, le cui caratteristiche dimensionali sono state misurate e riportate di seguito.



Come evidenza il disegno lungo l'equatore della sfera, vi è una guarnizione che tiene sollevato il centro della sfera rispetto al piano di appoggio di **3,5mm**



Sulla semisfera è stato disegnato, con un pennarello debile, un sistema di riferimento consistente in meridiani e paralleli procedendo come di seguito descritto:

- Sono stati definiti come paralleli, tutte le circonferenze parallele al piano di appoggio della semisfera.



Operazione di tracciatura dei meridiani

individuati tutti i punti, a partire dallo zero azimutale, distanti $1/36$ di circonferenza l'uno dall'altro. In questo modo si è creato un sistema di riferimento azimutale da zero a 360 gradi con intervalli di 10 gradi. Da ognuno dei punti individuati è stato tracciato con pennarello debile un meridiano passante per il polo nord (vedi figura sopra).

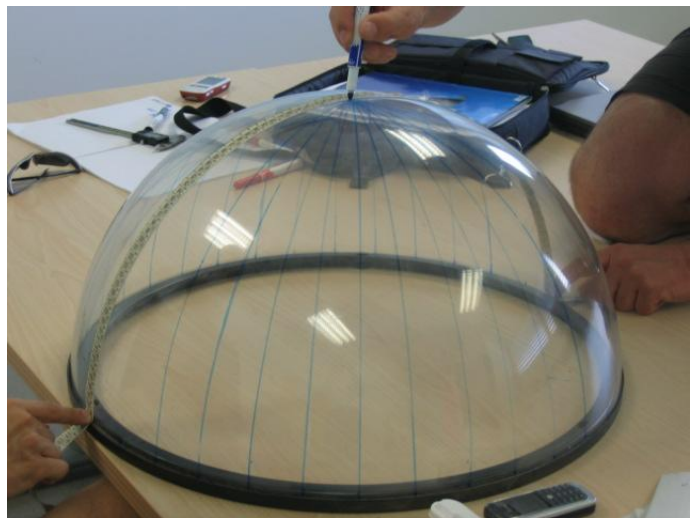
- Per creare il sistema di riferimento zenitale, partendo dal polo nord (lo zero zenitale), su ogni meridiano son stati individuati i punti distanti $1/36$ di circonferenza l'uno dall'altro (10 gradi di misura angolare). Su ognuno dei trentasei meridiani sono stati segnati i punti zenitali da zero ad 80 gradi con intervalli di 10 gradi. I punti a 90 gradi di angolo zenitale non sono stati individuati in quanto non significativi per la caratterizzazione.



- è stato individuato il punto sulla calotta a partire dal quale la perpendicolare al piano di appoggio passa esattamente per il centro della semisfera. Da questo punto, che definiamo **polo nord**, passeranno tutti i meridiani.

- È stato posizionato lo zero azimutale su un punto arbitrario del parallelo equatoriale.

- è stato calcolata la 36^a parte della circonferenza equatoriale e sono stati



- Per ultimo si è provveduto a cancellare tutti i tratti di pennarello debile avendo cura di lasciare solo un alone, appena visibile, in corrispondenza dei punti di incrocio tra meridiani e paralleli. Si è cercato in questo modo di limitare il più possibile l'assorbimento di radiazione luminosa da parte della semisfera.

- Per ultimo si è provveduto a cancellare tutti i tratti di pennarello debile avendo cura di lasciare solo un alone, appena visibile, in corrispondenza dei punti di incrocio tra meridiani e paralleli. Si è cercato in questo modo di limitare il più possibile l'assorbimento di radiazione luminosa da parte della semisfera.

3.3.2 Misure sperimentali di attenuazione della luce da parte della semisfera

Prima di procedere alle misure per la caratterizzazione dello schermo LCD, è stato necessario misurare la % di attenuazione (T_v) che la radiazione luminosa subisce nell'attraversare la semisfera di plastica.

Il valore di attenuazione dipende dalla trasmittanza della semisfera di plastica. Tuttavia non è necessario conoscere il valore della trasmittanza (grandezza radiometrica) per determinare la percentuale di attenuazione, se si dispone di un luxmetro, come si dimostra qui di seguito.

E_{va} = illuminamento attenuato da un materiale frapposto tra la sorgente luminosa e lo strumento di misura (grandezza fotometrica).

E_v = illuminamento (grandezza fotometrica).

E_e = irraggiamento (misura radiometrica)

T_e = trasmittanza (misura radiometrica)

$$E_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times E_e(\lambda) \times d\lambda$$

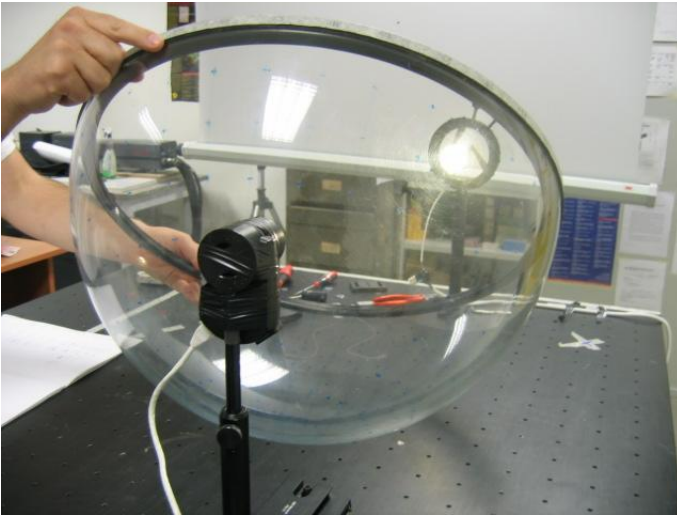
$$E_{va} = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times E_e(\lambda) \times T_e(\lambda) \times d\lambda$$

$$T_v = \frac{E_{va}}{E_v} \times 100\% = \frac{683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times E_e(\lambda) \times T_e(\lambda) \times d\lambda}{683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times E_e(\lambda) \times d\lambda} \times 100\%$$

Tabella riassuntiva misurazioni sperimentali di attenuazione dell'illuminamento

COLORE LUCE (RGB)	E_v (Valore medio di nr 20 misurazioni)	E_{va} (Valore medio di nr 20 misurazioni)	T_v
Azzurrino(R=187, G=224, B=227)	0,68	0,62	91,2%±1,4%
Bianco(R=255, G=255, B=255)	1,76	1,61	91,5%±0,6%
Rosso(R=255, G=0, B=0)	0,33	0,30	90,9%±2,8%
Verde(R=0, G=255, B=0)	0,96	0,88	91,7%±1,0%
Blu(R=0, G=0, B=255)	0,19	0,17	89,5%±4,9%
Giallo(R=255, G=255, B=0)	1,22	1,11	91,0%±0,8%
Magenta(R=255, G=0, B=255)	0,47	0,43	91,5%±2,0%
Ciano(R=0, G=255, B=255)	1,04	0,95	91,3%±0,9%

FOTO 1



Per le misure sperimentali si è provveduto a fissare sul banco ottico due sostegni ad una distanza arbitraria di circa 50 cm.

Su uno dei sostegni è stato fissato il recettore del luxmetro, mentre sull'altro, è stato fissato un LED, come mostrano le foto 1 e foto 2.

Sono state poi effettuate delle serie di misure di illuminamento con LED diversamente colorati, prima frapponendo tra la sorgente ed il recettore la semisfera poi, senza frapporre alcun ostacolo tra la sorgente ed il recettore.

FOTO 2



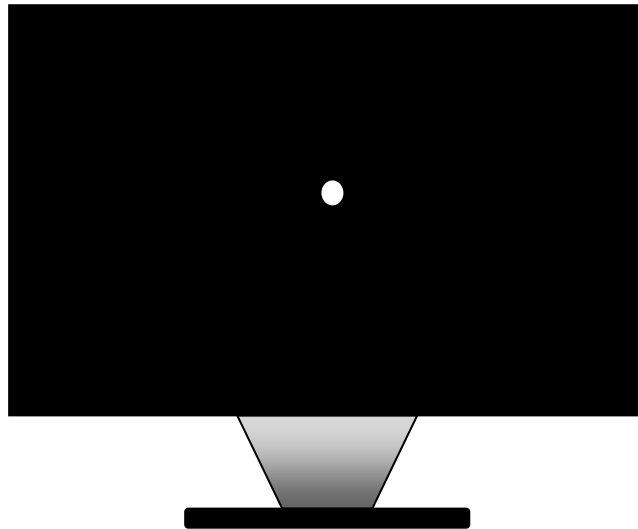
FOTO 3



Per evitare inquinamento luminoso da parte di altre sorgenti luminose le misure sperimentali sono state fatte oscurando il laboratorio (foto 3)

3.3.3 Preparazione dello schermo TV LCD

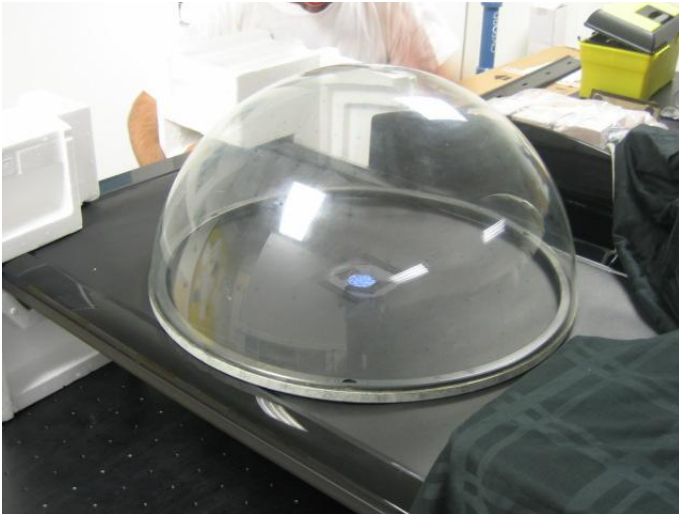
Sullo schermo del televisore LCD Daewoo è stato fissato un cartone nero sul quale è stata fatta una piccola apertura circolare (vedi disegno). In questo modo è stato possibile misurare l'illuminamento dovuto alla sola porzione di schermo coincidente con l'apertura circolare fatta sul cartoncino.



Diametro medio dell'apertura circolare (D_s). $D_s = 39,1\text{mm} \pm 0,05\text{mm}$

Il televisore è stato poi posizionato sul banco ottico con opportuni sostegni in modo tale da avere lo schermo rivolto verso il soffitto, come mostrano le foto seguenti.

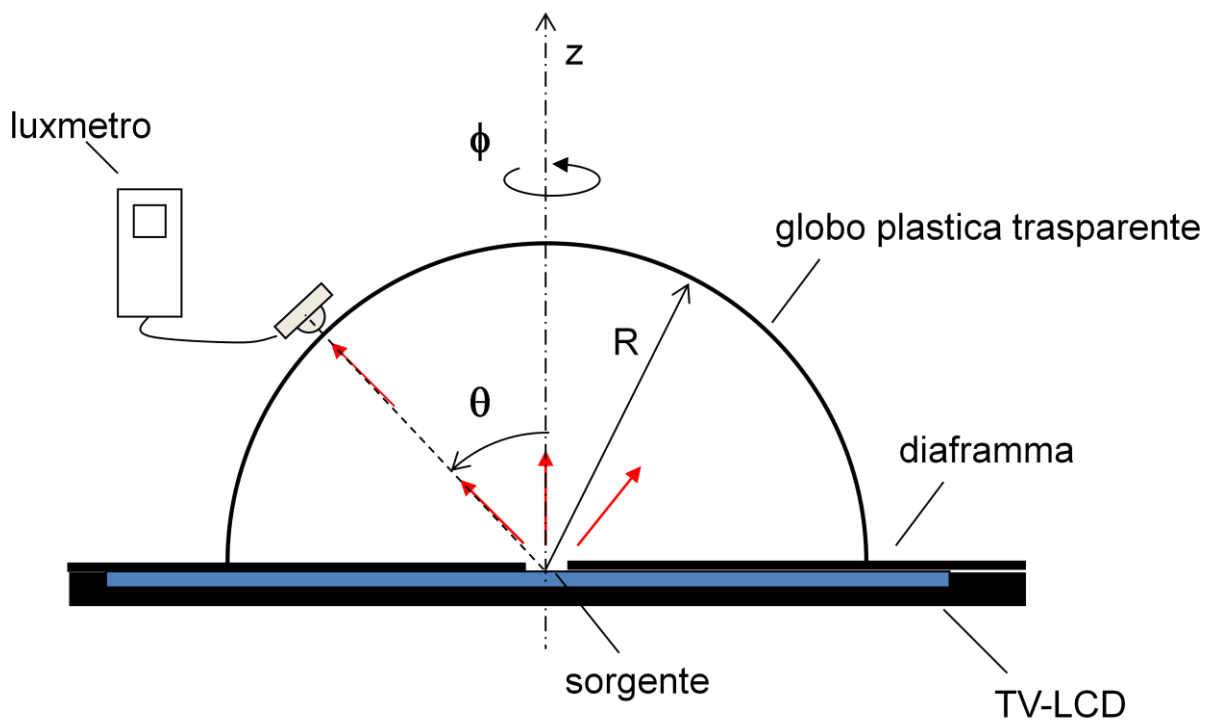




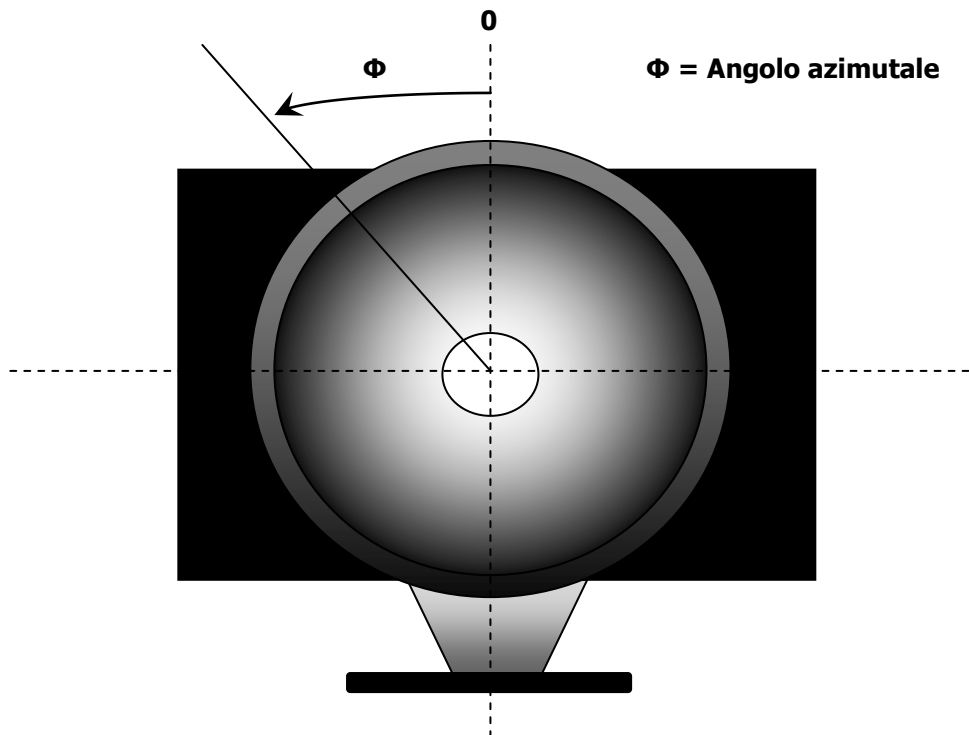
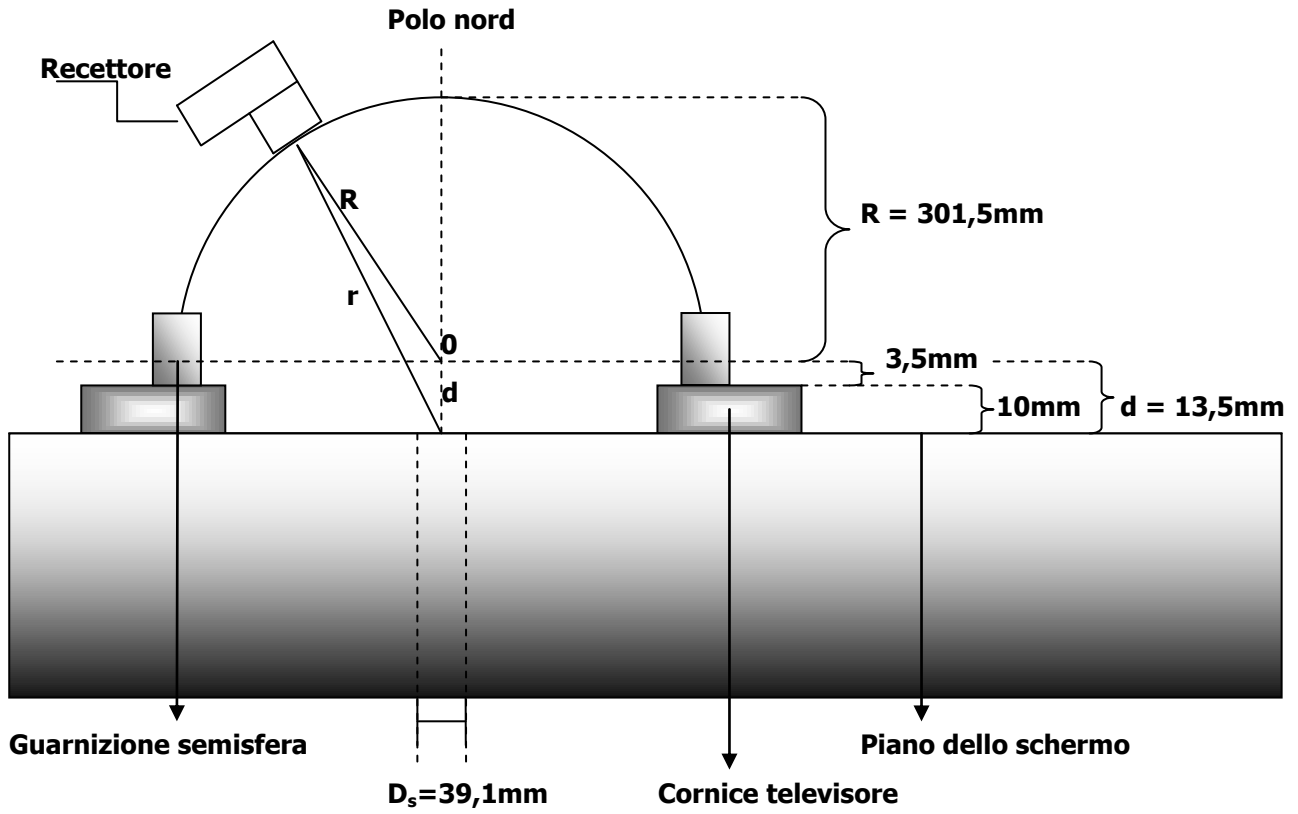
Sopra lo schermo è stata posizionata la semisfera in plastica in modo tale che la perpendicolare allo schermo, passante per il polo nord, passasse anche per il centro dell'apertura sullo schermo.

I disegni seguenti mostrano diverse sezioni dell'impianto (schermo + semisfera) sul quale sono state effettuate le misurazioni di illuminamento evidenziandone caratteristiche e parametri.

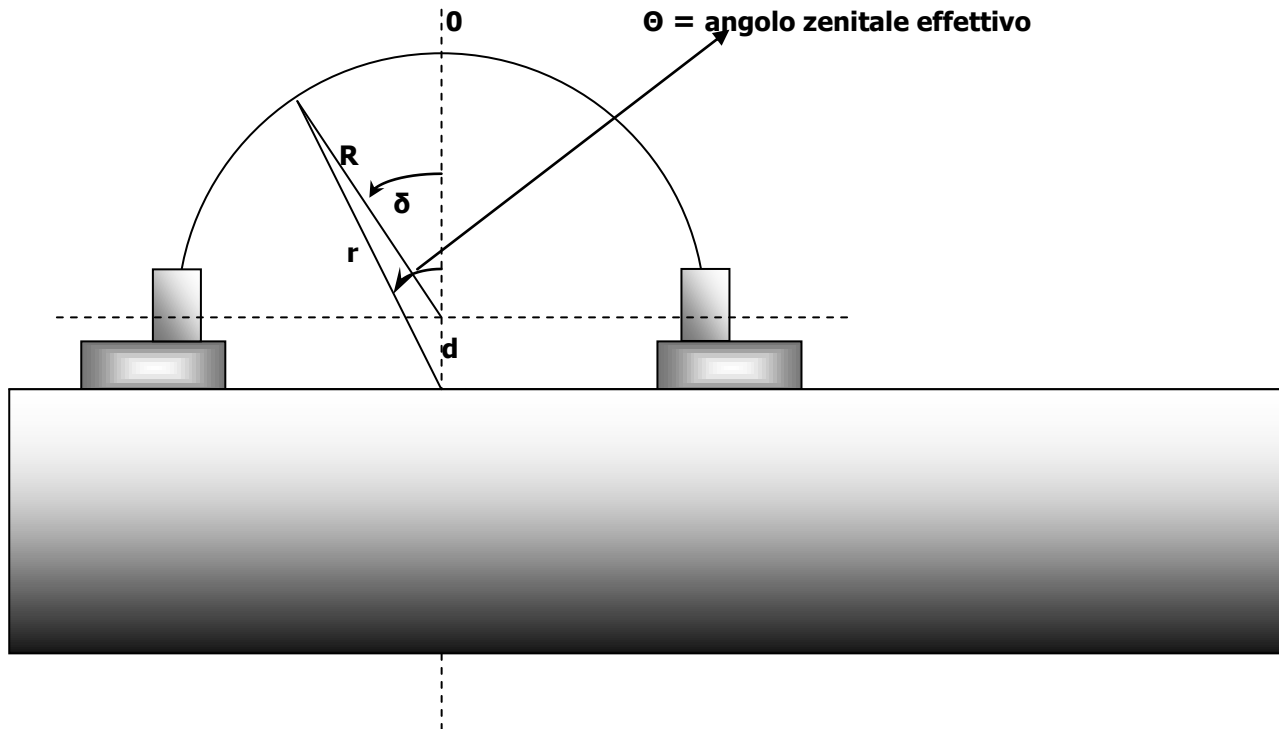
Metodo di misura



Per garantire che il piano di misurazione del luxmetro coincidesse sempre col piano tangente alla semisfera, è stato applicato un anello di cartone alto 3 mm attorno al sensore, in modo che quest'ultimo potesse aderire perfettamente alla superficie della semisfera.



δ = angolo zenitale misurato



3.3.4 Misure di illuminamento sulla semisfera

Misure di illuminamento sulla semisfera colore azzurro (standard RGB: R=187, G=224, B=227)

Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=0$	$\Phi=10$	$\Phi=20$	$\Phi=30$	$\Phi=40$	$\Phi=50$
0	0	1,84	1,85	1,85	1,85	1,85	1,86
10	9,57333	1,75	1,74	1,76	1,76	1,76	1,8
20	19,15804	1,47	1,46	1,5	1,52	1,53	1,53
30	28,76533	1,05	1,08	1,12	1,15	1,2	1,19
40	38,40604	0,72	0,7	0,75	0,76	0,78	0,79
50	48,09041	0,41	0,43	0,43	0,47	0,49	0,48
60	57,82792	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27
70	67,62696	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14
80	77,49458	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05

Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=60$	$\Phi=70$	$\Phi=80$	$\Phi=90$	$\Phi=100$	$\Phi=110$
0	0	1,85	1,86	1,86	1,85	1,87	1,86
10	9,57333	1,79	1,78	1,79	1,78	1,82	1,8
20	19,15804	1,54	1,55	1,55	1,56	1,62	1,62
30	28,76533	1,18	1,2	1,2	1,2	1,27	1,28
40	38,40604	0,81	0,82	0,84	0,82	0,89	0,89
50	48,09041	0,49	0,5	0,5	0,51	0,58	0,56
60	57,82792	0,28	0,28	0,28	0,28	0,32	0,31
70	67,62696	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,16
80	77,49458	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06

Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=120$	$\Phi=130$	$\Phi=140$	$\Phi=150$	$\Phi=160$	$\Phi=170$
0	0	1,87	1,86	1,86	1,85	1,87	1,86
10	9,57333	1,82	1,8	1,8	1,8	1,81	1,79
20	19,15804	1,61	1,6	1,58	1,58	1,55	1,56
30	28,76533	1,28	1,25	1,22	1,23	1,2	1,17
40	38,40604	0,9	0,9	0,84	0,84	0,83	0,8
50	48,09041	0,57	0,58	0,51	0,52	0,5	0,48
60	57,82792	0,33	0,31	0,29	0,26	0,28	0,26
70	67,62696	0,16	0,14	0,12	0,15	0,15	0,14
80	77,49458	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04

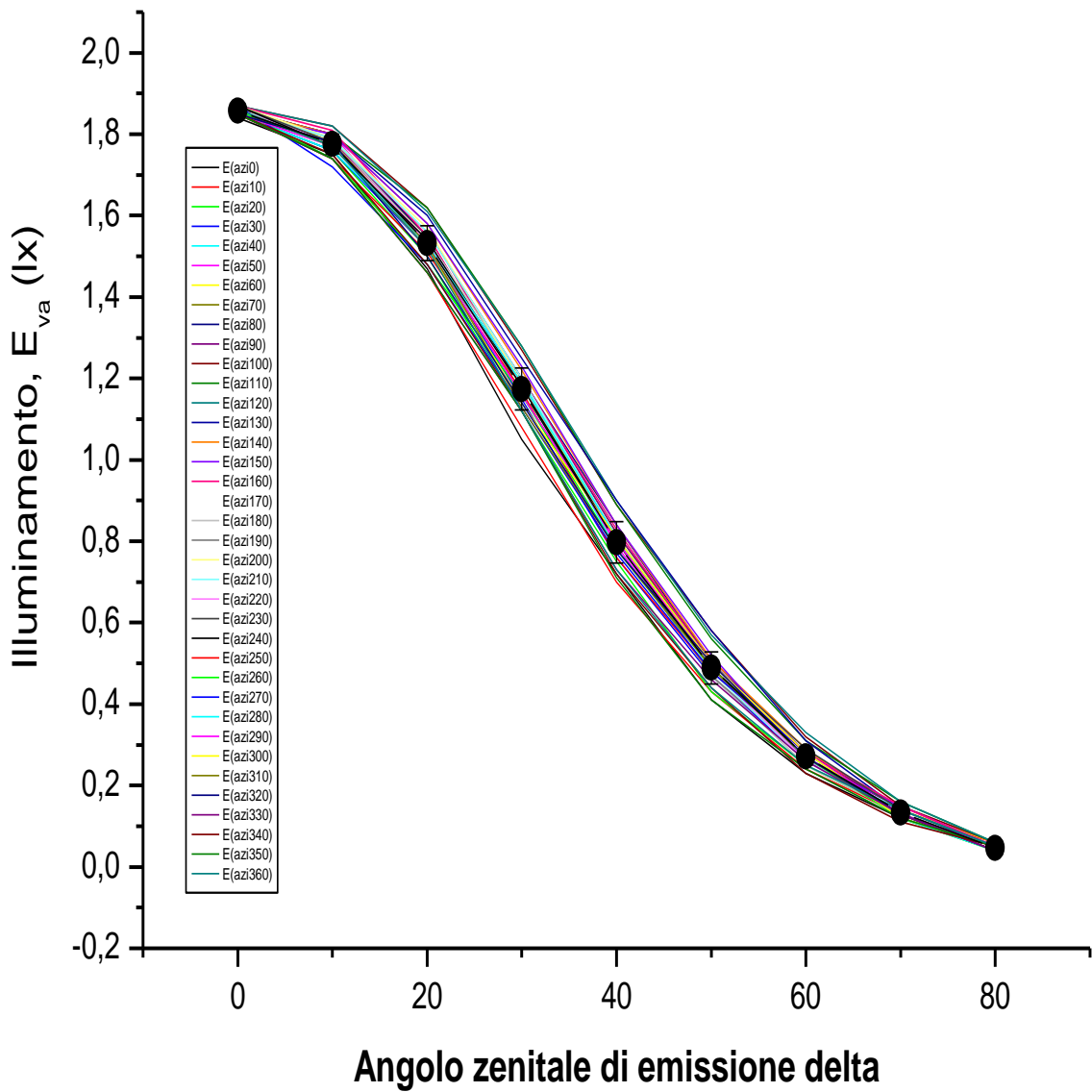
Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=180$	$\Phi=190$	$\Phi=200$	$\Phi=210$	$\Phi=220$	$\Phi=230$
0	0	1,87	1,86	1,87	1,86	1,86	1,87
10	9,57333	1,79	1,78	1,79	1,79	1,78	1,78
20	19,15804	1,54	1,52	1,57	1,56	1,54	1,52
30	28,76533	1,2	1,18	1,19	1,2	1,16	1,16
40	38,40604	0,81	0,8	0,81	0,81	0,81	0,8
50	48,09041	0,47	0,47	0,49	0,48	0,49	0,5
60	57,82792	0,25	0,27	0,27	0,26	0,26	0,29
70	67,62696	0,13	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14
80	77,49458	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05

Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=240$	$\Phi=250$	$\Phi=260$	$\Phi=270$	$\Phi=280$	$\Phi=290$
0	0	1,87	1,85	1,86	1,87	1,86	1,85
10	9,57333	1,77	1,74	1,74	1,72	1,77	1,77
20	19,15804	1,54	1,51	1,48	1,48	1,53	1,52
30	28,76533	1,18	1,17	1,16	1,16	1,19	1,16
40	38,40604	0,8	0,76	0,78	0,77	0,81	0,8
50	48,09041	0,49	0,48	0,49	0,48	0,5	0,5
60	57,82792	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28
70	67,62696	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13
80	77,49458	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05

Angoli Zenitali		Misure di illuminamento (E_{va}) per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=300$	$\Phi=310$	$\Phi=320$	$\Phi=330$	$\Phi=340$	$\Phi=350$
0	0	1,86	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
10	9,57333	1,77	1,78	1,78	1,74	1,75	1,74
20	19,15804	1,52	1,53	1,5	1,46	1,48	1,46
30	28,76533	1,18	1,17	1,18	1,17	1,17	1,17
40	38,40604	0,81	0,78	0,78	0,73	0,72	0,71
50	48,09041	0,5	0,49	0,5	0,46	0,44	0,41
60	57,82792	0,28	0,27	0,27	0,26	0,23	0,24
70	67,62696	0,12	0,13	0,13	0,13	0,11	0,12
80	77,49458	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05

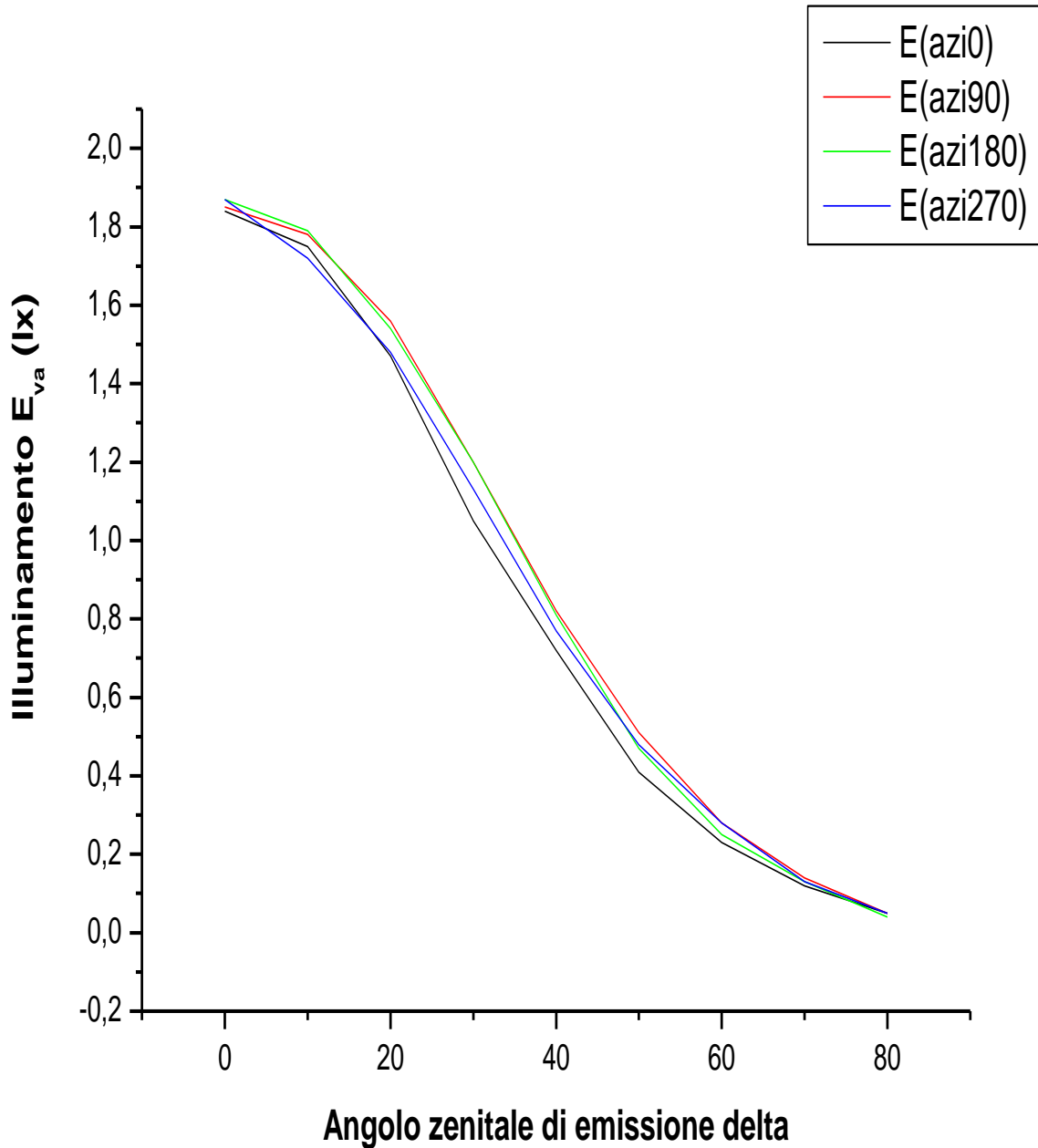
Angoli Zenitali		Misure di illuminamento medio (E_{va})			
δ	θ	Media su tutto Φ	Range		
0	0	1,85784	0,02		
10	9,57333	1,77568	0,04		
20	19,15804	1,5327	0,06		
30	28,76533	1,17405	0,11		
40	38,40604	0,7973	0,20		
50	48,09041	0,48892	0,09		
60	57,82792	0,27189	0,05		
70	67,62696	0,13351	0,02		
80	77,49458	0,04689	0,01		

Profilo di illuminamento lungo l'angolo zenitale di ciascuno dei 36 angoli azimutali esaminati.



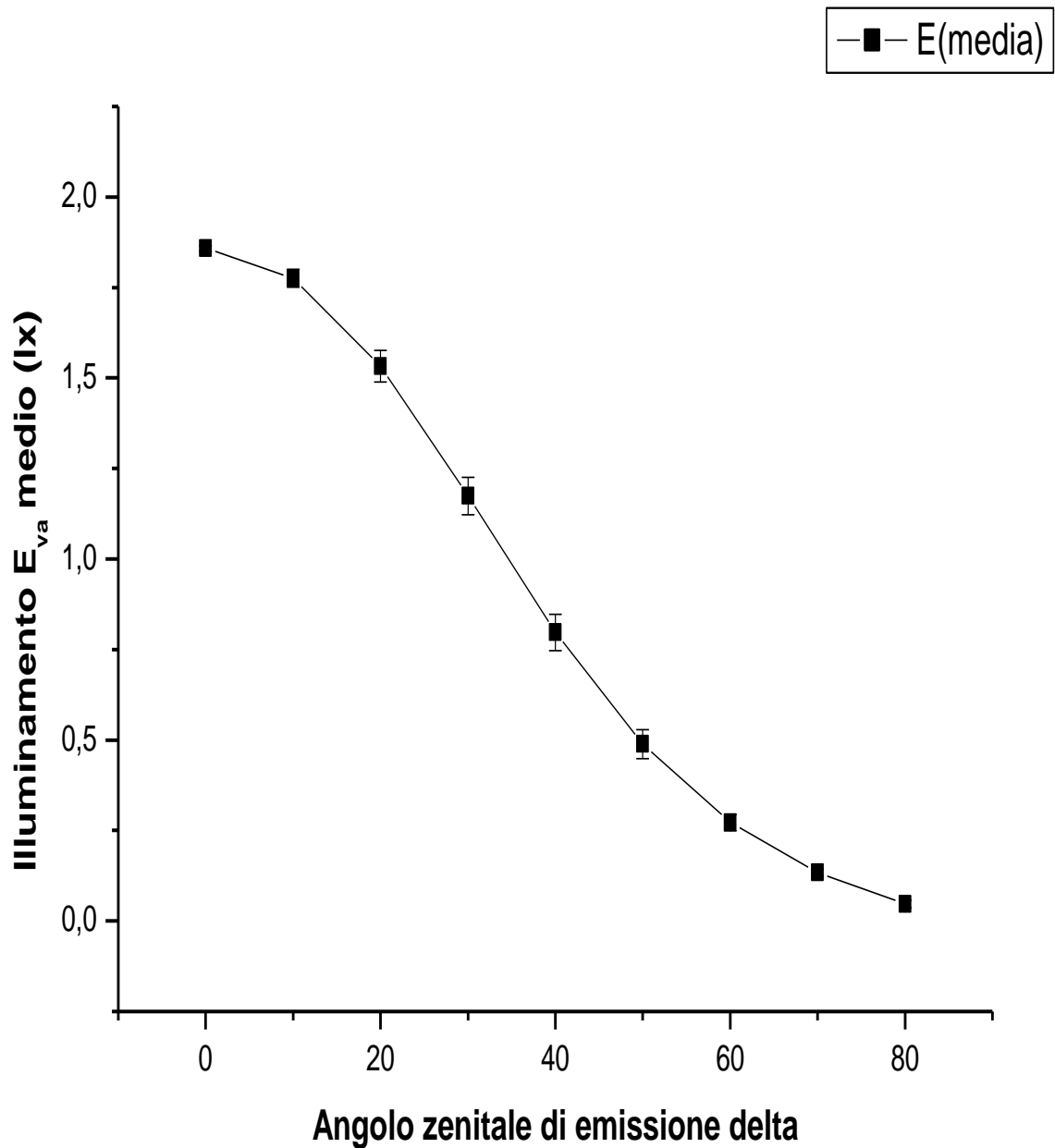
In questo grafico sono rappresentati i profili di illuminamento suddivisi per angolo azimutale. In un range di valori di illuminamento di ogni angolo zenitale di circa $\pm 5\%$ rispetto al valore centrale, è evidente un medesimo profilo di illuminamento.

Profilo illuminamento lungo l'angolo zenitale degli azimut coincidenti con le direzione perpendicolare ai a lati del TV LCD



In questo grafico sono visualizzati i profili di illuminamento relativi agli angoli azimutali $\Phi = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$. Risulta evidente come nel grafico precedente una similarità dei profili, ma si nota un minor illuminamento ad azimut zero. Questo dato non sorprende molto in quanto ad azimut zero corrisponde il lato superiore del televisore che nella logica del "normale" impiego del televisore non necessita di un grande angolo di visuale.

Profilo di illuminamento medio lungo l'angolo zenitale






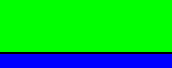

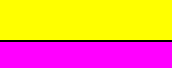


Dall'elaborazione dei dati misurati è stato ricavato il profilo di emissione zenitale medio.

Il grafico mostra un andamento della curva di emissione tipico di un esponenziale negativo.

Il valore massimo corrisponde all'angolo zenitale uguale a 0° mentre, ad un angolo di circa 40° , il valore risulta già dimezzato.

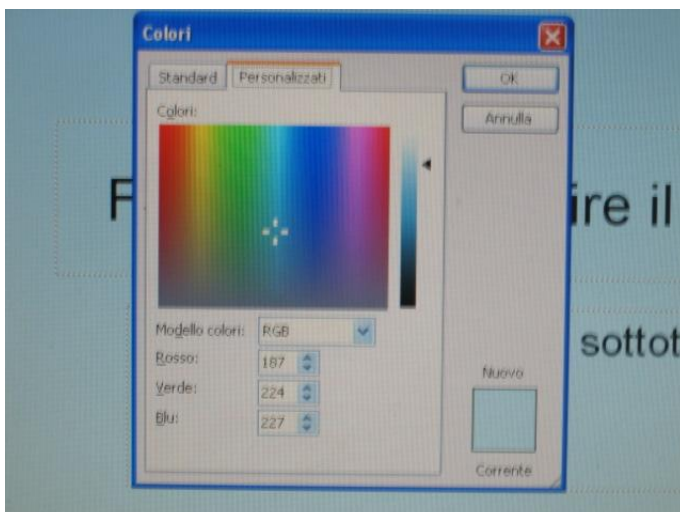
Il lobo emissivo della TV LCD risulta più stretto rispetto a quello delle lampade utilizzate per i primi esperimenti di biologia, tuttavia idoneo per gli ulteriori esperimenti.

Tabella valori di illuminamento ad angolo di emissione zenitale zero di vari colori

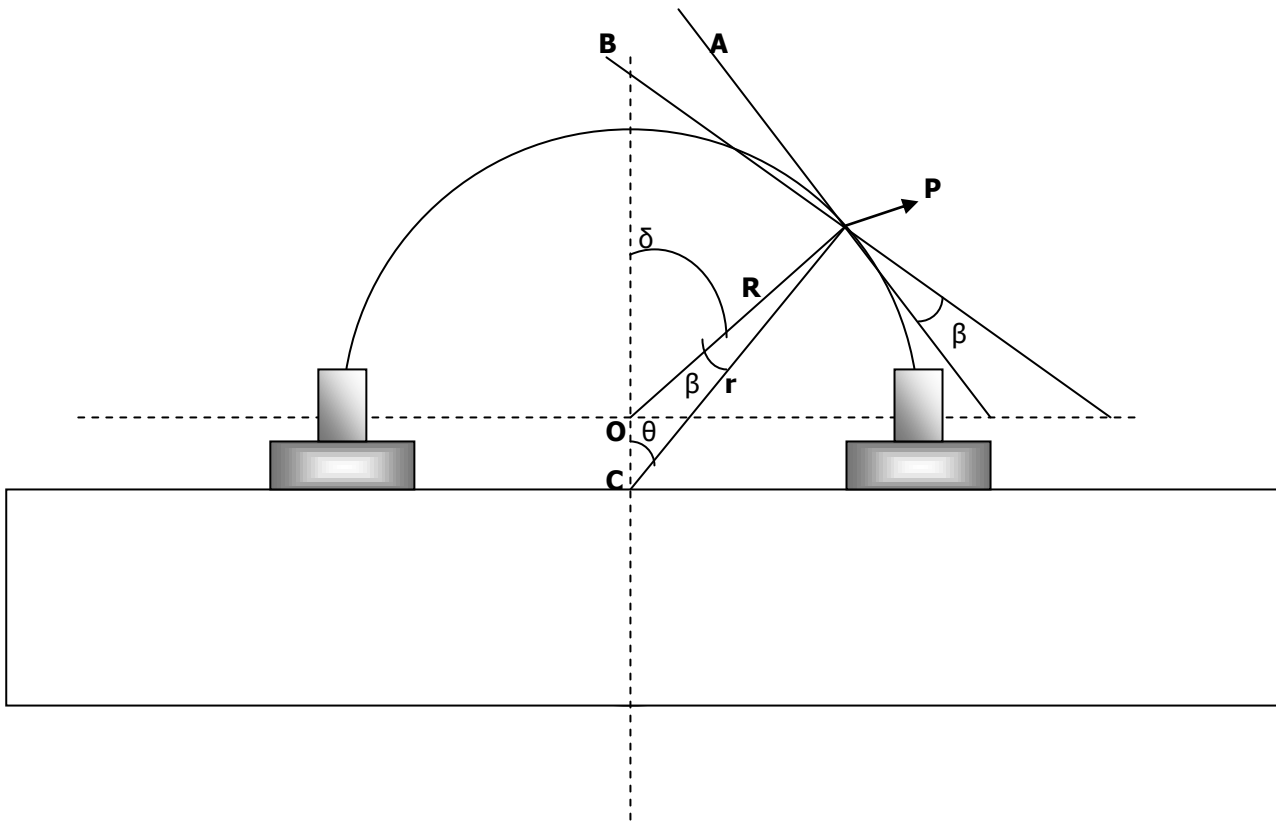
Nome colore	Specifica RGB	Colore	$E_{va}(\theta=0)$	$E_{va}(\theta=0)/E_{va}(\theta=0)\text{Azzurro} = E_{va}(\theta=0)\text{relativo}$
Azzurro (colore di riferimento)	$R=187, G=224, B=227$		1,86	1
Bianco	$R=255, G=255, B=255$		3,98	2,13978
Rosso	$R=255, G=0, B=0$		0,86	0,46237
Verde	$R=0, G=255, B=0$		2,60	1,39785
Blu	$R=0, G=0, B=255$		0,37	0,19892
Giallo	$R=255, G=255, B=0$		3,31	1,77957
Magenta	$R=255, G=0, B=255$		1,15	0,61828
Ciano	$R=0, G=255, B=255$		2,81	1,51075

Con i valori di illuminamento relativo è possibile ricavare l'intero profilo di illuminamento di tutti i colori della tabella, riproporzionando i valori misurati del colore standard (l'azzurro $R=187, G=224, B=227$).

Pannello di controllo personalizzazione colori di sfondo (software PowerPoint)



3.3.5 Calcolo della luminanza



La retta A è perpendicolare ad R ed è parallela al piano di ricezione del luxmetro durante le misurazioni.

La retta B è perpendicolare ad r ed è parallela al corretto piano di ricezione sul quale dovrebbero essere fatte le misurazioni.

L'angolo di sfasamento tra i due piani (β) è uguale all'angolo con vertice in P sotteso da R ed r.

Poiché il luxmetro opera automaticamente una correzione in base al coseno dell'angolo di ricezione della radiazione luminosa, avremo che $E_v(\delta, \Phi) = E_v(\theta, \Phi) \times \cos(\beta)$, in quanto la sorgente luminoso si trova in C.

$E_v(\theta, \Phi) = \frac{E_{va}(\delta, \Phi)}{\cos(\beta) \cdot T_v}$ è l'illuminamento nel punto P sulla superficie perpendicolare ad r.

Ora si osservi il triangolo **OCP** e si rammenti che il lato **OC = d**.

Sfruttando il teorema di Carnot (vedi appendice teorica) si ricava:

$$r^2 = d^2 + R^2 - 2 d r \cos(\pi - \delta) \quad \cos(\pi - \delta) = -\cos(\delta)$$

$$d^2 = r^2 + R^2 - 2 R r \cos(\beta)$$

$$R^2 = r^2 + d^2 - 2 d r \cos(\theta)$$

Parametri fissi:

$$d = 13,5 \text{ mm}$$

$$R = 301,5 \text{ mm}$$

Variabile controllata δ

Variabili calcolabili:

$$r = \sqrt{d^2 + R^2 + 2 * d * R * \cos(\delta)}$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{R^2 + r^2 - d^2}{2 * R * r}\right)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{d^2 + r^2 - R^2}{2 * d * r}\right)$$

Calcolo della luminanza $L(\theta, \Phi)$ (vedi appendice teorica sulle grandezze fotometriche e radiometriche)

$$A_s = \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 \times \pi = \text{Area apertura sullo schermo}$$

dA_s = Area infinitesima della sorgente luminosa

dA_r = Area infinitesima della superficie ricevente perpendicolare ad r

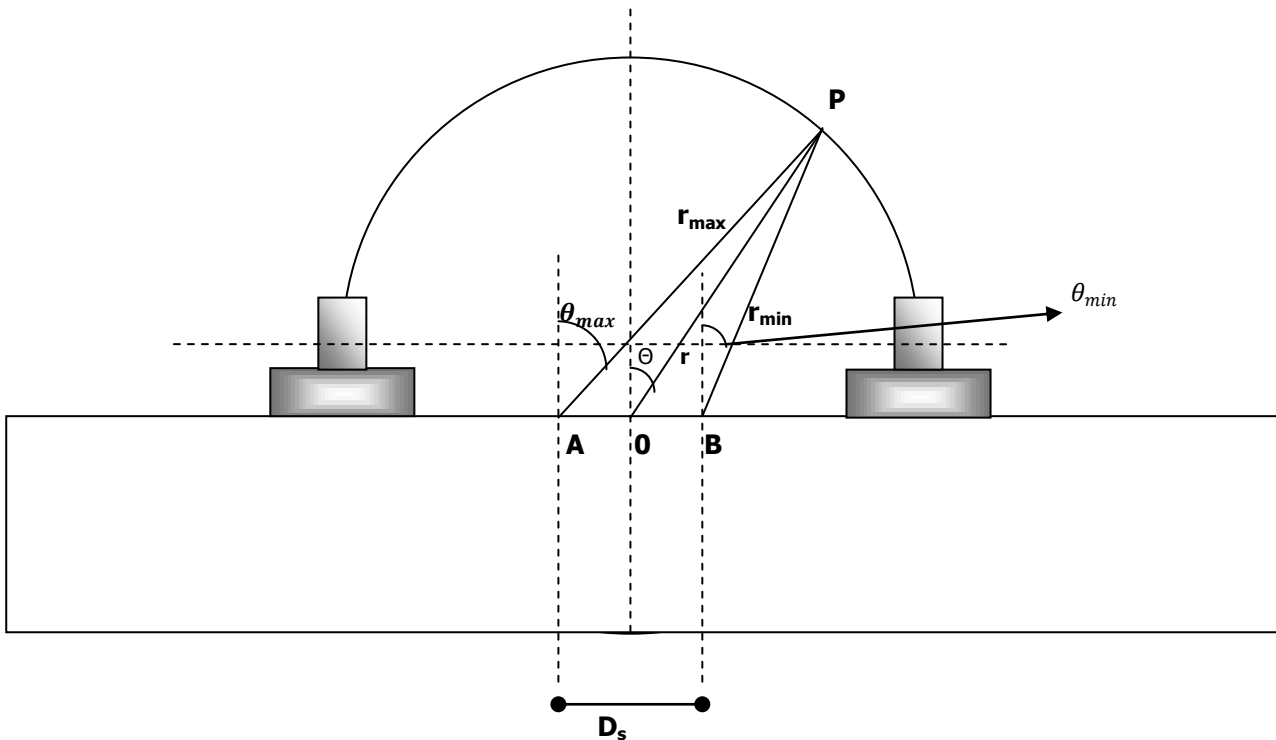
$$d\Omega = \frac{dA_r}{r^2} = \text{Definizione matematica di angolo solido}$$

$$I(\theta, \Phi) = \frac{d\Phi(\theta, \Phi)}{d\Omega} = \frac{E_v(\theta, \Phi) * dA_r}{d\Omega} = \frac{E_v(\theta, \Phi) * d\Omega * r^2}{d\Omega} = E_v(\theta, \Phi) * r^2$$

$$L(\theta, \Phi) = \frac{d\Phi(\theta, \Phi)}{d\Omega * dA_s * \cos(\theta)} = \frac{I(\theta, \Phi) * d\Omega}{d\Omega * dA_s * \cos(\theta)} = \frac{E_v(\theta, \Phi) * r^2}{dA_s * \cos(\theta)} = \frac{E_{va}(\delta, \Phi) * r^2}{A_s * \cos(\theta) * \cos(\beta) * T_v}$$

Si è sostituito dA_s con A_s misurato sperimentalmente. Questa approssimazione ha come conseguenza il calcolo di un valore di $L(\theta, \Phi)$ che rappresenta la media tra tutti i valori di luminanza compresi in un intervallo $\pm\Delta\theta$.

Il seguente disegno (non in scala) mostra come calcolare il valore di $\Delta\theta$ in funzione dell'angolo θ .



$$r_{min} = \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - D_s * r * \sin(\theta)}$$

$$r_{max} = \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 + D_s * r * \sin(\theta)}$$

$$\theta_{min} = \sin^{-1} \left(\frac{r^2 - \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - r_{min}^2}{D_s * r_{min}} \right)$$

$$\theta_{max} = \sin^{-1} \left(\frac{r_{max}^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - r^2}{D_s * r_{max}} \right)$$

$$\Delta\theta(\theta) = \text{valore assoluto}(\theta) - \text{valore assoluto}(\theta_{\min})$$

$$\Delta\theta(\theta) = \text{valore assoluto}(\theta_{\max}) - \text{valore assoluto}(\theta)$$

Il valore di $\Delta\theta(\theta)$ è massimo con $\theta = 0$ e si riduce a zero con $\theta = \pi/2$.

Si calcola il $\Delta\theta(\theta)$ con $\theta = 0$.

$$r_{\max} = r_{\min} = \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2} \cong r \text{ per } D_s \ll r$$

$$\theta_{\min} = \sin^{-1}\left(\frac{r^2 - \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - r^2 - \left(\frac{D_s}{2}\right)^2}{D_s * \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2}}\right) = \sin^{-1}\left(-\frac{D_s}{2 * \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2}}\right) \cong \sin^{-1}\left(-\frac{D_s}{2 * r}\right)$$

$$\theta_{\max} = \sin^{-1}\left(\frac{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 - r^2}{D_s * r_{\max}}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{D_s}{2 * \sqrt{r^2 + \left(\frac{D_s}{2}\right)^2}}\right) \cong \sin^{-1}\left(\frac{D_s}{2 * r}\right)$$

$$\Delta\theta(\theta = 0) \cong \pm \sin^{-1} \frac{39,1 \text{ (mm)}}{2 * 301,5 \text{ (mm)}} = \pm 3,72^\circ$$

L'errore sul coseno di θ , dovuto ad una variazione angolare $\Delta\theta = \pm 3,72^\circ$, è inferiore allo 0,5%, quindi l'errore di calcolo sulla misura della Luminanza nel punto (θ, Φ) è sempre inferiore allo 0,5%.

Misure di Luminanza calcolate sulla semisfera. Azzurro (standard RGB: R=187, G=224, B=227)

Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=0$	$\Phi=10$	$\Phi=20$	$\Phi=30$	$\Phi=40$	$\Phi=50$
0	0	166,18175	167,08491	167,08491	167,08491	167,08491	167,98807
10	9,57333	160,09016	159,17536	161,00496	161,00496	161,00496	164,66417
20	19,15804	139,8685	138,91701	142,72296	144,62593	145,57742	145,57742
30	28,76533	107,01761	110,07526	114,15212	117,20976	122,30584	121,28662
40	38,40604	81,42154	79,15983	84,8141	85,94496	88,20667	89,33752
50	48,09041	53,8424	56,46886	56,46886	61,72178	64,34823	63,035
60	57,82792	37,43904	39,06683	40,69461	42,32239	42,32239	43,95018
70	67,62696	26,95938	29,206	29,206	31,45261	29,206	31,45261
80	77,49458	19,4599	23,35188	19,4599	19,4599	19,4599	19,4599

Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=60$	$\Phi=70$	$\Phi=80$	$\Phi=90$	$\Phi=100$	$\Phi=110$
0	0	167,08491	167,98807	167,98807	167,08491	168,89123	167,98807
10	9,57333	163,74937	162,83457	163,74937	162,83457	166,49377	164,66417
20	19,15804	146,52891	147,48039	147,48039	148,43188	154,1408	154,1408
30	28,76533	120,26741	122,30584	122,30584	122,30584	129,44035	130,45956
40	38,40604	91,59923	92,73008	94,99179	92,73008	100,64607	100,64607
50	48,09041	64,34823	65,66146	65,66146	66,97469	76,1673	73,54084
60	57,82792	45,57796	45,57796	45,57796	45,57796	52,0891	50,46132
70	67,62696	31,45261	31,45261	29,206	31,45261	33,69923	35,94585
80	77,49458	23,35188	19,4599	19,4599	19,4599	23,35188	23,35188

Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=120$	$\Phi=130$	$\Phi=140$	$\Phi=150$	$\Phi=160$	$\Phi=170$
0	0	168,89123	167,98807	167,98807	167,08491	168,89123	167,98807
10	9,57333	166,49377	164,66417	164,66417	164,66417	165,57897	163,74937
20	19,15804	153,18931	152,23782	150,33485	150,33485	147,48039	148,43188
30	28,76533	130,45956	127,40192	124,34427	125,36349	122,30584	119,24819
40	38,40604	101,77692	101,77692	94,99179	94,99179	93,86094	90,46837
50	48,09041	74,85407	76,1673	66,97469	68,28792	65,66146	63,035
60	57,82792	53,71688	50,46132	47,20575	42,32239	45,57796	42,32239
70	67,62696	35,94585	31,45261	26,95938	33,69923	33,69923	31,45261
80	77,49458	23,35188	19,4599	15,56792	19,4599	19,4599	15,56792

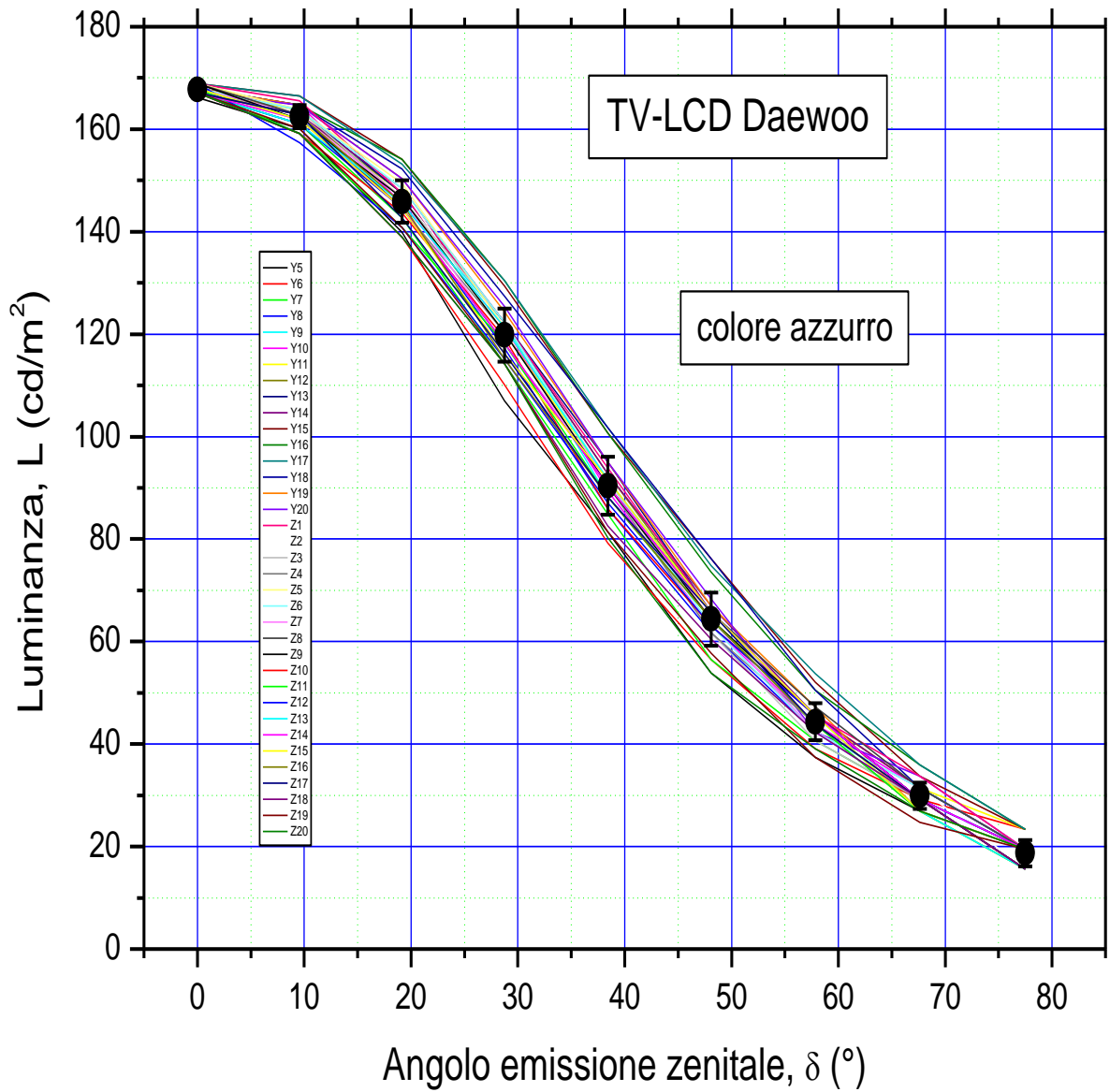
Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=180$	$\Phi=190$	$\Phi=200$	$\Phi=210$	$\Phi=220$	$\Phi=230$
0	0	168,89123	167,98807	168,89123	167,98807	167,98807	168,89123
10	9,57333	163,74937	162,83457	163,74937	163,74937	162,83457	162,83457
20	19,15804	146,52891	144,62593	149,38337	148,43188	146,52891	144,62593
30	28,76533	122,30584	120,26741	121,28662	122,30584	118,22898	118,22898
40	38,40604	91,59923	90,46837	91,59923	91,59923	91,59923	90,46837
50	48,09041	61,72178	61,72178	64,34823	63,035	64,34823	65,66146
60	57,82792	40,69461	43,95018	43,95018	42,32239	42,32239	47,20575
70	67,62696	29,206	26,95938	29,206	31,45261	29,206	31,45261
80	77,49458	15,56792	19,4599	15,56792	19,4599	15,56792	19,4599

Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=240$	$\Phi=250$	$\Phi=260$	$\Phi=270$	$\Phi=280$	$\Phi=290$
0	0	168,89123	167,08491	167,98807	168,89123	167,98807	167,08491
10	9,57333	161,91976	159,17536	159,17536	157,34576	161,91976	161,91976
20	19,15804	146,52891	143,67445	140,81999	140,81999	145,57742	144,62593
30	28,76533	120,26741	119,24819	118,22898	115,17133	121,28662	118,22898
40	38,40604	90,46837	85,94496	88,20667	87,07581	91,59923	90,46837
50	48,09041	64,34823	63,035	64,34823	63,035	65,66146	65,66146
60	57,82792	45,57796	45,57796	43,95018	45,57796	45,57796	45,57796
70	67,62696	29,206	29,206	26,95938	29,206	26,95938	29,206
80	77,49458	15,56792	15,56792	15,56792	19,4599	15,56792	19,4599

Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$ calcolate per angoli azimutali					
δ	θ	$\Phi=300$	$\Phi=310$	$\Phi=320$	$\Phi=330$	$\Phi=340$	$\Phi=350$
0	0	167,98807	167,08491	167,08491	167,08491	167,08491	167,08491
10	9,57333	161,91976	162,83457	162,83457	159,17536	160,09016	159,17536
20	19,15804	144,62593	145,57742	142,72296	138,91701	140,81999	138,91701
30	28,76533	116,19055	115,17133	116,19055	114,15212	114,15212	114,15212
40	38,40604	91,59923	88,20667	88,20667	82,55239	81,42154	80,29068
50	48,09041	65,66146	64,34823	65,66146	60,40855	57,78209	53,8424
60	57,82792	45,57796	43,95018	43,95018	42,32239	37,43904	39,06683
70	67,62696	26,95938	29,206	29,206	29,206	24,71277	26,95938
80	77,49458	19,4599	15,56792	15,56792	15,56792	19,4599	19,4599

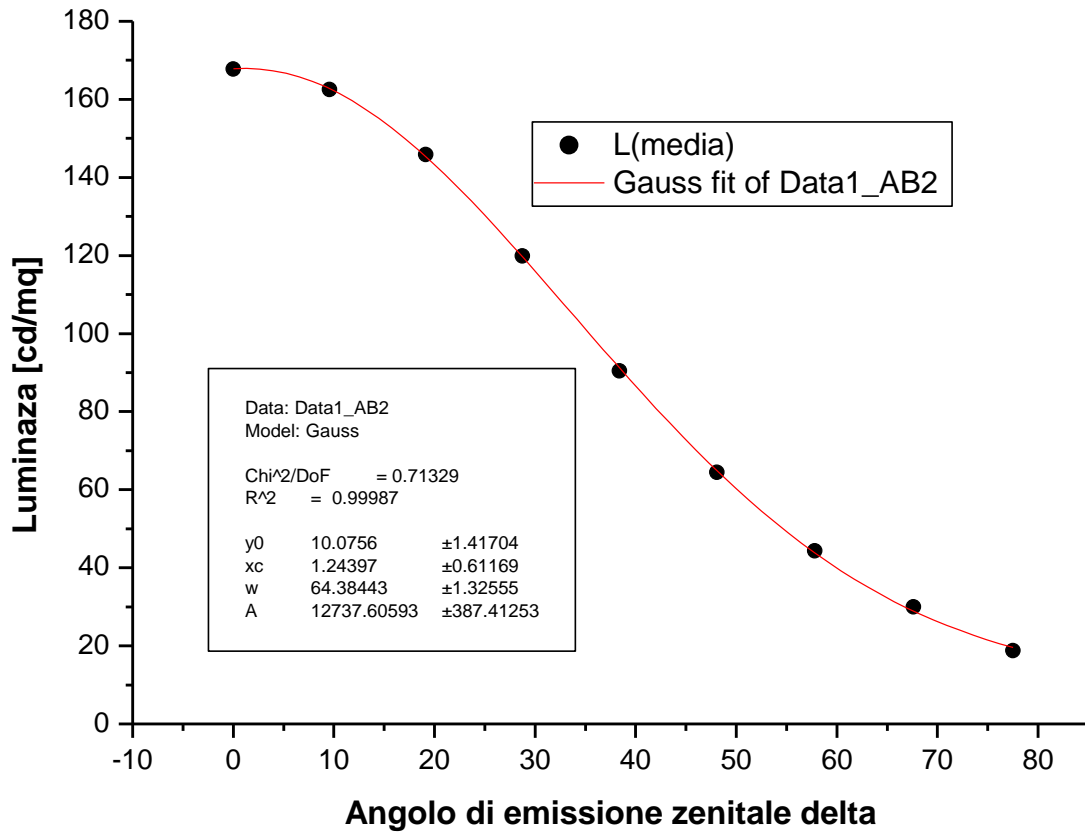
Angoli Zenitali		Misure di Luminanza $L(\theta, \Phi)$			
δ	θ	Media su tutto Φ	Range		
0	0	167,78737	0,75134		
10	9,57333	162,4534	2,24479		
20	19,15804	145,86815	4,14942		
30	28,76533	119,81442	5,21663		
40	38,40604	90,37414	5,65347		
50	48,09041	64,38471	5,2104		
60	57,82792	44,35712	3,63724		
70	67,62696	29,95487	2,57557		
80	77,49458	18,70312	2,60159		

Analisi grafica profili di Luminanza



Il grafico sopra mostra l'insieme dei profili di luminanza, suddivisi per angoli azimutali.
Si evidenzia l'esistenza di profilo emissivo simile per ognuno degli angoli azimutali.

Profilo di luminanza medio



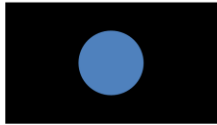
Dai grafici relativi ai profili di luminanza dello schermo LCD Daewoo si rileva che il punto di luminanza massima è posto ad angolo zenitale = 0 . La curva di luminanza ha un andamento di tipo gaussiano: dal punto di massimo il valore della luminanza scende rapidamente e risulta dimezzato ad un angolo zenitale di circa 40°.

3.3.6 Impostazione dell'integrale per il calcolo dell'illuminamento

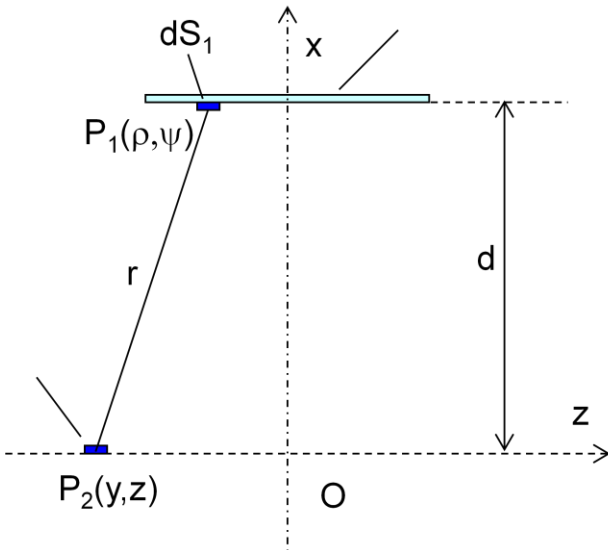
Una volta conosciuto il valore della luminanza angolare $L(\theta, \Phi)$ di una sorgente e la geometria della stessa, è possibile ricavare il valore dell'illuminamento su di un piano qualsiasi parallelo alla sorgente stessa.

In questo lavoro di tesi è stato affrontato il problema dell'impostazione dell'integrale, la cui risoluzione fornisce i valori di illuminamento di qualunque punto raggiunto dalla radiazione luminosa proveniente da una sorgente avente geometria circolare.

Schermo
circolare



dS_1 =elemento emettitore; $P_1 = P_1(\rho, \psi)$
 dS_2 =elemento ricevitore; $P_2 = P_2(y, z)$



Trasferimento di flusso elementare tra dS_1 e dS_2 :

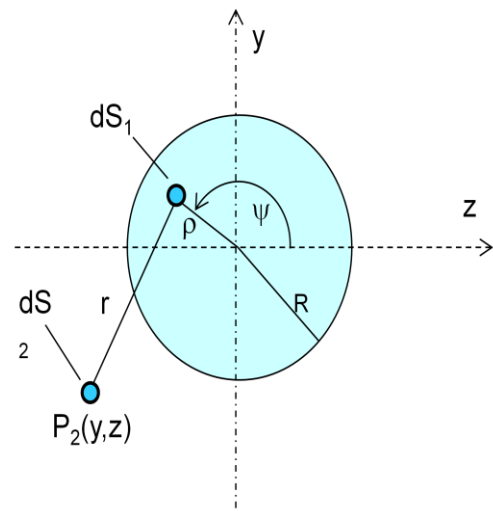
$$d^2\Phi_{12} = L(\theta, \phi) \cdot \frac{\cos^2 \theta}{r^2} \cdot dS_1 \cdot dS_2$$

Illuminamento sul piano y,z:

$$E = \int_{S_1} dE = \int_{S_1} \frac{d^2\Phi_{12}}{dS_2} = \int_{S_1} dS_1 \cdot L(\theta, \phi) \cdot \frac{\cos^2 \theta}{r^2}$$

$$E(y, z) = \int_{S_1} dS_1 \cdot L(\theta, \phi) \cdot \frac{\cos^2 \theta}{r^2} = \dots$$

$$\int_0^{2\pi} d\phi \cdot \int_0^R d\rho \cdot L(\theta, \phi) \cdot \frac{d^2\rho}{[(d^2 + z^2) + \rho^2 - 2\rho z \cdot \cos \phi]^2}$$



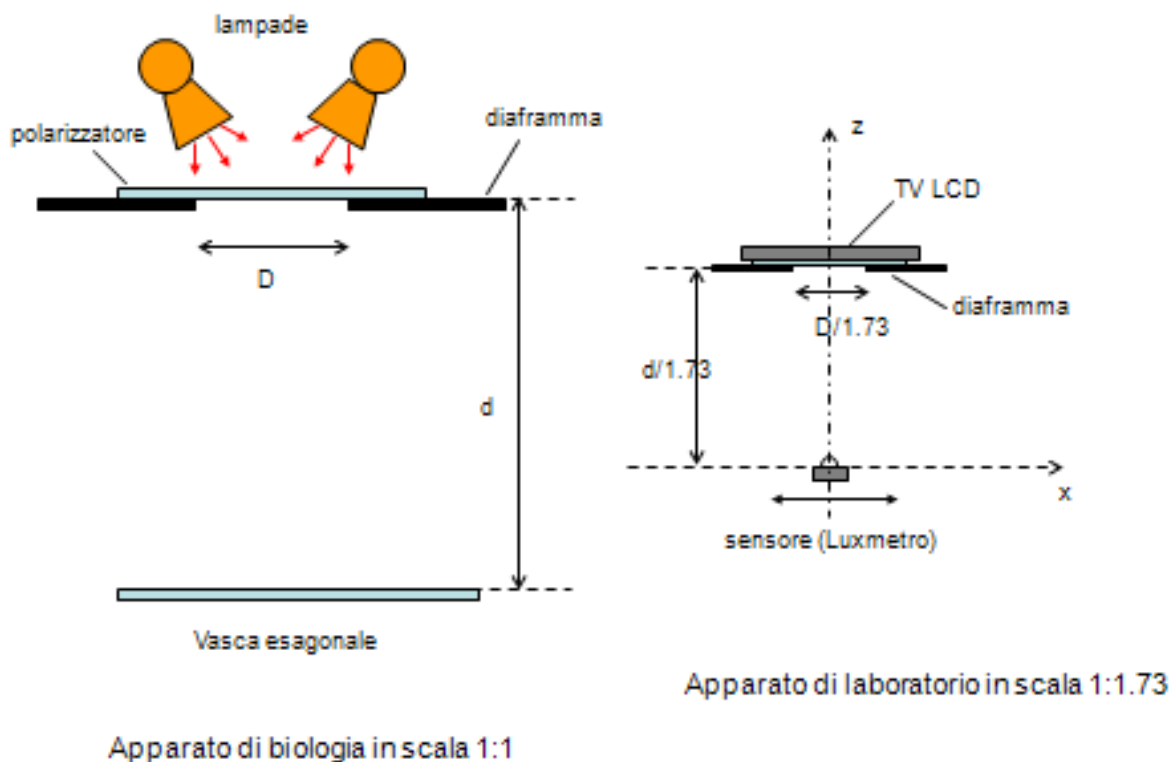
Vista la complessità dell'integrale, per la sua risoluzione sarebbe necessario dotarsi di un software adeguato o crearlo. In questo lavoro di tesi non è stato affrontato questo aspetto.

3.4 Misure di illuminamento su un piano

3.4.1 Fase preparatoria alle misurazioni

Per la caratterizzazione della TV-LCD, è stata riprodotta nel laboratorio ottico una versione, in scala 1 : 1.73, del modello dell'apparato di biologia, in modo da poter effettuare misurazioni direttamente riferibili all'esperimento stesso, pur non avendo i medesimi spazi a disposizione.

Caratterizzazione ottica di schermi TV-LCD



La distanza d dello schermo sorgente dal pelo dell'acqua è di 1330 mm, considerando lo spessore del diaframma, la cornice del televisore ed una guarnizione di 2 mm frapposta tra il diaframma e la cornice del televisore.

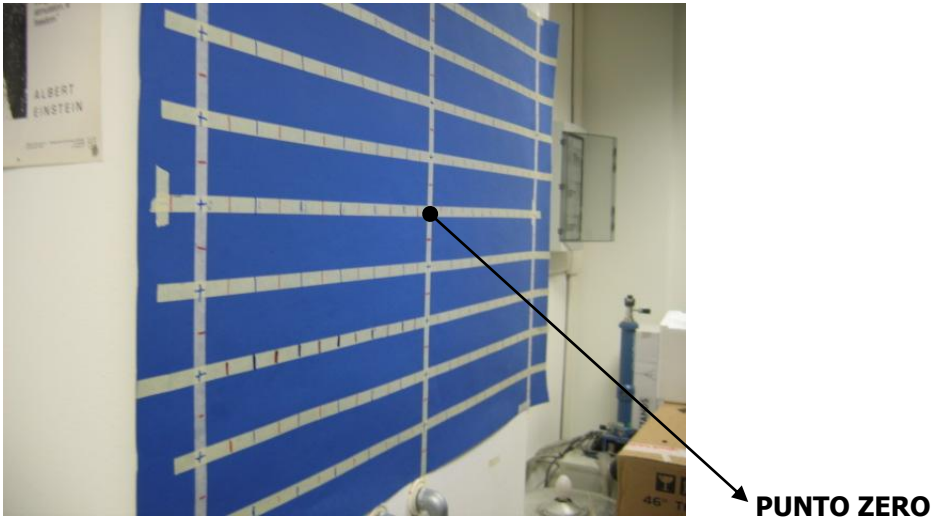
Il diaframma ha un diametro di apertura $D = 550$ mm.

Sulla base di questi dati è stato preparato un cartoncino nero su cui è stato eseguito un foro circolare del diametro di 318 mm ($1/1.73$ del diametro D del diaframma). Il cartoncino è stato fissato allo schermo del televisore in modo che la luce proveniente dallo stesso potesse uscire solo dall'apertura circolare.

Lo schermo è stato posizionato sul banco ottico parallelamente alla parete sulla quale, in seguito, sono state fatte le misurazioni di illuminamento. Per mantenere le proporzioni di scala 1 : 1.73, la distanza dal muro

sarebbe dovuta essere di 770 mm, ma è stato necessario considerare ulteriori 30 mm (lo spessore del luxmetro), portando così l'effettiva distanza a 800 mm.

Su un cartellone è stata disegnata una griglia di riferimento con punti distanziati tra loro di 10 cm sia in ascissa che in ordinata (vedi foto). Il punto zero è stato fissato nel centro del cartellone.



Il cartellone è stato poi fissato al muro in modo che la retta perpendicolare al muro, passante per il centro dell'apertura sullo schermo, passasse per il punto centrale del cartellone (punto zero).

Successivamente è stato possibile effettuare le misurazioni di illuminamento, avendo cura di oscurare il laboratorio per l'evitare l'inquinamento dei dati da parte di altre fonti luminose.



Oltre alle misure di illuminamento con sorgente circolare sono state effettuate anche misure con sorgente quadrata (lato = 450 mm), per valutare l'impatto della geometria della sorgente sui profili relativi di illuminamento.

3.4.2 Dati sperimentali di illuminamento con schermo tondo e analisi

Valori assoluti

Ascissa Ordinata	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
50	3,99	5,56	7,22	8,95	10,5	12,2	12,5
40	4,84	6,8	9,13	11,9	14,7	17,1	18,1
30	6,05	8,8	12,3	16,6	20,5	23,4	25
20	7,11	10,7	15,3	20,8	26,6	31	32,6
10	8,26	12,4	17,9	24,8	32	36,7	38,3
0	8,72	13,2	18,8	25,9	32,7	38,1	40,2
-10	8,12	12,15	17,63	24,11	30,9	36	37,8
-20	7,46	11,08	15,74	21,18	26,9	31,1	32,6
-30	6,13	9,18	12,6	17	21	24,3	26
-40	5,04	7,09	9,56	12,2	15,31	18,3	18,9
-50	4,12	5,76	7,45	9,89	12,16	13,02	14,5

Valori relativi (Valore assoluto/Valore assoluto massimo)

Ascissa Ordinata	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
50	0,10249	0,14328	0,18532	0,24602	0,30249	0,32388	0,3607
40	0,12537	0,17637	0,23781	0,30348	0,38085	0,45522	0,47015
30	0,15249	0,22836	0,31343	0,42289	0,52239	0,60448	0,64677
20	0,18557	0,27562	0,39154	0,52687	0,66915	0,77363	0,81095
10	0,20199	0,30224	0,43856	0,59975	0,76866	0,89552	0,9403
0	0,21692	0,32836	0,46766	0,64428	0,81343	0,94776	1
-10	0,20547	0,30846	0,44527	0,61692	0,79602	0,91294	0,95274
-20	0,17687	0,26617	0,3806	0,51741	0,66169	0,77114	0,81095
-30	0,1505	0,21891	0,30597	0,41294	0,50995	0,58209	0,62189
-40	0,1204	0,16915	0,22711	0,29602	0,36567	0,42537	0,45025
-50	0,09925	0,13831	0,1796	0,22264	0,26119	0,30348	0,31095

Valori assoluti

Ascissa Ordinata	0	10	20	30	40	50	60
50	12,5	12,2	11	9	7	5,5	4,21
40	18,1	17,3	15,2	12,7	9,6	7,09	5,3
30	25	24	21,1	17	13,1	9,57	6,5
20	32,6	31,3	27	21,7	16,2	11,2	7,9
10	38,3	36,6	31,8	25,5	18,4	13	8,4
0	40,2	38,6	33,1	25,9	19,3	13,3	9,16
-10	37,8	36,1	31,6	24,57	17,7	12,7	8,69
-20	32,6	31,1	27,3	21,8	16,2	11,7	7,52
-30	26	24,8	21,6	17,3	13	9,4	6,4
-40	18,9	17,9	15,6	12,8	9,75	7,49	5,45
-50	14,5	12,58	11,15	9,03	7,06	5,56	4,17

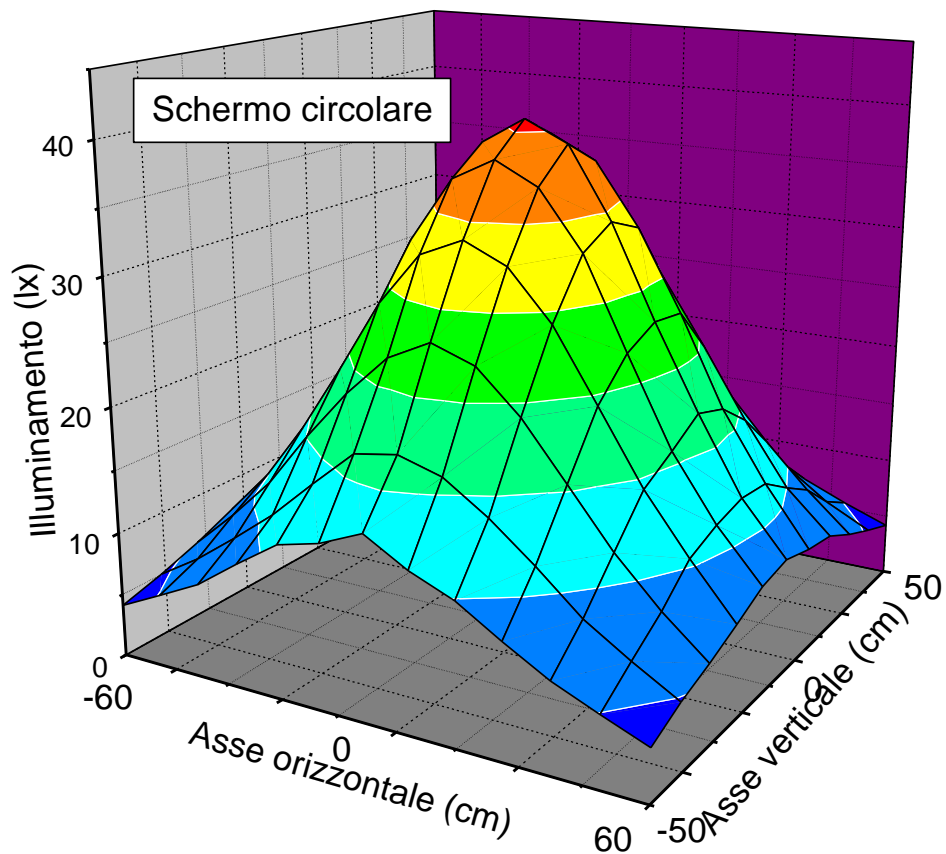
Valori relativi

Ascissa Ordinata	0	10	20	30	40	50	60
50	0,3607	0,31294	0,27736	0,22463	0,17562	0,13831	0,10373
40	0,47015	0,44527	0,38806	0,31841	0,24254	0,18632	0,13557
30	0,64677	0,61692	0,53731	0,43035	0,32338	0,23383	0,1592
20	0,81095	0,77363	0,6791	0,54229	0,40299	0,29104	0,18706
10	0,9403	0,89801	0,78607	0,61119	0,4403	0,31592	0,21617
0	1	0,9602	0,82338	0,64428	0,4801	0,33085	0,22786
-10	0,95274	0,91045	0,79104	0,63433	0,45771	0,32338	0,20896
-20	0,81095	0,77861	0,67164	0,5398	0,40299	0,27861	0,19652
-30	0,62189	0,59701	0,52488	0,42289	0,32587	0,23806	0,16169
-40	0,45025	0,43035	0,37811	0,31592	0,23881	0,17637	0,13184
-50	0,31095	0,30348	0,27363	0,22388	0,17413	0,13682	0,10473

In tutte le tabelle sopra riportate sono segnati in rosso i valori relativi ai punti che cadono esternamente al perimetro della vasca esagonale mentre, in grassetto, è evidenziato il valore di massimo illuminamento coincidente col centro del sistema di riferimento e quindi col centro della vasca esagonale.

Analisi grafica dati illuminamento schermo circolare

Visione tridimensionale

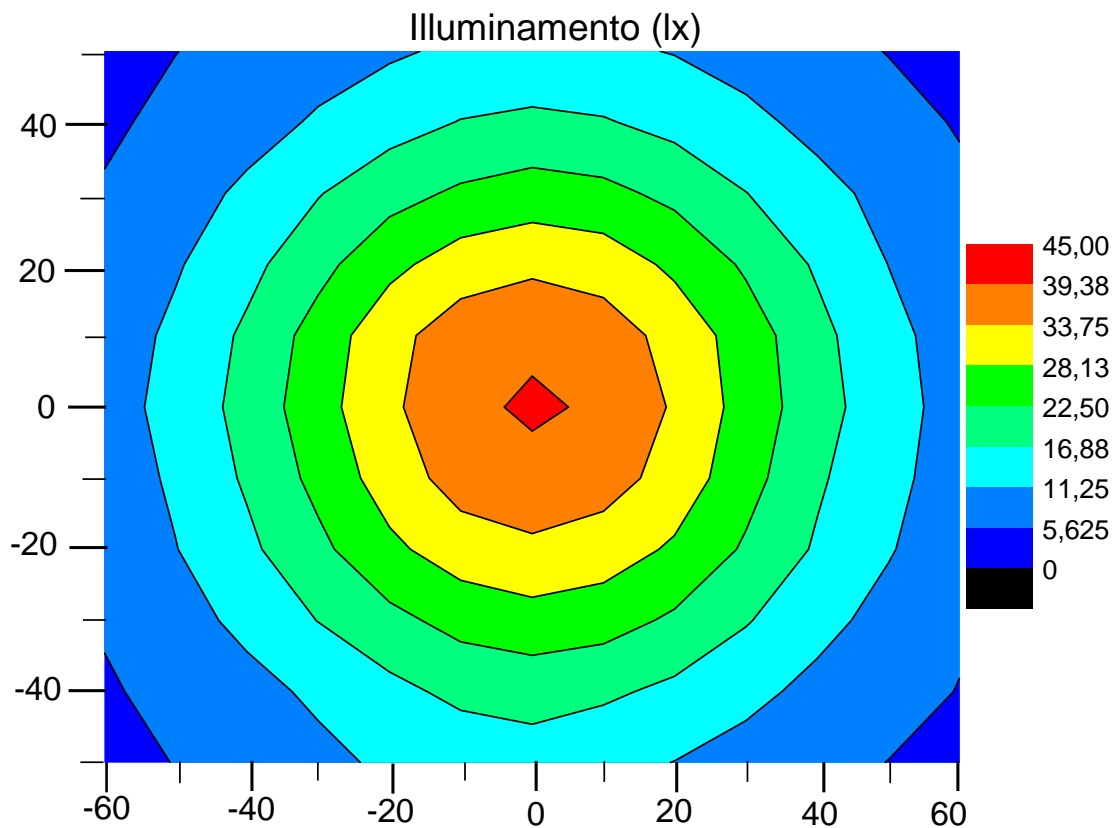


Il valore di illuminamento massimo, come ci si attendeva, coincide con il centro del foglio (riferimento verticale =0, riferimento orizzontale =0).

I punti sulle circonferenze concentriche, centrate nel punto di massimo illuminamento, hanno un illuminamento molto simile.

L'illuminamento decresce in maniera esponenziale man mano che ci si allontana dal centro del sistema di riferimento.

Visione bidimensionale piano d'illuminamento



I diversi colori individuano i punti di illuminamento simile.

La scala di valori, a fianco dei vari colori, rappresenta il valore di illuminamento.

La simmetria delle zone aventi medesimo valore di illuminamento implica che, sul piano di illuminamento per ogni angolo zenitale, il valore di illuminamento è pressoché costante su tutti i 360° dell'angolo azimutale.

3.4.3 Dati sperimentali di illuminamento con schermo quadrato e analisi

Valori assoluti illuminamento [lux] schermo quadrato

Ascissa	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
Ordinata							
50	5,22	7,35	9,31	12	14,63	16,52	17,26
40	6,78	9,46	12,77	16,54	20,44	23,63	25,15
30	8,52	12,06	17,03	22,74	28,37	33	35
20	10,46	15,42	22,33	30	39	45,1	47,4
10	12,01	17,76	25,8	35,8	45,8	53,4	56,2
0	12,58	18,84	27,22	37,7	47,6	56,1	59,5
-10	10,95	16,4	23,68	32,5	41,1	47,7	50,4
-20	9,92	14,72	20,78	28,4	35,3	40,9	43,1
-30	8,36	12,1	16,64	22,4	27,56	32	33,7
-40	6,79	9,39	12,68	16,66	20,38	23,4	24,63
-50	5,4	7,35	9,54	12,02	15,4	16,42	17,23

Valori relativi illuminamento schermo quadrato

Ascissa	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0
Ordinata							
50	0,09076	0,12353	0,16034	0,20202	0,25882	0,27597	0,28958
40	0,11412	0,15782	0,21311	0,28	0,34252	0,39328	0,41395
30	0,1405	0,20336	0,27966	0,37647	0,46319	0,53782	0,56639
20	0,16672	0,24739	0,34924	0,47731	0,59328	0,68739	0,72437
10	0,18403	0,27563	0,39798	0,54622	0,69076	0,80168	0,84706
0	0,21143	0,31664	0,45748	0,63361	0,8	0,94286	1
-10	0,20185	0,29849	0,43361	0,60168	0,76975	0,89748	0,94454
-20	0,1758	0,25916	0,37529	0,5042	0,65546	0,75798	0,79664
-30	0,14319	0,20269	0,28622	0,38218	0,47681	0,55462	0,58824
-40	0,11395	0,15899	0,21462	0,27798	0,34353	0,39714	0,42269
-50	0,08773	0,12353	0,15647	0,20168	0,24588	0,27765	0,29008

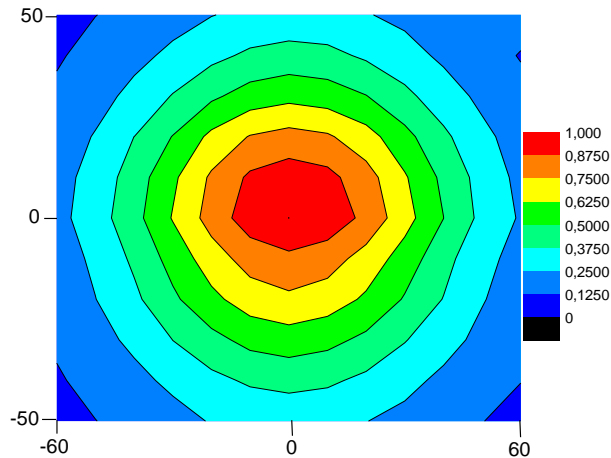
Valori assoluti illuminamento [lux] schermo quadrato

Ascissa	0	10	20	30	40	50	60
Ordinata							
50	17,26	16,9	15,29	13,12	10,22	7,63	9,82
40	25,15	24,32	21,2	17,54	13,55	9,92	7,12
30	35	33,5	30	24,22	18,19	13,26	9,19
20	47,4	45,6	40,2	32	23,86	16,57	11,7
10	56,2	54,3	47,6	38	28	19,55	12,88
0	59,5	57,1	50,1	40,1	29,8	20,41	14,04
-10	50,4	47,9	41,7	33,9	24,68	17,14	12,11
-20	43,1	41,1	36	29,1	22,06	15,33	11,01
-30	33,7	31,9	28,1	22,73	17,54	12,94	9,26
-40	24,63	23,57	20,7	16,94	13,29	10,2	7,56
-50	17,23	16,66	15	12,84	9,87	7,55	5,87

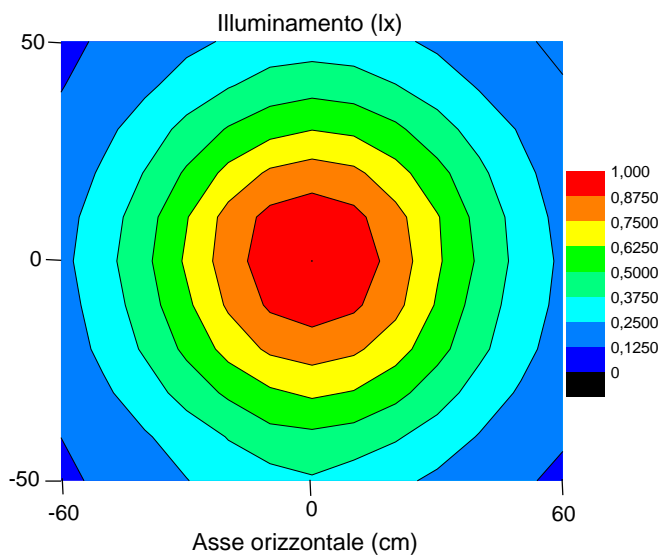
Valori relativi di illuminamento schermo quadro

Ascissa	0	10	20	30	40	50	60
Ordinata							
50	17,26	16,9	15,29	13,12	10,22	7,63	9,82
40	25,15	24,32	21,2	17,54	13,55	9,92	7,12
30	35	33,5	30	24,22	18,19	13,26	9,19
20	47,4	45,6	40,2	32	23,86	16,57	11,7
10	56,2	54,3	47,6	38	28	19,55	12,88
0	59,5	57,1	50,1	40,1	29,8	20,41	14,04
-10	50,4	47,9	41,7	33,9	24,68	17,14	12,11
-20	43,1	41,1	36	29,1	22,06	15,33	11,01
-30	33,7	31,9	28,1	22,73	17,54	12,94	9,26
-40	24,63	23,57	20,7	16,94	13,29	10,2	7,56
-50	17,23	16,66	15	12,84	9,87	7,55	5,87

Illuminamento relativo schermo quadrato



Illuminamento relativo schermo circolare



Il grafico dell'illuminamento relativo dello schermo quadrato evidenzia uno schiacciamento delle zone aventi medesimo illuminamento relativo.

Questo significa che, lungo l'asse delle ordinate (verticale), l'illuminamento decresce più velocemente che lungo l'asse delle ascisse (orizzontale).

Questo fenomeno implica che nel piano illuminato, per ogni angolo zenitale, si avranno delle variazioni di illuminamento in funzione dell'angolo azimutale più marcate rispetto a quanto accade, con lo schermo circolare, dove non si osserva lo schiacciamento.

4 – Conclusioni

Per la determinazione del profilo di illuminamento su un piano parallelo allo schermo LCD del televisore Daewoo, è stato necessario riprodurre in scala le condizioni di utilizzo dell'apparato di biologia. Per fare ciò si è sfruttato il banco ottico come supporto per il televisore, un cartoncino bristol da sovrapporre allo schermo atto a creare la geometria voluta della sorgente luminosa, un ulteriore cartoncino bristol sul quale è stato disegnato un sistema di riferimento cartesiano da appendere al muro antistante al televisore ed un luxmetro per le misurazioni.

Il profilo di illuminamento del TV LCD Daewoo è risultato idoneo agli esperimenti di biologia.

La possibilità di utilizzare una TV LCD come sorgente di luce polarizzata, al posto di una serie di lampade combinate con un polaroid, ha permesso un considerevole risparmio economico (700,00 Euro il costo del televisore; alcune migliaia di Euro il preventivo per l'acquisto di una serie di lampade LED capaci di riprodurre i colori voluti) ed un notevole risparmio di tempo.

La caratterizzazione dello schermo TV LCD si è concretizzata nella determinazione del profilo della luminanza.

Per la caratterizzazione dello schermo TV LCD è stato utilizzato un portalampada trasparente di geometria emisferica sul quale è stato disegnato un sistema di riferimento polare ed un luxmetro.

Il televisore è stato posizionato sul banco ottico con lo schermo rivolto verso l'alto. Dallo schermo è stata lasciata fuoriuscire una radiazione luminosa solo da una piccola fenditura circolare coprendo il resto con del cartoncino bristol. Sullo schermo è stato poi posizionato il portalampada e sulla superficie dello stesso sono state effettuate le misure di illuminamento. Per la determinazione della luminanza si è stato fondamentale conoscere la geometria del globo e della sorgente luminosa, la distanza tra il centro della sorgente ed il centro del globo ed applicare le relazioni tra le grandezze fotometriche.

Una volta conosciuto il profilo di luminanza di una sorgente luminosa e la sua geometria, è possibile calcolare tutte le altre grandezze fotometriche.

Il materiale teorico sviluppato in questo lavoro di tesi ha riguardato:

- Teoria completa sulla determinazione della luminanza di una sorgente, note le informazioni sull'illuminamento e le coordinate di un punto illuminato dalla stessa.
- Impostazione dell'integrale la cui risoluzione permette di determinare l'illuminamento dovuto ad una sorgente di geometria circolare di un qualsiasi punto, noti la luminanza e il diametro della sorgente

Sebbene a prima vista appaia esagerato il lavoro di caratterizzazione fatto su un televisore, ciò è servito a far progredire in maniera più veloce e meno costosa lo studio sul ruolo della luce polarizzata nell'orientamento dei vertebrati. Capire il meccanismo col quale i vertebrati utilizzano l'informazione loro fornita dalla luce polarizzata, infatti, potrebbe aprire sviluppi nella ricerca e nella successiva produzione di dispositivi che funzionino col medesimo principio. Se è vero che il progresso tecnologico e tecnico spesso copia o si ispira ai comportamenti della natura, anche questo studio, portato avanti dal Dipartimento di Biologia, potrebbe avere in sé il germe dell'innovazione.

Appendici teoriche

A Misure radiometriche e fotometriche

La radiometria si occupa della misura della quantità di energia radiante emessa da una sorgente o ricevuta da una superficie.

Nella tabella seguente sono riassunte le principali grandezze radiometriche.

GRANDEZZE RADIOMETRICHE

Nome	Simbolo	Relazione	Unità di misura
Energia radiante (Radiant energy)	Q_e	-	<i>Joule (J)</i>
Densità di energia radiante (Radiant energy density)	U_e	dQ_e/dV	J/m^3
Flusso radiante (Radiant flux)	Φ_e	dQ_e/dt	<i>Watt (W)</i>
Irradianza (Irradiance)	E_e	$d\Phi_e/dA$	W/m^2
Emetenza radiante (Radiant exitance)	M_e	$d\Phi_e/dA$	W/m^2
Intensità radiante (Radiant intensity)	I_e	$d\Phi_e/d\Omega$	W/sr
Radianza (Radiance)	L_e	$d^2\Phi_e/dA_p d\Omega$	$W/(m^2sr)$

La fotometria si occupa della misura della quantità di energia raggiante emessa da una sorgente o ricevuta da una superficie in relazione alle sensazioni visive prodotte nell'individuo attraverso l'occhio umano.

Nella tabella seguente sono riassunte le principali grandezze fotometriche.

GRANDEZZE FOTOMETRICHE

Nome	Simbolo	Relazione	Unità di misura
Energia luminosa (Luminous energy)	Q_v		$lm*s$ (Talbot)
Densità di energia luminosa (Luminous energy density)	U_v	dQ_v/dV	$lm*s / m^3$
Flusso luminoso (luminous flux)	Φ_v	dQ_v/dt	Lumen (lm)
Illuminamento (Illuminance)	E_v	$d\Phi_v/dA$	lm/m^2 (Lux)
Emetenza luminosa (Luminous emittance)	M_v	$d\Phi_v/dA$	lm/m^2
Intensità luminosa (Luminous intensity)	I_v	$d\Phi_v/d\Omega$	lm/sr (candela)
Luminanza (Luminance)	L_v	$d^2\Phi_v/dA_p d\Omega$	$lm/(m^2sr)$ (Nit)
Rendimento luminoso (luminous efficacy)	K	Φ_v/Φ_e	lm/W

Il flusso luminoso Φ_v misura l'intensità della sensazione visiva [Lumen].

La misura dell'intensità della sensazione visiva è così definita:

$$\Phi_v = K_\lambda * \varphi; \quad K_\lambda = \text{efficacia luminosa spettrale}; \quad \varphi = \text{flusso luminoso}$$

Se due flussi luminosi $\varphi(\lambda_1)$ e $\varphi(\lambda_2)$ generano la stessa sensazione visiva si ha:

$$\Phi_v = K_\lambda(\lambda_1) * \varphi(\lambda_1) = K_\lambda(\lambda_2) * \varphi(\lambda_2)$$

La funzione K_λ assume il valore massimo per $\lambda = 0,555 \mu m$:

$$K_{\max} = K_{\lambda}(\lambda=0,555 \mu\text{m}) = 683 \text{ lm/W}$$

Assumendo come riferimento la sensazione visiva prodotta da una sorgente luminosa monocromatica con $\lambda=0,555 \mu\text{m}$ si ha:

$$K_{\lambda}(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) = K_{\max} \cdot \varphi(0,555 \mu\text{m})$$

Definiamo ora la funzione di efficienza spettrale $V_{\lambda}(\lambda)$:

$$V_{\lambda}(\lambda) = K_{\lambda}(\lambda)/K_{\max} = \varphi(0,555 \mu\text{m})/\varphi(\lambda)$$

Concludendo il flusso luminoso può essere così definito:

$$\Phi_v = K_{\lambda}(\lambda_1) \cdot \varphi(\lambda_1) = K_{\max} \cdot V_{\lambda}(\lambda) \cdot \varphi(\lambda)$$

Grandezze radiometriche e fotometriche sono tra loro legate dalle seguente relazione di dipendenza:

$$\Phi_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times \Phi_e(\lambda) \times d\lambda$$

$$E_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times E_e(\lambda) \times d\lambda$$

$$M_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times M_e(\lambda) \times d\lambda$$

$$I_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times I_e(\lambda) \times d\lambda$$

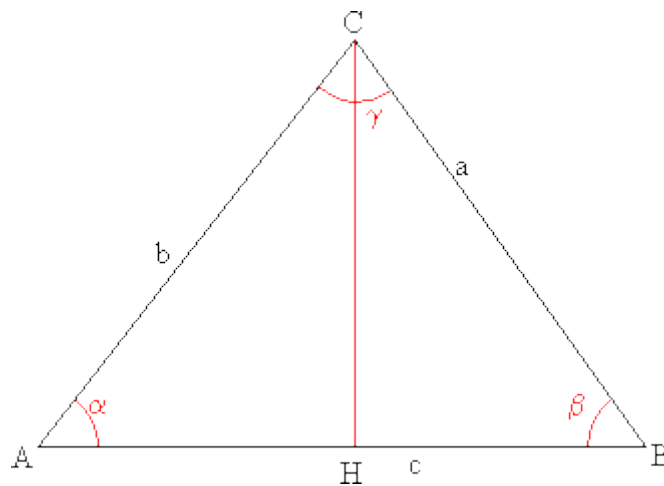
$$L_v = 683 \times \int_{380}^{780} V(\lambda) \times L_e(\lambda) \times d\lambda$$

B Teorema di Carnot (o del coseno)

Il teorema di Carnot (o del coseno) ci permette di calcolare un lato di un triangolo conoscendo la misura degli altri due e l'angolo tra essi compreso.

Consideriamo un triangolo qualunque ABC ma tenendo presenti i seguenti tre casi:

1. $\alpha < 90^\circ$



Dopo aver condotto l'altezza CH, relativa al lato AB, applichiamo il teorema di Pitagora al triangolo CHB e abbiamo:

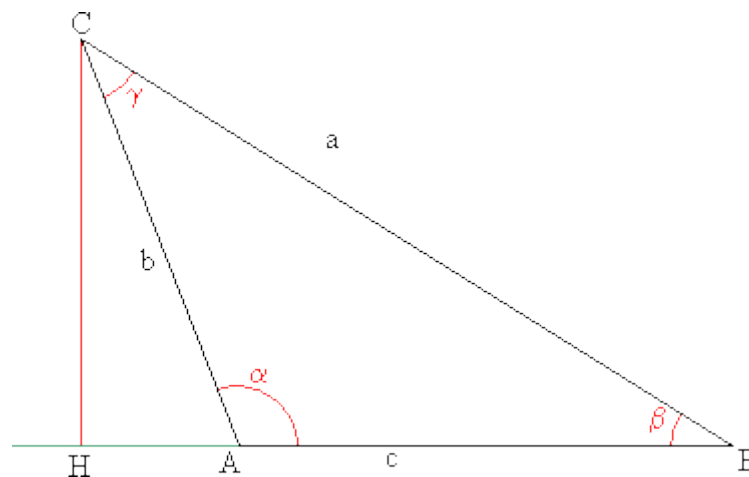
$$a^2 = CH^2 + HB^2 \quad (1)$$

Per il primo teorema dei triangoli rettangoli applicato al triangolo CHA abbiamo:

$$CH = b \sin \alpha$$

$$BH = AB - AH = c - b \cos \alpha$$

2. $90^\circ < \alpha < 180^\circ$



La prima parte della dimostrazione è identica a quella relativa al primo caso, tuttavia qui avremo:

$$CH = b \sin (180^\circ - \alpha) = b \sin \alpha$$

$$BH = AB + AH = c + b \cos (180^\circ - \alpha) = c - b \cos \alpha$$

In entrambe i casi la precedente relazione (1) diventa:

$$a^2 = b^2 \sin^2 \alpha + (c - b \cos \alpha)^2$$

$$a^2 = b^2 \sin^2 \alpha + c^2 - 2bc \cos \alpha + b^2 \cos^2 \alpha$$

$$a^2 = b^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

3. $\alpha = 90^\circ$

Questo caso è banalmente vero, dato che $\cos 90^\circ = 0$ e che il teorema si riduce al teorema di Pitagora.

Possiamo quindi affermare che:

In un triangolo qualunque, il quadrato della misura di un lato è uguale alla somma dei quadrati degli altri due diminuita del doppio prodotto di questi due per il coseno dell'angolo opposto al primo lato.

Bibliografia

- [1] A. Parretta, F. Petrucci, G. Beltrami, C. Bertolucci, A. Foà, C. Fratti, "Caratterizzazione ottica di schermi LCD come sorgenti di luce polarizzata in esperimenti indoor di orientamento direzionale nei vertebrati", Presentazione Orale, Bari 24, 27 Settembre 2009, XCV Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica.
- [2] Able, K. P. and Able, M. A. (1996) "The flexible migratory orientation system of the savannah sparrow (*Passerculus sandwichensis*)". *J. Exp. Biol.*: 199, 3-8.
- [3] Adler, K. and Philips, J. B. (1985) "Orientation in a desert lizard (*Uma notata*): time-compensated compass movement and polarotaxis", *J. Comp. Physiol. A* 156, 547-552.
- [4] Michael J. Freake, "Evidence for orientation using the e-vector direction of polarized light in the sleepy lizard *Tiliqua rugosa*", *The Journal of Experimental Biology* 202, 1159-1166 (1999).
- [5] Taylor, D. and Auburn, J. (1978). "Orientation of amphibians by linearly polarized light. In *Animal Migration, Navigation and Homing*", (ed. K. Schmidt-Koenig and W. Keeton), pp. 334-346. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- [6] G. Kramer, "in *Ornithologie als biologische Wissenschaft*", E. Mayr, E. Schultz, Eds. (Winter-Universitätsverlag, Heidelberg, 1949), pp. 269-283.
- [7] A. Parretta, "Lezioni di ottica, grandezze radiometriche e fotometriche", Presentazione Power Point e Documenti Word.
- [8] Manuale d'uso TV LCD Daewoo modello DTL 46U1 FH 46". FULL HD. DVB-T INTEGRATO HDMI
- [9] Manuale d'uso luxmetro Modello T-10 Konica Minolta
- [10] "LCD and plasma displays", Nec/Mitsubishi, Manual Nec- Mitsubishi electronics display
- [11] F. Segala, "Dimostrazione del Teorema di Carnot", Appunti lezione di Analisi I
- [12] A. Parretta, "Lezioni di ottica, polarizzazione", Presentazione Power Point e Documenti Word

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro di tesi spettano alcuni doverosi ringraziamenti.

Ringrazio in primis il Dottor Antonio Parretta per il supporto costante durante tutto il periodo di studio in preparazione alla tesi.

Ringrazio il Professor Giuliano Martinelli per avermi concesso l'utilizzo del Laboratorio di Ottica applicata del Dipartimento di Fisica.

Ringrazio il Dottor F. Petrucci e la Dottoressa G. Beltrami del Dipartimento di Biologia per la collaborazione in questo lavoro di tesi.

Ringrazio i compagni di corso Andrea Zanzi e Giovanni Rossi per l'aiuto prestato in occasione di alcune delle misure.

Infine ringrazio mia moglie e tutti i componenti della famiglia per il sostegno morale durante tutto il periodo degli studi.