

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"  
FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI ENERGETICA TERMOFLUIDODINAMICA  
APPLICATA E CONDIZIONAMENTI AMBIENTALI

Anno Accademico 2002/03

Dottorato Di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi Termomeccanici  
XVI Ciclo

MESSA A PUNTO DI UN VIDEOFOTOMETRO E SUO IMPIEGO  
IN AMBIENTI CONFINATI

Relatore: Prof. Sergio Sibilio

Coordinatore del Dottorato: Prof. Sergio della Valle

Dottorando: Ing. Gennaro Spada

## INDICE

### Capitolo 1

#### Strumenti tradizionali e innovativi per la misura della luminanza

1.1—Introduzione .....	1.1
1.2—Misure di luminanza con sistemi tradizionali .....	1.3
1.2.1—Array fisso di sensori.....	1.5
1.2.2—Sensore unico rotante intorno a due assi.....	1.6
1.2.3—Array mobile di sensori .....	1.7
1.2.4—Sensore con specchi rotanti.....	1.7
1.3—Misura di luminanza con sistemi alternativi.....	1.8
1.3.2—Fotografia - Densitometria.....	1.10
1.3.2—Videografia.....	1.10
1.3.3—Fotografia + Videografia .....	1.11
1.4—Descrizione di alcune configurazioni di videofotometro proposte in letteratura....	1.12
1.5—Il videofotometro: lo stato dell'arte.....	1.15

### Capitolo 2

#### Setup e taratura del videofotometro

2.1—I componenti del sistema .....	2.1
2.1.1—Videocamera e frame grabber .....	2.3
2.1.2—Interfaccia ottica .....	2.5
2.1.3—Il software .....	2.7
2.2—Il banco ottico attrezzato per la taratura on - axis del sistema.....	2.7

## Indice

---

2.2.1—Curve di taratura .....	2.10
2.3—Il banco ottico attrezzato per la verifica della risposta spettrale .....	2.15
2.4—Il vignetting .....	2.17
2.4.1—Analisi del vignetting per le due configurazioni del sistema .....	2.18
2.5—Il bracketing .....	2.22
2.6—Influenza dello sfondo .....	2.25
2.7—Confronto tra videofotometro e fotometro tradizionale.....	2.27

## Capitolo 3

### **Impiego del videofotometro all'interno di ambienti confinati per la verifica della normativa**

3.1—La norma UNI per l'illuminazione di interni con luce artificiale .....	3.1
3.2—Descrizione della verifica illuminotecnica oggetto dell'attività sperimentale.....	3.8
3.3—Il caso della Stanza - studio .....	3.9
3.4—Il caso dell'Aula 10 .....	3.18

## Capitolo 4

### **Conclusioni**

4.1—Le misure fotometriche in illuminotecnica .....	4.1
4.2—Valutazioni e osservazioni sulla messa a punto del videofotometro .....	4.2
4.3—Valutazioni e osservazioni sulle applicazioni in campo del videofotometro .....	4.4

### **Allegati**

Allegato 1 (rilievi per la taratura con obiettivo $f = 50$ mm).....	A.1
Allegato 2 (rilievi per la taratura con obiettivo $f = 6.5$ mm).....	A.6

## **Indice**

---

Allegato 3 (schede riassuntive sui campi di misura per entrambe le ottiche) .....	A.11
Allegato 4 (matrici di correzione per il vignetting) .....	A.13
Allegato 5 (codici Matlab) .....	A.15
Allegato 6 (dati sul rilievo per il confronto fotometro-videofotometro) .....	A.17

<b>Bibliografia</b> .....	B.1
---------------------------	-----

---

## **Appendice**

### **Illuminazione pubblica e Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale**

Introduzione .....	C.1
Norme, leggi e proposte di legge in materia di illuminazione pubblica.....	C.1
Il Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC).....	C.2
I parametri illuminotecnici per la stesura del PRIC.....	C.3
Conclusioni .....	C.7
Allegato.....	C.8
Bibliografia .....	C.15



## Capitolo 1

### Strumenti tradizionali e innovativi per la misura della luminanza

#### 1.1—Introduzione

L'illuminotecnica è una parte fondamentale della fisica sensoriale che studia i problemi di illuminazione sia naturale che artificiale al fine di assicurare condizioni di benessere ambientale e di comfort visivo per l'uomo. Parte integrante e preliminare dell'illuminotecnica è la fotometria che si occupa della misura della quantità di energia radiante emessa da una sorgente (espressa dalla luminanza -fig. 1.1-), o ricevuta da una superficie (espressa dall'illuminamento -fig. 1.2-), in relazione alle sensazioni prodotte nell'individuo attraverso l'occhio. Fra le grandezze fotometriche, la luminanza è quella che meglio rappresenta la sensazione visiva. Essa misura la radiazione visibile che, partendo da una sorgente primaria o secondaria, giunge all'occhio dell'osservatore.

Negli ultimi venti anni si è riscontrato un interesse sempre crescente circa le problematiche legate all'illuminazione degli ambienti confinati sia per quanto riguarda la luce naturale che quella artificiale. Tale tendenza ha portato alla stesura di normative quali la UNI 10380 (maggio 1994) con il successivo aggiornamento UNI 10380/A (ottobre 1999) e la UNI 10840 (marzo 2000) per i locali scolastici. Queste nor-

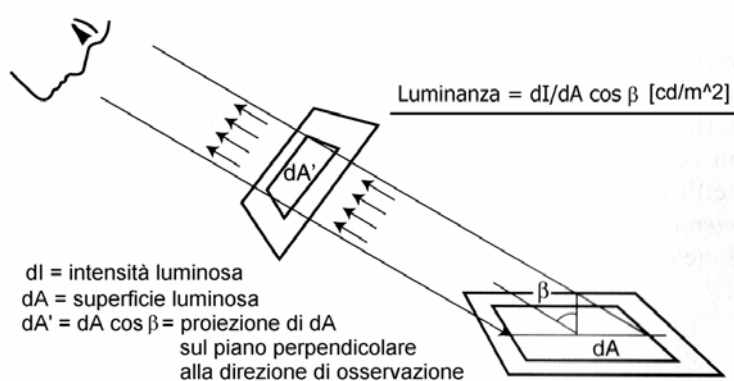
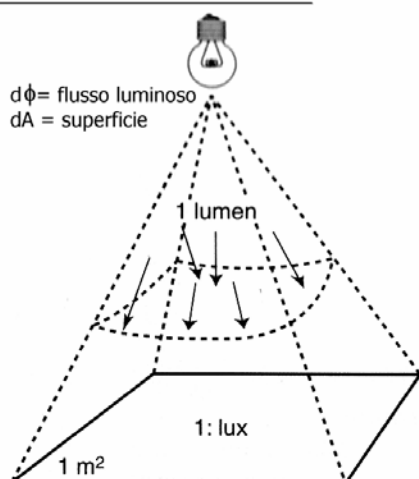


Fig. 1.1—Energia radiante emessa da una sorgente

$$\text{Illuminamento} = d\phi / dA \quad [\text{lm}/\text{m}^2]$$



**Fig. 1.2—Energia raggiante ricevuta da una superficie**

quali si svolgono le attività principali.

Anche nella progettazione le misure di luminanza rivestono un ruolo fondamentale e precisamente per la raccolta dei dati circa la disponibilità di luce naturale proveniente dalla volta celeste nelle diverse aree geografiche e per l'intero anno solare. Esistono infatti codici di calcolo anche molto complessi che utilizzano il Daylight Factor Method per stabilire in fase di progetto quali saranno le caratteristiche dell'ambiente luminoso che si va a realizzare. Questi software, pur essendo abbastanza complessi, necessitano di un input di informazioni circa la disponibilità di luce diurna da cui dipende la bontà dell'elaborazione finale. Maggiormente accurato sarà il rilievo delle luminanze, tanto più il modello virtuale sarà vicino alla realtà.

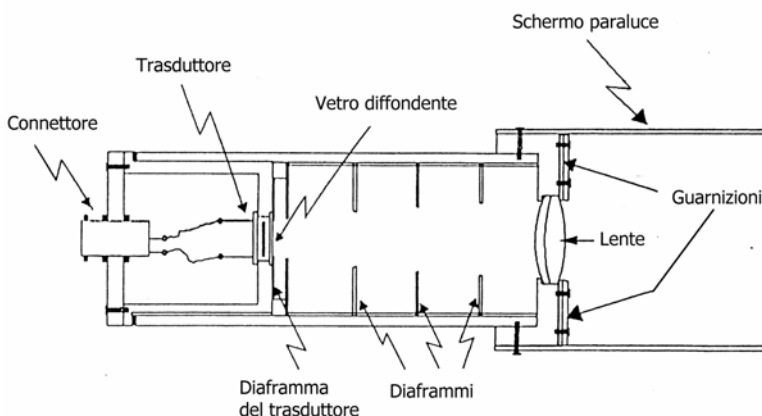
Oltre che per gli ambienti confinati, la luminanza è una delle grandezze fondamentali per valutare i fenomeni di abbagliamento e di inquinamento luminoso sulle strade e nei centri urbani. A riguardo i riferimenti normativi sono rappresentati dalla norma UNI 10439 (ottobre 1995) e dalla UNI 10819 (marzo 1999). L'inquinamento luminoso è un problema che oggi colpisce la maggior parte degli agglomerati urbani, pertanto le amministrazioni locali negli ultimi tempi hanno recepito le indicazioni della norma UNI 10819 ed in base ad essa hanno definito, sotto forma di leggi regionali, le linee guida da seguire per la limitazione del flusso luminoso verso l'alto. Diversi comuni, a loro volta, si sono dotati di un Piano Regolatore per l'Illuminazione Pubblica (PRIC, vedi Appendice), esso classifica le diverse zone urbane e le strade di collega-

mento, fissando per ciascun caso i criteri da seguire per un'illuminazione corretta sia dal punto di vista del comfort visivo che del risparmio energetico. La valutazione della luminanza, in questo caso, risulta quindi fondamentale per controllare il rispetto delle prescrizioni del Piano Regolatore, fornendo all'esecutivo uno strumento oggettivo per l'applicazione di norme e leggi.

Come facilmente si può desumere da quanto detto, il crescente interesse nei confronti dei problemi riguardanti l'illuminazione ha incentivato l'uso della luminanza come grandezza per la verifica, la progettazione e il controllo, indirizzando la ricerca verso strumenti innovativi capaci di semplificare il rilievo della distribuzione delle luminanze e per la gestione più agevole delle grandi quantità di dati che ne derivano.

### **1.2—Misure di luminanza con sistemi tradizionali**

Lo strumento tradizionale per il rilievo della luminanza è il fotometro. Esso è costruito secondo lo standard CIE (Commission Internazionale de l'Eclairage). I componenti fondamentali, rappresentati in figura 1.3, sono: il trasduttore, un fotodiodo al silicio, filtrato in stretto accordo

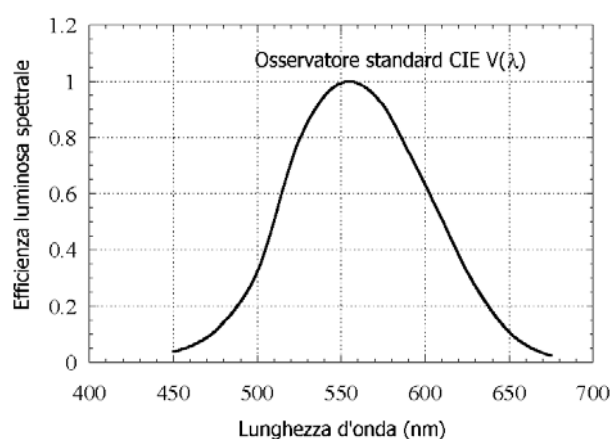


**Fig. 1.3—Dispositivo ottico montato sul fotometro per la misura di luminanza**

con la sensibilità spettrale dell'occhio umano (fig. 1.4), diversi diaframmi per la variazione del campo di sensibilità ed una lente per la messa a fuoco dell'immagine sul sensore. La lente viene schermata infine da un tubo paraluce per evitare errori di misura dovuti a riflessioni acciden-

tali.

Il punto di mira, rappresentato in figura 1.5, è compreso in un cono con angolo al centro di circa 1°. All'interno del campo di osservazione di alcuni modelli di fotometro, possono essere



**Fig. 1.4—Curva fotopica CIE  $V(\lambda)$  relativa alla sensibilità dell'occhio umano**

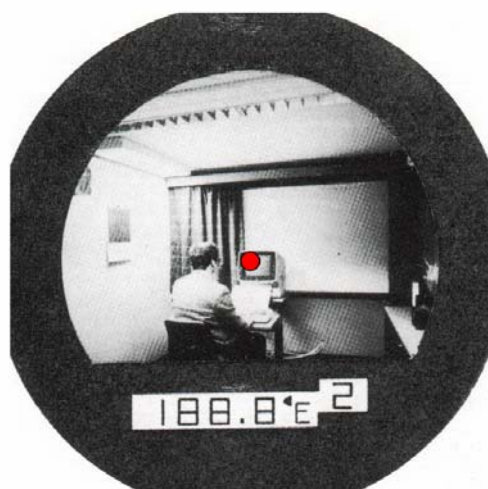
funzionamento del luminanzometro Spectra Pritchard Photometer, uno dei maggiormente impiegati sia per scopi scientifici sia industriali. L'obiettivo forma in uno specchio l'immagine del campo visivo nel quale è contenuta la zona di misura. La luce, dopo aver attraversato il filtro prescelto sulla torretta portafiltri, colpisce il fotomoltiplicatore; il resto dell'immagine è riflessa dallo specchio al sistema ottico di puntamento ad apertura variabile, raggiungendo infine l'occhio dell'operatore. Il luminanzometro descritto consente di eseguire misure di luminanza locali, anche a distanza ravvicinata su piccole superfici. Per questi scopi si utilizzano appropriate lenti addizionali da applicare sull'ottica dello strumento.

La norma UNI 10380 al punto 6.2.1 indica la precisione richiesta da questi strumenti in relazione alle classi di impiego (tab. 1.1).

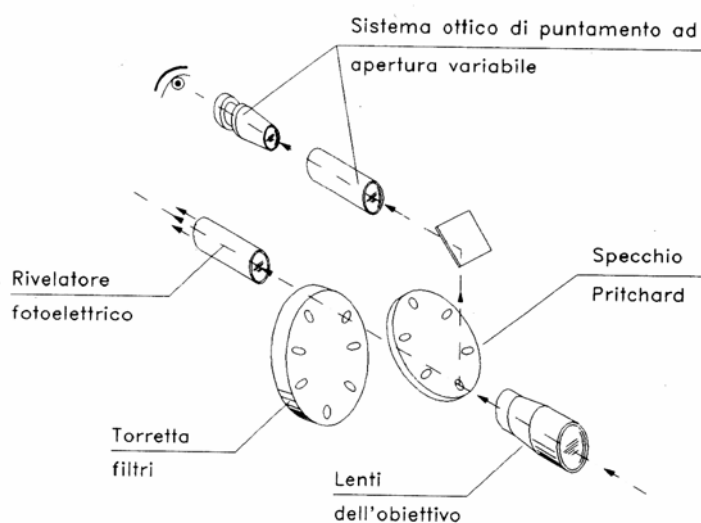
Il fotometro, così come è stato descritto, è uno strumento capace solo di misure puntuali eseguite in corrispondenza del punto di mira, ma esistono altre tecniche che rendono possibile, utilizzando un fotometro tradizionale, analizzare ampie superfici, come per esempio la volta celeste. Ciò è possibile inserendo il fotometro all'interno di un sistema di misura più comples-

osservate due scale perpendicolari, la graduazione delle scale è di  $1^\circ$  e serve per la misurazione di angoli e angoli solidi. La possibilità di individuare angoli e angoli solidi all'interno del campo di vista è molto importante soprattutto quando vengono misurati fattori di abbagliamento e indici di abbagliamento.

In figura 1.6 è mostrato il principio di



**Fig. 1.5—Punto di mira e campo di osservazione per un fotometro di tipo tradizionale**



**Fig. 1.6—Principio di funzionamento del luminanzometro "Spectra Prichard Photometer"**

SO.

Nei paragrafi successivi si riporta una breve rassegna dei diversi apparati (sky scanner) utilizzati nel rilievo della distribuzione delle luminanze della volta celeste. Ognuno di essi utilizza uno o più sensori fotometrici abbinati a particolari sistemi di puntamento manuali o automatici.

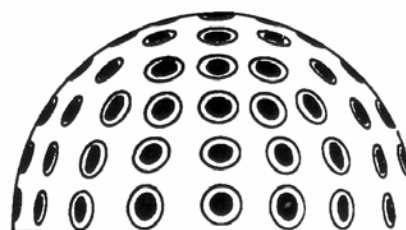
### 1.2.1—Array fisso di sensori

Si tratta del metodo concettualmente più semplice per la misura della distribuzione di luminanza.

**Tab. 1.1—Precisione richiesta agli strumenti di misura in relazione alle classi d'impiego**

Classe	Impiego	Limite di incertezza	
		%	
		Luxmetri	Luminanzometri
A	Misure di precisione	5	7,5
B	Misure su impianti in esercizio	10	10
C	Misure orientative	20	20

za. Il dispositivo è illustrato in figura 1.7. Su un unico supporto emisferico sono montati tanti sensori, quanti sono i punti del cielo in cui si vuole effettuare la misura; ciascuno di essi è fisso ed orientato secondo una direzione di misura. Al costo eccessivo della strumentazione, connesso all'elevato numero di sensori impiegati, corrisponde la possibilità della lettura contemporanea di tutti i punti di misura e l'assoluta corrispondenza geometrica tra i punti di misura e i punti della volta. La precisione della misura è elevata e connessa alla precisione nella taratura iniziale di tutti i



**Fig. 1.7—Array fisso di sensori**

trasduttori; quest'ultima, però, va periodicamente ripetuta. Di norma non vi sono problemi per l'intervallo di misura, che risulta sufficientemente ampio, consentendo il rilievo dei valori di luminanza sotto tutte le condizioni di cielo.

### 1.2.2—Sensore unico rotante intorno a due assi

Tale sistema di misura, illustrato in figura 1.8, si basa su un dispositivo che può ruotare intorno a due assi tra loro ortogonali, in modo che il sensore ad esso solidale effettui la scansione di tutta la volta celeste, misurandone la distribuzione di luminanza. La rotazione intorno ai due assi, azimutale e zenitale, potrebbero essere in teoria simultanee, ma in pratica avvengono

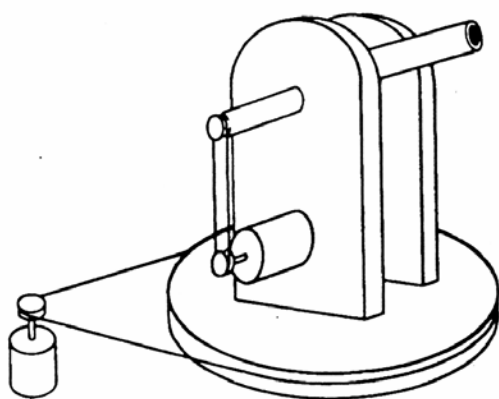


Fig. 1.8—Sensore unico ruotante intorno a due assi

sempre separatamente. Il posizionamento del sensore nelle direzioni di misura prefissate avviene tramite un sistema di puntamento controllato da computer. In tale tecnica la presenza di un unico sensore semplifica i problemi di taratura e di manutenzione, mentre la necessità del sistema di puntamento determina una serie di complicazioni tecnico-costruttive e riduce la precisione delle misure. Risulta inoltre notevolmente ridotta la velocità di acquisizione dei dati rispetto al precedente sistema, mentre la rispondenza geometrica tra i punti effettivi di misura e quelli teorici dipende dalla precisione del sistema di puntamento che si avvale di un particolare sistema di apparati meccanici mostrati in figura 1.9. Anche in questo caso l'intervallo dei valori misurabili è di norma sufficientemente ampio perché legato

sempre separatamente. Il posizionamento del sensore nelle direzioni di misura prefissate avviene tramite un sistema di puntamento controllato da computer. In tale tecnica la presenza di un unico sensore semplifica i problemi di taratura e di manutenzione, mentre la necessità del sistema di puntamento determina una serie di complicazioni

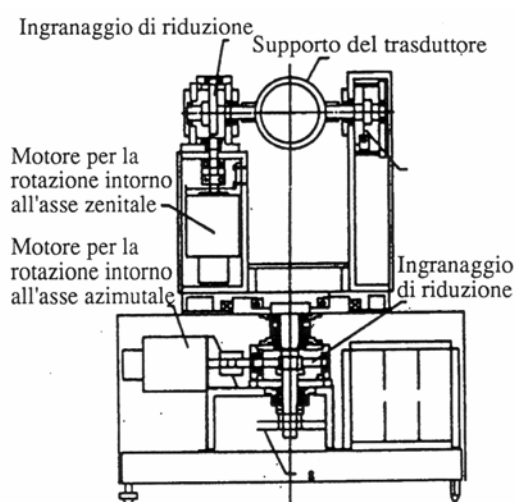


Fig.1.9—Apparati meccanici per il puntamento del sensore unico rotante intorno a due assi

alla tipologia del trasduttore fotometrico.

### 1.2.3—Array mobile di sensori

Il sistema è mostrato in figura 1.10 e rappresenta una soluzione intermedia tra le due precedenti. I trasduttori fotometrici, complanari, sono orientati diversamente, in modo che la loro rotazione produca una scansione completa della volta celeste. Rispetto all'impiego di un unico sensore mobile si ottengono un tempo di misura più breve, maggiore semplicità di costruzione

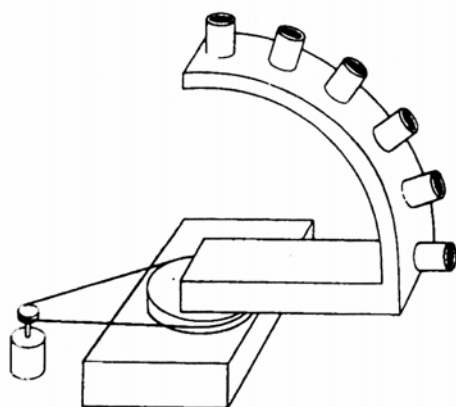


Fig. 1.10—Array mobile di sensori

e maggiore affidabilità di funzionamento per il minor numero di organi meccanici in movimento. I problemi di taratura e manutenzione interessano almeno otto trasduttori, se si vogliono effettuare misure nei punti indicati dalla CIE. Inoltre, con un array mobile di più sensori si effettua lo stesso numero di misure in ogni fascia in cui è suddivisa la volta, laddove invece la CIE consiglia di aumentare il numero di misure man mano che

ci si sposta dallo zenit verso l'orizzonte. Per il resto, questo metodo presenta le stesse caratteristiche tecniche già descritte per il sensore unico rotante.

### 1.2.4—Sensore con specchi rotanti

In questo caso il sistema ottico del misuratore comprende uno o più specchi mobili, che riflettono la luce proveniente dai vari punti della volta sul trasduttore fotometrico come mostrato in fig.1.11. Gli specchi ruotano tramite motori controllati automaticamente e, al variare della loro posizione, vengono effettuate le misure nelle diverse direzioni. Il trasduttore può

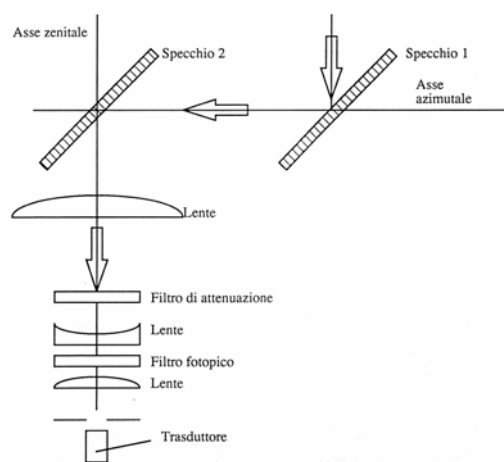


Fig. 1.11—Sensore a specchi rotanti

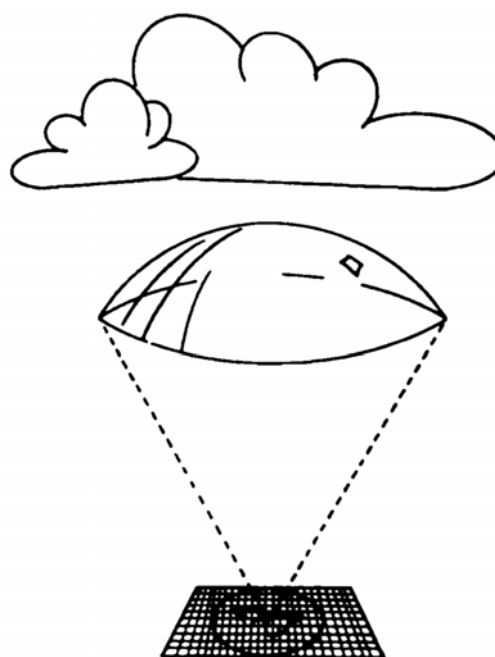
essere fisso oppure ruotante intorno ad un asse, a seconda della configurazione costruttiva. Nel primo caso, rispetto ai sistemi che impiegano sensori mobili, si garantisce una maggiore semplicità funzionale e si elimina il problema della vibrazioni, particolarmente accentuato dalla presenza del tubo adattatore di luminanza sul sensore; nel secondo caso la scansione della volta è effettuata mediante la rotazione combinata del sensore e del sistema di specchi. Il sistema ottico risulta più complesso per la presenza degli specchi, il che comporta la necessità di uno studio approfondito sui percorsi ottici e sui problemi connessi ai fenomeni di riflessione, rifrazione, assorbimento e polarizzazione della radiazione visibile. Le altre caratteristiche tecniche sono quelle tipiche del metodo con sensore unico rotante.

### **1.3—Misura di luminanza con sistemi alternativi**

I sistemi alternativi a quello fotometrico si avvalgono della tecnica fotografica e videografica. In entrambi i casi si tratta dell'acquisizione, pressoché istantanea, dell'immagine relativa ad un ampio campo di vista, tramite un sistema di ripresa dotato di un obiettivo grandangolare molto spinto (fish-eye -fig. 1.12-). Anche questa tecnica nasce dall'esigenza di ottenere, attraverso l'elaborazione dell'immagine, la distribuzione di luminanza della volta celeste. Presenta tuttavia una serie di problemi legati a:

- a. la trasformazione della volta celeste in un'immagine piana
- b. La risposta spettrale del sistema di rilevamento dell'immagine
- c. La taratura della catena di ripresa e digitalizzazione dell'immagine.

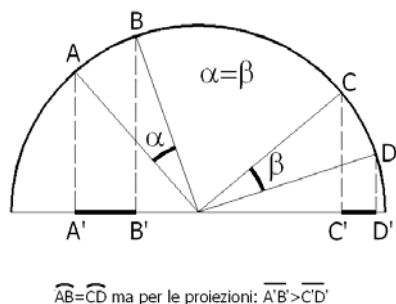
Per il punto a), la trasformazione della volta celeste in un'immagine piana pone problemi di fedeltà di riproduzione nel senso che deve esservi corrispondenza fra i punti del soggetto ripreso e quelli della sua immagine. La



**Fig. 1.12—Tecnica videografica**



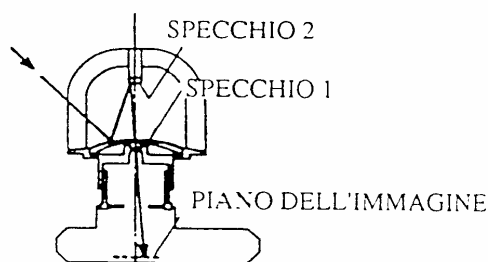
presenza di un sistema ottico più o meno complesso può determinare, inoltre, una perdita di risoluzione e un'attenuazione della luminosità in prossimità dei bordi dell'immagine. Il primo problema è connesso al progetto dell'obiettivo e può essere risolto sostituendo un sistema ottico a proiezione ortografica con uno che utilizzi la proiezione equidistante. Infatti, per un siste-



Nel seguito sono illustrate le diverse tecniche utilizzate nell'ambito della fotografia/videografia.

### **1.3.1—Fotografia - Densitometria**

Questo metodo (fig. 15) consiste nel fotografare l'intera volta celeste con un grandangolo molto spinto applicato alla macchina fotografica. Successivamente attraverso un'analisi del negativo



**Fig. 1.15—Macchina fotografica con grandangolo a 180°**

al microdensimetro si ricava la distribuzione di luminanza del cielo: perché vi sia una buona rispondenza in ciascun punto, tra il valore di densità del negativo e quello di luminanza, è necessaria una taratura iniziale che deve essere ripetuta ogni qual volta si cambia pellicola.

### **1.3.2—Videografia**

Questo metodo di misura consiste nel rilevare l'immagine dell'intera volta celeste, tramite una videocamera che, anche in questo caso, è dotata di un obiettivo grandangolare spinto. L'immagine digitalizzata viene poi elaborata via software per ottenere i valori di luminanza. Il numero di punti di misura può essere anche molto elevato. Una possibile configurazione del sistema è presentata in figura 1.16. L'interfaccia ottica è costituita da un obiettivo fish-eye a proiezione ortografica che fornisce, su di un primo schermo, l'immagine della volta; questa viene successivamente ridotta da un secondo sistema ottico per renderla compatibile con le dimensioni del sensore della videocamera. Un filtro fotonico consente di ottenere una risposta del sistema, rispetto alla radiazione visibile, uguale a quella dell'occhio. Il sensore della videocamera, di tipo MOS (metal oxide solid state array) o CCD (charge couplet device), fornisce un'immagine costituita da segnali analogici: in ogni punto di essa il livello del segnale è proporzionale alla luminanza della volta celeste nel punto corrispondente. La successiva digitalizzazione conduce ad un file dati che, con altre informazioni, contiene anche quelle che riguardano la luminanza di ogni punto del cielo. È proprio tale valore che determina la luminosità di ciascun pixel sullo schermo di un monitor, qualora si visualizzi l'immagine della volta celeste così ottenuta. Misurando, attraverso un trasduttore fotometrico, alcuni valori della luminanza

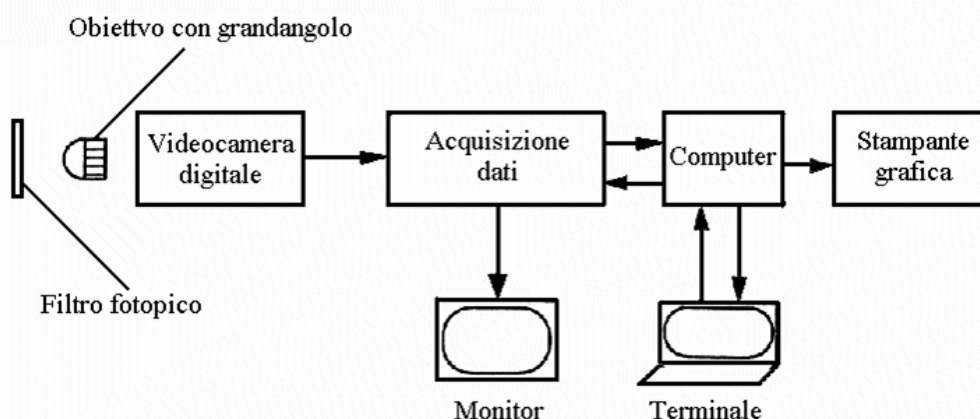


Fig. 1.16—Metodo di misura videografica: schema a blocchi

della volta celeste, prima della ripresa video, sarà possibile “tarare” il sistema di rilevamento, in modo che ad ogni livello del segnale video corrisponda un valore della luminanza della volta celeste. L’immagine digitalizzata può essere ovviamente memorizzata ed elaborata via software, anche per correggere eventuali errori connessi alle deformazioni introdotte dall’obiettivo ed alle imprecisioni dovute alla risposta del sensore, che potrebbe presentare differente sensibilità tra i diversi punti e quindi, a parità di radiazione incidente, fornire livelli differenti del segnale in uscita. Il metodo illustrato permette quindi rapide acquisizioni delle immagini, così come sono rapide ed ampie le possibilità di elaborazioni grafiche. La risoluzione spaziale è molto elevata, anche se non uniforme su tutto il campo di misura, il che può determinare una distorsione dell’immagine. Non vi sono problemi sulla risposta spettrale anche se è necessario controllare periodicamente la stabilità di alcuni elementi del sistema, in particolare quella del sensore della videocamera.

### 1.3.3—Fotografia + Videografia

Questo metodo consiste nell’elaborazione videografica di un’immagine fotografica della volta celeste: rispetto alla tecnica videografica c’è quindi un passaggio in più, con conseguenti complicazioni dell’attrezzatura. Il sistema tende a rendere più rapida la seconda fase del metodo fotografico, quella dell’analisi densitometrica. Una volta ottenuta l’immagine, viene effettuata

una digitalizzazione del negativo e quindi una procedura di lettura analoga a quella illustrata nel metodo videografico.

### **1.4—Descrizione di alcune configurazioni di videofotometro proposte in letteratura**

Le ricerche sull'utilizzo di tecniche fotografiche e videografiche sono state condotte sin dal 1964 con J. Longmore che si occupò della tecnica fotografica per immagini a tutto campo. Fece seguito gli studi di Nakamura e Oki che nel 1975 si occuparono della distribuzione della luminanza della volta celeste utilizzando l'immagine fotografica. Da allora, diverse unità di ricerca hanno messo a punto dei sistemi per il rilievo videofotometrico. Nella Tabella 1.2 sono riportati alcuni di questi videofotometri realizzati tra il 1984 e il 1998.

È interessante notare il progressivo aumento sia del formato del sensore, che passa da 1/2" a 2/3" (oggi è disponibile anche il formato da 1"), che della risoluzione per la quale oggi si arriva

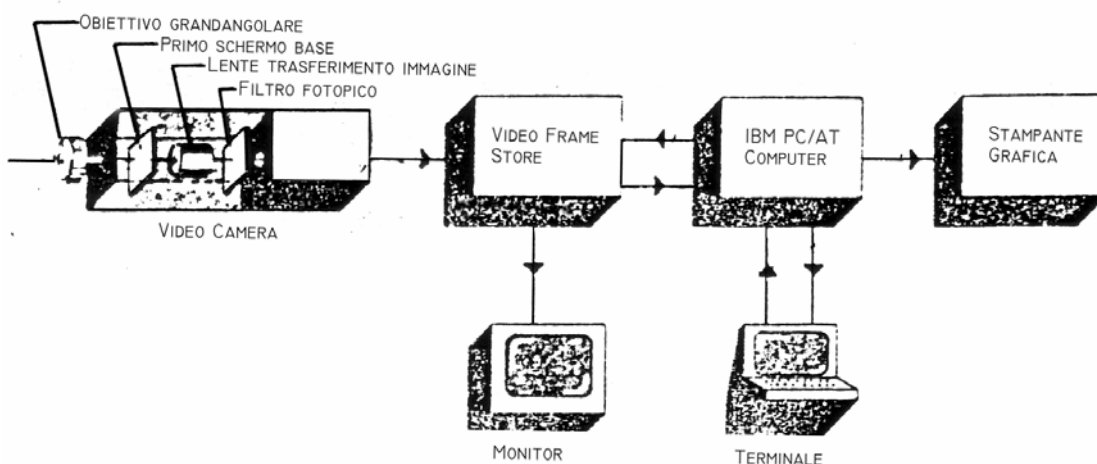
**Tab. 1.2—Alcune configurazioni di videofotometro proposte in letteratura**

<b>Sistema messo a punto da:</b>		Sistema SERI-LM 2	Sistema CapCalc	Videofotometro per misure a tutto campo	Visual Comfort Meter
		N.L. Weaver, C.L. Robbins, K.C. Hunter, T.W. Cannon	M.S. Rea, I.G. Jeffrey	V. Berrutto, M. Fontoyont	A. Cesarano, L. Bellia, F. Minichiello, S. Sibilio
<b>Anno</b>		1984	1990	1995	1998
<b>Videocamera</b>	<b>Sensore</b>	MOS (1/2")	CCD (1/2")	CCD (2/3")	CCD (2/3")
	<b>Risoluzione</b>	512 x 512	510 x 492	753 x 488	756 x 581
<b>Ottica</b>	<b>Distanza focale</b>	Fisheye	12.5 - 75 mm	16 mm	24 - 70 mm
	<b>Adattatore</b>	Lente di trasferimento da 50 mm	C mount	C mount	C mount
	<b>Filtro</b>	Filtro fotopico	Filtro fotopico	Filtro fotopico	Filtro fotopico
<b>Computer</b>	<b>Processore</b>	12 Mhz	16 Mhz	66 Mhz	200 Mhz
	<b>Ram</b>	1Mb	640 Mb	16 Mb	64 Mb
	<b>Hard disk</b>	20 Mb	70 Mb	525 Mb	2Ghz
	<b>Frame Grabber</b>	—	Imaging PCVISION +	—	Coreco Oculus M X
<b>Software</b>	<b>Tipo</b>	—	Microsoft C Compiler, RS 1, Lotus 12 3, PC Plus CD, I Tex PC Plus	—	Image Pro Plus

fino ed oltre 1380 x 1040 pixels. Questo significa che la tecnologia permette una sempre più spinta miniaturizzazione dell'elemento sensibile della matrice del sensore e una riduzione generale dei costi. Ne è derivata la possibilità di realizzare videofotometri sempre più affidabili e a costi sempre più bassi. Si riporta di seguito una breve rassegna di alcuni sistemi videografici messi a punto per le misure di luminanza.

Sistema SERI-LM2 (1984).

Questo sistema, nato dalla collaborazione di diversi istituti di ricerca statunitensi tra cui il Solar Energy Research Institute, aveva come finalità la caratterizzazione dei diversi modelli di cielo attraverso la distribuzione delle luminanze della volta celeste. Nella figura 1.17 è riportato lo schema delle componenti della catena di misura le cui caratteristiche sono state evidenziate in tabella 1.1. Il sistema così costituito poteva coprire un intervallo di luminanze tra 200 e 16.000 cd/m<sup>2</sup> con un campo di vista pari a  $\pi$  steradiani. Negli anni successivi alla messa a punto,



**Fig. 1.17—Sistema SERI LM2**

questo sistema videografico ha subito diverse modifiche significative legate all'aggiornamento tecnologico dei componenti.

Sistema CapCalc (1990)

Il sistema di analisi di luminanza CapCalc ideato da M.S. Rea e I.G. Jeffrey, illustrato in figura 1.18, rappresentava una nuova tecnica per eseguire ed interpretare misure fotometriche. La

novità sostanziale rispetto ai sistemi precedenti era l'uso di un obiettivo a lunghezza focale variabile. Il campo di vista infatti è funzione della lunghezza focale che può essere scelta nell'intervallo tra 12,5 - 75 mm. Questo tipo di regolazione rendeva il sistema tanto versatile da poter essere utilizzato nelle situazioni più diverse. Il campo di misura in luminanza era compreso tra 70 e 27.000 cd/m<sup>2</sup>.

### Sistema portatile per mappatura di luminanza a tutto campo (1995)

Tale sistema fu messo a punto da Vincent Berrutto e Marc Fontoyont nel 1995. Questo sistema presentava diverse novità rispetto a quelli precedenti per diversi motivi. In particolare esso si avvaleva di un computer portatile e la variazione del campo di luminanza avveniva non più aprendo e chiudendo il diaframma dell'obiettivo, ma agendo sui tempi di esposizione mediante uno shutter elettronico azionato via software. I tempi oscillavano tra 1 ms e 3 s.

### Visual comfort meter(VCM)

Il VCM (fig. 1.19) realizzato nel 1998 presso il laboratorio di illuminotecnica del DETEC (Università degli Studi di Napoli "Federico II"), era stato concepito come strumento per la valutazione del comfort visivo degli ambienti confinati attraverso una verifica, in tempo reale, della norma UNI 10380. Avvalendosi di una videocamera industriale e di un potente software per l'analisi dell'immagine, il sistema copriva un campo di misura tra 30 e 12.000 cd/m<sup>2</sup>. Il range, anche se non particolarmente ampio, risultava sufficientemente esteso verso i bassi

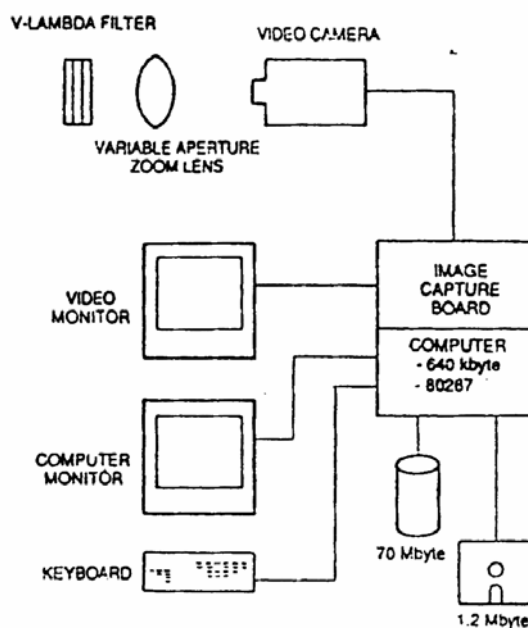


Fig. 1.18—Schema a blocchi del sistema Cap Calc



Fig. 1.19—Il sistema VCM

valori di luminanza per essere adoperato negli ambienti confinati. Anche in questo caso il sistema ha avuto negli anni un'evoluzione frutto del progresso tecnologico, fino alla sua ultima versione, oggetto della presente tesi.

### **1.5—Il videofotometro: lo stato dell'arte**

I progressi della ricerca scientifica nel campo della videografia applicata alle misure fotometriche hanno portato negli ultimi anni a risultati concreti, rendendo possibile la realizzazione di diversi tipi di videofotometro. Alcune case produttrici hanno messo in commercio diversi modelli di videofotometro; nella tabella 1.3 sono riportate le caratteristiche principali dei videofotometri prodotti da quattro aziende prese in esame. In tutti e quattro i casi si utilizza la tecnologia CCD (Charge Couplet Device) con un sensore standard in grado di rilevare contemporaneamente da 260.000 ad oltre 1.500.000 punti. Un elemento molto interessante è il campo dinamico di misura in luminanza (da 0.005 a  $10^{10}$  cd/m<sup>2</sup>), che risulta abbastanza ampio da poter effettuare misure sia all'interno che all'esterno degli ambienti. Ciò è possibile con l'ausilio di particolari filtri ND ("Neutral Density") che, non alterando la sensibilità fotopica del sistema, limitano il flusso luminoso che arriva al sensore. Il Bracketing elettronico è invece una tecnica brevettata dalla Lumetrix che permette, attraverso una rapida serie di acquisizioni a differenti tempi di esposizione, di coprire un ampio range dei valori di luminanza rilevabili con un'unica misurazione. Il Binning è utilizzato invece per aumentare la sensibilità del sensore in quanto permette l'unione di più pixel al fine di accrescere le dimensioni dell'unità sensibile di base. Questi strumenti hanno valori di accuratezza fotometrica e riproducibilità della misura che, pur essendo suscettibili di miglioramento, costituiscono comunque un'ottima prestazione. Nella tabella 1.4 si riportano le principali applicazioni dei videofotometri descritti in tabella 1.3, suddivise in tre ambiti principali: la progettazione, la verifica e l'impiego quale strumento di laboratorio. La progettazione fa riferimento ad una serie di esigenze legate al comfort visivo, alla sicurezza e al risparmio energetico. Nella Tabella 1.4 sono proposte una serie di applicazioni che vanno dalla valutazione dell'illuminazione all'interno e all'esterno degli ambienti confinati alle misure di luminanza delle segnalazioni di emergenza e pericolo, all'automatizzazione degli

**Tab. 1.3—Caratteristiche di alcuni videofotometri attualmente in commercio**

<b>Produttore</b>	<b>Radiant IMAGING</b>	<b>Lumetrix</b>	<b>Optronik</b>	<b>Opsira</b>
	[12,13]	[14,15]	[16,17]	[18,19]
Caratteristiche tecniche				
Tipo di sensore	CCD	CCD	CCD	CCD
Grandezza del sensore		2/3"		2/3"
Grandezza del sensore (pixels)	512 x 512 1024 x 1024 1536 x 1024	1300 x 1030	768 x 576	1300 x 1030
Misura del singolo pixel (micron)	20 x 20 24 x 24			6.7 x 6.7
Bit per pixel (bit di digitalizzazione)	8 16	10 12	8 10	12
Bracketing elettronico		Sì		
Pixel binning		2 x 2 3 x 3 4 x 4 8 x 8		
Campo di vista in base all'ottica utilizzata	2° - 34° 5° - 72°	4° - 8° 2° - 114°		
Filtri ND	ND	ND1 ND2 ND3		
Sistema di raffreddamento del sensore	Peltier	Peltier		Peltier
Campo dinamico luminanza (cd/m <sup>2</sup> )	0.005 - 10 <sup>10</sup>	0.0025 - 6.5 x 10 <sup>6</sup>		
Campo dinamico illuminamento (lux)			50 - 5 5 - 0.5	
Accuratezza fotometrica	±2% (Luminanza) ±2% (Illuminamento) ±0.003 (Coordinate Cromatiche x,y)	3.50%		
Riproducibilità	< ± 1% (Illuminamento) < ±1% (Luminanza) ±0.00035 (Coordinate Cromatiche x,y)	0.50%		

impianti di illuminazione. Per quanto riguarda invece la verifica, le applicazioni riscontrate riguardano il monitoraggio delle prestazioni nel tempo degli impianti di illuminazione e il controllo dell'inquinamento atmosferico e luminoso. La grande versatilità consente un potenziale impiego nel controllo dei parametri illuminotecnici contemplati nelle leggi e nelle normative. Il videofotometro potrebbe ad esempio essere adoperato per la verifica dei rapporti di luminanza



Tab. 1.4—Applicazioni di videofotometri attualmente in commercio

Ambito applicativo	Tipo di applicazione	Applicazione specifica	Azienda produttrice*	Parametri misurati
Progettazione	Comfort visivo in ambienti confinati	Livello di illuminamento	OP/RAD/LUM/OPS	Illuminamento, luminanza, contrasto di luminanza, temperatura di colore correlata, intensità luminosa, coordinate cromatiche CIE
		Uniformità di luminanza	OP/RAD/LUM/OPS	
		Controllo dell'abbagliamento	OP/RAD/LUM/OPS	
		Verifica delle norme UNI 10380 - 10380/A1 - 10840	Potenziale impiego	
	Sicurezza	Misura di luminanza dei fari automobilistici	OP/OPS	
		Misura di luminanza della segnaletica verticale e orizzontale	OP/LUM	
		Visibilità del pedone in corrispondenza dei passaggi pedonali	LUM	
		Misura di luminanza delle segnalazioni di emergenza	OP/LUM/OPS	
		Misura di luminanza delle luci aeroportuali	LUM	
		Misura di luminanza delle luci per aeromobili	RAD/LUM/OPS	
		Misura di luminanza delle luci per la navigazione	LUM	
		Misura di luminanza delle segnalazioni di piattaforme offshore	LUM	
		Livello di illuminamento dell'illuminazione di emergenza	LUM	
		Verifica della norma UNI 10439	Potenziale impiego	
	Risparmio energetico	Automatizzazione dei sistemi di illuminazione	LUM	
		Efficienza degli impianti di illuminazione	LUM	
Misure di luminanza della volta celeste		Potenziale impiego		
Verifica delle norme UNI 10819 - 10840		Potenziale impiego		
Verifica	Prestazioni nel tempo	Stato di manutenzione e degrado degli impianti di illuminazione	LUM	
		Monitoraggio sul degrado delle opere d'arte	LUM	
		Verifica della norma UNI 10439	Potenziale impiego	
	Controllo dell'inquinamento	Inquinamento dell'aria	LUM	
		Inquinamento luminoso	LUM	
		Verifica della norma UNI 10819	Potenziale impiego	
Laboratorio	Fotometria	Misura di luminanza	OP/RAD/LUM/OPS	
		Resa del contrasto	OP/RAD/LUM/OPS	
	Colorimetria	Analisi colorimetrica	OP/RAD/LUM/OPS	

\*OP = Optronik; RAD = Radiant Imaging; LUM = Lumetrix; OPS = Opsira

limite prescritti per il campo visivo in ambienti illuminati con luce artificiale - punto 6.2.4 della norma UNI 10380 -, per il calcolo della luminanza media, dell'uniformità generale e dell'uniformità longitudinale delle strade con traffico motorizzato - punti 5.4.1, 5.4.2, 5.4.3 della norma UNI 10439 – oppure nel calcolo dell'indice DGI (Daylight Glare Index) per la valutazione dell'abbagliamento dovuto alla luce naturale nelle aule scolastiche – appendice (informativa) B della norma UNI 10840 -. È stata inserita in Tabella 1.2 anche la distribuzione di luminanza del cielo, data la possibilità di ottenere una misura istantanea per l'intera volta celeste, superando le problematiche connesse all'impiego degli "sky scanner". Infine il videofotometro può essere utilizzato in laboratorio come fotometro e colorimetro in alternativa agli strumenti tradizionali, per misurare parametri come l'illuminamento, la luminanza, la temperatura di colore correlata, l'intensità luminosa e le coordinate cromatiche CIE. La scelta del modello di videofotometro è legata al tipo di applicazione cui esso è destinato. Essenzialmente sono tre i parametri che giocano un ruolo fondamentale nella scelta: il range dinamico, l'ordine di grandezza del parametro da misurare con lo strumento e il campo di vista per l'applicazione specifica.

Tra i produttori esaminati, la Lumetrix e la Radiant Imaging offrono un'ampia varietà di prodotti, mentre Optronik e Opsira producono pochi apparecchi mirati ad ambiti specifici come le misure di luminanza dei fari automobilistici, delle luci per aeromobili e degli schermi retroilluminati. La tabella 1.5 mostra alcuni dei diversi modelli prodotti dalle suddette aziende ed i prezzi relativi. Come è possibile notare, Lumetrix e Radiant Imaging offrono una discreta gamma di modelli per le diverse esigenze e con prezzi non eccessivamente elevati se si considera che i modelli più sofisticati rappresentano un'alternativa a ben tre strumenti di misura (di buon livello) quali il fotometro, il luxmetro e il colorimetro.

Inoltre va considerato che il videofotometro è dotato di un software molto più completo e versatile di quello fornito con gli strumenti di tipo tradizionale. Esso permette di acquisire ed elaborare grandi quantità di dati in pochi secondi. È proprio il software fornito con il sistema a rappresentare un ulteriore parametro di valutazione nella scelta dello strumento più idoneo alle proprie esigenze. In genere si tratta di un software di base e di un kit denominato SDK

**Tab. 1.5—Alcuni modelli di videofotometro con relativi prezzi**

<i>Modello</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Prezzo (dollari)</i>
<b>Lumetrix</b>		
IQC-3-10-55	Sistema a 10-bit con obiettivo macro	\$21.950,00
IQC-3-10-ZM	Sistema a 10-bit con obiettivo zoom	\$21.950,00
IQC-3-12-55	Sistema a 12-bit con obiettivo macro	\$22.950,00
IQC-3-12-ZM	Sistema a 12-bit con obiettivo zoom	\$22.950,00
IQC-3-12P-55	Sistema a 12-bit con obiettivo macro e raffreddamento peltier	\$26.950,00
IQC-3-12P-ZM	Sistema a 12-bit con obiettivo zoom e raffreddamento peltier	\$26.950,00
<b>Radiant Imaging</b>		
PM-0800-0	PM800 640x480, PCI (8 bit)	\$10.300,00
PM-1401-0	ProMetric 512x512, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$27.800,00
PM-1411-0	ProMetric 1024x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$42.300,00
PM-1421-0	ProMetric 1536x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$43.500,00
PM-1401-1	ProMetric Color 512x512, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$35.000,00
PM-1411-1	ProMetric Color 1024x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$52.000,00
PM-1421-1	ProMetric Color 1536x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (14 bit)	\$54.400,00
PM-1601-0	ProMetric 512x512, PCI, raffreddamento termoelettrico (16 bit)	\$44.300,00
PM-1611-0	ProMetric 1024x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (16 bit)	\$60.400,00
PM-1601-1	ProMetric Color 1024x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (16 bit)	\$48.300,00
PM-1611-1	ProMetric Color 1536x1024, PCI, raffreddamento termoelettrico (16 bit)	\$65.300,00
<b>Optronik</b>		
blm 8	768x576 (8 bit)	non disponibile
blm 10	1024x1024 (10 bit)	non disponibile
<b>Opsira</b>		
Vilux II	1300x1030 raffreddamento termoelettrico (12 bit)	non disponibile

(software development kit). Attraverso il kit di sviluppo è possibile modellare le caratteristiche del software di base sulle particolari necessità applicative ed accrescere quindi ulteriormente le potenzialità dello strumento. L'uso del videofotometro offre come vantaggi principali rispetto agli strumenti tradizionali la velocità di misurazione, l'ampio campo di vista e la possibilità di raccogliere e analizzare facilmente grandi quantità di dati. Ciò rende ad esempio possibile la

verifica in tempo reale delle normative all'interno e all'esterno degli ambienti confinati, nonché ottenere con un unico strumento un campo dinamico molto ampio per le misure di luminanza (grazie ai filtri ND). Anche la raccolta dei dati sulla luminanza della volta celeste può risultare più agevole rispetto ai metodi tradizionali, soprattutto riguardo al tempo impiegato.

Il limite principale di questi strumenti consiste nell'assenza di un protocollo normalizzato per la taratura e per le modalità di impiego, che possa offrire una base di confronto tra i diversi videofotometri e al tempo stesso garantire uno standard prestazionale analogo a quello dei fotometri tradizionali.

## Capitolo 2

### Setup e taratura del videofotometro

#### 2.1—I componenti del sistema

Il sistema videografico (fig. 2.1) messo a punto per le misure di luminanza è costituito da tre componenti fondamentali che sono la videocamera completa di scheda di acquisizione e cavo di collegamento, l'interfaccia ottica ed il software. Le caratteristiche di ciascuno dei componenti devono essere tali da rendere quanto più agevole possibile il tipo di misura per il quale il sistema è stato progettato. Dunque, il primo passo nella scelta dei componenti del sistema è proprio quello di definire

l'oggetto della misura e le caratteristiche dell'output. Aspetti fondamentali a riguardo sono il campo di misura definito dal range di luminanza (minima luminanza - massima

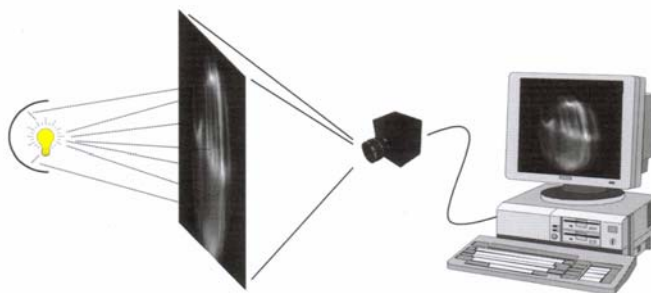


Fig. 2.1—Sistema videografico

luminanza) all'interno del quale lo strumento dovrà effettuare la misura, il campo di vista angolare più adatto all'utilizzo a cui lo strumento è destinato e il tipo di elaborazione che permetta una semplice interpretazione dei dati raccolti. Come è possibile notare dalle caratteristiche di alcuni videofotometri attualmente in commercio, riassunte nella tabella 1.3, anche il mercato offre diversi modelli con diversi campi di vista e range di luminanza proprio per poter adattare lo strumento alle diverse esigenze.

Il videofotometro di cui parleremo in questo capitolo è stato messo a punto per la verifica del comfort visivo all'interno degli ambienti confinati. Abbiamo pertanto optato per un sistema ca-

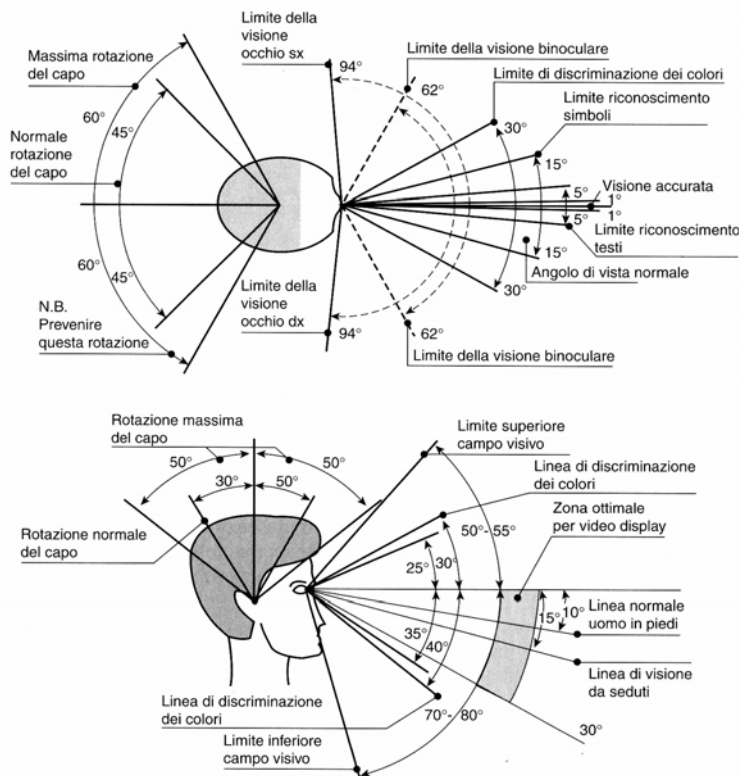


Fig. 2.2—Limiti orizzontali e verticali del campo visivo

approssima i limiti della visione binoculare dell'uomo come appare chiaramente dalla figura 2.2 in cui sono riassunti i limiti del campo visivo con le relative prestazioni alle diverse angolazioni. La ripartizione dell'angolo verticale, a differenza di quello orizzontale, non è però simmetrica rispetto al piano orizzontale, dal momento che l'assetto del bulbo oculare permette una visione più estesa verso il basso che verso l'alto. L'angolo verticale, pertanto, si estende per circa 70° al di sotto del piano orizzontale e circa 50° al di sopra.

Oltre alle funzioni di acquisizione e analisi dell'immagine tipiche di un qualsiasi videofotometro, è fondamentale per uno strumento orientato alla verifica del comfort visivo, potersi avvalere di un software molto versatile per l'elaborazione dei dati sotto forma matriciale in modo tale da ottenere in output sia la distribuzione delle luminanze che i rapporti di luminanza tra il compito visivo e le zone vicine e lontane comprese nel campo di vista dell'osservatore, così come prescritto dalla norma UNI 10380.

Nei paragrafi successivi sono riportate le caratteristiche dei componenti utilizzati per la messa a punto del sistema videografico.

pace di coprire un range di luminanze tale da rilevare sia gli angoli scuri posti in ombra dalla presenza nell'ambiente di elementi ostruenti che le zone prossime agli apparecchi illuminanti ovvero gli apparecchi illuminanti stessi. Per quanto riguarda il campo di osservazione, abbiamo fatto riferimento ad un cono con angolo al centro pari a 120° poiché questa rappresenta la schematizzazione che meglio

### 2.1.1—Videocamera e frame grabber

La videocamera utilizzata è una JAI modello CV-M4 CL monocromatica del tipo a scansione progressiva. La videocamera è equipaggiata con il sensore CCD ICX285AL della Sony, esso è alloggiato in un vano di dimensioni cilindriche avente diametro pari a 2/3" (16.93 mm). Il singolo pixel ha le dimensioni di 6.7(o) x 6.7(v)  $\mu\text{m}$ , mentre il formato del sensore completo è di 1300(o) x 1030(v) pixels totali, dove però il numero effettivo di pixels attivi che formano l'immagine è di 1280(o) x 1024(v). L'immagine proiettata sul sensore potrà avere al massimo le dimensioni di un rettangolo che si estende in orizzontale per 8.58 mm ed in verticale per 6.86 mm con una diagonale di 10.98 mm (circa 1/2"). La conversione del segnale analogico in digitale avviene a 10 bit; in effetti per un'acquisizione nella scala dei grigi sarebbe sufficiente una conversione a 8 bit corrispondente a  $2^8 = 256$  livelli di grigio, ma in questo caso i 10 bit vengono impiegati per migliorare la campionatura dell'immagine al fine di ridurre il rumore statistico di lettura, riducendo gli errori connessi alla variabilità nel tempo della risposta dei pixels che formano la matrice del sensore.

In figura 2.3 è mostrata la sensibilità spettrale relativa del sensore della videocamera che, se confrontata con quella dell'occhio umano e riportata in figura 1.4, appare sensibilmente diversa. Essa dipende dall'efficienza quantica del sensore cioè dal rapporto fra il numero di elettroni prodotti ed il numero di fotoni incidenti su di esso. Un'efficienza quantica 0,5 (50%), per esempio, indica che il pixel gene-

ra e conserva un elettrone in media ogni due fotoni incidenti. Tale caratteristica varia in base alla lunghezza d'onda della radiazione luminosa che incide sul sensore e può essere rappresentata dal suo andamento normalizzato così come illustrato in figura 2.3.

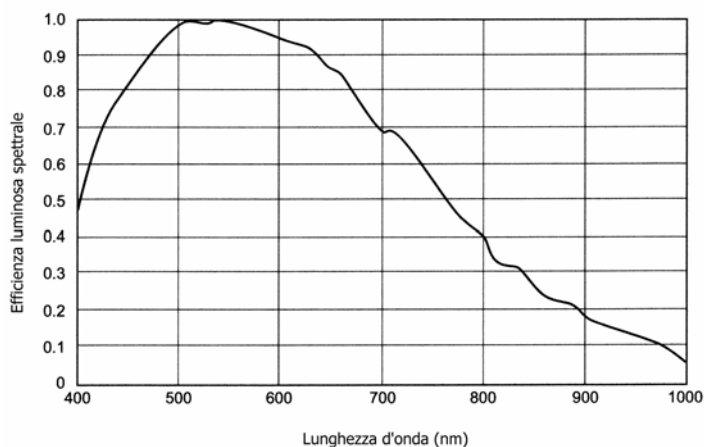
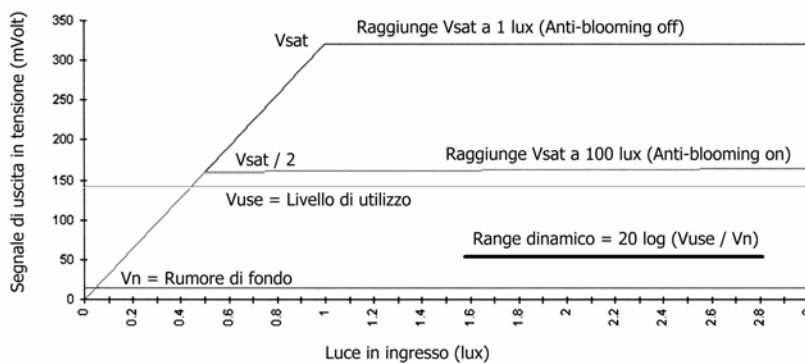


Fig. 2.3—Sensibilità spettrale del sensore CCD Sony ICX285AL senza l'influenza dell'ottica

Il range dinamico dipende invece dall'entità del rumore di fondo, dovuto sia all'agitazione termica che all'elettronica del sensore, e dall'efficienza quantica dei pixels. La figura 2.4 mostra la risposta di un sensore dotato di Anti-blooming, il sistema elettronico che serve a ritardare la saturazione dei pixels, e mostra le modalità di calcolo del range dinamico del sensore stesso. Risulta, dunque, che il range dinamico è indice della sensibilità della videocamera nel cogliere le sfumature di una scena e di quanto ampio possa essere l'intervallo delle luminanze che, in una singola acquisizione, riescono ad essere contenute al di sotto del livello di saturazione; si



**Fig. 2.4—Curva di risposta di un sensore CCD e range dinamico**

va al livello standard di utilizzo del sensore e quella relativa al rumore di fondo. Il range dinamico dichiarato dalla Jai per la videocamera a nostra disposizione è > 57 dB, ciò significa che la videocamera Jai ha un rapporto segnale/disturbo di circa 750:1 che per un pixel di dimensioni  $6.7 \times 6.7 \mu\text{m}$  è un'ottima prestazione.

La videocamera si interfaccia alla scheda di acquisizione PC-CamLink prodotta dalla Coreco Imaging e perfettamente compatibile con la videocamera Jai. Il collegamento tra videocamera e frame grabber avviene attraverso una porta di collegamento denominata Camera Link capace di gestire un traffico di dati fino a 1.8 Gbps. Questo collegamento permette, oltre all'acquisizione delle immagini provenienti dalla videocamera, anche la gestione via software dei principali parametri di controllo della stessa come lo Shutter Speed elettronico (variabile in 10 steps da 1/24 a 1/10000 di secondo), il Gain Level, il Black Level, le modalità di Binning nonché le procedure di sincronizzazione della videocamera.



### 2.1.2—Interfaccia ottica

Gli obiettivi si distinguono in due tipologie principali ovvero a lunghezza focale fissa e a lunghezza focale variabile (tipo zoom). La lunghezza focale è la distanza tra un punto di riferimento dell'ottica denominato secondo punto principale e il punto focale che corrisponde al piano di focalizzazione dell'immagine relativa alla scena inquadrata dall'obiettivo. Nella figura 2.5 è rappresentata la lunghezza focale di un obiettivo a focale fissa.

Il campo di vista angolare dipende dalla lunghezza focale e dal formato del sensore e si calcola come illustrato nella figura 2.6. Come si può notare dalla figura, mantenendo costanti le dimensioni dell'elemento sensibile, all'aumentare del-

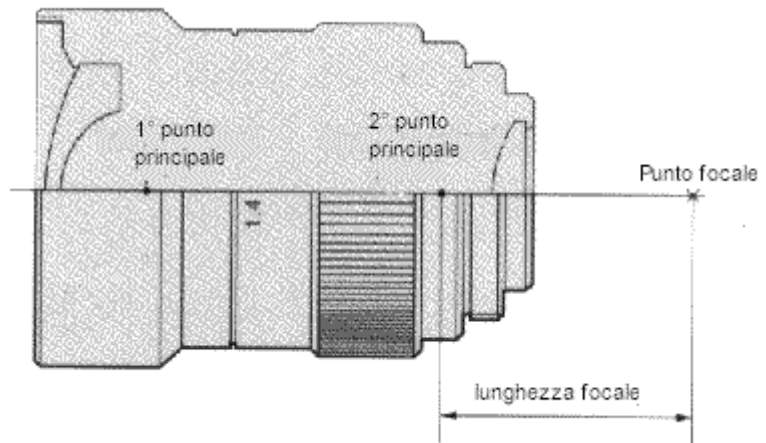


Fig. 2.5—Lunghezza focale

la lunghezza focale l'angolo di campo diminuisce, mentre aumenta al diminuire della lunghezza focale. L'allargamento del campo di vista ottenibile con un obiettivo di tipo zoom si realizza proprio facendo variare la lunghezza focale mediante la rotazione di una ghiera posta

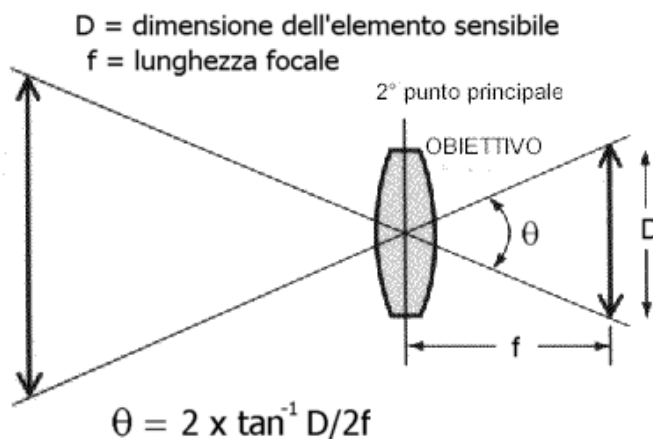


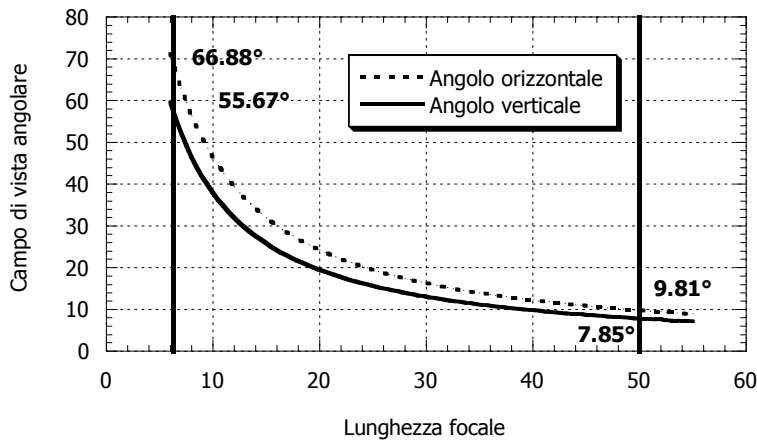
Fig. 2.6—Campo di vista angolare

sull'obiettivo. Nella figura 2.7 è riportata la variazione del campo di vista angolare al variare della lunghezza focale per il sensore della videocamera descritta nel paragrafo precedente.

Per la messa a punto del sistema sono stati utilizzati

due obiettivi Costar a focale fissa rispettivamente da 6.5 mm e 50 mm. Dal diagramma di figu-

ra 2.7 è possibile individuare il campo di vista per entrambi, per il 6.5 mm si estende per c.a. 67° lungo l'orizzontale e per c.a. 56° lungo la verticale mentre, per l'obiettivo 50 mm l'apertura del campo è di c.a. 10° sul piano orizzontale e c.a. 8° su quello verticale.



**Fig. 2.7—Campo di vista angolare al variare della lunghezza focale per la videocamera Jai CV-M4 CL**

che caratterizza l'ottica è l'apertura relativa del diaframma dell'obiettivo indicata con la lettera  $F$ , è espressa dal rapporto tra la lunghezza focale  $f$  e il diametro effettivo dell'apertura del diaframma  $d$  ( $F = f/d$ ). Essa è

indice della luminosità dell'ottica quindi della capacità di captare luce. L'apertura relativa minima (massima luminosità) risulta molto importante al fine di estendere la sensibilità del sistema verso i bassi valori di luminanza. Nel nostro caso l'obiettivo con lunghezza focale 6.5 mm ha una apertura relativa minima (massima luminosità) pari a  $F = 1.8$  in cui il diametro massimo di apertura del diaframma risulta pari a  $d = 3.6$  mm ( $d = f/F = 6.5/1.8 = 3.6$  mm); per l'ottica con 50 mm di lunghezza focale invece l'apertura relativa minima (massima luminosità) è di 2.8 per un diametro massimo di apertura pari a  $d = 17.9$  mm ( $d = f/F = 50/2.8 = 17.9$  mm). Dunque la luminosità  $F$  deve essere sempre messa in relazione alla lunghezza focale dell'obiettivo; un diametro di apertura del diaframma  $d = 3.6$  mm corrisponde a  $F = 1.8$  per l'obiettivo con lunghezza focale 6.5 mm e ad  $F = 13.9$  per l'obiettivo con lunghezza focale 50 mm. Quindi risulta evidente che la luminosità  $F$  dell'obiettivo può essere comparata solo a parità di lunghezza focale ed inoltre non può prescindere dalla curvatura della lente e dalla qualità dei materiali impiegati nella fabbricazione dell'obiettivo.

La profondità di campo è l'intervallo di spazio in cui un oggetto può essere allontanato o avvicinato al sistema ottico restando sempre a fuoco. Questa caratteristica risulta inversamente proporzionale sia alla lunghezza focale  $f$  che all'apertura relativa o luminosità  $F$ . Ne consegue

che gli obiettivi grandangolari hanno una maggiore profondità di campo; per le lunghezze focali più piccole l'immagine resta praticamente sempre a fuoco. È questo il motivo per cui in questi obiettivi non vi è la ghiera di messa a fuoco, ma solo la regolazione del diaframma come accade per l'obiettivo con  $f = 6.5$  mm.

### 2.1.3—Il software

Per il lavoro di ricerca svolto, sono stati utilizzati diversi tipi di software. Oltre quello specifico per il funzionamento e la gestione della videocamera, l'IFC Camera Configurator 5.5 della Co-reco Imaging, sono stati utilizzati altri due software. Il primo è l'Image Pro Plus 4.5 della Media Cybernetics grazie al quale è possibile effettuare l'Analisi Bitmap di un file immagine cioè la conversione dei pixels nella scala dei grigi. Inoltre, attraverso un'opportuna calibrazione, si può effettuare una conversione della matrice in altri valori seguendo una specifica trasformazione. Il principale vincolo presentato da questo software consiste nel fatto di non permettere il trasferimento di matrici più grandi di 1 MPixel. La cosa, avendo voluto mantenere la massima risoluzione dell'immagine, ha limitato il campo di vista dello strumento alla porzione di immagine corrispondente ad un quadrato di dimensioni 1001 x 1001 pixels. È stato in effetti come lavorare su di un sensore più piccolo di quanto non lo fosse in realtà, limitando in tal modo il campo di vista angolare ma nulla levando al risultato finale dell'elaborazioni.

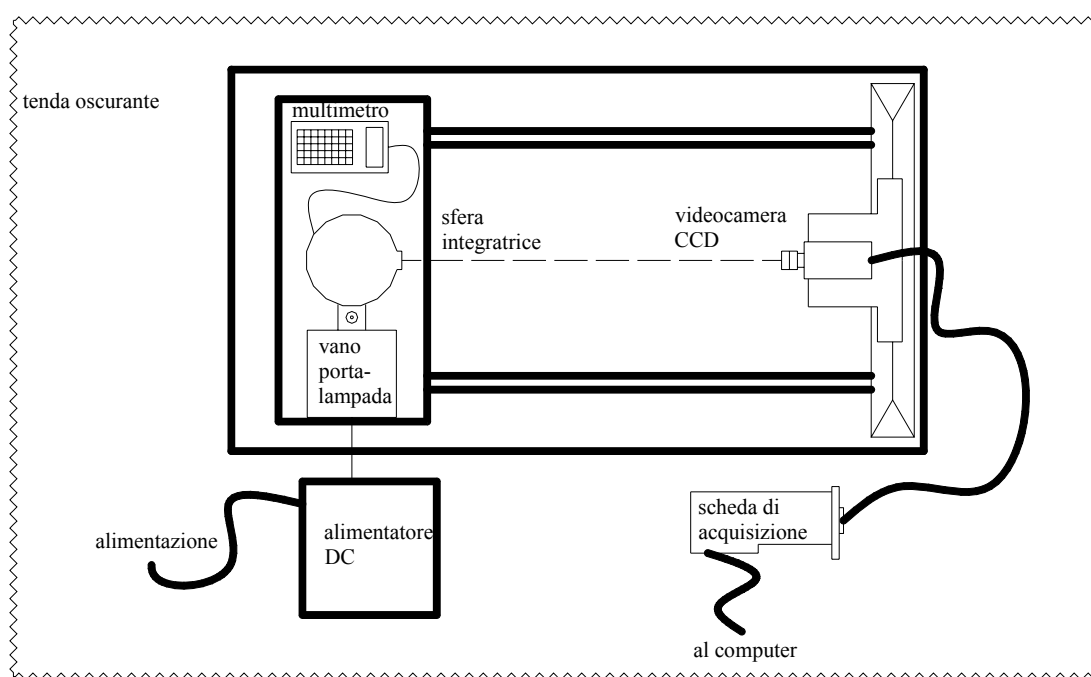
Altro software utilizzato è stato Matlab 6.0 della MathWorks. Grazie a questo strumento specifico per l'elaborazione matriciale, sono state possibili una serie di operazioni, che saranno descritte in seguito, per l'integrazione delle immagini, l'applicazione di fattori correttivi nonché per l'interpretazione dei dati raccolti.

## 2.2—Il banco ottico attrezzato per la taratura on-axis del sistema

La taratura del sistema videografico serve a creare una corrispondenza tra la luminanza dell'oggetto della misurazione (misurando) e il segnale generato dal sensore. Questo segnale, inizialmente analogico e corrispondente ad una tensione, viene digitalizzato affinché possa corrispondervi un valore numerico riferito ad una scala di 256 livelli di grigio. Nel nostro caso, fissata la configurazione della catena di misura, bisogna far in modo che a ciascun livello di

grigio corrisponda un determinato valore di luminanza. Naturalmente la corrispondenza non può riferirsi a tutta l'area di acquisizione ma ad un insieme ristretto di pixels concentrati nella zona centrale intorno all'asse ottico del sistema (on-axis). La corrispondenza trovata non può comunque essere estesa a tutta l'area di acquisizione se non dopo una serie di considerazioni circa l'interazione tra la videocamera e l'interfaccia ottica che porteranno in seguito alla definizione di parametri correttivi.

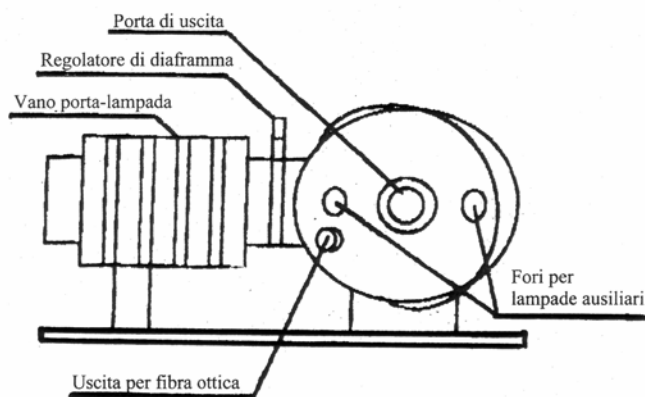
Il banco ottico attrezzato con la strumentazione necessaria alla taratura del sistema videografico è riportato in figura 2.8. Il banco ottico Meter Mover - 31 - 80 - 10 della Hoffman engineering costituisce il supporto per la strumentazione e si compone di due appoggi affacciati, quello di sinistra ha la possibilità di muoversi lungo il piano orizzontale mentre l'altro permette il



**Fig. 2.8—Banco ottico attrezzato per la taratura on-axis del sistema**

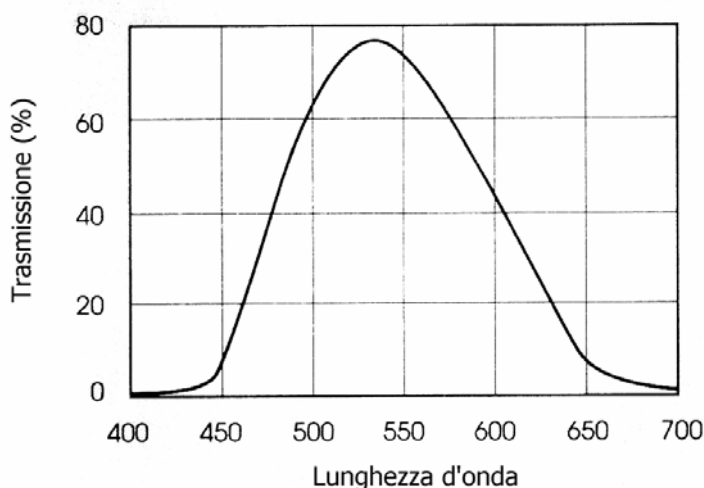
movimento sul piano verticale per consentire un allineamento preciso tra gli strumenti. Sul supporto di destra è stata fissata la videocamera mentre su quello di sinistra è stata posta la sorgente campione di luminanza mostrata in figura 2.9. Si tratta di una sfera integratrice modello VS4-6132 della Macam Photometrics con lampada alogena da 100 Watt e temperatura di colore di  $2872 \pm 30K$  corrispondente all'illuminante A. Il flusso della lampada all'interno della

sfera è variato tramite un diaframma controllato da un micrometro e può raggiungere una luminanza di  $50.000 \text{ cd/m}^2$ . Vi sono poi due aperture, una con diametro di 1" per l'uscita del



**Fig. 2.9—Sorgente campione di luminanza**

di un filtro fotografico della CVI Optical Filters per conferire al videofotometro una sensibilità spettrale analoga a quella dell'osservatore standard CIE. La curva di sensibilità spettrale del filtro mostrata in figura 2.10, combinata con quella relativa al sensore e riportata in figura 2.3, restituisce una curva di sensibilità prossima a quella CIE  $V(\lambda)$ . La risposta spettrale del video-



**Fig. 2.10—Sensibilità spettrale del filtro fotografico**

l'area di prova impenetrabile alla luce esterna ed evitare che riflessioni accidentali possano condurre a risultati errati.

fascio luminoso (porta di uscita), un'altra per connettere una fibra ottica da collegare ad un apposito fotometro. Attraverso il fotometro si può leggere la luminanza della radiazione in uscita.

La luce in ingresso alla videocamera è stata filtrata per mezzo

fotometro necessita comunque della verifica sperimentale, di cui parleremo in seguito, che tenga conto anche dell'influenza dell'obiettivo sul percorso ottico della luce.

Tutto il sistema messo a punto per la taratura è chiuso da una tenda oscurante il cui compito è quello di rendere

### 2.2.1—Curve di taratura

Per definire le curve di taratura è stata valutata la risposta della videocamera ai diversi valori di luminanza tra 0 e 50000  $\text{cd}/\text{m}^2$ . È stato innanzi tutto necessario disattivare ogni controllo automatico che potesse intervenire sulla regolazione della luce in ingresso come il Gain Level e il Black Level. In seguito, attraverso il micrometro posto sulla sorgente campione è stata variata la luminanza, e per ciascun valore è stata registrata la risposta della videocamera in livello di grigio. Il procedimento è stato ripetuto per entrambi gli obiettivi di cui si disponeva, e per ciascuno di essi nelle diverse posizioni dello Shutter. Quindi, considerando che lo Shutter può essere variato da 1/24 s a 1/10000 s in dieci steps, sono state eseguite venti prove fra entrambi gli obiettivi, mantenendo sempre il diaframma fisso sul massimo diametro di apertura e quindi sul minimo valore disponibile di F.

La figura 2.11 mostra la curva di corrispondenza dell'obiettivo con  $f = 50 \text{ mm}$  e lo Shutter fissato a 1/1500 s. Si evidenzia inoltre l'intervallo in cui la risposta del sensore ha un andamento quasi-lineare, proprio come ci si aspettava da un sensore di questo tipo. Il medesimo comportamento è stato verificato per ciascuno dei tests eseguiti e le curve di corrispondenza sono state raccolte in un'unica rappresentazione semilogaritmica (fig. 2.12). Per l'obiettivo con  $f =$

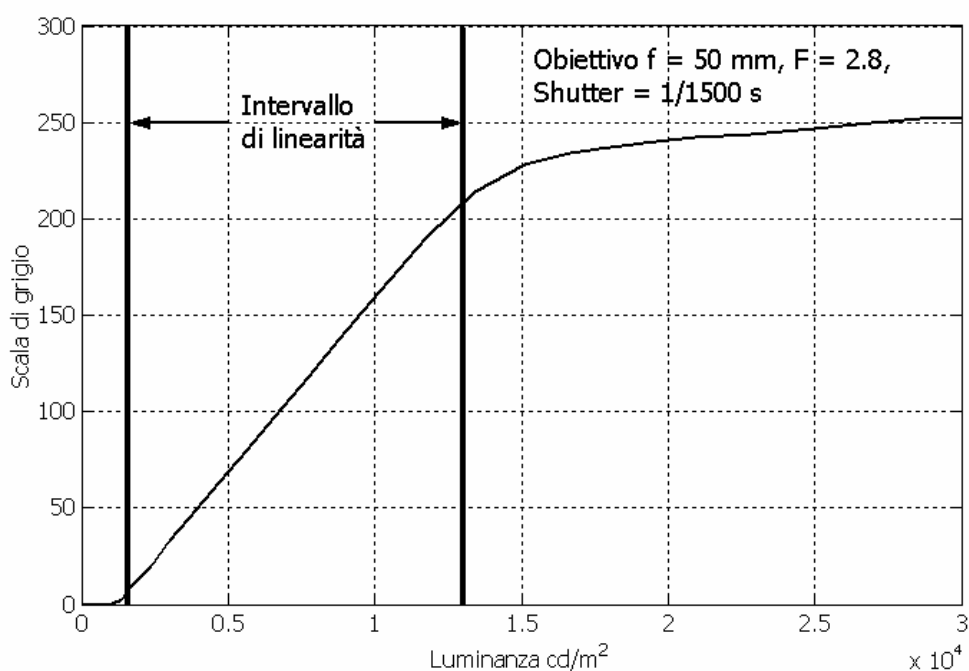


Fig. 2.11—Curva di corrispondenza e intervallo di linearità per un fissato setup della videocamera

## Setup e taratura del videofotometro

50 mm è stato definito un range di sensibilità da 15 a 50000 cd/m<sup>2</sup> mentre per l'obiettivo con  $f = 6.5$  mm il range di sensibilità va da 7 a 41500 cd/m<sup>2</sup>. Il range di sensibilità, corrispondente al campo di misura, è stato suddiviso in cinque sottocampi contigui ciascuno dei quali riferito ad un certo valore di Shutter come mostrato in figura 2.13. Per coprire il range di misura com-

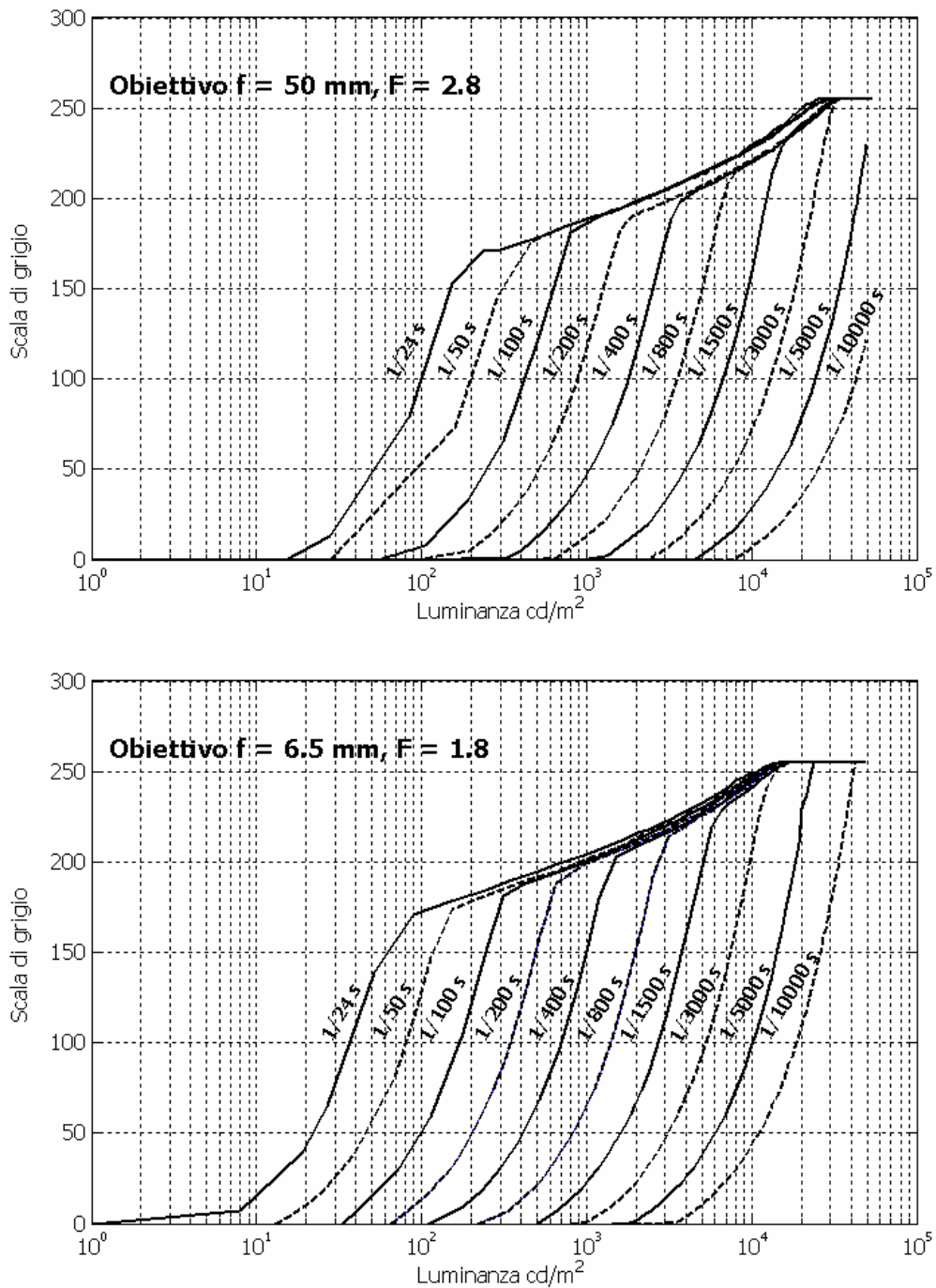


Fig. 2.12—Curve di corrispondenza tra la luminanza e la scala di grigio per entrambi gli obiettivi

## Setup e taratura del videofotometro

pleto sono risultati sufficienti cinque differenti velocità di Shutter, come appare chiaramente dalla figura, scelti in modo tale che per ciascuno di essi venga utilizzata la sola parte quasi-lineare della curva di risposta. Questo, oltre che semplificare la funzione di trasformazione, consente la massima risoluzione nella misura, al fine di valutare anche le piccole variazioni di

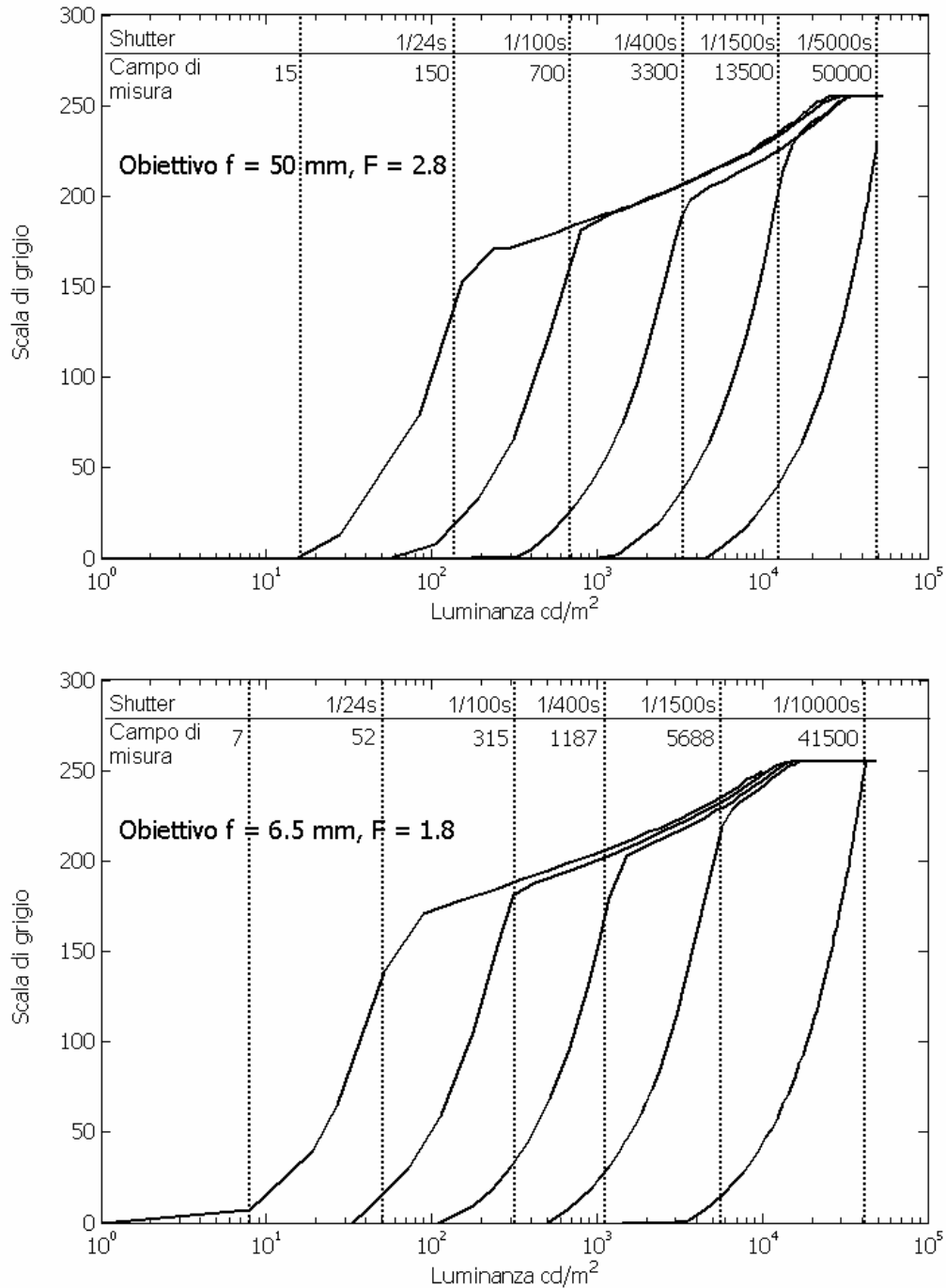


Fig. 2.13—Campi di misura per ciascuno Shutter e per entrambi gli obiettivi



luminanza.

Dalle cinque curve scelte per ciascun obiettivo si estrapolano i tratti quasi-lineari che si approssimano a cinque curve di trasformazione. Queste ultime hanno nella fattispecie andamenti lineari e sono riportate nella tabella 2.1.

In allegato 1 e 2 sono state riportate le caratteristiche delle curve di taratura per i due tipi di obiettivi utilizzati e per i diversi setup di funzionamento. Le figure 2.14 e 2.15 riportano le curve di taratura in scala semilogaritmica i cui dati analitici sono stati riassunti nella tabella 2.1.

Supponendo di riprendere la scena con l'obiettivo con  $f = 6.5$  e con un range di luminanze

**Tab. 2.1—Curve di taratura per l'obiettivo con  $f = 50$  mm e con  $f = 6.5$  mm**

y = a + bx (obiettivo f = 50 mm)					
Shutter tempi di apertura (s)	a	b	R	minima luminanza (cd/m <sup>2</sup> )	massima luminanza (cd/m <sup>2</sup> )
1/24	-16.209	1.0997	0.99938	15	150
1/100	-20.977	0.27993	0.99998	151	700
1/400	-19.199	0.066417	0.99990	701	3300
1/1500	-19.193	0.017654	0.99947	3301	13500
1/5000	-23.468	0.0050856	0.99998	13501	50000
y = a + bx (obiettivo f = 6.5 mm)					
Shutter tempi di apertura (s)	a	b	R	minima luminanza (cd/m <sup>2</sup> )	massima luminanza (cd/m <sup>2</sup> )
1/24	-11.022	2.8387	0.99598	4	52
1/100	-16.25	0.6534	0.99716	53	315
1/400	-20.078	0.17006	0.99985	316	1187
1/1500	-19.733	0.04314	0.99924	1188	5688
1/10000	-22.864	0.0066098	0.99998	5689	41500

compreso tra 10 a 1100 cd/m<sup>2</sup>, per fare l'analisi dell'intera scena necessita di almeno tre acquisizioni, a 1/24 s, 1/100 s e 1/400 s. Con una tecnica che sarà introdotta successivamente, si potranno integrare i tre frames per ottenere infine la distribuzione della luminanza estesa all'intero campo di vista angolare. Naturalmente prima di arrivare a questo risultato sono necessarie alcune considerazioni fondamentali che verranno espone successivamente in questo capitolo.

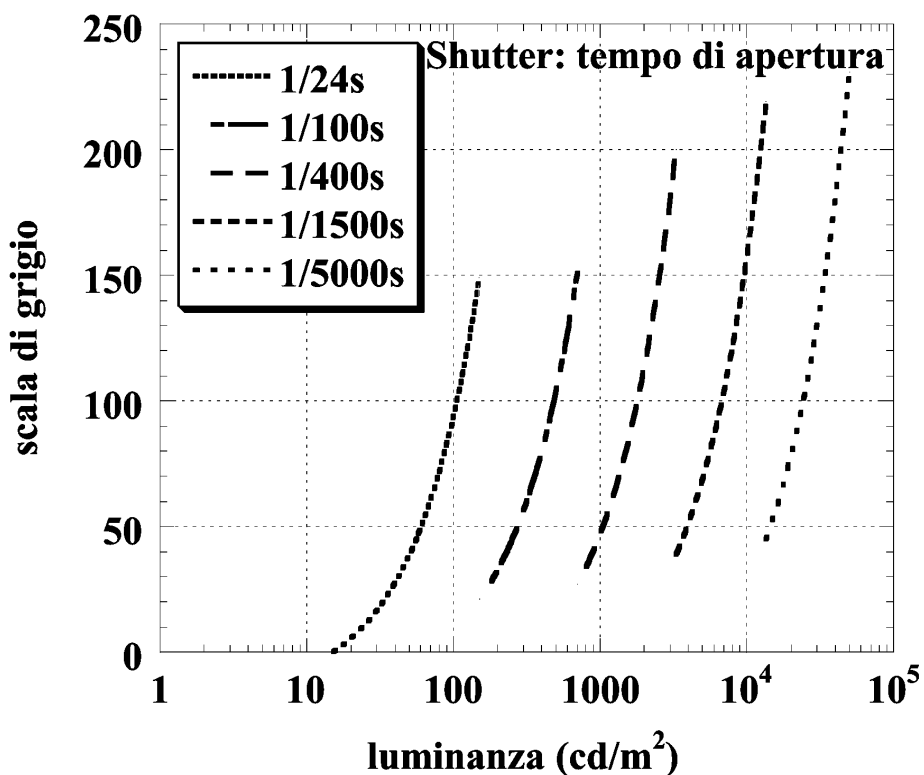


Fig. 2.14—Curve di taratura per l'ottica con  $f = 50$  mm

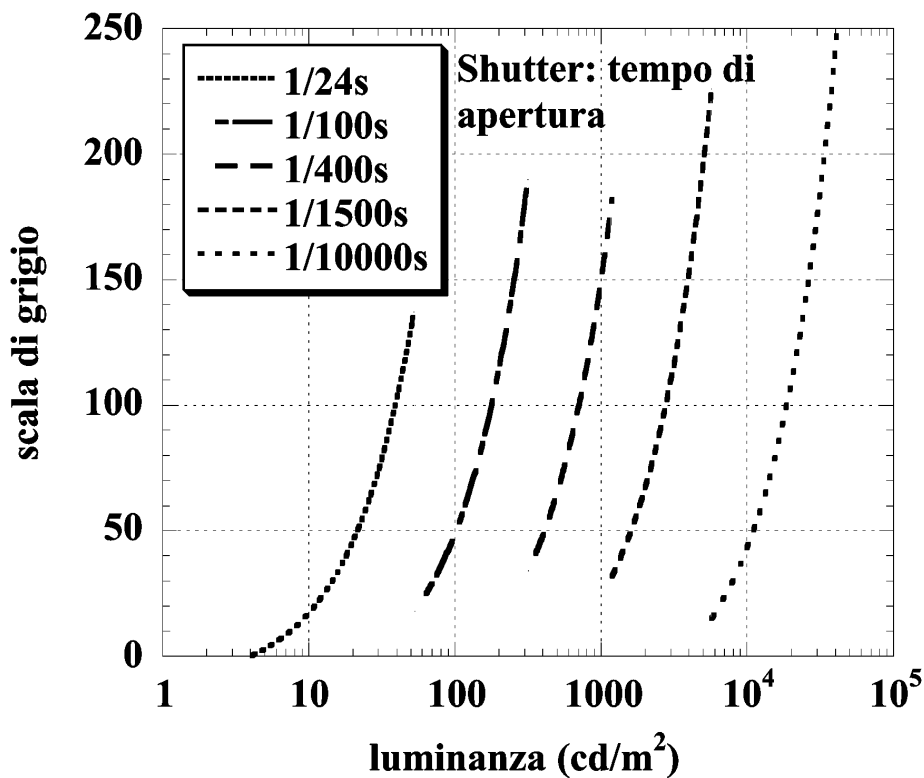


Fig. 2.15—Curve di taratura per l'ottica con  $f = 6.5$  mm

### 2.3—Il banco ottico attrezzato per la verifica della risposta spettrale

Come abbiamo precedentemente detto, la videocamera ha una sensibilità alla radiazione visibile differente da quella dell'osservatore standard CIE per cui è necessario filtrare la luce in ingresso per correggere la risposta spettrale del videofotometro. Nel nostro caso è stato adottato un filtro fotopico della CVI Optical Filters la cui curva caratteristica è riportata in figura 2.10. Il filtro, inserito sul percorso ottico del videofotometro, è stato verificato sperimentalmente mediante l'utilizzo di un banco ottico opportunamente attrezzato e mostrato in figura 2.16. Alle estremità sono stati posti rispettivamente la videocamera (a destra) e un faretto (a sinistra) con lampada alogena da 35 W avente le caratteristiche cromatiche dell'illuminante di tipo A. Al centro del banco è stato installato un monocromatore a reticolo con comando manuale della Optometrics (fig. 2.17). Il monocromatore ha il compito di scindere il fascio luminoso proveniente dal faretto in fasci monocromatici secondo lo schema di funzionamento riportato in figura 2.18. Il fascio luminoso penetra attraverso la fessura di ingresso dove viene intercettato da un primo specchio angolato che lo riflette sullo specchio collimatore. Le caratteristiche geometriche dello specchio collimatore trasformano il fascio divergente in un fascio a raggi paralleli che investono la superficie di una grata reticolare posta al centro del cammino ottico dello

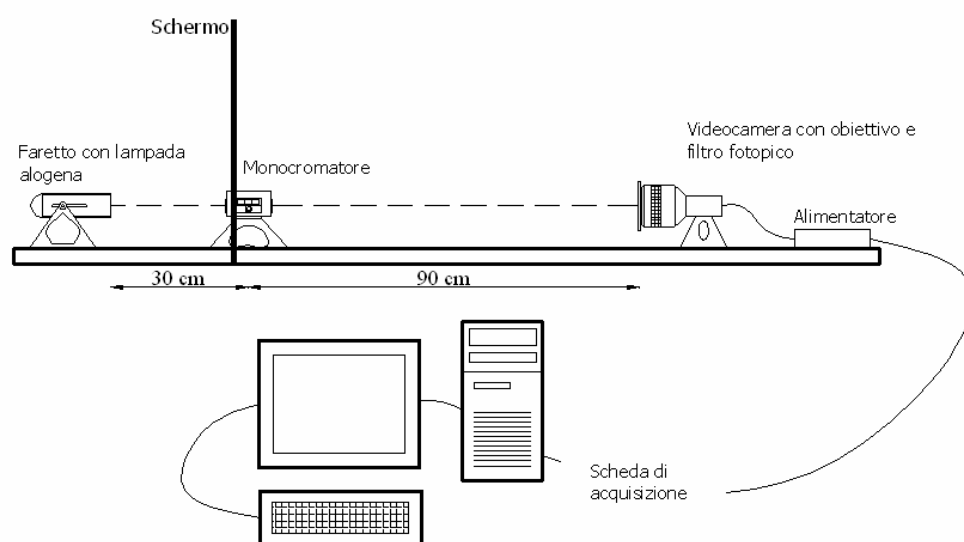


Fig. 2.16—Banco ottico attrezzato per la verifica della risposta spettrale

strumento. Il reticolo disperde (scinde) la radiazione e, attraverso la sua rotazione per mezzo di un micrometro manuale, è possibile far in modo che sulla fessura di uscita il secondo specchio angolato focalizzi uno ad uno i fasci monocromatici tra 380 e 760 nm (fig. 2.19). In tal

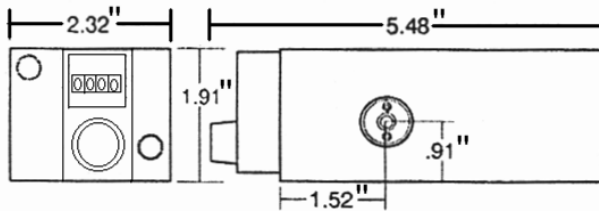


Fig. 2.17—Il monocromatore Optometrics DMC 1-03

modo è possibile testare la sensibilità del sistema videografico in relazione alle diverse lunghezze d'onda comprese nella banda del visibile. Rilevata pertanto la sensibilità alle diverse lunghezze d'onda si rapporta la risposta ottenuta alla sensibilità

massima riscontrata in modo da ottenere una curva di sensibilità normalizzata e quindi confrontabile con la curva di riferimento dell'osservatore standard CIE. La figura 2.20 mostra il confronto tra la curva di sensibilità del videofotometro ottenuta per via sperimentale e quella

dell'osservatore standard CIE. Come si vede dal diagramma l'errore che si commette tra i 450 e 570 nm si aggira intorno al 3 - 4% per poi raggiungere punte del 20% tra i 570 e 650 nm, si ridimensiona infine sul 3 - 4% tra 650 e 675 nm. Questi scostamenti della sensibilità spettrale dallo standard CIE sono dovuti al fatto che il filtro fotopico adottato per la sperimentazione non è stato progettato ad hoc per le nostre esigenze ma costituisce una approssimazione, per adesso accettabile, che ci riproponiamo di

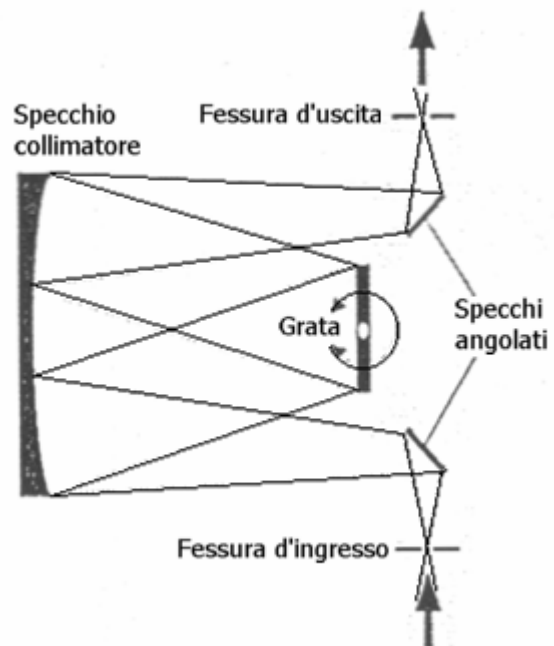
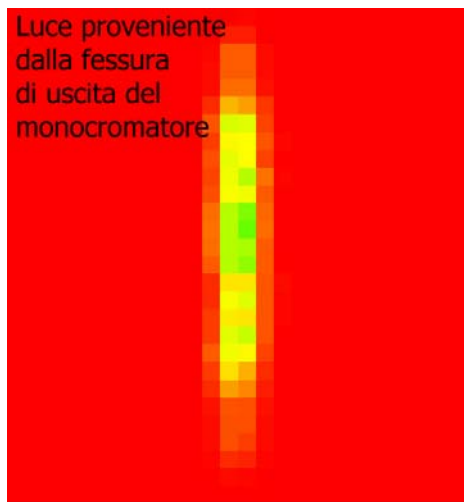


Fig. 2.18—Schema di funzionamento del monochromatore a reticolo

migliorare in futuro. Certo è, che la non ottimale corrispondenza delle curve di sensibilità spettrale condurrà sicuramente ad un errore di misura, soprattutto per le sorgenti a luce calda oltre che per la luce solare.

L'errore commesso sulla misura di luminanza, di cui ci occuperemo successivamente in questo

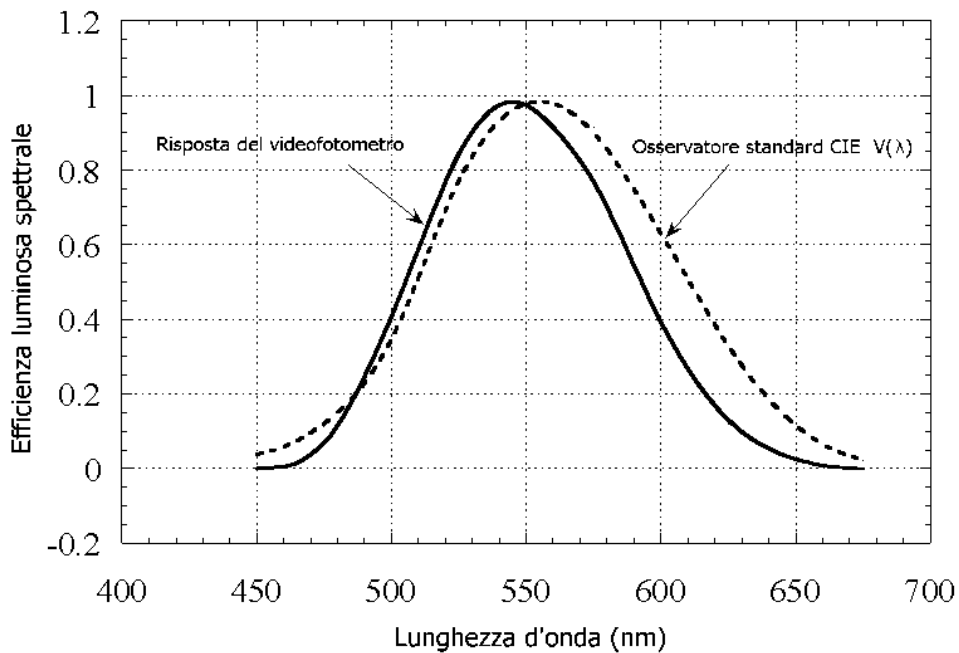


**Fig. 2.19—Immagine della fessura di uscita del monocromatore ripresa dalla videocamera e rappresentata in falsi colori**

capitolo, sarà sicuramente influenzato dall'approssimazione fatta sul filtro adottato. Nella stima di quelli che potranno essere i margini di miglioramento delle prestazioni del videofotometro sarà quindi fondamentale considerare una calibrazione più accurata della risposta spettrale, utilizzando magari non un filtro fottopico commercializzato ma un filtro opportunamente progettato in sintonia con la videocamera e tutte le componenti presenti sul percorso ottico della luce.

## 2.4—Il vignetting

Nel paragrafo 1.3 è stato accennato il problema dell'attenuazione della luminosità ai bordi dell'immagine connessa alla presenza del sistema ottico. Il problema, descritto in figura 1.14,



**Fig. 2.20—Confronto tra la curva di sensibilità spettrale del videofotometro ottenuta sperimentalmente e quella  $V(\lambda)$  dell'osservatore standard fornita dalla CIE**

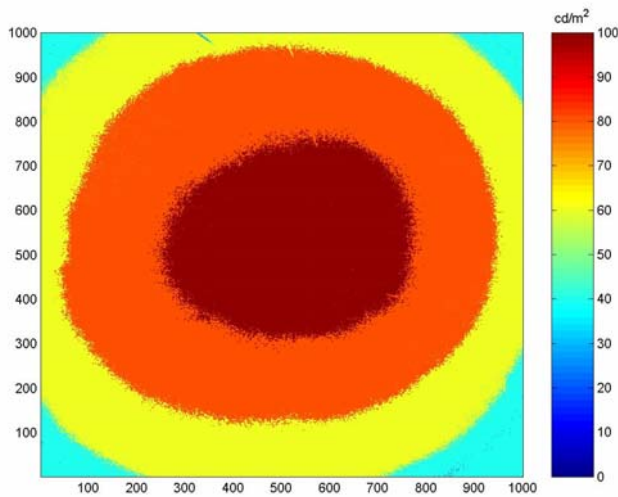
risulta tanto più accentuato quanto più si riduce la lunghezza focale dell'obiettivo utilizzato. Si tratta dunque di un fenomeno molto sentito per gli obiettivi grandangolari ma che, come vedremo, esiste anche per ottiche intermedie.

Bisogna definire per ciascuna ottica utilizzata una superficie caratteristica di sensibilità i cui valori, rapportati al valore di massima sensibilità rilevata on - axis, diano luogo alla superficie caratteristica di sensibilità relativa.

Il vignetting deve essere studiato per ciascuna ottica utilizzata, quindi nel nostro caso abbiamo caratterizzato il sistema configurato con entrambi gli obiettivi in uso.

### **2.4.1—Analisi del vignetting per le due configurazioni del sistema**

Definire una superficie caratteristica di sensibilità richiede come riferimento un'area piana a luminanza uniforme. Inquadrando un piano di questo tipo, tutti i pixels del sensore sono sollecitati nello stesso modo per cui la differenza della risposta che ne deriva scaturisce principalmente dalla caratteristica dell'ottica utilizzata ed in piccola parte dalle imperfezioni della superficie stessa. Per ottenere una superficie con le caratteristiche descritte è stata utilizzata una lastra di materiale traslucido di dimensioni 1m x 1m e spessa 2 cm. La lastra è stata frapposta tra la videocamera e la volta celeste (che la illumina con raggi paralleli), schermando l'irraggiamento diretto del sole. La prova si è svolta in una giornata con cielo sereno assimilabile alla tipologia di cielo "clear sky" e scegliendo una posizione non influenzata da ostruzioni di qualsiasi tipo. L'uniformità del pannello è stata verificata per ciascuna prova mediante una griglia 20 x 20 cm di valori di luminanza e misurati con il luminanzometro Hagner S3 di classe A. È stata rilevata di volta in volta l'uniformità e confrontata con il minimo valore accettabile, fissato al 98%. Per ogni valore dello Shutter utilizzato per la taratura abbiamo ottenuto una matrice di valori la cui rappresentazione grafica in falsi colori, riportata in figura 2.21, è sicuramente più esplicitiva di quella numerica. La luminosità dell'immagine, massima nel centro dove l'effetto del vignetting è nullo, diminuisce gradualmente andando verso i bordi fino ad arrivare ad una attenuazione del 45 - 50%. Rapportando i valori rilevati con il videofotometro al valore on - axis, si ottiene una matrice di correzione per ciascun valore dello Shutter utilizzato.



**Fig. 2.21—Rappresentazione in falsi colori del pannello traslucido a luminanza uniforme di 100 cd/m<sup>2</sup> rilevato dal sistema configurato con obiettivo f = 6.5 mm e Shutter = 1/100 s**

Dalla figura 2.21 si notano alcune piccole imperfezioni della lastra traslucida utilizzata che comportano una distribuzione non perfettamente simmetrica del fenomeno. Poichè questa dissimetria non dipende dallo strumento di misura, è stata necessaria una elaborazione sulle matrici per superare il problema prima di utilizzare i dati raccolti.

Le 1001 righe x 1001 colonne sono state raggruppate in una matrice semplificata 9 righe x 9 colonne (fig. 2.22) costituita da quattro settori ciascuno composto da 16 quadranti più altri 16 quadranti disposti sugli assi principali e identificati in figura 2.22 con le lettere da A a D; a cia-

1	2	3	4	A	4	3	2	1
5	6	7	8	B	8	7	6	5
9	10	11	12	C	12	11	10	9
13	14	15	16	D	16	15	14	13
A	B	C	D	X	D	C	B	A
13	14	15	16	D	16	15	14	13
9	10	11	12	C	12	11	10	9
5	6	7	8	B	8	7	6	5
1	2	3	4	A	4	3	2	1

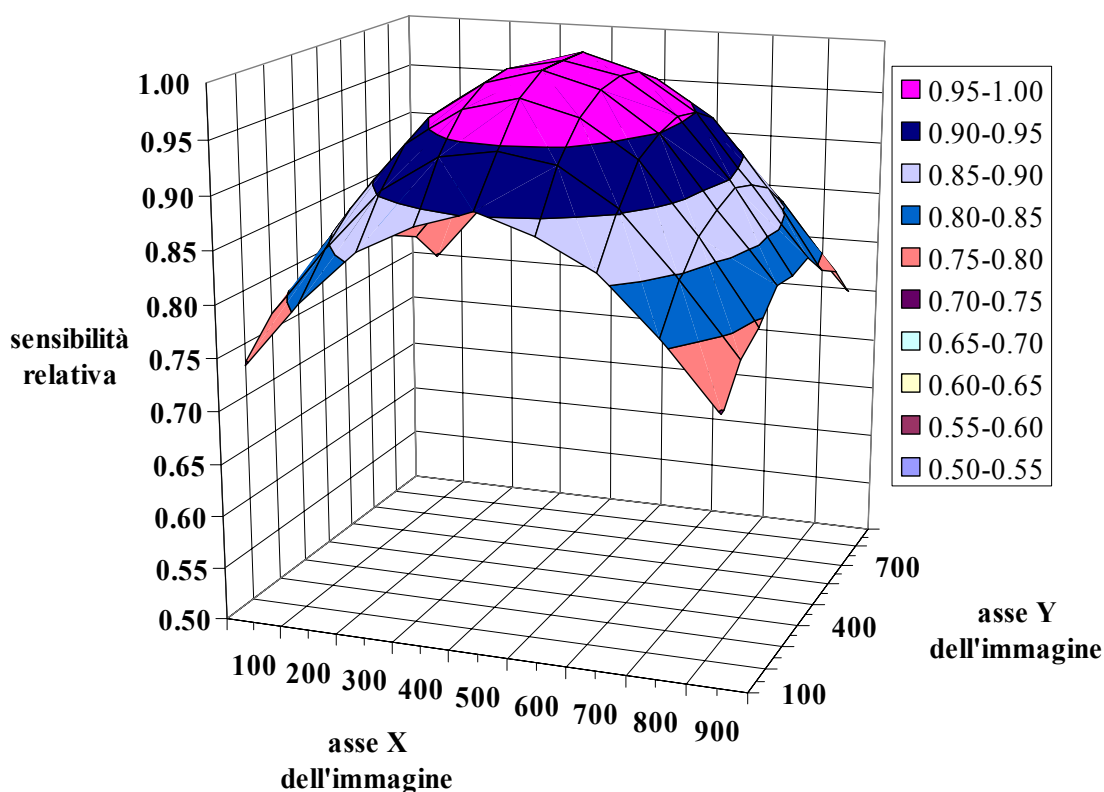
**Fig. 2.22—Matrice semplificata del vignetting**

scun quadrante è stata attribuita una luminanza media, calcolata prima tra i pixels che ricadono all'interno del quadrante stesso e poi tra i quadranti omologhi, rappresentati in figura 2.22 con lo stesso numero o la stessa lettera. Infine le cinque matrici di correzione, riportate in allegato 4, sono state integrate fra di loro mediante una media aritmetica tra i valori dei quadranti omologhi delle cinque matrici. In questo modo si definisco-

no due superfici di sensibilità relativa, una per ciascuno degli obiettivi utilizzati. Le superfici, riportate in figure 2.23 per l'obiettivo con f = 50 mm presenta una perdita di sensibilità che nei punti estremi è del -25%. Il pannello con una luminanza uniforme di 100 cd/m<sup>2</sup>, apparirà ai

bordi con una luminanza di  $75 \text{ cd/m}^2$ . Nel caso dell'obiettivo con  $f = 6.5 \text{ mm}$  la perdita di sensibilità raggiunge addirittura il  $-50\%$  come appare dalla figura 2.24. In questo caso, come facilmente presumibile, il vignetting è molto più accentuato e la correzione riveste un ruolo ancora più determinante nel setup del sistema.

Per entrambe le configurazioni sono state ottenute due matrici semplificate per la correzione



**Fig. 2.23—Superficie di sensibilità relativa caratterizzante il vignetting del videofotometro configurato con obiettivo  $f = 50 \text{ mm}$**

del vignetting (tab. 2.2, tab. 2.3). Queste matrici possono essere riportate alla dimensione originaria di 1001 righe x 1001 colonne per mezzo di un'interpolazione quadratica ed essere quindi implementate nei codici di elaborazione che saranno successivamente descritti. Naturalmente questa correzione non tiene conto di eventuali errori che possano derivare dal diverso comportamento dei pixels i quali potrebbero differenziarsi rispetto all'efficienza quantica dando luogo ad un'ulteriore incertezza sistematica della misura. Quest'aspetto, non compreso in questa trattazione, dovrebbe essere analizzato mediante la verifica delle prestazioni pixel per



pixel senza l'influenza dell'ottica.

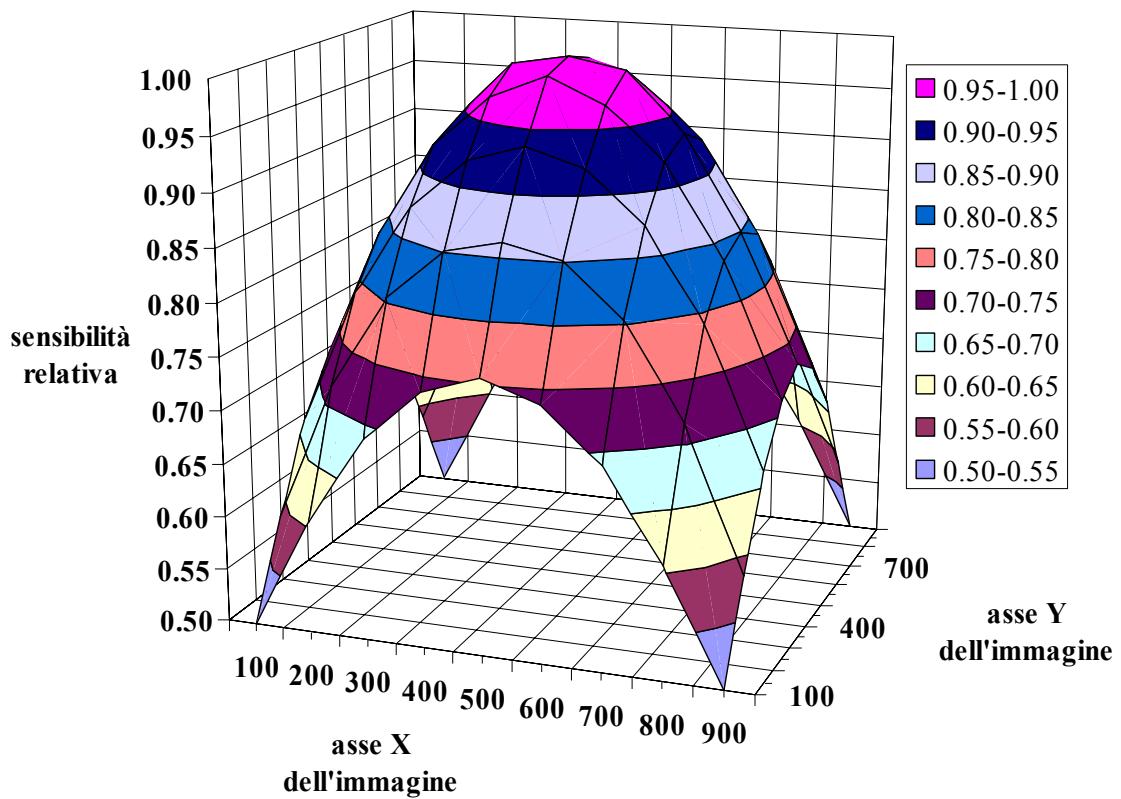


Fig. 2.24—Superficie di sensibilità relativa caratterizzante il vignetting del videofotometro configurato con obiettivo  $f = 6.5 \text{ mm}$

Tab. 2.2—Matrice di correzione per l'obiettivo con  $f = 50 \text{ mm}$

MV5028TL								
0.75	0.81	0.86	0.89	0.90	0.89	0.86	0.81	0.75
0.78	0.85	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.85	0.78
0.79	0.87	0.94	0.97	0.98	0.97	0.94	0.87	0.79
0.82	0.88	0.95	0.98	1.00	0.98	0.95	0.88	0.82
0.82	0.89	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.89	0.82
0.82	0.88	0.95	0.98	1.00	0.98	0.95	0.88	0.82
0.79	0.87	0.94	0.97	0.98	0.97	0.94	0.87	0.79
0.78	0.85	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.85	0.78
0.75	0.81	0.86	0.89	0.90	0.89	0.86	0.81	0.75

**Tab. 2.3—Matrice di correzione per  
l'obiettivo con  $f = 6.5$  mm**

MV618TL								
0.50	0.61	0.69	0.74	0.76	0.74	0.69	0.61	0.50
0.58	0.72	0.80	0.85	0.86	0.85	0.80	0.72	0.58
0.66	0.79	0.87	0.92	0.94	0.92	0.87	0.79	0.66
0.71	0.84	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.84	0.71
0.73	0.85	0.94	0.99	1.00	0.99	0.94	0.85	0.73
0.71	0.84	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.84	0.71
0.66	0.79	0.87	0.92	0.94	0.92	0.87	0.79	0.66
0.58	0.72	0.80	0.85	0.86	0.85	0.80	0.72	0.58
0.50	0.61	0.69	0.74	0.76	0.74	0.69	0.61	0.50

## 2.5—Il bracketing

La novità di maggiore interesse introdotta dal videofotometro consiste nella possibilità di analizzare scene con ampia larghezza di campo e nello stesso tempo con un ampio range di misura. Abbiamo già visto come la larghezza di campi sia frutto di un opportuno abbinamento tra ottica e sensore che permette la scelta del campo di vista più idoneo a quello che sarà l'oggetto della misurazione. Per quanto riguarda invece il range di misura, questo è legato al range dinamico del sensore e quindi al rumore di fondo. Nel nostro caso abbiamo ottenuto con l'obiettivo con  $f = 50$  mm un capo di misura tra 15 e 50000  $\text{cd/m}^2$ , mentre con l'obiettivo con  $f = 6.5$  mm il campo di misura ottenuto va da 7 a 41500  $\text{cd/m}^2$ . Il campo di misura completo deriva tuttavia da cinque setup differenti dello strumento che, per l'analisi di una scena con la massima ampiezza nel campo di misura, necessita quindi di cinque acquisizioni successive. Le acquisizioni, non potendo essere contemporanee, dovranno necessariamente riferirsi ad una scena statica sia dal punto di vista della dinamica dei soggetti che della variabilità delle condizioni di illuminazione. Questa che sembrerebbe una limitazione dello strumento, in realtà non rappresenta un grandissimo inconveniente sul lato applicativo poiché, attraverso il setup via software, sono sufficienti meno di tre secondi per ogni acquisizione, il che riconduce ad un tempo massimo di quindici secondi per l'intera procedura.

Il problema più importante da affrontare è l'implementazione delle cinque acquisizioni al fine di ottenere in output una mappa della distribuzione delle luminanze che sia facile da comprendere e fruibile per qualunque tipo di verifica si voglia compiere. Il procedimento che permette ciò si chiama bracketing e può essere ottenuto in diversi modi attraverso l'elaborazione delle matrici acquisite. Abbiamo allo scopo messo a punto una serie di comandi Matlab, riportati negli allegati 5 e 6, che utilizzati per le cinque matrici acquisite restituiscono proprio il tipo di output desiderato. Le matrici acquisite e denominate "data1" ... "data5", vengono inizialmente trasformate in altrettante matrici, "lum1" ... "lum5", in valori di luminanza per mezzo delle funzioni di trasformazione ottenute con la taratura. Viene in seguito compilata una matrice "mat" con i valori opportunamente scelti tra le cinque matrici "lum" in base ai campi di misura delle rispettive curve di taratura (fig. 2.25). L'immagine acquisita in Matlab risulta in realtà ruotata

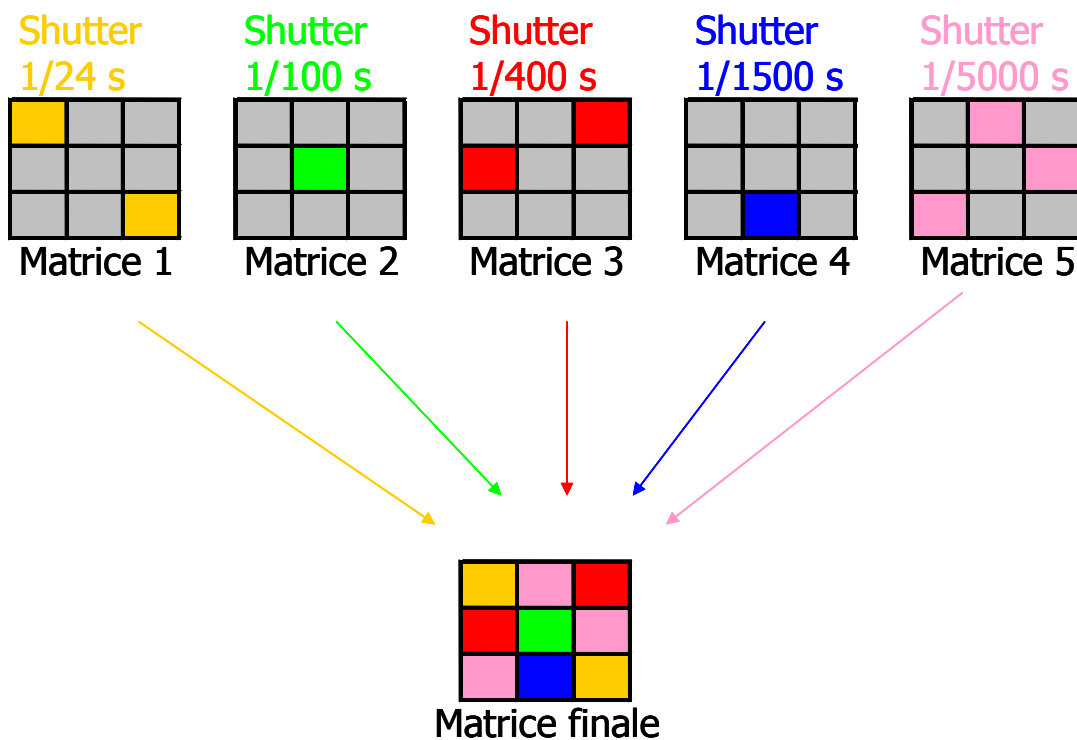
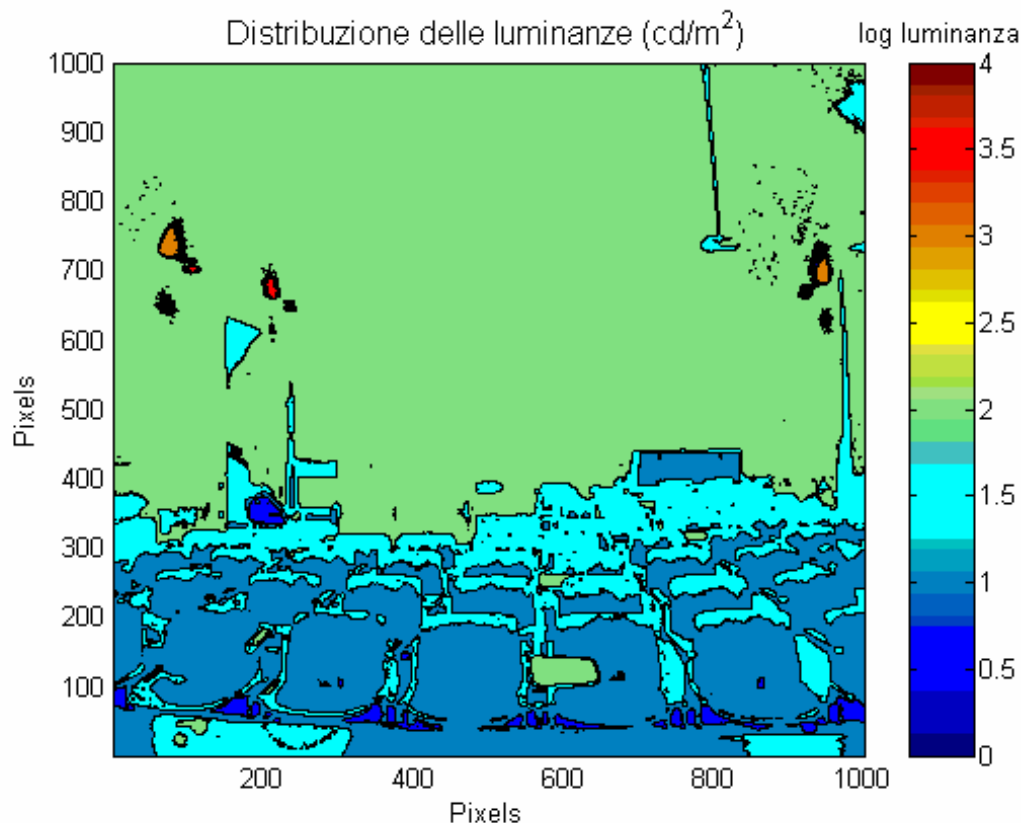


Fig. 2.25—Implementazione delle cinque matrici nella matrice finale

e capovolta per cui una terza routine provvede da un lato a correggerne la posizione geometrica della matrice e dall'altro la moltiplica per la matrice di correzione del vignetting. Il risultato di quest'ultima elaborazione è una matrice finale, "matrix", che è già pronta per la rappresen-



**Fig. 2.26—Distribuzione delle luminanze ottenuta con la procedura di bracketing**

tazione grafica in falsi colori. Un'immagine relativa ad una scena il cui campo di misura sia molto ampio necessita tuttavia di un'ulteriore trasformazione che consiste nel riportare i valori di luminanza nei rispettivi logaritmi decimali. La scala logaritmica permette di cogliere in maniera chiara e distinta tutte le differenze di luminanza presenti nell'immagine. In figura 2.26 abbiamo riportato la mappa delle luminanze ottenuta con la procedura sopra descritta e relativa all'immagine riportata in figura 2.27.

Si tratta della ripresa di un'aula universitaria della Facoltà di Architettura di Napoli. Il campo di misura va da 7 a circa 38000 cd/m<sup>2</sup> in corrispondenza degli apparecchi illuminanti. La maggior parte della superficie inquadrata è tra 7 e 100 cd/m<sup>2</sup>. In questo modo è possibile avere un immediato riscontro delle luminanze in tutte le zone del campo visivo senza dover effettuare un rilievo punto punto con il fotometro tradizionale ed inoltre questo tipo di rappresentazione tiene conto anche dei punti singolari che possono presentarsi all'interno di una scena e che potrebbero sfuggire ad una discretizzazione compiuta su una maglia troppo ampia.



Fig. 2.27—Scena analizzata con il videofotometro

## 2.7—Influenza dello sfondo

Tra i fattori ambientali che possono influenzare la misura di luminanza può essere sicuramente menzionato lo sfondo. La luminanza del compito visivo rilevata dal videofotometro potrebbe risentire della presenza di uno sfondo chiaro piuttosto che di uno sfondo scuro. Abbiamo voluto verificare l'influenza dello sfondo prima di tutto per quantificare, anche se in prima approssimazione, l'entità del fenomeno e poi per definire quelle che potrebbero essere le soluzioni del problema.

Sono stati approntati due sfondi, uno bianco che abbiamo generalizzato come sfondo chiaro ed uno grigio scuro a sua volta definito sfondo scuro. Le prove sono state condotte in un ambiente a luce controllata in modo tale da poter fornire diversi livelli di illuminamento da circa 200 lux fino a 9000 lux. Al centro dell'inquadratura è stato fissato un target con coefficiente di

riflessione intermedio tra quelli relativi ai due sfondi, scuro e chiaro, utilizzati. Per ogni fissato valore di illuminamento, misurato in corrispondenza del target per mezzo del luxmetro Minolta T-10, è stata letta la luminanza con il videofotometro in entrambe le condizioni di sfondo. Sono stati eseguiti complessivamente sedici rilievi che sono riportati in tabella 2.4 nella quale si può anche leggere sia la differenza percentuale rapportata al valore letto con lo sfondo scuro che lo Shutter utilizzato per l'acquisizione. Visto il valore più qualitativo che quantitativo della prova svolta, abbiamo ritenuto opportuno che fosse eseguita per il solo obiettivo con  $f = 6.5$ , per il quale tra l'altro è stato possibile testare solo tre dei cinque livelli di Shutter. La scarsa

**Tab. 2.4—Luminanza rilevata con il videofotometro  
in due condizioni differenti di sfondo**

illuminamento del target (lux)	luminanza del target su sfondo scuro (cd/m <sup>2</sup> )	luminanza del target su sfondo chiaro (cd/m <sup>2</sup> )	differenza percentuale	shutter tempo di apertura (s)
196.00	33.00	37.00	10.81%	1/24s
476.00	85.00	92.00	7.61%	1/24s
2860.00	771.00	902.00	14.52%	1/400s
3180.00	891.00	979.00	8.99%	1/400s
3300.00	928.00	1020.00	9.02%	1/400s
4200.00	1082.00	1335.00	18.95%	1/1500s
7730.00	1895.00	2181.00	13.11%	1/1500s
9000.00	2198.00	2587.00	15.04%	1/1500s

potenza del sistema di illuminazione adottato e la mancanza di una regolazione precisa del flusso luminoso, ci ha impedito infatti di ottenere livelli di illuminamento tali

da verificare il sistema per ogni Shutter disponibile e quindi per ogni curva di taratura. Tuttavia la sperimentazione condotta ci permette di affermare che il problema dell'influenza dello sfondo sulla misura di luminanza è verificato e che non esiste, almeno in prima approssimazione, un andamento particolare da attribuire al setup dello strumento. La figura 2.28 mostra lo scattering dei valori rilevati, l'unica notazione possibile è l'aumento della differenza percentuale media al diminuire del tempo di apertura e quindi all'aumentare della luminanza rilevata. La differenza percentuale media passa dal 9,21% dello Shutter a 1/24 s al 10,84% dello Shutter a 1/400 s per finire al 15,70% dello Shutter a 1/1500 s. Per la correzione dell'influenza dello sfondo ci sarebbero diverse possibilità, alcune più complesse di altre. Si potrebbe ad esempio implementare nel software una routine che dopo una valutazione delle aree chiare e scure effettui una correzione delle misure rilevate in analogia a quanto avviene con il vignettin. Questo

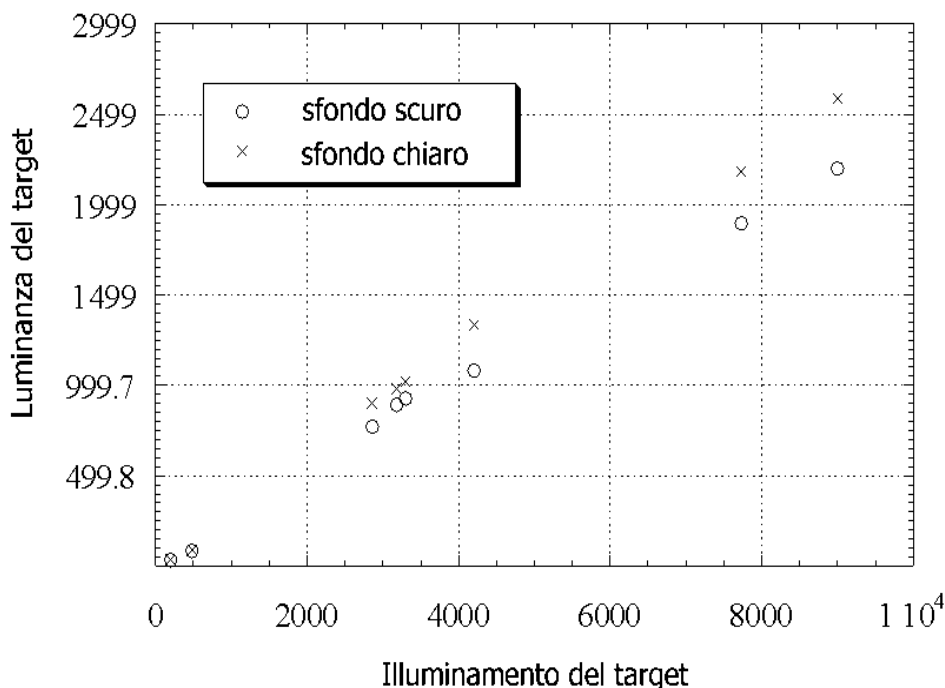


Fig. 2.28—Scattering dei valori rilevati con il videofotometro nelle due condizioni differenti di sfondo

tipo di soluzione prevede uno studio particolareggiato e approfondito del fenomeno, non solo ai diversi livelli di luminanza ma anche per le diverse zone del campo di vista. In alternativa possiamo proporre una taratura direttamente "in situ" che terrebbe conto di tutto ciò che potrebbe in qualche modo influenzare la misura, tra cui per l'appunto lo sfondo.

## 2.8—Confronto tra videofotometro e fotometro tradizionale

Per completare le operazioni di setup del videofotometro abbiamo cercato di fornire qualche dato circa le prestazioni dello strumento. Allo scopo, abbiamo confrontato il videofotometro con un fotometro di precisione di classe A avente un limite di incertezza del 7.5%. Abbiamo eseguito una serie di tests di confronto tra i due strumenti. I tests sono stati fatti adottando come riferimento una serie di targets sparsi all'interno di ambienti confinati. Abbiamo eseguito prima il rilievo con il videofotometro e poi con il fotometro tradizionale. Già in questa fase si concretizza la grande praticità del videofotometro che con un'unica acquisizione permette di

determinare la luminanza di tutti i targets presenti nel campo angolare di misura dello strumento. Le stesse misure rilevate in maniera tradizionale hanno richiesto molto più tempo, va inoltre considerato che questo tipo di misura richiede all'operatore di praticare più volte il puntamento dello strumento con il conseguente aumento dell'incertezza accidentale di lettura.

Le prove eseguite sono state sette per ciascuna delle quali sono stati predisposti una serie di targets per un totale di 352 punti. Nella figure da 2.29 a 2.35 si vedono gli ambienti utilizzati per le prove, in ciascuno di essi i targets sono stati posizionati e numerati progressivamente per creare una relazione tra la misura ed il rispettivo punto in cui essa è avvenuta. I dati raccolti sono stati riportati in allegato da 6/1 a 6/7. Tutte le prove sono state eseguite con l'obiettivo con  $f = 6.5 \text{ mm}$  a  $F = 1.8$  utilizzando tutte le curve di taratura disponibili. . Fra i targets numerati alcuni sono stati scartati perché esterni al campo di misura del videofotometro ed altri perché esterni al quadrato  $1001 \times 1001$  pixels. Vale la pena ricordare che per quanto riguarda la limitazione al quadrato summenzionato, essa è dettata esclusivamente dal software di analisi dell'immagine che non può salvare matrici più grandi. La limitazione del campo di misura invece è dovuta al range dinamico della videocamera e alla luminosità dell'obiettivo adottato. Quello che emerge da questa prova si può riassumere nella cumulata di punti di figura 2.36 in cui è riportato uno scattering delle differenze percentuali, presentate come percentuale di errore, in funzione della luminanza rilevata con il fotometro tradizionale.

Si riscontra una percentuale di errore rispetto al fotometro tradizionale tra  $-16\%$  e  $+15\%$  con una forte predominanza dello scarto negativo. Il più delle volte quindi il videofotometro sottovaluta la luminanza letta con il fotometro e quasi nel  $10\%$  dei casi la sottovaluta del  $15\%$  come si vede dalla figura 2.37.

Questi test eseguiti in ambiente confinato forniscono un dato di prima approssimazione per

$$\% \text{ di errore} = \frac{L_{\text{luminanzometro}} - L_{\text{videoluminanzometro}}}{L_{\text{luminanzometro}}}$$

definire l'affidabilità dello strumento messo a punto in laboratorio. Potrebbe sembrare un errore eccessivo se paragonato alle prestazioni di strumenti come i videofotometri commerciali di cui abbiamo parlato nel primo capitolo, in realtà il risultato deve essere confrontato con altri





Fig. 2.29—Prova numero 1 (numerazione dei targets)



Fig. 2.30—Prova numero 2 (numerazione dei targets)



Fig. 2.31—Prova numero 3 (numerazione dei targets)

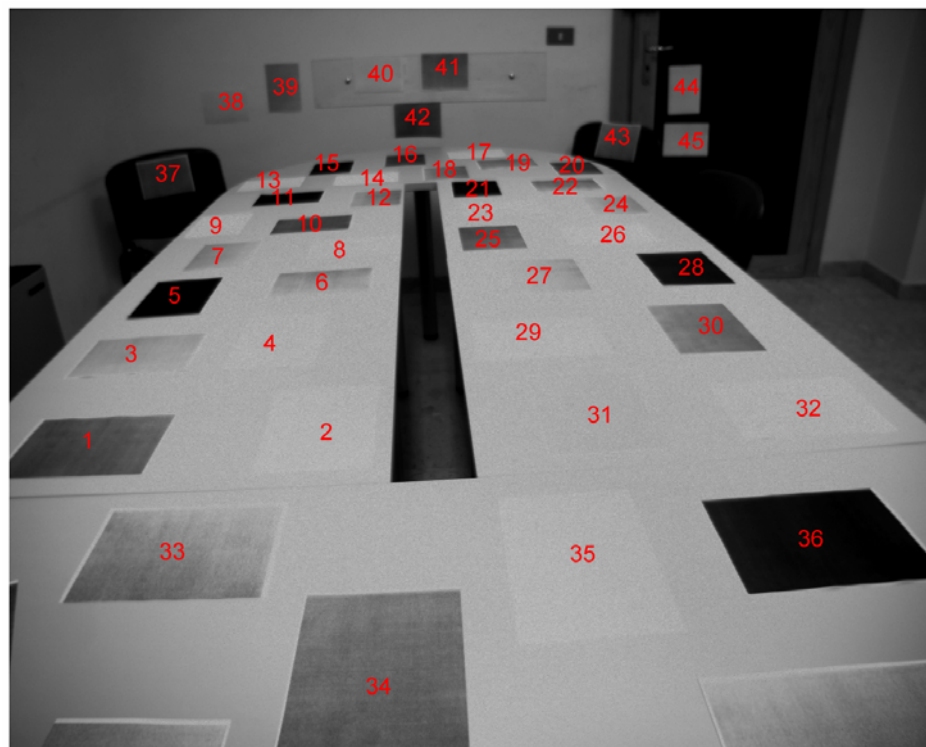


Fig. 2.32—Prova numero 4 (numerazione dei targets)



Fig. 2.33—Prova numero 5 (numerazione dei targets)



Fig. 2.34—Prova numero 6 (numerazione dei targets)

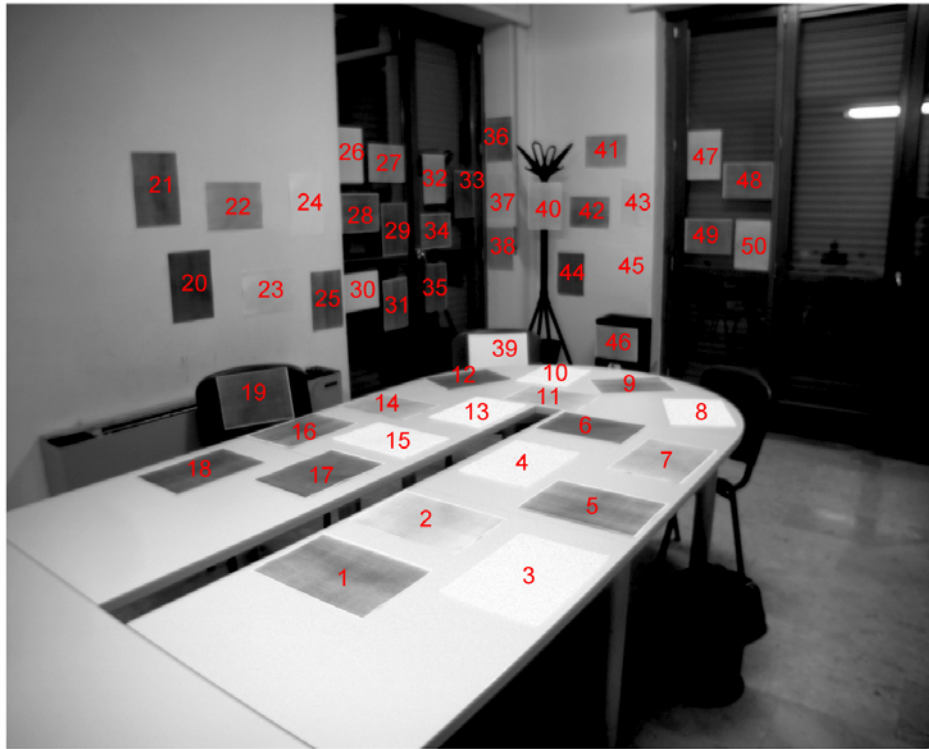


Fig. 2.35—Prova numero 7 (numerazione dei targets)

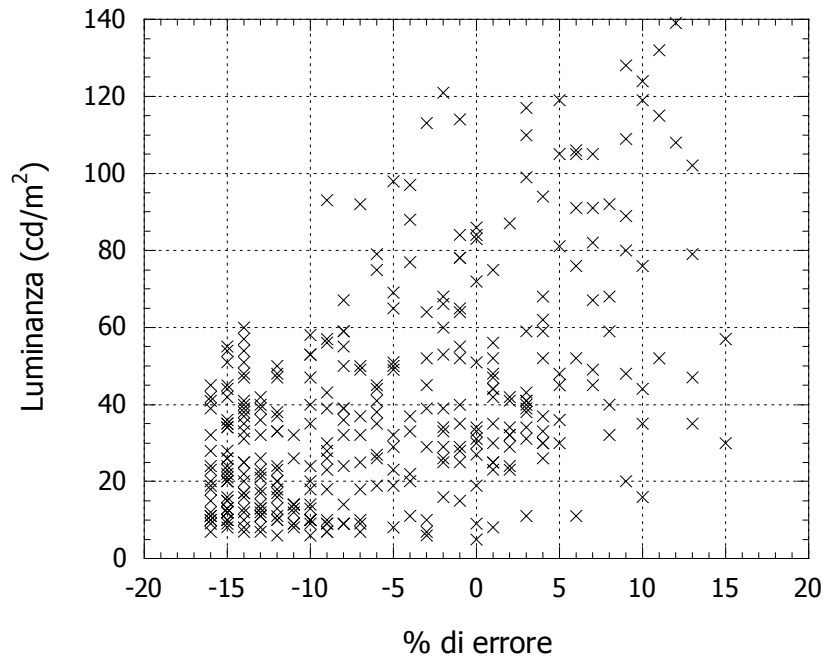


Fig. 2.36—Distribuzione dell'errore in funzione della luminanza

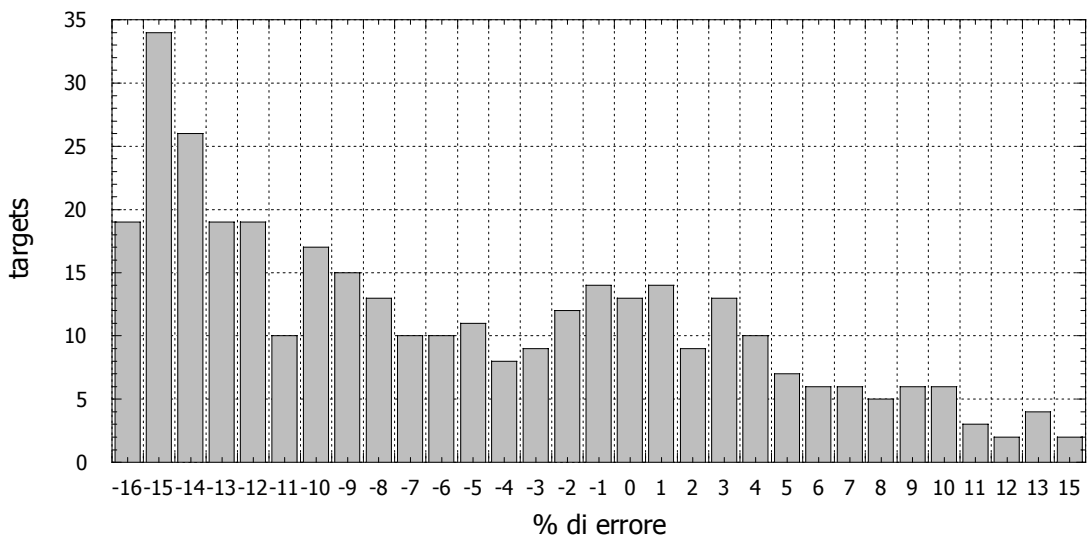


Fig. 2.37—Barre rappresentative del numero di targets che presentano la medesima percentuale di errore

fotometri messi a punto in laboratorio. Per questi ultimi la letteratura in materia parla di un errore medio di  $\pm 10\%$  e, il più delle volte, non precisa le modalità con cui questo errore è stato rilevato. Alla luce di questi dati dunque, il videofotometro messo a punto in questo lavoro di

tesi non si discosta di molto da altri strumenti messi a punto con gli stessi criteri e mezzi analoghi.

In futuro sarà necessario un attento studio sull'incertezza indotta dai singoli componenti del sistema al fine di migliorare le prestazioni dello strumento. Particolare menzione va fatta sicuramente al filtro ftopico di cui abbiamo già parlato in precedenza sottolineando la non ottimale risposta di sensibilità spettrale, oppure a problemi legati alle perturbazioni provocate dallo stesso ambiente di misura come accade per l'influenza dello sfondo. Anche la messa a fuoco dell'ottica necessita di un'analisi circa i problemi che possono da essa scaturire. Infine è auspicabile un programma di prove che portino alla definizione di accuratezza e ripetibilità della misura per poter classificare il videofotometro alla stregua di un fotometro tradizionale.

## Capitolo 3

### Impiego del videofotometro all'interno di ambienti confinati per la verifica della normativa

#### 3.1—La norma UNI per l'illuminazione di interni con luce artificiale

L'illuminazione di interni con luce artificiale deve seguire i criteri definiti nella norma UNI 1038-0 e successivo aggiornamento UNI 10380: 1994/A1. questa normativa si divide in due sezioni, nella prima si parla di termini e definizioni, finalità e prescrizioni, mentre la seconda è dedicata alle verifiche illuminotecniche.

Un impianto di illuminazione artificiale deve considerare, nel rispetto delle esigenze di risparmio energetico, i seguenti parametri:

- livello ed uniformità di illuminamento
- ripartizione delle luminanze
- limitazione dell'abbagliamento
- direzione della luce
- colore della luce e resa del contrasto.

Per quanto riguarda l'illuminamento medio, la normativa ha messo a punto una tabella in cui, per ciascun tipo di locale o superficie del compito visivo, viene indicato il valore dell'illuminamento medio, la tonalità di colore, il gruppo di resa del colore e la classe di qualità per la limitazione all'abbagliamento.

Per quanto concerne l'uniformità di illuminamento sono fissati dei rapporti limite. Il rapporto fra l'illuminamento minimo e quello medio sulla superficie di ogni compito visivo non deve es-

sere minore di 0,8. Il rapporto fra l'illuminamento minimo e quello medio in una superficie del locale che racchiude aree con identico compito visivo non deve essere minore di 0,5.

Nelle superfici di un locale di lavoro, che non sono sede del compito visivo, il valore medio dell'illuminamento non deve essere minore di  $1/3$  del valore medio dell'illuminamento della zona, sede del compito visivo, che richiede l'illuminamento più elevato. Infine, per evitare situazioni di disagio dovute a eccessive differenze di luminanza tra due locali adiacenti e comunicanti, il rapporto fra l'illuminamento medio del locale più illuminato e quello del locale meno illuminato non dovrebbe essere maggiore di 5.

Per l'esatta ripartizione delle luminanze, sono prescritti dei rapporti in maniera analoga a quanto visto per gli illuminamenti. Le superfici vengono distinte in:

- superficie del compito visivo
- superficie dello sfondo che contiene il compito visivo
- superficie delle zone periferiche circostanti al compito visivo
- superfici verticali più lontane poste di fronte all'osservatore.

Le misurazioni di luminanza interessano la superficie bioculare del campo visivo, entro un cono con l'angolo al vertice di  $120^\circ$ , rivolto verso l'osservatore. L'asse del cono corrisponde alla linea di visione che passa per il compito visivo.

I rapporti di luminanza calcolati devono essere compresi entro i limiti previsti dalla tabella 3.1.

La tabella prevede la suddivisione degli ambienti in tre classi:

- classe "X": ambienti dove le riflessioni possono essere controllate conformemente ai requisiti previsti dalla norma UNI 10380;
- classe "Y": ambienti nei quali è possibile controllare le riflessioni solo nelle zone vicine alle aree di lavoro, mentre è limitata la possibilità di controllo per le superfici più lontane;
- classe "Z": ambienti nei quali il controllo delle riflessioni è impraticabile e dove risulta difficoltoso modificare le condizioni ambientali.

La limitazione dell'abbagliamento prevede l'utilizzo delle curve limite di luminanza, tale metodo tende a fornire criteri per evitare l'abbagliamento, al variare dell'illuminamento medio di eserci-



**Tab. 3.1—Rapporti delle luminanze nel campo visivo**

Rapporti di luminanza limite prescritti		Classificazione dell'ambiente		
		X	Y	Z
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	3/1	3/1	5/1
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	1/3	1/3	1/5
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	10/1	20/1	–
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	1/10	1/20	–
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	20/1	–	–
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	40/1	–	–

zio su un piano di lavoro orizzontale a 0,9 m dal pavimento, ponendo in relazione la luminanza degli apparecchi illuminanti con gli angoli di schermatura degli stessi, per cinque classi di qualità degli impianti di illuminazione. Tali classi tengono conto del tipo di compito svolto dall'osservatore (tabella in fig. 3.2). Sono forniti due diagrammi riportati in figura 3.2 in base al tipo e alla disposizione degli apparecchi di illuminazione; il primo riporta le curve di luminanza A ed il secondo quelle chiamate B.

Le curve limite di luminanza A sono valide per tutti gli apparecchi senza bordi laterali luminosi (o con bordi laterali luminosi di altezza < 30 mm) e per gli apparecchi di illuminazione lineari (cioè con rapporto tra lunghezza e larghezza della loro area luminosa > 2) con bordi lineari luminosi disposti parallelamente alla direzione di osservazione.

Nel caso di soffitti luminosi la luminanza non deve superare 5000 cd/m<sup>2</sup> per angoli di irraggiamento (o di emissione)  $\gamma$  superiori a 45°. In ordinata dei due diagrammi della figura 3.2 sono riportati gli angoli di irraggiamento ( $\gamma$ ) da 45° a 85°, espressi anche come rapporto tra le distanze a ed h<sub>s</sub>; 45° e 85° sono le direzioni critiche convenzionali. Se parte della lampada o del corpo illuminante ricade nella zona visiva critica (fig. 3.3), allora occorre provvedere ad opportune schermature, così come viene suggerito dal prospetto I di figura 3.4, che fornisce gli an-

Classe di qualità	Tipo di compito o attività
A	compiti visivi molto difficoltosi
B	compiti visivi che richiedono prestazioni visive elevate
C	compiti visivi che richiedono prestazioni visive normali
D	compiti visivi che richiedono prestazioni visive modeste
E	per interni dove le persone non sono ubicate in una posizione di lavoro precisa ma si spostano da un posto all'altro esplicando compiti che richiedono prestazioni visive modeste

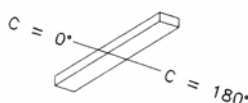
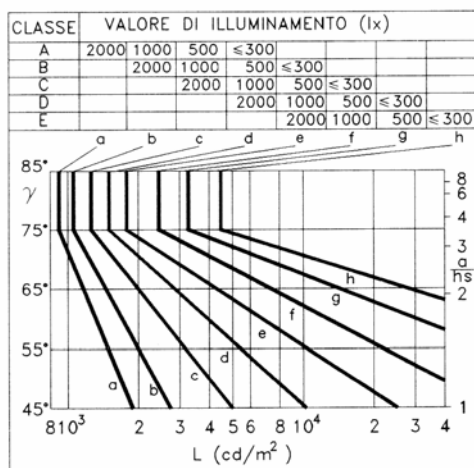
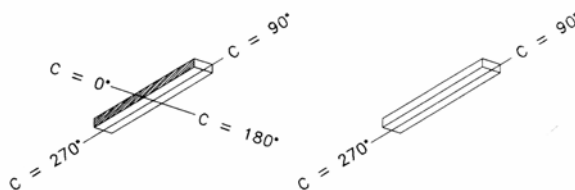
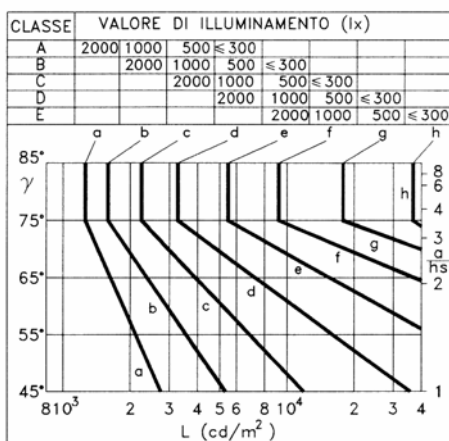
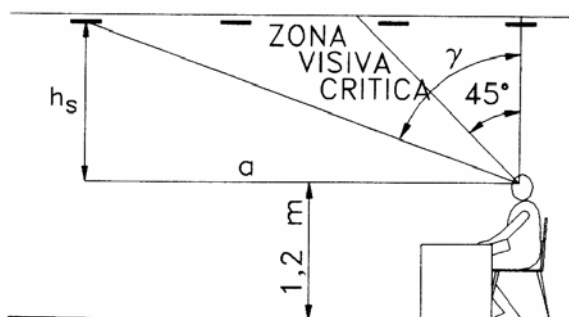


Fig. 3.2—Curve limite di luminanza A (sopra) e B (sotto)

goli di schermatura minima in funzione delle cinque classi di qualità degli impianti e del tipo di lampada (prospetto II di figura 3.4). Il prospetto I di figura 3.4 deve essere adottato solo uni-



**Fig. 3.3—Geometria di riferimento per la valutazione dell'angolo di irraggiamento da considerare nell'uso delle curve limite di luminanza**

coefficienti di riflessione siano: 0,7 - 0,8 per il soffitto; 0,4 - 0,6 per le pareti, 0,1 - 0,2 per il pavimento.

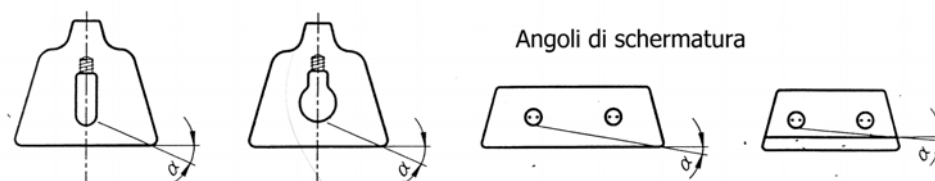
In definitiva la risposta di un apparecchio illuminante ai fini della limitazione dell'abbagliamento diretto, si effettua come segue:

- in funzione del tipo di compito e attività in esame, si determina la classe di qualità con l'uso del prospetto II di figura 3.4;
- sulla base di tale classe e dell'illuminamento medio stabilito, e avendo scelto il tipo di apparecchi e la loro disposizione, si individuano nei diagrammi A o B le corrispondenti curve a, b, ... h (se la scelta della disposizione non fosse definitiva, converrà prudenzialmente impiegare le curve di luminanza B);
- si verifica che le luminanze dell'apparecchio illuminante prescelto nelle direzioni critiche  $45^\circ < \gamma < 85^\circ$  rispettino i valori di luminanza consentiti dalle curve suddette;
- Se parte dell'apparecchio illuminante ricade nella zona visiva critica, occorre verificare che l'angolo di schermatura rientri nei valori riportati nel prospetto I di figura 3.4.

Va detto che quando si parla di luminanza media delle lampade in una generica direzione  $\alpha$  stiamo parlando del rapporto tra l'intensità luminosa in quella direzione e l'area apparente della superficie emittente dell'apparecchio ( $A_\alpha = A \cos \alpha$ ). La figura 3.5 mostra un esempio di

tamente alle curve limite di luminanza A e B. Queste ultime, poi, trovano corretta applicazione:

- nella illuminazione generale e in quella generale orientata sul posto di lavoro;
- in interni di forma parallelepipedica;
- nei casi in cui i valori dei



Prospetto I - Angoli minimi di schermatura prescritti in relazione alla luminanza delle lampade e alla classe di qualità degli impianti

Fasce di luminanza media delle lampade cd/m <sup>2</sup>	Angoli di schermatura minima		Tipo di lampada
	A, B, C	D, E	
< 20 x 10 <sup>3</sup>	20°	10°*	fluorescente
20 x 10 <sup>3</sup> a 500 x 10 <sup>3</sup>	30°	20°	alta pressione a scarica con bulbo fluorescente o diffondente
> 500 x 10 <sup>3</sup>	30°	30°	a incandescenza e a scarica con bulbo trasparente

\* Per lampade lineari viste in direzione 0°.

Prospetto II - Classi di qualità degli impianti di illuminazione in relazione alla limitazione dell'abbagliamento

Classe di qualità della limitazione dell'abbagliamento	Tipo di compito visivo o attività
A	compito visivo molto difficoltoso
B	compito visivo che richiede prestazioni visive elevate
C	compito visivo che richiede prestazioni visive normali
D	compito visivo che richiede prestazioni visive modeste
E	per interni dove le persone non sono ubicate in una posizione di lavoro precisa ma si spostano da un posto all'altro esplicando compiti che richiedono prestazioni visive modeste

Fig. 3.4—Angoli di schermatura, prospetto I e prospetto II

calcolo per la luminanza media longitudinale e trasversale calcolata per un apparecchio con superficie emittente di area  $A = 1,171 \times 0,24 = 0,282 \text{ m}^2$ . Il flusso totale della plafoniera è di 5600 lm e viene fornito un diagramma fotometrico dell'apparecchio illuminante riferito ad un flusso luminoso di 1000 lm (fig. 3.5).

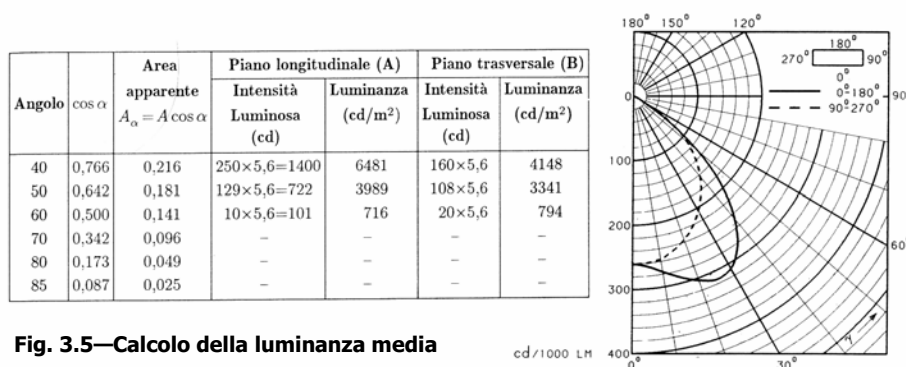


Fig. 3.5—Calcolo della luminanza media

Per la limitazione all'abbagliamento riflesso, ovvero per tutti quei casi in cui la luce riflessa da un oggetto presente nel campo visivo può causare la riduzione del contrasto e disturbi visivi da abbagliamento. Per quanto riguarda la riduzione del contrasto la normativa fa riferimento al fattore di resa del contrasto CFR. Le prescrizioni e le modalità di misura sono tuttora in via di approfondimento. Possiamo quindi limitarci a dire semplicemente che il CFR è dato dal rapporto tra il contrasto di soglia per il compito effettivo misurato nelle condizioni reali di illuminazione e quello di riferimento ottenuto all'interno di una sfera perfettamente diffondente.

Infine la norma UNI prevede un punto dedicato all'illuminazione dei posti di lavoro con video-terminali, fissando dei limiti sulla luminanza media emessa, per angoli di elevazione  $\gamma$  da 65° a 85° per gli apparecchi che possono causare macchie luminose sul video.

Queste descritte sono prescrizioni generali alle quali fa riferimento la normativa per ogni tema

**Tab. 3.2—Limiti della luminanza media ammessa**

Schermo	Contrasto	Limite della luminanza
Non trattato	Negativo	200 cd m <sup>-2</sup>
Non trattato	Positivo	500 cd m <sup>-2</sup>
Antiriflesso	Negativo	500 cd m <sup>-2</sup>
Antiriflesso	Positivo	1 000 cd m <sup>-2</sup>

di carattere illuminotecnico come per esempio per la UNI 10840 che descrive i criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale dei locali scolastici. Proprio per riferirci ad una applicazione reale della verifica normativa, abbiamo scelto per il programma di sperimentazione due tipologie di ambiente tra i locali destinati ad attività scolastica. Nel primo caso si tratta di una stanza-studio con videoterminale e nel secondo caso di un aula universitaria attrezzata per la video-proiezione.

### **3.2—Descrizione della verifica illuminotecnica oggetto dell'attività sperimentale.**

La verifica illuminotecnica presuppone l'utilizzo di un ambiente reale sia esso un laboratorio, un'aula scolastica o in generale uno spazio con specifica destinazione d'uso. Lo scopo principale della sperimentazione è quello di utilizzare uno strumento innovativo come il videofotometro per la verifica della normativa nel caso dell'illuminazione con luce artificiale. Abbiamo fatto riferimento al punto 6.2.4 della norma UNI 10380 in cui si fissano i rapporti delle luminanze nel campo visivo (tab. 3.1). Le misure riguardano il campo di vista di chi occupa l'ambiente in esame con lo scopo di svolgere il compito visivo relativo all'attività a cui l'ambiente è destinato. Sono previste misure in un cono con angolo al vertice di  $120^\circ$ , rivolto verso l'osservatore. L'asse del cono deve coincidere con la congiungente il punto di osservazione con il compito visivo. Il rilievo è stato eseguito secondo una griglia definita sull'immagine acquisita con la videocamera anziché in base alle coordinate sferiche generalmente utilizzate per il rilievo con il fotometro tradizionale. La griglia è a maglia quadrata ed è formata da 81 punti con un interdistanza di 125 pixels. È stato utilizzato l'obiettivo con  $f = 6.5$  mm quindi, in base a quanto riportato nel paragrafo 2.1.2, l'apertura orizzontale risulta di circa  $66^\circ$  mentre quella verticale di circa  $55^\circ$ . Per il cono descritto dalla normativa occorrono quindi almeno due inquadrature sull'asse orizzontale della scena e tre lungo l'asse verticale. Naturalmente per ottenere una risoluzione più elevata, soprattutto quando la ripresa avviene in campo lungo, è utile prevedere un numero di inquadrature superiore.

Le prove sono state eseguite in due ambienti differenti che rientrano nella tipologia dei locali scolastici. Si tratta di una stanza-studio con videoterminale, ubicata presso la sede distaccata del Dipartimento di Energetica, Termofluidodinamica applicata e Condizionamenti ambientali (DETEC) e dell'Aula 10 presso Palazzo Gravina, sede principale delle Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Di seguito indicheremo per semplicità i due casi come Stanza-studio ed Aula 10.

### 3.3—Il caso della Stanza-studio

Si tratta di una stanza con due postazioni, una per l'uso del videoterminale, l'altra per la consultazione di testi. Nella figura 3.6 è riportato uno schema dell'ambiente di prova con l'indicazione (Cono 1 e Cono 2) delle due postazioni. In verde sono riportati gli apparecchi illuminanti.

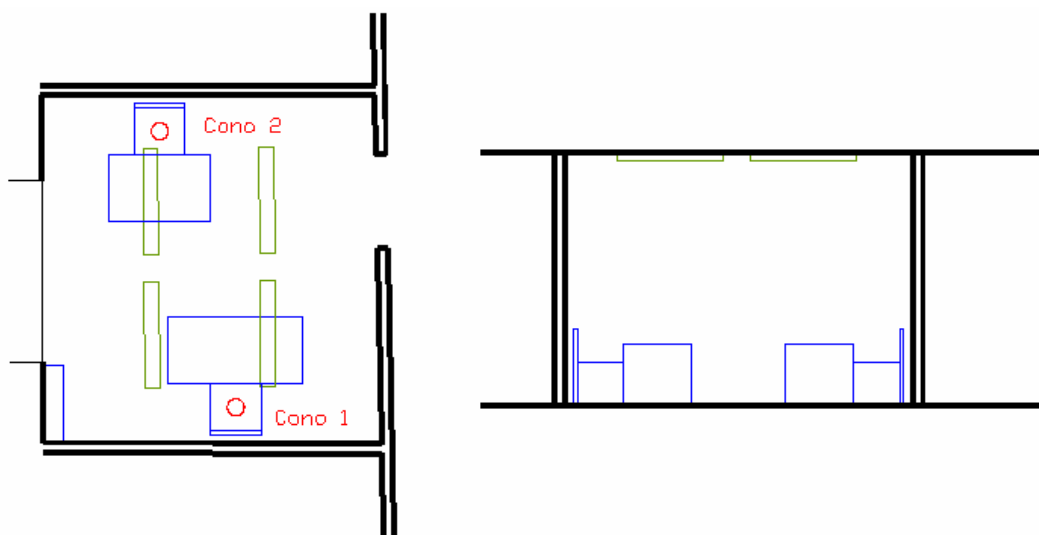


Fig. 3.6—Schema in pianta e in sezione della stanza-studio con l'indicazione delle postazioni

Le sue dimensioni sono 4,1 m di lunghezza, 3,9 m di larghezza e 3,0 m di altezza. Il locale è dotato di quattro apparecchi illuminanti con pannello rifrattore a prismi multipli. Ciascun apparecchio è dotato di due lampade fluorescenti lineari da 36 W. L'impianto di illuminazione, in esercizio da circa tre anni, è ormai nelle condizioni di regime motivo per cui la verifica risulta svincolata dal fattore di manutenzione. Inoltre la tensione di alimentazione degli apparecchi varia di poco rispetto alla tensione nominale e quindi è trascurabile il fattore di correzione della misura fotometrica per la differenza di tensione.

Nel caso in esame sono state fatte sei inquadrature diverse classificate rispettivamente con la dicitura as (alto sinistra), cs (centro sinistra), bs (basso sinistra), ad (alto destra), cd (centro destra) e bd (basso destra). Per ciascuna do esse è stata rilevata la luminanza negli 81 punti della griglia di acquisizione per un totale di 486 punti. Naturalmente le sei inquadrature, non essendo perfettamente coordinate fra loro, hanno portato ad alcune sovrapposizioni nelle zone

marginali, motivo per cui alcuni dei punti sono stati scartati in quanto ripetuti. Nelle figure dalla 3.7 alla 3.12 sono riportate le sei acquisizioni relative al Cono 1 mentre le figure dalla 3.13 alla 3.15 appartengono al Cono 2. La videocamera è stata posizionata in corrispondenza delle due postazioni per mezzo di un tripode regolabile. L'altezza dal pavimento è di 1,2 m e l'angolazione è stata ripartita simmetricamente sul piano orizzontale, quindi 60° a destra e 60° a sinistra, mentre sul piano verticale il campo angolare è stato suddiviso tra 70° verso il basso e 50° verso l'alto. La ripartizione del campo angolare ha dovuto seguire infatti i limiti orizzontali e verticali della visione binoculare così come già introdotto nel paragrafo 2.1.

Sulle pareti della stanza sono stati incollati diversi fogli di formato A4 con diversi coefficienti di riflessione per creare una superficie eterogenea. L'ambiente è stato oscurato perfettamente per mezzo della tapparella esterna e l'impianto di illuminazione è stato attivato circa 60 minuti prima della prova per stabilizzare le lampade a scarica.

Una volta ottenute le acquisizioni, sono state compilate per ciascun Cono le sei matrici dei valori di luminanza relative alle sei acquisizioni. Le tabelle dalla 3.3 alla 3.16 rappresentano le matrici dei due coni, alcuni dei valori, con sfondo rosso, sono stati scartati perché ripetuti in una matrice adiacente o perché esterni all'area di acquisizione (1001 x 1001 pixels). Nell'ambito delle singole matrici, i punti rilevati sono stati classificati in base alla loro appartenenza ad una delle seguenti categorie:

- compito visivo (sfondo giallo)
- superfici più scure adiacenti al compito visivo (sfondo blu)
- superfici più chiare adiacenti al compito visivo (sfondo azzurro)
- superfici lontane più scure (sfondo verde scuro)
- superfici lontane più chiare (sfondo verde chiaro)
- apparecchi illuminanti (sfondo bianco)
- superfici adiacenti agli apparecchi illuminanti (sfondo grigio).

Sono state infine ricavate le medie per ciascuna categoria (tab. 3.9 e 3.17) e dai rapporti fra le medie (tab. 3.10 e 3.18), così come richiesto dalla normativa, sono stati ottenuti i rapporti di luminanza che caratterizzano l'ambiente. Confrontando questi rapporti con i rapporti limite



### Cono 1



Fig. 3.7—as (alto sinistra)



Fig. 3.8—ad (alto destra)



Fig. 3.9—cs (centro sinistra)



Fig. 3.10—cd (centro destra)



Fig. 3.11—bs (basso sinistra)



Fig. 3.12—bd (basso destra)

**Cono 1**

75	144	405	1628	198	100	91	91	99	75	72	353	189	113	103	99	99	78
72	92	137	352	238	97	92	97	140	153	366	310	100	99	97	102	150	164
69	63	87	92	270	291	130	103	123	246	363	159	102	99	96	51	182	168
166	121	87	87	107	306	305	104	91	67	115	100	98	120	175	178	164	156
32	48	162	97	86	91	84	104	108	112	110	94	101	167	161	157	158	164
43	52	17	118	98	104	111	87	124	122	116	106	118	52	52	147	143	137
39	28	27	66	92	55	115	123	121	115	110	104	111	16	40	134	133	126
34	30	23	110	96	93	107	111	110	96	100	94	101	16	14	123	119	73
23	29	16	99	77	86	12	93	89	32	86	86	65	51	34	25	106	78

**Tab. 3.3—as (alto sinistra)**

**Tab. 3.4—ad (alto destra)**

35	36	23	147	103	108	118	120	111	76	72	111	128	60	63	156	145	142
37	39	21	121	105	104	118	127	122	74	115	112	123	15	27	146	142	132
34	36	20	109	98	38	110	117	119	69	62	104	112	14	20	136	134	127
26	31	16	66	94	91	97	100	105	66	101	97	53	34	19	37	123	120
16	13	14	91	84	79	79	8	82	94	92	89	52	10	9	9	118	110
16	11	12	78	26	31	29	50	125	87	85	81	69	8	37	48	104	67
19	10	29	61	31	42	43	42	52	65	62	58	114	27	69	46	96	68
60	63	109	120	121	123	130	130	127	123	84	116	51	50	43	27	65	71
90	101	108	116	120	124	126	122	113	112	118	117	110	84	85	107	73	76

**Tab. 3.5—cs (centro sinistra)**








**Tab. 3.6—cd (centro destra)**

62	71	124	134	135	137	139	137	77	77	129	125	45	52	47	56	72	75
72	66	125	132	134	139	141	140	134	131	133	133	128	109	103	111	107	97
68	61	125	130	135	143	49	138	137	67	50	130	132	118	114	111	55	106
23	115	124	130	141	149	51	52	55	66	59	55	81	118	115	116	55	30
55	21	44	129	140	140	54	54	66	64	74	139	123	116	109	16	20	63
54	20	18	22	49	127	124	133	46	123	128	135	126	20	15	15	27	58
61	24	21	18	17	18	122	135	138	119	119	16	15	16	18	20	32	45
41	37	25	22	21	16	15	14	130	17	15	16	18	16	19	31	39	45
41	45	9	25	19	17	16	13	10	16	13	19	19	24	7	37	41	42

**Tab. 3.7—bs (basso sinistra)**

**Tab. 3.8—bd (basso destra)**

Tab. 3.9—Luminanza media per ogni categoria di superficie

Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza						cd/m <sup>2</sup>
						
Compito visivo	83					
						
Sup. scure adiacenti	42	Sup.lontane scure	30	Apparecchi illuminanti	505	
						
Sup. chiare adiacenti	109	Sup.lontane chiare	110	Superfici adiacenti app. ill.	185	

Tab. 3.10—Risultato della verifica per il Cono 1

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 1		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	1,98	3	•	
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,76	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	2,77	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,75	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	2,73	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	16,83	40	•	
•	simbolo di marcatura				

## Cono 2



Fig. 3.13—as (alto sinistra)



Fig. 3.14—ad (alto destra)



Fig. 3.15—cs (centro sinistra)



Fig. 3.16—cd (centro destra)



Fig. 3.17—bs (basso sinistra)



Fig. 3.18—bd (basso destra)

**Cono 2**

193	1830	380	189	116	107	104	108	148
112	168	1501	281	120	108	106	136	414
108	110	122	174	287	155	117	124	347
162	103	110	137	283	299	131	100	97
185	187	154	105	103	97	84	107	115
165	169	171	134	100	37	18	129	132
148	154	153	122	109	121	130	132	127
127	135	131	113	99	113	121	121	69
105	116	115	100	95	102	102	32	101

**Tab. 3.11—as (alto sinistra)**

73	352	403	204	64	64	67	69	76
72	66	124	59	59	59	61	121	157
233	344	150	55	53	55	119	160	42
329	306	124	52	52	131	126	13	18
65	60	86	51	150	44	24	19	48
59	105	88	100	37	24	53	54	44
114	107	104	113	43	39	36	24	33
74	95	30	106	38	37	36	30	27
75	88	11	95	31	37	31	27	21

**Tab. 3.12—ad (alto destra)**

154	136	180	131	102	37	99	128	118
157	164	167	130	114	126	137	146	137
141	147	142	121	105	122	130	132	89
129	134	125	108	103	111	115	108	117
118	117	109	95	25	96	93	8	93
108	102	95	83	28	78	128	117	125
95	91	67	64	21	51	49	46	39
72	81	79	62	116	134	137	133	28
77	85	89	126	127	130	128	123	115

**Tab. 3.13—cs (centro sinistra)**

76	71	35	113	20	38	34	39	22
72	65	62	105	18	36	31	31	24
67	61	58	56	18	27	26	17	22
65	21	55	31	16	26	25	14	13
64	56	22	30	17	24	23	13	18
63	59	112	113	101	16	21	12	21
124	119	116	112	103	97	27	11	19
114	116	111	107	102	94	94	65	13
106	110	107	102	98	94	89	72	63

**Tab. 3.14—cd (centro destra)**








71	83	96	140	140	144	143	137	126
90	103	138	138	140	142	140	139	135
130	120	133	136	141	145	137	135	137
96	105	126	132	148	148	132	133	138
90	100	20	29	141	132	126	135	143
81	83	42	13	26	37	120	135	137
84	74	62	19	19	18	20	34	127
71	69	60	29	20	16	15	13	16
62	70	80	37	28	20	16	13	8

**Tab. 3.15—bs (basso sinistra)**

114	119	120	114	104	14	24	18	21
125	124	122	115	108	103	100	12	20
126	123	120	113	106	104	102	101	14
128	125	117	111	107	103	99	57	58
135	133	115	107	104	8	12	46	60
126	133	116	18	24	8	27	47	47
112	24	16	10	9	11	22	32	22
25	12	11	12	11	15	24	29	33
11	12	14	14	9	23	30	33	29

**Tab. 3.16—bd (basso destra)**

Tab. 3.17—Luminanza media per ogni categoria di superficie

Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza						cd/m <sup>2</sup>	
							
Compito visivo		127					
	Assenti						
Sup. scure adiacenti			Sup.lontane scure	17	Apparecchi illuminanti		749
							
Sup. chiare adiacenti		110	Sup.lontane chiare	102	Superfici adiacenti app. ill.		247

Tab. 3.18—Risultato della verifica per il Cono 2

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 2		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	Assenti	3	•	
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	1,15	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	7,47	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	1,25	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	3,03	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	44,06	40		•
•	simbolo di marcatura				

della tabella 3.1 si può affermare se il punto 6.2.4 della norma UNI 10380 è verificato, verificato in parte o non verificato per nulla. Dalle tabelle 3.10 e 3.18 si evince che per quanto riguarda il Cono 1 i rapporti delle luminanze rientrano nei limiti previsti mentre per quanto riguarda invece il Cono 2, i rapporti delle luminanze sono solo parzialmente verificati. Sempre nel caso del Cono 2, l'assenza di superfici più scure adiacenti al compito visivo rende impossibile determinare il rapporto del punto 1 della tabella 3.1, che possiamo ritenere comunque verificato. Il problema invece riguarda il punto 6 della tabella 3.18 dal momento che l'elevata luminanza degli apparecchi illuminanti risulta più di 40 volte superiore alla media delle superfici lontane

**Tab. 3.19—Risultato della verifica per il cono 1 ottenuta per mezzo del fotometro tradizionale**

<b>Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il fotometro tradizionale</b>					
Cono 1		Risultato	Limite	Vrrificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	1,47	3	•	
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,85	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	2,72	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,79	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	1,76	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	10,53	40	•	
•	simbolo di marcatura				

scure. Pertanto il punto 6.2.4 della UNI 10380 non risulta completamente verificato. In tabella 3.19 e 3.20 abbiamo infine riportato le medesime verifiche ottenute stavolta con il fotometro tradizionale che hanno presentato un risultato analogo a quello ottenuto con il videofotometro eccetto che per il punto 6 della tabella 3.19 relativa al Cono 2. Naturalmente il rilievo è risultato più laborioso e lungo poiché per ottenere una griglia di valori regolare è stato necessario creare una griglia mobile da porre davanti allo strumento per il puntamento. La griglia è stata posizionata quindi per ogni punto rilevato usando un riferimento sul pavimento ed una livella

Tab. 3.20—Risultato della verifica per il cono 2 ottenuta per mezzo del fotometro tradizionale

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il fotometro tradizionale					
Cono 2		Risultato	Limite	Vrrificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	Assente	3	•	
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	1,05	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	2,76	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	1,04	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	6,24	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	27,93	40	•	
•	simbolo di marcatura				

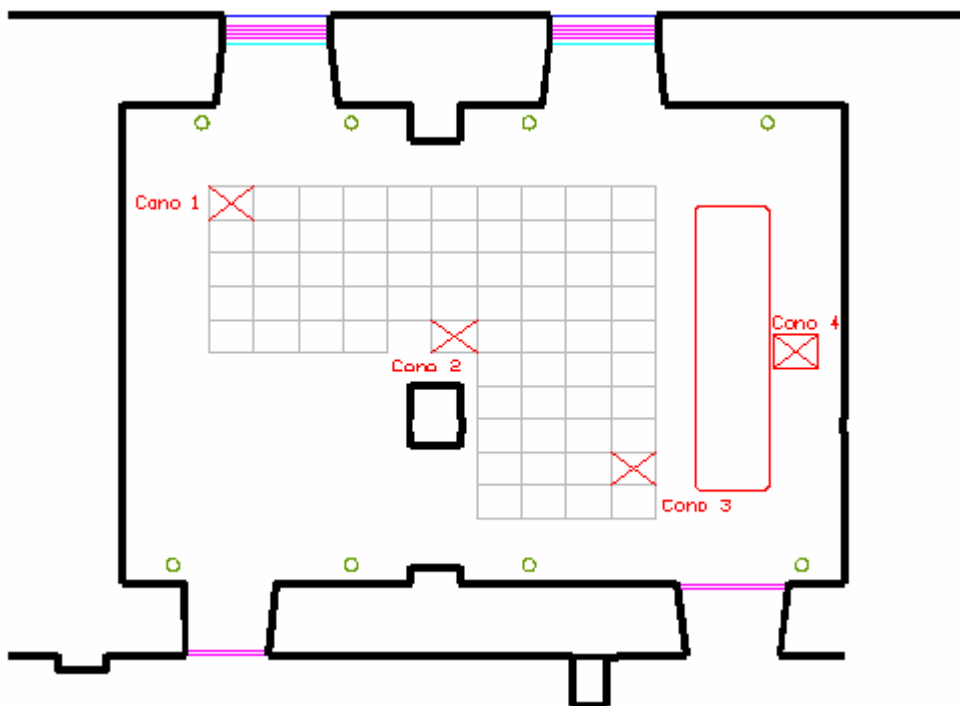
per la messa a piombo. È facile immaginare le difficoltà e l'errore che un simile sistema di rilievo abbia potuto generare.

### 3.4—Il caso dell'Aula 10

Si tratta di un'aule universitaria da settanta posti utilizzata per la videoproiezione. Le dimensioni sono: lunghezza di 12,68 m, larghezza 8,4 m ed altezza media di 5,0 m. Il soffitto è costituito da quattro volte a vela che si uniscono su di una spalla centrale posta quasi nel centro della pianta. I sedili sono disposti ad esse dinanzi allo schermo bianco per la proiezione. Otto apparecchi illuminanti a luce indiretta - diretta sono installati a circa quattro metri dal pavimento e dotati di lampade a vapori di mercurio ad alta pressione. Anche in questo caso valgono le stesse considerazioni fatte per il caso precedente circa la manutenzione e la variazione della tensione di alimentazione dell'impianto di illuminazione rispetto alla tensione nominale. Abbiamo scelto quattro postazioni significative, tre nella platea (fig. 3.19 - 3.20 - 3.21) ed una dietro la cattedra (fig. 3.22). Per ciascun punto di vista scelto ed indicato nello schema di figura 3.17 abbiamo fissato nove acquisizioni. Rispetto al caso della Stanza - studio, l'Aula 10 presenta



una profondità di campo nettamente superiore. Ricordiamo infatti che la Stanza - studio aveva una lunghezza di 3,9 m contro i 12,68 m dell'Aula 10. Per aumentare la risoluzione abbiamo quindi deciso di aumentare il numero delle acquisizioni, nove per Cono. La procedura per il resto ricalca esattamente quanto descritto nel caso precedente.



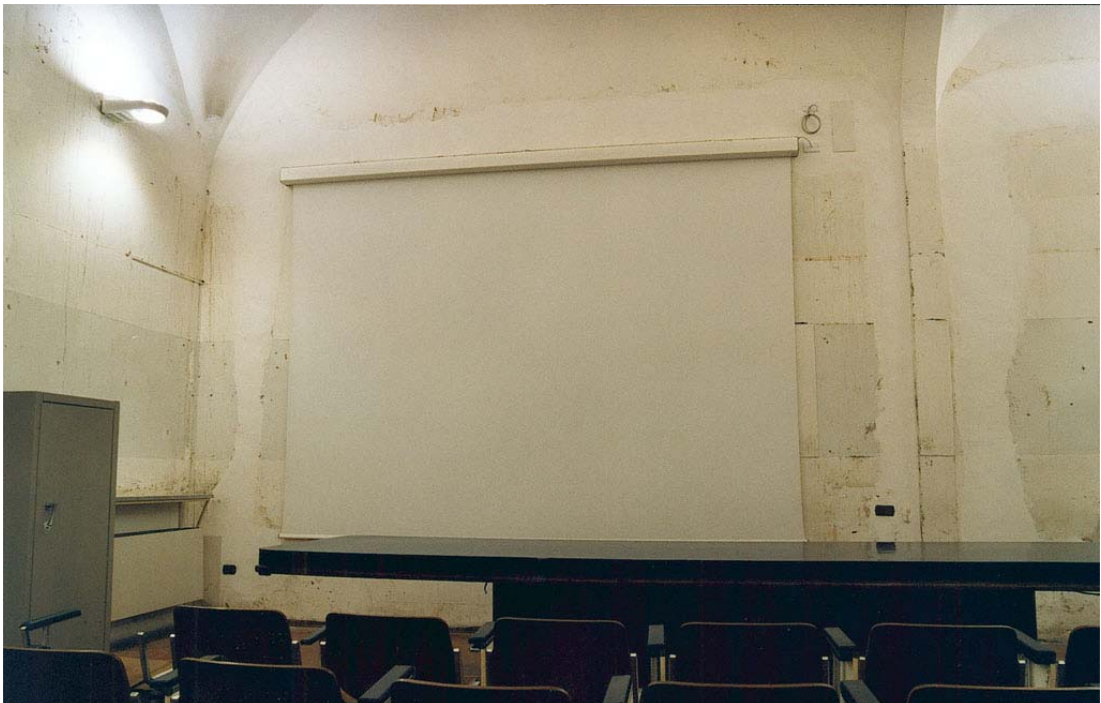
**Fig. 3.17—Schema in pianta dell'Aula 10 con l'indicazione delle postazioni**

Il compito visivo per chi si trova in platea (Cono 1, 2, 3) è l'osservazione dello schermo mentre per l'oratore (Cono 4) il compito visivo consiste nel guardare i propri interlocutori seduti in platea.

Nelle pagine successive sono riportati i risultati della verifica, e precisamente abbiamo raggruppato in sequenza le immagini (da fig. 3.23 a 3.58), le matrici dei valori di luminanza (da tab. 2.21 a 3.29) per il Cono 1, (da tab. 3.32 a 3.40) per il Cono 2, (da tab. 3.43 a 3.51) per il Cono 3 e (da tab. 3.54 a 3.62) per il Cono 4. Infine abbiamo riportato nelle tabelle 3.30, 3.41, 3.52 e 3.63 le medie della luminanza per ogni categoria di superficie individuata e nelle tabelle 3.31, 3.42, 3.53 e 3.64 i risultati della verifica postazione per postazione.



**Fig. 3.19—Punto di vista del Cono 1**



**Fig. 3.20—Punto di vista del Cono 2**



**Fig. 3.21—Punto di vista del Cono 3**



**Fig. 3.22—Punto di vista del Cono 4**

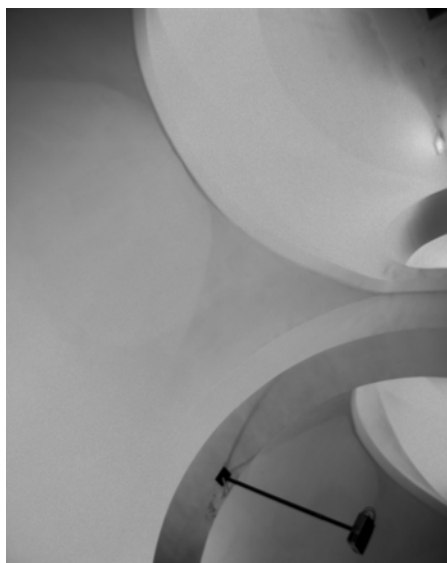
**Cono 1 (alto)**



**Fig. 3.23—*as* (alto sinistra)**



**Fig. 3.24—*ac* (alto centro)**



**Fig. 3.25—*ad* (alto destra)**





**Cono 1 (centro)**



**Fig. 3.26—cs (centro sinistra)**



**Fig. 3.27—cc (centro centro)**



**Fig. 3.28—cd (centro destra)**

**Cono 1 (centro)**

86	79	129	173	118	666	406	424	283		423	397	360	368	344	274	227	221	321		194	198	216	291	245	365	389	393	406
93	92	131	176	105	349	368	383	86		402	336	317	338	325	275	222	212	428		183	314	328	238	289	322	360	395	401
96	86	143	171	106	312	343	353	148		365	228	170	317	301	270	231	229	416		336	341	317	239	249	310	320	324	324
97	95	141	168	109	273	308	320	204		324	220	161	289	248	213	212	239	320		314	343	306	227	221	278	257	334	334
85	84	135	162	108	226	266	261	199		262	204	157	268	225	196	193	203	230		226	321	52	210	207	225	222	263	225
69	66	126	155	120	217	229	214	159		223	163	92	176	177	157	153	138	57		171	190	24	163	183	164	152	191	187
120	142	127	145	135	184	192	192	141		189	145	58	63	21	12	48	11	11		13	13	13	136	166	129	104	173	129
67	114	111	128	127	177	162	158	124		153	123	55	48	12	46	8	9	10		13	11	10	15	97	55	71	66	7
85	94	85	109	117	142	48	52	46		65	67	60	39	8	9	26	10	7		31	26	9	11	296	25	58	9	9

Tab. 3.24—cs (centro sinistra)

Tab. 3.25—cc (centro centro)

Tab. 3.26—cd (centro destra)

**Cono 1 (basso)**



**Fig. 3.29—bs (basso sinistra)**



**Fig. 3.30—bc (basso centro)**










**Fig. 3.31—bd (basso destra)**





Tab. 3.30—Luminanza media per ogni categoria di superficie

Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza								cd/m <sup>2</sup>	
									
Compito visivo		209							
									
Sup. scure adiacenti		61	Sup.lontane scure		50	Apparecchi illuminanti			10558
									
Sup. chiare adiacenti		277	Sup.lontane chiare		262	Superfici adiacenti app. ill			707

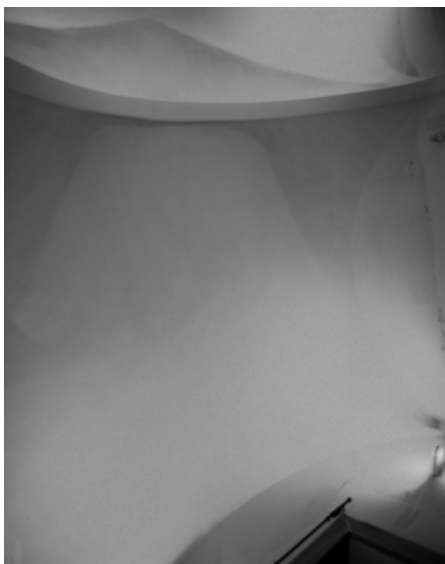
Tab. 3.31—Risultato della verifica per il Cono 1

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 1		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	3,43	3		•
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,75	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	4,18	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,80	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	14,93	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	211,16	40		•
•	simbolo di marcatura				

**Cono 2 (alto)**



**Fig. 3.32—*as* (alto sinistra)**



**Fig. 3.33—*ac* (alto centro)**



**Fig. 3.34—*ad* (alto destra)**

**Cono 2 (alto)**

388	230	216	309	266	239	229	213	196		365	325	280	246	218	196	193	183	194		200	211	210	204	194	193	223	229	214
381	218	216	303	292	278	251	223	214		364	325	286	239	223	210	202	181	251		211	209	207	190	189	193	195	236	185
179	38	307	289	280	284	277	255	235		342	306	280	241	213	212	211	204	326		213	211	207	190	190	228	299	323	233
163	156	297	274	270	272	279	281	287		333	299	270	242	222	209	212	211	313		213	212	208	167	269	273	300	329	213
182	259	300	271	270	268	279	310	341		322	301	280	253	235	215	211	204	317		208	211	171	262	264	272	289	324	360
216	318	315	279	252	274	292	319	356		302	311	293	276	256	224	204	183	326		188	174	285	268	269	274	290	313	357
214	338	353	288	283	256	283	337	373		326	331	312	293	276	224	199	190	292		189	248	305	290	288	276	286	326	399
222	327	334	48	52	52	109	355	407		381	361	330	309	287	222	207	179	191		172	340	329	314	307	267	257	304	285
183	379	382	56	52	72	96	232	476		317	383	364	337	256	213	197	198	159		188	357	363	369	338	250	178	200	259

**Tab. 3.32—as (alto sinistra)**

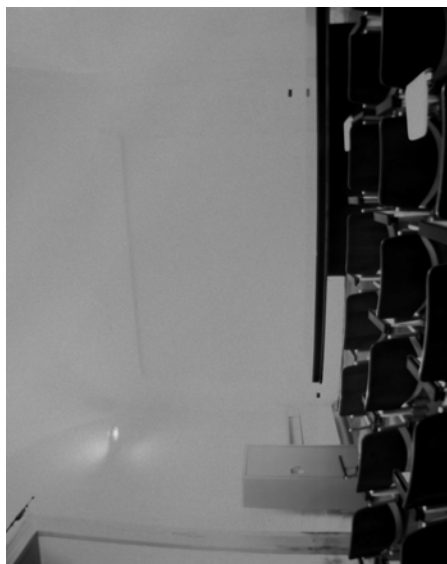
**Tab. 3.33—ac (alto centro)**

**Tab. 3.34—ad (alto destra)**

**Cono 2 (centro)**



**Fig. 3.35—cs (centro sinistra)**



**Fig. 3.36—cc (centro centro)**



**Fig. 3.37—cd (centro destra)**



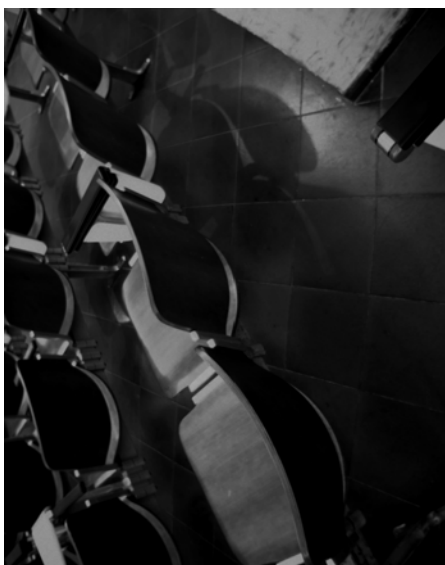
**Cono 2 (basso)**



**Fig. 3.38—bs (basso sinistra)**



**Fig. 3.39—bc (basso centro)**



**Fig. 3.40—bd (basso destra)**

**Cono 2 (basso)**

42	22	9	40	15	10	17	10	11	11	16	9	9	10	60	9	30	123	11	26	9	28	7	69	29	32	11
46	45	34	18	19	20	18	8	10	10	12	7	8	8	8	8	9	19	10	9	8	15	17	13	54	15	13
63	27	263	15	9	8	116	15	16	14	18	10	10	18	13	11	17	16	14	19	12	11	43	16	7	8	18
36	307	273	7	12	23	9	37	25	110	38	48	77	78	11	32	12	9	9	28	55	51	8	9	11	17	19
9	48	40	16	14	11	9	8	7	7	8	7	45	20	41	35	40	49	43	44	45	12	8	11	12	13	21
107	13	53	22	14	12	10	8	7	11	12	12	13	21	7	8	8	35	34	8	8	13	14	11	10	17	35
39	25	57	33	19	18	12	12	16	12	17	10	9	7	10	10	22	10	9	8	10	10	14	14	17	54	49
24	11	10	23	23	16	11	8	15	20	16	12	8	8	8	7	8	8	9	9	8	10	12	18	26	40	12
27	75	11	21	22	19	11	10	7	22	20	16	15	14	8	9	9	8	8	7	10	13	14	20	20	27	11








Tab. 3.38—bs (basso sinistra)

Tab. 3.39—bc (basso centro)

Tab. 3.40—bd (basso destra)



Tab. 3.41—Luminanza media per ogni categoria di superficie

Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza						cd/m <sup>2</sup>	
							
Compito visivo	191						
							
Sup. scure adiacenti	55	Sup.lontane scure	29	Apparecchi illuminanti		4267	
							
Sup. chiare adiacenti	243	Sup.lontane chiare	253	Superfici adiacenti app. ill		332	

Tab. 3.42—Risultato della verifica per il Cono 2

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 2		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	3,47	3		•
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,79	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	6,59	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,75	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	12,85	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	147,14	40		•
•	simbolo di marcatura				

**Cono 3 (alto)**



**Fig. 3.41—*as* (alto sinistra)**



**Fig. 3.42—*ac* (alto centro)**



**Tab. 3.43—*ad* (alto destra)**

**Cono 3 (alto)**

344	369	277	271	261	255	256	249	235		182	200	210	252	318	315	297	367	389		193	202	253	320	304	327	346	347	280
191	191	204	216	220	221	224	214	192		208	212	215	211	213	312	312	354	395		207	205	256	301	300	311	322	344	299
198	200	218	219	219	223	230	225	207		219	217	217	216	207	183	310	316	373		206	183	256	286	285	294	313	324	311
219	226	227	220	221	222	238	245	243		242	230	224	218	209	190	229	314	352		200	195	258	272	276	281	297	315	319
250	249	246	230	232	245	260	288	288		286	276	254	228	219	196	197	224	343		210	201	291	273	278	279	297	317	333
326	301	284	272	261	271	290	313	344		343	317	296	269	230	205	204	192	202		215	190	292	287	283	290	305	330	329
354	321	304	290	287	292	306	335	363		372	341	321	300	269	235	212	200	183		196	184	304	298	301	306	313	369	287
378	345	327	306	262	274	335	355	386		350	369	344	320	289	225	206	210	197		190	194	270	305	318	326	346	345	175
403	387	358	307	246	259	353	397	413		421	394	375	360	258	226	176	174	165		167	188	235	234	270	340	347	244	77

Tab. 3.43—as (alto sinistra)

Tab. 3.44—ac (alto centro)

Tab. 3.45—ad (alto destra)

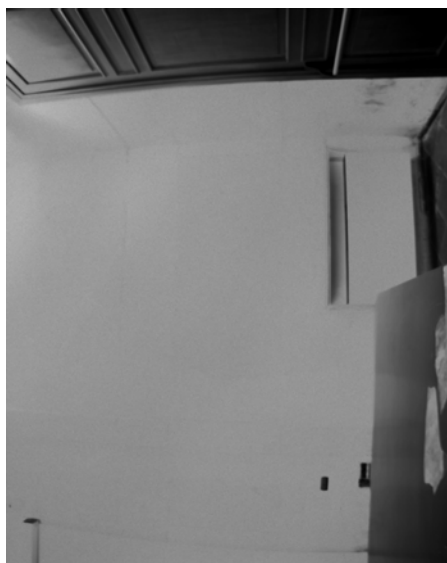
**Cono 3 (centro)**



**Fig. 3.44—cs (centro sinistra)**



**Fig. 3.45—cc (centro centro)**



**Fig. 3.46—cd (centro destra)**



**Cono 3 (basso)**



**Fig. 3.47—bs (basso sinistra)**



**Fig. 3.48—bc (basso centro)**



**Fig. 3.49—bd (basso destra)**

**Cono 3 (basso)**








77	25	35	15	8	31	29	21	16		21	14	7	9	9	19	9	24	25		26	29	30	62	88	25	26	33	43
168	23	33	113	129	28	34	16	8		22	11	11	15	8	7	8	14	10		10	9	8	10	13	32	36	36	36
42	11	16	8	7	37	44	27	10		35	21	12	13	12	24	8	13	15		15	15	16	18	26	35	33	35	31
20	19	14	20	92	25	56	33	13		38	73	23	15	12	12	12	12	13		15	13	13	15	27	33	38	35	33
14	19	17	38	48	47	34	32	18		28	36	33	21	14	14	12	15	12		11	12	20	18	38	34	42	35	32
9	23	13	28	41	45	51	28	19		48	56	31	30	18	15	13	11	12		11	10	19	15	23	44	48	43	31
8	12	19	34	42	43	54	28	23		41	42	40	29	26	22	15	12	12		14	13	14	21	32	44	57	45	35
7	17	22	38	52	49	24	26	22		42	42	52	22	24	25	23	19	24		18	19	23	29	33	44	49	42	31
14	11	21	17	15	12	21	19	21		29	126	18	21	22	23	29	29	29		22	21	25	26	32	30	34	29	21

**Tab. 3.49—bs (basso sinistra)**

**Tab. 3.50—bc (basso centro)**

**Tab. 3.51—bd (basso destra)**

Tab. 3.52—Luminanza media per ogni categoria di superficie

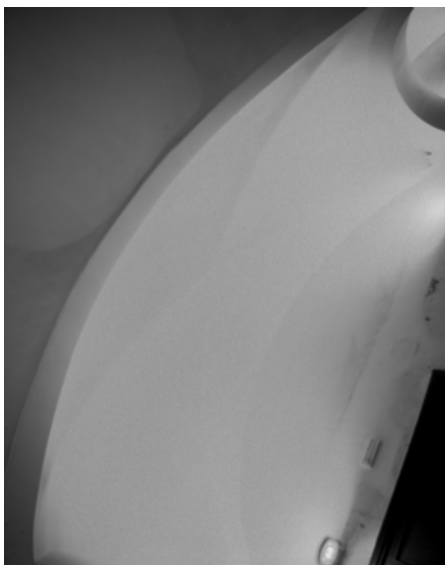
Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza							cd/m <sup>2</sup>	
								
Compito visivo	175							
								
Sup. scure adiacenti	49	Sup.lontane scure	34	Apparecchi illuminanti			3764	
								
Sup. chiare adiacenti	228	Sup.lontane chiare	254	Superfici adiacenti app. ill			341	

Tab. 3.53—Risultato della verifica per il Cono 3

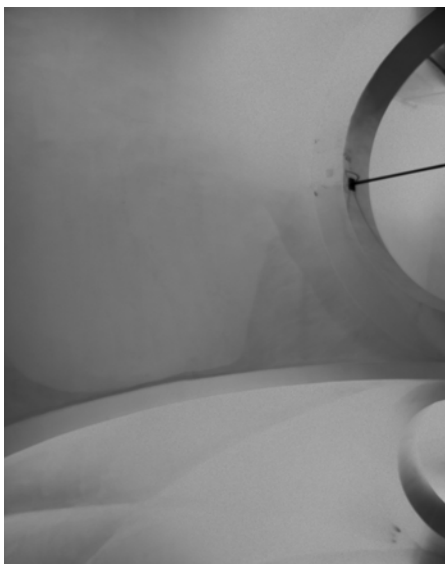
Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 3		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	3,57	3		•
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,77	0,333	•	
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	5,15	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,69	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	11,04	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	110,71	40		•
•	simbolo di marcatura				



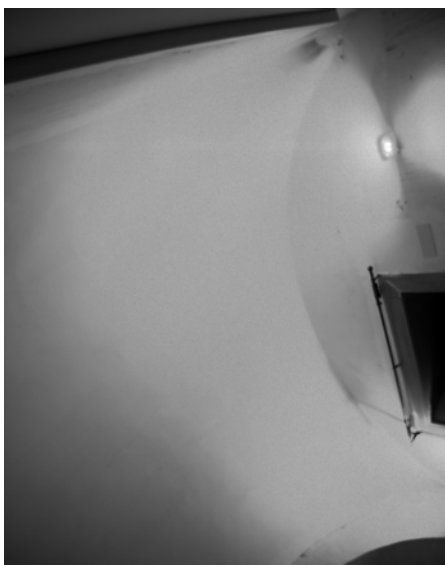
**Cono 4 (alto)**



**Fig. 3.50—*as* (alto sinistra)**



**Fig. 3.51—*ac* (alto centro)**



**Fig. 3.52—*ad* (alto destra)**



### **Cono 4 (centro)**



**Fig. 3.53—cs (centro sinistra)**



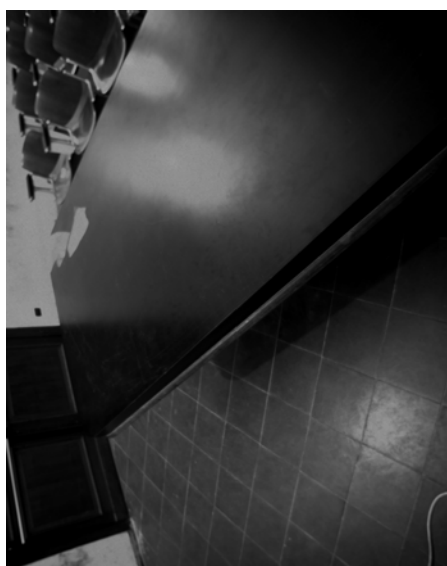
**Fig. 3.54—cc (centro centro)**



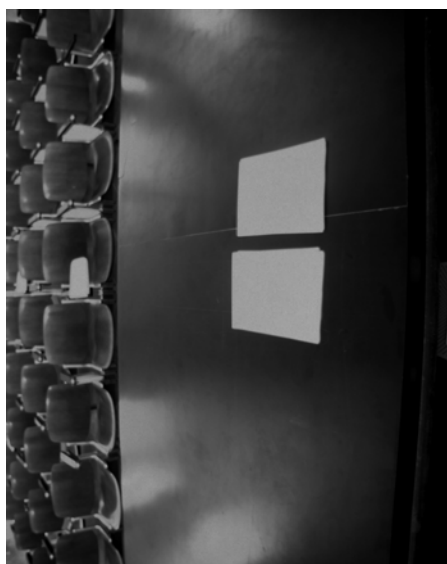
**Fig. 3.55—cd (centro destra)**



**Cono 4 (basso)**



**Fig. 3.56—bs (basso sinistra)**










**Fig. 3.57—bc (basso centro)**



**Fig. 3.58—bd (basso destra)**



Tab. 3.63—Luminanza media per ogni categoria di superficie

Individuazione delle superfici e dei relativi valori medi di luminanza							cd/m <sup>2</sup>	
								
Compito visivo	35							
								
Sup. scure adiacenti	40	Sup.lontane scure	31	Apparecchi illuminanti			3177	
								
Sup. chiare adiacenti	248	Sup.lontane chiare	249	Superfici adiacenti app. ill			806	

Tab. 3.64—Risultato della verifica per il Cono 4

Verifica dei rapporti delle luminanze nel campo visivo con il videofotometro					
Cono 4		Risultato	Limite	Verificato	Non verificato
1	Tra il compito visivo e le superfici più scure ad esso adiacenti (max)	0,88	3	•	
2	Tra il compito visivo e le superfici più chiare ad esso adiacenti (min)	0,14	0,333		•
3	Tra il compito visivo e le superfici lontane più scure (max)	1,13	10	•	
4	Tra il compito visivo e le superfici lontane più chiare (min)	0,14	0,1	•	
5	Tra gli apparecchi illuminanti e le superfici ad essi adiacenti (finestre, lucernari, ecc) (max)	3,94	20	•	
6	Ovunque entro il campo visivo (max)	102,48	40		•
•	simbolo di marcatura				

In conclusione possiamo riassumere che per il caso dell'aula 10 nessuno dei Coni risulta verificato in base a quanto prescritto al punto 6.2.4 della norma UNI 10380. In particolare il punto 6 non risulta mai verificato per la presenza di apparecchi illuminanti non sufficientemente schermati. Per le tre postazioni in platea la luminanza del compito visivo risulta in eccessivo contrasto con le zone scure adiacenti che corrispondono per la maggior parte alla cattedra nera. Per la postazione in corrispondenza del Cono 4 invece il contrasto eccessivo è tra le sedute scure e le pareti chiare sul fondo.



## Capitolo 4

### Conclusioni

#### 4.1—Le misure fotometriche in illuminotecnica

Qualunque sia l'obiettivo di un impianto di illuminazione, il suo scopo è permettere la percezione degli oggetti nei vari contesti in cui possono trovarsi. Di uno scenario i progettisti devono conoscere le caratteristiche fotometriche in base a criteri fissi e noti, e ciò può avvenire soltanto attraverso misurazioni fotometriche oggettive, cioè effettuate mediante strumenti. In questo quadro ci si è abituati a parlare di luminanze, ma raramente ci domandiamo quanto le nostre misure abbiano a che fare con la percezione visiva.

Nel secolo scorso e all'inizio del XX secolo l'illuminotecnica non era molto sviluppata e l'occhio era usato come strumento di misura. Ci si rese però presto conto che l'occhio, se pure molto sensibile alle differenze di luminanza, non permetteva misurazioni ripetitive. Questo inconveniente è stato superato con lo sviluppo dei rivelatori fotometrici e con i sempre nuovi modelli di strumenti, a cui l'innovazione tecnologica ci ha abituati.

In questo modo però, pur avendo guadagnato in termini di accuratezza della misura, si perde di vista il problema della visione. La fotometria oggettiva, il cui obiettivo è la misura della luce così come la percepisce l'occhio umano, è basata su tre assunzioni, comode ma non verificate per tutte le condizioni di osservazione. Si simula l'occhio con un rivelatore fotometrico con (prima assunzione) risposta lineare e con (seconda assunzione) sensibilità spettrale normalizzata con la  $V(\lambda)$ , ma soprattutto (terza assunzione) in questo modo si rinuncia a valutare la percezione dell'occhio. Questo non significa che le misure fotometriche siano inaffidabili anzi, costituiscono l'unica possibile base per la fotometria oggettiva. Se l'obiettivo di un progetto illuminotecnico è ciò che si vede, deve essere comunque descrivibile con ciò che si misura. È

## Conclusioni

---

fondamentale però approfondire le relazioni tra stimoli e percezioni nei vari scenari.

Le misure illuminotecniche per valutare le prestazioni dei sistemi di illuminazione come l'efficienza, l'uniformità e l'abbagliamento, vengono generalmente effettuate per mezzo di strumenti tradizionali capaci di rilievi puntuali. Tali strumenti richiedono un lavoro lungo e oneroso, spesso conveniente solo per situazioni di particolare importanza.

Negli ultimi anni la crescente richiesta di sicurezza e di comfort visivo all'interno ed all'esterno degli ambienti confinati, sta rendendo sempre più attuale l'esigenza di una verifica frequente dell'impianto di illuminazione e delle condizioni visive soprattutto nei luoghi di lavoro, come previsto dal d.Lgs. 626/94, e per il piano stradale: visibilità di pedoni e segnaletica verticale.

Per la misura delle grandezze fotometriche sono attualmente disponibili strumenti quali il colorimetro, il luxmetro ed il luminanzometro. Con particolare riferimento alla misura della luminanza, quando occorre rilevare il suo valore per superfici estese, si effettua una serie notevole di misure puntuali, con conseguente elevato dispendio di tempo. Ciò rende i sistemi tradizionali per nulla idonei alla una diffusione su larga scala di questa grandezza fotometrica. Eppure essa risulta un parametro di valutazione indispensabile poiché misura la radiazione visibile intesa come stimolo luminoso percepito dall'apparato visivo.

La presente tesi si è posta l'obiettivo di mettere a punto, mediante indagine sperimentale, un sistema innovativo per la misura della luminanza, basato sull'impiego di una telecamera CCD collegata ad un sistema di acquisizione di immagini digitali. Tale tecnica risulta particolarmente adatta nel caso di misura della distribuzione di luminanza su superfici estese, sia all'esterno di ambienti confinati (si pensi alla distribuzione di luminanza della volta celeste), sia all'interno di tali ambienti (ad esempio per una parete verticale destinata all'esposizione di quadri).

Il lavoro della tesi, basandosi sulla tecnica videografica, ha cercato di toccare i problemi fondamentali connessi con tale tecnica, soffermandosi sugli aspetti più importanti legati al rilievo fotometrico negli ambienti confinati.

### **4.2—Valutazioni e osservazioni sulla messa a punto del videofotometro**

Per la messa a punto del videofotometro, ampiamente descritta nel secondo capitolo, oltre alla parte della calibrazione riguardante le curve di trasformazione dello strumento, sono state necessarie una serie di osservazioni sulla catena di misura che hanno portato ad analizzare alcune problematiche tipiche della videografia. In particolare il fenomeno del vignetting e l'influenza dello sfondo, oltre naturalmente la risposta spettrale che però riguarda anche i fotometri di tipo tradizionale. Un'altra differenza sostanziale tra la calibrazione di un fotometro classico e del videofotometro è l'elaborazione delle misure acquisite. Nel caso del fotometro tradizionale infatti la gestione del dato rilevato è molto più semplice anche se, nell'economia generale delle operazioni di rilievo, risulta molto più gravosa. Viceversa per videofotometro il rilievo in campo è estremamente semplice, tuttavia la grande quantità di dati acquisiti richiede un sistema di gestione veloce e automatizzato. Proprio su questo punto abbiamo cercato di dare una risposta efficace con il sistema di bracketing che attraverso una serie di elaborazioni sulle matrici acquisite è in grado di fornirci l'output più idoneo al nostro tipo di applicazione. Ogni applicazione infatti ha delle sue particolarità che non possono essere definite a priori ma devono essere affrontate di volta in volta. Nel caso del rilievo della luminanza in ambienti confinati le esigenze fondamentali sono quelle di avere un campo di misura sufficientemente ampio e la massima apertura angolare del campo di vista; come abbiamo potuto vedere nel capitolo 3, la luminanza negli ambienti considerati oscilla tra circa  $10 \text{ cd/m}^2$  e  $10000 \text{ cd/m}^2$  ma bisogna considerare che tutte le prove sono state eseguite in assenza di luce naturale. Riteniamo comunque che il campo di misura del videofotometro messo a punto potrebbe essere utilizzato anche per l'illuminazione naturale poiché ha la possibilità di spingersi fino a  $41500 \text{ cd/m}^2$ . In seguito, con l'ausilio di filtri ND, questo limite può essere certamente elevato per applicazioni come il rilievo della luminanza della volta celeste oppure per altri tipi di applicazioni sia ambientali che industriali. Dagli scostamenti rilevati tra la misura del videofotometro e quella del fotometro tradizionale emerge l'esigenza di uno studio approfondito sull'accuratezza. Ogni singolo componente della catena di misura è suscettibile di un potenziale miglioramento che

## Conclusioni

---

può essere individuato attraverso un'analisi dettagliata. In linea generale possiamo dire che il videofotometro messo a punto in questa tesi necessita di ulteriori miglioramenti che possiamo riassumere brevemente nei seguenti punti:

- progettazione e realizzazione di un filtro fotonico ad hoc per il sensore e l'ottica utilizzati
- correzione della sovrastima della misura generata dallo sfondo chiaro
- correzione software delle variazioni di efficienza quantica tra i diversi elementi sensibili della matrice del sensore CCD
- valutazione ed eventuali accorgimenti circa i problemi inerenti la messa a fuoco delle inquadrature con ampia profondità di campo.

L'obiettivo sarebbe dunque quello di ottenere un'accuratezza della misura tale da poter classificare lo strumento come di classe A. Si potrebbe a questo punto fissare un protocollo di taratura normalizzato che serva come riferimento generale per la messa a punto di strumenti videografici per la fotometria.

Come riportato nel primo capitolo circa lo stato dell'arte del videofotometro, gli strumenti analoghi messi in commercio sono molti ma per la maggior parte sono orientati ad applicazioni di tipo industriale; presentano apertura di campo angolare molto limitata e, pur avendo globalmente un ampio campo di misura, lavorano su aree di interesse aventi un range di luminanza abbastanza stretto. Questo tipo di misure non presentano problematiche come quelle legate alle misure in ambienti di dimensioni medio-grandi in cui profondità di campo, distorsione ai bordi e intervalli di luminanza abbastanza ampi sono caratteristiche che pesano notevolmente sulle prestazioni dello strumento videografico.

Il fotometro messo a punto ha una prestazione mediamente confrontabile con altri strumenti non commerciali frutto di tarature sperimentali, si tratta comunque di uno strumento molto versatile in grado di essere sviluppato oltre che per la misura della luminanza anche per altre grandezze fotometriche. Tuttavia, per poter sostituire completamente gli strumenti tradizionali, sarà necessario lavorare su uno standard come avviene per questi ultimi.

### **4.3—Valutazioni e osservazioni sulle applicazioni in campo del videofotometro**

Per la verifica della normativa del punto 6.2.4 della norma UNI 10380 abbiamo voluto seguire i criteri dettati dalla norma. Per il videofotometro abbiamo discretizzato il campo di vista dell'osservatore in aree regolari andando a leggere un valore medio (su un quadrato di 3x3 pixels) della luminanza al centro di ciascuna area. Per il fotometro tradizionale abbiamo invece costruito una griglia sulla quale abbiamo segnato una serie di punti corrispondenti alle diverse coordinate sferiche nello spazio. Nel primo caso l'individuazione dei punti è avvenuta a video dopo l'acquisizione delle immagini, nel secondo caso abbiamo dovuto orientare di volta in volta lo strumento in una direzione precisa. La praticità del videofotometro è risultata palese ma le sue potenzialità non trovano in questo metodo una piena applicazione dal momento che l'immagine, a differenza di un rilievo di tipo tradizionale, offre una risoluzione altissima di cui, operando in questo modo non ci si avvale. Abbiamo preferito tuttavia questo tipo di approccio per poter fare un confronto con il rilievo tradizionale senza introdurre procedure innovative. Le caratteristiche del videofotometro tuttavia sono tali da prospettare un uso molto più automatico, è possibile avere direttamente in output la distribuzione dei valori di luminanza sotto forma di mappa in falsi colori e verificare, senza dover gestire una serie di tabelle, le postazioni presenti nell'ambiente in esame. In questo modo è possibile non limitarsi solo ad alcune postazioni, come nel caso dell'Aula 10, ma analizzare ogni singola postazione dell'ambiente da verificare. Tutto questo a vantaggio del comfort visivo che, con mezzi di questo tipo, potrebbe essere anche oggetto di verifiche periodiche molto utili soprattutto negli ambienti di lavoro dove il compito visivo ha una grandissima importanza e spesso i livelli di manutenzione non sono adeguati.

## Allegato 1/1

### Obiettivo MV5028TL

Apertura: F2.8

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/24s</b>	<b>1/24s</b>	<b>1/50s</b>	<b>1/50s</b>
5.00	0.00	28.00	0.00
15.00	7.00	161.00	73.00
28.00	13.00	289.00	146.00
84.00	79.00	461.00	176.00
155.00	153.00	565.00	180.00
237.00	171.00	731.00	184.00
287.00	171.00	1113.00	190.00
421.00	176.00	1323.00	192.00
575.00	180.00	1542.00	194.00
728.00	184.00	1769.00	196.00
926.00	187.00	2017.00	198.00
1130.00	190.00	2244.00	200.00
1349.00	192.00	2474.00	202.00
1577.00	194.00	2711.00	203.00
2057.00	199.00	2950.00	204.00
2556.00	202.00	3158.00	205.00
3045.00	205.00	3374.00	207.00
3536.00	208.00	4350.00	211.00
4500.00	212.00	5286.00	214.00
5483.00	216.00	5776.00	216.00
5977.00	217.00	6698.00	219.00
6953.00	220.00	7630.00	222.00
7983.00	223.00	8101.00	223.00
8468.00	224.00	9020.00	225.00
9435.00	227.00	9929.00	228.00
10413.00	229.00	10401.00	229.00
10907.00	230.00	12694.00	233.00
13355.00	235.00	14968.00	238.00
15736.00	240.00	17250.00	242.00
18128.00	244.00	19470.00	245.00
20205.00	247.00	21730.00	249.00
22900.00	251.00	23910.00	251.00
25180.00	253.00	26050.00	253.00
27450.00	254.00	28160.00	254.00
29670.00	255.00	30220.00	255.00

## Allegato 1/2

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/100s</b>	<b>1/100s</b>	<b>1/200s</b>	<b>1/200s</b>
54.00	0.00	90.00	0.00
105.00	8.00	195.00	5.00
192.00	33.00	261.00	14.00
312.00	66.00	346.00	26.00
521.00	125.00	449.00	40.00
798.00	181.00	503.00	48.00
1206.00	190.00	608.00	62.00
1397.00	193.00	732.00	79.00
1636.00	195.00	1150.00	135.00
2696.00	203.00	1611.00	183.00
3651.00	208.00	1912.00	190.00
4850.00	214.00	2196.00	193.00
5520.00	216.00	2356.00	194.00
6687.00	220.00	2509.00	195.00
7436.00	222.00	2724.00	196.00
8306.00	224.00	3003.00	198.00
9511.00	228.00	3353.00	200.00
10710.00	231.00	3593.00	201.00
11700.00	233.00	3765.00	202.00
12610.00	235.00	4074.00	203.00
13320.00	237.00	4980.00	207.00
14490.00	239.00	5123.00	207.00
15650.00	241.00	5692.00	210.00
16600.00	243.00	6139.00	211.00
17770.00	246.00	6661.00	213.00
18520.00	247.00	7291.00	214.00
19510.00	249.00	9069.00	219.00
20180.00	250.00	10900.00	223.00
21410.00	252.00	12160.00	226.00
22150.00	252.00	13860.00	230.00
23140.00	253.00	15900.00	233.00
24130.00	253.00	17830.00	237.00
24250.00	254.00	19560.00	240.00
25180.00	255.00	21300.00	242.00
		23050.00	245.00
		25180.00	248.00
		27080.00	251.00
		29350.00	253.00
		31390.00	254.00
		32360.00	255.00

### Allegato 1/3

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/400s</b>	<b>1/400s</b>	<b>1/800s</b>	<b>1/800s</b>
91.00	0.00	413.00	0.00
333.00	1.00	658.00	1.00
397.00	5.00	1011.00	13.00
540.00	15.00	1323.00	23.00
735.00	29.00	1616.00	34.00
924.00	42.00	1952.00	45.00
1137.00	56.00	2620.00	68.00
1420.00	75.00	2945.00	79.00
1751.00	97.00	3666.00	104.00
2094.00	121.00	4831.00	144.00
2568.00	152.00	5472.00	166.00
2955.00	176.00	6277.00	190.00
3244.00	189.00	7146.00	208.00
3670.00	198.00	8099.00	215.00
4775.00	205.00	9436.00	219.00
5955.00	209.00	10200.00	221.00
7239.00	213.00	11180.00	223.00
8957.00	218.00	12750.00	226.00
9997.00	220.00	14230.00	229.00
11640.00	224.00	15120.00	231.00
13334.00	227.00	16110.00	233.00
14695.00	230.00	17050.00	234.00
16297.00	233.00	18380.00	237.00
18450.00	236.00	19670.00	239.00
20940.00	240.00	20990.00	241.00
22880.00	243.00	22090.00	243.00
25050.00	246.00	23060.00	244.00
27760.00	250.00	24200.00	246.00
29970.00	252.00	25050.00	247.00
31870.00	254.00	26370.00	249.00
33800.00	255.00	27760.00	251.00
		29200.00	252.00
		30070.00	253.00
		31160.00	254.00
		33640.00	255.00



**Allegato 1/4**

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/1500s</b>	<b>1/1500s</b>	<b>1/3000s</b>	<b>1/3000s</b>
923.00	0.00	2390.00	0.00
1307.00	2.00	2448.00	1.00
1331.00	2.00	2567.00	2.00
1707.00	9.00	2628.00	3.00
2360.00	20.00	2645.00	3.00
3025.00	33.00	2786.00	4.00
3663.00	44.00	3044.00	6.00
4734.00	64.00	3133.00	7.00
5626.00	80.00	3405.00	10.00
6584.00	97.00	3695.00	12.00
7734.00	118.00	3886.00	14.00
8794.00	137.00	4041.00	16.00
10189.00	163.00	4273.00	18.00
11735.00	190.00	4604.00	21.00
13430.00	214.00	5057.00	25.00
15100.00	228.00	5310.00	28.00
16683.00	234.00	5751.00	32.00
17652.00	236.00	5911.00	34.00
19180.00	239.00	6223.00	36.00
20940.00	242.00	6496.00	39.00
22820.00	244.00	7003.00	44.00
25000.00	247.00	7353.00	47.00
26930.00	250.00	8112.00	54.00
28620.00	252.00	8865.00	61.00
30230.00	253.00	9685.00	69.00
32270.00	254.00	10409.00	76.00
34110.00	255.00	10996.00	81.00
		13892.00	108.00
		16972.00	138.00
		20960.00	175.00
		25330.00	214.00
		30110.00	246.00
		33870.00	255.00

## Allegato 1/5

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/5000s</b>	<b>1/5000s</b>	<b>1/10000s</b>	<b>1/10000s</b>
4507.00	0.00	7737.00	0.00
5833.00	7.00	8810.00	3.00
6988.00	13.00	9546.00	5.00
7892.00	17.00	10119.00	7.00
8972.00	23.00	11135.00	10.00
9941.00	28.00	12318.00	13.00
11090.00	34.00	13362.00	16.00
12360.00	40.00	14911.00	20.00
13900.00	48.00	16411.00	25.00
15300.00	55.00	18626.00	31.00
16660.00	61.00	21250.00	39.00
17230.00	64.00	23610.00	46.00
19840.00	77.00	26190.00	53.00
22790.00	92.00	28130.00	59.00
24700.00	102.00	30000.00	64.00
27260.00	115.00	32560.00	71.00
30180.00	130.00	35180.00	78.00
33260.00	146.00	37730.00	86.00
36770.00	163.00	40100.00	93.00
38290.00	171.00	42290.00	99.00
40080.00	180.00	44090.00	105.00
40220.00	181.00	45880.00	110.00
42180.00	191.00	47210.00	114.00
43230.00	196.00	48160.00	117.00
44200.00	202.00	49030.00	119.00
45240.00	207.00	49950.00	122.00
46210.00	212.00		
47080.00	216.00		
48660.00	224.00		
49850.00	230.00		

## Allegato 2/1

### Obiettivo MV618TL

Apertura: F1.8

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/24s</b>	<b>1/24s</b>	<b>1/50s</b>	<b>1/50s</b>
1.00	0.00	13.00	0.00
7.00	7.00	16.00	4.00
10.00	15.00	20.00	10.00
19.00	40.00	26.00	19.00
27.00	65.00	39.00	38.00
52.00	139.00	68.00	81.00
89.00	171.00	91.00	115.00
151.00	178.00	114.00	147.00
247.00	184.00	154.00	174.00
360.00	190.00	243.00	181.00
481.00	194.00	333.00	186.00
672.00	199.00	442.00	190.00
915.00	203.00	647.00	195.00
1231.00	207.00	910.00	200.00
1619.00	212.00	1089.00	203.00
2056.00	216.00	1272.00	205.00
2360.00	218.00	1627.00	209.00
2735.00	221.00	2071.00	214.00
3248.00	224.00	2264.00	217.00
3716.00	227.00	3088.00	221.00
4185.00	229.00	3708.00	224.00
5038.00	233.00	4341.00	228.00
6294.00	238.00	4925.00	230.00
7131.00	241.00	5619.00	233.00
8024.00	245.00	6508.00	237.00
8984.00	247.00	7385.00	240.00
10072.00	250.00	8507.00	244.00
		9684.00	247.00
		10804.00	250.00
		11740.00	252.00
		13220.00	254.00
		14193.00	255.00
		15433.00	255.00

## Allegato 2/2

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/100s</b>	<b>1/100s</b>	<b>1/200s</b>	<b>1/200s</b>
30.00	0.00	60.00	0.00
33.00	3.00	65.00	1.00
41.00	8.00	84.00	8.00
72.00	30.00	102.00	14.00
113.00	59.00	145.00	29.00
177.00	105.00	168.00	37.00
248.00	153.00	221.00	56.00
315.00	181.00	269.00	73.00
419.00	188.00	323.00	92.00
695.00	195.00	435.00	132.00
1194.00	203.00	508.00	156.00
1818.00	210.00	646.00	188.00
2487.00	216.00	987.00	199.00
3457.00	222.00	1469.00	205.00
4541.00	228.00	2000.00	210.00
5348.00	231.00	2538.00	215.00
6319.00	235.00	3062.00	218.00
7615.00	240.00	3746.00	222.00
8548.00	243.00	4628.00	226.00
9684.00	247.00	5700.00	231.00
10905.00	250.00	6830.00	236.00
12210.00	253.00	8048.00	240.00
13511.00	254.00	9033.00	243.00
14807.00	255.00	10095.00	246.00
		11235.00	249.00
		12365.00	252.00
		13459.00	254.00
		14523.00	255.00

## Allegato 2/3

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/400s</b>	<b>1/400s</b>	<b>1/800s</b>	<b>1/800s</b>
110.00	0.00	219.00	0.00
178.00	9.00	335.00	7.00
230.00	18.00	517.00	23.00
303.00	31.00	648.00	35.00
382.00	45.00	844.00	52.00
523.00	69.00	1115.00	75.00
672.00	95.00	1431.00	102.00
875.00	130.00	1739.00	129.00
1019.00	154.00	2197.00	167.00
1187.00	180.00	2526.00	192.00
1507.00	203.00	3148.00	214.00
2024.00	209.00	3979.00	220.00
2725.00	214.00	4820.00	225.00
3180.00	217.00	5693.00	228.00
3865.00	221.00	6290.00	231.00
4491.00	224.00	7658.00	236.00
5240.00	228.00	8892.00	240.00
5870.00	230.00	9693.00	228.00
6688.00	233.00	9957.00	243.00
7344.00	236.00	10797.00	246.00
7897.00	238.00	11555.00	248.00
8377.00	239.00	12318.00	250.00
9135.00	242.00	13350.00	252.00
9950.00	244.00	14428.00	253.00
10824.00	247.00	15738.00	255.00
11871.00	250.00		
12831.00	252.00		
14133.00	254.00		
15368.00	255.00		

## Allegato 2/4

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/1500s</b>	<b>1/1500s</b>	<b>1/3000s</b>	<b>1/3000s</b>
500.00	0.00	806.00	0.00
590.00	4.00	1000.00	1.00
675.00	8.00	1191.00	5.00
778.00	13.00	1319.00	8.00
940.00	20.00	1557.00	13.00
1018.00	24.00	1728.00	17.00
1175.00	31.00	1952.00	22.00
1278.00	35.00	2734.00	41.00
1388.00	40.00	3530.00	59.00
1458.00	44.00	4592.00	83.00
1535.00	47.00	5759.00	110.00
1618.00	51.00	6288.00	123.00
1743.00	56.00	7022.00	140.00
1861.00	61.00	8254.00	168.00
1967.00	66.00	9254.00	191.00
2142.00	74.00	10370.00	214.00
2363.00	83.00	11240.00	229.00
3044.00	114.00	12300.00	241.00
4555.00	182.00	13280.00	247.00
5688.00	219.00	14370.00	251.00
6567.00	228.00	15320.00	254.00
7207.00	232.00	16940.00	255.00
8487.00	236.00		
7207.00	232.00		
8487.00	236.00		
9499.00	239.00		
10345.00	242.00		
11354.00	245.00		
12498.00	248.00		
13778.00	251.00		
14555.00	253.00		
15098.00	253.00		
16578.00	255.00		

**Allegato 2/5**

<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>	<b>luminanza</b>	<b>scala di gr.</b>
<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>	<b>cd/m<sup>2</sup></b>	<b>0 - 255</b>
<b>1/5000s</b>	<b>1/5000s</b>	<b>1/10000s</b>	<b>1/10000s</b>
1686.00	0.00	2541.00	0.00
2031.00	2.00	3553.00	1.00
2174.00	4.00	4469.00	7.00
2456.00	7.00	5714.00	15.00
2865.00	12.00	6992.00	24.00
3330.00	18.00	7676.00	28.00
3774.00	23.00	8456.00	33.00
4065.00	27.00	9492.00	40.00
4489.00	31.00	10490.00	47.00
4863.00	36.00	11400.00	52.00
5332.00	42.00	12290.00	58.00
5702.00	47.00	13430.00	66.00
6148.00	52.00	14310.00	71.00
6875.00	60.00	15670.00	80.00
7300.00	65.00	16800.00	88.00
8015.00	74.00	17600.00	93.00
9124.00	87.00	18630.00	100.00
9934.00	97.00	19700.00	107.00
10590.00	105.00	20650.00	113.00
11216.00	113.00	21530.00	119.00
12305.00	126.00	22520.00	126.00
13242.00	137.00	23840.00	135.00
14390.00	152.00	24650.00	140.00
15183.00	161.00	25370.00	145.00
16206.00	174.00	26480.00	152.00
17278.00	187.00	27400.00	159.00
18534.00	202.00	28040.00	163.00
19224.00	210.00	29410.00	172.00
20030.00	230.00	30460.00	179.00
21810.00	238.00	31500.00	186.00
22940.00	249.00	32360.00	191.00
23940.00	255.00	33100.00	196.00
		36100.00	216.00

## Allegato 3/1

### Obiettivo MV5028TL

Apertura: F2.8

#### Shutter: 1/24 s

Curva di taratura:  $L = (G+16,209)/1,0997$ ;  $R = 0,99938$

Campo di misura (scala di grigio): da 0 a 149

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 15 a 150

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 0 a 149

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 15 a 150

#### Shutter: 1/100 s

Curva di taratura:  $L = (G+20,977)/0,27993$ ;  $R = 0,99998$

Campo di misura (scala di grigio): da 21 a 175

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 151 a 700

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 0 a 175

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 75 a 700

#### Shutter: 1/400 s

Curva di taratura:  $L = (G+19,199)/0,066417$ ;  $R = 0,99990$

Campo di misura (scala di grigio): da 27 a 200

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 701 a 3300

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 7 a 200

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 400 a 3300

#### Shutter: 1/1500 s

Curva di taratura:  $L = (G+19,193)/0,017654$ ;  $R = 0,99947$

Campo di misura (scala di grigio): da 39 a 219

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 3301 a 13500

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 11 a 219

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 1700 a 13500

#### Shutter: 1/5000 s

Curva di taratura:  $L = (G+23,468)/0,0050856$ ;  $R = 0,99998$

Campo di misura (scala di grigio): da 45 a 231

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 13501 a 50000

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 7 a 231

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 6000 a 50000



## Allegato 3/2

### Obiettivo MV618TL

Apertura: F1.8

#### Shutter: 1/24 s

Curva di taratura:  $L = (G+11,022)/2,8387$ ;  $R = 0,99598$

Campo di misura (scala di grigio): da 0 a 137

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 7 a 52

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 0 a 137

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 7 a 52

#### Shutter: 1/100 s

Curva di taratura:  $L = (G+16,25)/0,6534$ ;  $R = 0,99716$

Campo di misura (scala di grigio): da 18 a 190

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 53 a 315

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 3 a 190

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 29 a 315

#### Shutter: 1/400 s

Curva di taratura:  $L = (G+20,078)/0,17006$ ;  $R = 0,99985$

Campo di misura (scala di grigio): da 34 a 182

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 316 a 1187

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 0 a 182

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 118 a 1187

#### Shutter: 1/1500 s

Curva di taratura:  $L = (G+19,733)/0,04314$ ;  $R = 0,99924$

Campo di misura (scala di grigio): da 32 a 226

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 1188 a 5688

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 0 a 226

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 457 a 5688

#### Shutter: 1/10000 s

Curva di taratura:  $L = (G+22,864)/0,0066098$ ;  $R = 0,99998$

Campo di misura (scala di grigio): da 15 a 251

Campo di misura ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 5689 a 41500

Intervallo di linearità (scala di grigio): da 1 a 251

Intervallo di linearità ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ): da 3610 a 41500

**Allegato 4/1**

MV5028TL - Shutter: 1/24s								
0.67	0.75	0.82	0.86	0.88	0.86	0.82	0.75	0.67
0.71	0.80	0.87	0.92	0.93	0.92	0.87	0.80	0.71
0.73	0.83	0.91	0.96	0.98	0.96	0.91	0.83	0.73
0.76	0.84	0.93	0.98	1.00	0.98	0.93	0.84	0.76
0.76	0.86	0.93	0.98	1.00	0.98	0.93	0.86	0.76
0.76	0.84	0.93	0.98	1.00	0.98	0.93	0.84	0.76
0.73	0.83	0.91	0.96	0.98	0.96	0.91	0.83	0.73
0.71	0.80	0.87	0.92	0.93	0.92	0.87	0.80	0.71
0.67	0.75	0.82	0.86	0.88	0.86	0.82	0.75	0.67
MV5028TL - Shutter: 1/100s								
0.73	0.80	0.86	0.88	0.90	0.88	0.86	0.80	0.73
0.77	0.84	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.84	0.77
0.78	0.86	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.86	0.78
0.81	0.88	0.95	0.98	1.00	0.98	0.95	0.88	0.81
0.80	0.89	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.89	0.80
0.81	0.88	0.95	0.98	1.00	0.98	0.95	0.88	0.81
0.78	0.86	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.86	0.78
0.77	0.84	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.84	0.77
0.73	0.80	0.86	0.88	0.90	0.88	0.86	0.80	0.73
MV5028TL - Shutter: 1/400s								
0.74	0.80	0.86	0.89	0.90	0.89	0.86	0.80	0.74
0.77	0.84	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.84	0.77
0.78	0.86	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.86	0.78
0.81	0.88	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.88	0.81
0.80	0.89	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.89	0.80
0.81	0.88	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.88	0.81
0.78	0.86	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.86	0.78
0.77	0.84	0.90	0.94	0.95	0.94	0.90	0.84	0.77
0.74	0.80	0.86	0.89	0.90	0.89	0.86	0.80	0.74
MV5028TL - Shutter: 1/1500s								
0.76	0.82	0.87	0.89	0.91	0.89	0.87	0.82	0.76
0.80	0.86	0.91	0.94	0.95	0.94	0.91	0.86	0.80
0.81	0.88	0.94	0.97	0.99	0.97	0.94	0.88	0.81
0.83	0.89	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.89	0.83
0.83	0.90	0.96	0.99	1.00	0.99	0.96	0.90	0.83
0.83	0.89	0.95	0.99	1.00	0.99	0.95	0.89	0.83
0.81	0.88	0.94	0.97	0.99	0.97	0.94	0.88	0.81
0.80	0.86	0.91	0.94	0.95	0.94	0.91	0.86	0.80
0.76	0.82	0.87	0.89	0.91	0.89	0.87	0.82	0.76
MV5028TL - Shutter: 1/5000s								
0.83	0.87	0.90	0.91	0.92	0.91	0.90	0.87	0.83
0.86	0.90	0.93	0.95	0.95	0.95	0.93	0.90	0.86
0.87	0.92	0.96	0.98	0.99	0.98	0.96	0.92	0.87
0.89	0.93	0.97	0.99	1.00	0.99	0.97	0.93	0.89
0.89	0.94	0.97	0.99	1.00	0.99	0.97	0.94	0.89
0.89	0.93	0.97	0.99	1.00	0.99	0.97	0.93	0.89
0.87	0.92	0.96	0.98	0.99	0.98	0.96	0.92	0.87
0.86	0.90	0.93	0.95	0.95	0.95	0.93	0.90	0.86
0.83	0.87	0.90	0.91	0.92	0.91	0.90	0.87	0.83

**Allegato 4/2**

MV618TL - Shutter: 1/24s								
0.46	0.57	0.66	0.71	0.73	0.71	0.66	0.57	0.46
0.57	0.69	0.78	0.83	0.84	0.83	0.78	0.69	0.57
0.65	0.78	0.87	0.91	0.93	0.91	0.87	0.78	0.65
0.71	0.84	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.84	0.71
0.72	0.85	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	0.85	0.72
0.71	0.84	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.84	0.71
0.65	0.78	0.87	0.91	0.93	0.91	0.87	0.78	0.65
0.57	0.69	0.78	0.83	0.84	0.83	0.78	0.69	0.57
0.46	0.57	0.66	0.71	0.73	0.71	0.66	0.57	0.46
MV618TL - Shutter: 1/100s								
0.55	0.63	0.69	0.73	0.75	0.73	0.69	0.63	0.55
0.60	0.72	0.80	0.85	0.86	0.85	0.80	0.72	0.60
0.67	0.79	0.88	0.91	0.93	0.91	0.88	0.79	0.67
0.72	0.83	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.83	0.72
0.72	0.85	0.94	0.98	1.00	0.98	0.94	0.85	0.72
0.72	0.83	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.83	0.72
0.67	0.79	0.88	0.91	0.93	0.91	0.88	0.79	0.67
0.60	0.72	0.80	0.85	0.86	0.85	0.80	0.72	0.60
0.55	0.63	0.69	0.73	0.75	0.73	0.69	0.63	0.55
MV618TL - Shutter: 1/400s								
0.50	0.60	0.68	0.72	0.73	0.72	0.68	0.60	0.50
0.60	0.72	0.79	0.84	0.85	0.84	0.79	0.72	0.60
0.68	0.80	0.87	0.91	0.93	0.91	0.87	0.80	0.68
0.73	0.84	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.84	0.73
0.79	0.87	0.94	0.99	1.00	0.99	0.94	0.87	0.79
0.73	0.84	0.92	0.97	0.99	0.97	0.92	0.84	0.73
0.68	0.80	0.87	0.91	0.93	0.91	0.87	0.80	0.68
0.60	0.72	0.79	0.84	0.85	0.84	0.79	0.72	0.60
0.50	0.60	0.68	0.72	0.73	0.72	0.68	0.60	0.50
MV618TL - Shutter: 1/1.500s								
0.46	0.57	0.66	0.71	0.73	0.71	0.66	0.57	0.46
0.56	0.72	0.81	0.85	0.86	0.85	0.81	0.72	0.56
0.65	0.80	0.88	0.92	0.94	0.92	0.88	0.80	0.65
0.71	0.84	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.84	0.71
0.73	0.85	0.94	1.00	1.00	1.00	0.94	0.85	0.73
0.71	0.84	0.93	0.97	0.99	0.97	0.93	0.84	0.71
0.65	0.80	0.88	0.92	0.94	0.92	0.88	0.80	0.65
0.56	0.72	0.81	0.85	0.86	0.85	0.81	0.72	0.56
0.46	0.57	0.66	0.71	0.73	0.71	0.66	0.57	0.46
MV618TL - Shutter: 1/10.000s								
0.54	0.66	0.76	0.81	0.83	0.81	0.76	0.66	0.54
0.60	0.73	0.83	0.89	0.91	0.89	0.83	0.73	0.60
0.65	0.78	0.88	0.94	0.96	0.94	0.88	0.78	0.65
0.69	0.82	0.91	0.97	0.99	0.97	0.91	0.82	0.69
0.69	0.82	0.92	0.98	1.00	0.98	0.92	0.82	0.69
0.69	0.82	0.91	0.97	0.99	0.97	0.91	0.82	0.69
0.65	0.78	0.88	0.94	0.96	0.94	0.88	0.78	0.65
0.60	0.73	0.83	0.89	0.91	0.89	0.83	0.73	0.60
0.54	0.66	0.76	0.81	0.83	0.81	0.76	0.66	0.54

## Allegato 5/1

**LUM.m (converte le matrici "data" dei valori immagazzinati in scala di grigio in matrici "lum" in valori di luminanza)**

lum1=(data1+11,022)/2,8387;

lum2=(data2+16,250)/0,6534;

lum3=(data3+20,078)/0,17006;

lum4=(data4+19,733)/0,04314;

lum5=(data5+22,864)/0,0066898;

**MAT.m (genera una matrice "mat" formata dai valori delle singole matrici scelti in base ai rispettivi campi di misura)**

for i=1:1001

for j=1:1001

if lum1(i,j)>=0 & lum1(i,j)<=52

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>52 & lum1(i,j)<=315

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>315 & lum1(i,j)<=1187

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>1187 & lum1(i,j)<=5688

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>5688 & lum1(i,j)<=41500

mat (i,j)=lum1(i,j);

end

end

end

**Matrix.m (corregge l'orientamento della matrice e corregge il vignetting)**

for i=1:1001

for i=1:1001

k=(1002-1)

matrice (i,j)=mat(k,j);

end

end

matrix=corr.+matrice;

**Map.m (trasforma i valori della matrice "matrix" secondo il logaritmo in base 10 e produce una mappa in falsi colori con la barra dei colori)**

matrice=log10(matrix)

contourf (matrice)

bar

## Allegato 5/2

**LUM.m (converte le matrici "data" dei valori immagazzinati in scala di grigio in matrici "lum" in valori di luminanza)**

lum1=(data1+16,209)/1,0997;

lum2=(data2+20,977)/0,27993;

lum3=(data3+20,078)/0,066417;

lum4=(data4+19,733)/0,017654;

lum5=(data5+23,468)/0,0050856;

**MAT.m (genera una matrice "mat" formata dai valori delle singole matrici scelti in base ai rispettivi campi di misura)**

for i=1:1001

for j=1:1001

if lum1(i,j)>=0 & lum1(i,j)<=150

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>150 & lum1(i,j)<=700

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>700 & lum1(i,j)<=3300

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>3300 & lum1(i,j)<=13500

mat (i,j)=lum1(i,j);

if lum1(i,j)>13500 & lum1(i,j)<=50000

mat (i,j)=lum1(i,j);

end

end

end

**Matrix.m (corregge l'orientamento della matrice e corregge il vignetting)**

for i=1:1001

for i=1:1001

k=(1002-1)

matrice (i,j)=mat(k,j);

end

end

matrix=corr.+matrice;

**Map.m (trasforma i valori della matrice**

**"matrix" secondo il logaritmo in base 10**

**e produce una mappa in falsi colori con**

**la barra dei colori)**

matrice=log10(matrix)

contourf (matrice)

bar

## Allegato 6/1

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
1	1	5	16	-2%	15.62
2	1	6	128	9%	139.36
3	1	7	64	-1%	63.21
4	1	8	56	1%	56.33
5	1	9	37	4%	38.4
6	1	11	44	1%	44.52
7	1	13	32	-5%	30.51
8	1	15	14	-11%	12.51
9	1	16	13	-13%	11.34
10	1	17	110	3%	113.85
11	1	19	41	3%	42.12
12	1	20	30	0%	29.87
13	1	21	84	-1%	82.82
14	1	22	65	-5%	61.8
15	1	24	45	7%	48.36
16	1	25	124	10%	136.8
17	1	26	11	-4%	10.6
18	1	27	84	0%	84
19	1	30	13	-12%	11.5
20	1	31	72	0%	72.36
21	1	32	32	-7%	29.87
22	1	33	39	-2%	38.38
23	1	34	66	-2%	64.8
24	1	36	75	1%	75.98
25	1	37	105	5%	110.4
26	1	39	94	4%	97.9
27	1	40	30	1%	30.24
28	1	41	60	-14%	51.43
29	1	42	13	-13%	11.36
30	1	43	59	4%	61.64
31	1	44	29	2%	29.67
32	1	45	97	-4%	92.88
33	1	50	93	-9%	84.5
34	2	6	139	12%	156.16
35	2	7	76	10%	83.49
36	2	8	119	5%	124.43
37	2	9	106	6%	112.7
38	2	10	42	2%	42.94
39	2	11	68	8%	73.2
40	2	12	9	0%	9.04
41	2	13	36	5%	37.8
42	2	14	51	0%	50.88
43	2	15	30	15%	34.5
44	2	16	80	9%	87.48
45	2	17	25	1%	25.25
46	2	18	57	15%	65.55
47	2	19	34	0%	33.99
48	2	20	59	8%	63.84
49	2	21	39	3%	40.28
50	2	22	9	-11%	8

## Allegato 6/2

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
51	2	23	51	-5%	48.48
52	2	24	15	-1%	14.88
53	2	25	115	11%	127.68
54	2	26	11	6%	11.66
55	2	27	43	3%	44.22
56	2	28	30	4%	31.16
57	2	29	82	7%	87.98
58	2	30	76	6%	80.6
59	2	31	44	10%	48.3
60	2	32	132	11%	146.88
61	2	33	11	3%	11.33
62	2	34	91	6%	96.82
63	2	35	25	-2%	24.47
64	2	36	16	10%	17.59
65	2	37	79	13%	89.54
66	2	38	32	8%	34.5
67	2	39	42	1%	42.35
68	2	40	81	5%	84.79
69	2	45	35	10%	38.44
70	2	46	30	5%	31.64
71	2	47	6	-3%	5.8
72	2	48	78	-1%	76.95
73	2	49	26	-6%	24.57
74	2	50	5	0%	5.02
75	3	1	60	-2%	58.67
76	3	2	10	-15%	8.48
77	3	3	68	-2%	66.41
78	3	4	109	9%	119.34
79	3	5	119	10%	130.49
80	3	6	37	-4%	35.56
81	3	7	10	-16%	8.45
82	3	8	55	-1%	54.29
83	3	9	33	-4%	31.8
84	3	10	105	6%	111.03
85	3	11	87	2%	89.14
86	3	12	53	-2%	52.18
87	3	13	9	-9%	8.23
88	3	14	43	-9%	39.18
89	3	15	86	0%	85.79
90	3	16	59	3%	60.73
91	3	17	23	-5%	21.74
92	3	18	39	-3%	37.7
93	3	19	40	-1%	39.77
94	3	20	24	-15%	20.52
95	3	21	91	7%	97.7
96	3	22	26	-11%	23.2
97	3	23	89	9%	96.72
98	3	24	52	-1%	51.44
99	3	25	52	-3%	50.3
100	3	26	12	-16%	10.1

## Allegato 6/3

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
101	3	27	105	7%	111.83
102	3	28	59	-8%	54.47
103	3	29	37	-12%	32.7
104	3	30	102	13%	115.15
105	3	31	52	4%	54.04
106	3	32	9	-16%	7.56
107	3	33	92	8%	99.42
108	3	34	9	-15%	7.62
109	3	35	108	12%	120.87
110	3	36	32	-8%	29.31
111	3	37	52	11%	57.84
112	3	38	88	-4%	84.06
113	3	39	64	-3%	62.33
114	3	40	35	-1%	34.78
115	3	41	23	-12%	20.28
116	3	42	29	-2%	28.52
117	3	43	47	1%	47.25
118	3	44	34	2%	34.78
119	3	45	53	-10%	47.79
120	3	46	33	-2%	32.39
121	3	47	48	5%	50.5
122	3	48	33	0%	33.06
123	3	49	45	5%	47.19
124	3	50	25	-1%	24.66
125	3	51	27	0%	26.98
126	3	52	48	1%	48.47
127	3	53	25	1%	25.36
128	3	54	29	-1%	28.81
129	3	55	19	0%	19.04
130	3	56	38	3%	39.16
131	3	57	35	13%	39.41
132	3	58	19	-5%	18.14
133	3	59	18	-9%	16.34
134	3	60	23	2%	23.37
135	3	61	14	-8%	12.95
136	3	62	30	4%	31.05
137	3	63	49	7%	52.62
138	3	64	33	4%	34.44
139	3	65	26	-2%	25.51
140	3	66	18	-7%	16.82
141	3	67	48	9%	52.47
142	3	68	19	-6%	17.86
143	3	69	31	0%	31.06
144	3	70	24	2%	24.44
145	3	71	40	8%	43.34
146	3	72	68	4%	70.58
147	3	73	35	1%	35.43
148	3	74	52	6%	54.94
149	3	75	28	-1%	27.65
150	3	76	41	3%	42.3



## Allegato 6/4

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
151	3	77	50	-5%	47.72
152	3	78	34	3%	34.93
153	3	79	47	13%	53.17
154	3	80	67	7%	71.91
155	3	81	62	4%	64.48
156	3	82	26	4%	27.16
157	3	83	32	2%	32.71
158	3	84	13	-11%	11.61
159	4	2	114	-1%	113.12
160	4	3	58	-10%	52.39
161	4	4	98	-5%	93.41
162	4	5	7	-13%	6.1
163	4	6	49	-7%	45.45
164	4	7	49	-5%	46.72
165	4	8	83	0%	82.68
166	4	9	79	-6%	74.06
167	4	10	24	-12%	21.22
168	4	11	7	-3%	6.78
169	4	12	39	-8%	36.06
170	4	13	56	-9%	50.97
171	4	14	65	-1%	64.53
172	4	15	9	-9%	8.19
173	4	16	20	-10%	18
174	4	17	52	1%	52.34
175	4	18	35	-6%	32.91
176	4	19	37	-7%	34.4
177	4	20	20	-4%	19.2
178	4	21	7	-9%	6.36
179	4	22	40	3%	41.32
180	4	23	78	-1%	76.99
181	4	24	50	-7%	46.38
182	4	25	33	-12%	29.03
183	4	26	99	3%	102.12
184	4	27	55	-8%	50.4
185	4	28	10	-15%	8.47
186	4	29	117	3%	120.36
187	4	30	40	-10%	35.91
188	4	31	75	-6%	70.42
189	4	32	113	-3%	109.78
190	4	33	55	-15%	46.55
191	4	34	45	-6%	42.51
192	4	35	121	-2%	118.77
193	4	36	12	-11%	10.72
194	4	37	20	-12%	17.55
195	4	38	38	-12%	33.39
196	4	39	28	-9%	25.52
197	4	40	45	-3%	43.83
198	4	41	26	-9%	23.72
199	4	42	17	-13%	14.82
200	4	43	24	-10%	21.7

## Allegato 6/5

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
201	4	44	41	-6%	38.4
202	4	45	39	-9%	35.62
203	5	1	39	-16%	32.6
204	5	2	22	-13%	19.19
205	5	3	9	-8%	8.24
206	5	4	10	-9%	9.09
207	5	5	48	-14%	41.2
208	5	6	20	-15%	16.9
209	5	7	9	-8%	8.24
210	5	8	41	-14%	35.13
211	5	9	22	-14%	18.99
212	5	10	50	-8%	45.91
213	5	11	14	-11%	12.52
214	5	12	42	-13%	36.54
215	5	13	22	-15%	18.8
216	5	14	24	-16%	20.06
217	5	15	45	-15%	38.29
218	5	16	25	-14%	21.5
219	5	17	10	-14%	8.64
220	5	18	54	-14%	46.21
221	5	19	42	-16%	35.2
222	5	20	13	-10%	11.66
223	5	21	10	-10%	9.04
224	5	22	51	-15%	43.23
225	5	23	12	-15%	10.26
226	5	24	45	-16%	38
227	5	25	20	9%	21.76
228	5	26	9	-7%	8.4
229	5	27	18	-13%	15.57
230	5	28	32	-16%	26.94
231	5	29	20	-16%	16.77
232	5	30	12	-15%	10.17
233	5	31	33	-14%	28.24
234	5	32	9	-11%	8.05
235	5	33	35	-15%	29.68
236	5	34	7	-9%	6.36
237	5	35	9	-10%	8.12
238	5	36	38	-6%	35.9
239	5	37	44	-15%	37.2
240	5	38	11	-13%	9.6
241	5	39	36	-15%	30.47
242	5	40	12	-15%	10.24
243	5	41	7	-14%	6
244	5	42	16	-15%	13.56
245	5	43	39	-14%	33.48
246	5	44	34	-15%	29.05
247	5	45	10	-7%	9.28
248	5	46	35	-15%	29.87
249	5	47	10	-15%	8.48
250	5	48	7	-7%	6.48

## Allegato 6/6

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
251	5	49	18	-10%	16.24
252	5	50	37	-14%	32
253	6	1	57	-14%	48.93
254	6	2	28	-16%	23.52
255	6	3	47	-12%	41.45
256	6	4	26	-15%	22.22
257	6	5	48	-12%	42.16
258	6	6	13	-15%	11.11
259	6	7	16	-14%	13.78
260	6	8	11	-16%	9.27
261	6	9	28	-15%	23.69
262	6	10	53	-10%	47.87
263	6	11	41	-16%	34.39
264	6	12	54	-15%	45.9
265	6	13	11	-12%	9.72
266	6	14	26	-15%	22.05
267	6	15	47	-10%	42.45
268	6	16	25	-14%	21.41
269	6	17	47	-14%	40.57
270	6	18	23	-16%	19.21
271	6	19	21	-15%	17.95
272	6	20	13	-15%	11
273	6	21	51	-14%	44
274	6	22	40	-13%	34.82
275	6	23	34	-15%	28.73
276	6	24	23	-13%	19.9
277	6	25	23	-15%	19.65
278	6	26	14	-11%	12.43
279	6	27	36	-8%	33.25
280	6	28	12	-13%	10.4
281	6	29	44	-6%	41.49
282	6	30	10	-10%	9.04
283	6	31	36	-13%	31.32
284	6	32	18	-16%	15.12
285	6	33	40	-14%	34.56
286	6	34	15	-16%	12.65
287	6	35	8	-14%	6.9
288	6	36	39	-13%	33.92
289	6	37	6	-12%	5.3
290	6	38	10	-16%	8.4
291	6	39	35	-14%	30.26
292	6	40	20	-15%	16.9
293	6	41	32	-11%	28.57
294	6	42	20	-14%	17.28
295	6	43	8	-13%	6.96
296	6	44	39	-8%	35.83
297	6	45	11	-13%	9.54
298	6	46	33	-12%	29.13
299	6	47	11	-16%	9.2
300	6	48	8	-5%	7.56

## Allegato 6/7

Punto numero	Prova numero	Target numero	Luminanza rilevata con il luminanzometro	Variazione percentuale	Luminanza rilevata con il videoluminanzometro
n.	n.	n.	cd/m <sup>2</sup>	%	cd/m <sup>2</sup>
301	6	49	6	-10%	5.4
302	6	50	35	-10%	31.46
303	7	1	32	-13%	27.91
304	7	2	50	-12%	44.07
305	7	3	92	-7%	86
306	7	4	67	-8%	61.82
307	7	5	27	-6%	25.44
308	7	6	20	-12%	17.68
309	7	7	42	-15%	35.6
310	7	8	77	-4%	73.92
311	7	9	26	-13%	22.68
312	7	10	57	-9%	51.98
313	7	11	38	-14%	32.64
314	7	12	16	-12%	14.14
315	7	13	69	-5%	65.81
316	7	14	31	-14%	26.66
317	7	15	59	-8%	54.07
318	7	16	20	-15%	16.96
319	7	17	21	-13%	18.19
320	7	18	17	-14%	14.64
321	7	19	10	-12%	8.8
322	7	20	10	-10%	8.96
323	7	21	15	-15%	12.78
324	7	22	23	1%	23.15
325	7	23	31	3%	31.99
326	7	24	41	2%	41.74
327	7	25	10	-10%	9
328	7	26	29	-5%	27.55
329	7	27	19	-16%	16
330	7	28	12	-14%	10.35
331	7	29	8	1%	8.05
332	7	30	30	-9%	27.42
333	7	31	8	-11%	7.14
334	7	32	18	-12%	15.86
335	7	33	8	-15%	6.84
336	7	34	10	-12%	8.8
337	7	35	7	-16%	5.9
338	7	36	13	-14%	11.16
339	7	37	22	-4%	21.02
340	7	38	15	-15%	12.72
341	7	39	44	1%	44.26
342	7	40	24	-8%	22
343	7	41	23	-9%	20.87
344	7	42	14	-10%	12.62
345	7	43	34	-2%	33.39
346	7	44	10	-3%	9.72
347	7	45	32	2%	32.62
348	7	46	17	-14%	14.65
349	7	47	29	-3%	28.05
350	7	48	17	-12%	15.03
351	7	49	14	-13%	12.21
352	7	50	25	-7%	23.15

## **Bibliografia**

[1] Nemeskery R. L., Love J. A., Navvab M. and Waedell R. W. "User assessment of lighting in office with and without windows", Proc. Of the IESNA Annual Conference (New York) 1995.

[2] Rossi G., Iacomussi P., Soardo P., (1997). "Le metodologie per la misurazione fotometrica". LUCE Settembre 1997: p. 78 - 87.

[3] D.Lgs. n. 626/1994 e rinvii normativi. Art.33 "Adeguamenti di norme", 1994.

[4] Bellia L., Cesarano A., Sibilio S., Minichiello F. (1994). "La luminanza della volta celeste come elemento di progetto della illuminazione naturale. Rassegna dei metodi di misura". Convegno nazionale A.I.D.I. VI sessione Torino 27-28 Ottobre 1994.

[5] Bellia L.; Cesarano A., Sibilio S., Minichiello F. "A survey on the utilization of videography for sky luminance distribution measurement", International Journal of Lighting Research and Technology - Vol. 29 N° 1 1997.

[6] Nakamura H., and Oki M., (1975). "Measurement of luminance distribution under various sky conditions by ortographic projection camera". Copte Rendu 18e CIE

## Bibliografia

---

Session Londres 1975: 493-502.

[7] Yang G., et al., (1989). "Digital image processing applied to measuring sky luminance distribution". Proceedings of CIE: Daylight and solar radiation measurement, 9-11 October 1989, Berlin (West), Germany: 149-155.

[8] Cannon T.W., and Dwyer L.D., (1981). "An all-sky video based luminance mapper for daylighting research". Sixth National Passive Solar Conference American Section, International Solar Energy Society, Portland, Oregon, 8-12 September 1981.

[9] Robbins C. L., Hunter K. C. and Cannon T.(1984). "Mapping sky and surface distribution using a flux mapper". Energy and Buildings, 6: 247 - 252.

[10] Cannon T.W.,(1982). "Imaging radiometry systems." presented at the PMA Seminar-Optical Radiation Measurements, Standards, and Instrumentation Boulder, Colorado, 2-4 June 1982.

[11] Weaver N.L., et al., ( 1986). "Development of a second-generation, video-based luminance mapper of daylighting research". Proceedings II of ASHRAE: 1986 International Daylighting.

[12] Bellia L.; Cesarano A., Sibilio S., Minichiello F (1998). "Messa a punto di un Vi-

## Bibliografia

---

sual Confort Meter (VCM) basato sull'impiego di una telecamera". 53<sup>th</sup> Congresso nazionale ATI Firenze 1998.

[13] Navvab M., et al., (1989). "Daylight and solar availability data for Ann Arbor, Michigan USA". Proceedings of CIE: Daylight and solar radiation measurement. 9-11 October 1989, Berlin (West).Germany: 61 - 69.

[14] Kelton W.H., and Murdoch J.B. "Sky luminance measurement and analysis". University of New Hampshire, U.S.A.

[15] McCluney R., and Emrich C., (1989). "Design and operation of a 9 channel sky luminance mapper". Proceedings of CIE: Daylight and solar radiation measurement, 9-11 October 1989, Berlin (West), Germany: 322-335.

[16] J. Glenn, G. Dodds, R Robinson, "Calibration and use of camera-based system for road lighting assessment". The Chartered Institution of Buildings Service Engineers, April 2000.

[17] Rea M.S., Jeffrey I.G. "A new luminance and image analysis system for video and vision I. Equipment and Calibration". Journal of the Illuminating Engineering Society 1990.

## Bibliografia

---

[18] Berrutto V. Fontoyon M. "Application of CCD cameras to lighting research: review and extension measurement of glare indices". CIE 23<sup>th</sup> Sessione New Delhi 1995.

[19] Instruction Manual-mini chrom monochromators. Optometrics Inc.

[21] UNI. "Illuminazione di interni con luce artificiale". Norma UNI 10380. Maggio 1994.

[22] UNI. "Illuminazione di interni con luce artificiale". Norma UNI 10380/A1. Ottobre 1999.

[23] UNI. "Luce e illuminazione. Locali scolastici. Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale". Norma UNI 10840. Marzo 2000.

[24] UNI. "Impianti di illuminazione esterna e inquinamento luminoso". Norma UNI 10819. Marzo 1999.

[25] UNI. "Illuminotecnica. Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato". Norma UNI 10439. Ottobre 1995.

[26] Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626. "Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/



## Bibliografia

---

CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”.

[27] Decreto Legislativo 19 marzo 1996, n.242. “Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, recante attuazione di direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”.

[28] G. Fusco, G. Rossi, P. Soardo. “The calibration of CCD matrix detectors for the measurements on photometric materials and lighting installation”. CIE 119 – 23<sup>a</sup> Sessione. New Delhi 1995.

[29] Radiant IMAGING Inc (2000). “Pro Metric<sup>â</sup> Today’s Video Photometer, Radiometer and Colorimeter”. <http://www.rading.com/>

[30] QCam<sup>TM</sup>. “IQCam<sup>TM</sup> Digital Photometric Image Systems & Solutions”.

[31] LUMETRIX. “IQCam Series 3 Imaging Photometers”. <http://www.Lumetrix.com/>

[32] OPTRONIK G m b H · B E R L I N. “Resolving measurement of traffic signs, signal lights, standardised illuminated, pictograms and displays”. <http://www.optronik.de/>

## Bibliografia

---

[33] OPTRONIK G m b H · B E R L I N. "Camera aided measurement". <http://www.optronik.de/>

[34] Rossi G., Iacomussi P., Soardo P.. "Le metodologie per la misurazione fotometrica". LUCE Settembre 1997: pp.78 - 87.

[35] G. Rossi and P. Soardo, "A mobile laboratory for lighting measurements", Proceeding CIE 22nd Session, Melbourne, pp.68-69 (1991).

[36] L. Bellia, A. Cesarano, F. Minichiello and S. Sibilio, "Videography for sky luminance distribution measurement", International Journal of Lighting Research and Technology, 29 (1) pp.40-46 (1997).

[37] L. Bellia, A. Cesarano, F. Minichiello and S. Sibilio, "A CCD photometer for lighting research and design", C.I.E. (Session '99) Proceedings, Warsaw, pp.219-221 (24-30 June 1999).

[38] L. Bellia, A. Cesarano, F. Minichiello and S. Sibilio, "Setting up a CCD photometer for lighting research and design", Building and Environment, 37 pp.1099-1106 (2002).

[39] L. Bellia, F. Minichiello and S. Sibilio, "Videography application to indoor environment", International Journal on Architectural Science, Volume 2, Number 3, pp.93-

100 (2001).

[40] K.D. Song, L.O. Degelmann and L.L. Boyer, "Determining daylighting parameters by a luminance mapping system and scale models", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, pp.65-74 (Winter 1994).

[41] G. Rossi, G. Fusco and P. Soardo, "The calibration of CCD matrix detectors for the measurements on photometric materials and lighting installations", *Proceedings CIE 23rd Session, New Delhi*, pp.132-133 (1995).

[42] B. L. Collins et al., "Initial procedure for evaluation of a CCD photometer", *Proceedings Lux Europa, UK Vol.II*, pp.713-716 (1993).

[43] M. S. Rea and I.G. Jeffrey, "A new luminance and image analysis system for lighting and vision. Equipment and calibration", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, pp.64-72 (Winter 1990).

[44] JAI, CV-M4CL Progressive Scan Camera – Operation manual.

[45] Moore T., Graves H., Perry M. J., Carter D. J., "Approximate field measurement of surface luminance using a digital camera", *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32 (1) pp.1-11 (2000).

[46] CIE, "Methods of characterizing illuminance and luminance meters", CIE Publication 69. Wien: Commission internationale de l'Eclairage, central Bureau of the CIE (1987).

[47] J. Schübler, Hellempfundung und Leuchtdichtestruktur – Das Heleuronen-Modell, Thesis, Universität Karlsruhe (1994).

[48] Jenkins D. R., Beuzecom D. C., Kollman G., Wooley C. B., Rykowsky R., "Digital imaging colorimeter for fast measurement of chromaticity coordinate and luminance uniformity of displays", <http://www.radimg.com/>

[49] Fiorentin P., Iacomussi P., Martignon A., Rossi G., "Characterization and Calibration of a CCD Detector for Light Engineering", IMTC 2003 Instrumentation and Measurement Technology Conference Vail, CO, USA, 20-22 May 2003

[50] Weavwe N. L., et al., "Development of a second generation, video-based luminance mapper of daylighting research. International Daylight Conference ASHRAE, Long Beach, California, USA, 4 - 7 November 1986

[51] Jenkins D. R., D. C. Beuzekom, G. Kollman, B. Wooley, R. Rykowski, "Digital Imaging Colorimeter for Fast Measurement of Chromaticity Coordinate and Luminance Uniformity of Displays", Proc.SPIE Vol. 4295, Flat Panel Display Technology and Dis-

## **Bibliografia**

---

play Metrology II, Edward F. Kelley Ed., 2001

[52] Song K. D., Degelman L. O., Boyer L. L., "Determining Daylight Parameters by Luminance System and Scale Models, Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter 1994

[53] Glenn J., Dodds G., Robinson R., "Calibration and use of camera-based system for road lighting assessment", Lighting Research and Technology, Vol. 32, No. 1, 2000

## **Appendice**

### **Illuminazione pubblica e Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale.**

#### **Introduzione.**

L'illuminazione pubblica in Italia è da anni al centro di un vivace dibattito che coinvolge non solo Governo ed Amministrazioni locali ma anche liberi professionisti, produttori di apparecchi illuminanti e astrofisici. Il problema tocca infatti diversi settori di comune interesse come la sicurezza del traffico veicolare, il risparmio energetico, la tutela dell'ambiente e la ricerca scientifica. A questi si affianca poi il tema, di minore urgenza ma non di minore importanza, della valorizzazione del patrimonio artistico e architettonico e della riqualificazione delle aree urbane [1].

#### **Norme, leggi e proposte di legge in materia di illuminazione pubblica.**

L'intensificarsi del traffico veicolare sia urbano che extraurbano ha comportato una crescente esigenza di comfort e sicurezza sulle strade inducendo un sempre più massiccio utilizzo dell'illuminazione pubblica.

L'iniziale carenza di norme e leggi in materia ha fatto sì che l'illuminazione pubblica si sviluppasse spesso in maniera disarmonica e inefficace andando a danneggiare, nel peggiore dei casi, l'ambiente circostante.

In allegato sono riportate norme, leggi e proposte di legge che dall'inizio degli anni novanta ad oggi stanno tracciando le linee guida per una illuminazione pubblica più corretta sia dal punto

di vista tecnico che ambientale.

### **Il Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC).**

Gli organi destinati a recepire e mettere in atto le misure previste dalle leggi regionali in materia di illuminazione pubblica e di inquinamento luminoso sono le province e soprattutto i comuni. Compito della provincia è quello di definire le linee guida per l'applicazione della legge regionale con riferimento alle norme tecniche suggerite dalla stessa legge. I comuni invece, partendo dalle indicazioni dettate dalla provincia di appartenenza, redigono il "Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale": il PRIC [2, 3, 4].

Il PRIC è lo strumento operativo che, messo a disposizione dell'amministrazione comunale, permette attraverso un progressivo adeguamento degli impianti esistenti e il controllo su quelli di nuova realizzazione, di ottenere centri urbani ben illuminati e al tempo stesso rispettosi della sicurezza, dell'ambiente e delle risorse energetiche.

In Italia già diversi comuni hanno redatto un PRIC ispirandosi spesso a modelli europei come Lione [5]. La città francese rappresenta sicuramente un caso esemplare, che tiene conto sia delle tematiche monumentali che stradali.

I casi di maggior rilevanza sono quelli di Torino, Bergamo, Roma, Udine e Milano [6, 7, 8, 9, 10, 11]; vi sono poi alcuni centri minori come Vigone (TO) [12], Foligno (PG), San Giuliano Terme (PI) e Scandicci (FI) il cui impegno in materia di illuminazione pubblica supera, spesso, quello di altre grandi città.

In linea generale la stesura del PRIC prevede il check-up dell'impianto esistente, la classificazione delle diverse aree urbane e la prescrizione delle caratteristiche illuminotecniche per le singole aree. Discorso a parte viene poi riservato ai siti di particolare interesse artistico e architettonico dal momento che il compito visivo in questi casi va ben oltre quello esclusivamente stradale.

Naturalmente ciascuna amministrazione ha realizzato un PRIC che tiene conto anche del particolare contesto urbano in cui deve essere applicato. Questo risulta evidente soprattutto quando si passa dalle grandi città ai piccoli centri. Tale modo di procedere è del tutto normale pur-

ché la particolarità non si traduca in incoerenza rispetto alle prescrizioni generali e incompletezza della casistica adottata.

### I parametri illuminotecnici per la stesura del PRIC.

La normativa attuale disciplina soltanto l'illuminazione delle strade a traffico motorizzato per mezzo della norma UNI 10439. Essa prevede, in base al tipo di strada e ambito territoriale, il controllo della luminanza media mantenuta  $L_m$  (valore che assume la luminanza media del manto stradale nelle condizioni peggiori di invecchiamento ed insudiciamento dell'impianto di illuminazione), dei rapporti di uniformità generale  $U_o$  e longitudinale  $U_l$ , dell'indice di abbagliamento molesto  $G$  (abbagliamento, che dà luogo ad una sensazione fastidiosa, senza necessariamente compromettere la visione) e debilitante  $TI$  (abbagliamento prodotto dai centri luminosi, che può compromettere la visione, senza necessariamente provocare una sensazione fastidiosa). In Tab.1 sono riportati i requisiti per le strade a traffico prevalentemente o esclusivamente motorizzato [13, 14, 15].

**Tab.1 - Requisiti illuminotecnici per le strade a traffico prevalentemente o esclusivamente motorizzato**

Gruppo e classe	Tipo di strada	Zone attraversate	Luminanza media $cd/m^2$	Uniformità		Limitazione abbagliamento		
				$U_o$	$U_l$	$G$	$TI \%$	
1	a	Autostrade extraurbane	qualsiasi	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\geq 6$	$\leq 10$
2	a	Autostrade urbane	illuminare	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\geq 5$	$\leq 10$
		non illuminare	$\geq 6$					
2	b	Strade principali extraurbane	illuminare	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	$\geq 5$	$\leq 10$
			non illuminare				$\geq 6$	
3	c	Strade secondarie extraurbane	illuminare	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 5$	$\leq 20$
			non illuminare				1	
3	b	Strade di servizio principali extraurbane	illuminare	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 5$	$\leq 20$
			non illuminare				1	
4	d	Strade di scorrimento principali urbane	illuminare	2	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 4$	$\leq 20$
5	d	Strade di scorrimento di servizio urbane	illuminare	1	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 4$	$\leq 20$
			non illuminare	0.5			$\geq 5$	
5	e	Strade di quartiere urbane	illuminare	1	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 4$	$\leq 20$
			non illuminare	0.5			$\geq 5$	
5	f	Strade locali urbane/extraurbane	illuminare	1	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	$\geq 4$	$\leq 20$
			non illuminare	0.5			$\geq 5$	



L'inquinamento luminoso è limitato dalla norma UNI 10819 il cui scopo è quello di proteggere gli osservatori astronomici dalle sconsiderate ed inutili dispersioni del flusso luminoso verso la volta celeste.

Questa norma stabilisce i valori del rapporto *medio Rn di emissione superiore* e dell'intensità massima di emissione superiore (in presenza di particolari difficoltà nel calcolo dei flussi luminosi) in base al tipo di impianto (definito nel PRIC) e alla zona di installazione (in base alla distanza dagli osservatori astronomici).

L'impianto può essere classificato come:

Tipo A: Impianti dove la sicurezza è carattere prioritario, per esempio illuminazione pubblica di strade, aree a verde pubblico, aree a rischio, grandi aree.

Tipo B: Impianti sportivi, impianti di centri commerciali e ricreativi, impianti di giardini e parchi privati.

Tipo C: Impianti di interesse ambientale e monumentale.

Tipo D: Impianti pubblicitari realizzati con apparecchi di illuminazione.

Tipo E: Impianti a carattere temporaneo ed ornamentale, quali per esempio le luminarie natalizie.

Sono poi definite tre zone differenti:

Zona 1: Zona altamente protetta ad illuminazione limitata (per esempio: osservatori astronomici o astrofisici di rilevanza internazionale). Raggio dal centro di osservazione,  $r = 5\text{km}$ .

Zona 2: Zona protetta intorno alla Zona 1 o intorno ad osservatori a carattere nazionale e/o di importanza divulgativa. Raggio dal centro di osservazione  $r = 5\text{km}, 10\text{km}, 15\text{km}$  o  $25\text{km}$ , in funzione dell'importanza del centro.

Zona 3: Territorio nazionale non classificato nelle zone 1 e 2.

Nelle Tab.2 e 3, sono riportati i valori richiesti dalla norma UNI 10819 rispettivamente per il rapporto medio di emissione superiore e dell'intensità massima nell'emisfero superiore [16].

Restano fuori dalla normativa tutte le tipologie urbanistiche non destinate principalmente al traffico motorizzato. Queste carenze aprono la strada ad una ambiguità interpretativa che

**Tab.2 - Valori massimi del rapporto medio di emissione superiore**

Tipo di impianto	R <sub>n</sub> max %		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A, B, C, D	1	5	10
E	Non ammessi	Ammessi solo se soggetti ad orario regolamentato	Ammessi

**Tab.3 - Valori dell'intensità massima nell'emisfero superiore**

Tipo di impianto	Intensità massima nell'emisfero superiore cd/klm		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
A	5	15	30
B	5	30	80
C	5	100	200
D	5	100	200
E	Non ammessi	Ammessi soltanto se soggetti ad orario regolamentato	Ammessi

spesso conduce o a restrizioni esasperate o ad eccessi antiestetici.

In realtà sarebbe sufficiente fare riferimento ad una classificazione analoga a quella proposta dalla CIE nella guida all'illuminazione delle aree urbane [17, 18].

Nella Tab.4 le diverse aree vengono suddivise in diverse tipologie per ciascuna delle quali: residenziale, commerciale, industriale ecc. vengono assegnati i valori di illuminamento *orizzontale medio mantenuto*  $E_{HM}$ , illuminamento orizzontale minimo mantenuto  $E_{HMIN}$ , illuminamento semicilindrico medio mantenuto  $E_{sc}$  e indice *dell'abbagliamento impiegato per il traffico pedonale e ciclistico*  $LC_{A0.25}$  [14, 15, 18].

Una sezione a parte (vedi Tab.5) viene poi dedicata alla scelta della sorgente luminosa in base alla *resa cromatica* e alla temperatura di *colore* [15, 17, 19].

Tutto quanto riguarda infine chiese, monumenti ed edifici storici, è soggetto ad una valutazione più dettagliata e approfondita che, pur tenendo conto dell'illuminazione presente nelle aree circostanti, consideri la valorizzazione del patrimonio artistico e architettonico il fine principale di questo tipo di progetto illuminotecnico.

**Tab.4 - Requisiti illuminotecnici per le strade a traffico prevalentemente o esclusivamente pedonale**

Gruppo e classe		Tipo di area	Illuminamento (lx)		
			E <sub>HM</sub>	E <sub>Hmin</sub>	E <sub>SC</sub>
<b>10</b>	<b>a</b>	Strade commerciali con traffico misto al centro della città	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>b</b>	Strade commerciali con traffico misto in quartieri periferici	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
<b>10</b>	<b>c</b>	Strade commerciali con traffico misto al centro dei paesi	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>11</b>	<b>a</b>	Strade commerciali con traffico solo pedonale al centro della città, portici	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>11</b>	<b>b</b>	Strade commerciali con traffico solo pedonale	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>11</b>	<b>c</b>	Strade commerciali con traffico solo pedonale al centro dei paesi, portici	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>12</b>	<b>a</b>	Strade residenziali ad alta intensità abitativa	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>12</b>	<b>b</b>	Strade residenziali a media densità abitativa, strade di collegamento fra quartieri o fra centro e quartieri	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>12</b>	<b>c</b>	Strade residenziali a scarsa densità abitativa	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>13</b>	<b>a</b>	Strade industriali	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>14</b>	<b>a</b>	Sentieri in aree urbane	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>14</b>	<b>b</b>	Sentieri e vialetti nei parchi	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>15</b>	<b>a</b>	Attraversamenti pedonali in aree centrali	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>15</b>	<b>b</b>	Attraversamenti pedonali in aree residenziali	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>16</b>	<b>a</b>	Scalinate	<b>40</b>	<b>Ev = 20</b>	
<b>16</b>	<b>b</b>	Rampe	–	<b>40</b>	–

**Tab.5 - Caratteristiche cromatiche delle sorgenti luminose**

Gruppo e classe		Tipo di strada	Gruppo di resa del colore (Ra')	Temperatura di colore K
10	a,b,c	Strade commerciali	1A	≤3.300
11	a,b,c	Strade commerciali	(Ra > 90)	
12	a,b,c	Strade residenziali	2	≤3.300
14	a,b	Sentieri, vialetti	(60 ≤ Ra < 80)	

## Conclusioni

Appare evidente dall'analisi svolta che la regolamentazione dell'illuminazione pubblica in Italia non è ancora completa sia per quanto riguarda le finalità da perseguire che le direttive tecniche da seguire.

L'applicazione delle leggi regionali in alcuni casi diventa difficile, poiché oltre ad essere interpretate in modo diverso da parte dell'utilizzatore, sono diverse tra loro e alcune più restrittive delle altre, (vedi legge regionale della Lombardia che impone valori di zero cd/klm a 90° ed oltre, mentre la legge regionale Veneta, richiede valori di dispersione del flusso verso l'alto < 3% del flusso emesso dall'apparecchio). In alcuni casi limite è necessaria l'applicazione di più leggi regionali per lo stesso tipo d'impianto (vedi l'aeroporto di Malpensa posto al confine tra Piemonte e Lombardia).

Delle leggi regionali fino ad oggi varate, solo quella Piemontese ha come finalità, oltre quelle ormai consolidate, anche il miglioramento della qualità della vita e delle condizioni di fruizione dei centri urbani e dei beni ambientali monumentali e architettonici. Non a caso infatti il PRIC di Torino è uno dei piani regolatori dell'illuminazione comunale più completi, esso prevede anche il Piano della Luce Decorativa: il PLD. L'importanza del PLD sta nel fatto che esso supera il concetto secondo il quale l'illuminazione decorativa deve essere riservata esclusivamente ai monumenti più importanti del centro cittadino, individuando siti da illuminare sull'intero territorio comunale. Tutto ciò comporta un ritorno, oltre che in termini di salvaguardia dell'ambiente e risparmio energetico, anche di valorizzazione del patrimonio artistico e riqualificazione delle aree urbane.

Una pianificazione semplicistica dell'illuminazione pubblica, risulta oggi anacronistica soprattutto se vista alla luce dei più moderni mezzi di progettazione e dei nuovi sistemi di illuminazione. La tecnologia mette ormai a disposizione del progettista illuminotecnico una vastissima gamma di apparecchi illuminanti e sofisticati software di simulazione. Ci sono quindi tutti i presupposti per un utilizzo più razionale della luce purché siano colmati i vuoti lasciati sia dall'attuale normativa che dalle leggi vigenti in materia.

## Allegato

Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285: "Nuovo Codice della Strada" [20].

Le norme e i provvedimenti attuativi del D. Lgs si ispirano al principio della sicurezza stradale, perseguendo gli obiettivi di una razionale gestione della mobilità, della protezione dell'ambiente e del risparmio energetico.

Nel D. Lgs è inoltre presentata una classificazione delle strade per ciascuna delle quali vengono definiti i requisiti minimi.

Norma UNI 10439 (ottobre 1995): "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato" [13].

"La presente norma indica i requisiti di quantità e qualità dell'illuminazione stradale per la progettazione, la verifica e la manutenzione di un impianto di illuminazione. Tali requisiti sono espressi in termini di livello e uniformità di luminanza del manto stradale, illuminazione dei bordi della carreggiata, limitazione dell'abbagliamento, guida ottica. Essi sono dati in funzione della classe di appartenenza della strada, la quale è definita in relazione al tipo e alla densità del traffico veicolare.

La presente norma si applica a tutte le strade urbane ed extraurbane con traffico sia esclusivamente sia parzialmente motorizzato.

Essa non si applica alla viabilità interna, a parchi, ad aree commerciali riservate ai pedoni, alle strade di particolare rilievo architettonico e a tutti i casi in cui prevalgono esigenze estranee a quelle della circolazione motorizzata. Essa non si applica, inoltre, alle gallerie e ai sottopassaggi stradali".

Disegno di legge n.751 presentata il 9 giugno 1996 al Senato della Repubblica: "Misure urgenti in tema di risparmio energetico da uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso" [21].

“La presente legge ha per finalità la riduzione dell’inquinamento luminoso e dei consumi energetici da esso derivanti, sul territorio nazionale e, in particolare, la tutela dei siti degli osservatori astronomici professionali e di quelli non professionali di rilevanza regionale o interprovinciale, nonché delle zone loro circostanti, dall’inquinamento luminoso.

Ai fini della presente legge viene considerato “inquinamento luminoso” ogni forma di irradiazione di luce artificiale al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e in particolare modo verso la volta celeste”.

Legge Regionale 27 giugno 1997 n. 22 della Regione Veneto: “Norme per la prevenzione dell’inquinamento luminoso” [22].

“La presente legge prescrive misure per la prevenzione dell’inquinamento luminoso sul territorio regionale, al fine di tutelare e migliorare l’ambiente, di conservare gli equilibri ecologici delle aree naturali protette ai sensi della legge 6 dicembre 1991, n. 394, nonché al fine di promuovere le attività di ricerca e divulgazione scientifica degli osservatori astronomici.

Le disposizioni di cui alla presente legge non si applicano:

alle installazioni, impianti e strutture pubbliche, civili e militari, la cui progettazione, realizzazione e gestione sia già regolata da specifiche norme statali;

agli impianti privati di illuminazione esterna, costituiti da non più di dieci sorgenti luminose con flusso luminoso per ciascuna sorgente non superiore a 1.500 lumen”.

Proposta di legge n.4515 presentata il 30 gennaio 1998 alla Camera dei Deputati: “Disposizioni in materia di illuminazione esterna per la protezione dell’ambiente e degli osservatori astronomici dall’inquinamento luminoso” [23].

“La presente legge prescrive misure per la riduzione dell’inquinamento luminoso sul territorio nazionale e dei consumi energetici da esso derivanti, al fine di tutelare e migliorare l’ambiente di conservare gli equilibri ecologici delle aree naturali protette ai sensi della legge 6 dicembre 1991, n. 394, nonché di tutelare i siti degli osservatori astronomici professionali e di quelli non professionali di rilevanza regionale o interprovinciale e delle zone loro circostanti per promuo-

vere le attività di ricerca e la divulgazione scientifica”.

Norma UNI 10671 (marzo 1998) sugli apparecchi di illuminazione: “Misurazione dei dati fotometrici e presentazione dei risultati” [24].

“La presente norma prescrive i criteri generali per la misurazione dei dati fotometrici degli apparecchi di illuminazione, in condizioni di riferimento normalizzate, al fine di assicurare la corretta interpretazione dei dati risultati e un’adeguata riproducibilità delle misurazioni eseguite da laboratori diversi, nell’ipotesi che il livello minimo della caratterizzazione della ripartizione dell’intensità luminosa dell’apparecchio di illuminazione richieda un’incertezza massima relativa del  $\pm 10\%$  ( $\pm 5\%$  del flusso luminoso).

Essa deve essere utilizzata, in modo particolare, quando si intende prescrivere le caratteristiche fotometriche degli apparecchi o fornire dati prestazionali nella fase di progettazione di impianti di illuminazione”.

Legge Regionale 28 aprile 1998, n. 17 della Regione Valle d’Aosta: “Norme in materia di illuminazione esterna” [25].

“La presente legge ha per finalità:

il contenimento dell’inquinamento luminoso sul territorio regionale;

la salvaguardia della fauna notturna e delle rotte migratorie dell’avifauna dai fenomeni di inquinamento luminoso;

la tutela dei siti degli osservatori astronomici professionali e non professionali, nonché delle zone loro circostanti, dall’inquinamento luminoso.

Ai fini della presente legge, viene considerato inquinamento luminoso ogni forma di irradiazione di luce artificiale al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata ed in particolare verso la volta celeste.

Sono esclusi dall’applicazione della presente legge tutti gli impianti di entità modesta fino a cinque centri luminosi, in ciascuno dei quali le sorgenti di luce non emettano un flusso luminoso maggiore di 1.200 lumen; si intende per centro luminoso il complesso costituito dall’apparecchio di illuminazione, dalle lampade in esso installate e dagli eventuali ausiliari e-

lettrici, anche se non incorporati.

La disciplina stabilita dalla presente legge non si applica altresì alle forze armate, ai corpi armati dello Stato, al Corpo forestale valdostano, alla Protezione civile, ai servizi antincendio, alle strutture aeroportuali, agli interventi di soccorso, alle gallerie e sottopassi, alla segnaletica luminosa di sicurezza”.

Norma UNI 10819 (marzo 1999) riguardante luce e illuminazione: “Impianti di illuminazione esterna. Requisiti per la limitazione della dispersione verso l’alto del flusso luminoso” [16].

“La norma prescrive i requisiti degli impianti di illuminazione esterna, per la limitazione della dispersione verso l’alto del flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale.

Essa non considera la limitazione della luminanza notturna del cielo dovuta alla riflessione delle superfici illuminate o a particolari condizioni locali, quali l’inquinamento atmosferico.

La norma si applica agli impianti di illuminazione esterna di nuova realizzazione.

Essa non si applica agli impianti di gallerie e di sottopassi, alla segnaletica luminosa di sicurezza ed alle insegne pubblicitarie dotate di illuminazione propria. Non si applica inoltre agli ambiti naturalistici e paesaggistici soggetti a particolari prescrizioni locali e/o a specifiche norme tecniche di futura definizione”.

Legge Regionale 21 marzo 2000, n. 37 della Regione Toscana: “Norme per la prevenzione dell’inquinamento luminoso” [26].

“La presente legge 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 ai sensi della legge regionale 11 aprile 1995, n. 49 “Norme sui parchi, le riserve naturali e le aree protette di interesse locale” di attuazione della legge 6 dicembre 1991, n. 394 “Legge quadro sulle aree protette”, nonché al fine di promuovere le attività di ricerca e di divulgazione scientifica degli Osservatori Astronomici.

Le disposizioni di cui alla presente legge non si applicano:

alle installazioni, impianti e strutture pubbliche, civili e militari, la cui progettazione, realizzazio-



ne e gestione sia già regolata da specifiche norme statali;  
agli impianti privati di illuminazione esterna, costituiti da non più di dieci sorgenti luminose con flusso luminoso per ciascuna sorgente non superiore a 1.500 lumen”.

Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 31 della Regione Piemonte: “Disposizioni per la prevenzione e lotta all’inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche” [27].

“La presente legge ha come finalità:

la riduzione dell’inquinamento luminoso ed ottico nel contesto di una più generale razionalizzazione del servizio di illuminazione pubblica con particolare attenzione alla riduzione dei consumi e al miglioramento dell’efficienza luminosa degli impianti;

la salvaguardia dei bioritmi naturali delle piante e degli animali ed in particolare delle rotte migratorie dell’avifauna dai fenomeni di inquinamento luminoso;

il miglioramento dell’ambiente conservando gli equilibri ecologici delle aree naturali protette, ai sensi della legge 6 dicembre 1991, n. 394 (Legge quadro sulle aree protette);

la riduzione dei fenomeni di abbagliamento e affaticamento visivo provocati da inquinamento ottico al fine di migliorare la sicurezza della circolazione stradale;

la tutela dei siti degli osservatori astronomici professionali di rilevanza regionale o provinciale, nonché delle zone loro circostanti, dall’inquinamento luminoso;

il miglioramento della qualità della vita e delle condizioni di fruizione dei centri urbani e dei beni ambientali monumentali e architettonici”.

Legge Regionale 27 marzo 2000, n. 17 della Regione Lombardia: “Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all’inquinamento luminoso” [28].

“La presente legge, ai fini di quanto stabilito dall’art. 3 comma 3, punti 7, 8 ,9 dello statuto della Regione Lombardia, ha per finalità la riduzione sul territorio regionale dell’inquinamento luminoso e dei consumi energetici da esso derivanti e, conseguentemente la tutela dell’attività di ricerca scientifica e divulgativa svolta dagli osservatori astronomici professionali di rilevanza regionale o provinciale e di altri osservatori scientifici nonché la conservazione degli equilibri

ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette.

Ai fini della presente legge viene considerato inquinamento luminoso dell'atmosfera ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperda al di fuori delle aree a cui essa è funzionalmente dedicata e, in particolar modo, se orientata al di sopra della linea dell'orizzontale".

Legge Regionale 10 aprile 2000, n. 41 della Regione Basilicata: Inquinamento luminoso e conservazione della trasparenza e stabilità atmosferica dei siti di ubicazione di stazioni astronomiche" [29].

*"La presente legge contiene norme volte a ridurre sul territorio della Regione Basilicata l'inquinamento luminoso ed il rispetto delle condizioni meteorologiche, di trasparenza e stabilità dell'atmosfera, quindi l'eliminazione di umidità che possano intervenire da aumento delle acque o da invasi naturali e artificiali. Ciò al fine di salvaguardare gli equilibri ecologici delle aree naturali e favorire, mediante la tutela dei siti in cui sono ubicate le Stazioni Astronomiche, le attività di ricerca e di divulgazione scientifica degli Osservatori Astronomici".*

Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23 della Regione Lazio: "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso – modificazioni alla Legge Regionale 6 agosto 1999, n. 14"[30].

*"La presente legge prescrive misure per la riduzione e prevenzione dell'inquinamento luminoso sul territorio regionale derivante dall'uso degli impianti di illuminazione esterna di qualsiasi tipo, ivi compresi quelli a carattere pubblicitario, che oltre a ridurre i consumi energetici perseguono la finalità di tutelare e migliorare l'ambiente e di consentire il miglior svolgimento delle attività di ricerca e divulgazione scientifica degli osservatori astronomici, professionali e non professionali".*

Legge 22 marzo 2001 n. 85: "Delega al Governo per la revisione del nuovo codice della strada". Entrerà in vigore dal 1 gennaio 2003 [31].

La legge è improntata ad una serie di principi e criteri volti alla tutela della sicurezza stradale e

## Appendice

---

di riduzione dei costi economici, sociali ed ambientali derivanti dal traffico veicolare. Prevede altresì l'obbligo di installare nelle autostrade e nelle strade extraurbane dispositivi per accrescere la visibilità nelle ore notturne e nei casi di diminuita visibilità per eventi atmosferici e l'obbligo di illuminare in maniera adeguata i tratti autostradali nei punti particolarmente pericolosi ubicati in aree geografiche dove si verifica con frequenza la presenza di nebbia.

## Bibliografia

[1] S. Mosser. "The lighting of urban areas and the quality of life in the city at night from townsmen point of view". Pubblicato sugli atti del convegno LUX EUROPA 2001.

[2] F. Prono. "Gli strumenti di programmazione dell'illuminazione pubblica in ambito comunale". LUCE, mag-95, p. 44-47.

[3] G. Burzio. "Il piano comunale per l'illuminazione pubblica". LUCE, mag-95, p. 50-51.

[4] R. Canalini. "Illuminazione pubblica. La necessità di un Piano Regolatore". LUCE, feb-99, p. 52-61.

[5] P. Ceregioli. "Il piano di Lione". LUCE, gen-97, p. 26-33.

[6] B. Aguzzi, M. Broglino, G. Burzio, F. Goy, P. Soardo. "Illuminazione e città: il piano illuminotecnico di Torino". LUCE, gen-97, p. 34-39.

[7] M. Patetta, C. Valent. "Il Piano di illuminazione Comunale di Bergamo" LUCE, apr-97, p. 90-100.

[8] C. Terzi. "Roma in forma di luce Il piano dell'illuminazione ambientale della città di Roma". LUCE, giu-97, p. 70-82.

[9] L. Fellin, A. Mansutti, D. Romanello. "Dal progetto generale alla realizzazione dell'illuminazione urbana: il caso di Udine". LUCE, nov-97, p. 34-43.

[10] G. Grassi, F. Mazzi, A. Paschetto. "AEM e il piano urbano della luce a Milano". LUCE, ott-

99, p. 24-30.

[11] C. Ferrara. "MILANO - Piano della luce 2000 RITROVARE IL CENTRO". *LUCE*, feb-01, p. 40-51.

[12] F. Prono. "I comuni e l'illuminazione pubblica Il caso del comune di Vigone". *LUCE*, gen-97, p. 40-42.

[13] Norma UNI 10439 (ottobre 1995): "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato".

[14] "Raccomandazioni per l'illuminazione pubblica". AIDI, ott-93.

[15] A. Convitti, P. Berra, M. Bonomo, M. Brogolino, S. Bruni, P. Ceregioli, P. L. Coruzzi, L. Felin, F. Prono. "Guida per il Piano Regolatore Comunale dell'Illuminazione Pubblica". AIDI, gen-98.

[16] Norma UNI 10819 (marzo 1999) riguardante luce e illuminazione: "Impianti di illuminazione esterna. Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso".

[17] CIE Technical Report. "Guide to the lighting of urban areas", CIE 136-2000.

[18] CIE Technical Report. "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic", CIE 115-1995.

[19] A. Calloni, G. Polticchia. "Illuminazione pubblica I nuovi orientamenti tecnici ENEL e la risposta del mercato". *LUCE*, apr-97, p. 82-89.

[20] D. Lgs. 30 aprile 1992 n. 285: "Nuovo Codice della Strada".

[21] Disegno di legge n.751 presentata il 9 giugno 1996 al Senato della Repubblica: "Misure urgenti in tema di risparmio energetico da uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso".

[22] Legge Regionale 27 giugno 1997 n. 22 della Regione Veneto: "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso".

[23] Proposta di legge n.4515 presentata il 30 gennaio 1998 alla Camera dei Deputati: "Disposizioni in materia di illuminazione esterna per la protezione dell'ambiente e degli osservatori astronomici dall'inquinamento luminoso".

[24] Norma UNI 10671 (marzo 1998) sugli apparecchi di illuminazione: "Misurazione dei dati fotometrici e presentazione dei risultati".

[25] Legge Regionale 28 aprile 1998, n. 17 della Regione Valle d'Aosta: "Norme in materia di illuminazione esterna".

[26] Legge Regionale 21 marzo 2000, n. 37 della Regione Toscana: "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso".

[27] Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 31 della Regione Piemonte: "Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche".

[28] Legge Regionale 27 marzo 2000, n. 17 della Regione Lombardia: "Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso".

## Appendice

---

[29] Legge Regionale 10 aprile 2000, n. 41 della Regione Basilicata: "Inquinamento luminoso e conservazione della trasparenza e stabilità atmosferica dei siti di ubicazione di stazioni astronomiche".

[30] Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23 della Regione Lazio: "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso – modificazioni alla Legge Regionale 6 agosto 1999, n. 14".

[31] Legge 22 marzo 2001 n. 85: "Delega al Governo per la revisione del nuovo codice della strada". Entrerà in vigore dal 1 gennaio 2003.