

REQUISITI ILLUMINOTECNICI E APPARECCHI D'ILLUMINAZIONE

Curve Fotometriche – Imparare a leggerle e comprenderle

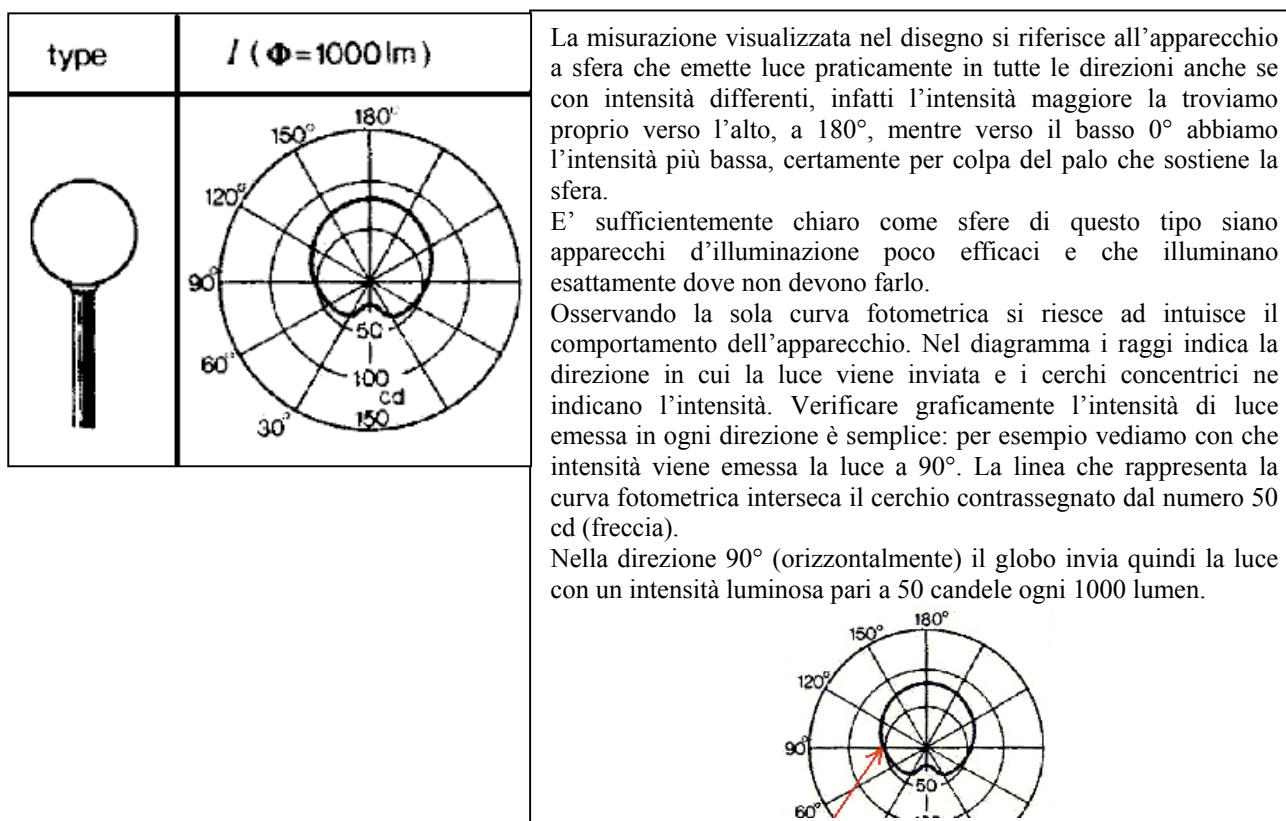
La curva fotometria rappresenta graficamente come una sorgente luminosa emette luce nello spazio. Vale a dire in che direzione emette la luce e con quale intensità.

A qualsiasi oggetto che emette luce può essere associata una curva fotometrica, sia esso una semplice lampadina, un apparecchio illuminante o uno schermo che riflette della luce.

La curva fotometria di un apparecchio d'illuminazione consente di prevedere il suo impatto sull'ambiente circostante.

Per costruire una curva fotometrica è necessario misurare l'intensità luminosa. In sostanza è necessario "vedere" con quale intensità la nostra sorgente emette luce in una determinata direzione.

E' come se girassimo attorno all'apparecchio e, a diverse angolazioni, misurassimo l'intensità della luce emessa.




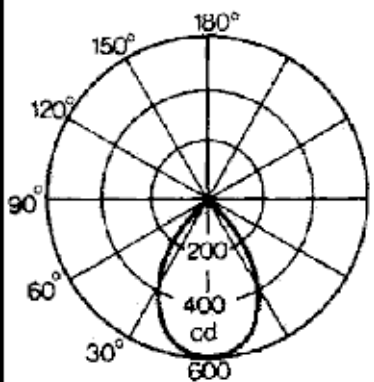
I lumen rappresentano la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa ed è chiamato tecnicamente "flusso luminoso". Questo parametro permette di svincolare le curve fotometriche dal tipo di lampada utilizzata con un apparecchio e dalla sua potenza, infatti esprimendo le quantità in lumen (precisamente 1000 lumen), il globo emetterà comunque la luce con diverse intensità (al variare della potenza e della lampada) ma sempre nel medesimo modo: tanta luce sopra, poca luce sotto.

Quindi ad esempio se usiamo una lampadina al sodio alta pressione ellissoidale da 100W che ha un flusso luminoso di circa 10.000 lumen l'intensità luminosa a 90° sarà pari a $50 \times 10.000 / 1.000 = 500$ candele.

Cerchiamo di leggere dalla curva fotometrica di un globo luminoso l'intensità luminosa emessa a 180°. La curva fotometrica passa quasi a metà tra il cerchio contrassegnato da 50 e quello contrassegnato da 100. Si direbbe che in quel punto l'intensità luminosa è pari a 80 candele /1000 lumen, più o meno. Certamente abbiamo rilevato il valore in un modo un po' incerto; per rendere la lettura più precisa la curva fotometrica viene sempre accompagnata da una tabella che ci indica i valori esatti evitandoci di dover individuare il valore in modo grafico. La tabella associata alla curva fotometrica della sfera potrebbe essere questa:

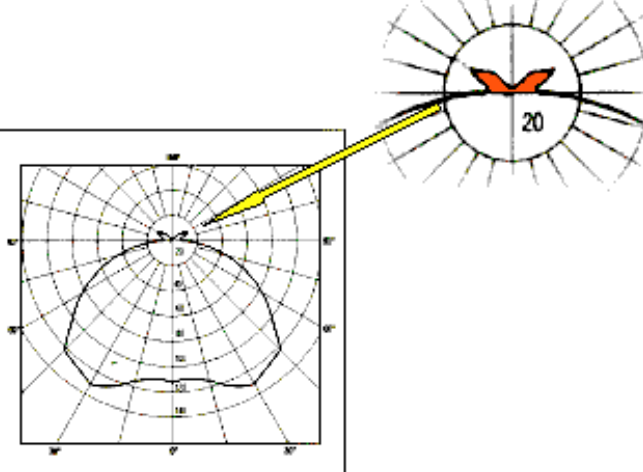
Angolo	Intensità / 1000 lm
0°	25
30°	35
60°	45
90°	50
120°	68
150°	75
180°	80
210°	75
240°	68
270°	50
300°	45
330°	35

Leggere i valori di una tabella risulta più immediato e decisamente più preciso. La tabella di fianco rappresenta una misurazione fotometrica piuttosto grossolana, con intervallo di misura ogni 30°. Esistono norme che indicano questi parametri oltre alla precisione della lettura con più cifre significative. Più l'intervallo è piccolo e più la curva risulta essere definita.

type	I (Φ=1000lm)
	

Esaminiamo ora la curva fotometrica dell'apparecchio qui di fianco.
Possiamo intuire che l'apparecchio emette tutta la sua luce verso il basso e quasi esclusivamente tra i 330° e i 30° o meglio tra i -30° e i +30°. In questo cono di 60° è concentrata gran parte della luce emessa. Possiamo poi notare che i cerchi concentrici riportano valori assai più grandi di quelli rilevati nella curva fotometrica della sfera. 200, 400 e 600 sono i valori. Questo apparecchio possiede la caratteristica di concentrare la luce entro un certo angolo. Utilizzando la lampadina da 100W presa come riferimento nel precedente esempio avremmo un'intensità luminosa verso l'angolo 0° (verticalmente sul terreno) pari a $600 \times 10.000 / 1.000 = 6.000$ candele molto più alto delle $25 \times 10.000 / 1.000 = 250$ candele prodotte dalla sfera (vedasi grafico relativo).

Leggendo le due fotometriche si possono dedurre le seguenti conclusioni: l'apparecchio a sfera emette intensità di luce basse in tutte le direzioni, soprattutto verso l'alto; l'apparecchio cilindrico invece emette intensità di luce molto alte verso il basso concentrate in un arco di 60°.

	<p>Come distinguere la curva fotometrica di un apparecchio conforme alla LR 19/03? Nell'esempio riportato, se la curva fotometrica esaminata è quella di un apparecchio da esterno, tale curva NON è conforme alla LR19/03 infatti si può notare che esiste una piccola componente di luce emessa nell'emisfero superiore (e cioè oltre i 90° ed oltre l'orizzonte). In particolare la LR 19/03 ed il suo regolamento ammettono intensità a 90° ed oltre massima di 0.49cd/klm che è una quantità verificabile esclusivamente leggendo le misurazioni in forma tabellare.</p>
---	---

Per verificare la conformità di un apparecchio a quanto previsto dalla LR dell'Emilia Romagna 19/03 come detto, non è sufficiente una sommaria visione della curva fotometrica, che potrebbe fra l'altro essere facilmente manipolata o "tagliata" oltre i 90° (come capita di trovare in alcuni cataloghi), ma è indispensabile possedere e verificare la tabella dei valori di luminanza relativi alla curva che si sta analizzando, in quanto spesso, livelli di luminanza bassi, possono non essere individuabili nella sola rappresentazione grafica della curva fotometrica. Anche le tabelle non danno la certezza assoluta della veridicità dei dati; maggiore sicurezza si può avere invece richiedendo dati fotometrici certificati da enti terzi come ad esempio per il marchio "Performance" dell'Istituto Marchio di Qualità Italiano.

Inclinazione degli apparecchi d'illuminazione

Un ulteriore aspetto interessante è rappresentato dal fatto che apparecchi privi di emissione luminosa al di sopra di angoli di 90° (conformi alla LR19/03) talvolta vengano installati in posizione inclinata rispetto alla posizione di misura (in laboratorio). In tal caso la curva fotometrica ruota, per così dire, sull'asse del diagramma per l'angolo di inclinazione. Per conoscere la nuova fotometria associata si potrà procedere come segue:

1. Analizzare la tabella legata all'apparecchio (posizione orizzontale) **figura 1**
2. Se l'apparecchio venisse orientato di 10° i valori slitterebbero di una casella corrispondente a 10° **figura 2**
3. Se l'apparecchio venisse orientato di 30° i valori slitterebbero di una casella corrispondente a 30° **figura 3**

figura 1

Angolo	Intensità cd/1000 lm
0°	335
10°	368
20°	391
30°	412
40°	435
50°	487
60°	574
70°	125
80°	12
90°	0
100°	0
110°	0
120°	0
130°	0
140°	0
150°	0
160°	0
170°	0
180°	0
190°	0
200°	0
210°	0
220°	0
230°	0
240°	0
250°	0
260°	0
270°	0
280°	12
290°	125
300°	574
310°	487
320°	435
330°	412
340°	391
350°	368

**Apparecchio conforme
alla LR19/03**

figura 2

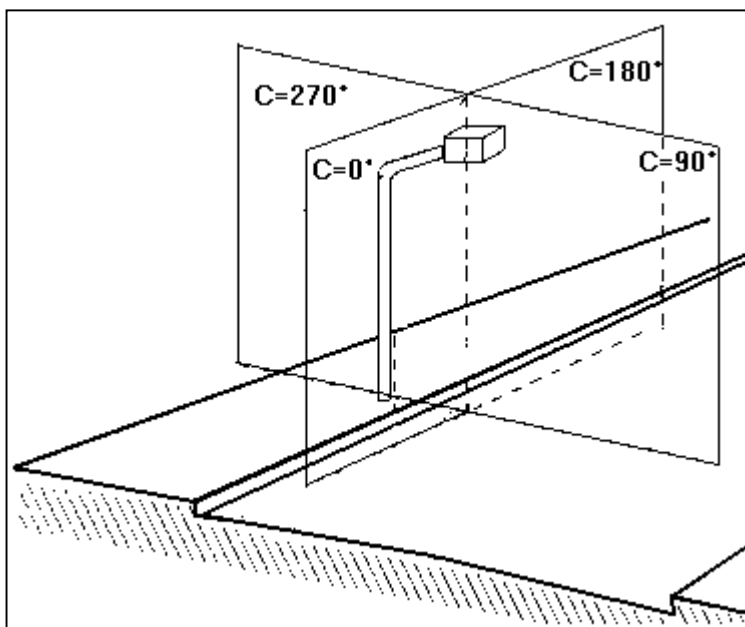
Angolo	Intensità cd/1000 lm
0°	368
10°	335
20°	368
30°	391
40°	412
50°	435
60°	487
70°	574
80°	125
90°	12
100°	0
110°	0
120°	0
130°	0
140°	0
150°	0
160°	0
170°	0
180°	0
190°	0
200°	0
210°	0
220°	0
230°	0
240°	0
250°	0
260°	0
270°	0
280°	0
290°	12
300°	125
310°	574
320°	487
330°	435
340°	412
350°	391

**Apparecchio non più
conforme alla LR19/03**

figura 3

Angolo	Intensità cd/1000 lm
0°	412
10°	391
20°	368
30°	335
40°	368
50°	391
60°	412
70°	435
80°	487
90°	574
100°	125
110°	12
120°	0
130°	0
140°	0
150°	0
160°	0
170°	0
180°	0
190°	0
200°	0
210°	0
220°	0
230°	0
240°	0
250°	0
260°	0
270°	0
280°	0
290°	0
300°	0
310°	12
320°	125
330°	574
340°	487
350°	435

**Apparecchio non più
conforme alla LR19/03**



Piani fondamentali utilizzati per le misurazioni di un apparecchio d'illuminazione

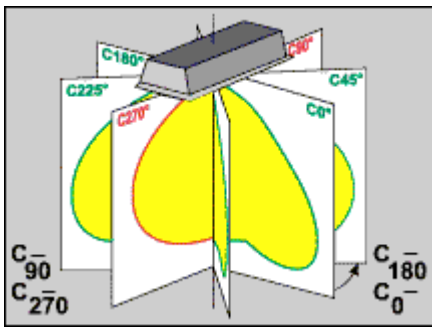
I produttori di corpi illuminanti sono in grado di fornire tabelle che permettono di risalire al valore misurato dell'intensità luminosa emessa ad ogni angolo γ (gamma). In particolare queste tabelle di dati fotometrici di apparecchi d'illuminazione vengono realizzate e certificate da opportuni laboratori specializzati di enti terzi. Ad esempio l'Istituto Marchio di Qualità Italiano (IMQ) ha istituito il marchio di qualità "Performance" che come si può vedere dalla tabella riportata può essere utile per verificare per valori di γ maggiori di 90° se l'apparecchio è conforme alla LR 19/03.

Tabella dell'intensità luminosa (cd/klm) di apparecchio d'illuminazione tratto dai certificati "performance" dell' IMQ

C	270	285	300	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355	360	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	
γ																												
0	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
10	186	186	187	188	190	190	190	190	191	190	191	192	192	193	193	193	195	195	195	194	194	194	193	193	193	193	193	188
20	177	177	179	182	184	187	188	191	191	192	194	197	198	200	200	199	202	203	203	194	195	194	192	190	185	184	182	
30	160	163	168	173	176	181	185	186	190	194	200	204	206	214	214	212	214	211	207	206	196	192	180	184	173	169	173	
35	150	154	160	167	171	176	180	183	187	195	201	209	212	215	215	215	215	211	207	200	196	186	180	178	165	160	167	
40	130	144	152	158	164	170	176	180	178	193	194	204	207	210	210	223	227	227	210	196	185	177	173	169	155	150	158	
45	125	134	146	155	157	160	165	171	178	186	193	200	210	225	225	230	236	236	219	201	186	174	168	162	150	142	155	
47.5	116	123	134	145	151	159	163	169	178	191	196	201	215	230	230	240	257	257	237	205	186	169	163	157	142	135	145	
50	106	114	127	136	142	140	157	166	176	188	198	210	221	235	235	256	284	284	284	211	182	162	152	147	133	126	136	
52.5	96	104	120	128	135	142	151	162	173	187	200	215	231	240	240	279	309	309	282	217	173	157	146	140	128	120	128	
55	90	99	113	121	126	135	143	155	166	180	197	215	235	245	245	303	334	334	285	223	173	150	142	136	121	114	121	
57.5	82	83	104	114	120	128	133	139	153	165	184	210	241	255	255	325	352	352	282	225	163	142	134	130	112	106	114	
60	76	84	96	106	110	117	120	126	140	155	175	207	250	263	263	340	364	364	284	225	161	138	128	122	104	95	106	
62.5	68	76	86	97	101	107	110	114	128	145	168	199	254	267	267	346	341	341	277	223	161	134	122	105	97	85	97	
65	62	68	80	90	94	99	104	110	121	138	156	190	218	257	257	359	393	393	263	222	159	127	114	100	91	77	90	
67.5	53	63	73	83	87	92	96	102	115	134	152	179	210	247	247	346	350	340	231	227	150	117	106	93	85	71	83	
70	36	47	67	74	78	82	85	91	104	126	150	177	204	241	241	324	343	333	200	215	134	101	87	84	76	65	74	
72.5	10	29	50	59	65	71	74	77	93	115	142	168	190	219	219	312	320	270	164	188	111	80	52	60	51	51	59	
75	5	8	19	29	35	43	47	65	66	97	120	151	160	168	168	279	275	185	51	144	59	33	41	34	22	27	29	
77.5	2	4	6	7	9	11	12	12	20	38	60	82	80	77	110	188	124	44	8	86	17	7	8	8	5	14	7	
80	0	1	3	4	4	5	8	6	7	7	8	11	12	13	20	85	13	6	4	27	9	3	7	2	1	2	4	
82.5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4	13	5	3	1	5	2	1	1	1	1	1	0	
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	4	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
87.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
90-180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

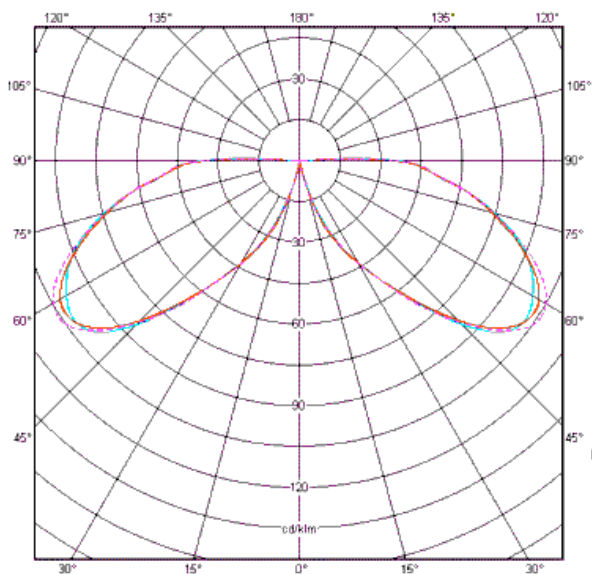
NB. Verificare che anche le tabelle non siano state "tagliate" in quanto per chi non si occupa di inquinamento luminoso è poco interessante ed ingombrante riportare i valori anche per γ maggiori di 90° .

Ottiche Asimmetriche

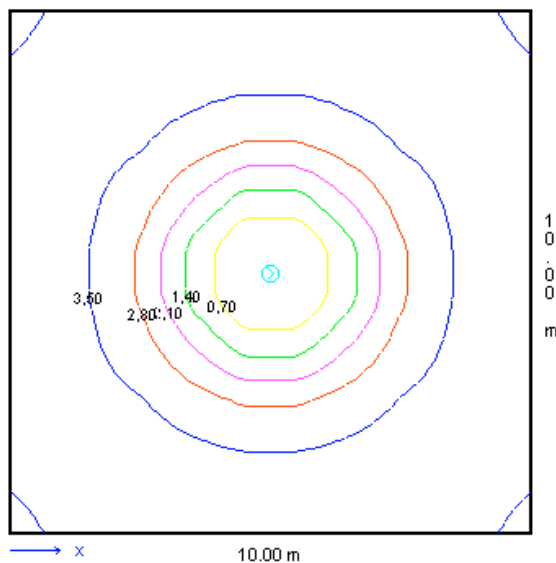


Nelle curve fotometriche precedentemente analizzate è riportata una sola linea grafica che rappresenta l'emissione della luce nelle diverse angolazioni verticali. Questa rappresentazione è sufficiente nel caso in cui, la sorgente luminosa che stiamo analizzando o apparecchio, sia di tipo simmetrico. L'apparecchio simmetrico invia le medesime intensità luminose in ogni direzione (se visto dall'alto) e quindi anche su piani differenti. Se ci posizioniamo frontalmente rispetto ad una sfera luminosa, l'intensità luminosa che andremmo a leggere sarebbe

la medesima anche se la osservassimo lateralmente o dietro. La sfera luminosa è un tipico esempio di apparecchio simmetrico. Se, utilizzando una curva fotometrica simmetrica, ne calcolassimo l'illuminamento in lux prodotto sul suolo otterremo sicuramente una serie di linee isolux (uguali lux) circolari e concentriche.

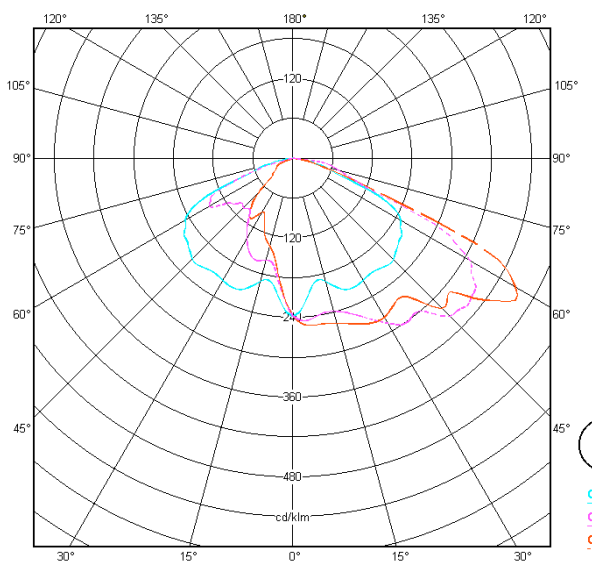


curva fotometrica simmetrica
(le misure su i tre piani sono quasi identiche)

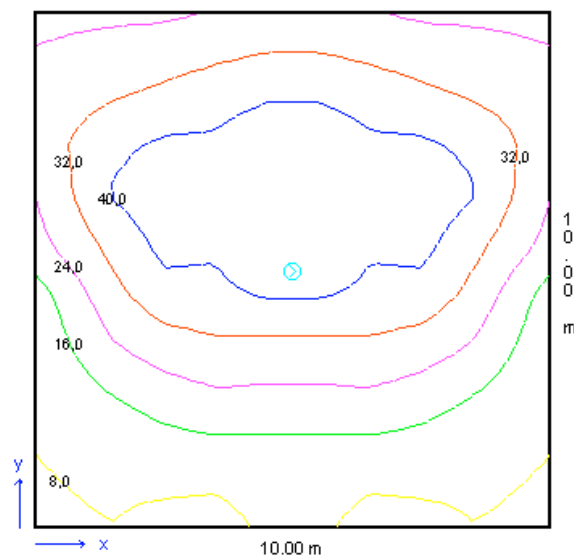


Illuminamento con curve isolux rotonde e concentriche.

A differenza delle sorgenti simmetriche, gli apparecchi asimmetrici, osservando la luce proiettata al suolo le curve isolux non sono più circolari come rappresentato nell'esempio precedente.



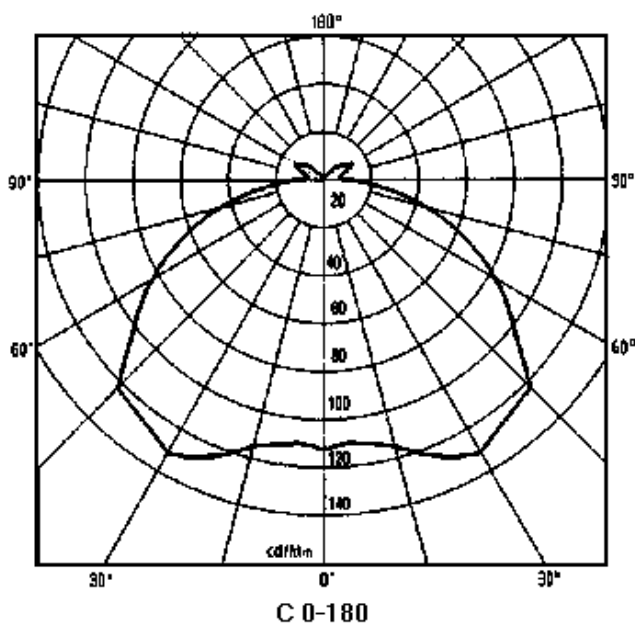
Curva fotometrica di apparecchio asimmetrico misurata su 3
piani.



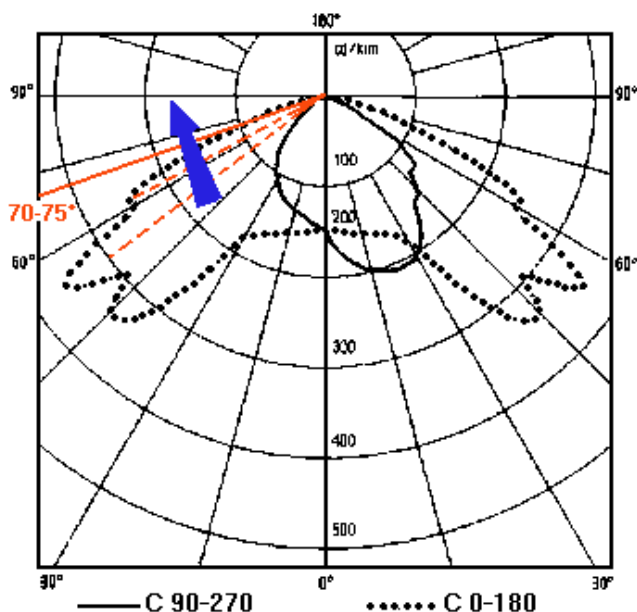
Livelli isolux riferiti all'apparecchio della curva di
sinistra.

Forma della curva fotometrica

La forma della curva fotometrica è importante per capire in modo intuitivo il comportamento dell'apparecchio che stiamo analizzando. Nel caso di apparecchi destinati all'illuminazione stradale, è molto importante che la curva fotometrica invii la luce solo nelle direzioni interessate (lungo l'asse della strada e non al di fuori di essa) e con le giuste intensità luminose (distribuita la più uniformemente possibile). Risulta infatti evidente che, se vogliamo puntare all'installazione di un minor numero di apparecchi, questi dovranno "allargare" il più possibile il fascio luminoso. Per "allargare" si intende, riferendosi al piano ($C=0^\circ$ - $C=180^\circ$ del disegno nella precedente pagina), inviare lateralmente molta luce, quindi con elevata intensità. Sulla verticale il livello di luce necessario è inferiore. Invece sul piano ($C=90^\circ$ - $C=270^\circ$) sarà importante rilevare che le maggiori intensità luminose si trovino verso il lato da illuminare tra 0° e 90° .



Curva non allargante di apparecchio simmetrico



Curva allargante (tratteggiata) e con emissione della luce verso la strada (curva piena)

Le aziende produttrici di apparecchi, nello studiare le ottiche più performanti, tengono conto di quanto sopra descritto. Lo sviluppo punta alla riduzione dei centri luminosi. Ottenere elevati coefficienti di uniformità conduce a risultati migliori in termini di percezione visiva. Strade con minore intensità luminosa ma con migliori parametri di uniformità sono senz'altro da preferirsi a vie molto luminose con scarsa uniformità. Un altro punto di cui tenere conto è l'asimmetria necessaria per garantire il mantenimento dei parametri qualitativi anche con impianti di illuminazione più semplici ed economici realizzati su un solo lato della carreggiata. Per evitare di portare l'apparecchio verso il centro della carreggiata, solitamente attraverso i classici pali a frusta, si lavora sull'ottica spingendo la luce, oltre che lateralmente (destra e sinistra), anche in profondità (avanti). L'introduzione di questa ulteriore asimmetria ha consentito di riportare l'apparecchio sul bordo della carreggiata, come la classica applicazione su palo diritto (vedi curva sopra riportata a destra con tratto continuo).

Nella scelta di apparecchi più efficienti rimane prioritaria la forma della curva sul piano $C0^\circ$ - $C180^\circ$. La curva ideale dovrebbe avere un'intensità luminosa verso il basso sufficiente, per ottenere il livello di illuminamento richiesto, poi ad angoli sempre più elevati l'intensità dovrà aumentare sempre più, infatti, è necessaria più luce mano a mano che aumenta la distanza tra la sorgente luminosa e la superficie, non dimenticando che l'inclinazione della luce aumenta sempre più incrementando ulteriormente la necessità di più luce. Verso inclinazioni di $+ o - 70^\circ$ è necessario che l'emissione della luce cessi. E' importante che crolli molto rapidamente, il cosiddetto taglio netto della luce, meglio conosciuto come cut-off. L'emissione di intensità luminose oltre tali angolazioni non è più efficace e può risultare controproducente per l'effetto di abbagliamento procurato verso gli osservatori.

La scelta del dell'apparecchio d'illuminazione che soddisfa le proprie esigenze

Come visto è fondamentale la scelta dell'apparecchio più performante mediante lo studio della sua curva fotometrica e mediante la verifica, a parità di condizioni di installazione, con i più comuni programmi di calcolo illuminotecnico più comuni.

Di fatto la scelta di un apparecchio sbagliato condiziona notevolmente l'installazione, obbligando a scelte progettuali che non permettono di rispettare le indicazioni della LR19/03. Di seguito sono riportati alcuni esempi che evidenziano scelte non idonee a soddisfare contemporaneamente le caratteristiche illuminotecniche richieste dall'impianto e dalla legge.

Un apparecchio ad alte prestazioni oltre a permettere elevate interdistanze fra un apparecchio e l'altro (che può arrivare talvolta sino a quasi 5 volte l'altezza del sostegno dell'apparecchio) riesce inoltre a "spingere" adeguatamente il flusso luminoso anche in direzione trasversale lungo il piano C-90 tale da permettere di illuminare adeguatamente l'intera larghezza della carreggiata. In figura 1 è riportato un apparecchio con le caratteristiche enunciate con apparecchio a vetro piano orizzontale (che permette di emettere una intensità luminosa massima di 0 cd/klm a 90° ed oltre) e fascio luminoso asimmetrico inclinato mediamente di 25 –30 gradi.

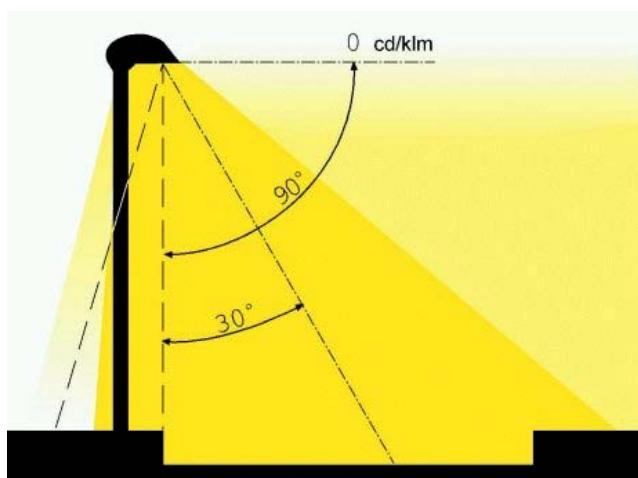


Fig.1 – Apparecchio che illumina adeguatamente tutta la carreggiata lungo la direzione trasversale dotato di fascio luminoso inclinato di 25-30°

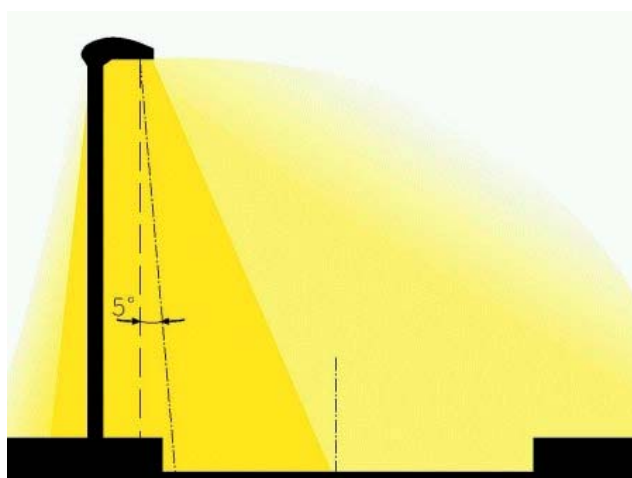


Fig.2 – La ridotta inclinazione del fascio luminoso non permette di spingere il fascio oltre metà della carreggiata.

Se quindi il l'apparecchio d'illuminazione ha una fotometria corretta e studiata ad alte prestazioni, è possibili alla stesso tempo soddisfare i requisiti minimi di sicurezza richiesti dalle norme tecniche, nel rispetto della LR19/03 e con interdistanze superiori a 4 volte l'altezza del sostegno.

Se invece il corpo illuminante è stato progettato con inclinazione del fascio (rispetto alla verticale) di pochi gradi, in figura 2 pari a 5°, e viene installato nelle stesse condizioni dell'apparecchio precedente, con vetro piano orizzontale, l'estensione trasversale del suo fascio luminoso a fatica riuscirà a lambire la parte opposta della carreggiata con il conseguente mancato rispetto delle norme tecniche di sicurezza.

Per sopperire a questi inconvenienti spesso si varia l'inclinazione dell'apparecchio d'illuminazione di valori sino a 25-30° ed oltre, per compensare la mancata inclinazione del fascio lungo la direzione trasversale.

In questo modo però, si veda la figura 3, il fascio luminoso viene inviato in parte verso la volta celeste contravvenendo a quanto disposto dalla LR19/03.

Per inclinare un fascio luminoso poco inclinato, taluni apparecchio sono già dotati di vetri di protezione piani inclinati rispetto al corpo illuminante se quest'ultimo è posto in posizione orizzontale. Questa situazione si verifica quando la curva fotometrica non è corretta. Anche in questo caso ovviamente l'intensità luminosa a 90° ed oltre diventa superiore a quella ammessa dalla LR19/03 (0cd/klm). Si veda figura 4.

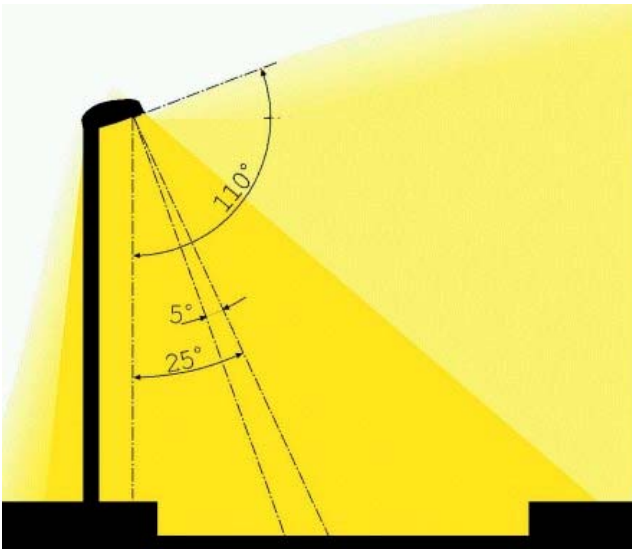


Fig.3 – Apparecchi con fasci poco inclinati vengono inclinati per aumentare l'uniformità trasversale. Installazione non corretta per la LR19/03 con luce inviata verso il cielo.

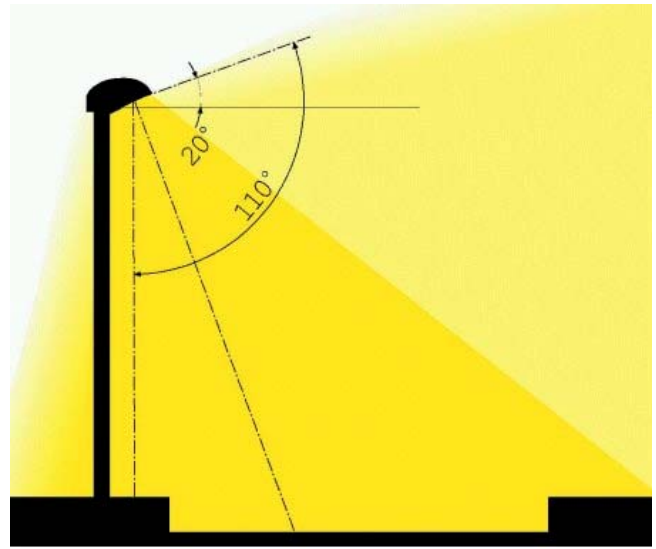


Fig.4 – Apparecchi orizzontali con vetro inclinato per inclinare il fascio luminoso e migliorare le prestazioni trasversali. Installazione non corretta per la LR19/03.

La situazione peggiora ulteriormente, figura 5, quando anche il sostegno o lo stesso corpo illuminante è inclinato. In tale situazione l'inclinazione del vetro piano si somma a quella del sostegno per incrementare l'angolo globale ed ovviamente la dispersione di luce verso il cielo.

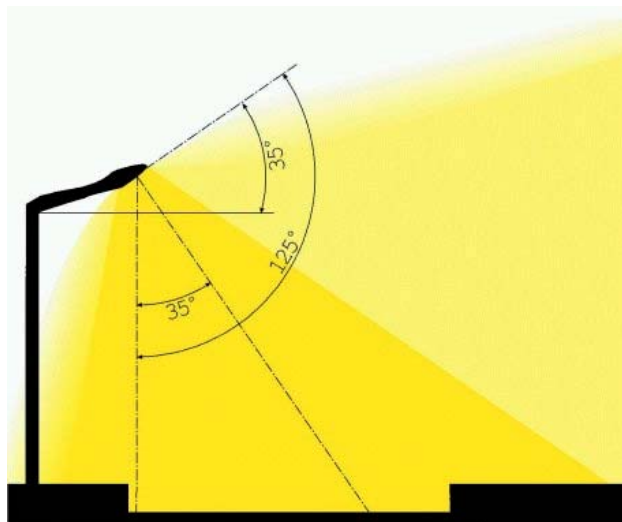


Fig.5 – Corpo con vetro piano inclinato posto su sostegno inclinato. Installazione scorretta.

Lampade e potenze installate

Non ci soffermeremo su un argomento che necessiterebbe anch'esso un ulteriore approfondimento, desideriamo però osservare alcune questioni di base che riteniamo di fondamentale importanza.

- Nuovi impianti: limitare al minimo le potenze installate ottimizzando potenze e interdistanze,
- Sostituzione di vecchi impianti: non incrementare le potenze esistenti e sostituire le sorgenti a mercurio con quelle al sodio ad alta pressione (che comporta notevoli risparmi) di potenza adeguata. Le lampade al mercurio continuano ad essere installate seppure siano a bassissima efficienza, e comportino notevoli incombenze ed un elevato onere per lo smaltimento.

VECCHIA LAMPADA		NUOVA LAMPADA	INCREMENTO DEL FLUSSO LUMINOSO	RISPARMIO INDICATIVO
80W Mercurio	SOSTITUIRE CON:	50W Sodio AP	- 6% (da 3600 a 3400 lumen)	60% (> se aumenta Interdistanza)
80W Mercurio		70W Sodio AP	+ 76% (da 3700 a 6500 lumen)	10% (> se aumenta Interdistanza)
125W Mercurio		70W Sodio AP	+ 5% (da 6200 a 6500 lumen)	70%
125W Mercurio		100W Sodio AP	+ 61% (da 6200 a 10000 lumen)	25% (> se aumenta Interdistanza)