

PER PROGETTISTI ELETTRICI

PRIMA EDIZIONE — APRILE 2026



GUIDA AL

CALCOLO

ILLUMINO

TECNICO

per ambienti interni

Metodo Flusso Totale

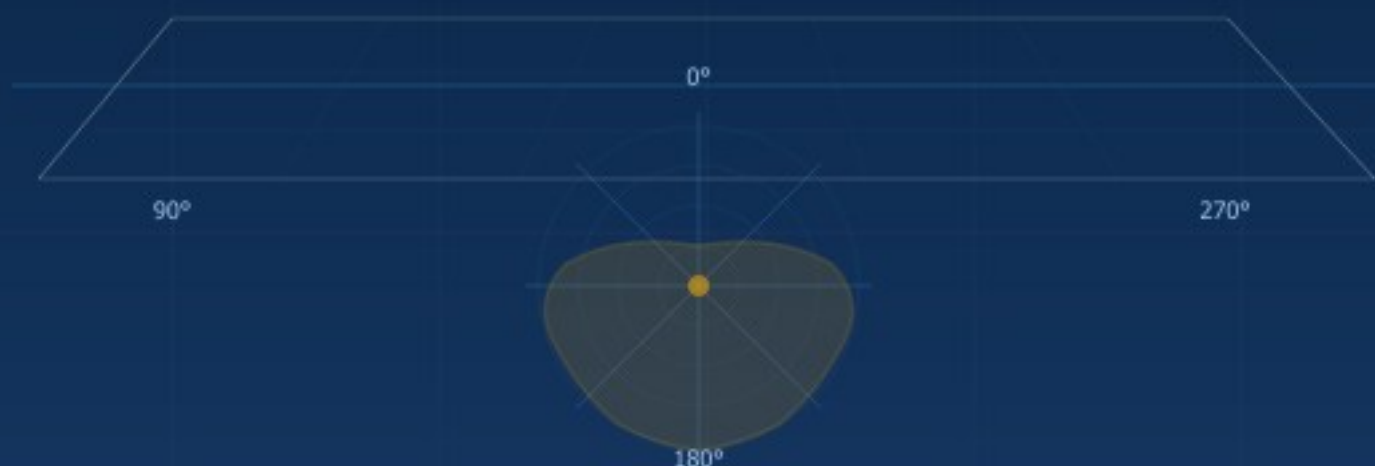


Metodo Punto a Punto

◆ Normativa UNI EN 12464-1:2021

◆ Esempi numerici completi

◆ Tabelle di calcolo



Curva Fotometrica (diagramma polare)

RM

autore

Mondo Rocco Massimiliano

Guida Tecnica per Professionisti
Prima Edizione | Aprile 2026

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

UNI EN 12464-1:2021
CEI 64-8 | D.Lgs. 81/2008
CIE 117 | IEC 60598-1

GUIDA AL CALCOLO ILLUMINOTECNICO

per ambienti interni

Metodo del Flusso Totale · Metodo Punto a Punto

UNI EN 12464-1:2021 | CEI 64-8:2021 | IEC 60598-1:2020

Mondo Rocco Massimiliano

Revisione Aprile 2026

Il calcolo illuminotecnico

Introduzione

Durante la fase pre-progettuale e progettuale in generale, uno dei primi step di lavoro che viene affrontato è quello della definizione dei carichi coinvolti nel progetto, così da definire (anche se in forma non definitiva) la potenza installata globale e conseguentemente poter dimensionare le linee elettriche principali e secondarie.

Quindi, se ad esempio stiamo lavorando ad un nuovo progetto elettrico si stabiliranno le varie utenze e relativi assorbimenti di potenza. Alcuni carichi possono essere identificati in modo diretto, pensate ad un motore da 1,5 cavalli il cui assorbimento in watt (a regime di lavoro) corrisponde a circa 11 kW ($1 \text{ CV} = 0,735 \text{ kW}$)

Si possono rilevare anche gli assorbimenti di stufe elettriche (utenza puramente resistiva) o di prese elettriche da 10 A ($10 \text{ A} \times 230 \text{ Volt} = 2.300 \text{ Watt}$). Esistono poi dei carichi che non possono essere rilevati o calcolati direttamente, ma per ottenerli dobbiamo procedere attraverso una vera e propria elaborazione di calcolo un po' più complessa: questo è il caso del dimensionamento illuminotecnico.

In qualsivoglia progetto, industriale o civile che sia, nel 95% dei casi è obbligatorio sviluppare un dimensionamento illuminotecnico, ossia stabilire in che modo dobbiamo illuminare gli ambienti interi e/o esterni. In questa guida tratteremo il calcolo illuminotecnico per interni che ci permetterà di stabilire quanti corpi illuminanti dobbiamo usare, come installarli e che potenza devono avere per produrre l'illuminazione desiderata. Alla fine del calcolo avremo a disposizione non solo una mappa di dislocazione dei punti di illuminazione (punti luce), ma anche della potenza singola e complessiva che andrà considerata nel progetto in funzione della quantità e delle tipologie dei corpi illuminanti installati.

Ecco perché è importante avere una conoscenza del processo del calcolo illuminotecnico.

In linea generale esistono due metodologie per effettuare il calcolo illuminotecnico per ambienti interni. Il primo è chiamato metodo del ***“flusso totale”*** o ***“metodo del fattore di utilizzo”*** particolarmente usato per il ***pre-dimensionamento*** o per la ***stima dell'illuminamento medio***.

Questo metodo molto apprezzato per la sua semplicità applicativa fornisce solo un valore di ***illuminamento medio e non tiene conto della distribuzione puntuale della luce***.

Il secondo metodo chiamato “Punto a Punto” viene usato per una progettazione più dettagliata e per la verifica di parametri essenziali come ***l'uniformità dell'illuminamento*** e ***l'abbagliamento*** (ad esempio, con il valore UGR - Unified Glare Rating).

Per poter realizzare i calcoli con il metodo punto a punto (o metodo integrale) è necessario il supporto di specifici software che utilizzano metodi avanzati (spesso basati sul ray tracing) per fornire risultati accurati e visualizzazioni 3D, essenziali per rispettare le normative vigenti (come la ***UNI EN 12464-1 per gli interni***).

Ho scelto di trattare i due metodi perché durante l'iter progettuale possono essere utili entrambi, uno per la fase un pre-progetto veloce, l'altro per progetti più dettagliati e finiti.

Ritornando alla definizione dei carichi è chiaro che una volta definite le quantità e le tipologie dei corpi illuminanti necessari, siamo nella possibilità di stabilire anche il carico parziale dei singoli ambienti e quello complessivo di tutti gli ambienti che concorrono nel progetto.

Alcune nozioni di base per affrontare il calcolo

Elementi di illuminotecnica

2.1 Spettro elettromagnetico e luce visibile

La luce visibile è una radiazione elettromagnetica con lunghezze d'onda comprese tra 380 nm (violetto) e 780 nm (rosso). L'occhio umano percepisce queste radiazioni con sensibilità variabile, raggiungendo il picco massimo a 555 nm (giallo-verde) nella visione diurna (curva fotopica).

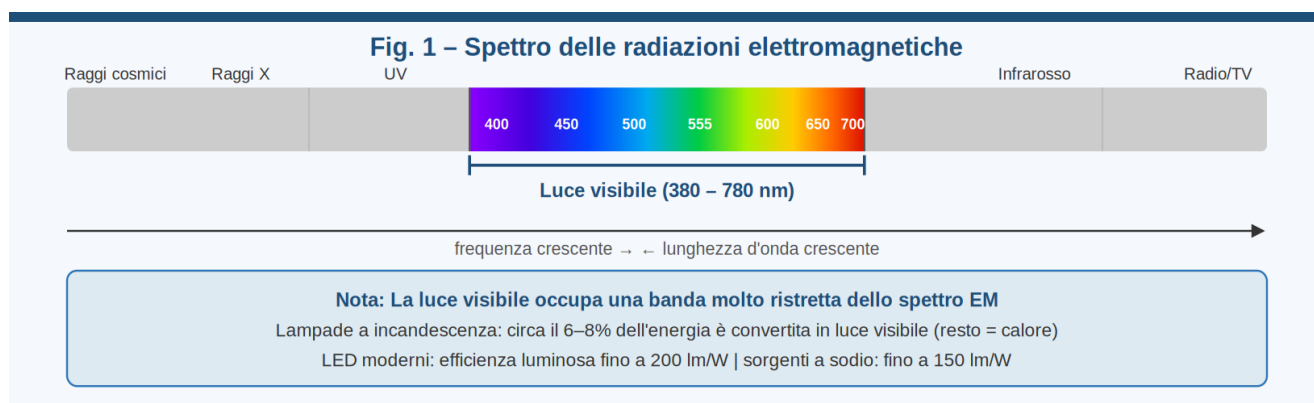


Fig. 1 Spettro delle radiazioni elettromagnetiche – la luce visibile occupa una banda ristretta tra 380 e 780 nm.

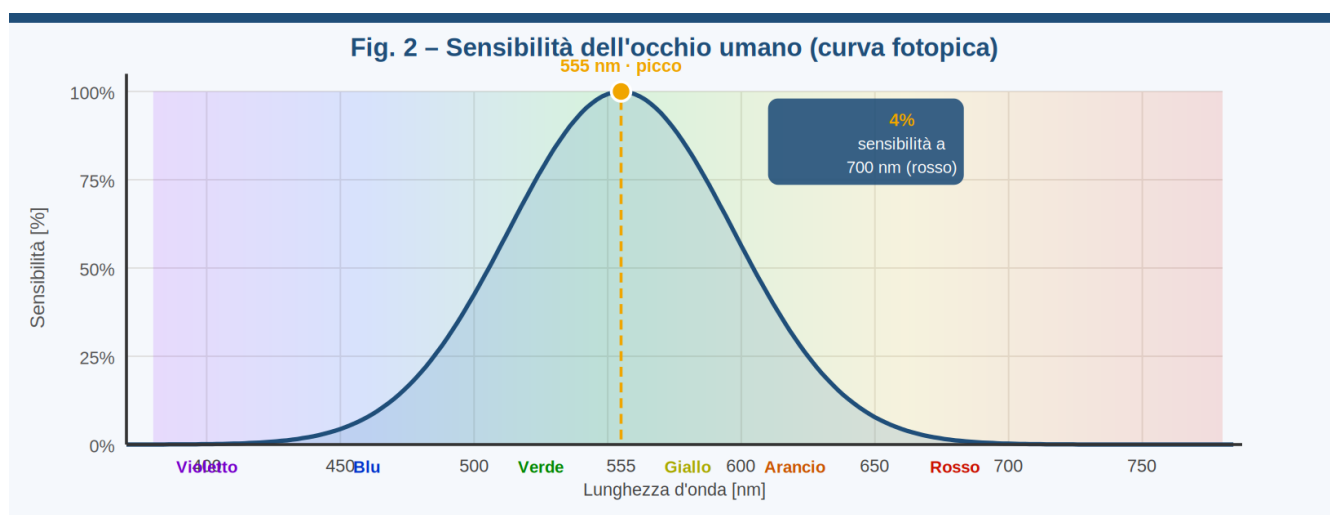


Fig. 2 Curva fotopica CIE – sensibilità dell'occhio umano. Il picco è a 555 nm (verde-giallo).

2.2 Grandezze fotometriche fondamentali

La tabella seguente riassume le principali grandezze fotometriche utilizzate nel calcolo illuminotecnico.

Simb	Grandezza	Definizione	Formule	Unità di misura
Φ	Flusso luminoso	Quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo		[lm] lumen
I	Intensità luminosa	Flusso emesso in una determinata direzione angolare	$I = \phi / \omega = \text{candela [cd]}$	[cd] candela
E	Illuminamento	Flusso luminoso per unità di superficie ricevente		[lx] lux
L	Luminanza	Intensità luminosa per unità di area apparente della sorgente		[cd/m ²]
η	Efficienza luminosa	Rapporto tra flusso emesso e potenza elettrica assorbita	$E = \frac{\phi}{S} = \text{lux [Lx]}$	[lm/W]

2.3 Temperatura e resa cromatica

La temperatura di colore (espressa in **Kelvin**) descrive la tonalità della luce emessa dalla sorgente. Il **CRI** (Colour Rendering Index, o Ra) quantifica invece la fedeltà con cui la luce riproduce i colori degli oggetti.

Temp. colore [K]	Categoria	Applicazioni tipiche
2700 – 3000	Warm White (WW)	Residenziale, hotel, ristoranti, illuminazione d'accento
3000 – 3500	White (W)	Negozi, hall, atrii, uffici direzionali
3500 – 4000	Neutral White (NW)	Uffici standard, scuole, ospedali
5000 – 6500	Cool White / Daylight	Laboratori, reparti industriali, chirurgia, aule da disegno

CRI / Ra

Ra ≥ 80 è il requisito minimo per la maggior parte degli ambienti di lavoro (UNI EN 12464-1). Ra ≥ 90 è richiesto per attività di ispezione colori, tipografia e sale operatorie.

2.4 Tecnologie di sorgente luminosa

Ho racchiuso in un solo grafico le diverse tecnologie di illuminazione oggi disponibili sul mercato. Il grafico parla di efficienza riferita alle diverse tipologie e alle diverse potenze. Per ulteriori informazioni vi indirizzo verso i manuali specifici dei produttori che spesso sono ricchi di informazioni specifiche.

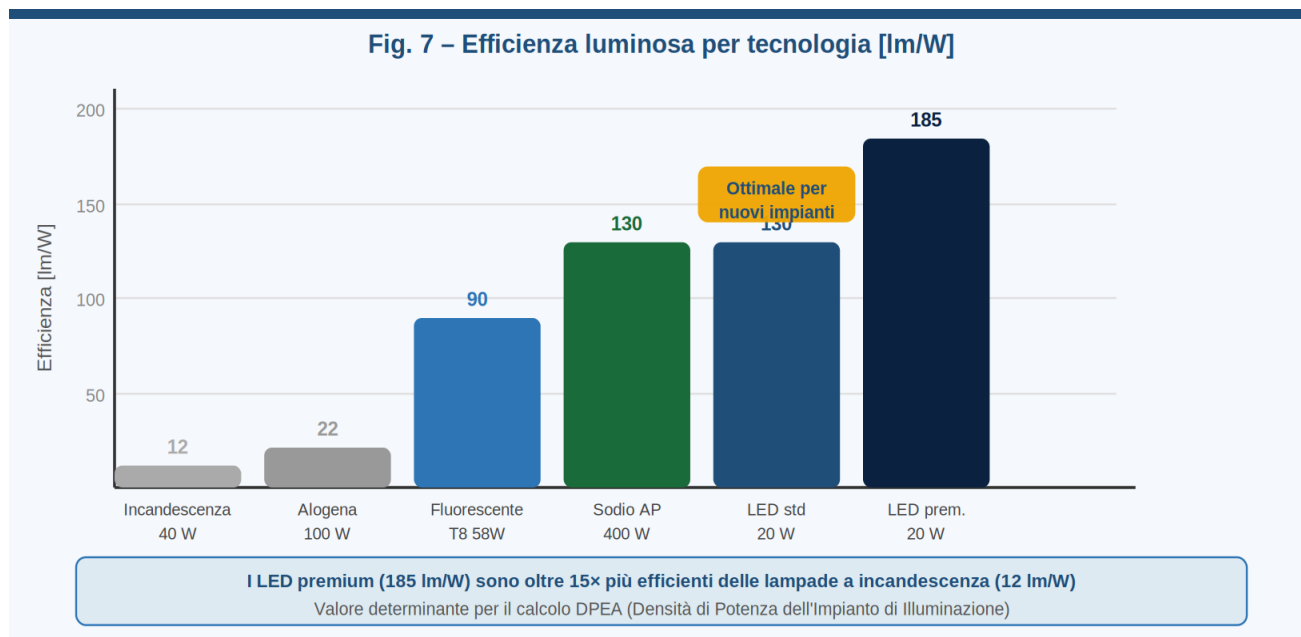


Fig. 3 Confronto dell'efficienza luminosa [lm/W] per tecnologia – i LED premium raggiungono oltre 185 lm/W.

2.5 Distribuzione fotometrica e curva fotometrica

La distribuzione fotometrica descrive come un apparecchio illuminante distribuisce il flusso luminoso nello spazio. Il diagramma polare (o curva fotometrica) ne è la rappresentazione grafica: ogni punto della curva indica l'intensità luminosa I espressa in candele [cd] nella direzione corrispondente.

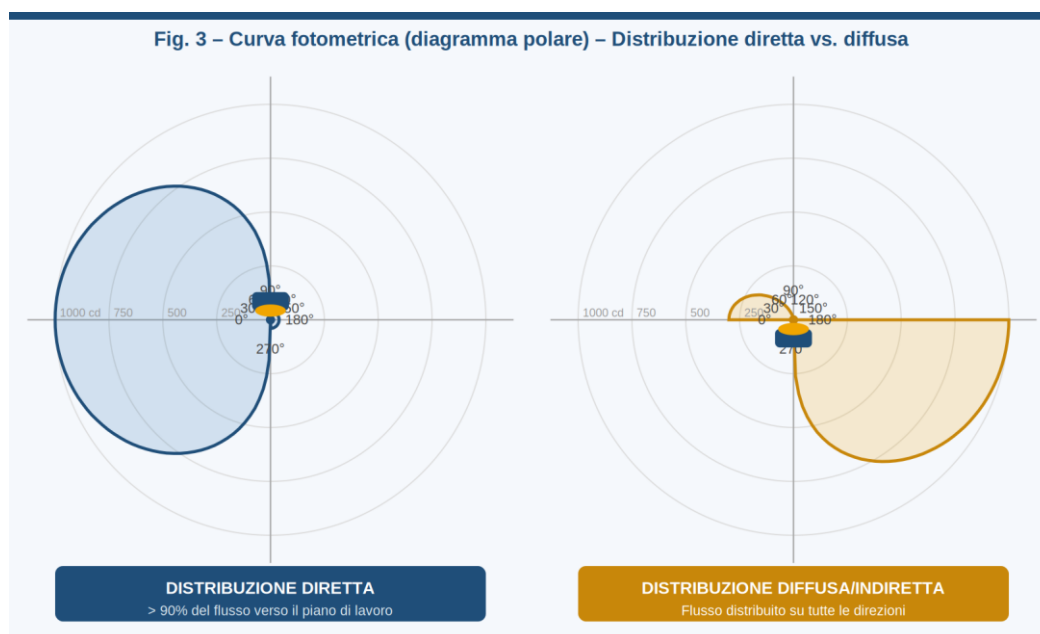


Fig. 4 Diagramma polare a confronto: distribuzione diretta (sinistra) vs. diffusa/indiretta (destra).

La classificazione **CIE** distingue le distribuzioni in base alla percentuale di flusso emessa verso il basso (emisfero inferiore) e verso l'alto (emisfero superiore):

- **Diretta (> 90% verso il basso):** Uffici open space, industria, parcheggi.
- **Prevalentemente diretta (60–90% verso il basso):** Uffici standard, aule scolastiche.
- **Mista (40–60% per emisfero):** Hall, corridoi, spazi di rappresentanza.
- **Prevalentemente indiretta (60–90% verso l'alto):** Uffici di lusso, musei.
- **Indiretta (> 90% verso l'alto):** Locali con soffitto chiaro come superficie riflettente.

Nota

L'illuminotecnica applicata agli ambienti di lavoro interni si basa su normative tecniche che definiscono i requisiti minimi di qualità e quantità della luce per garantire il benessere visivo, la sicurezza e la produttività dei lavoratori.

*La **CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)** è l'organismo internazionale di riferimento che stabilisce queste linee guida, le quali vengono poi recepite nelle norme europee (EN) e italiane (UNI), in particolare la **UNI EN 12464-1**.*

Il calcolo per interni con il metodo del flusso totale

In questo paragrafo vedremo come realizzare un calcolo illuminotecnico per interni con il metodo del flusso totale (detto anche metodo dei flussi medi) permette di calcolare il numero di lampade ***nL*** necessarie per ottenere un illuminamento medio ***Em*** prescritto su tutta la superficie ***S*** del piano di lavoro. Seguiremo un tipico flusso di lavoro che ci verrebbe richiesto in un comunissimo progetto elettrico.

La prima cosa da stabilire è il tipo di ***ambiente*** da illuminare, dobbiamo conoscere il luogo e il tipo di attività che si svolgerà nell'ambiente. Stabilito questo, ricaviamo dalla tabella ***UNI 12464*** tre parametri basilari che ci permettono di inizializzare il calcolo, ***l'illuminamento, l'indice di resa cromatica *r* e l'indice di abbagliamento unificato UGR.***

Questi valori sono essenziali per stabilire quantità e qualità della luce all'interno dell'ambiente.

3.1 Tabella UNI EN 12464-1 – Requisiti di illuminamento

La norma UNI EN 12464-1:2021 definisce, per ogni tipologia di ambiente e di attività, i valori minimi di illuminamento medio ***Em***, di resa cromatica ***Ra*** e di indice di abbagliamento unificato ***UGR***.

Tipo di ambiente / attività	Em [lx]	Ra min	UGR max
Aree di transizione, corridoi, depositi	100	40	28
Uffici – lavoro generale al VDT	500	80	19
Sale riunioni, sale conferenze	500	80	19
Reception, front office	300	80	22
Aule scolastiche	300	80	19
Aula da disegno tecnico	750	80	16
Laboratori scientifici	500	80	19
Reparti industriali – lavoro di precisione	750	80	16
Reparti industriali – assemblaggio medio	300	80	22
Ispezione colori, tipografie	1000	90	16
Ospedali – sale d'attesa	200	80	22
Ospedali – reparti degenza	100	80	19
Sale operatorie	1000	90	19

Biblioteche – scaffali	200	80	19
Biblioteche – sale lettura	500	80	19
Magazzini – corsia principale	150	60	22
Parcheggi coperti	75	40	28

I valori riportati in tabella sono una sintesi di quelli che potete trovare nella norma UNI EN 12464-1:2021. Per una visione completa su specifici ambienti, consiglio vivamente di riferirsi alla stessa norma.

3.2 Schema geometrico del locale e quote H / h

Per poter procedere al calcolo vero e proprio e poter posizionare nel modo corretto la giusta quantità di **corpi illuminanti** (per corpo illuminante si intende la struttura che contiene un certo numero di lampade) necessitiamo di altri parametri che riguardano la **conformazione** fisica del locale da illuminare. In particolare dobbiamo determinare l'indice **k del locale**.

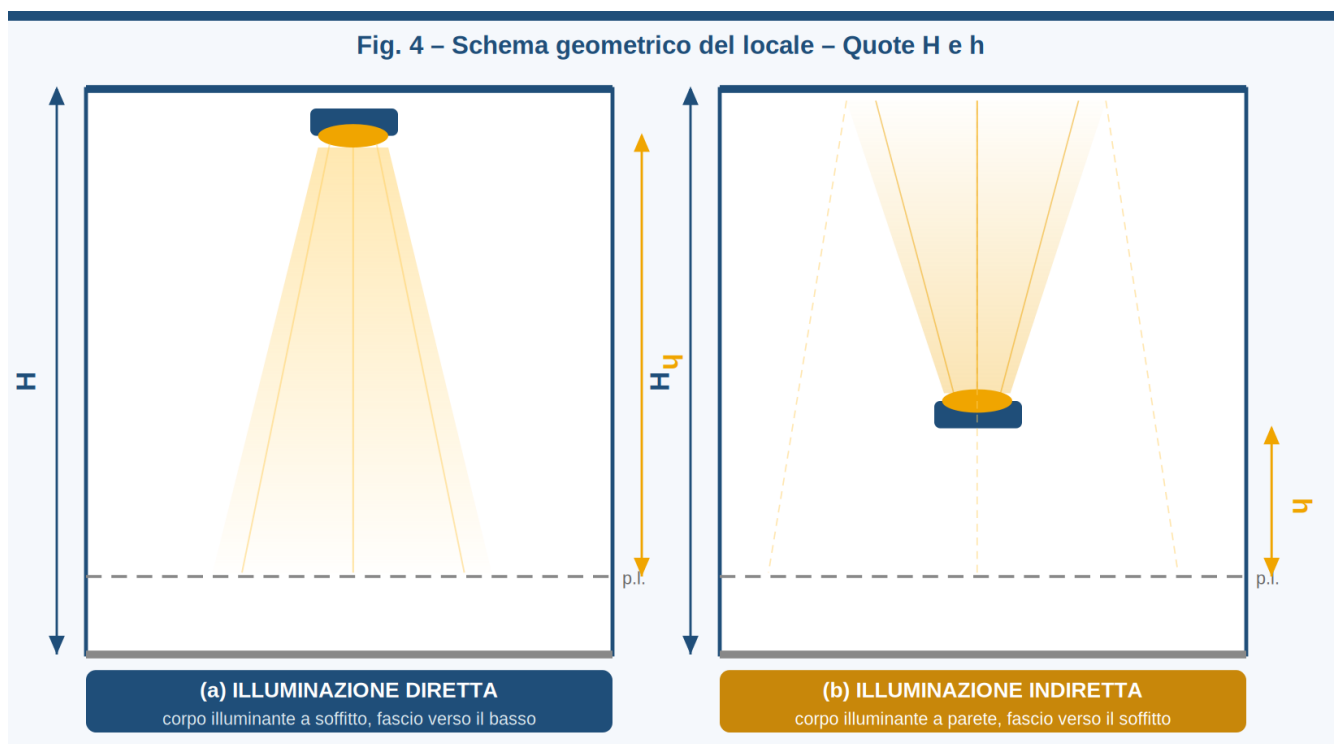


Fig. 5 Schema geometrico del locale: (a) illuminazione diretta; (b) illuminazione indiretta. H = altezza totale; h = altezza lampada–piano di lavoro.

3.3 Indice del locale k

L'indice k (o IL) del locale è un parametro adimensionale che sintetizza la geometria del locale in relazione all'altezza utile di installazione degli apparecchi. È la grandezza-chiave per la lettura del coefficiente di utilizzazione u nelle tabelle del costruttore.

Calcolo del coefficiente k valido per l'illuminazione diretta, semidiretta e indiretta.

$$k = \frac{a * b}{h_u(a + b)}$$

Quindi i dati da reperire sono:

- **Larghezza** del locale (a) [m];
- **Lunghezza** del locale (b) [m];
- **Altezza** del locale (H) [m];
- **Superficie** complessiva del locale (S_l) [m²];
- **Altezza di posa del corpo illuminante** rispetto al piano di lavoro (h_u) [m];
- **Altezza del piano di lavoro** (h_{pl}) [m];

Il flusso di luce che arriverà effettivamente sul piano di lavoro (h_{pl}) dipende, oltre che dalla tipologia del corpo illuminante e dalle lampade, anche dal valore cromatico delle pareti del locale in esame (cioè dall'incidenza di riflessione delle pareti e del soffitto del locale in esame).

3.4 Coefficiente di riflessione delle pareti interne del locale

Di seguito viene riportata una tabella che raccoglie i fattori di riflessione dei locali:

Gruppi di colori	Esempi	Fattore di riflessione della luce
Colori molto chiari	Grigio chiaro, bianco,	70%
Colori Chiari	Giallo chiaro, verde chiaro, azzurro chiaro, tinte chiare	50%
Colori scuri	Verde, rosso, azzurro, arancio, tinte piene	30%
Colori molto scuri	Marrone, grigio scuro, nero	10%

Questi ultimi due parametri, il coefficiente del locale (k) e l'indice di riflessione delle pareti e del soffitto insieme alla tipologia di corpo illuminante che abbiamo già scelto, ci permettono di rilevare, attraverso una tabella, il **coefficiente di utilizzazione u** .

3.5 Coefficiente di utilizzazione u

Il coefficiente di utilizzazione u esprime la quota parte del flusso totale emesso dalla lampada che effettivamente raggiunge il piano di lavoro. Dipende dall'indice k , dai coefficienti di riflessione del soffitto (ρ_c), delle pareti (ρ_w) e dal tipo di distribuzione fotometrica dell'apparecchio. Tabella coefficienti " u ":

Tipologia di diffusione	Indice K	Indice riflесс.	Soffitto							
			70%			50%			30%	
			Pareti							
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
Mista	0.50-0.70	0.26	0.22	0.18	0.26	0.20	0.18	0.20	0.17	
	0.70-0.90	0.34	0.28	0.25	0.33	0.26	0.24	0.26	0.24	
	0.90-1.10	0.39	0.33	0.30	0.37	0.31	0.28	0.30	0.26	
	1.10-1.40	0.45	0.38	0.33	0.40	0.35	0.32	0.33	0.30	
	1.40-1.70	0.49	0.41	0.36	0.43	0.39	0.34	0.37	0.33	
	1.70-2.20	0.58	0.50	0.44	0.49	0.44	0.40	0.42	0.38	
	2.20-2.75	0.60	0.55	0.50	0.53	0.48	0.44	0.47	0.44	
	2.75-3.50	0.64	0.58	0.54	0.56	0.51	0.47	0.50	0.47	
	3.50-4.45	0.68	0.62	0.59	0.61	0.56	0.53	0.54	0.52	
	4.45-6.50	0.70	0.65	0.62	0.65	0.62	0.60	0.58	0.57	
Semi diretta	0.50-0.70	0.38	0.32	0.28	0.37	0.32	0.28	0.31	0.27	
	0.70-0.90	0.46	0.42	0.38	0.46	0.41	0.38	0.41	0.38	
	0.90-1.10	0.50	0.46	0.43	0.50	0.48	0.43	0.46	0.43	
	1.10-1.40	0.54	0.50	0.48	0.53	0.50	0.47	0.49	0.47	
	1.40-1.70	0.58	0.54	0.51	0.56	0.53	0.50	0.52	0.50	
	1.70-2.20	0.62	0.59	0.56	0.60	0.58	0.56	0.58	0.56	
	2.20-2.75	0.67	0.64	0.61	0,65	0.63	0.61	0.62	0.61	
	2.75-3.50	0.69	0.66	0.63	0.67	0.65	0.53	0.64	0.63	
	3.50-4.45	0.72	0.70	0.67	0.70	0.68	0.66	0.67	0.66	
	4.45-6.50	0.74	0.71	0.69	0.72	0.70	0.69	0.69	0.67	
Diretta	0.50-0.70	0.26	0.23	0.21	0.23	0.21	0.19	0.19	0.17	
	0.70-0.90	0.32	0,29	0.27	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	
	0.90-1.10	0.37	0.33	0.31	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	
	1.10-1.40	0.40	0.36	0.34	0.34	0.31	0.30	0.28	0,26	
	1.40-1.70	0.42	0.39	0.36	0.36	0.33	0.32	0.30	0.28	
	1.70-2.20	0.45	0.43	0.40	0.40	0.38	0.35	0.32	0.30	
	2.20-2.75	0.49	0.45	0.43	0.43	0.40	0.39	0.34	0.33	
	2.75-3.50	0.52	0.48	0.45	0.45	0.44	0.41	0.37	0.36	
	3.50-4.45	0.55	0.52	0.48	0.49	0.46	0.45	0.39	0.38	
	4.45-6.50	0.57	0.54	0,52	0.51	0.48	0.46	0.42	0.41	

Nota: I valori esatti di u si ricavano dalle tavole fotometriche del singolo apparecchio illuminante fornite dal costruttore. La tabella sopra riporta valori indicativi medi per orientamento progettuale.

3.6 Fattore di manutenzione “m”

Prima di procedere al calcolo della distanza dei corpi illuminanti, dobbiamo definire un parametro molto importante che fa parte della formula per la definizione della inter-distanza **d** tra i corpi illuminanti e tra questi e le pareti del locale, si tratta del fattore di manutenzione **m** (o **fattore di manutenzione**) tiene conto del degrado delle prestazioni luminose nel tempo, dovuto all'invecchiamento delle lampade e all'accumulo di sporco sugli apparecchi e sulle superfici del locale.

Nella tabella sottostante vengono riportati dei valori che prendono in considerazione il tipo di ambiente e il periodo di manutenzione consigliata.

Tipo di ambiente	Fattore di manutenzione m	Pulizia consigliata
Ambienti puliti (uffici, aule, negozi)	0.80 – 0.90	ogni 12–18 mesi
Ambienti medi (laboratori, ospedali)	0.70 – 0.80	ogni 6–12 mesi
Ambienti polverosi (officine leggere)	0.60 – 0.70	ogni 3–6 mesi
Ambienti molto sporchi (fonderie, ecc.)	0.55 – 0.60	ogni 1–3 mesi

3.7 Distanza tra i corpi illuminanti

Una volta calcolato il numero di apparecchi **nL**, è necessario disporli in modo tale da garantire una distribuzione uniforme dell'illuminamento. La norma UNI EN 12464-1 suggerisce che:

La **distanza “D”** fra i corpi illuminanti, sebbene spesso fornita dagli stessi costruttori, di solito viene calcolata con una certa approssimazione a 1,5 volte la distanza fra i corpi illuminanti e il piano di lavoro

$$D = 1,5 \times h_u$$

Mentre la **distanza “d”** del corpo illuminante dalle pareti vale:

$$d = D/2$$

Ogni lampada quindi agisce su una **superficie SI** pari a:

$$SI = D^2$$

Adesso possiamo anche calcolare il flusso totale ϕ

$$\phi = \frac{E_m * S_L}{(u * m)}$$

dove “m” è il **coefficiente di degrado del corpo illuminante** che rappresenta la mancata efficienza del corpo steso dovuta a fattori come sporcizia, polvere etc, che si presentano col trascorrere del tempo.

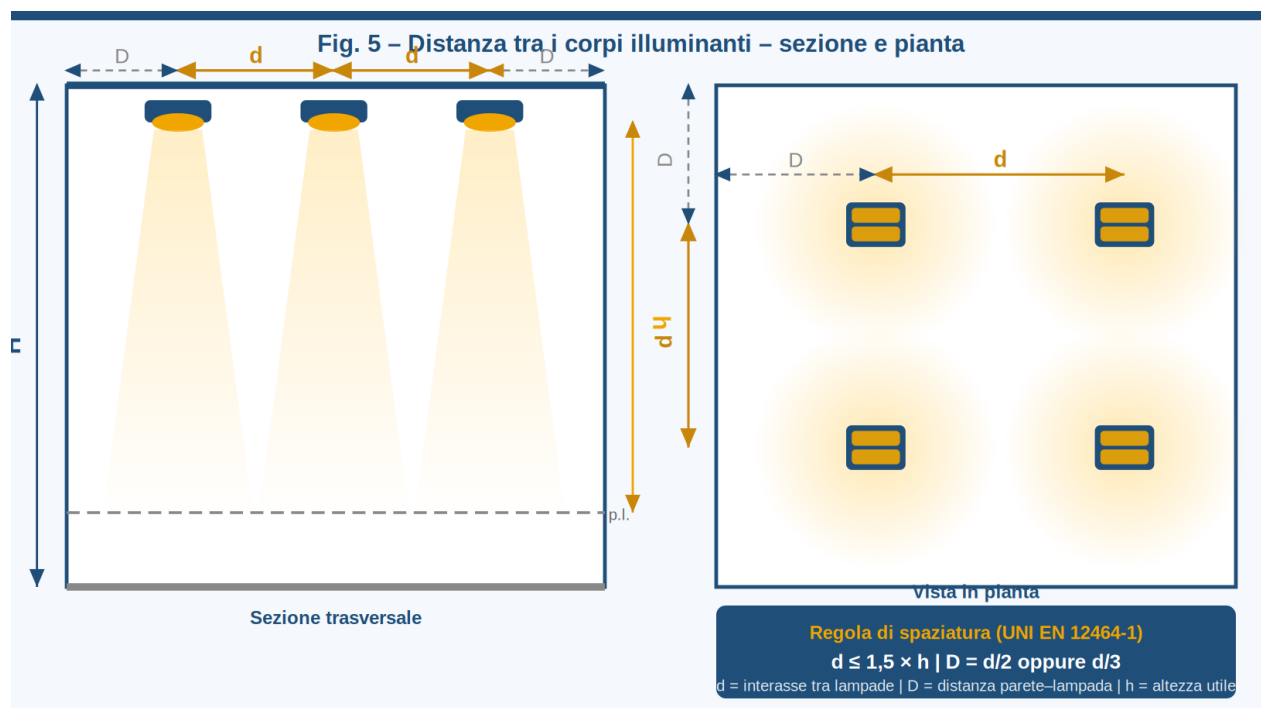


Fig. 6 Distanza tra i corpi illuminanti: sezione trasversale (sin.) e vista in pianta (des.). d = interasse; D = distanza parete-lampada.

Regola del passo massimo (UNI EN 12464-1)

$d \leq 1,5 \times h \mid D = d/2$ (oppure $d/3$ per fasci stretti)

3.8 Conclusione e verifica

Il processo di calcolo è arrivato alla sua conclusione, abbiamo ottenuto tutti i dati che ci servivano per il nostro progetto, ma possiamo fare ancora un piccolo sforzo per renderlo più preciso e coerente con l'esigenza dell'utenza, possiamo infatti verificare l'uniformità dell'illuminamento medio sul piano di lavoro attraverso la seguente relazione:

$$\frac{E_{min}}{E_{max}} \geq 0,7$$

Dove:

- E_{max} rappresenta il massimo valore di illuminamento, ottenuto sulla perpendicolare della lampada;
- E_{min} rappresenta il valore minimo ottenuto nelle zone meno illuminate, come ad esempio nella zona perimetrale del locale tra un corpo illuminante ed un altro.

Il flusso della lampada dovrà essere almeno uguale a quello calcolato.

A questo punto del calcolo, avendo già definito tutti i parametri ed effettuato tutte le verifiche, possiamo passare al calcolo del numero di lampade e di corpi illuminanti che dobbiamo effettivamente installare, determinando così le singole potenze dei corpi illuminanti e quella totale richiesta nel suo complesso per il locale in esame.

$$n_L \frac{E_m * S}{u * m * \phi_L}$$

Dove ϕ_L è il flusso della singola lampada

Per la scelta delle lampade e delle loro caratteristiche si deve far riferimento ai cataloghi dei costruttori. Per un riscontro rapido, sotto viene riportata una tabella che estrapola valori medi di corpi illuminanti generici.

Alcuni tipi di lampade

Lampada	Potenza [W]	Flusso luminoso [lm]
Fluorescente	9	650
Fluorescente	11	950
Fluorescente	18	1.350
Fluorescente	36	3.350
Fluorescente	58	5.200
Alogena	60	850
Alogena	100	1.600
Alogena	150	2.450
Alogena	200	3.400
Alogena	300	5.150
Incandescenza	60	700
Incandescenza	100	1.350
Alogena metallica	100	8.200
Alogena metallica	150	12.600

3.8 Esempio numerico completo – Ufficio open space

Dalle planimetrie di progetto possiamo vedere chiaramente che ci sono diverse tipologie di ambienti da dover trattare, supponiamo che uno di questi abbia le seguenti caratteristiche:

Dati base:

- **Locale** 10 × 20 m, H = 3,2 m, piano di lavoro a 0,80 [m]
- **E_m** = 500 [lx] (ufficio, UNI EN 12464-1)
- **Apparecchio** pannello LED 48 [W], 4800 [lm], T = 4000 [K], Ra ≥ 80
- **Soffitto** bianco (ρ = 70%)
- **Pareti** chiare (ρ = 50%)
- **Pavimento** medio (ρ = 20%).
- Ambiente pulito

Adesso calcoliamo i seguenti parametri:

- **Superficie S** = $10 \times 20 = 200$ [m²]
- **Altezza utile h_u** = $3,2 - 0,80 = 2,4$ [m]
- **Indice del locale k** = $(10 \times 20) / [2,4 \times (10 + 20)] = 200 / 72 = 2,78$
- **Coeff. utilizzaz. u** = 0,58 (dalle tabelle, k ≈ 2,78, soffitto 70%, pareti 50%)
- **Manutenzione m** = 0,80 (ambiente pulito, pulizia annuale)
- **Numero lampade nL** = $(500 \times 200) / (0,58 \times 0,80 \times 4800) = 100000 / 2227 = 44,9 \rightarrow$
→ 45 lampade
- **Disposizione** = 45 corpi → 5 file x 9 colonne; passo d = $20/9 = 2,2$ [m]
- **Verifica** = $2,2 \leq 1,5 \times 2,4 = 3,6$ [m]
- **Potenza P_{tot}** = 45×48 [W] = 2 160 [W]
- **DPEA:** = $2160 / 200 = 10,8$ [W/m²]
(limite EN 12464-1 per uffici: ≤ 14 [W/m²] ✓)

Il calcolo per interni con il metodo punto-punto

Il metodo puntuale si basa sulla **Legge Fondamentale della Fotometria** (Legge del Quadrato della Distanza) e sulla **Legge del Coseno** (Legge di Lambert). È essenziale per verificare l'uniformità dell'illuminamento e per enfatizzare la luminosità su oggetti o aree specifiche.

4.1 Geometria del calcolo

Il metodo consente di calcolare l'illuminamento in un qualsiasi punto **P** del piano di lavoro, nota la distribuzione fotometrica dell'apparecchio illuminante. È il metodo analitico adottato dai software professionali di simulazione e permette di verificare l'uniformità della distribuzione luminosa.

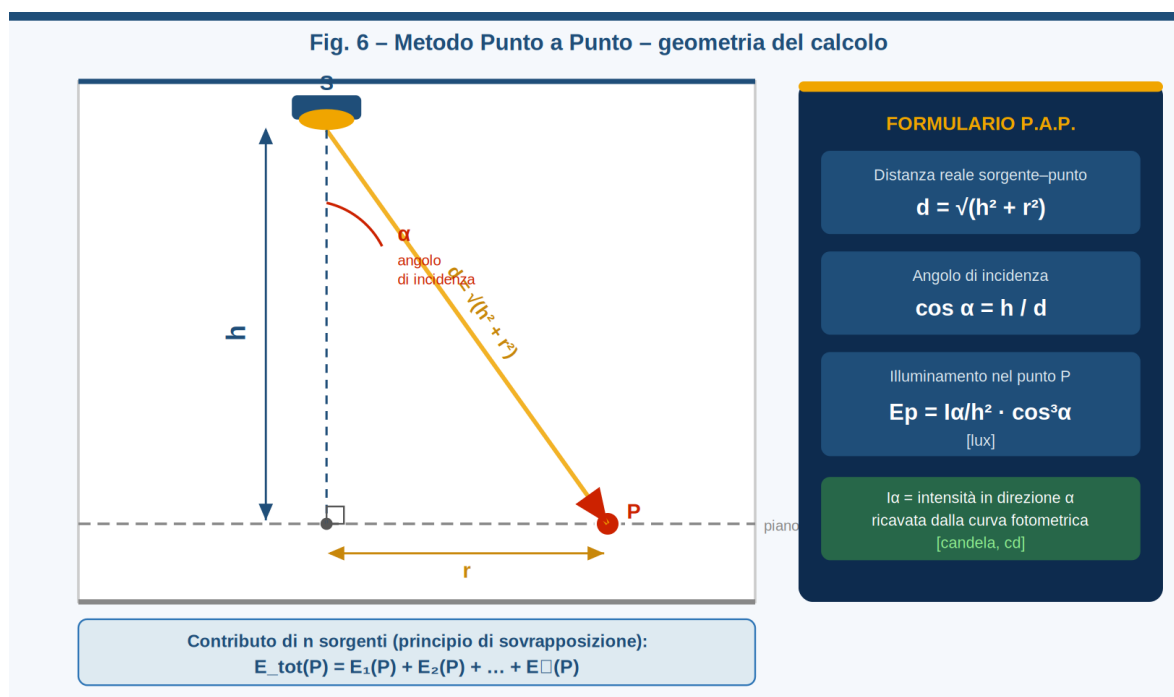


Fig. 7 Geometria del Metodo Punto a Punto: S = sorgente; P = punto da illuminare; h = altezza utile; r = distanza orizzontale; d = distanza reale; α = angolo di incidenza.

4.2 Il calcolo passo-passo

Partiamo dalla fase principale: analisi della sorgente (Il solido fotometrico)

Per poter calcolare l'**illuminamento** è necessario conoscere l'**intensità luminosa** (I) della lampada in una specifica direzione. Per fare questo bisogna:

- Consultare il **diagramma polare** (o un file IES/LTD)
- Individuare l'**angolo** α tra l'asse della lampada e il **punto P** di nostro interesse
- Ricavare il valore di I (espresso in candele, cd) per quell'angolo specifico

La seconda fase riguarda la **definizione della geometria del sistema**. Dobbiamo determinare la **distanza** d e l'**angolo di incidenza** α . Solitamente conosciamo l'altezza di installa installazione (h) e la distanza orizzontale (r) del punto dalla proiezione della lampada a terra.

Calcoliamo la distanza d :

$$d = \sqrt{h^2 + r^2}$$

Il $\cos \alpha = \frac{h}{d}$; da cui scaturisce la formula per il calcolo della E_p :

$$E_p = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3(\alpha) \quad [F1]$$

Le grandezze sono:

- $I_\alpha [cd]$: intensità luminosa della sorgente nella direzione α (dalla curva fotometrica)
- $h [m]$: altezza della sorgente rispetto al piano di lavoro
- $\alpha [^\circ]$: angolo di incidenza = angolo tra la verticale e la direzione $S \rightarrow P$
- $d = \sqrt{(h^2 + r^2)} [m]$: distanza reale sorgente–punto
- $\cos \alpha = h/d [-]$: coseno dell'angolo di incidenza

La formula **F1** ci permette di calcolare la **componente diretta** della sorgente, questa deve essere calcolata per ogni sorgente luminosa che “vede” il punto **P**. Se nel locale ci sono 3 faretti, l'**illuminamento diretto totale** sarà dato dalla somma dei singoli contributi:

$$E_{p(tot)} = E_1(P) + E_2(P) + \dots + E_n(P) = \sum_1^n E_n(P)$$

Oltre alla componente diretta bisogna tener conto anche della **componente indiretta** ovvero del **fenomeno della riflessione**. Infatti negli ambienti interni, la luce non arriva solo direttamente dalla lampada, ma anche riflessa da pareti e soffitto.

Il metodo puntuale puro calcola solo la luce diretta. Quindi per poter ottenere un risultato ottimale bisognerebbe aggiungere la componente riflessa (spesso calcolata con algoritmi di “**radiosity**” dai software).

4.3 La verifica

Una volta ottenuti i valori in vari punti, il progettista deve verificare due parametri fondamentali richiesti dalle normative (es. UNI EN 12464-1):

$$U_0 = E_{\min} / E_m \geq 0,60 \text{ (area del compito visivo)}$$

Dove $E_{\min}$ è il valore minimo di illuminamento rilevato nella zona e E_m è il valore medio. Un valore $U_0 \geq 0,70$ è raccomandato per impianti ben progettati.

PARAMETRO	DESCRIZIONE	FORMULA
$E_{\max}$	Punto di massimo illuminamento	Valore più alto rilevato
$E_{\min}$	Punto di minimo illuminamento	Valore più basso rilevato
Uniformità (U_0)	Rapporto tra media e minimo	$E_{\min}/E_{\text{med}}$

Il processo di calcolo è così finito, gli elementi essenziali del calcolo sono stati esposti in modo esplicito e pronti per essere usati.

Alcuni esempi

Esempio 1: Un semplice faretto

Si immagini un faretto posto a 3 metri di altezza ($h=3$ mt) che punta verso il basso. Vogliamo calcolare l'illuminamento in un punto a 1,5 metri di distanza orizzontale dal centro.

Calcoliamo per prima cosa l'angolo α : $\tan(\alpha) = \frac{1.5}{3} = 0.5 \rightarrow \alpha \cong 26.5^\circ$;

Sul catalogo del costruttore cercheremo il corpo illuminante con una lampada che abbia una intensità I a 26.5° . Mettiamo sia 1000 [cd].

Calcoliamo: $E_p = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3(\alpha) = \frac{1000 * \cos^3(26.5^\circ)}{3^2} \cong 80 \text{ [lux]}$

[Nota per il progettista]: Ricorda sempre di applicare un fattore di manutenzione al calcolo finale (solitamente 0.8) per prevedere il decadimento del flusso luminoso nel tempo dovuto a polvere e usura.

Esempio 2: Un faretto sull'area di lavoro

Dati di progetto:

- **Altezza di installazione (h):** 2.5 [m] dal piano della scrivania;
- **Distanza orizzontale (r):** Il punto P si trova a 1.2 [m] di distanza dalla posizione verticale del faretto.
- **Sorgente:** un faretto con intensità di picco (0°) di 1500 cd.
- **Emissione:** Consultando il solido fotometrico, sappiamo che a un angolo di circa 25° , l'intensità I scende a 1100 cd.

Con questi dati possiamo iniziare ad effettuare il calcolo, iniziando da quello geometrico. Troviamo la distanza reale (d) che percorre il raggio di luce e l'angolo di incidenza (α).

Distanza ipotenusa (d): $d = \sqrt{h^2 + r^2} = \sqrt{2,5^2 + 1,2^2} = \sqrt{6,25 + 1,44} \cong 2,77 \text{ [m]}$

Calcolo del coseno ($\cos \alpha$):

Il coseno dell'angolo formato con la verticale è il rapporto tra l'altezza e la distanza totale:

$$\cos \alpha = \frac{h}{d} = \frac{2,5}{2,77} \cong 0,90$$

(L'angolo corrispondente è circa 25,8°, che conferma la nostra scelta dell'intensità di 1100 [cd] dal catalogo)

A questo punto usiamo i dati all'interno della formula della legge del coseno:

$$E_p = \frac{I_\alpha}{d^2} * \cos \alpha ;$$

Quindi

$$E_p = \frac{1100}{7,67} * 0,90 \cong 143,4 * 0,90 = \mathbf{129 [lux]} ;$$

Osservazione: Se calcolassimo il valore esattamente sotto il faretto ($r=0$, $\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$), avremo:

$$E_o = \frac{1500}{2,5^2} = \mathbf{240 [lux]}$$

Da questa osservazione possiamo concludere che se ci spostiamo di soli 1,2 metri, l'illuminamento è quasi dimezzato (129 lux contro 240 lux). Questo dimostra perché il metodo puntuale è fondamentale: ci dice che per una illuminazione uniforme sul piano della scrivania avremo bisogno di più faretti sovrapposti.

In questo processo di calcolo abbiamo usato un dato numerico che rappresenta l'intensità (**I**), ma nulla è stato detto a proposito della sua origine. Questo dato viene memorizzato in un file di database con estensione. **IES** (per lo standard nordamericano) o **LDT** (Eulumdat, standard europeo) e contengono il valore dell'intensità luminosa, dei corpi illuminanti, per ogni grado di inclinazione.

Ecco perché serve un software che permetta di iterare il calcolo per le varie inclinazioni, in questo modo si possono vedere le reali aree illuminate e come questa illuminazione verrà distribuita in un qualsivoglia piano di lavoro.

Per capire come il calcolo puntuale prenda vita, dobbiamo guardare dentro il "cervello" digitale di una lampada: il **file fotometrico**.

Il file .LDT (Eulumdat) visto dall'interno

Se aprissi un file "nomefile.ldt" con il programma "blocco note", vedresti una colonna di numeri. Ecco cosa significano le righe più importanti per il nostro calcolo:

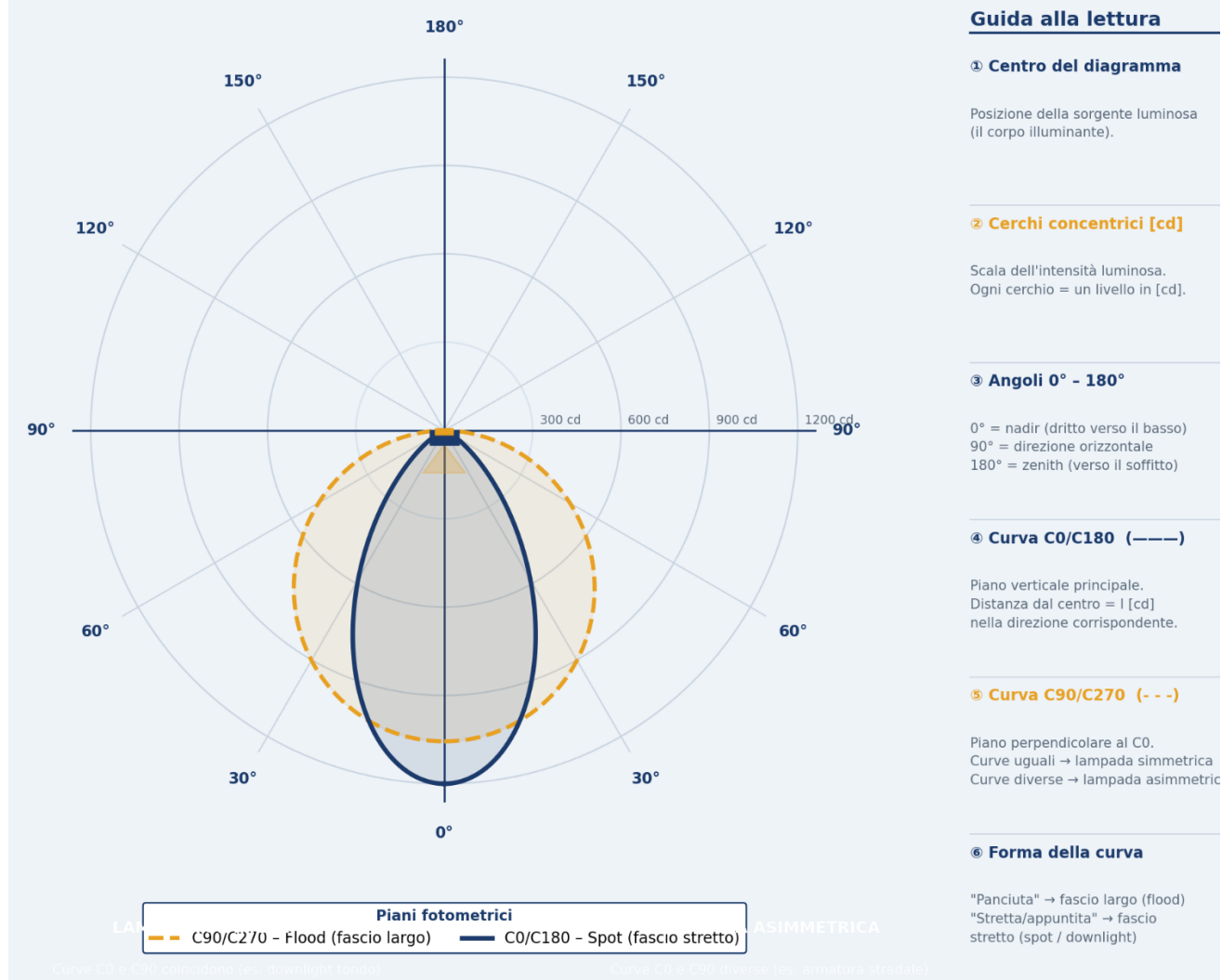
- **Righe 1-10:** Dati del produttore e nome della lampada.
- **Tipo di emissione:** Indica se la luce va solo in basso, solo in alto o in entrambe le direzioni.
- **Geometria:** Dimensioni fisiche della lampada (lunghezza, larghezza, altezza).
- **Iusso Luminoso:** Il valore totale in Lumen (es. 3000 [lm]).

- **La Matrice delle Intensità (I):** Questa è la parte più voluminosa, il file elenca l'intensità in candele (cd) per ogni angolo solido.

Il diagramma polare

Il software di calcolo (o il progettista) traduce i numeri ottenuti in un grafico chiamato **solido fotometrico** o **diagramma polare**.

Fig. 8 - Come leggere il diagramma polare (curva fotometrica)



Come interpretarlo:

1. **Il centro (0,0):** Rappresenta la sorgente luminosa.
2. **Gli angoli (0° - 180°):** Partendo dal basso (0°), indicano la direzione del raggio.
3. **La curva:** La distanza della curva dal centro indica quante candele (cd) vengono emesse in quella direzione.
 - Una curva "panciuta" indica un fascio largo (diffuso).
 - Una curva "stretta e lunga" indica un faretto a fascio stretto (spot).
4. **C0-C180 / C90-C270:** Sono i due piani di taglio. Se la lampada è simmetrica (es. un faretto tondo), le curve coincideranno. Se è asimmetrica (es. un'armatura stradale), vedrai due curve diverse.

Dal file al calcolo puntuale: il collegamento

Riscriviamo la formula $E_p = \frac{I_\alpha}{d^2} * \cos \alpha$

Il file fotometrico fornisce esattamente il valore I_α . Se il tuo calcolo geometrico dice che il punto **P** si trova a un angolo di **30°** rispetto alla verticale, il software:

1. Entra nel file fotometrico.
2. Cerca la riga corrispondente all'angolo 30°.
3. Estrae il valore in candele (es. 850 cd).
4. Lo inserisce nella formula per darti i Lux precisi.

CONCLUSIONE

Senza questi file, il calcolo puntuale sarebbe pura teoria. Grazie alla fotometria digitale, oggi possiamo prevedere con un errore inferiore al **5%** quanta luce avremo esattamente su un tavolo prima ancora di aver costruito l'edificio.

[Esempio di riga di un file .IES]

In un file .ies, i dati sono spesso normalizzati a 1000lm. Vedresti qualcosa di simile: 0 5 10 15 20 25 30 35 40 ... (Angoli) 1200 1150 1000 850 600 400 ... (Candele corrispondenti).

Confronto tra i due metodi

5.1 Metodo del flusso totale (o metodo del Lumen)

Questo metodo serve a determinare **quanti apparecchi servono** in un ambiente per ottenere un illuminamento medio desiderato.

- **Cosa calcola:** L'illuminamento **medio** (E_m) sull'intera superficie.
- **Logica:** Si immagina di "spalmare" tutto il flusso luminoso delle lampade uniformemente nella stanza.

Formula semplificata:
$$E_m = \frac{\phi_{tot} * \eta * MF}{A}$$

- Φ_{tot} : Flusso totale delle lampade (Lumen).
- η (o u): Coefficiente di utilizzazione (quanto la stanza "sfrutta" la luce in base a riflessi e geometria).
- MF: Fattore di manutenzione.
- A: Area della stanza (m^2).

Il limite: Non ti dice se in un angolo c'è buio pesto o se sotto una lampada c'è un riflesso accecante; ti dice solo che "in media" la luce è sufficiente.

5.2 Metodo puntuale (o Punto - Punto)

Questo metodo serve a determinare **quanta luce arriva in un punto esatto**.

- **Cosa calcola:** L'illuminamento **reale** (EP) in coordinate (x,y,z) specifiche.
- **Logica:** Analizza il singolo raggio che parte dalla lampada e colpisce il punto, considerando l'intensità specifica in quella direzione.

Formula semplificata:
$$E_p = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3(\alpha)$$

Il vantaggio: È indispensabile per il calcolo dell'**uniformità** e per l'illuminazione d'accento (es. illuminare un quadro o un macchinario di precisione).

5.3 Tabella di confronto

I due metodi si distinguono per finalità, precisione e contesto applicativo. La tabella seguente ne riassume le differenze principali.

Caratteristica	Flusso Totale	Punto a Punto
Grandezza calcolata	nL (numero lampade)	Ep (illuminamento in P)
Dati richiesti	k, u, m, ΦL , Em, S	$I\alpha$, h, r, α
Informazioni prodotte	Numero e disposizione ottimale	Distribuzione spaziale dettagliata
Precisione	Media (metodo statistico)	Alta (punto per punto)
Verifica uniformità	Indiretta (via passo lampade)	Diretta (Emin/Em)
Uso pratico	Dimensionamento iniziale	Verifica e fine-tuning
Software tipici	Calcolo manuale / fogli Excel	Dialux Evo, Relux, AGi32
Norma di riferimento	UNI EN 12464-1 (Em, Ra)	UNI EN 12464-1 (Uo, UGR)

5.4 Workflow integrato in 7 passi

Il seguente schema di lavoro integra entrambi i metodi in un percorso progettuale completo:

1. **Raccogliere i dati di progetto:** dimensioni locale (a, b, H), destinazione d'uso, tipo di piano di lavoro.
2. **Individuare Em, Ra, UGR:** consultare la tabella UNI EN 12464-1 per il tipo di ambiente.
3. **Scegliere la sorgente e l'apparecchio:** tecnologia LED, distribuzione fotometrica, efficienza [lm/W].
4. **Calcolare k, u, m:** indice locale, coefficiente di utilizzazione, fattore di manutenzione.
5. **Determinare nL (Flusso Totale):** applicare la formula $nL = (Em \times S) / (u \times m \times \Phi L)$, arrotondare al valore superiore.
6. **Disporre gli apparecchi in pianta:** rispettare la regola $d \leq 1,5 \times h$; distanza parete $D = d/2$ o $d/3$.
7. **Verificare uniformità e DPEA:** calcolare U_o con il metodo Punto a Punto; verificare $DPEA \leq$ limite normativo.

5.5 Efficienza energetica – DPEA

La DPEA sintetizza l'efficienza energetica dell'impianto. Valori tipici per uffici: 8–12 W/m². Valori superiori a 14 W/m² sono spesso sintomo di apparecchi obsoleti o di un dimensionamento sovrastimato.

DPEA – Densità di Potenza dell'Impianto di Illuminazione

$DPEA = P_{tot} / S$ [W/m²] – da confrontare con i limiti dell'Allegato I al D.M. 26/06/2015

Riferimenti

- **UNI EN 12464-1:2021:** Illuminazione dei posti di lavoro al chiuso. Requisiti di illuminamento, Ra e UGR per oltre 150 tipologie di ambienti.
- **CEI 64-8:2021:** Impianti elettrici negli edifici. Include prescrizioni sull'impianto di illuminazione.
- **D.Lgs. 81/2008 – Allegato IV:** Requisiti minimi di sicurezza e salute per i luoghi di lavoro; richiama la UNI EN 12464-1.
- **IEC 60598-1:2020:** Apparecchi di illuminazione – Requisiti generali e prove.
- **CIE 117:2010:** Discomfort Glare in Interior Lighting. Base tecnica per il calcolo dell'indice UGR.
- **EN 13032-1:** Fotometria di lampade e luminari – Misurazione e presentazione dei dati fotometrici.

Riferimenti bibliografici

- **IEC 60598-1:2020:** Apparecchi di illuminazione – Requisiti generali e prove.
- **CIE 117:2010:** Discomfort Glare in Interior Lighting. Base tecnica per il calcolo dell'indice UGR.
- **EN 13032-1:** Fotometria di lampade e luminari – Misurazione e presentazione dei dati fotometrici.

Note di chiusura

Siamo arrivati alla fine del nostro mini viaggio nel mondo del calcolo illuminotecnico. La guida come si può intuire è solo uno strumento di riferimento rapido per chi ha già conoscenza del calcolo, mentre è una ottima fonte di informazioni per chi si avvicina al calcolo per la prima volta e vuole avere un documento di riferimento iniziale, un punto da cui partire per poter comprendere i meccanismi intrinseci dei due calcoli.

Gli esempi e le tabelle che avete trovato in questa guida aiutano sicuramente.