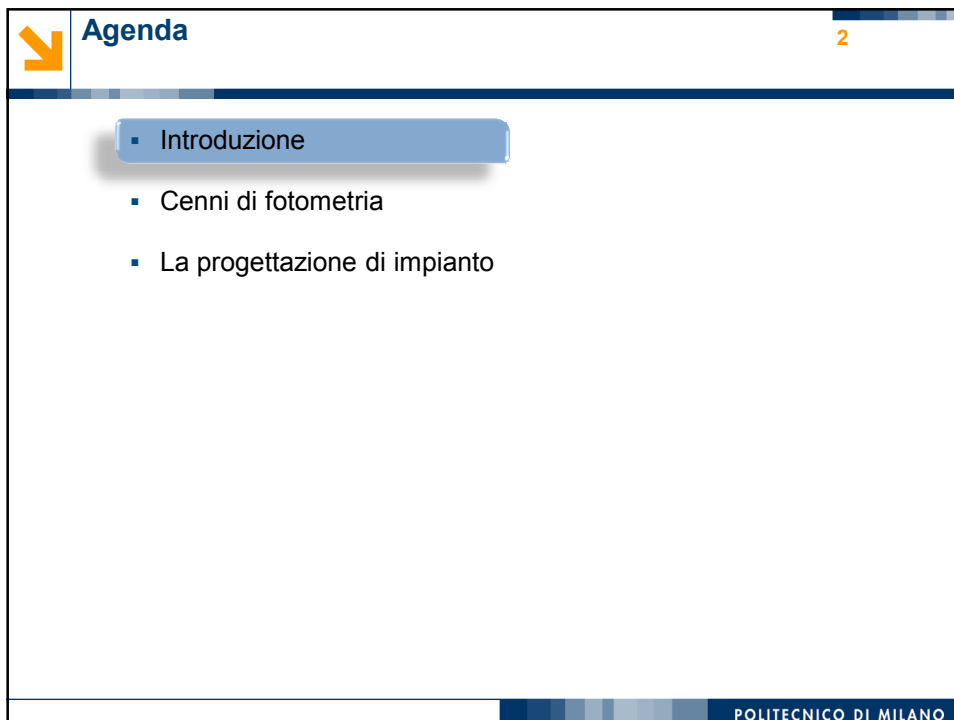





POLITECNICO DI MILANO

 **Il servizio di illuminazione**

Sara Perotti



 **Agenda** 2

- Introduzione
- Cenni di fotometria
- La progettazione di impianto

POLITECNICO DI MILANO



Introduzione

3

- L'obiettivo della progettazione di un ambiente luminoso è quello di permettere lo svolgimento corretto dei **compiti visivi** (prestazione visiva) richiesti dall'attività da svolgere



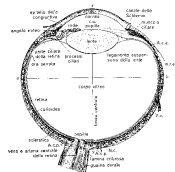
POLITECNICO DI MILANO



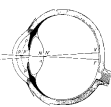
Introduzione

4

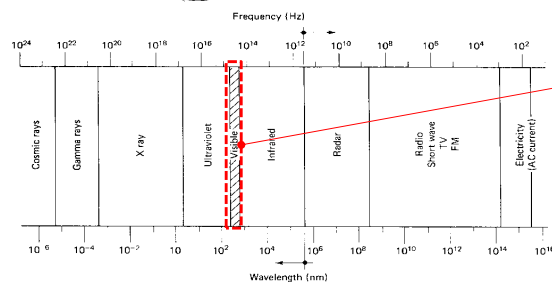
Schema dell'occhio destro di un uomo adulto, visto in sezione orizzontale



Schema di un occhio con la posizione dei punti cardinali del sistema diottrico oculare



- **Cornea:** membrana più esterna dell'occhio che consente il passaggio e la rifrazione dei raggi luminosi
- **Cristallino:** elemento simile ad una lente biconvessa in grado di variare il suo fuoco per realizzare l'accomodamento delle immagini sulla retina
- **Iride:** diaframma opaco caratterizzato da un foro centrale (pupilla) il cui diametro può variare regolando il flusso luminoso entrante nell'occhio
- **Retina:** sottile membrana costituita dalle cellule sensibili alla luce



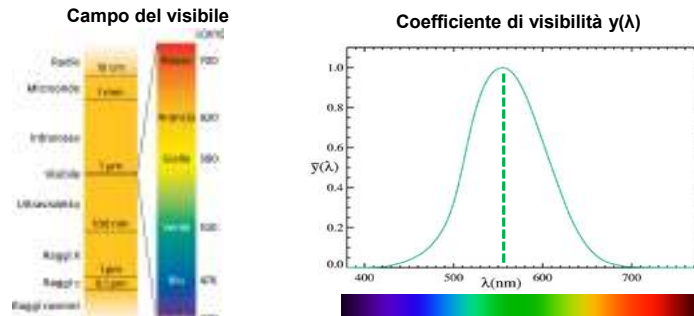
• **Luce visibile:** radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda λ compresa tra 380 nm (violetto) e 760 nm (rosso)

POLITECNICO DI MILANO



Introduzione

5



- Per ogni radiazione elettromagnetica dello spettro esiste la **relazione**:

$$\lambda \cdot f = v$$

che lega f , λ = frequenza e lunghezza d'onda della radiazione; v = velocità della radiazione nel mezzo considerato. Nel vuoto $v = c$ (velocità della luce nel vuoto, pari a $2,998 \times 10^8$ m/s, ovvero circa 300.000 km/s)

- Coefficiente di visibilità $y(\lambda)$** : funzione che rappresenta la **sensibilità media** dell'occhio umano a radiazioni di differente lunghezza d'onda λ . Varia tra la zona del violetto ($\lambda=380$ nm) e quella del rosso ($\lambda=780$ nm) ed è **massimo** in corrispondenza della luce giallo-verde ($y(\lambda) = 1$).

POLITECNICO DI MILANO



Introduzione

6

- Scopo del servizio illuminazione è mantenere negli ambienti di lavoro le **condizioni luminose ideali** per lo svolgimento delle funzioni ivi realizzate
- Rispetto ai normali servizi d'impianto:
 - è necessariamente decentrato, in quanto non è possibile pensare, con le tecnologie attuali, ad una sua produzione centralizzata
 - non è accumulabile

POLITECNICO DI MILANO

Agenda

7

- Introduzione
- Cenni di fotometria
- La progettazione di impianto

POLITECNICO DI MILANO

Fotometria

8

- Sebbene la luce sia, fisicamente, una forma di energia radiante di natura ondulatoria, ai **fini** prettamente **illuminotecnici** è possibile riferirsi alla luce come una forma di energia trasmessa attraverso **raggi** che si muovono in linea retta dalla sorgente all'osservatore
- La visione è un fenomeno **soggettivo**, e pertanto sorgono molte difficoltà nella modellazione della condizioni di luce "ideali"
- L'occhio umano è comunque mediamente sensibile alle lunghezze d'onda comprese tra **780 e 380 nm** ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)

Coefficiente di visibilità $y(\lambda)$

Massimo coefficiente di visibilità in corrispondenza della luce giallo-verde $y(\lambda) = 1$

POLITECNICO DI MILANO



Flusso luminoso ϕ

9

- Il flusso luminoso (ϕ) è l'energia radiante complessiva emessa nel campo del visibile (energia luminosa) da una sorgente nell'unità di tempo. Viene misurata in **lumen** (lm)
- Dimensionalmente, ϕ è una **potenza**, ovvero il rapporto di un'energia in un tempo
- Più genericamente, il flusso luminoso di una sorgente è l'integrale della sua intensità luminosa sull'angolo giro solido e tiene conto del coefficiente di visibilità:



$$\phi = \int I \times d\omega$$



POLITECNICO DI MILANO



Flusso luminoso ϕ – Esempi

10

- Esempi indicativi di flussi luminosi emessi da alcune lampade di uso comune (i valori di lumen e Watt variano per ogni modello)

Flusso luminoso (lumen)	Potenza [W]			
	Incandescente	Alogene	Fluorescenti compatte	LED
125	15	6	3	3
230	25	12	4	4
430	40	21	7	5
740	60	37	9	7
970	75	48	13	10
1400	100	70	18	15
2250	150	112	28	25
3170	200	160	38	35

POLITECNICO DI MILANO



Flusso luminoso ϕ – Esempi

11

Questa lampada a LED consuma **2,5 W** ed emette un flusso luminoso pari a **200 lm** come una lampada ad incandescenza da **25 W**



Lampada alogena



Lampada fluorescente compatta



Lampade LED

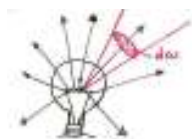
POLITECNICO DI MILANO



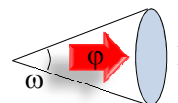
Intensità luminosa I

12

- L'intensità luminosa (I) è una grandezza che misura il flusso luminoso (ϕ) emesso nel campo del visibile da una sorgente per unità di angolo solido (ω). Viene misurata in **CANDELE** (cd)



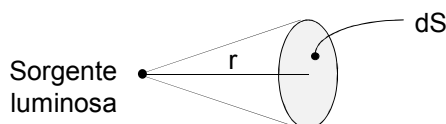
$$I = d\phi / d\omega$$



- L'**angolo solido** elementare si misura in steradiani [sr] e si definisce come:

$$d\omega = \frac{dS}{r^2}$$

Angolo giro solido = 4π [sr]



POLITECNICO DI MILANO



Intensità luminosa I

13

- E' una grandezza vettoriale (direzione)
- Una sorgente di intensità pari a 1 cd, osservata a 1 m di distanza, fa incidere su una superficie di 1 m² un flusso luminoso pari ad 1 lm
- **Nota:** non necessariamente le sorgenti emettono con simmetria sferica, pertanto I è una funzione dell'angolo ω sotto cui si osserva la sorgente (cioè: $I = I(\omega)$)

sorgente	Potenza approssimativa in watt (W)	Intensità luminosa approssimativa in candele (cd)	
Candela di cera	non noto	1 cd	
Sol poco luminoso	decine di mW	decine di mcd	
Lampadina a incandescenza	40 W	40 cd	
Lampadina a incandescenza	100 W	100 cd	
Lampada fluorescente	80 W	200 cd	

Esempi
Intensità luminosa (cd) per
alcune sorgenti

POLITECNICO DI MILANO

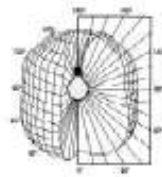


Intensità luminosa I

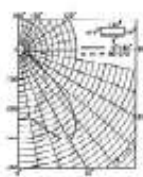
14

Solido fotometrico e curve fotometriche

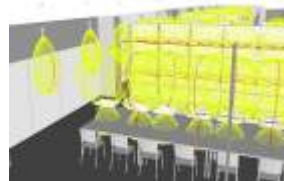
- Rappresentazione tridimensionale delle **intensità luminose** emesse da una sorgente nello spazio



Solido fotometrico



Proiezione di un solido
fotometrico



- Intersecando il solido con dei piani passanti per l'asse ottico si ottengono le "curve fotometriche". La **curva fotometrica** rappresenta graficamente come una sorgente luminosa emette luce nello spazio (direzione, intensità). A qualsiasi oggetto che emette luce può essere associata una curva fotometrica. La curva fotometria di un apparecchio d'illuminazione consente di prevedere il suo impatto sull'ambiente circostante

POLITECNICO DI MILANO

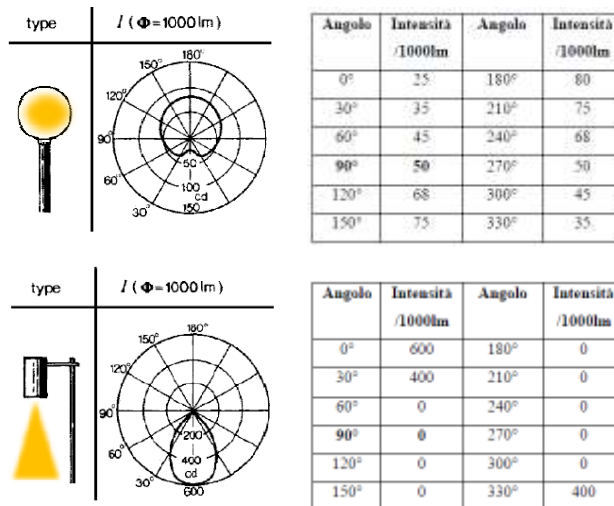


Intensità luminosa I

15

Solido fotometrico e curve fotometriche

- Esempi



POLITECNICO DI MILANO



Illuminamento E

16

- L'illuminamento (**E**) in corrispondenza di un punto di una superficie è definito come il flusso luminoso incidente in quel punto per unità di superficie. L'unità di misura è il **Lux (lm/m²)**
- Più genericamente l'illuminamento di una superficie è il rapporto tra il flusso ϕ incidente e la superficie **S** considerata
- Pertanto:

$$E = d\phi / dS$$

- Dimensionalmente, E è il rapporto tra una potenza ed una superficie [lm/m²]. Rappresenta pertanto una potenza luminosa specifica

POLITECNICO DI MILANO

Fotometria – Sintesi				
17				
Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Dimensione	Significato
Flusso	Φ	Lumen	Potenza	Energia luminosa emessa da una sorgente nell'unità di tempo Integrale di $I \, d\omega$
Intensità	I	Candela	Potenza emessa in un angolo solido (grandezza base)	Flusso luminoso emesso per unità di angolo solido $d\Phi / d\omega$
Illuminamento	E	Lux	Potenza specifica (energia su una superficie)	Rapporto tra flusso luminoso incidente e superficie Φ / S
Luminanza	L	Nit (Stilb)	Intensità specifica (su una superficie)	Rapporto tra l'intensità luminosa nella direzione dell'osservatore e area apparente dell'elemento di superficie considerata

POLITECNICO DI MILANO

Agenda	
18	
<ul style="list-style-type: none"> Introduzione Cenni di fotometria La progettazione di impianto 	

POLITECNICO DI MILANO



Un sistema di illuminazione nasce dall'interazione di sorgenti luminose con un insieme di mezzi di trasmissione:

- **sorgente luminosa:** coppia lampada + apparecchio di diffusione; il dimensionamento ed il posizionamento delle sorgenti costituisce il focus del progetto di impianto
 - **lampada** → elemento che trasforma energia elettrica in energia luminosa (es. lampada fluorescente)
 - **apparecchio** → elemento meccanico conformato alla diffusione dell'energia luminosa prodotta dalla lampada posta al suo interno (es. tegolo rettilineo)
- **mezzi di trasmissione:** elementi (pareti, soffitto, mobilio) che interagiscono con la luce prodotta dalle sorgenti e ne modificano la diffusione grazie alle loro proprietà di assorbimento e/o riflessione



Le lampade (elemento che trasforma l'energia elettrica in energia luminosa) si distinguono per:

- **Principio di generazione del flusso luminoso**
- **Efficienza luminosa** [lm/W]: dipende dal tipo di lampada e può variare tra circa 10 lm/W e 100 lm/W
- **Vita media statistica:** è il numero di ore di funzionamento che il 50% delle lampade può raggiungere. Dipende dal tipo di lampada e dalle condizioni di utilizzo. Può variare da circa 1.000 ore a circa 10.000 ore
- **Dimensioni e forma:** variano al variare del tipo di lampada e si adattano alle sue funzioni

Esempio: Lampada fluorescente T8. 15 W, 750 lm, 50 lm/W, durata nominale 20.000 ore (50%), durata utile (90 % sopravvissute) 16.000 ore



La progettazione d'impianto

21

Per **apparecchio** si intende l'involucro che contiene la lampada. Le sue principali funzioni sono:

- **Protezione meccanica** della lampada (es. polvere)
- **Protezione termica**
- **Alterazione della diffusione del flusso:**
 - Concentrazione in alcune direzioni
 - Attenuazione della luminosità

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto – Passi da seguire

22

- Determinazione fabbisogni dell'utenza
- Valutazione condizioni naturali / artificiali
- Metodo del flusso totale
- Disposizione delle sorgenti nel locale
- Scelta dei componenti di dettaglio
- Verifiche:
 - Verifica punto a punto
 - Altre verifiche

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Identificazione requisiti dell'utenza

23

- I requisiti di illuminazione variano fondamentalmente in funzione del “**compito visivo**” che si espletterà nelle zone da illuminare
- Il fondamentale requisito è espresso in relazione all'**illuminamento (E) richiesto**: al crescere della severità del compito visivo, crescono i valori di illuminamento minimo ammesso e medio consigliato, sebbene permanga una grossa differenza tra le **norme vigenti** in paesi differenti
- In Italia: Testo Unico sulla Sicurezza nei Luoghi di Lavoro **DM 81/2008**: tratta anche il tema dell'illuminazione, demandando però un approfondimento specifico alla normativa in vigore **UNI EN 12464-1** “Illuminazione dei posti di lavoro” (2011), adattamento nazionale della normativa europea, che ha sostituito la storica UNI 10380 del 1994

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Identificazione requisiti dell'utenza

24

- Esempi di valori di illuminamento (**Lux**) medi richiesti in base alla normativa UNI EN 12464-1 “Illuminazione dei Luoghi di Lavoro”

ZONE O ATTIVITA'	ESEMPI	Illuminamento medio (Lx)	Note
ZONE DI CIRCOLAZIONE E SPAZI COMUNI ALL'INTERNO DI EDIFICI	Zone di circolazione (es. corridoi, scale, ascensori, tappeti mobili, rampe)	100-150	a livello pavimento
	Mense	200	
	Guardaroba, toilette	200	
	Magazzini e magazzini refrigerati (es. stoccaggio, movimentazione, imballaggio)	100-300	Se occupato di continuo, 200 Lx
ATTIVITA' INDUSTRIALI E ARTIGIANALI	Industrie alimentari (es. selezione del taglio, produzione, imballaggio)	200-500	1000 Lx per ispezione colori
	Costruzione veicoli (es. carrozzeria, assemblaggio, verniciatura, ispezioni)	500-1000	
	Lavorazione legno (es. lavorazioni su macchine, incollaggio, assemblaggio, verniciatura, intarsio)	150-750	50 Lx processi automatici, 1000 Lx controllo qualità/ispezioni
UFFICI	Archiviazione, copiatura, ecc.	300	
	Scrittura, dattilografia, lettura, elaborazione dati	500	
	Disegno tecnico	750	
	Postazioni CAD	500	
	Sale conferenze e riunioni	500	
	Archivi	200	

Estratto da Norma UNI EN 12464-1 “Illuminazione dei Luoghi di Lavoro” (2011). **Nota:** I valori specificati in tabella sono illuminamenti medi necessari a garantire il comfort visivo e riguardano le superfici di riferimento nella zona del compito visivo

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Valutazione condizioni naturali / artificiali

25

- Nel progetto di un impianto di illuminazione è cosa corretta fare quanto più possibile ricorso all'**illuminazione naturale**, essendo questa una fonte di luce abbondante, gratuita e di qualità assai elevata
- Ovviamente la luce naturale non è sempre disponibile allo stesso modo (es. latitudine, condizioni meteorologiche, orari del giorno), motivi per i quali un **impianto artificiale** di supporto deve essere sempre previsto
- Al fine di evitare abbagliamenti e riflessioni, occorre **evitare luce diretta** negli ambienti lavorativi

POLITECNICO DI MILANO

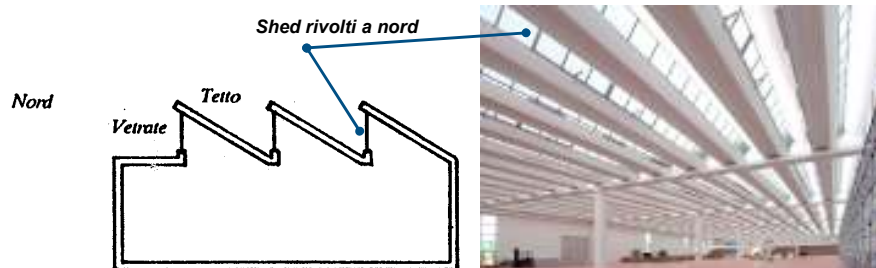


La progettazione d'impianto Valutazione condizioni naturali / artificiali

26

L'illuminazione naturale presenta alcuni svantaggi, come ad esempio l'incremento dei carichi termici entranti nei locali:

- A questo scopo le superfici vetrate devono sempre essere orientate verso nord (nell'emisfero boreale)
- E' preferibile disporre le vetrate perpendicolarmente, per evitare di raccogliere la polvere



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

27

- Nel caso in cui si debba far ricorso all'illuminazione artificiale, il metodo del flusso totale permette di legare l'**illuminamento medio richiesto E (lux, ovvero lm/m²)** nel locale con il **flusso luminoso totale prodotto ϕ (lm)** dalle sorgenti installate
- Le equazioni fondamentali sono le seguenti:

$$\phi_{\text{tot}} \text{ (lm)} = N \text{ sorgenti} \cdot \phi_{\text{sorgente}}$$

$$\phi_{\text{tot}} \text{ (lm)} = \text{Superficie locale} \cdot E_{\text{richiesto}} / \text{coeff. correttivo}$$

**Attenzione: è un
dimensionamento medio!!!**

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

28

Il coefficiente correttivo può essere calcolato come:

$$\text{Coefficiente correttivo} = d \cdot m \cdot f_u$$

Dove:

- **d = coefficiente di decadimento**: esprime il rapporto tra il flusso emesso dalla sorgente quando la lampada al suo interno è al 60% della sua vita ed il flusso emesso a lampada nuova. Modella il decadimento della lampada nella sua vita utile:
 - d = 0.7 - 0.8 per lampade fluorescenti tubolari
 - d = 0.6 - 0.7 per lampade ad incandescenza

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

29

Il coefficiente correttivo può essere calcolato come:

$$\text{Coefficiente correttivo} = d \cdot m \cdot f_u$$

Dove:

- **m = coefficiente di manutenzione:** esprime il rapporto tra il flusso emesso dalla sorgente nelle normali condizioni di pulizia ed il flusso emesso dalla sorgente perfettamente pulita. Modella il decadimento del flusso a causa della sporcizia che si accumula sulla sorgente:
 - m = 0.8 - 0.9 per ambienti civili
 - m = 0.3 - 0.8 per ambienti industriali

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

30

Il coefficiente correttivo può essere calcolato come:

$$\text{Coefficiente correttivo} = d \cdot m \cdot f_u$$

Dove:

- **f_u = coefficiente di utilizzo (flusso utile):** tiene conto del flusso luminoso che non arriva al piano di lavoro (o alla superficie di riferimento) a causa dell'imperfetta riflessione delle pareti e del soffitto del locale. Dipende da:
 - Forma del locale e disposizione del piano di lavoro (vedi "Indice del locale")
 - Proprietà di riflessione / assorbimento di pareti e soffitto

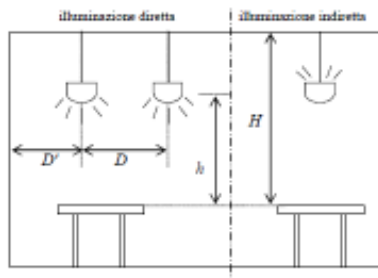
POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

31

La geometria del locale è descritta dal parametro **Indice del locale = i**



- **a, b** = dimensioni del locale
- **h** = altezza del corpo illuminante rispetto al piano di lavoro (illuminazione diretta)
- **H** = altezza del soffitto rispetto al piano di lavoro (illuminazione indiretta)

- per sorgenti che proiettano solo verso il pavimento

$$i = (a*b)/(a+b)*h$$

- per sorgenti che proiettano anche verso il soffitto

$$i = 3(a*b)/(a+b)*2H$$

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale – Esempi

32

Sapendo che il piano di lavoro è collocato a 0,85 m dal pavimento, calcolare l'**indice del locale i** nei seguenti casi:

- **Caso 1** – Illuminazione diretta all'interno di un ufficio di dimensioni 4,5x5xh=3 m, con altezza del corpo illuminante rispetto al piano di lavoro pari a 2,7 m
- **Caso 2** – Illuminazione indiretta all'interno di un ufficio di dimensioni 4,5x5xh=3 m
- **Caso 3** – Illuminazione diretta di un open space di dimensioni 20x20xh=3 m, con altezza del corpo illuminante rispetto al piano di lavoro pari a 2,7 m
- **Caso 4** – Illuminazione diretta di un capannone industriale di dimensioni 40x60 m ($h_{\text{capannone}} = 4,5 \text{ m}$; $h_{\text{apparecchi}} = 3,5 \text{ m}$)

POLITECNICO DI MILANO



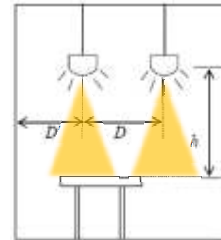
La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale – Esempi

33

▪ Caso 1 – Ufficio con illuminazione diretta

Con: $a=4,5$ m, $b=5$ m
 $h=2,7-0,85=1,85$ m

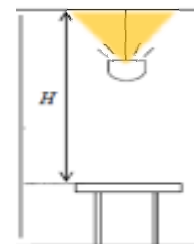
$$i = \frac{a \cdot b}{(a+b) \cdot h} = \frac{4,5 \cdot 5}{(4,5+5) \cdot 1,85} = 1,28$$



▪ Caso 2 – Ufficio con illuminazione indiretta

Con: $a=4,5$ m, $b=5$ m
 $H=3-0,85=2,15$ m

$$i = \frac{3 \cdot a \cdot b}{(a+b) \cdot 2h} = \frac{3 \cdot 4,5 \cdot 5}{(4,5+5) \cdot 2 \cdot 2,15} = 1,65$$



POLITECNICO DI MILANO



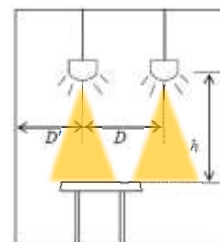
La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale – Esempi

34

▪ Caso 3 – Open space con illuminazione diretta

Con: $a=20$ m, $b=20$ m
 $h=2,7-0,85=1,85$ m

$$i = \frac{a \cdot b}{(a+b) \cdot h} = \frac{20 \cdot 20}{(20+20) \cdot 1,85} = 5,41$$



▪ Caso 4 – Capannone con illuminazione diretta

Con: $a=40$ m, $b=60$ m
 $H=3,5-0,85=2,65$ m

$$i = \frac{3 \cdot a \cdot b}{(a+b) \cdot 2h} = \frac{3 \cdot 40 \cdot 60}{(40+60) \cdot 2 \cdot 2,65} = 13,58$$

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

35

- A partire dall'**indice del locale** e dalla proprietà di **riflessione di soffitto e pareti** (misurata come % dell'energia luminosa incidente che viene riflessa), tramite apposite tabelle si calcola il **fattore di utilizzo f_u**

Indice del locale (I)	Rifl. soffitto Rifl. pareti Rifl. piano lav.	80%	70%	70%	70%	50%	50%	30%	0%
		70%	70%	50%	30%	50%	10%	30%	0%
		30%	30%	30%	10%	10%	10%	10%	0%
0,6		0,44	0,43	0,35	0,31	0,34	0,29	0,29	0,28
0,8		0,52	0,51	0,45	0,39	0,42	0,37	0,37	0,38
1,0		0,57	0,55	0,49	0,44	0,46	0,41	0,41	0,40
1,3		0,61	0,59	0,54	0,47	0,49	0,45	0,44	0,43
1,5		0,64	0,62	0,57	0,50	0,51	0,47	0,47	0,46
2,0		0,70	0,68	0,65	0,58	0,58	0,56	0,55	0,54
2,5		0,73	0,70	0,67	0,59	0,60	0,58	0,57	0,56
3,0		0,74	0,72	0,69	0,61	0,61	0,59	0,58	0,57
4,0		0,78	0,73	0,71	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59
5,0		0,75	0,73	0,71	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57

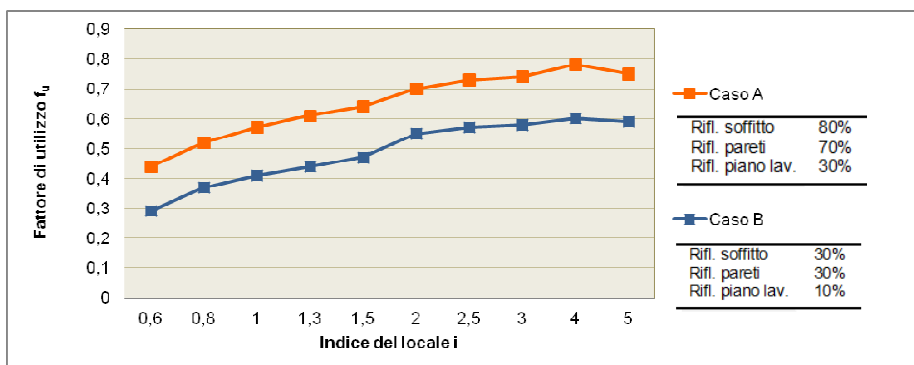
POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

36

- Il grafico mostra, a titolo esemplificativo, l'andamento del **fattore di utilizzo f_u** al variare dell'**indice del locale** in due particolari condizioni di **riflessione di soffitto e pareti**



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale – Esempio

37

Un'azienda deve progettare l'impianto di illuminazione per un ufficio di cui sono noti:

- Area del locale (S) = 60 m²
- Illuminamento richiesto ($E_{\text{richiesto}}$) = 200 lx

Si impiegano tubi fluorescenti LUMILUX T8 (diametro 26 mm, lunghezza 470 mm) con le seguenti caratteristiche:

- Potenza nominale = 10 W
- Flusso luminoso (Φ) = 650 lm
- Efficienza luminosa = 65 lm/W
- Durata nominale = 20.000 h

Siano $f_u = 0,7$, $m = 0,8$ e $d = 0,85$.

Calcolare il numero di apparecchi necessari.



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale – Esempio

38

Soluzione

Impiegando il metodo del flusso totale, il numero di lampade si calcola mediante:

$$n = \frac{E_{\text{richiesto}} \cdot S}{\Phi \cdot f_u \cdot m \cdot d}$$

Dove Φ rappresenta il flusso luminoso di una singola lampada.

Sostituendo i dati forniti si ottiene:

$$n = \frac{200 \cdot 60}{650 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,85} = 38,78 \text{ ovvero } 39 \text{ lampade}$$

Ipotizzando 2 lampade per apparecchio, necessitano 20 apparecchi che potrebbero essere disposti in 4 file da 5 apparecchi

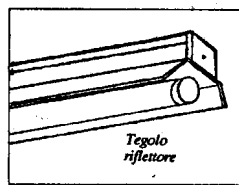
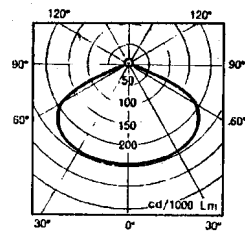
POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

39

- E' quindi possibile calcolare il flusso della singola sorgente
- Il flusso di una sorgente scaturisce dall'interazione delle capacità riflettenti/assorbenti dell'apparecchio con il flusso della lampada posta al suo interno
- Per calcolare il ϕ sorgente, dato il ϕ lampada, si introduce la "**curva fotometrica dell'apparecchio**"



Lampada da 40 W con tegolo riflettore.

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

40

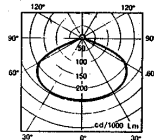
- La curva fotometrica di un apparecchio viene disegnata supponendo di porre al suo interno una **lampada da 1.000 lm**; essa è costituita da una superficie tridimensionale chiusa definita come il luogo degli estremi dei segmenti condotti dalla sorgente luminosa in tutte le direzioni dello spazio e aventi lunghezza proporzionale all'intensità luminosa emessa in quella direzione.
- La rappresentazione in piano di un solido fotometrico avviene attraverso i suoi **diagrammi polari**, ottenuti intersecando il solido con un piano, opportunamente disposto

POLITECNICO DI MILANO

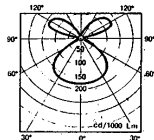
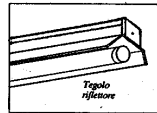


La progettazione d'impianto Metodo del Flusso Totale

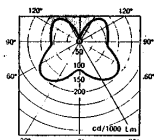
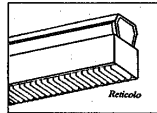
41



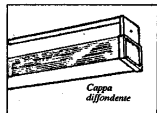
Lampada da 40 W con tegolo riflettore.



Lampada da 40 W con reticolo.



Lampada con cappa in metacrilato diffondente.



Cd / 1000 lm

- Per lampade con flusso diverso da 1.000 lm è sufficiente riscalarle le figure (cioè moltiplicare per il rapporto tra i flussi le letture effettuate sulla curva da 1.000 lm)

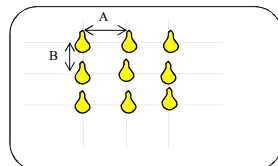
POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Disposizione delle sorgenti nel locale

42

- La disposizione delle sorgenti nel locale deve soddisfare dei criteri di:
 - Uniformità di illuminazione
 - Facilità ed accessibilità per la manutenzione
- Lo schema più semplice è quello in pianta rettangolare



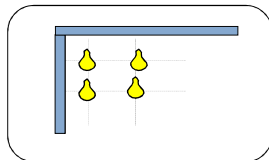
POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Disposizione delle sorgenti nel locale

43

- Definito un modulo rettangolare di lati A e B, si cerchi di:
 - Lasciare una distanza dalle pareti pari almeno alla semi-lunghezza del lato del modulo
 - Scegliere una pianta "semplice"
 - Quadrata ($A \approx B$)
 - Simile al locale ($A/B \approx \text{lato lungo} / \text{lato corto}$)
- Ovviamente è cosa buona disporre le sorgenti quanto più possibile in corrispondenza delle aree di lavoro



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

44

Relativamente al principio di generazione del flusso luminoso, si distinguono:

- **Lampade ad incandescenza:**
 - Normali
 - Alogene
- **Lampade a scarica:**
 - Fluorescenti
 - Etc.
- **Lampade a LED**

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

45

Lampade ad incandescenza normali

- Incandescenza di un filamento di tungsteno entro il quale viene fatta passare corrente elettrica
- Efficienza luminosa bassa [10 - 20 lm/W], crescente al crescere della temperatura di esercizio del filamento
- Vita media breve [1.000 - 1.500 ore], decrescente al crescere della temperatura di esercizio del filamento
- Estrema sensibilità agli sbalzi di tensione, riducendo sensibilmente la vita utile



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

46

Lampade ad incandescenza normali

- Scarsa sensibilità a continue accensioni/spegnimenti
- Forte degenerazione delle prestazioni nel tempo
- Dimensioni geometriche ridotte e dunque elevata luminanza
- Richiedono l'utilizzo di adeguati apparecchi illuminanti
- Basso costo di impianto



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

47

Lampade alogene

- Reazioni chimiche di equilibrio di creazione e scissione di ioduro di tungsteno, alimentate da energia elettrica
- Maggiore vita media della lampada grazie al minor consumo del filamento (>2.000 ore)
- Maggiore efficienza luminosa grazie alla maggiore temperatura di esercizio possibile (superiore a 20 lm/W)



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

48

Lampade alogene

- Minore deterioramento delle prestazioni nel tempo
- Minori dimensioni, quindi maggiore luminanza
- Maggiore costo d'acquisto, analogo costo di impianto rispetto alle lampade ad incandescenza

Valori
esemplificativi di
flusso luminoso
(lm) e potenza
(W) per alcune
tipologie di
lampade

	INCANDESCENZA	ALOGENA	Fluorescenti compatte	LED
				
W	60 W	53 W	14 W	10,5 W
lm	730 lm	850 lm	760 lm	806 lm
Ore	1000 hr	2000 hr	10000 hr	15000 hr

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

49

Lampade a scarica

- Eccitazione di elettroni di un gas o vapore ad opera di una scarica elettrica fatta scoccare tra due elettrodi
- Sono richieste apparecchiature di accensione per innescare la scarica (starter) e di stabilizzazione della corrente (reattori), in quanto la luminosità varia al variare della corrente che fluisce. Per questi motivi, sono caratterizzate da un elevato costo di acquisto
- Efficienza luminosa molto elevata, in quanto le emissioni sono concentrate nello spettro del visibile (da 40 a 60 lm/W)
- Evita abbagliamento



Lampadina a scarica di gas



Lampada fluorescente compatta (CFL) a risparmio energetico

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

50


Lampade a scarica

- Elevate dimensioni della sorgente ed intensità luminose medio-basse
- Vita utile molto lunga (circa 7.500 ore per accensioni medie di 3 ore)
- Alta sensibilità a frequenti cicli di accensione / spegnimento
- Scarso decadimento del flusso luminoso



Esempio

Lampada fluorescente T8

 T8 (Ø 26 mm) Rendimento a 25°C	600 mm	900 mm	1.200 mm	1.500 mm
	18 W	30 W	36 W	58 W
	1.350 lm	2.400 lm	3.350 lm	5.000 lm

POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

51

Lampade a LED (Light Emitting Diode)

- “diodo ad emissione di luce”: sviluppato nel 1962, dispositivo che sfrutta le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori di cui è composto: se sottoposto ad una tensione, rilascia energia sotto forma di fotoni (energia luminosa). In base alla composizione emette luce di una particolare lunghezza d'onda.



POLITECNICO DI MILANO



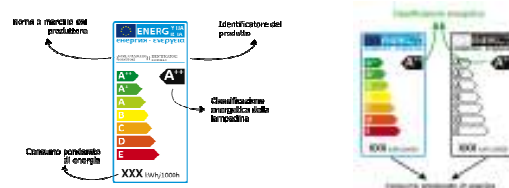
La progettazione d'impianto Scelta dei componenti di dettaglio: le lampade

52

Etichetta energetica delle lampadine

(dal 1° settembre 2013 obbligo per produttori ed importatori di apporre sulla confezione delle lampadine un nuovo tipo di etichetta energetica, come previsto dal Regolamento europeo N. 874/2012)

- Nuova classificazione di efficienza energetica in base al rapporto **lm/W**: da **A++** a **E** (prima da A a G)
- Introdotto il dato relativo al consumo annuo ponderato di energia espresso in kWh/1000h di funzionamento
- Estesa anche a lampadine che in precedenza ne erano esentate (es. alogene a bassa tensione, lampadine direzionali)
- Versione grafica a colori o in versione monocromatica



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto

Scelta dei componenti di dettaglio: gli apparecchi

53

Con riferimento alle funzioni precedentemente descritte, si individuano le seguenti macro-famiglie di apparecchi:

- **Riflettori:** Calotte in alluminio riflettente utilizzate per recuperare la parte di flusso che si indirizza verso direzioni diverse da quella desiderata. Servono dunque per modificare la distribuzione dell'intensità luminosa lungo le varie direzioni uscenti dalla lampada
- **Superfici rifrangenti:** Superfici in vetro o plexiglass scanalato con superfici prismatiche opportune utilizzate per definire la direzione privilegiata di uscita del flusso luminoso. Hanno la medesima funzione dei precedenti



POLITECNICO DI MILANO



La progettazione d'impianto

Scelta dei componenti di dettaglio: gli apparecchi

54

- **Superfici diffondenti:** Superfici di rivestimento delle lampade in vetro smerigliato o opalescente, utilizzate per aumentare la superficie della sorgente vista dall'utente. In tale modo viene attenuata la luminanza eccessiva della lampada
- Le caratteristiche di alterazione del flusso luminoso emesso dalla sorgente sono sintetizzate dalla curva fotometrica, già precedentemente discussa



POLITECNICO DI MILANO



La struttura di costo

Le voci di costo rilevanti

55

Come sempre, le voci di costo rilevanti fanno riferimento a costi di impianto e costi di esercizio

▪ Costi d'impianto

- Acquisto delle lampade
- Acquisto degli apparecchi illuminanti
- Acquisto degli accessori (starter, reattori, ...)
- Installazione degli apparecchi

POLITECNICO DI MILANO



La struttura di costo

Le voci di costo rilevanti

56

▪ Costi di esercizio

- Energia elettrica consumata (dipende dall'efficienza luminosa)
- Lampade di ricambio (dipende dal costo d'acquisto delle lampade e dalla vita media)
- Manutenzione (dipende dal numero di lampade, dal tipo di accessori, dal posizionamento delle lampade per sostituzione e pulizia, ...)

POLITECNICO DI MILANO