



COMUNE DI FLERO
Provincia di Brescia

IL PIANO REGOLATORE DELL'ILLUMINAZIONE COMUNALE (PRIC)

LINEE GUIDA ALLA PROGETTAZIONE

Redatto in prima bozza da INEMA s.p.a. – Bologna

Aggiornato 09 dicembre 2015
in previsione della gara di

*Intervento di adeguamento, messa in sicurezza e riqualificazione
degli impianti di pubblica illuminazione*

Elaborato	Revisione
02	01



SOMMARIO

1	Classificazione delle strade Italiane.....	4
1.1	Premessa	4
1.2	Alcune definizioni	4
1.3	Classificazione tecnica.....	5
1.4	Classificazione amministrativa.....	6
2	Progettazione illuminotecnica.....	7
2.1	Premessa	7
2.2	Procedura per l'individuazione delle categorie illuminotecniche	8
2.3	Piste ciclabile	11
3	Criteri di suddivisione delle zone di studio	12
3.1	Strade a traffico veicolare	12
3.2	Strade di classe F con limite di velocità < 30 km/h.....	12
3.3	Piste ciclabili e zone in cui gli utenti principali sono pedoni	12
3.4	Zone di conflitto.....	12
3.5	Rallentatori di velocità.....	12
3.6	Attraversamenti pedonali.....	12
3.7	Controllo dell'abbagliamento debilitante e resa dei colori.....	13
3.8	Zone contigue e zone adiacenti.....	13
3.9	Categorie illuminotecniche addizionali	13
3.10	Illuminazione delle intersezioni stradali a rotatoria	14
3.11	Illuminazione delle intersezioni stradali a raso e a livelli sfalsati.....	14
3.12	Parametri illuminotecnici progettuali	15
3.12.1	Ambito stradale.....	15
3.12.2	Altri ambiti.....	15
3.13	Misurazioni	16
3.14	Piano di manutenzione.....	16
3.15	Progetto.....	16
4	Progettazione elettrica	17
5	Concetti di Illuminotecnica.....	19
5.1	Introduzione.....	19
5.2	La luce.....	20
5.3	Curva di visibilità.....	20
5.4	Il sistema di visione umana occhio - cervello.....	20
5.5	Visibilità e Flusso luminoso.....	21
5.6	Illuminamento E	21
5.7	Radianza M.....	21
5.8	Intensità luminosa I.....	21
5.9	Luminanza.....	22
5.10	Solido fotometrico	22
5.11	Curva fotometrica.....	22
5.12	Efficienza specifica.....	23
5.13	Sorgenti di luce Temperatura di colore T (K).....	23



5.14	Durata (h)	23
5.15	Decadimento del flusso luminoso (%)	23
5.16	Resa.....	23
6	Sorgenti luminose.....	24
6.1	Classificazione delle sorgenti luminose.....	24
6.2	Lampade ad incandescenza.....	24
6.2.1	Lampade ad incandescenza Gls	24
6.2.2	Lampade ad incandescenza Reflector	25
6.2.3	Lampade ad incandescenza Alogene	25
6.3	Lampade a scarica.....	26
6.3.1	funzionamento	26
6.3.2	Spettri di emissione delle lampade a scarica.....	26
6.4	26
6.4.1	Lampade al sodio a bassa pressione.....	27
6.4.2	Lampade al sodio a lta pressione	27
6.4.3	Lampade al mercurio a lta pressione	27
6.4.4	Lampade alogenuri.....	27
6.4.5	Lampade a luce miscelata	28
6.4.6	Lampade allo xenon	28
6.4.7	Lampade ad induzione	28
6.5	LED.....	29
6.5.1	Principi	29



1 CLASSIFICAZIONE DELLE STRADE ITALIANE

1.1 PREMESSA

Uno degli obiettivi del Piano Regolatore di Illuminazione Comunale è la classificazione del territorio per permettere la futura progettazione illuminotecnica di strade, piazze, giardini, piste ciclabili, incroci principali.

La classificazione delle strade risulta fondamentale per pianificare al meglio l'illuminazione, in quanto le caratteristiche che gli impianti dovranno soddisfare dipendono strettamente dal tipo di strada che si intende illuminare.

La classificazione delle strade deve avvenire in sintonia con quanto riportato nel:

"Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n. 285 - Nuovo codice della strada." Pubblicato sul supplemento ordinario n.74 alla "Gazzetta Ufficiale" n. 114 del 18 maggio 1992 - Serie generale quanto definito da: "Nuovo codice della strada";

Decreto Ministeriale LL. PP. del 12 aprile 1995 - "Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico" pubblicato sul supplemento ordinario n.77 alla "Gazzetta Ufficiale" n. 146 del 24 giugno 1995 - Serie generale.

Decreto Ministeriale LL. PP. del 2001

1.2 ALCUNE DEFINIZIONI

Tab 1.1

Strada	Area ad uso pubblico, destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali.
Carreggiata	Parte della strada destinata allo scorrimento dei veicoli; è composta da una o più corsie di marcia e, in genere, è pavimentata e delimitata da strisce di margine. Oltre alla striscia bianca (o gialla se a carattere provvisorio) un elemento artificiale che può segnare il limite della carreggiata è il paracarro. Sulla carreggiata avviene lo scorrimento di tutti i veicoli, salvo che la segnaletica stradale ivi presente prescriva l'obbligo per determinate categorie di avvalersi di altri percorsi specializzati (ad esempio di piste ciclabili per le biciclette o corsie pedonali per i pedoni).
Corsie di marcia	Parte della carreggiata o della strada dimensionata in modo tale da consentire lo scorrimento di una fila di veicoli in viaggio. Per il Codice della Strada la larghezza di una corsia di marcia è, a seconda del tipo di strada, compresa tra i 3,75 m delle autostrade e i 2,75 m delle strade locali urbane.
Banchina	Parte, in genere non asfaltata, che corre ai lati della strada esternamente alla carreggiata. L'articolo 3 del Codice della strada italiano la definisce come: "parte della strada compresa tra il margine della carreggiata ed il più vicino tra i seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati". La banchina rientra nella struttura della strada e pur essendo destinata normalmente alla circolazione dei pedoni, tuttavia, può essere usata dai veicoli per particolari esigenze di traffico e soprattutto al fine di evitare collisioni (Cass.pen. sez IV, 1 aprile 1988, n. 431 (ud. 18 marzo 1988), Scollo.
Intersezioni a raso	L'intersezione a raso è la più semplice ed economica modalità di intersezione fra due o più strade e di passaggio dei relativi flussi di traffico veicolare. La sua caratteristica fondamentale è quella di non avere rampe, e di collegare direttamente le strade ivi intersecanti in modo complanare, quindi senza cavalcavia. Solitamente nelle intersezioni a raso cittadine sono integrati anche degli attraversamenti pedonali, approfittando dell'arresto a cui i veicoli sono comunque costretti a causa di semafori o altra segnaletica stradale. La rotonda è un particolare tipo di intersezione a raso.



1.3 CLASSIFICAZIONE TECNICA

Il codice della strada classifica le strade in base alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali e le divide secondo le seguenti categorie:

Tab 1.2

Nome	Descrizione	Tipo	
Autostrade	Strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia (a senso unico), eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine; deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.	A	
Strade Extraurbane	Strade fuori dal centro abitato, che mettono in comunicazione le varie città.		
	Strade Extraurbane Principali	Strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione.	B
	Strade Extraurbane Secondarie	Strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine. Sono assimilate alle strade extraurbane secondarie anche le strade a carreggiate separate costruite in base alle precedenti norme che non sono classificabili come strade extraurbane principali in quanto non possiedono tutti i requisiti minimi tecnici.	C
Strade Urbane	Strade presenti all'interno dei centri abitati.		
	Strade Urbane di Scorrimento	Strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali estranee alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate.	D
	Strade Urbane di Quartiere	Strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata.	E
Altri tipi di strada	Strada Locale	Strada urbana od extraurbana non facente parte degli altri tipi di strade.	F
	Itinerario ciclopedonale	Strada locale, urbana, extraurbana o vicinale, destinata prevalentemente alla percorrenza pedonale e ciclabile e caratterizzata da una sicurezza intrinseca a tutela dell'utenza debole della strada	F-bis
	Strada di Servizio	Strada affiancata ad una strada principale (autostrada, strada extraurbana principale, strada urbana di scorrimento) avente la funzione di consentire la sosta ed il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale stessa.	

Si rimanda al D.M. del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

Successivamente al D.M. 12 aprile 1995 si introduce una ulteriore suddivisione delle strade urbane, valida per l'elaborazione dei Piani urbani del traffico e di conseguenza anche per il PRIC.

strade di scorrimento veloce, intermedie tra le autostrade e le strade di scorrimento;

strade interquartiere, intermedie tra quelle di scorrimento e quelle di quartiere;

strade locali zonali, intermedie tra quelle di quartiere e quelle locali, quest'ultime anche con funzioni di servizio rispetto alle strade di quartiere.



Pertanto la classificazione dei tipi di strade che interesserà il territorio comunale sarà la seguente:

Tab 1.3

CLASSIFICAZIONE STRADALE D.M. 12/04/95	
Strade extraurbane principali	B
Strade extraurbane secondarie	C
Strade di scorrimento veloce	D
Strade urbane di scorrimento	D
Strade urbane di interquartiere	E
Strade urbane di quartiere	E
Strade locali zonali	F
Strade locali	F
Itinerario ciclopedonale	F-bis

1.4 CLASSIFICAZIONE AMMINISTRATIVA

Un'ulteriore classificazione, viene fatta in base al demanio proprietario e all'importanza della strada.

Tab 1.4

CLASSIFICAZIONE AMMINISTRATIVA DELLE STRADE	
Nome	Descrizione
Strada Statale S.S.	<p>a) Costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale;</p> <p>b) Congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi;</p> <p>c) Congiungono tra loro i capoluoghi di regione ovvero i capoluoghi di provincia situati in regioni diverse, ovvero costituiscono diretti ed importanti collegamenti tra strade statali;</p> <p>d) Allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica;</p> <p>e) Servono traffici interregionali o presentano particolare interesse per l'economia di vaste zone del territorio nazionale.</p> <p>Le strade statali sono gestite dallo Stato tramite l'ANAS</p>
Strade Regionali S.R.	Allacciano i capoluoghi di provincia della stessa regione tra loro o con il capoluogo di regione ovvero allacciano i capoluoghi di provincia o i comuni con la rete statale se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
Strade Provinciali S.P.	Allacciano al capoluogo di provincia capoluoghi dei singoli comuni della rispettiva provincia o più capoluoghi di comuni tra loro ovvero quando allacciano alla rete statale o regionale i capoluoghi di comune, se ciò sia particolarmente rilevante per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.
Strade Comunali S.C.	<p>Questa categoria comprende le strade extraurbane considerate d'importanza comunale (dal Codice della Strada: se congiungono il capoluogo del comune con le sue frazioni o le frazioni fra loro, o congiungono il capoluogo con la stazione ferroviaria, tranviaria o automobilistica, con un aeroporto o porto marittimo, lacuale o fluviale, con interporti o nodi di scambio intermodale o con le località che sono sede di essenziali servizi interessanti la collettività comunale), tutte le strade urbane nonché i tratti urbani delle strade statali, regionali o provinciali, che attraversano centri con 10.000 o più abitanti. I tratti urbani delle strade statali, regionali o provinciali, che attraversano centri con meno di 10.000 abitanti non sono comunali.</p> <p>Le strade comunali sono categorizzate in base ai nomi e molto raramente sono contraddistinte dalla sigla SC.</p>
Strade Vicinali ad uso pubblico	<p>Questa categoria comprende tutte quelle strade aperte al pubblico transito o di proprietà del Comune o, se di proprietà di soggetti privati, gravate da un diritto reale di pubblico uso.</p> <p>Il Codice della strada - ai soli fini dell'applicazione delle norme in esso contenute - assimila le strade vicinali alle strade comunali, nell'ambito delle così dette strade extra urbane.</p>
Strade Vicinali ad uso privato	Questa categoria comprende tutte quelle strade di proprietà di soggetti privati sulle quali non grava alcun diritto reale di pubblico uso.



2 PROGETTAZIONE ILLUMINOTECNICA

2.1 PREMESSA

Risulta fondamentale, sia ai fini della stesura di un piano della luce che della progettazione illuminotecnica, definire i parametri di progetto e quindi classificare correttamente il territorio in ogni suo ambito.

La classificazione definita in un PRIC, risulta un indispensabile riferimento nell'identificare i parametri di progetto nel caso di interventi di riqualifica sull'esistente o di nuove realizzazioni.

Al fine di stabilire le categorie illuminotecniche adatte, si farà riferimento alla norma UNI11248 "Selezione delle categorie illuminotecniche".

Tale norma individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti della strada.

In particolare:

- 1) Indica come classificare una zona esterna destinata al traffico.
- 2) Fornisce la procedura per la selezione delle categorie illuminotecniche che competono alla zona classificata.
- 3) Identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale, e attraverso la valutazione dei rischi, permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.
- 4) Fornisce prescrizioni sulle griglie di calcolo per gli algoritmi e per la misurazioni in loco.

Le caratteristiche fotometriche di un impianto di illuminazione stradale, sono definite mediante una o più categorie illuminotecniche, che dipendono da numerosi parametri. Per un dato impianto si possono individuare le seguenti categorie illuminotecniche:

Tab 2.1

Categoria illuminotecnica di riferimento	Tale categoria deriva direttamente dalle leggi e norme di settore. La classificazione non è normalmente di competenza del progettista, ma lo stesso può aiutare nell'individuazione della corretta classificazione.
Categoria illuminotecnica di progetto	Dipende dall'applicazione dei parametri di influenza e specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel progetto dell'impianto.
Categorie illuminotecniche di esercizio	In relazione all'analisi dei parametri di influenza (analisi dei rischi) e ad aspetti di contenimento dei consumi energetici, sono quelle categorie che tengono conto del variare nel tempo dei parametri di influenza, come in ambito stradale, il variare dei flussi di traffico durante la giornata. Nella definizione della categoria illuminotecnica di progetto il progettista: individua i parametri di influenza applicabili e definisce nel progetto le categorie illuminotecniche di esercizio.

È compito preliminare del progettista individuare i parametri di influenza significativi, i quali devono essere noti prima di iniziare il progetto, pervenire alla definizione delle categorie illuminotecniche attraverso una **valutazione del rischio obbligatoria**, che è parte integrante del progetto e dove devono essere esplicitati i criteri e le fonti delle informazioni che hanno portato alle scelte effettuate.



2.2 PROCEDURA PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE

In accordo con il comune, si individua la tipologia di strada:

- a) In caso di presenza di un PUT, si utilizza la classificazione presente, dopo aver verificato che sia coerente con quanto definito dal codice della strada, (D.Lgs 285 del 30/04/92 e s.m.i.) e sulla base del D.M. num. 6792 del 05/11/2011
- b) In assenza di PUT si identifica la categoria illuminotecnica utilizzando le norme UNI 11248 e UNI EN 13201.

Tab 2.2

TABELLA SEMPLIFICATA PER LA CLASSIFICAZIONE SECONDO IL CODICE DELLA STRADA				
Strada		Corsie minime indipendenti	Senso minimo di marcia	Requisiti minimi
A	Autostrada	2	2+2	
B	Extraurbana principale	2	2+2	Tangenziali e superstrade
C	Extraurbana secondaria	1	1+1	Con banchine laterali transitabili oppure S.P. e S.S.
D	Urbana a scorrimento veloce	2	2+2	Limite velocità maggiore 50Km/h
	Urbana a scorrimento	2	2+2	Limite velocità minore 50Km/h
E	Urbana di quartiere	1	1+1 o 2 nello stesso senso	Solo proseguimento strade C Con corsie di manovra e parcheggi esterni alla carreggiata
F	Extraurbana locale	1	1+1 o 1 nello stesso senso	Se diverse dalle strade C
	Urbana interzonale	1	1+1 o 1 nello stesso senso	Urbane locali di rilievo che attraversano il centro abitato
	Urbana locale	1	1+1 o 1 nello stesso senso	Tutte le altre strade del centro abitato

Precisazione:

- a) La classificazione della strada deve essere comunicata al progettista dal committente o dal gestore della strada, valutate le reali condizioni ed esigenze.
- b) Le strade urbane su cui si svolgono regolari servizio di trasporto pubblico, non possono essere classificate come strade tipo F – Urbane locali
- c) Si ponga particolare attenzione alle strade tipo E (urbana di quartiere) affinché tale strada possa essere classificata in tal modo, è necessario che attraversando il centro urbano, svolga il compito di collegare le strade urbane locali e le strade urbane di scorrimento. Pertanto sono strade che entrano nel centro urbano e che nel tracciato extraurbano erano di tipo C (extraurbane secondarie).

Definite le tipologie di strade si individuano le categorie illuminotecniche di un impianto mediante i seguenti passi:

1. Definizione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi.

Si suddivide la strada in una o più zone di studio con condizioni omogenee dei parametri di influenza e per ogni zona di studio si identifica il tipo della strada e la categoria illuminotecnica di ingresso corrispondente.

2. Definizione della categoria illuminotecnica di progetto.

Valutando i parametri di influenza e considerando anche gli aspetti del contenimento dei consumi energetici, si decide se considerare questa categoria come quella di progetto o modificarla.
L'analisi dei parametri di influenza viene condotta dal progettista all'interno dell'analisi dei rischi.

3. Definizione delle categorie illuminotecniche di esercizio.

Si introducono, se necessario, una o più categorie illuminotecniche di esercizio, specificando chiaramente le condizioni dei parametri di influenza che rendono corretto il funzionamento dell'impianto secondo la data categoria.



La norma UNI 11248 introduce alcuni possibili parametri di influenza (non tutti applicabili) in ciascun ambito illuminotecnico. Tali parametri possono essere integrati previa adeguata analisi dei possibili rischi.

Tab 2.3

Parametri di influenza utili per incrementare o ridurre la classificazione di un intero tratto stradale			
Applicazione	Parametro	Valori UNI11248	Valori proposti
Stradale e ciclopedonale	Campo visivo normale	-1 non sommabili e non applicabili alla categoria A1	-1 non sommabili e non applicabili alla categoria A1
	Condizioni non conflittuali		-1 non applicabili alla categoria A1
Stradale	Flusso di traffico < 50%	-1	-1
	Flusso di traffico < 25%	-2	-2
	Assenza di svincoli e intersezioni a raso	-1	-1
	Assenza di attraversamenti pedonali	-1	-1
Non Stradale	Quando il flusso di traffico veicolare e pedonale decresce considerevolmente entro le ore 24	Non indicato	-1
Pedonale Aree di aggregazione	Ra >= 60	-1	-1
	Ra < 30	+1	0
	Pericolo di aggressione	+1	+1
Parametri di influenza utili per incrementare o ridurre la classificazione zone molto ristrette			
Applicazione	Parametro	Valori UNI11248	Valori proposti
Stradale	Dispositivi rallentatori	+1	+1
Stradale	Svincoli e intersezioni a raso		
Stradale	Passaggi pedonali		
Stradale	Segnaletica efficace nelle zone di conflitto		
		-1	-1

NOTE:

- 1) La variazione della categoria avviene sottraendo al numero che compare nella sigla della categoria di ingresso per l'analisi dei rischi, ottenendo categorie con requisiti prestazionali inferiori. Nel caso in cui nella sigla appaia una lettera finale, si deve, eseguito il calcolo descritto, selezionare quella con uniformità longitudinale più simile a quella di origine (come da prospetti UNI EN 31201-2).
- 2) Con apparecchi che emettono luce con indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60, previa verifica, nell'analisi dei rischi delle condizioni di visione, il progettista può apportare la riduzione massima di una categoria illuminotecnica. (Riduzione da utilizzare con cautela)
- 3) Nei casi più complessi, (incroci, svincoli di strade con notevole flusso di traffico, situazioni conflittuali potenzialmente pericolose, ...) il progettista deve valutare l'importanza locale di ulteriori parametri di influenza avvalendosi anche dei dati statistici.
- 4) Il decremento totale della categoria di ingresso per l'analisi dei rischi, funzione dei parametri di influenza non può essere maggiore di 2.
- 5) Qualora il decremento massimo totale sia dovuto esclusivamente alla riduzione del flusso di traffico rispetto alla portata di servizio, il progettista può valutare un'ulteriore riduzione di massimo una categoria illuminotecnica. Tuttavia, se come categoria illuminotecnica di esercizio il progettista individui la categoria illuminotecnica M6, tenendo conto dell'influenza della luminanza stradale sulla percezione, potrà applicarla soltanto in zone di studio ove alla bassa densità abitativa sia associato un ridotto rischio di incidenti e di atti criminosi e dovrà dichiarare espressamente di essere consapevole di attivare una condizione di illuminazione sufficiente ai fini della sicurezza solo nella detta zona di studio, firmando questa dichiarazione.
- 6) La categoria illuminotecnica di progetto deve essere valutata per la portata di servizio della strada, indipendentemente dal flusso di traffico effettivamente presente.

L'analisi dei rischi è parte **obbligatoria** del progetto illuminotecnico e deve essere necessariamente firmata dal progettista. Consiste nella valutazione dei parametri di influenza al fine di individuare le categorie illuminotecniche che garantiscono la massima efficacia del contributo degli impianti di illuminazione alla sicurezza degli utenti della strada in condizioni notturne, minimizzando al contempo i consumi energetici, i costi di installazione e di gestione dell'impatto ambientale. Nei casi più semplici, è sufficiente che il progettista basi l'analisi dei rischi sulla conoscenza dei parametri di influenza generalmente più significativi che possono essere individuati tramite tabella 2.3, nel quale i valori numerici sono indicativi.



Tenuto conto quindi dei principali parametri di influenza possiamo riassumere il processo di classificazione nei prospetti seguenti.

Prospetto 1

Classificazione illuminotecnica rispetto ai fondamentali parametri di influenza										
Descrizione del tipo di strada	Portata di servizio per corsia Veicoli/ora	Limiti di velocità Km/h	Categoria Illum. di riferimento	Area di conflitto	Complessità campo visivo	Dispositivi rallentatori	Categoria illum. di progetto	Categoria illum. di esercizio		
								Flusso di traffico		
								50%	25%	
A1	Autostrade extraurbane	1100	130 - 150	ME1	-	Normale	ME2	ME3a	ME4a	
	Autostrade urbane				-	Elevata	ME1	ME2	ME3a	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane		70 - 90	ME3a	NO	Normale	ME3a	ME4a		
	Strade di servizio alle autostrade urbane		50		SI	Elevata	ME2	ME3a		
B	Strade extraurbane principali		110	ME3a	NO	Normale	ME3a	ME4a	ME4a	
	Strade di servizio alle Strade extraurbane principali		70 - 90	ME4a	SI	Elevata	ME2	ME3a	ME3a	
C	Strade extraurbane secondarie tipi C1 e C2		600	70 - 90	ME3a	NO		ME3a	ME4a	ME5
						SI		ME2	ME3a	ME4a
	Strade extraurbane secondarie			50	ME4b	NO		ME4a	ME5	ME6
						SI		ME3c	ME4b	ME5
Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME3a	NO		ME3a	ME4a	ME5			
			SI		ME2	ME3a	ME4a			
D	Strade urbane di scorrimento ¹	950	70	ME3a	NO		ME3a	ME4a	ME5	
					SI		ME2	ME3a	ME4a	
					NO		ME3a	ME4a	ME5	
					SI		ME2	ME3a	ME4a	
E	Strade urbane interquartiere	800	50	ME3c	NO		NO	ME3c	ME4b	
					SI		SI	ME2	ME3c	ME4b
					NO		NO	ME2	ME3c	ME4b
					SI		SI	ME1	ME2	ME3c
	Strade urbane di quartiere	800	50	ME3c	NO		NO	ME3c	ME4b	
					SI		SI	ME2	ME3c	ME4b
					NO		NO	ME2	ME3c	ME4b
					SI		SI	ME1	ME2	ME3c
F	Strade locali extraurbane tipi F1 e F2 ¹	800	70 - 90	ME3a	NO		ME3a	ME4a	ME5	
					SI		ME2	ME3a	ME4a	
	Strade locali extraurbane	800	50	ME4b	NO		ME3c	ME5	ME6	
					SI		ME4a	ME4b	ME5	
Strade locali urbane tipi F1 e F2 ¹	800	50	ME4b	NO		ME4a	ME5	ME6		

Prospetto 2

Classificazione illuminotecnica di strade e aree a traffico misto rispetto ai fondamentali parametri di influenza										
Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità Km/h	Categoria Illum. di riferimento	Area di conflitto	Complessità campo visivo	Dispositivi rallentatori	Rischio aggressione	Categoria illum. di progetto	Categoria illum. di esercizio		
								Flusso di traffico		
								50%	25%	
F	Strade locali extraurbane	30	S3	NO			S2	S4	S5	
				SI			S3	S3	S4	
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE4		Normale	NO	Normale	CE4	CE5	S4
						SI	Normale	CE3	CE4	CE5
						SI	Elevata	CE2	CE3	CE4
					Elevata	NO	Normale	CE3	CE4	CE5
						SI	Elevata	CE2	CE3	CE4
						SI	Normale	CE2	CE3	CE4
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3		Normale	NO	Normale	CE5	S4	S5
						SI	Elevata	CE4	CE5	S4
						SI	Elevata	CE3	CE4	CE5
					Elevata	NO	Normale	CE4	CE5	S4
						SI	Elevata	CE3	CE4	CE5
						SI	Normale	CE3	CE4	CE5
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	CE5/S3				Normale	CE5	S4	S5
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE5/S3				Elevata	CE4	CE5	S4
Strade locali interzonali	50/30	CE5/S3				Normale	CE5	S4	S5	
Strade a destinazione particolare	30	S3	NO				S3	S4	S5	
			SI				S2	S3	S4	

¹ Per strade di servizio, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile a questa (prospetto 5).



Osservazioni per le strade di tipo F

- 1) Nel caso di indicazione multipla la categoria illuminotecnica deve essere scelta attraverso l'analisi dei rischi.
- 2) Se in prossimità di incroci in zone rurali o in strade locali extraurbane sono previsti apparecchi di illuminazione, singoli o in numero molto limitato con funzione di segnalazione visiva, limitatamente per questa zona non si richiede alcuna prescrizione per i livelli di illuminazione (categoria illuminotecnica S7) e si richiede la categoria illuminotecnica G3 per la limitazione dell'abbagliamento, valutata nelle condizioni di installazione degli apparecchi di illuminazione.
- 3) Con la categoria di riferimento ME4
 - a. Con campo visivo normale (nella maggior parte dei casi) diventa ME5, nei restanti casi rimane ME4b
 - b. Qualora non sia calcolabile il parametro di luminanza della strada secondo la UNI 13201-3, si deve utilizzare la categoria illuminotecnica CE di livello luminoso comparabile (Prospetto 5) con campo visibile normale tele indice è CE5 negli altri casi CE4.
- 4) Strade a traffico veicolare minore di 30km/h categoria illuminotecnica di riferimento CE4 per i centri storici e isole ambientali, e CE5 per il resto.

2.3 PISTE CICLABILE

Tab 2.4

Classificazione illuminotecnica delle piste ciclabili						
Categoria di riferimento	Ambiente	Flusso di traffico ciclisti	Pedoni	Pendenza media	Tratto di progetto	Categoria illuminotecnica di progetto
S3	Urbano	Normale	Non Ammessi	< 2%	Rettilineo	S4
					Curva	S3
				> 2%	Rettilineo	S3
			Curva	S2		
			Ammessi	< 2%	Rettilineo	S3
				Curva	S2	
		> 2%		Rettilineo	S2	
		Curva	S1			
		Elevato	Non Ammessi	< 2%	Rettilineo	S2
				Curva	S1	
				> 2%	Rettilineo	S1
			Curva	CE3		
	Ammessi		< 2%	Rettilineo	S1	
			Curva	CE3		
		> 2%	Rettilineo	CE3		
	Curva	CE2				
	Extraurbano	Normale	Non Ammessi	< 2%	Rettilineo	S5
					Curva	S4
				> 2%	Rettilineo	S4
			Curva	S3		
			Ammessi	< 2%	Rettilineo	S4
				Curva	S3	
		> 2%		Rettilineo	S3	
		Curva	S2			
Elevato		Non Ammessi	< 2%	Rettilineo	S3	
			Curva	S2		
			> 2%	Rettilineo	S2	
		Curva	S1			
	Ammessi	< 2%	Rettilineo	S2		
		Curva	S1			
> 2%		Rettilineo	S1			
Curva	CE2					

Prospetto 3

Esempi di provvedimenti integrativi all'impianto di illuminazione	
Condizione	Rimedio
Prevalenza di precipitazioni atmosferiche	Ridurre l'altezza e l'interdistanza tra gli apparecchi di illuminazione e l'inclinazione massima delle emissioni luminose rispetto alla verticale in modo da evitare il rischio di riflessione verso l'occhio dei conducenti degli autoveicoli
Riconoscimento dei passanti	Verificare che l'illuminamento verticale all'altezza del viso sia sufficiente
Luminanza ambientale elevata (ambiente urbano)	Adottare segnali stradali attivi e/o fluorifrangenti di classe adeguata
Elevata probabilità di mancanza di alimentazione	
Elevati tassi di malfunzionamento	
Curve pericolose in strada con elevata velocità degli autoveicoli	
Presenza di rallentatori di velocità	Illuminare gli attraversamenti pedonali con impianto separato e segnalarli adeguatamente
Attraversamenti pedonali in zone con flusso di traffico e/o velocità elevate	
Programma di manutenzione inadeguato	Ridurre il fattore di manutenzione nel calcolo illuminotecnico



3 CRITERI DI SUDDIVISIONE DELLE ZONE DI STUDIO

La strada è normalmente costituita da più zone di studio.

- Per ogni zona di studio il progettista seleziona una categoria illuminotecnica di progetto e una o più categorie illuminotecniche di esercizio.
- La determinazione dell'estensione della zona di studio e delle parti della strada che la delimitano è compito del progettista.
- La presenza di rallentatori di velocità implica la necessità di definire una zona di studio che consideri il tratto di strada ove sussiste l'azione di rallentamento.

3.1 STRADE A TRAFFICO VEICOLARE

Ad esclusione delle strade di classe F con limite < 30Km/h

- In assenza di corsie di emergenza, marciapiedi o piste ciclabili laterali, la zona da prendere in considerazione corrisponde alla carreggiata.
- In presenza di corsie di emergenza adiacenti occorre considerare le due zone come zone di studio separate.
- Marciapiedi, attraversamenti pedonali o piste ciclabili, se presenti, costituiscono una zona di studio separata.

3.2 STRADE DI CLASSE F CON LIMITE DI VELOCITÀ < 30 KM/H

- In assenza di marciapiedi laterali, la zona da prendere in considerazione corrisponde alla totalità dello spazio compreso tra le facciate degli edifici posti direttamente a filo o entro i limiti delle proprietà che costeggiano la zona.
- Marciapiedi, attraversamenti pedonali, piste ciclabili, se presenti, costituiscono una zona di studio separata.

3.3 PISTE CICLABILI E ZONE IN CUI GLI UTENTI PRINCIPALI SONO PEDONI

La zona da prendere in considerazione corrisponde a marciapiedi, attraversamenti pedonali o piste ciclabili definite. Marciapiedi (o attraversamenti pedonali) e piste ciclabili adiacenti possono essere raggruppati in una medesima zona.

3.4 ZONE DI CONFLITTO

- In assenza di marciapiedi, attraversamenti pedonali o piste ciclabili laterali, la zona da prendere in considerazione corrisponde alla carreggiata.
- Nella zona di studio deve essere considerato anche l'isolotto centrale di una rotonda se questi può essere occupato o attraversato da veicoli autorizzati.
- Marciapiedi, attraversamenti pedonali, piste ciclabili, se presenti, costituiscono una zona di studio separata.

3.5 RALLENTATORI DI VELOCITÀ

- La zona considera esclusivamente i tratti ove sono installati rallentatori di velocità.
- Nel caso di dispositivi ravvicinati, questi dispositivi e la strada costituiscono una medesima zona di studio; mentre quando la distanza tra più dispositivi successivi è, a giudizio del progettista, sufficientemente ampia, ciascuno di questi dispositivi può essere considerato come appartenere a una zona di studio distinta, limitata alle vicinanze immediate del dispositivo.

3.6 ATTRAVERSAMENTI PEDONALI

La zona di studio considera:

- Lo spazio specificatamente definito dalla segnaletica stradale.
- Lo spazio simmetrico rispetto alla segnaletica per una larghezza pari a quella della segnaletica stessa.
- Il marciapiede, limitatamente al tratto corrispondente alla larghezza della zona.



3.7 CONTROLLO DELL'ABBAGLIAMENTO DEBILITANTE E RESA DEI COLORI

L'abbagliamento debilitante, deve essere mantenuto entro valori di tollerabilità.

Nel caso delle categorie illuminotecniche ME, le condizioni di abbagliamento sono specificate mediante il parametro di incremento di soglia TI.

Per situazioni che fanno riferimento alle categorie illuminotecniche CE e S (isole ambientali, centri storici, altri tipi di strada con velocità massima compresa tra 5km/h e 30km/h e nelle strade con velocità della marcia a piedi), il valore dell'incremento di soglia TI è riportato nel prospetto 4.

Prospetto 4

Valori dell'incremento di soglia (TI) per le categorie CE ed S						
Indice di incremento della soglia di percezione	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	15	15	15	20	20	20
Indice di incremento della soglia di percezione	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5
	10	10	10	15	15	15

Il valore minimo di resa dei colori è 20

3.8 ZONE CONTIGUE E ZONE ADIACENTI

- Quando zone adiacenti o contigue prevedono categorie illuminotecniche diverse che a loro volta impongono requisiti prestazionali basati sulla luminanza o sull'illuminamento, è necessario individuare le categorie illuminotecniche che presentano un livello luminoso comparabile secondo il prospetto 5.
- Se la zona contigua costituisce una zona di conflitto, la normativa raccomanda di adottare per detta zona un livello luminoso maggiore del 50%.
- Per zone adiacenti, si deve evitare una differenza maggiore di due categorie illuminotecniche comparabili. La zona in cui il livello luminoso raccomandato è il più elevato, costituisce la zona di riferimento.

Prospetto 5

Comparazione di categorie illuminotecniche								
	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

3.9 CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE ADDIZIONALI

Quando si deve facilitare la visione delle superfici verticali (svincoli o zone di interscambio) o in zone con rischio di azioni criminose (soggette per esempio a videosorveglianza), si ricorre a prescrizioni anche per l'illuminazione sul piano verticale. Alle categorie illuminotecniche individuate precedentemente, si deve aggiungere la categoria illuminotecnica specificata nel prospetto 6.

Prospetto 6

Categorie illuminotecniche addizionali									
Categoria illuminotecnica individuata	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
Categoria illuminotecnica addizionale		EV3	EV4	EV5					



3.10 ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI A ROTATORIA

Possono essere illuminate applicando le categorie illuminotecniche della serie CE, integrate con i requisiti sull'abbagliamento debilitante.

In particolare:

1) Strade di accesso con bracci di ingresso e uscita illuminati

La categoria illuminotecnica selezionata deve essere maggiore di un livello rispetto alla maggiore tra quelle previste per le strade di accesso, facendo riferimento al prospetto 5.
Es. strada di accesso ME3, nell'intersezione si applica la categoria CE2.

2) Strade di accesso con bracci di ingresso e uscita non illuminate

Si raccomanda di assumere la categoria illuminotecnica CE1 con valore di incremento di soglia specificato nel prospetto 4.

Se una o più delle strade di accesso non fossero illuminate, il riferimento è alla categoria illuminotecnica prevista per dette strade.

Inoltre per evitare il brusco passaggio da zone illuminate a zone non illuminate, si raccomanda di adottare soluzioni tecniche che creino una illuminazione decrescente nella zona di transizione. La lunghezza di questa zona non dovrebbe essere minore dello spazio percorribile in 5 sec alla velocità massima prevista.

3.11 ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI STRADALI A RASO E A LIVELLI SFALSATI

Gli elementi componenti le intersezioni (rampe e corsie specializzate), possono essere illuminate applicando le categorie illuminotecniche della serie CE, integrate con i requisiti sull'abbagliamento debilitante.

In particolare:

1) Strade principali illuminate

Se le strade principali di cui gli elementi di intersezione fanno parte sono illuminate, la categoria illuminotecnica selezionata deve essere maggiore di una categoria rispetto alla maggiore tra quelle selezionate per le strade di accesso facendo riferimento al prospetto 5.

Es. strada di accesso ME3, nell'intersezione si applica la categoria CE2.

2) Strade principali non illuminate

Si raccomanda di assumere la categoria illuminotecnica CE1 con valore di incremento di soglia specificato nel prospetto 4.

Se una o più delle strade di accesso non fossero illuminate, il riferimento è alla categoria illuminotecnica prevista per dette strade.

Inoltre per evitare il brusco passaggio da zone illuminate a zone non illuminate, si raccomanda di adottare soluzioni tecniche che creino una illuminazione decrescente nella zona di transizione. La lunghezza di questa zona non dovrebbe essere minore dello spazio percorribile in 5 sec alla velocità massima prevista.



3.12 PARAMETRI ILLUMINOTECNICI PROGETTUALI

3.12.1 AMBITO STRADALE

SERIE ME (condizioni di manto stradale asciutto)					
Categoria	Luminanza media minima mantenuta	Uniformità generale della luminanza minima	Uniformità longitudinale della luminanza minima	Abbagliamento debilitante massimo TI%	Rapporto di contiguità minima SR
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5				
ME3a	1.0				
ME3b					
ME3c					
ME4a	0.75	0.6			
ME4b		0.5			
ME5	0.5	0.35	0.4	15	Nessun requisito
ME6	0.3				

SERIE ME (condizioni di manto stradale asciutto e bagnato)						
Categoria	ASCIUTTO		BAGNATO		Abbagliamento debilitante massimo TI %	Rapporto di contiguità minima SR
	Luminanza media minima mantenuta	Uniformità generale U_0	Uniformità longitudinale U_l	Uniformità generale U_0		
MEW1	2.0	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW2	1.5		0.6			
MEW3	1.0		0.6			
MEW4	0.75		Nessun requisito			
MEW5	0.5	0.35	Nessun requisito		15	

NB: l'applicazione di questo criterio è volontaria

3.12.2 ALTRI AMBITI

Classe CE : Definisce gli illuminamenti orizzontali di aree di conflitto come strade commerciali, incroci principali, rotatorie, sottopassi pedonali ecc.

SERIE CE		
Categoria	Illuminamento medio minimo mantenuto E [lux]	Uniformità generale minima dell'illuminamento U_0
CE0	50	0.4
CE1	30	
CE2	20	
CE3	15	
CE4	10	
CE5	7.5	

Classe S : Definisce gli illuminamenti orizzontali di me strade e piazze pedonali, piste ciclabili, parcheggi, ecc.

SERIE S		
Categoria	Illuminamento medio minimo mantenuto E [lux]	Uniformità generale minima dell'illuminamento U_0
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6
S7	Prestazione non determinata	

Classe ES : Favorisce la percezione della sicurezza e la riduzione della propensione al crimine.

Classe EV : Favorisce la percezione di piani verticali in passaggi pedonali, caselli, svincoli o zone di interscambio o zone con rischio di azioni criminose.

SERIE ES	
Categoria	Illuminamento semicilindrico Esc minimo mantenuto [lux]
ES1	10
ES2	7.5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1.5
ES7	1
ES8	0.75
ES9	0.5

Categoria	Illuminamento verticale Ev minimo mantenuto [lux]
EV3	10
EV4	7.5
EV5	5



3.13 MISURAZIONI

- Le misurazioni di caratterizzazione fotometrica devono essere eseguite secondo quanto previsto dalla UNI EN 13201-4.
- Per impianti a flusso variabile, le misurazioni devono essere effettuate nelle condizioni operative previste dal progettista.
- Il progettista deve fornire, insieme ai valori di luminanza e di uniformità di luminanza, anche valori di illuminamento e di uniformità di illuminamento. L'impianto è considerato conforme, limitatamente ai requisiti sulla luminanza, se soddisfa questi valori limite.

3.14 PIANO DI MANUTENZIONE

Il progettista deve eseguire il progetto introducendo un fattore di manutenzione valutato per il tipo di apparecchio di illuminazione scelto, le condizioni ambientali e il piano di manutenzione come previsto nella CEI 154:2003

Il progettista unitamente al progetto, deve:

- Specificare il fattore di manutenzione indicando altresì tutte le assunzioni fatte per derivarne il valore.
- Indicare il tipo di dispositivo di illuminazione adatto per le condizioni ambientali previste.
- Preparare un piano di manutenzione comprensivo dei dati sulla frequenza della sostituzione delle lampade, della pulizia degli apparecchi e sulle modalità esecutive della stessa.
- Fornire informazioni per applicare correttamente il piano di manutenzione (per esempio indicando i parametri da tenere sotto controllo) e sui metodi di stima dei tempi di intervento manutentivo e di verifica del raggiungimento degli obiettivi.

3.15 PROGETTO

A completamento della documentazione del progetto devono essere accluse:

- 1) Informazioni dettagliate per individuare chiaramente la zona o le zone di studio considerate e le motivazioni progettuali che hanno portato a tali scelte.
- 2) Il tipo di strada e se questa informazione non è stata fornita dal committente, la giustificazione della scelta.
- 3) La categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi.
- 4) L'analisi dei rischi firmata e le sue conseguenze sul progetto.
- 5) I parametri di influenza considerati per completare il progetto con giustificazione della scelta dei valori adottati.
- 6) La categoria illuminotecnica di progetto e quella di esercizio.
- 7) La griglia adottata per i calcoli.
- 8) I parametri di caratterizzazione in riflessione della pavimentazione stradale presente nelle zone di studio considerate.
- 9) I valori calcolati dei parametri fotometrici previsti nella categoria illuminotecnica di progetto o nelle categorie illuminotecniche di esercizio, corredati, nel caso della luminanza della superficie stradale, dai valori di illuminamento calcolati negli stessi punti della griglia.
- 10) Un piano di manutenzione del sistema, al fine di garantire in ogni momento il mantenimento dei requisiti previsti nella categoria illuminotecnica di progetto.
- 11) IL PROGETTO DEVE RIPORTARE IL NOMINATIVO E LA FIRMA DEL PROGETTISTA CHE NE ASSUME LA RESPONSABILITA'.



4 PROGETTAZIONE ELETTRICA

La norma CEI 64-8 V2, contiene i criteri e le prescrizioni occorrenti per la **progettazione** e la **realizzazione** elettrica degli impianti di illuminazione esterna. In particolare:

- a. Resistenza d'isolamento verso terra;
- b. Caduta di tensione;
- c. Distribuzione dei carichi nei circuiti di alimentazione trifasi;
- d. Sezionamento e interruzione;
- e. Protezione contro i cortocircuiti ed i sovraccarichi;
- f. Protezione contro i contatti diretti ed indiretti;
- g. Protezione contro le sollecitazioni meccaniche;
- h. Grado di protezione dei componenti;
- i. Distanziamento dalla carreggiata e dalla sede stradale;
- j. Altezza minima sulla carreggiata;
- k. Distanziamento dai conduttori di linee elettriche aeree esterne.

La norma prescrive altresì che ogni impianto di illuminazione pubblica sia dotato di:

- a. Schema elettrico dell'impianto;**
- b. Planimetria.**

Per quanto riguarda in particolare il **grado di protezione** dei componenti elettrici, si ricorda che esso è definito dalla sigla IP seguita da due numeri di cui il primo, compreso fra 0 e 6, indica il grado di protezione contro la penetrazione di corpi solidi ed il secondo, compreso fra 0 e 8, riguarda la protezione contro i liquidi.

Tale grado di protezione deve essere, come minimo, il seguente:

- IP 58: per i componenti interrati o installati in un pozzetto;
- IP 43: per i componenti installati a meno di tre metri dal suolo;
- IP 23: per i componenti installati a 3 metri o più dal suolo: se destinati a funzionare sotto la pioggia;
- IP 22: per i componenti installati a 3 metri o più dal suolo: se riparati rispetto alla pioggia.

Si rimarcano anche i seguenti aspetti che devono essere tenuti presenti dai progettisti, dagli installatori e dai manutentori degli impianti elettrici di illuminazione pubblica:

- a. Nel caso di impianti realizzati con apparecchiature e/o morsettiere di classe I (ossia munite del solo isolamento ordinario), per l'impianto di messa a terra delle apparecchiature e dei sostegni deve essere prodotta la dichiarazione di conformità da parte dell'impresa che lo ha realizzato;
- b. L'impianto di messa a terra deve essere oggetto di verifiche periodiche;
- c. Nel caso di impianti realizzati con **apparecchiature illuminanti, cavi e morsettiere di classe II** (a doppio isolamento o ad isolamento rinforzato), la messa a terra delle apparecchiature e dei sostegni **non deve essere realizzata**;
- d. La manutenzione (o la riparazione) di un impianto di illuminazione pubblica è un lavoro elettrico che, pertanto, può essere eseguito soltanto da lavoratori formati secondo le norme CEI sui lavori elettrici 11-27 e 11-27/1 (preposti, persone PEC, PAV, PES e PEI) i quali devono operare secondo procedure di lavoro appositamente predisposte; i lavori di manutenzione elettrica degli impianti elettrici degli impianti di illuminazione pubblica dovranno pertanto essere affidati unicamente a imprese aventi lavoratori dipendenti abilitati ad eseguire lavori elettrici.

Ulteriori prescrizioni riguardanti i cavi, le linee aeree, i quadri, i dispositivi di protezione, la messa a terra, ecc. sono contenute in altre norme CEI; fra esse sono particolarmente importanti le norme CEI 11-4 e 64-8.

La norma CEI 11-4 "Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne" fornisce le prescrizioni fondamentali relative al progetto ed alla costruzione delle linee elettriche aeree utilizzate per la distribuzione pubblica dell'energia elettrica e, quindi, anche per l'alimentazione degli impianti di illuminazione esterna. In particolare, tali prescrizioni riguardano gli attraversamenti di opere pubbliche (strade, altre linee elettriche, linee di telecomunicazione, ecc.), le distanze di rispetto dai fabbricati e dalle altre opere, le altezze rispetto al suolo.



Le principali prescrizioni riguardano:

- a. Le altezze dei conduttori da terra (art. 2.1.05);
- b. Le distanze dai fabbricati (art. 2.1.08);
- c. Linee elettriche e di telecomunicazione su una stessa parete (art. 2.1.09);
- d. Le dimensioni minime dei conduttori (art. 2.2.01);
- e. La tipologia dei sostegni (sezione 4).

La norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua" fornisce le prescrizioni fondamentali relative al progetto ed alla costruzione degli impianti elettrici a bassa tensione e, quindi, anche degli impianti di illuminazione esterna. La norma è suddivisa in numerose parti; e di particolare interesse è la parte 4 contenente le prescrizioni per la sicurezza.

Tali prescrizioni riguardano:

- a. La protezione contro i contatti diretti ed indiretti (sez. 4.10);
- b. L'impiego di componenti elettrici di classe II.



5 CONCETTI DI ILLUMINOTECNICA

5.1 INTRODUZIONE

L'**Illuminotecnica** è la parte di Fisica Tecnica che studia i problemi di illuminazione, sia naturale che artificiale al fine di assicurare le condizioni di benessere ambientale e di confort visivo.

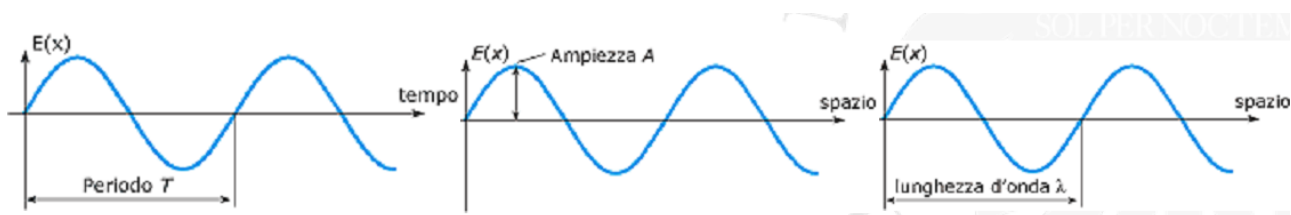
La **Fotometria** si occupa della misura della quantità di energia raggiante emessa da una sorgente, o ricevuta da una superficie, in relazione alle sensazioni prodotte nell'individuo attraverso l'occhio.

Le **onde elettromagnetiche** sono il fenomeno fisico attraverso il quale l'energia elettromagnetica può trasferirsi da luogo a luogo per propagazione. Tale fenomeno di trasferimento di energia può avvenire nello spazio libero (via etere) oppure può essere confinato e facilitato utilizzando appropriate linee di trasmissione (guide d'onda, cavi coassiali ecc.). Le onde elettromagnetiche, secondo la teoria di Maxwell, sono fenomeni oscillatori, generalmente di tipo sinusoidale, e sono costituite da due grandezze che variano periodicamente nel tempo: il campo elettrico ed il campo magnetico. In condizioni di campo lontano i due campi sono in fase, ortogonali tra loro e trasversali rispetto alla direzione di propagazione.

La **frequenza** rappresenta il numero di oscillazioni effettuate dall'onda in un secondo (unità di tempo).

La **lunghezza d'onda** è la distanza percorsa dall'onda durante un tempo di oscillazione e corrisponde alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda.

L'energia associata alla radiazione elettromagnetica è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda stessa.



La classificazione delle onde elettromagnetiche viene fatta in base alla frequenza o alla lunghezza d'onda.

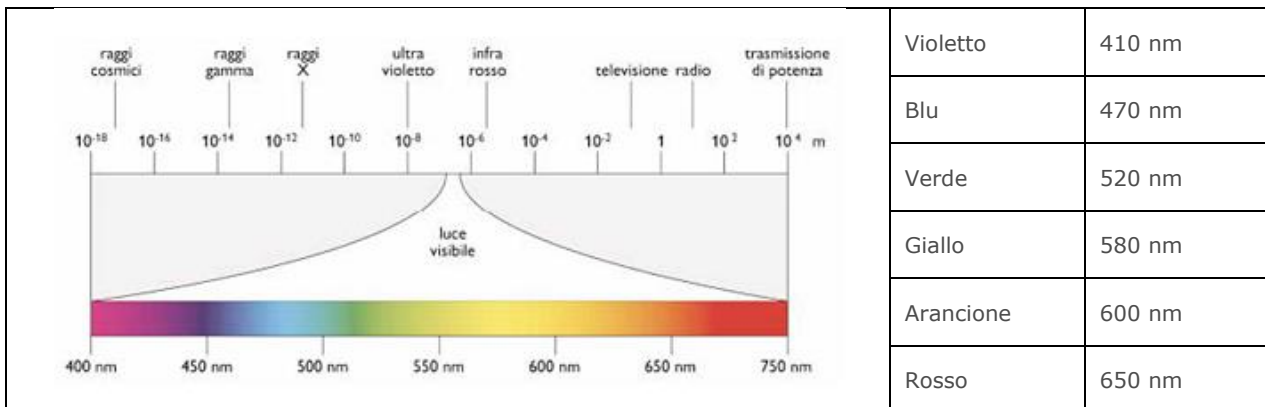
Le onde elettromagnetiche sono classificate in base alle loro frequenze caratteristiche all'interno dello spettro elettromagnetico.

Denominazione		Sigla	Frequenza	Lunghezza d'onda
Frequenze estremamente basse		ELF	0-3kHz	> 100 km
Frequenze bassissime		VLF	3-30kHz	100 - 10 km
Radio Frequenze	Basse frequenze (onde lunghe)	LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
	Medie frequenze	MF	300 - 3 MHz	1 km - 100 m
	Alte frequenze	HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m
	Frequenze altissime	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m
Microonde	Onde Decimetriche	UHF	300 MHz - 3 GHz	1m - 10 cm
	Onde Centimetriche	SHF	3 - 30 GHz	10 - 1 cm
	Onde Millimetriche	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm
Infrarosso		IR	0,3 - 385 THz	1000 - 0,78 mm
Luce Visibile			385 - 750 THz	780 - 400 nm
Ultravioletto		UV	750 - 3000 THz	400 - 100 nm
Radiazioni Ionizzanti		X	> 3000 THz	< 100 nm



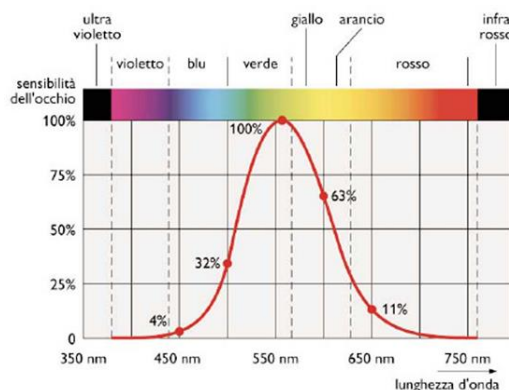
5.2 LA LUCE

Le radiazioni visibili per l'occhio umano sono comprese in una fascia molto limitata di tale spettro, compresa tra le lunghezze d'onda di circa 380 nm e di circa 780 nm.

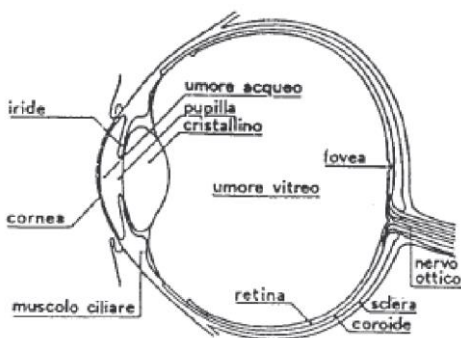


5.3 CURVA DI VISIBILITÀ

L'occhio umano valuta in misura diversa l'intensità corrispondente alle varie lunghezze d'onda ed è per questo che uguali quantità di energia raggianti di differenti lunghezze d'onda non provocano un'impressione luminosa di uguale intensità. Se, ad esempio, si considerano uguali quantità di energia per tutte le varie lunghezze d'onda e si paragona l'intensità della sensazione ricevuta, si constata che alla radiazione giallo verde (lunghezza d'onda pari a 555nm), corrisponde l'impressione luminosa più intensa mentre le radiazioni rosse e violette determinano un'impressione molto più debole.



5.4 IL SISTEMA DI VISIONE UMANA OCCHIO - CERVELLO



La luce, dopo essere penetrata nel cristallino, passa attraverso l'umore vitreo (sostanza gelatinosa limpida che riempie il bulbo oculare) fino a incidere sulla retina ove si forma l'immagine.

Sulla retina sono presenti due tipi di cellule fotosensibili, dette **bastoncelli** e **coni**, sensibili alla quantità di luce che incide nell'unità di tempo sulla retina. Coni e bastoncelli contengono particolari sostanze fotosensibili (**pigmenti**), la cui struttura chimica può essere alterata dalla luce. La maggiore o minore quantità di pigmento distrutta nell'unità di tempo provoca stimoli nervosi che passano al cervello attraverso il nervo ottico per l'interpretazione della visione.

I segnali nervosi sono in parte elaborati nella retina che risulta, dal punto di vista fisiologico un vero e proprio tessuto celebrale.



5.5 VISIBILITÀ E FLUSSO LUMINOSO

La grandezza fotometrica fondamentale è la **visibilità V**, che caratterizza le radiazioni luminose per la loro capacità di suscitare nell'occhio la generica intensità di sensazione. Essa non è utilizzata per la definizione dell'unità di misura primaria, a causa della difficile riproducibilità della procedura sperimentale (campione statisticamente significativo di persone e l'esecuzione di confronti e l'interpretazione di giudizi soggettivi).

In qualità di unità primaria è utilizzata la **candela** internazionale, unità di misura dell'intensità luminosa.

Il flusso luminoso Φ

È definito come il prodotto della potenza radiante luminosa per la visibilità, ovvero rappresenta l'energia irradiata in ogni secondo dalla sorgente di luce, riferita alla sensibilità spettrale relativa dell'occhio umano.

$$\Phi = V \cdot W \quad [\text{lumen}]$$

Tipo di lampada	Flusso luminoso
Incandescenza con ampolla chiara sferica 60W - 230V	650 lm
Alogena a doppio attacco 500W - 230V	9.900 lm
Fluorescente compatta integrata SL-E 17W - 230V	850 lm
Fluorescente lineare TLD 58W/83	5.200 lm
Ioduri Mastercolor CDM-T 70W	6.000 lm
Sodio A.P. SON-T 100W	10.000 lm
Sodio A.P. SON-T 400W	54.000 lm

5.6 ILLUMINAMENTO E

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso incidente sopra una superficie e la superficie stessa.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad [\text{lumen}/\text{m}^2] = [\text{lux}]$$

L'illuminamento è una grandezza fotometrica alla quale si fa riferimento nei Capitolati riguardanti gli impianti di illuminazione, nelle normative e nella Legislazione specifica.

In Estate a mezzogiorno, in pieno sole : circa 100.000 lux
In Inverno a mezzogiorno, all'aperto : circa 10.000 lux
Luna piena con cielo senza nuvole : circa 0,25 lux

5.7 RADIANZA M

Si definisce radianza di una superficie emittente, il flusso luminoso emesso per unità di superficie

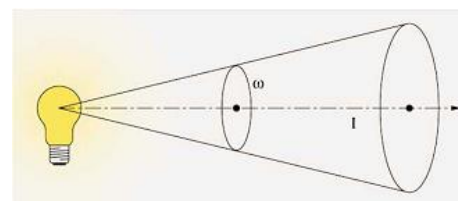
$$M = \frac{d\Phi}{dS} \quad [\text{lux s. b.}]$$

Per superfici bianche $M=E$

5.8 INTENSITÀ LUMINOSA I

Si definisce intensità luminosa in una certa direzione il flusso luminoso emesso entro l'angolo solido unitario appoggiato alla direzione considerata.

$$I_{\Omega} = \frac{d\Phi(\Omega)}{d\Omega} \quad [\text{lumen}/\text{steradiante}] = [\text{candela}]$$



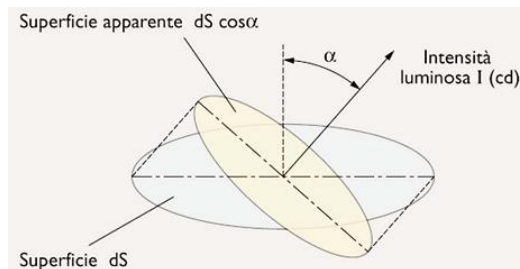
Il parametro intensità luminosa è essenziale nel campo dell'illuminotecnica: è una grandezza principalmente utilizzata per la caratterizzazione delle sorgenti luminose, attraverso le curve fotometriche, ma anche in alcune prescrizioni progettuali e normative.



5.9 LUMINANZA

Si definisce luminanza L di un elemento di una superficie emittente in una direzione il rapporto fra l'intensità luminosa emessa nella direzione considerata e l'area dell'elemento stesso proiettata sopra un piano perpendicolare alla direzione

$$L = \frac{dI_{\alpha}}{dS_{em} \cos \alpha} \quad [cd/m^2] = [nit]$$

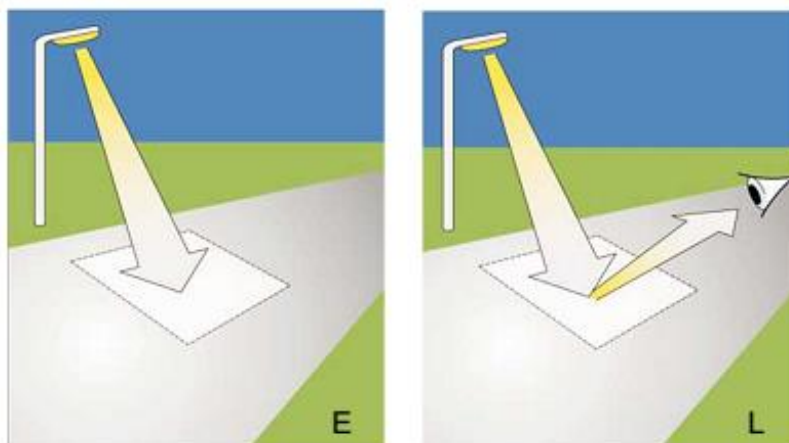


La luminanza può essere definita per superfici che emettono luce o la riflettono.

Due sorgenti luminose di stessa intensità nella stessa direzione possono avere diverse luminanze: se una delle due ha una estensione molto maggiore dell'altra, l'intensità si distribuisce su un'area maggiore e avrà una minore densità.

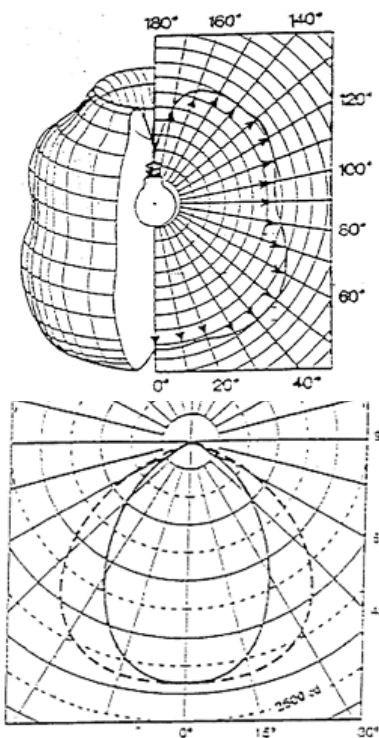
Se mettessimo un globo di vetro sabbato attorno a una lampada o candela, l'intero globo diventa luminoso, l'intensità si distribuisce su una superficie maggiore e la luminanza diminuisce.

La luminanza è una grandezza fotometrica molto utilizzata nella ingegneria dell'illuminazione, soprattutto per descrivere le superfici emittenti e nei calcoli relativi alla valutazione dei flussi emessi dalle sorgenti dirette e indirette, in campo aperto.



5.10 SOLIDO FOTOMETRICO

Distribuzione spaziale del flusso luminoso (le curve fotometriche sono rappresentate da una sezione del solido fotometrico e sono utilizzate in luogo di esso in caso di simmetria assiale)



5.11 CURVA FOTOMETRICA

Le curve fotometriche sono rappresentate da una sezione del solido fotometrico e sono utilizzate in luogo di esso in caso di simmetria assiale.

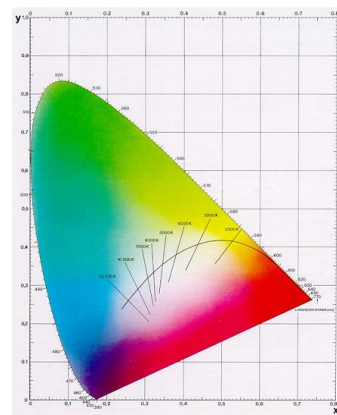


5.12 EFFICIENZA SPECIFICA

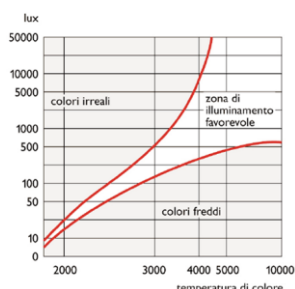
Rapporto tra il flusso luminoso emesso e la potenza elettrica assorbita.

Le lampade ad incandescenza tradizionali hanno efficienza luminosa di circa 10-20 lm/W mentre, ad esempio, quelle a vapore di sodio a bassa pressione sono caratterizzate da efficienza di circa 200 lm/W.

Il parametro efficienza luminosa assume particolare importanza nei casi in cui l'economia d'esercizio giochi un ruolo notevole nel bilancio globale delle spese dell'impianto d'illuminazione. Il massimo teorico dell'efficienza specifica di una lampada è di 683 lumen/Watt, corrispondente ad una radiazione monocromatica di 0,555 nm, per la quale si raggiunge il valore massimo del coefficiente di visibilità



5.13 SORGENTI DI LUCE TEMPERATURA DI COLORE T (K)



Temperatura alla quale il corpo nero emette una luce di colore uguale a quello della lampada in esame.

Quanto più la temperatura di colore è bassa (3300 K), tanto la luce è calda (emissione a bassa temperatura, nel rosso/arancio); quanto più la temperatura di colore è elevata (5300 K), tanto più la tonalità della luce è fredda (emissione ad alta temperatura, nel blu).

Ricordiamo che dal punto di vista psicologico esiste una stretta relazione tra la tonalità della luce ed il comfort ambientale.

Ad esempio in locali ove siano previsti valori di illuminamento piuttosto modesti è consigliabile installare lampade che emettano luce a tonalità calda piuttosto che neutra o fredda. Si veda al riguardo il diagramma di Kruitoff

5.14 DURATA (H)

Vita tecnica individuale: numero di ore di accensione dopo le quali la lampada va fuori servizio.

Vita minima: numero di ore di vita minima garantite dal costruttore.

Vita economica: numero di ore dopo le quali il livello di illuminamento decade di oltre il 30%.

Vita media: numero di ore dopo le quali il 50% di un lotto significativo di lampade va fuori servizio.

Le sorgenti che hanno la durata di vita media più breve (1000 - 1500 ore) sono le lampade ad incandescenza tradizionali; la durata di vita media più elevata è quella delle lampade ad induzione (oltre 60.000 ore) e quella dei LED (100.000 ore).

La durata delle sorgenti luminose è strettamente correlata con il decadimento del flusso luminoso nel corso della loro vita.

5.15 DECADIMENTO DEL FLUSSO LUMINOSO (%)

Diminuzione del flusso luminoso emesso nel tempo; il valore iniziale è misurato dopo 10 ore di accensione per le lampade a incandescenza e dopo 100 ore per le lampade a scarica.

5.16 RESA

Attitudine di una sorgente luminosa a rendere i colori allo stesso modo della radiazione solare; si determina illuminando con una radiazione di riferimento (con spettro di emissione prossimo a quello del Sole) e con la radiazione in esame delle piastrelle di colori campione e confrontando nel diagramma CIE UCS le coordinate cromatiche. Il valore di Ra che si ottiene è la media di 8 valori ottenuti su colori diversi, mediante la relazione

$$R_i = 100 - 4.6\Delta E_{a,i} \quad \text{dove} \quad \Delta E_{a,i} \text{ rappresenta il cambiamento di colore della } i\text{-esima piastrella.}$$

Convenzionalmente alla sorgente campione è assegnato il valore 100; aumentando l'alterazione del colore, Ra diminuisce fino a 0.

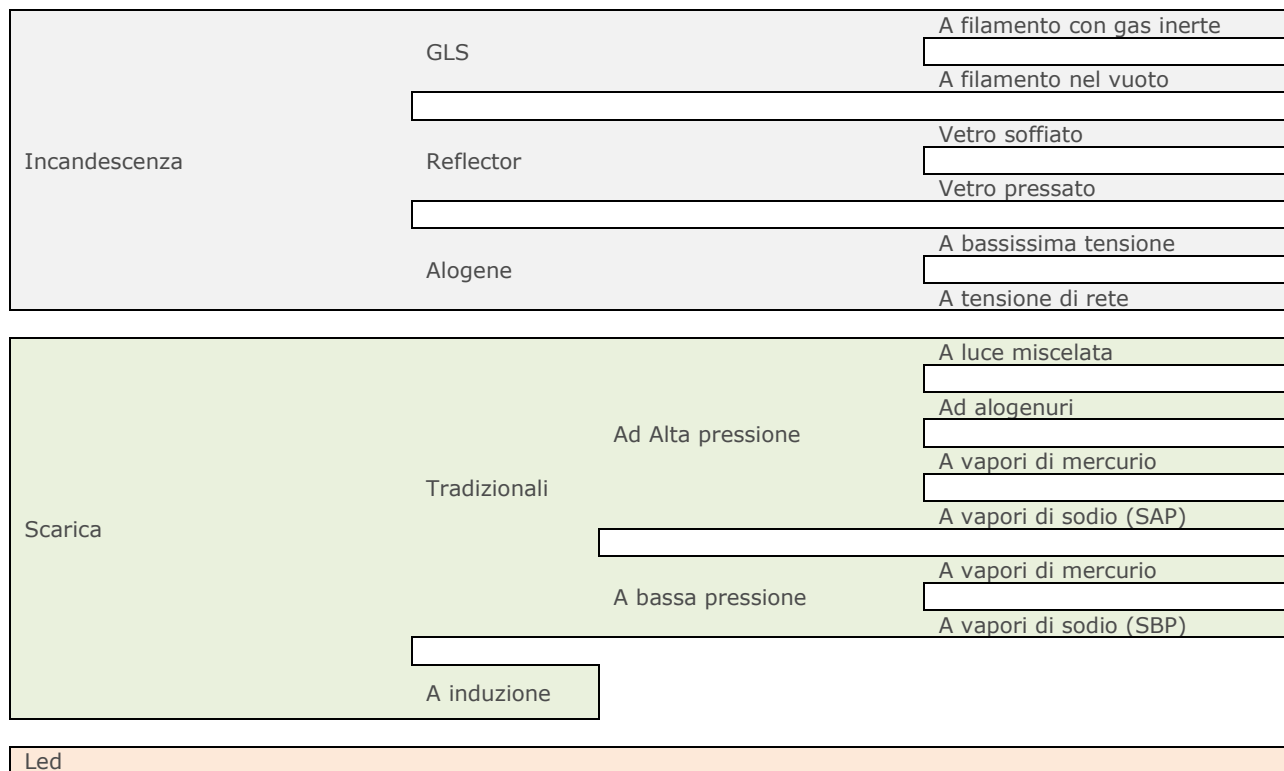
I valori di riferimento sono:

- Ra ottima = 90 - 100;
- Ra buona = 70 - 90;
- Ra moderata = 50 - 70;

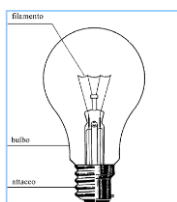


6 SORGENTI LUMINOSE

6.1 CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI LUMINOSE



6.2 LAMPADE AD INCANDESCENZA



Al fine di migliorare l'efficienza energetica entro il 2020, l'Unione Europea vieta la commercializzazione delle lampadine a incandescenza a partire dal 2010 per quelle di potenza superiore a 100 W fino ad arrivare al 2016 a quelle alogene.

Il filamento metallico, avvolto di solito a spirale, è posto all'interno di un'ampolla di vetro nella quale è praticato il vuoto oppure è immesso un gas inerte (azoto, argon) e/o un alogeno (iodio, bromo). Applicando agli estremi del filamento una differenza di potenziale, si genera un campo elettrico e si ha un passaggio di corrente attraverso il filamento, che dà luogo ad un incremento di temperatura del filamento stesso; esso si comporta come un corpo nero ad alta temperatura ed emette energia raggiante secondo uno spettro di emissione continuo, una porzione del quale nel campo del visibile.

La temperatura massima alla quale il filamento, di solito in tungsteno, può arrivare è dell'ordine di 2000 - 3000 K.

6.2.1 LAMPADE AD INCANDESCENZA GLS

Le lampade a incandescenza GLS possono avere l'ampolla riempita con un gas inerte (azoto o argon) oppure in essa può essere praticato il vuoto (generalmente per potenze inferiori a 25 W). Il gas inerte esercita una pressione sul filamento, ostacolando il passaggio in fase vapore del metallo.

Per effetto delle loro ridotte dimensioni, le lampade GLS possono costituire una fonte di abbagliamento: per ovviare a questo inconveniente, possono utilizzarsi apparecchi schermati o diffondenti; in alternativa, si può rendere scabra la superficie interna dell'ampolla, trattandola con acidi, oppure il vetro può essere opacizzato con una miscela di silice e biossido di titanio, oppure specchiato o colorato.

La vita media delle lampade GLS è breve, dell'ordine delle 1000 ore.

L'efficienza luminosa è funzione della potenza di alimentazione, comunque non supera i 20 lumen/W.

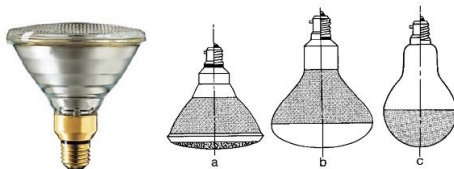
I vantaggi di queste lampade sono l'elevato indice di resa cromatica, pari a 100, l'economicità, la facilità di installazione e sostituzione, la molteplicità di fogge e potenze di alimentazione disponibili sul mercato.



6.2.2 LAMPADE AD INCANDESCENZA REFLECTOR

Sono lampade ad incandescenza in cui parte dell'ampolla è trattata con una finitura a specchio, che indirizza il flusso luminoso, assolvendo in parte alle funzioni dell'apparecchio illuminante.

Nelle lampade Reflector con vetro pressato, la parte posteriore del bulbo ha la forma di un paraboloide. Intervenedo sull'elemento frontale (o lente) si può variare l'ampiezza dell'angolo di apertura del fascio luminoso. Sono disponibili lampade con un angolo di apertura compreso tra 10° (spot) e 30° (wide-flood). La lente può essere trasparente o colorata.



6.2.3 LAMPADE AD INCANDESCENZA ALOGENE

Le lampade ad alogeni sono caratterizzate dalla presenza nel bulbo, oltre che del gas inerte, di un alogeno (iodio o bromo) per dar luogo al ciclo rigenerativo del tungsteno. Le particelle di tungsteno, provenienti dal filamento interno, si combinano con gli elementi alogeni presenti nel bulbo dando origine agli alogenuri di tungsteno, gas trasparenti che non aderiscono alle pareti interne della sorgente, grazie a dei moti convettivi che tendono a far tornare questi gas nella regione prossima al filamento.

Poiché gli alogenuri di tungsteno sono composti stabili entro un dato intervallo di temperature, spegnendo la lampada avviene la dissociazione. Il tungsteno ritorna libero depositandosi nuovamente sul filamento e lasciando liberi gli elementi alogeni pronti a riprendere il ciclo ad ogni accensione. Il primo alogeno ad essere utilizzato è stato lo iodio; attualmente si usa spesso un composto del bromo.

Vantaggi:

- Aumento della efficienza specifica (compresa tra 20 e 25 lm/W, a seconda della potenza di alimentazione);
- Maggiore durata (2000 – 6000 h) della lampada, in quanto sulla parete interna del bulbo non si formano depositi opachi di tungsteno.

Le lampade alogene possono essere suddivise in due categorie:

- A tensione di rete (230 V);
- A bassissima tensione di rete (12 V).

Le lampade alogene alimentate a 230 V più utilizzate sono le tubolari; l'attacco permette di utilizzarle in sostituzione delle normali lampadine a incandescenza.

Le lampade alogene a bassissima tensione hanno dimensioni più contenute rispetto a quelle a 230 V e potenze modeste, che le rendono adatte a locali di piccole e medie dimensioni. Tutte le lampade a bassissima tensione di rete, per funzionare, necessitano di un trasformatore.

Lampade dicroiche: l'emissione nell'infrarosso è invece limitata rivestendo le lampade lineari con un film multistrato dicroico ad assorbimento selettivo che, pur essendo lievemente iridescente, lascia passare la radiazione visibile, mentre rinvia al filamento buona parte di quella infrarossa





6.3 LAMPADE A SCARICA

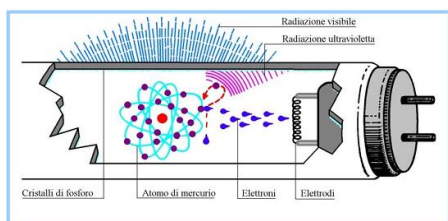
6.3.1 FUNZIONAMENTO

Una lampada a scarica in gas è costituita da un tubo di vetro o quarzo ermeticamente chiuso; in corrispondenza delle estremità, sono posizionati due elettrodi, l'anodo (positivo) e il catodo (negativo). Il tubo contiene un gas oppure una piccola quantità di metallo che vaporizza quando fra gli elettrodi si innesca il passaggio di corrente, che in un gas prende il nome di scarica.

Applicando agli estremi degli elettrodi una differenza di potenziale, gli elettroni liberi presenti nel gas non si muovono più caoticamente, ma migrano verso l'anodo instaurando una corrente elettrica. Durante il loro movimento, gli elettroni urtano gli atomi del gas, cedendogli una parte dell'energia cinetica che possiedono, la cui entità dipende dalla velocità alla quale avviene l'urto. A bassa velocità l'elettrone devia dalla sua traiettoria, mentre l'atomo si riscalda. Ad alta velocità l'atomo diventa eccitato: l'energia che ha ricevuto viene utilizzata dagli elettroni più esterni per passare su orbitali a cui competono livelli energetici più elevati.

Quando l'urto avviene ad altissima velocità, l'elettrone più esterno abbandona l'atomo, che si trasforma in uno ione. Questo si può legare ad un elettrone libero, emettendo luce, oppure può urtare contro la parete del bulbo, producendo calore. Sotto l'azione del campo elettrico interno al bulbo, gli elettroni strappati agli atomi si comportano come elettroni liberi.

Applicando una tensione opportuna, detta tensione d'innesco, la velocità degli elettroni è tale da dar luogo a urti ad altissima velocità. Il fenomeno della ionizzazione del gas si accresce rapidamente (valanga elettronica), con gli ioni che si spostano verso il catodo, mentre gli elettroni, molto più velocemente, migrano verso l'anodo.



Nonostante la diminuzione della tensione applicata agli elettrodi, la ionizzazione si accrescerebbe all'infinito, facendo diminuire la resistenza elettrica della colonna di gas frapposta tra i due elettrodi, fino a portare alla distruzione della lampada. Per rendere possibile il funzionamento della lampada a scarica va quindi inserito in serie un reattore o alimentatore che limita la corrente che circola nel circuito.

Gli atomi, potendo subire diversi stati di eccitazione, emettono radiazioni aventi diversa lunghezza d'onda. Vi sono radiazioni che ricadono direttamente nel campo del visibile, altre nell'infrarosso e nell'ultravioletto.

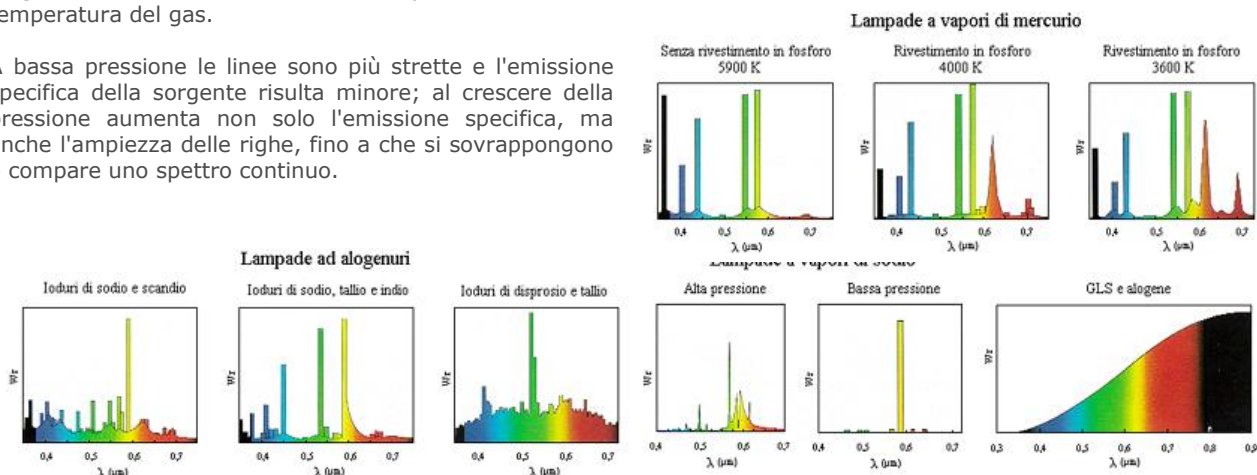
Per aumentare l'efficienza specifica della lampada, la parete interna del tubo è rivestita con polveri fluorescenti, che sono eccitate dalla radiazione ultravioletta incidente e, quando ritornano allo stato di equilibrio iniziale, emettono energia luminosa.

6.3.2 SPETTRI DI EMISSIONE DELLE LAMPADE A SCARICA

Le sorgenti luminose gassose, operanti a bassa pressione, emettono in genere radiazioni secondo uno spettro a righe; talvolta emettono anche secondo uno spettro continuo, a cui competono però emissioni specifiche minori.

Il numero delle linee spettrali dipende dalla natura del gas, mentre l'emissione specifica e l'ampiezza dell'intervallo di lunghezze d'onda è funzione della pressione e dalla temperatura del gas.

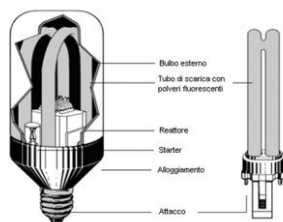
A bassa pressione le linee sono più strette e l'emissione specifica della sorgente risulta minore; al crescere della pressione aumenta non solo l'emissione specifica, ma anche l'ampiezza delle righe, fino a che si sovrappongono e compare uno spettro continuo.



6.4



6.4.1 LAMPADE AL SODIO A BASSA PRESSIONE



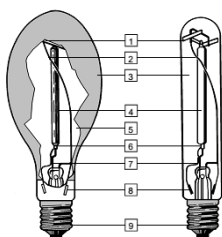
Nelle lampade al sodio a bassa pressione la scarica avviene in un tubo di vetro ripiegato ad U, ai cui estremi sono posti i due elettrodi. inizialmente la scarica viene innescata in un gas ausiliario (neon o argon). Quando viene raggiunta la temperatura di 200°C, il sodio evapora e la scarica passa dal gas ausiliario al vapore emittente.

La superficie interna del secondo tubo è rivestita di uno strato di ossido di indio che lascia passare il 91% delle radiazioni luminose e riflette verso il tubo interno il 90% delle radiazioni infrarosse.

L'elevata efficienza delle lampade al sodio a bassa pressione (200 lm/W) è dovuta al fatto che l'emissione avviene quasi esclusivamente in corrispondenza dell'intervallo di lunghezze d'onda 589-589.6 nm, in prossimità quindi del massimo della sensibilità dell'occhio umano. La luce prodotta ha un colore giallo-verde. Vengono attualmente costruite nell'unica forma tubolare, con potenze che variano dai 18 ai 180 W.

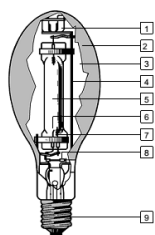
In queste lampade, comunemente chiamate fluorescenti, la scarica avviene in un tubo, ripiegato o lineare, contenente vapori di mercurio a bassa pressione e ai cui estremi sono posti gli elettrodi. La superficie interna del tubo è rivestita con polveri fluorescenti che assorbono la radiazione ultravioletta e la riemettono in parte nel visibile. Perciò l'indice di resa cromatica dipende dalla composizione delle polveri del rivestimento, e comunque varia tra 60 e 100.

6.4.2 LAMPADE AL SODIO A LTA PRESSIONE



Nelle lampade al sodio ad alta pressione la scarica è innescata fra due elettrodi posti alle estremità di un tubo contenente una lega di sodio e mercurio e un gas ausiliario, xenon o argon. Il tubo è generalmente realizzato in allumina sinterizzata, un materiale ceramico che coniuga un'elevata resistenza all'attacco dei vapori di sodio ad alta temperatura con una buona trasparenza alla radiazione visibile.

6.4.3 LAMPADE AL MERCURIO A LTA PRESSIONE



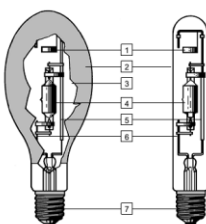
lampada a vapori di mercurio ad alta pressione.
1) molla di sostegno;
2) bulbo esterno in vetro;
3) rivestimento interno con polveri di fosforo;
4) filo conduttore/supporto;
5) tubo di scarica in quarzo;
6) elettrodo ausiliario;
7) elettrodo principale;
8) resistore d'innescio;
9) attacco a vite.

Nelle lampade al mercurio ad alta pressione i due elettrodi sono posti alle estremità di un tubo in quarzo; inizialmente la scarica elettrica si instaura nel gas ausiliario (argon), per poi passare al vapore di mercurio. Il tubo di scarica è posto all'interno di un bulbo tubolare privo di aria, che limita le dispersioni di calore per convezione verso l'ambiente e assicura una protezione elettrica delle parti in tensione della lampada. A causa della sua elevata pressione (100kPa-2.5MPa), il vapore di mercurio emette direttamente nel campo del visibile, con due bande principali centrate nel blu-azzurro e nel giallo-verde, che conferiscono alla luce un colore bianco-azzurro. Difettando del rosso, l'indice di resa cromatica è molto basso.

Sono disponibili lampade che, utilizzando differenti polveri, emettono anche in corrispondenza del rosso.

La gamma spazia da tagli di piccola potenza, nell'illuminazione residenziale (50 - 80W), a tagli per l'illuminazione stradale o industriale (da 125 a 1000 W).

6.4.4 LAMPADE ALOGENURI



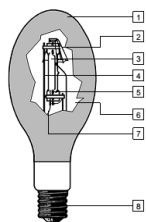
lampade ad alogenuri con ampolla diffusante e tubolare trasparente.
1) anello per il mantenimento del vuoto;
2) bulbo esterno in vetro;
3) rivestimento con polveri di fosforo;
4) tubo di scarica in quarzo;
5) conduttore/supporto;
6) attacco a vite.

Nel tubo di scarica in quarzo delle lampade ad alogenuri, oltre al mercurio e all'argon, si immettono ioduri di sodio, tallio e indio. Quando la lampada raggiunge le condizioni di regime, gli ioduri non sono completamente vaporizzati, ma nella zona centrale dell'arco le molecole cominciano a dissociarsi in alogeni e metalli che, eccitati dalla scarica, emettono radiazioni distribuite nel campo del visibile e vanno a coprire buona parte delle lacune dello spettro del mercurio, senza che la superficie interna del tubo debba essere rivestita con polveri fluorescenti. Sono disponibili lampade a resa cromatica migliorata nel cui tubo di scarica sono aggiunti anche ioduri di disprosio, olmio, tulio e cesio.



Le lampade ad alogenuri ad altissima pressione adottano un tubo di scarica in alluminio policristallino, che non può essere attaccato dal sodio e consente di raggiungere temperature più elevate, con conseguente incremento dell'efficienza specifica e dell'indice di resa cromatica

6.4.5 LAMPADE A LUCE MISCELATA



lampada a luce miscelata.
1) bulbo esterno in vetro;
2) filamento incandescente;
3) tubo di scarica in quarzo;
4) supporto;
5) elettrodo principale;
6) rivestimento interno con polveri di fosforo;
7) filo conduttore;
8) attacco a vite.

Si tratta di lampade al mercurio ad alta pressione, in cui il reattore di alimentazione è sostituito da un filamento in tungsteno, che funge da limitatore di corrente, collocato insieme alla lampada in un tubo secondario; la superficie interna del bulbo è rivestita con uno strato di fosforo.

Il filamento sostituisce il reattore, stabilizzando la corrente che circola nella lampada, ma soprattutto conferisce alla luce una tonalità calda.

Le principali applicazioni, dovute soprattutto alla forte quantità di luce e temperatura di colore più elevata rispetto alle lampade a filamento, sono

nell'illuminazione residenziale e pubblica di giardini

6.4.6 LAMPADE ALLO XENON

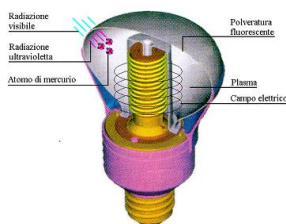


Le lampade allo xenon sono costituite da un tubo in vetro o quarzo riempito di gas xeno dopo avervi praticato il vuoto, con due elettrodi di tungsteno alle estremità.

Esistono tre tipi di lampade allo xenon:

- 1) ad arco corto, tipologia recentemente introdotta per i fari delle automobili e per i proiettori cinematografici; il bulbo di vetro è piccolo e l'arco è lungo pochi millimetri, questo permette di focalizzare con precisione la luce, migliorando la visibilità soprattutto nel caso di pioggia o nebbia.
- 2) ad arco lungo, applicate nella simulazione dell'illuminazione solare;
- 3) per flash, utilizzate nei flash per fotografia.

6.4.7 LAMPADE AD INDUZIONE



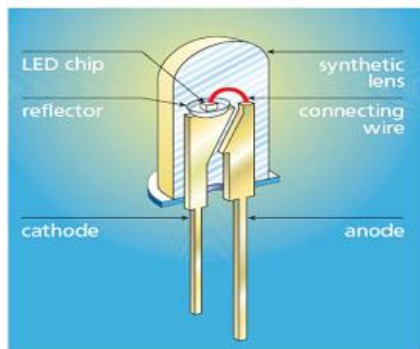
La causa principale del deperimento delle lampade a scarica consiste nel consumo degli elettrodi. Nelle lampade ad induzione la scarica viene generata nel vapore di mercurio senza il ricorso agli elettrodi, grazie ad un circuito di eccitazione che crea un campo magnetico.

Le potenze disponibili sono 55 W e 85 W, l'efficienza specifica varia da 65 lm/W a 70 lm/W con temperature di colore di 3000 e 4000 K. Il vantaggio delle lampade a induzione consiste nella lunghissima durata dovuta all'assenza degli elettrodi, pari a circa 60000 h (al 30% di decadimento).



6.5 LED

6.5.1 PRINCIPI



Il LED (Light Emitting Diode), sviluppato da Nick Holonyak nel 1962, è un dispositivo che sfrutta le proprietà ottiche di alcuni materiali semiconduttori per emettere energia luminosa a scapito della ricombinazione di coppie elettrone - lacuna. I fotoni sono generati durante il funzionamento di una giunzione p-n. I LED sono costituiti da una giunzione P-n realizzata con arseniuro di gallio o fosforo di gallio, entrambi materiali in grado di emettere radiazioni luminose (fotoni) quando attraversati da una corrente elettrica con valori compresi tra 10 e 30 mA.

I LED più comuni emettono luce rossa, arancio, gialla o verde; in tempi relativamente recenti, utilizzando il Nitruro di Gallio, si è prodotto un LED caratterizzato dall'emissione di luce blu chiara.

La disponibilità di un led a luce blu è molto importante poiché ha consentito di ricreare una radiazione spettralmente bianca a partire da dispositivi intrinsecamente monocromatici mediante le seguenti due distinte tecnologie:

- **utilizzo della tricromia:** ossia di tre singoli led caratterizzati da emissione ad appropriate lunghezze d'onda (nel rosso, nel verde e nel blu) e fasci opportunamente collimati. Tale tecnica è utilizzata maggiormente nella riproduzione digitale del colore;
- **utilizzo del principio della conversione:** si utilizza un led a luce blu (generalmente in tecnologia InGaN) la cui radiazione (emissione primaria) stimola un'opportuna polvere fluorescente (depositata su una superficie interna al componente) la quale emette nel campo del giallo (emissione secondaria). Dalla miscelazione dell'emissione primaria con quella secondaria è possibile ottenere una radiazione spettralmente uniforme percepita, come "luce bianca".

Variando la quantità e la concentrazione della polvere fluorescente, è possibile ottenere tonalità variabili dal bianco "freddo" (simile a quello emesso dalle lampade a fluorescenza), ad un più "caldo" bianco-giallognolo (più vicino a quello che caratterizza l'emissione di lampade ad incandescenza).

Con l'incremento delle prestazioni dei LED, il campo di impiego è in continua espansione; le problematiche più comuni da risolvere sono legate allo smaltimento del calore generato, alla fedeltà dei colori riprodotti, all'assorbimento energetico complessivo.

LAMPADINE AD INCANDESCENZA		Potenza (W)	Efficienza (lm/W)	Vita media (ore)	Ra
GLS	Filamento nel vuoto	<25	9-20	1.000	100
	Filamento gas inerte	>25	9-20	1.000	100
Reflector	Vetro soffiato	25-1000	10-20	1.000	100
	Vetro pressato	25-1000	10-20	1.000	100
Alogene	A tensione di rete	25-1000	20-25	2.000-6.000	100
	A bassissima tensione	25-1000	20-25	2.000-6.000	100
LAMPADINE A SCARICA					
Alta pressione	A luce miscelata	160-1000	19-30	7.500	40-75
	Ad alogenuri	35-70	75-80	6.000	85-90
	A Vapori di Mercurio	50-1000	30-55	12.000	65
	A Vapori di Sodio	50-1000	39-120	5.000-12.000	80
Bassa pressione	A Vapori di Mercurio	5-58	50-95	5.000-15.000	70-85
	A Vapori di Sodio	18-180	100-200	10.000	
Induzione		55-85	65-75	60.000	
LED		0,5-1	40-60	100.000	90