

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRICA

TESI DI LAUREA

***PRESTAZIONI TECNICHE ED ECONOMICHE DELLE
LAMPADE A LED PER L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA***

RELATORE: Ch.mo Prof. Arturo Lorenzoni
Dipartimento di Ingegneria Elettrica

CORRELATORE: Dott. Ing. Anna Busolini

LAUREANDO: Francesco Trevisan

Anno Accademico 2008-2009

Ai miei genitori
A Sonia, Alessandro e ...

INDICE

SOMMARIO.....	9
----------------------	----------

INTRODUZIONE.....	11
--------------------------	-----------

CAPITOLO 1 – L’ILLUMINAZIONE PUBBLICA

1.1 L’ILLUMINAZIONE PUBBLICA.....	13
1.1.1 <i>Breve storia dell’illuminazione pubblica.....</i>	13
1.1.2 <i>I Requisiti fondamentali.....</i>	14
1.2 LA NORMATIVA EUROPEA.....	14
1.2.1 <i>La normativa UNI 11248.....</i>	15
1.2.2 <i>La norma UNI EN 13201-2.....</i>	17
1.2.3 <i>Classificazione delle strade motorizzate.....</i>	18
1.2.4 <i>Classificazione delle strade a traffico misto e aree ad uso prevalentemente pedonale.....</i>	20

CAPITOLO 2 – LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLE SORGENTI LUMINOSE E DEGLI APPARECCHI ILLUMINANTI UTILIZZATI NELL’ILLUMINAZIONE PUBBLICA.

2.1 CARATTERISTICHE PROPRIE DELLE SORGENTI.....	23
2.1.1 <i>Il flusso luminoso emesso.....</i>	23
2.1.2 <i>L’efficienza luminosa.....</i>	24
2.1.3 <i>La durata di vita media.....</i>	24
2.1.4 <i>Il decadimento luminoso.....</i>	25

2.1.5	<i>La temperatura di colore</i>	25
2.1.6	<i>L'indice di resa cromatica</i>	26
2.2	CARATTERISTICHE DEGLI APPARECCHI ILLUMINANTI.....	27
2.2.1	<i>L'intensità luminosa</i>	28
2.2.2	<i>L'illuminamento</i>	28
2.2.3	<i>La luminanza</i>	29
2.2.4	<i>La manutenzione</i>	29
2.2.4.1	<i>La manutenzione su guasto</i>	29
2.2.4.2	<i>La manutenzione preventiva</i>	30
2.3	ALTRE CARATTERISTICHE DEI "PUNTI LUCE".....	31
2.3.1	<i>L'impatto ambientale</i>	31
2.3.2	<i>Gli accessori e gli apparecchi ausiliari</i>	31
2.3.3	<i>Il risparmio energetico</i>	32
2.3.4	<i>La regolazione del flusso luminoso</i>	32
2.3.5	<i>Le accensioni e riaccensioni</i>	32

CAPITOLO 3 – LE SORGENTI LUMINOSE DISPONIBILI NEL MERCATO ILLUMINOTECNICO

3.1	PANORAMICA DELLE SORGENTI.....	33
3.2	LE SORGENTI LUMINOSE TRADIZIONALI.....	35
3.2.1	<i>L'incandescenza</i>	35
3.2.2	<i>La scarica a gas</i>	37
3.2.2.1	<i>La fluorescenza</i>	37
3.2.2.2	<i>I vapori di mercurio ad alta pressione</i>	38
3.2.2.3	<i>Il sodio a bassa pressione</i>	40
3.2.2.4	<i>Il sodio ad alta pressione</i>	41
3.2.2.5	<i>Gli alogenuri metallici</i>	43
3.2.3	<i>L'induzione</i>	44

3.2.4	<i>La luce miscelata</i>	45
3.3	LE SORGENTI A DIODI EMETTORI DI LUCE (LED).....	47
3.3.1	<i>Le caratteristiche</i>	48
3.3.1.1	<i>I colori</i>	48
3.3.1.2	<i>Assorbimento</i>	49
3.3.1.3	<i>Ottiche</i>	51
3.3.2	<i>Le prestazioni</i>	52
3.3.2.1	<i>L'efficienza luminosa e la resa dei colori</i>	52
3.3.2.2	<i>La durata di vita media</i>	53
3.3.2.3	<i>L'illuminazione di beni culturali</i>	55

CAPITOLO 4 – COMPARAZIONI E CONFRONTI

4.1	CARATTERISTICHE PRINCIPALI DI CONFRONTO.....	57
4.1.1	<i>L'efficienza luminosa e l'efficienza globale</i>	57
4.1.2	<i>La durata di vita, la manutenzione e il decadimento luminoso</i>	59
4.1.3	<i>La sicurezza elettrica, meccanica e fotobiologica</i>	60
4.1.4	<i>L'indice di resa cromatica e la temperatura di colore</i>	62
4.2	COMPARAZIONI VALUTATIVE COMPLESSIVE.....	62
4.2.1	<i>Inquinamento luminoso</i>	63
4.2.2	<i>Assenza di materiali tossici e nocivi</i>	64
4.2.3	<i>La regolazione del flusso luminoso</i>	65
4.3	ASPETTI INNOVATIVI ED ESCLUSIVI DEI LED.....	65
4.3.1	<i>Cromaticità</i>	65
4.3.2	<i>Accoppiamento fotovoltaico</i>	66
4.2.3	<i>La riduzione dei pesi e degli ingombri</i>	66

CAPITOLO 5 – ANALISI E STUDI

5.1	AZIENDA MULTISERVIZI AMGA.....	67
5.1.1	<i>Situazione e strategia adottata.....</i>	67
5.1.2	<i>Ipotesi di progetto e raffronto.....</i>	68
5.1.3	<i>Risultati e conclusioni.....</i>	69
5.2	AZIENZA AEC ILLUMINAZIONE.....	70
5.2.1	<i>Ipotesi ed indagini.....</i>	70
5.2.2	<i>Risultati del progetto.....</i>	70
5.3	RIVISTA LUCE.....	71
5.3.1	<i>Articolo comparativo fascicolo numero 3/2009.....</i>	71
5.3.2	<i>Articolo comparativo fascicolo numero 4/2009.....</i>	72

CAPITOLO 6 – CONCLUSIONI

6.1	FUTURIBILITÀ.....	75
6.1.1	<i>Conclusioni tecnologiche.....</i>	75
6.1.2	<i>Conclusioni economiche.....</i>	76
6.1.3	<i>Conclusioni applicative.....</i>	76

BIBLIOGRAFIA.....	77
--------------------------	-----------

SITOGRAFIA.....	77
------------------------	-----------

RINGRAZIAMENTI.....	79
----------------------------	-----------

SOMMARIO

Lo scopo di questa Tesi è investigare sulla possibilità della tecnologia a diodi emettitori di luce di potersi inserire nel mondo dell'illuminazione pubblica.

I Led sono ormai conosciuti ed utilizzati da molti anni in altri ambiti, ma ora sembrano aver raggiunto una maturità tecnica alquanto promettente.

Il suo modo di generare luce, cioè trasformare energia in radiazioni che il sistema occhio/cervello percepisce come luce, è risultato innovativo rispetto ai sistemi fin qui utilizzati, quindi senza pressione, senza elevate correnti, senza riscaldamento di materiali e senza combustioni, scintille o quant'altro.

Il primo capitolo si propone di sintetizzare cosa sia l'illuminazione pubblica, farne una breve storia ed individuare gli scopi per cui viene utilizzata così massicciamente nella società moderna di oggi.

Nel secondo capitolo vengono individuate le caratteristiche di confronto più importanti tra sorgenti luminose, attraverso le quali si può studiare pregi e difetti delle lampade per illuminazione pubblica.

Queste ultime vengono presentate e studiate nel terzo capitolo, dove vengono evidenziati pregi e difetti, nonché attitudini di applicazione, caratteristiche.

Il quarto capitolo della tesi approccia una comparazione tra le sorgenti luminose in base alle principali caratteristiche illuminotecniche evidenziate nel secondo capitolo, come efficienza luminosa, durata di vita media e resa cromatica, senza trascurare fattori di economicità e ambientali.

Nel quinto capitolo vengono proposte delle comparazioni tecnico-economiche effettuate da aziende, ditte costruttrici e riviste specializzate del settore, allo scopo di avere una visuale più ampia del mondo del Led.

INTRODUZIONE

E' ormai opinione diffusa tra gli addetti ai lavori che i diodi emettitori di luce, meglio conosciuti come "LED" (dall'acronimo light emitting diode), opereranno e lo stanno già facendo, una rivoluzione nel campo dell'illuminazione pubblica e privata, pari a quella introdotta dalla lampada ad incandescenza ormai oltre 2 secoli fa.

I vantaggi che la tecnologia Led sta dimostrando sono tali e tanti che la svolta sembra ormai avviata e non si interromperà tanto facilmente.

Tale tecnologia ebbe inizio con Hewlett Packard che la utilizzò per primo per le sue stampanti già oltre 40 anni fa, ma quella volta non poté certo essere utilizzata per l'illuminazione; solo con i risultati delle ultime ricerche scientifiche si sono ottenuti Led di dimensioni contenute ma ad elevatissima densità di potenza ed emissione luminosa tanto da raggiungere già i 100 lumen x watt (lm/W).

I Led sono già attualmente utilizzati nell'industria automobilistica non tanto per illuminare, quanto per la loro intensità luminosa e la resa cromatica particolarmente efficace.

Altre applicazioni già in uso sono quelle che riguardano l'illuminazione "privata" che riguarda soprattutto negozi e centri commerciali nonché abitazioni, per far risaltare vetrine, mensole, prodotti in vendita, muri o semplici portici.

I Led destinati alla illuminazione pubblica sono chiamati power Led in virtù della loro maggiore potenza elettrica che supera il Watt con bassissima tensione.

La caratteristica che più contraddistingue questa tecnologia è la possibilità di ottenere in primis la luce bianca mediante la sovrapposizione dei tre colori fondamentali (da qui deriva la definizione di tecnologia RGB) che sono il rosso, il verde e il blu. Da questi si può ottenere un qualsiasi altro colore desiderato attraverso l'opportuno dosaggio delle fonti primarie per realizzare effetti cromatici di notevole impatto visivo, impensabile fino ad ora.

Per fare degli esempi banali, si potrebbe utilizzare una luce color oro nelle festività natalizie oppure utilizzare i colori della bandiera tricolore nazionale per le cerimonie e le festività civili.

Si precisa che i dati tecnici delle lampade, soprattutto quelli riguardanti la tecnologia Led, sono in continua evoluzione e quindi al momento della ricerca e del reperimento dei dati di questa tesi di laurea, potrebbero essere già superati e non rispecchiare più l'attuale realtà.

1

L'illuminazione pubblica

1.1 – Illuminazione pubblica

Nella progettazione e costruzione di un impianto di illuminazione pubblica è indispensabile realizzare adeguate condizioni di visibilità, per favorire sia il traffico veicolare lungo le strade e sia quello pedonale nei centri cittadini e luoghi pubblici esterni. Risulta necessario tener conto del contesto in cui si opera, si tratti di sola sicurezza veicolare, di attività turistico-culturale, di attività commerciali o industriali. L'illuminazione pubblica si può suddividere in:

- Illuminazione stradale;
- Illuminazione di parchi e giardini;
- Illuminazione di aree industriali e commerciali;
- Illuminazione di centri urbani.

1.1.1 – Breve storia dell'illuminazione pubblica

Già nel '500 nacque il primo esempio di illuminazione pubblica: nelle grandi città europee, nei mesi invernali, vigeva l'ordine di appendere ogni sera una lanterna sotto il davanzale delle finestre del primo piano delle abitazioni in modo da illuminare la strada sottostante. Nel tardo '600 invece nacque la prima e vera illuminazione pubblica in quanto le lanterne non furono più posizionate dai privati cittadini ma dalla polizia in ben determinate posizioni. Lo scopo principale era fin da quei tempi di garantire l'ordine pubblico, ma vennero presto prese di mira dai bastoni di ubriacconi e nottambuli che venivano poi puniti con pene pecuniarie.

Inizialmente si trattava solo di candele e lumi mentre la prima rivoluzione avvenne verso la fine del XVIII secolo con le lampade ad olio e petrolio con lo stoppino e dotate anche di primordiali riflettori grazie all'idea di Amie Argand.

Nel 1825 si passò all'uso del gas e venne realizzata una illuminazione a gas centralizzata nella città di Parigi chiamata Ville Lumiere.

Nel 1841 per la prima volta vengono installate delle lampade ad arco per l'illuminazione pubblica.

Il primo caso di lampada ad arco che presentava elettrodi in carbone arrivò nel 1876 ad opera di Pavel Yablochkov dalla quale si arrivò poi al filamento per le lampadine ad incandescenza, prima con l'italiano Alessandro Cruto e poi con Thomas Edison che le brevettò e che ancora oggi troviamo in qualche centro cittadino ad illuminare le nostre strade. Il definitivo filamento di tungsteno arrivò solo nel novecento, attorno al 1907 che garantiva un deciso miglioramento nelle prestazioni rispetto al filamento al carbonio.

Qualche anno prima, ad opera di Peter Cooper Hewitt, viene inventata la lampada a scarica a vapori di mercurio. Per la famosa lampada al neon ci vuole ancora qualche anno, fino al 1926, quando Edmund Germer la brevetta.

Da questo punto in poi si susseguono dei miglioramenti nella tecnologia di produzione, ma la tipologia di lampade rimane praticamente la stessa fino ai giorni nostri in cui sembra stia per dilagare la tecnologia Led.

1.1.2 – I requisiti fondamentali

Uno dei principali obiettivi che l'illuminazione stradale si pone è quella della sicurezza stradale al fine di diminuire la sinistrosità nella circolazione, soprattutto nel coinvolgimento dei pedoni, che sono i più indifesi in questa particolare circostanza. L'impiego delle luci proprie dei veicoli non sono assolutamente efficaci in quanto non permettono la percezione degli ostacoli in tempo utile, soprattutto provenienti da direzioni diverse da quelle del veicolo. Nelle strade di grande comunicazione e in quelle a notevole traffico, l'illuminazione è considerata un mezzo indispensabile per consentire agli utenti l'identificazione rapida e sicura del tracciato, dei segnali, degli ostacoli e degli incroci con altri mezzi e strade. Le statistiche mostrano come il tasso degli incidenti nelle ore notturne sia assai più elevato di quello nelle ore diurne. Non si pretende certo di poterli parificare in quanto nelle ore notturne intervengono fattori imprevedibili come stanchezza, alterazione alcolica o da stupefacenti, apertura di un maggior numero di locali fino a tarda ora soprattutto nel periodo estivo.

Altro grande requisito dell'illuminazione pubblica riguarda un aspetto sociale molto dibattuto negli ultimi tempi nel nostro Paese, quello della sicurezza contro le azioni criminali. Indagini statistiche confermano che il buio incoraggia la criminalità e che l'illuminazione insieme ad un frequente sempre più uso delle telecamere di sorveglianza, ha contribuito a ridurre il numero dei delitti e a identificare sempre più gli autori dei crimini stessi.

Altri requisiti sono la valorizzazione degli aspetti storici ed artistici presenti in quantità enormi nel nostro Paese, meta ambita di studiosi e turisti da tutto il mondo, con lo scopo anche di conservare al meglio senza arrecare danni dovuti a calore e raggi infrarossi. Inoltre esaltare le ricchezze paesaggistiche e naturalistiche, fonti importantissime per l'economia del Paese dal punto di vista del turismo.

1.2 – La normativa Europea

Sempre più si pensa ad uniformare leggi e normative con l'intera comunità europea e non fa eccezione il campo elettrotecnico con l'illuminazione pubblica.

Nell'ottobre 2007 è stata pubblicata la nuova normativa italiana UNI 11248 che va a completare il panorama normativo sull'illuminazione stradale insieme alle normative europee UNI EN13201-2/3/4.

Con la pubblicazione della UNI 11248 la precedente UNI 10439 del 2001 è stata ritirata e dunque non è più applicabile.

Il nuovo sistema normativo rivede in modo radicale l'approccio alla progettazione, in primo luogo definisce responsabilità e competenze specifiche dei vari attori, in secondo luogo propone un notevole cambiamento anche sul piano degli algoritmi e

delle convenzioni. L'ente normatore Europeo ha redatto la UNI 13201 composta da 4 parti; le parti 2, 3 e 4 riguardano rispettivamente:

- EN 13201-2 Requisiti prestazionali: ovvero i parametri in quantità e qualità che i vari ambienti illuminati presi in considerazione devono rispettare;
- EN 13201-3 Calcolo delle prestazioni: illustra gli algoritmi e le convenzioni per il calcolo delle prestazioni;
- EN 13201-4 Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche: illustra e suggerisce metodi e procedure per la verifica delle prestazioni.

Queste tre parti indicano degli standard di riferimento e sono dunque comuni a tutti gli Stati membri. L'ente normatore Europeo ha pubblicato anche il CEN/TR13201-1, tale documento specifica e identifica una serie di fattori e considerazioni necessarie alla individuazione delle classi illuminotecniche riportate nella parte 2 alle quali ricondurre gli ambienti da illuminare. La classificazione degli ambienti, strade o altre zone di veicolazione del traffico motorizzato e non, è un fattore che include aspetti legati alla sicurezza del cittadino. Per statuto comunitario ogni stato membro ha diretta responsabilità sugli aspetti legati alla sicurezza, conseguentemente ogni nazione della comunità economica europea ha redatto un proprio documento normativo per la classificazione degli ambienti. All'interno di tali documenti nazionali sono presi in considerazione gli elementi fondamentali del documento europeo CEN/TR13201-1 rielaborandoli ed adattandoli alle proprie specificità nazionali. Per l'Italia il documento di riferimento per la classificazione diventa la UNI 11248.

1.2.1 – La normativa UNI 11248

Questa prima parte del nuovo percorso normativo introduce alcune importanti considerazioni sulle competenze dei vari attori.

Impone al proprietario/gestore della strada ed al progettista una precisa presa di responsabilità circa i parametri di progetto individuati e concordati. La normativa fornisce le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione di una data zona esterna dedicata al traffico.

Viene indicato come classificare le zone partendo da una classificazione di riferimento ed arrivando ad una classificazione di progetto ed ad eventuali classificazioni di esercizio in funzione di un processo di valutazione di molteplici parametri definito come "Analisi dei rischi".

All'atto pratico il processo di classificazione parte con l'individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento (si veda il prospetto 1 della norma alla pagina successiva), come conseguenza della classificazione della strada secondo la legislazione in vigore. La classificazione della strada deve essere comunicata al progettista dal committente o dal gestore della strada.

prospetto 1 **Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento**

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di riferimento	Note punto
A ₁	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1	-
	Autostrade urbane	130		
A ₂	Strade di servizio alle autostrade	70 - 90	ME3a	
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50		
B	Strade extraurbane principali	110	ME3a	
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	ME4a	
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 ⁴⁾)	70 - 90	ME3a	
	Strade extraurbane secondarie	50	ME4b	
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME3a	
D	Strade urbane di scorrimento veloce	70	ME3a	
		50		
E	Strade urbane interquartiere	50	ME3c	
	Strade urbane di quartiere	50		
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 ⁴⁾)	70 - 90	ME3a	
	Strade locali extraurbane	50	ME4b	
		30	S3	
	Strade locali urbane (tipi F1 e F2 ⁴⁾)	50	ME4b	
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE4	
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE5/S3	
	Strade locali urbane: aree pedonali	5		
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE5/S3	
	Strade locali interzonali	50		
		30		
	Piste ciclabili ⁵⁾	Non dichiarato	S3	
	Strade a destinazione particolare ⁶⁾	30		

Tale classificazione è riferita alle strade nelle condizioni dei parametri di influenza riportati nella norma (si veda il prospetto 2 della norma sotto riportato).

prospetto 2 **Parametri di influenza (se rilevanti) considerati per le categorie illuminotecniche di riferimento di cui al prospetto 1**

Tipo di strada	Parametro di influenza							
	Flusso di traffico	Complessità del campo visivo	Zona di conflitto	Dispositivi rallentatori	Indice di rischio di aggressione	Pendenza media	Indice del livello luminoso dell'ambiente	Pedoni
A ₁	Massimo	Elevata	-	-	-	-	-	-
A ₂		Normale						
B								
C		-	Assente					
D								
E								
F	Normale	Assenti	Normale					
Piste ciclabili	-	-	-	-	<= 2%	Ambiente urbano	Non ammessi	

A questa prima classificazione il progettista applica quella che è definita come “analisi dei rischi”, ovvero una valutazione di tutte quelle caratteristiche specifiche dell’ambiente che possono portare ad individuare una diversa categoria illuminotecnica di progetto.

Molti elementi di valutazione e il loro peso in termini di rischi sono presentati nella norma attraverso diverse tabelle e processi decisionali, ma è lasciata anche libertà al progettista di valutare aspetti secondo lui importanti (si veda il prospetto 3 della norma sotto riportato).

prospetto 3 **Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica in relazione ai parametri di influenza**

Parametro di influenza		Variazione categoria illuminotecnica	Non si applica a
Compito visivo normale		-1	A ₁
Condizioni non conflittuali			
Flusso di traffico <50% rispetto al massimo			
Flusso di traffico <25% rispetto al massimo		-2	-
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali		-1	
Colore della luce	con indice di resa dei colori maggiore o uguale a 60 si può ridurre la categoria illuminotecnica	-1 ^{*)}	
	con indice di resa dei colori minore di 30 si deve incrementare la categoria illuminotecnica	1	
Pericolo di aggressione		1	
Presenza di svincoli e/o intersezioni a raso			
Prossimità di passaggi pedonali			
Prossimità di dispositivi rallentatori			
*) In relazione a esigenze di visione periferica verificate nell'analisi dei rischi.			

Al termine di questa analisi, che il progettista deve documentare, si ricava la categoria illuminotecnica di progetto ed eventuali sotto-categorie illuminotecniche di esercizio legate al variare dei flussi di traffico, rispetto alle quali eseguire la progettazione illuminotecnica vera e propria.

Ricordiamo infine che la normativa UNI 11248 e le correlate UNI EN13201/2/3/4 individuano prescrizioni illuminotecniche per tutte le aree pubbliche adibite alla circolazione, destinate al traffico motorizzato, ciclabile o pedonale; definendo per tutte le tipologie specifici parametri di riferimento e di analisi.

A completamento del progetto la normativa prevede che si prepari un piano di manutenzione e si indichino tutti quegli interventi da porre in opera per il mantenimento delle prestazioni dell’impianto. Prestazioni che dovranno essere valutate in sede di collaudo e se richiesto in sede di manutenzione e controllo nel tempo secondo quanto riportato dalla UNI EN13201-4.

1.2.2 – La norma UNI EN 13201-2

Questa seconda parte della normativa europea definisce, attraverso requisiti fotometrici da rispettare in quantità e qualità, le categorie illuminotecniche per l’illuminazione stradale volta a soddisfare le esigenze degli utenti, siano essi utenti motorizzati o ciclopedonali.

Al termine dei processi di analisi espressi nelle normative nazionali di riferimento (per l'Italia la UNI11248) il progettista avrà individuato le categorie illuminotecniche su cui basare il proprio progetto; queste categorie possono appartenere a 3 macro famiglie:

- ME

Queste categorie fanno riferimento a strade a traffico motorizzato dove è applicabile il calcolo della luminanza: strade a traffico motorizzato per condizioni atmosferiche prevalentemente asciutte.

- CE

Queste categorie si applicano ad aree a traffico motorizzato in cui non è possibile ricorrere al calcolo della luminanza come ad esempio: zone di conflitto, incroci, strade commerciali, rotonde.

E' anche applicabile ad alcune situazioni ad uso ciclopedonale, come i sottopassaggi, quando la categoria S non sono ritenute adeguate.

- S, EV

Le categorie illuminotecniche S sono riferite agli ambienti a carattere ciclopedonale; ad esempio marciapiedi o piste ciclabili, ma anche corsie di emergenza e altre separate o lungo la carreggiata. Sono inoltre applicabili a strade urbane, strade pedonali, aree di parcheggio, strade interne a complessi scolastici, ecc... La UNI 11248 ricondona le aree pedonali alle soli classi S, la cui analisi viene fatta in base agli illuminamenti orizzontali

Le categorie illuminotecniche EV sono riferite all'indagine degli illuminamenti verticali.

Tali classi sono da impiegare in quelle situazioni dove sia necessario evidenziare/indagare superfici verticali, ad esempio aree di intersezione o di conflitto tra differenti utenze.

1.2.3 – Classificazione delle strade motorizzate

Si intendono appartenenti alla categoria di strade con traffico esclusivamente o prevalentemente motorizzato quelle strade in cui le esigenze dei conduttori di automezzi prevalgono su quelle degli altri utenti della strada ai fini della determinazione dei requisiti cui deve rispondere l'impianto di illuminazione.

Il compito visivo di un conducente di un automezzo può essere così identificato: poter percepire distintamente e localizzare con certezza e in tempo utile tutti i dettagli dell'ambiente necessari alla condotta del suo automezzo, quali l'andamento della strada, le segnalazioni orizzontali e i segnali verticali, gli eventuali ostacoli, gli altri automezzi presenti o che stanno per immettersi nella sua carreggiata. Detto compito deve svolgersi senza affaticamento del conducente , per consentirgli una guida sicura per tutto l'arco del viaggio.

La complessità del compito visivo di un conducente richiede che l'illuminazione stradale gli fornisca ogni informazione visiva necessaria alla condotta del suo automezzo entro un'area comprendente la carreggiata che sta percorrendo e i suoi immediati dintorni, per un'estensione che corrisponda almeno alla distanza necessaria per l'arresto del veicolo.

La nuova normativa europea fa rientrare le strade a traffico motorizzato nella categoria illuminotecnica di tipo ME, che riguardano i conducenti di veicoli motorizzati su strade con velocità di marcia medio /alta, e la cui analisi si basa sull'analisi dei seguenti parametri e requisiti fondamentali

- L_m = Luminanza media mantenuta

Valore minimo che assume la luminanza media della carreggiata mantenuta durante la vita dell'impianto, riscontrabile cioè al termine di un ciclo di manutenzione. Rappresenta l'entità del flusso luminoso riflesso dalla superficie stradale verso l'osservatore ed è tanto più elevato quanto più intensa è l'impressione di "luminosità" dei vari oggetti che entrano nel campo visivo di chi percorre la strada. Dipende dalle caratteristiche tecniche dell'installazione, dalle proprietà riflettenti della pavimentazione, dal tipo di manutenzione prevista e dalla posizione dell'osservatore.

- U_0 = Uniformità generale di luminanza

Rapporto tra la luminanza minima e quella media di tutta la strada. E' necessaria per consentire la percezione di eventuali ostacoli sulla strada e per assicurare il comfort visivo del conducente.

- U_1 = Uniformità longitudinale di luminanza

Rapporto tra la luminanza minima e quella massima, entrambe valutate lungo la mezzzeria di ciascuna corsia di cui è composta la carreggiata (si prende il valore minore tra i due che si ottengono).

- TI = Indice abbagliamento debilitante

Indica la misura con cui gli apparecchi di illuminazione presenti nel campo visivo del guidatore provocano la formazione di un velo di luminanza che annebbia i contorni e riduce i contrasti di luminanza tra sfondo ed eventuali ostacoli. Se si definisce "contrasto di soglia" il contrasto minimo necessario per la visibilità, tra la luminanza di un oggetto di 8 primi di ampiezza e quella del suo sfondo, l'indice TI esprime l'incremento in percentuale di cui aumenta tale contrasto per effetto del velo di luminanza parassita provocata dai centri luce.

- S_r = Rapporto di contiguità

Indica l'illuminamento medio sulle fasce appena fuori dei bordi della carreggiata, in rapporto all'illuminamento medio sulle fasce appena dentro ai bordi

I requisiti che ne risultano per le strade a traffico motorizzato, nelle varie categorie illuminotecniche sono indicati nella normativa al prospetto 1a, di seguito riportato:

prospetto 1a **Categorie illuminotecniche serie ME**

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto			Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	\bar{L} in cd/m ² [minima mantenuta]	U_o [minima]	U_l [minima]	Tl in % ^{a)} [massimo]	SR ^{2b)} [minima]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	nessun requisito

a) Un aumento del 5% del Tl può essere ammesso quando si utilizzano sorgenti luminose a bassa luminanza (vedere nota 6).
b) Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti propri adiacenti alla carreggiata.

1.2.4 – Classificazione delle strade a traffico misto e delle strade e aree ad uso prevalentemente pedonale

La nuova norma europea ha ampliato lo scopo della vecchia 10439, includendo oltre al traffico motorizzato tradizionale anche quello misto pedonale, delle piste ciclabili, delle aree residenziali.

E' stata introdotta la categoria CE che riguarda sempre i conducenti di veicoli motorizzati, e altri utenti,, ma nelle zone di conflitto come zone commerciali, incroci, rotonde, dove non posso applicarsi le convenzioni per i calcoli della luminanza del manto stradale, perché le distanze di osservazione sono minori di 60 m e perché sono significative posizioni diverse da quelle dell'osservatore definito dalla norma. Si utilizza inoltre anche per pedoni e ciclisti nelle zone da loro adoperate quali i sottopassaggi.

prospetto 2 **Categorie illuminotecniche serie CE**

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	\bar{E} in lx [minimo mantenuto]	U_o [minima]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Infine vi è la categoria S che riguarda esclusivamente pedoni e ciclisti, su marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza e altre zone delle strade separate o lungo la carreggiata di una strada, nonché strade pedonali, aree di parcheggio, strade all'interno di complessi scolastici. Tale categoria si basa sull'analisi dell'illuminamento medio mantenuto

prospetto 3 **Categorie illuminotecniche serie S**

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	\bar{E} in lx ^{a)} [minimo mantenuto]	E_{\min} in lx [mantenuto]
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	prestazione non determinata
a)	Per ottenere l'uniformità, il valore effettivo dell'illuminamento medio mantenuto non può essere maggiore di 1,5 volte il valore minimo \bar{E} indicato per la categoria.	

2

Le principali caratteristiche delle sorgenti luminose e degli apparecchi illuminanti utilizzati nell'illuminazione pubblica

2.1 – Caratteristiche proprie delle sorgenti luminose

Le sorgenti luminose utilizzate negli impianti di illuminazione per aree esterne devono possedere in maniera imprescindibile alcune caratteristiche quali una buona efficienza luminosa, elevata affidabilità, una lunga durata di funzionamento, compatibilità ambientale, ecc.

Inoltre nel caso di applicazioni legate all'ambiente urbano divengono prioritarie anche altre tematiche relative a resa cromatica, tonalità della luce e temperatura di colore.

Vediamo tutte queste caratteristiche ed altre che vorremmo utilizzare per il nostro scopo partendo da quelle che sono proprie delle sorgenti luminose.

2.1.1 – Il flusso luminoso emesso

Il flusso luminoso esprime la quantità totale di radiazioni visibili, pesate con la visibilità dell'occhio umano in condizioni fotopiche, prodotte da una sorgente primaria o secondaria nell'unità di tempo. L'unità di misura è il lumen (lm).

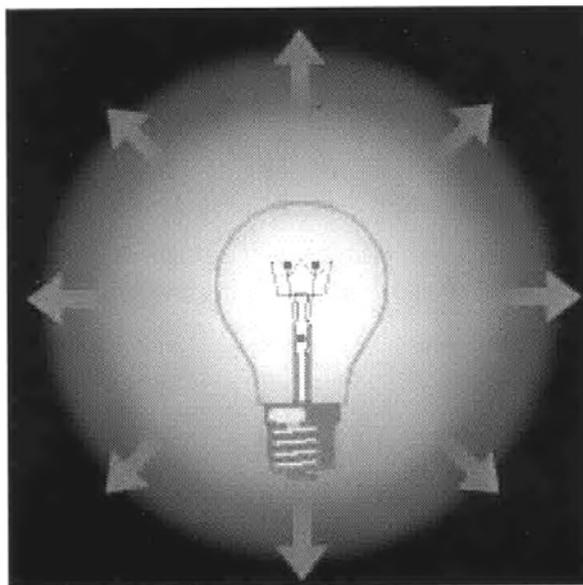


Figura 2.1

La radiazione che dà luogo al valore massimo di flusso luminoso è quella relativa ad una lunghezza d'onda di 555nm. Ad ogni radiazione di una determinata lunghezza d'onda, corrisponde una sensazione visiva nell'occhio che si manifesta con il colore, si spazia dal violetto partendo dai 380nm (soglia inferiore del visibile), fino al rosso arrivando ai 780nm (soglia superiore del visibile), passando attraverso il blu (435nm÷500nm), il verde (500nm÷565nm), il giallo (565nm÷600nm) e l'arancione (600nm÷630nm), come ben evidenziato nel seguente diagramma.

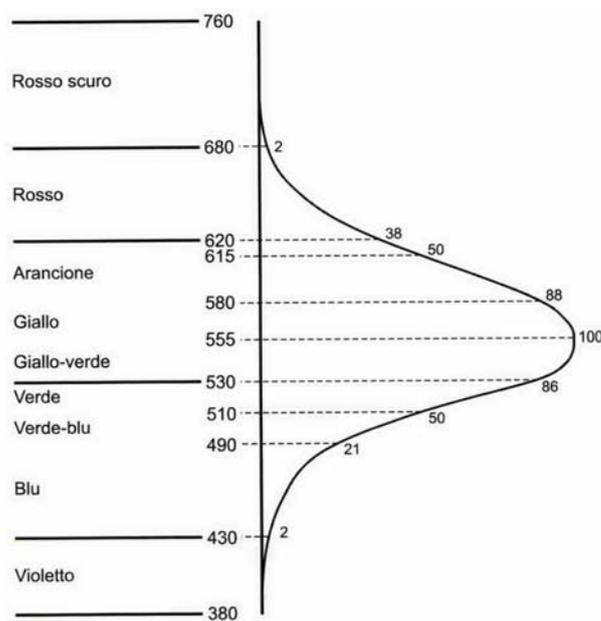


Figura 2.2

2.1.2 – L'efficienza luminosa

È definita come il rapporto tra il flusso luminoso emesso da una sorgente primaria e la potenza elettrica da essa assorbita. L'unità di misura è il lumen per watt (lm/W). E' uno dei parametri più importanti per la stima del consumo energetico, in quanto nelle lampade, anche in quelle più efficienti, l'energia elettrica assorbita si trasforma in parte in forme di energia diverse dalla luce visibile, come le radiazioni UV ed il calore. Si deve inoltre precisare che l'efficienza luminosa varia anche in relazione alla curva di sensibilità spettrale dell'occhio umano, anche all'interno dello spettro nel visibile. Infatti le lampade con maggiore efficienza emettono energia radiante a lunghezze d'onda vicine alla maggior sensibilità dell'occhio ovvero a $\lambda_m = 555\text{nm}$ nella visione fotopica.

2.1.3 – La durata di vita media

Viene definita come il numero di ore di funzionamento dopo il quale il 50% delle lampade di un congruo e rappresentativo lotto, funzionante in condizioni stabilite, si

spegne. Il test include sempre un ciclo di accensioni che varia in funzione del tipo di lampada.

La vita media viene comunemente chiamata anche vita utile e solitamente viene misurata in ore (h). Vi sono molti fattori che influenzano la vita operativa di una lampada e sono legati alle condizioni sfavorevoli di funzionamento, come la temperatura ambiente, lo scostamento dalla tensione nominale, il numero e la frequenza delle accensioni e le sollecitazioni meccaniche. Questi fattori incidono più o meno a seconda delle caratteristiche della lampada in oggetto.

Si può fare riferimento anche alla vita tecnica individuale che rappresenta semplicemente le ore di accensione dopo le quali il funzionamento cessa, oppure la vita economica che è il tempo dopo il quale il flusso emesso da un lotto lampade è calato del 30% ed è correlata alla manutenzione.

2.1.4 – Il decadimento luminoso

Quello del decadimento è un fenomeno che coinvolge tutte le lampade, in ognuna la tipologia e le cause sono diverse, ma per tutte comporta un abbassamento del flusso luminoso con l'andare del tempo di funzionamento e quasi sempre è accompagnato anche da un assorbimento maggiore di potenza e quindi diminuzione dell'efficienza.

Il decadimento nella maggioranza dei casi si manifesta con un annerimento del vetro che ingloba il corpo emettitore di luce oppure con il degrado delle sostanze (polveri fluorescenti, gas di riempimento, ecc.) attraverso le quali si ha l'emissione di luce. Questo valore viene calcolato sul valore di vita media di una lampada e varia dal 10% della lampada al sodio a bassa pressione, per passare al 30% della maggior parte delle lampade per illuminazione pubblica, fino al 45% di quella a vapori di mercurio, dove praticamente il suo flusso luminoso espresso in lumen diviene quasi la metà alterando quindi anche l'efficienza luminosa e le caratteristiche luminose a cui doveva rispondere per una determinata applicazione. Vedremo nel prossimo capitolo qualche esempio di andamento del decadimento luminoso in funzione del tempo.

2.1.5 – La temperatura di colore

È il parametro che descrive il colore apparente della luce emessa da una sorgente luminosa. La temperatura di colore è definita come “la temperatura di un corpo nero (o Planckiano) che emette luce avente la stessa cromaticità della luce emessa dalla sorgente sotto analisi”.

Quando si scalda un metallo, ad una certa temperatura inizia ad emettere una luce di color rosso scuro (tonalità definita “calda”), con l'aumentare della temperatura il rosso diventa più chiaro, per poi passare all'arancione, al giallo, al bianco, fino al bianco-azzurro (tonalità definita “fredda”), quindi si associa la tonalità di colore alla temperatura con cui è ottenuta riscaldando un radiatore ideale come un corpo nero.

Questo parametro dà informazioni precise sulla distribuzione spettrale dell'energia luminosa solo per le sorgenti di tipo termico, mentre per le altre sorgenti luminose si parla di temperatura isoprossimale di colore (o correlata). La temperatura isoprossimale di colore viene definita come “la temperatura del corpo nero il cui colore percepito più si avvicina a quello della sorgente osservata”.

La temperatura di colore si esprime in gradi Kelvin ($^{\circ}\text{K}$).

Convenzionalmente si definisce “fredda” una sorgente di luce con temperatura di colore superiore ai $5.300\text{ }^{\circ}\text{K}$, mentre la si definisce “calda” per temperature inferiori ai $3.300\text{ }^{\circ}\text{K}$; per valori intermedi (cioè compresi tra 3.300 e 5.300) la sorgente di luce sarà definita “neutra”.

2.1.6 – L’indice di resa cromatica

La resa cromatica quantifica la capacità di una sorgente di fare percepire i colori degli oggetti illuminati, cioè a riprodurre fedelmente i colori stessi.

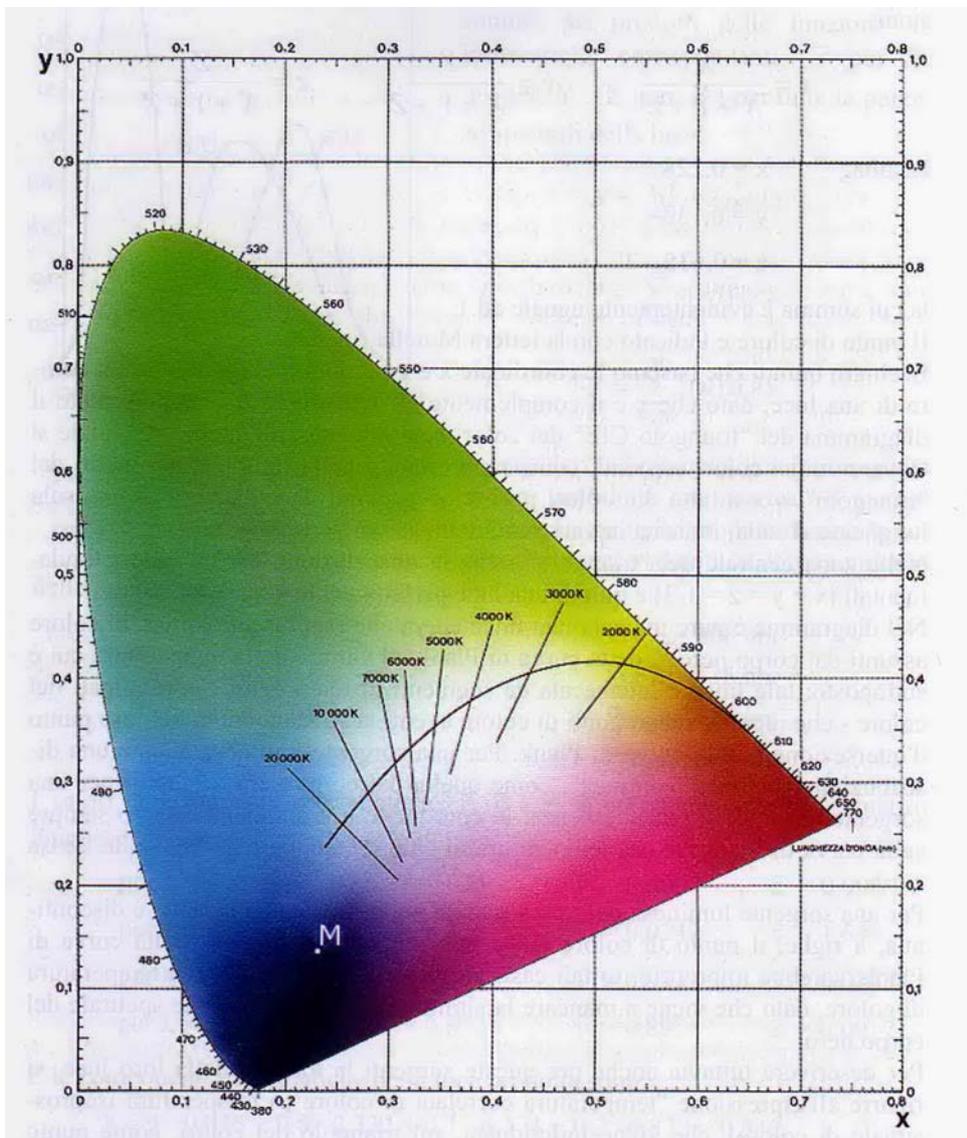


Figura 2.3

La quantificazione avviene per confronto con una sorgente di riferimento (metodo CIE) e valuta l'alterazione, o meno, del colore delle superfici illuminate percepito nelle due condizioni. La sorgente campione per eccellenza è la luce naturale anche se leggermente alterata da condizioni atmosferiche od orari del giorno, mentre quella artificiale convenzionalmente utilizzata è la lampada ad incandescenza funzionante ad una ben precisa temperatura. Diversamente da quanto avviene con lampade ad incandescenza, con le lampade a scarica si possono verificare delle significative distorsioni cromatiche.

L'indice di resa cromatica si indica con R_a ed ha un valore adimensionale. Il valore massimo dell'indice di resa cromatica è evidentemente 100 e si verifica quando non vi è differenza di percezione del colore sotto la sorgente analizzata e con la sorgente utilizzata come riferimento.

L'indice di resa cromatica è suddiviso in 6 categorie o fasce di valori come riportato nella tabella seguente:

Classificazione	Indice di resa cromatica
Grado 1A – OTTIMO	$90 \leq R_a \leq 100$
Grado 1B – MOLTO BUONO	$80 \leq R_a \leq 89$
Grado 2A – BUONO	$70 \leq R_a \leq 79$
Grado 2B – DISCRETO	$60 \leq R_a \leq 69$
Grado 3 – SUFFICIENTE	$40 \leq R_a \leq 59$
Grado 4 – SCARSO	$R_a \leq 40$

Tabella 2.1

Non è sempre detto che una lampada con alto indice di resa cromatica sia migliore di un'altra con indice inferiore, ma dipende spesso dall'utilizzo e dalla funzione della lampada stessa, infatti la miglior lampada come resa cromatica è quella ad incandescenza, ma sappiamo che quest'ultima ha una bassa efficienza luminosa e una breve durata, due proprietà molto importanti per una lampada.

Se per esempio devo illuminare un camminamento immerso in un'area verde, sarà preferibile sacrificare l'indice di resa cromatica a favore di una luce con emissione spettrale che si avvicini a quella del verde in modo da mettere in risalto la vegetazione circostante.

2.2 – Caratteristiche degli apparecchi illuminanti

Le caratteristiche proprie delle sorgenti luminose vengono volutamente modificate dall'apparecchio illuminante in cui vengono collocate per esigenze di normativa, di miglioramento delle caratteristiche illuminotecniche e per la sicurezza degli utenti.

Vediamo ora nei paragrafi che seguono le principali caratteristiche che non sono più solo della sorgente luminosa, ma dell'unione di essa con apparecchi illuminanti, pali, sostegni, supporti, plinti, ecc., che costituiscono nel loro insieme il cosiddetto "punto luce".

2.2.1 – L'intensità luminosa

L'intensità luminosa esprime la concentrazione di luce in una direzione specifica. Il simbolo con cui viene indicata solitamente è "I" e l'unità di misura è la candela (cd). Si può utilizzare anche l'angolo solido per la sua definizione che diventa quindi il rapporto tra il flusso elementare contenuto in un angolo solido avente per asse la suddetta direzione, e lo stesso angolo solido. L'intensità luminosa è una grandezza "vettoriale", per esprimerla è quindi necessario indicare la direzione ad essa associata, per valutare un apparecchio illuminante è molto utile analizzare nel loro insieme le intensità relative a tutte le direzioni di un piano; a questo scopo si usa rappresentare le intensità luminose in forma grafica tramite le cosiddette "curve fotometriche".

2.2.2 – L'illuminamento

L'illuminamento è il rapporto tra il flusso luminoso ricevuto da un elemento di superficie e l'area della superficie stessa. L'unità di misura è il lux (lx) che è l'illuminamento prodotto da un flusso luminoso di 1 lumen distribuito su una superficie di 1 m². Nell'illuminazione stradale è uno fattori fondamentali dove le norme ne specificano i valori minimi richiesti.

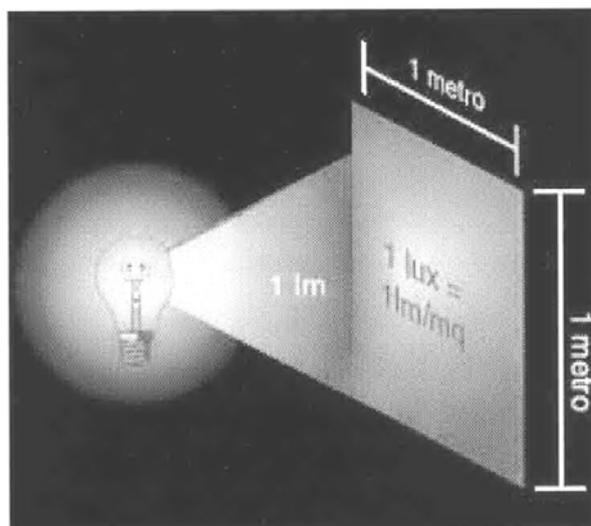


Figura 2.4

Solitamente si indica con la lettera E, e può essere misurato sia su superfici orizzontali che su quelle verticali. L'illuminamento ci indica quanto agevolmente l'occhio può vedere.

2.2.3 – La luminanza

La luminanza è il rapporto tra l'intensità luminosa emessa, riflessa o trasmessa da una superficie nella direzione assegnata e la superficie apparente della sorgente che emette la luce. Si indica con il simbolo "L" e l'unità di misura è la cd/m². Le sorgenti con luminanza elevata sono indicate per apparecchi da proiezione, per contro però sono più abbaglianti di quelle a bassa luminanza come a tubi fluorescenti.

Su questo parametro, la Normativa impone delle precise regole a riguardo della sua determinazione tanto che la luminanza viene calcolata in un determinato reticolo da una precisa formula matematica.

2.2.4 – La manutenzione

Nel termine manutenzione si intendono tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un sistema elettrico in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta, rispettando i parametri e le condizioni progettuali. Si hanno due principali modi di realizzazione della manutenzione: quella a guasto e quella preventiva.

Si parla anche di manutenzione per la pulizia, di sostituzione e di riparazione. Questa voce non sembra far pendere la bilancia a favore di un tipo di lampada rispetto ad un'altra, perché strettamente legata alla durata di vita media mentre la programmazione preventiva per la sostituzione, solitamente è abbinata ad una pulizia. Questa voce viene inserita e presa in considerazione per la straordinaria possibilità della tecnologia Led di avere durate di vita media dichiarate di oltre 80.000 ore e che quindi prolungherebbero gli intervalli per la manutenzione preventiva. Potrebbe però rendersi comunque necessario un intervento di pulizia quando le spese per l'intervento dovessero eguagliare le spese per l'energia sprecata dovuta al calo di efficienza luminosa dall'accumulo di sporco, a meno che non siamo in presenza di vetri autopulenti che sono attualmente in sperimentazione.

2.2.4.1 – La manutenzione su guasto

Nella manutenzione su guasto l'attività correttiva viene eseguita a seguito di segnalazioni o rilevazioni di anomalia e volta a riportare il sistema in condizioni di funzione richiesta. Questo tipo di manutenzione prevede degli interventi solo nel caso di disservizi e discontinuità di esercizio. Nel caso specifico di un impianto di illuminazione, l'entrata in stato di avaria di una lampada o di una intera linea, può a prima vista non essere un grave disservizio, ma lo è nei confronti della sicurezza stradale a seconda del tipo di strada su cui si verifica l'avaria.

L'unica possibilità per ottimizzare questo tipo di manutenzione è quella di avere una segnalazione su guasto mediante un sistema di telecontrollo attivo sulla rete di

illuminazione; in questo modo si può avere un'immediata individuazione del guasto e quindi si può agire di conseguenza per organizzare l'intervento di riparazione. Vista l'onerosità del sistema, esso è presente in pochi casi particolari.

2.2.4.2 – La manutenzione preventiva

Solitamente per ottimizzare il percorso di vita delle lampade per illuminazione pubblica, ci si affida ad una buona manutenzione preventiva. E' da intendersi come quella eseguita ad intervalli regolari predeterminati per ridurre al minimo la probabilità di guasto ed impedire che il degrado del funzionamento vada sotto i limiti prescritti dalla normativa, portando anche ad un consumo eccessivo elettrico.

La tipologia di manutenzione a carattere preventivo può realizzarsi su differenti basi, consentendo una ulteriore suddivisione del servizio in:

- manutenzione ciclica;
- manutenzione secondo condizione;
- manutenzione predittiva;
- manutenzione migliorativa.

Nella **manutenzione ciclica** la periodicità dell'intervento può venir determinata, per esempio, dalle ore di funzionamento della lampada in base alla durata di vita media. Si stabiliscono così degli intervalli regolari di sostituzione in modo da abbattere il decadimento luminoso e prevenire il guasto come mostra la figura 2.5.

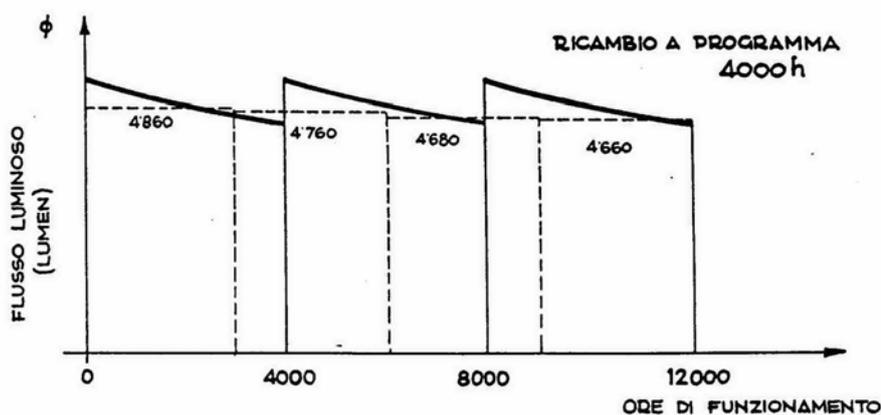


Figura 2.5

La **manutenzione secondo condizione** è attuata a seguito di ispezioni e rilievi di una certa condizione da stabilire, come può essere il livello di luminanza o di illuminamento, e il piano scatta dal momento del superamento di un valore limite minimo prefissato.

La **manutenzione predittiva** consiste in una prevenzione in seguito a misurazione di uno o più parametri, nonché la loro estrapolazione secondo modelli matematico-statistici appropriati, in grado di fornire tempi e modi prima del guasto. Può essere il caso di raggiungimento limite del decadimento luminoso di una lampada per cui occorre attuare una pulizia dei corpi illuminanti.

Infine con **manutenzione migliorativa** si intende l'insieme delle azioni di miglioramento o di piccola modifica che in ogni caso non incrementano il valore patrimoniale della linea. Per esempio può essere la sostituzione di un tipo di lampada a favore di una con migliore efficienza luminosa o indice di resa cromatica.

2.3 – Altre caratteristiche di confronto dei “punti luce”

Oltre ad aspetti prettamente tecnici ed illuminotecnici, possiamo basare il nostro confronto tra le lampade tradizionali e la nuova tecnologia ad emettitori di luce, anche con altri parametri e fattori basati su altre caratteristiche non prettamente tecniche, soprattutto sul rispetto dell'ambiente e dell'impatto ambientale.

2.3.1 – Impatto ambientale

La presenza, tra i componenti delle lampade, di sostanze pericolose e nocive quali mercurio e piombo, possono provocare delle problematiche economiche ma anche per la salute degli utenti. Non a caso viene utilizzata la parola presenza, in quanto non è possibile quantificare l'effettivo dosaggio di piombo e mercurio. In merito all'impatto ambientale delle lampade, in questa sede tradotto con la quantità di sostanze nocive contenute all'interno delle stesse, sarebbe interessante valutare anche l'impatto energetico e soprattutto economico legato all'intero ciclo di vita delle lampade, dalla produzione fino allo smaltimento delle stesse, per un più completo ed esaustivo confronto.

Si potrà forse avere nelle nuove realizzazioni, differenze nella progettazione delle distanze dei punti luce, ma soprattutto una diminuzione delle altezze da terra e di conseguenza dei pali ottenendo un minor impatto ambientale globale.

2.3.2 – Gli accessori e gli apparecchi ausiliari

Alcuni tipi di lampada hanno la necessità di accessori e ausili per il loro corretto funzionamento, quindi è un fattore di cui tenere conto nel confronto fra le sorgenti, a vantaggio di quelle che non li utilizzano o che possono essere miniaturizzati o conglobati all'interno di lampade o apparecchi. Gli ulteriori assorbimento di potenza da parte di tutti questi apparecchi ausiliari, contribuiscono inevitabilmente ad abbassare l'efficienza luminosa, quindi ad una minore convenienza economica della stessa lampada. Questi accessori sono alimentatori, accenditori, stabilizzatori, regolatori, ecc.

Anche il Led deve utilizzare un dispositivo di alimentazione, ma quest'ultimo nella maggioranza dei casi, serve per ridurre la tensione di rete e convertire la corrente alternata in corrente continua.

2.3.3 – Il risparmio energetico

Quello del risparmio energetico è un tema molto sentito in questo periodo della storia, le popolazioni in via di sviluppo hanno incrementato notevolmente i loro consumi e i combustibili fossili, cioè le fonti energetiche tipicamente utilizzate, sono risorse non rinnovabili. L'economicità di una lampada è legata all'efficienza luminosa, ma insieme ad essa si devono affiancare altri fattori che contribuiscono alla sua definizione, come i costi della manutenzione, i costi per lo smaltimento e naturalmente il costo di primo acquisto e quello per l'eventuale sostituzione. Tutto l'insieme ci fa avere un quadro più globale e completo della qualità di una sorgente rispetto ad un'altra dal punto di vista economico. L'efficienza luminosa resta comunque il parametro più legato al risparmio energetico dove la miglior fonte luminosa restano le lampade al sodio a bassa pressione che raggiungono valori attorno ai 200lm/W ma questa è l'unica caratteristica molto positiva di questo tipo di lampada, accompagnata da resa cromatica nulla, maggior ingombro e necessità di apparecchi ausiliari.

2.3.4 – La regolazione del flusso luminoso

La regolazione del flusso è una caratteristica utile, che permette la modulazione del flusso luminoso in condizioni particolari come l'abbassamento del flusso veicolare con l'andamento dell'orario notturno e viceversa. Si può realizzare mediante una regolazione a gradini oppure continua. La regolazione permette un risparmio di energia elettrica nelle ore notturne senza per questo dover rinunciare all'illuminamento. Nei decenni addietro era diffusa la tecnica dell'illuminazione alternata dei punti luce con conseguente disuniformità dell'illuminazione e un disomogeneo consumo delle lampade che prevedeva quindi un raddoppio della manutenzione preventiva per le lampade più impiegate.

2.3.5 – Le accensioni e riaccensioni

Le accensioni e riaccensioni sono una caratteristica importante in particolari applicazioni, per quanto riguarda un'illuminazione pubblica standard che prevede una o due accensioni giornaliere, non è una grande discriminante a favore o meno di una o l'altra sorgente luminosa. Per alcune tipologia di lampada i tempi di riaccensione sono abbastanza lunghi da non poter essere impiegati dove necessita una luminosità costante e continua, come possono essere le gallerie o dei grandi svincoli a traffico sostenuto. Questa semplice operazione contribuisce purtroppo ad accorciamento la durata di vita media delle lampade a causa di eventuali frequenti e continue accensioni e riaccensioni.

3

Le sorgenti luminose disponibili sul mercato

3.1 Panoramica delle sorgenti

Nell'ambito di una classificazione delle sorgenti luminose basata sul modo con cui la luce viene generata, quindi in base al principio fisico di funzionamento, si può affermare che la vasta famiglia delle lampade a scarica nei gas ad alta densità è quella che maggiormente risponde alle esigenze dell'illuminazione per esterni; verranno quindi analizzate le molte lampade adatte per l'illuminazione esterna che rientrano in queste tipologie, sia quelle che ormai sono in fase di dismissione in quanto sorpassate a livello di prestazioni, sia quelle di ultima generazione che le stanno soppiantando.

Una suddivisione che possiamo fare delle sorgenti luminose per lo scopo di questa tesi è:

💡 Sorgenti tradizionali;

suddivise ulteriormente in:

- Lampade ad incandescenza (tradizionali e alogene);
- Lampade a scarica di gas (fluorescenza, vapori di mercurio e sodio);
- Lampade ad induzione;
- Lampade a luce miscelata (incandescenza e scarica).

💡 Sorgenti a diodi emettitori di luce (LED)

suddivisi anche in:

- Led tipo THT (Through Hole Technology)
- Led tipo SMT (Surface Mounted Technology)
- Gli OLED
- I moduli Led
- I Power Led

Vediamo nell'organigramma seguente, il dettaglio completo della classificazione delle fonti luminose utilizzate nell'illuminazione pubblica in tutte le loro sottocategorie.

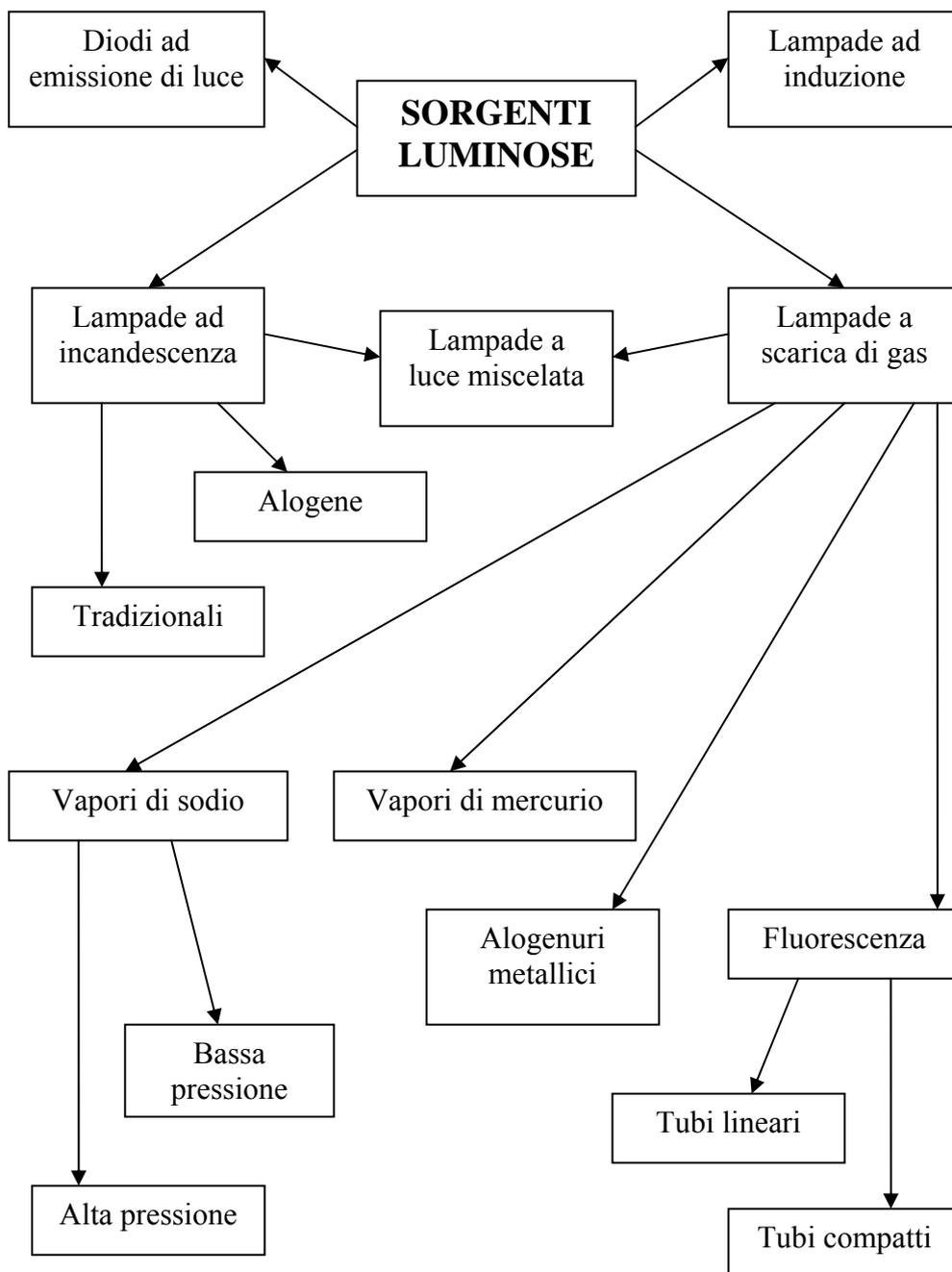


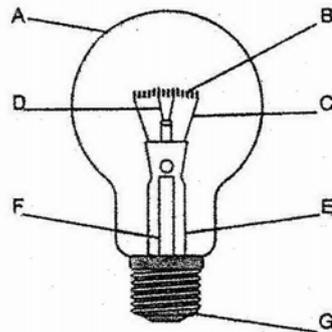
Figura 3.1

3.2 Le sorgenti luminose tradizionali

Le sorgenti tradizionali sono tutte quelle utilizzate attualmente per l'illuminazione pubblica che ne hanno fatto la storia dall'avvento dell'energia elettrica, a partire dalla lampada ad incandescenza brevettata nel lontano anno 1880 e di cui ancora oggi si può trovare testimonianza nei centri urbani delle nostre città.

3.2.1 L'incandescenza

Le lampade ad incandescenza sono state le più utilizzate nell'illuminazione pubblica, ma già da tempo sono state gradualmente sostituite; si possono ancora comunque trovare impianti con collegamento in serie di tali lampade. Esse utilizzano l'effetto fisico secondo cui un corpo riscaldato e portato all'incandescenza dal passaggio della corrente elettrica che attraversa il filamento, irraggia onde elettromagnetiche appartenenti anche allo spettro del visibile con una intensità variabile con la lunghezza d'onda. Il fenomeno avviene all'interno di un bulbo in vetro in cui si è fatto il vuoto, finché il filamento non supera i 1000°C, non si ha emissione entro lo spettro del visibile; a 2000°C solo il 3% dell'energia fornita si trasforma in energia luminosa. Nelle lampade fino a 250W; vengono impiegati dei gas inerti come argon e azoto, che però aumentano le perdite di calore per conduzione; per applicazioni speciali possono venir usati gas rari e più costosi come il cripton e lo xenon, dove le prestazioni sono dominanti rispetto ai costi.



A= bulbo in vetro

B= filamento in tungsteno (rettilineo, a spirale, a spirale doppia)

C= conduttori

D= sostegni del filamento in molibdeno

E= supporto in vetro

F= supporto in vetro per estrarre aria dal bulbo e introdurre gas di riempimento

G= attacco a vite

Figura 3.2

Le lampade ad incandescenza sono caratterizzate da una bassa efficienza luminosa (circa 12lm/W) ,in quanto la maggior parte dell'energia è dissipata in calore e in radiazione infrarossa, da una buona resa cromatica e da una durata di vita breve se rapportata alle attuali lampade in uso. La potenza globale della lampada ad incandescenza viene dissipata per l'83% in radiazione infrarossa e dal 12% in calore, mentre il solo restante 5% viene utilizzato come radiazione luminosa utile, da questi dati si può desumere la motivazione dell'esiguo valore dell'efficienza luminosa. C'è stata poi una evoluzione dell'incandescenza mediante l'impiego di alogeni che creano una rigenerazione del filamento di tungsteno che ha permesso di aumentare l'efficienza luminosa, la durata, ma soprattutto l'indice di resa cromatica al punto di essere utilizzate per l'illuminazione di centri storici e monumenti, grazie ad una luce bianca più gradevole.

Bisogna sottolineare che le lampade ad incandescenza sono molto sensibili alla tensione di alimentazione, flusso luminoso e durata di vita variano più che proporzionalmente alla tensione. Per esempio una tensione maggiorata del 10% provoca un flusso luminoso maggiore del 40% ma riduce di un quarto la vita della lampada, analogamente con una tensione inferiore del 10% , il flusso diminuisce statisticamente del 33% e la durata di vita quadruplica.

VANTAGGI:

- 💡 Basso costo di acquisto
- 💡 Ottima resa cromatica
- 💡 Semplicità di installazione e ridotto ingombro
- 💡 Tempo di accensione e riaccensione nullo
- 💡 Fattore di potenza unitario

SVANTAGGI:

- 💡 Bassa efficienza luminosa
- 💡 Breve durata di vita con riduzione del flusso luminoso
- 💡 Elevata emissione di calore
- 💡 Grande sensibilità ad oscillazioni di tensione e corrente
- 💡 Elevati costi di esercizio e manutenzione

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = 16 ÷ 18 lm/W

Temperatura di colore = 2.700 ÷ 3.000 °K

Indice di resa cromatica = 100

Durata di vita = 1.000 ÷ 2.000 ore

3.2.2 La scarica a gas

Le lampade a scarica di gas generano flusso luminoso in seguito a collisioni tra elettroni e ioni di un gas o di un vapore in esse contenuti, sfruttano il principio per cui se tra due elettrodi immersi in un gas o in vapori metallici viene applicata una differenza di potenziale opportuna, tra i due elettrodi si genera una scarica a cui viene associata l'emissione di radiazione ultravioletta. A differenza della lampada ad incandescenza, la scarica di gas ha bisogno di componentistica come il reattore, l'accenditore e il condensatore di rifasamento che per piccole applicazioni domestiche ora sono alloggiati direttamente nel corpo lampada. È ormai divulgato l'utilizzo di alimentatori elettronici che fanno tutte e tre le funzioni descritte con un assorbimento molto minore di corrente a vantaggio della efficienza luminosa già di per sé di gran lunga migliore delle lampade ad incandescenza.

Fanno parte delle lampade a scarica di gas a bassa intensità le lampade cosiddette "fluorescenti" suddivise a loro volta per la geometria del contenitore di gas: tubolare (di ingombro notevole) o compatto.

Le lampade ad alta intensità sono le più impiegate in questi anni per l'illuminazione pubblica e che meglio si adattano attualmente all'installazione in esterni. Si suddividono in:

- 💡 Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione
- 💡 Lampade ai vapori di sodio a bassa e alta pressione
- 💡 Lampade ad alogenuri metallici

Vediamone nel dettaglio le caratteristiche e le peculiarità di tutte le lampade che utilizzano il principio della scarica a gas.

3.2.2.1 La fluorescenza

La lampada fluorescente è un particolare tipo di lampada a vapori di mercurio a bassa intensità in cui l'emissione di luce è dovuta ad un materiale fluorescente. Essa è costituita da un tubo di vetro che solitamente è lineare ma esiste anche circolare e variamente sagomato, al cui interno è praticato il vuoto ed introdotto un gas nobile con una piccola quantità di mercurio liquido. La superficie dell'involucro è rivestita di un materiale fluorescente dall'aspetto di una polvere bianca e agli estremi del tubo ci sono i due elettrodi. Gli elettroni in movimento tra i due elettrodi eccitano gli atomi di mercurio che sono a loro volta sollecitati ad emettere radiazione ultravioletta. Quest'ultima investe il fosforo di cui è ricoperto il tubo ed emette luce visibile che a seconda della composizione produce una luce più calda oppure più fredda, giocando tra resa cromatica ed efficienza luminosa. Si può arrivare a valori di resa cromatica di circa 90 e oltre, a scapito però di una riduzione dell'efficienza luminosa di circa il 30%. Le temperature di colore sono suddivise in tre gamme: fino a 3.300 K (tonalità calda), fra i 3.300 e i 5.300 (tonalità bianca) e oltre i 5.300 K è definita una tonalità diurna.

VANTAGGI:

- 💡 Elevata efficienza luminosa
- 💡 Consumi molto contenuti
- 💡 Semplicità di intercambiabilità con l'incandescenza per le compatte
- 💡 Buona durata di vita media
- 💡 Ridotti ingombri per le compatte

SVANTAGGI:

- 💡 Costi elevati all'acquisto
- 💡 Necessità di dispositivi come reattore, starter e condensatore
- 💡 Dimensioni notevoli per i tubi lineari
- 💡 Notevole riduzione del flusso luminoso a basse temperature
- 💡 Difficoltà del controllo del flusso luminoso

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = 50 ÷ 90 lm/W

Temperatura di colore = 2.700 ÷ 5.400 °K

Indice di resa cromatica = 75 ÷ 90

Durata di vita = fino a 10.000 ore

3.2.2.2 I vapori di mercurio ad alta pressione

Sono costituite da un tubo di scarica in quarzo entro il quale è contenuto il mercurio, il quale è a sua volta contenuto nel bulbo di vetro internamente rivestito da polveri fluorescenti. Il rivestimento funziona da convertitore di frequenza e trasforma la radiazione U.V., tipica della scarica del mercurio, in radiazione visibile. La differenza con la fluorescenza, sta nella pressione molto maggiore del gas. Il flusso luminoso nominale è raggiunto dopo qualche minuto e in caso di spegnimento, sarà necessario un periodo di raffreddamento prima di una nuova accensione.

Era fortemente usata in passato grazie alla semplicità del circuito, ad una discreta durata e ad una buona efficienza luminosa attorno ai 30-60 lm/W. Attualmente è in disuso, ma vi sono ancora parecchi impianti causa la difficoltà e l'onerosità allo smaltimento a causa della presenza del mercurio. Venivano costruite per diversi formati, fino a 1.000W con sempre la stessa forma ellissoidale isoterma.

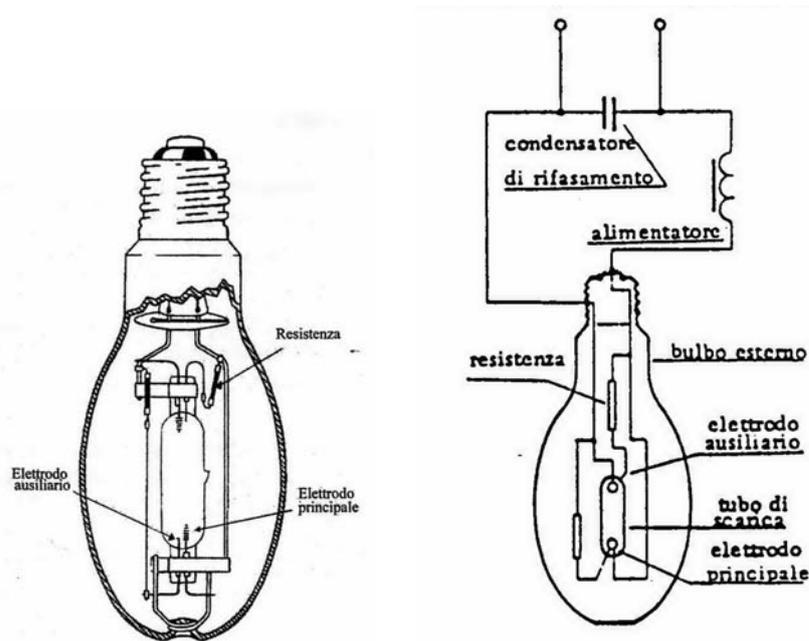


Figura 3.3

VANTAGGI:

- 💡 Buona efficienza luminosa
- 💡 Consumi molto contenuti
- 💡 Elevata affidabilità
- 💡 Elevata durata di vita media
- 💡 Costi di acquisto contenuti

SVANTAGGI:

- 💡 Scarsa qualità della luce emessa
- 💡 Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
- 💡 Tempi di accensione prolungati
- 💡 Mercurio tossico ed inquinante
- 💡 Sovracorrenti di accensione del 50%

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = 40 ÷ 60 lm/W

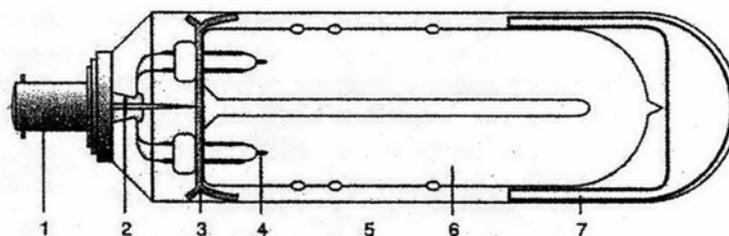
Temperatura di colore = 3.000 ÷ 4.200 °K

Indice di resa cromatica = $40 \div 50$

Durata di vita = oltre 10.000 ore

3.2.2.3 Il sodio a bassa pressione

L'arco elettrico innescato tra gli elettrodi posti all'estremità di un tubo di allumina sinterizzata, provoca l'emissione di radiazioni luminose la cui distribuzione spettrale dipende dalla pressione del sodio all'interno del tubo. Anche per la lampada al sodio sono necessari l'alimentatore e l'accenditore, ma la tecnologia ha portato ad un inglobamento di ogni apparecchiatura ausiliaria per un ingombro e un peso più limitati con conseguenza di minori perdite. Le lampade al sodio a bassa pressione sono state introdotte già dal 1932 e sono state le capostipiti di questo tipo di lampada.



- 1= attacco a baionetta
- 2= getter per il mantenimento alto vuoto
- 3= molletta di supporto
- 4= elettrodi
- 5= elementi di raccolta del sodio
- 6= tubo di scarica
- 7= bulbo esterno con riflettore a infrarosso

Figura 3.4

La pressione di funzionamento è di soli 0,5 Pa in un tubo di vetro in cui la temperatura è mantenuta attorno ai 260°C in corrispondenza della quale risulta esserci la condizione di massima efficienza luminosa. Per questa ragione le lampade a vapori di sodio a bassa pressione sono impiegate nonostante la scarsa qualità della luce che è di tipo monocromatico con banda di emissione di poco inferiore ai 600nm e quindi al punto di massima sensibilità dell'occhio stimata intorno ai 555nm. Queste lampade sono utilizzate per impianti stradali, industriali e di sicurezza. Nel loro caso non si può parlare di resa cromatica in quanto la percezione dei colori è praticamente nulla. La ricerca si è quindi concentrata sul miglioramento dell'efficienza luminosa tralasciando la resa cromatica irrimediabilmente nulla; Sono stati ottenuti dei buoni risultati con miglioramenti del 15% diminuendo la dispersione del calore e l'assorbimento di energia, diventando la lampada più efficiente in assoluto.

VANTAGGI:

- 💡 Elevata efficienza luminosa (fino a 200 lm/W)
- 💡 Buona resistenza alle variazioni di temperatura ambiente
- 💡 Maggiore acuità visiva
- 💡 Elevata durata di vita media
- 💡 Rapidità nelle riaccensioni a caldo

SVANTAGGI:

- 💡 Luce gialla accentuata, inutilizzabile nei centri urbani
- 💡 Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
- 💡 Lungo periodo di messa a regime (8-12 minuti)
- 💡 Decadimento luminoso fino al 30%
- 💡 Costo elevato

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = $130 \div 200$ lm/W

Temperatura di colore = 2.000 °K

Indice di resa cromatica = 0

Durata di vita = fino a 12.000 ore

3.2.2.4 Il sodio ad alta pressione

Le lampade al sodio ad alta pressione si dividono in tre grandi categorie a seconda della pressione di funzionamento: standard, a resa migliorata e a luce bianca. Quelle standard hanno una pressione di circa 10 kPa e sono caratterizzate da una efficienza fino a 125 lm/W, da una resa scarsa (circa 25) e da una temperatura di colore di 2.000 K. Quella a resa migliorata hanno una pressione di circa 40 kPa dove la resa viene migliorata fino a circa 60, mentre l'efficienza è circa il 66% di quella della lampada standard e la temperatura di colore si assesta sui 2.150 K. L'ultima categoria è quella a luce bianca, con pressione di 95 kPa con una efficienza luminosa ancora minore (circa $30 \div 40$ lm/W), con una temperatura di colore intorno ai 2.500 K ma con una resa cromatica ancora più elevata rispetto alle altre due categorie di circa 80. Tutte queste caratteristiche l'hanno resa la lampada più utilizzata nel panorama nazionale dell'illuminazione pubblica con oltre il 60% di utilizzo nella versione standard a minor pressione e a maggior efficienza luminosa, mentre la sua flessibilità ad adattarsi alle varie esigenze di installazione variando la propria resa cromatica non viene molto sfruttata a causa dei maggiori consumi e costi.

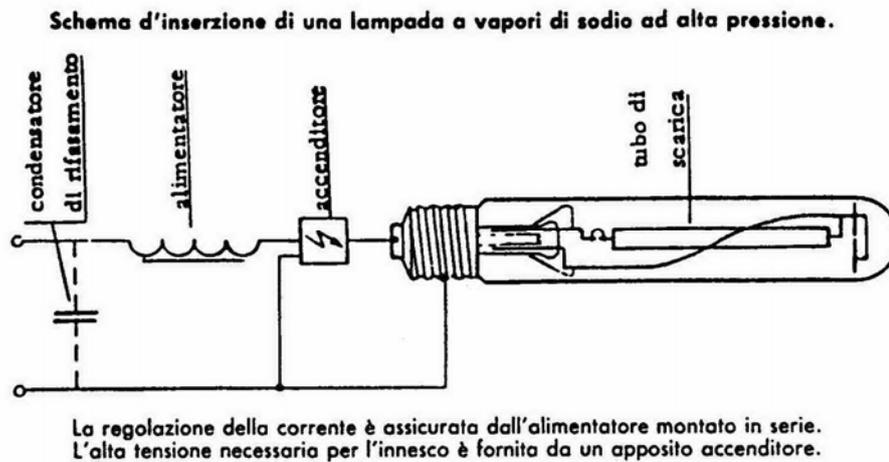


Figura 3.5

La lampada è costituita da un tubetto di speciale ceramica trasparente racchiuso in un bulbo di vetro duro; proprietà fondamentale di questa speciale ceramica a base di ossido di alluminio è la resistenza alle elevate temperature della scarica e all'aggressività chimica del vapore di sodio.

VANTAGGI:

- 💡 Elevata efficienza luminosa ottenibile
- 💡 Consumi molto contenuti per la versione standard
- 💡 Accettabile resa dei colori
- 💡 Elevata durata di vita media
- 💡 Regolazione del flusso luminoso

SVANTAGGI:

- 💡 Luce gialla accentuata
- 💡 Necessità di dispositivi appositi come l'alimentatore
- 💡 Tempo di messa a regime relativamente lungo (circa 5 minuti)
- 💡 Decadimento luminoso fino al 30%
- 💡 Tempi di riaccensione oltre il minuto

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = 100 ÷ 120 lm/W

Temperatura di colore = 2.000 ÷ 2.500 °K

Indice di resa cromatica = 25 ÷ 80

Durata di vita = fino a 12.000 ore

3.2.2.5 Gli alogenuri metallici

Sono lampade a vapore di mercurio nelle quali sono stati introdotti ioduri metallici come cadmio, indio, tallio, che permettono di ottenere un notevole miglioramento della resa cromatica emettendo radiazioni distribuite lungo la banda della radiazioni visibili in modo da riempire le lacune dello spettro del mercurio. Si evita così di ricorrere al rivestimento dell'ampolla con polvere fluorescente, che comunque viene ancora fatta per qualche applicazione per ridurre la luminanza. Necessita però di un alimentatore per la stabilizzazione della scarica, di un accenditore in grado di fornire impulsi di tensione di 4-5 kV e di condensatore di rifasamento. Questa lampada trova il suo impiego maggiore nell'illuminazione artistica, impianti sportivi, piazze e strade dove si renda necessaria una buona resa cromatica.

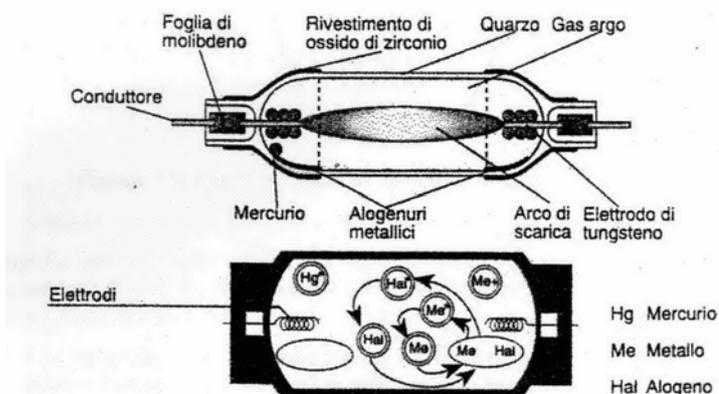


Figura 3.6

Affinché la temperatura di colore della luce emessa sia costante e la durata di vita sia ottimale, la temperatura di funzionamento di queste lampade non deve superare i limiti imposti dalle case costruttrici, limiti in corrispondenza dei quali la tensione di lampada aumenta di più di 5 volt della tensione nominale. Per fare questo gli apparecchi di illuminazione, nei quali queste lampade vengono collocate, dovranno avere caratteristiche tali da mantenere un buon equilibrio termico. Inoltre dovranno essere evitate superfici ottiche per cui ci sia una riflessione verso lampada della luce a causa dell'effetto termico che potrebbe produrre e quindi evitare così un annerimento precoce della lampada ed una diminuzione della durata di vita.

Ci sono poi nuovissimi modelli di nuova generazione che hanno notevolmente superato la barriera dei 100 lm/W, con alogenuri metallici in ceramica che hanno luce bianca calda di elevata qualità e con lunga durata, in grado di ridurre il consumo

del 50% rispetto alle lampade al vapore di mercurio e risparmi notevoli di CO₂ in atmosfera.

VANTAGGI:

- 💡 Buona efficienza luminosa
- 💡 Buona resa cromatica
- 💡 Elevata durata di vita
- 💡 Esaltazione di statue e monumenti
- 💡 Buona illuminazione di grandi aree

SVANTAGGI:

- 💡 Costo elevato
- 💡 Necessità di dispositivi appositi ausili elettrici
- 💡 Tempi di accensione prolungati superiori agli 8 minuti
- 💡 Emissione di raggi ultravioletti
- 💡 Decadimento del flusso più rapido

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = $62 \div 117$ lm/W

Temperatura di colore = $3.000 \div 6.000$ °K

Indice di resa cromatica = $75 \div 95$

Durata di vita = fino a 10.000 ore

3.2.3 L'induzione

Le lampade ad induzione sono state poco utilizzate e considerate.

Il principio di funzionamento è basato sulla presenza, in una ampolla di vetro rivestita da uno strato di sostanze fluorescenti, di un gas inerte a bassa pressione e di una modesta quantità di mercurio; al centro dell'ampolla vi è una bobina avvolta attorno ad un nucleo di ferrite alimentata, dall'esterno della lampada, da un generatore ad alta frequenza (a circa 2,65 MHz), dando luogo ad un campo magnetico. Le correnti indotte, nell'impatto con gli atomi di mercurio, danno luogo all'emissione delle radiazioni proprie di tale elemento, in massima parte nella regione dell'ultravioletto. La spolveratura fluorescente è poi la responsabile della radiazione nel campo del visibile con composizione spettrale in funzione delle proporzioni delle polveri impiegate.

La lampada ad induzione viene prodotta anche con un altro tipo di schema, utilizzando un anello tubolare fluorescente, entro cui la scarica è indotta da due magneti toroidali alimentati ad alta frequenza (a circa 250 KHz) da un alimentatore elettronico esterno alla lampada che favorisce la scarica dando luogo a radiazioni rese visibili dalla spolveratura fluorescente.

In entrambe le soluzioni, vi è assenza di parti deteriorabili come i catodi delle tradizionali lampade a scarica e l'estrazione di materiale ad ogni accensione, che rendono questo tipo di lampada particolarmente durevole nel tempo.

Quando uscì sul mercato era stata sopravvalutata come la lampada del futuro nell'ambito dell'illuminazione pubblica, poi fu gradualmente relegata a particolari applicazioni, soprattutto in luoghi di difficile accesso o di difficile manutenzione grazie alla possibilità della sua installazione in qualsiasi posizione.

VANTAGGI:

- 💡 Ottima durata di vita media
- 💡 Buona la resa cromatica
- 💡 Accensione immediata
- 💡 Assenza di sfarfallamento della luce
- 💡 Indipendenza alle oscillazioni di tensione

SVANTAGGI:

- 💡 Alimentatore esterno
- 💡 Costo elevato
- 💡 Intervallo di temperatura di colore ridotto
- 💡 Efficienza luminosa inferiore alla concorrenza
- 💡 Necessita di attacco speciale

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = $47 \div 70$ lm/W

Temperatura di colore = $2.700 \div 4.000$ °K

Indice di resa cromatica = 80

Durata di vita = fino a 60.000 ore

3.2.4 La luce miscelata

Sono un prodotto ibrido basato sulla tecnologia della lampade a vapori di mercurio a cui viene aggiunto un filamento ad incandescenza in serie al tubo di scarica. Anche

qui il vantaggio è la facilità d'uso, senza l'ausilio di componenti elettrici esterni alla lampada. Le caratteristiche della "miscela" sono influenzate fortemente dal filamento come la durata e la sensibilità alla variazione di tensione.

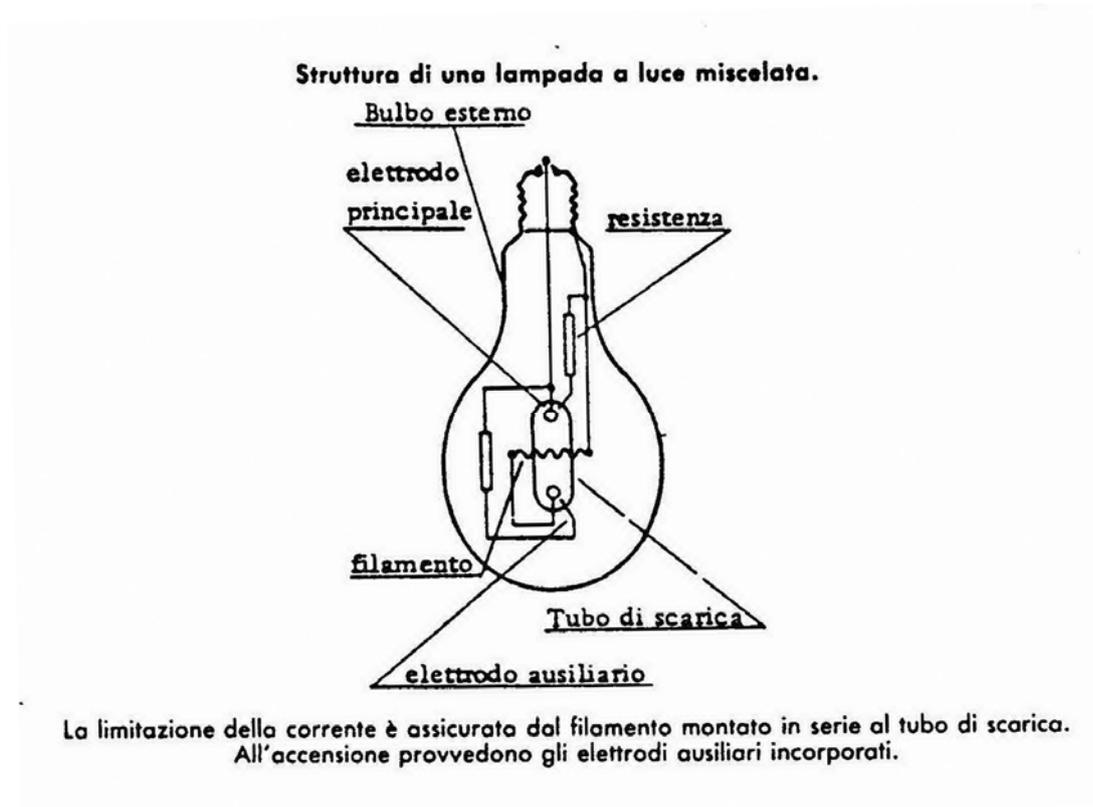


Figura 3.7

VANTAGGI:

- 💡 Sostituzione diretta di lampade incandescenza
- 💡 Buona resa cromatica
- 💡 Non necessita di un alimentatore

SVANTAGGI:

- 💡 Bassa efficienza luminosa
- 💡 Bassa durata di vita
- 💡 Posizione di funzionamento solo verticale

VALORI MEDI:

Efficienza luminosa = 20 ÷ 32 lm/W

Temperatura di colore = $3.100 \div 4.200$ °K

Indice di resa cromatica = $40 \div 60$

Durata di vita = fino a 8.000 ore

3.3 Le sorgenti a diodi emettitori di luce (LED)

Sono sorgenti luminose conosciute con l'acronimo di Led derivante dal nome inglese Light-emitting diode che è semplicemente un semiconduttore che emette luce quando è percorso da una corrente elettrica. Ci occuperemo in questa sede sono del tipo "Power Led", l'unico in grado di poter essere utilizzato per l'illuminazione pubblica. Il suo principio di funzionamento è basato sul fatto che certi cristallini di elevata purezza, quando sono drogati con una determinata quantità di un altro materiale, mostrano in alcuni casi un eccesso di elettroni e in altri una deficienza degli stessi, dando origine a polarità tipo n e tipo p. Accostando tra loro due pezzi del medesimo materiale ma drogati in maniera opposta, si determinerà un passaggio di elettroni finché non sarà raggiunto un equilibrio delle cariche elettriche. Alimentando il diodo (l'insieme dei due materiali accostati) con una batteria in modo da rendere continuo il flusso di corrente, cioè lo spostamento di elettroni da n verso p, l'energia liberata nella ricomposizione dell'assetto di ciascun atomo viene emessa sotto forma di radiazioni. Per determinate correnti, questa radiazione risulta nella gamma del visibile.

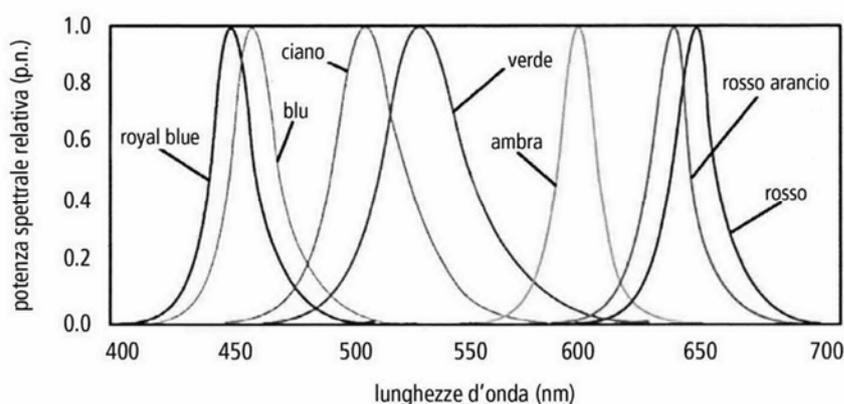


Figura 3.8

La luce emessa è generalmente monocromatica, di colore dipendente dal materiale e dalle impurità utilizzate; i colori più diffusi sono l'ambra, il rosso, il verde, il giallo. Mediante miscelazione dei tre colori che si trovano alle estremità (Blu e Rosso) e al centro (Giallo) dello spettro elettromagnetico, si ottiene una luce bianca modulabile intervenendo sul singolo colore. Questo sistema è utilizzato anche per fare giochi di luce mediante fari completamente immersi in acqua (grado di protezione IP68) di fontane di piazze e giardini pubblici, per rendere più gradevole il transito dei pedoni.

3.3.1 Le caratteristiche

La tecnologia Led mostra caratteristiche anomale rispetto alle lampade tradizionali finora utilizzate, sicuramente innovative e quindi arma vincente nel confronto e nelle comparazioni con la concorrenza.

3.3.1.1 I colori

Caratteristica sicuramente innovativa rispetto alle tradizionali sorgenti luminose è la possibilità praticamente infinita di creare tonalità di colore di qualsiasi tipo. Come anticipato, il colore della luce emessa è data dal tipo di materiale che costituisce il diodo e dal tipo di impurità presente.

I composti chimici utilizzati più frequentemente sono l'Arseniuro di Gallio (GaAs), il Fosforo di Gallio (GaP), il Fosforo Arseniuro di Gallio (GaAsP), il Carburo di Silicio (SiC) e il Nitrato di Gallio e Indio (GaInN).

I principali colori che si possono ottenere sono riportati nella seguente tabella:

Composto chimico	Formula chimica	Colore di luce emessa
Arseniuro di alluminio-gallio	AlGaAs	Rosso e infrarosso
Fosforo di alluminio-gallio	AlGaP	Verde
GaAsP	GaAsP	Rosso, rosso-arancione, arancione e giallo
GaN	GaN	Verde e blu
Fosforo di gallio	GaP	Rosso, giallo e verde
ZnSe	ZnSe	Blu
Nitrato di gallio-indio	InGaN	Blu-verde e blu
InGaAlP	InGaAlP	Rosso-arancione, arancione, giallo e verde
Carburo di silicio	SiC	Blu
Diamante	Diamante	Ultravioletto
Silicio	Silicio	Blu

Tabella 3.1

Inoltre anche la caduta di tensione dei Led è relazionata al colore della luce emessa, come evidenziato dalla seguente tabella:

Tipologia Led	Caduta di tensione (Volt)
Colore rosso	1,8
Colore verde	2,0
Colore giallo	1,9
Colore arancione	2,0
Flash blu/bianco	3,0

Tabella 3.2

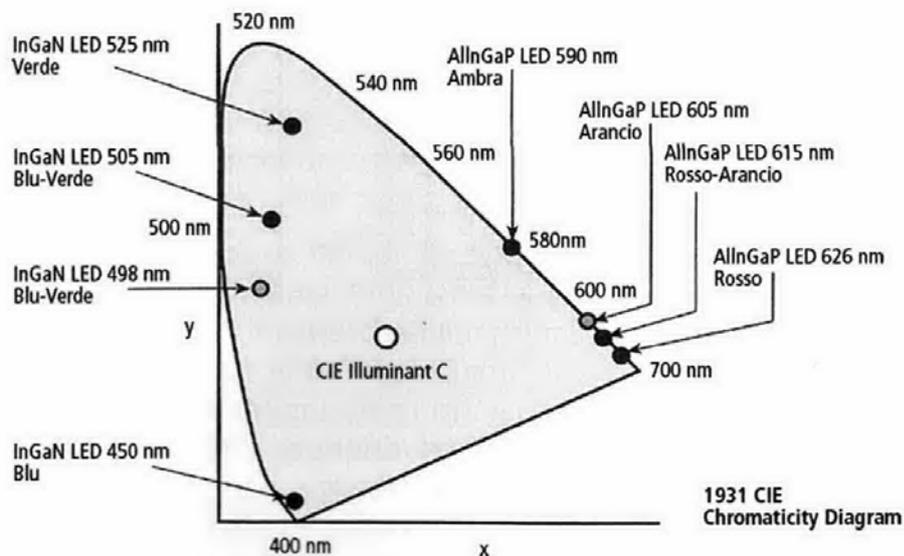


Figura 3.9

3.3.1.2 Assorbimento

Altra caratteristica particolare è il costante assorbimento della corrente da parte del diodo in modo da mantenere costante l'emissione di luce se non farlo volutamente inserendo l'uso di un regolatore di luminosità.

Nel campo dei power Led, categoria impiegata nell'illuminazione pubblica, le potenze sono uguali o superiori ad 1 watt, mentre i flussi luminosi oscillano tra i 50 e i 300 lumen. La costanza della corrente viene assicurata dall'accoppiamento dell'alimentatore e del convertitore in quanto c'è bisogno di ridurre la tensione alternata e raddrizzare la corrente derivante da essa. Infatti nella maggioranza dei casi, attualmente i power Led sono alimentati in bassissima tensione e con corrente continua; ci sono comunque dei modelli che funzionano direttamente a tensione di

rete oppure a tensione continua costante che però incorporano un modulo per provvedere a mantenere costante la corrente.

Per avere tutti la stessa corrente, i power Led vengono collegati in serie, però generalmente i moduli sono costituiti da un numero non superiore a 12 o 14 Led per evitare che la tensione complessiva non superi i 50V in modo da rimanere nel campo delle basse tensioni. Questo modo di procedere riporta indietro nel tempo quando le lampada per l'illuminazione pubblica erano collegate in serie (esistono ancora dei rari casi di queste installazioni in Italia, soprattutto nei centri urbani).

In commercio si trovano anche Led o moduli Led che sono previsti per il consueto collegamento in parallelo che offre il vantaggio di avere definita la tensione del convertitore e saranno classificati in base alla potenza erogabile.

Ogni Led è progettato per una precisa corrente di pilotaggio che genera un determinato flusso luminoso, ma un altro importante parametro è la temperatura di giunzione P-N che solitamente oscilla tra i 25 e i 40°C che definisce le prestazioni fotometriche e colorimetriche del Led

Vediamo nei due grafici successivi come varia il decadimento luminoso in funzione della temperatura di giunzione per una corrente di pilotaggio rispettivamente di 350mA e di 700mA. Notiamo che risulta più ampio l'intervallo tra le curve alla quota di decadimento del 30% nel primo grafico, quindi sta ad indicare l'importanza della temperatura di giunzione nel Led e della corrente che si utilizza. Con una corrente inferiore avremo un flusso luminoso inferiore ma ne guadagna l'efficienza e quindi il risparmio energetico. Per quanto riguarda la durata di vita media, anch'essa dipende da temperatura di giunzione e corrente di pilotaggio, dal grafico deduciamo che con corrente di 350mA si va dalle 23.000 ore circa per i 105°C, alle 150.000 ore circa per la giunzione a 55°C, mentre con corrente di 700mA la durata varia dalle 30.000 ore circa alle 110.000 ore per gli analoghi valori di temperatura del caso precedente.

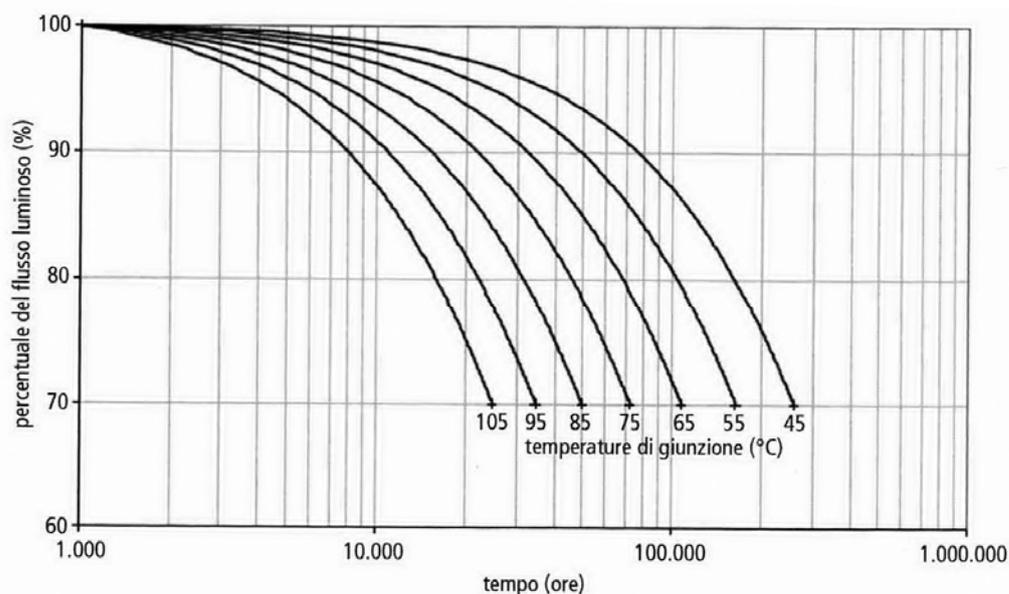


Figura 3.10

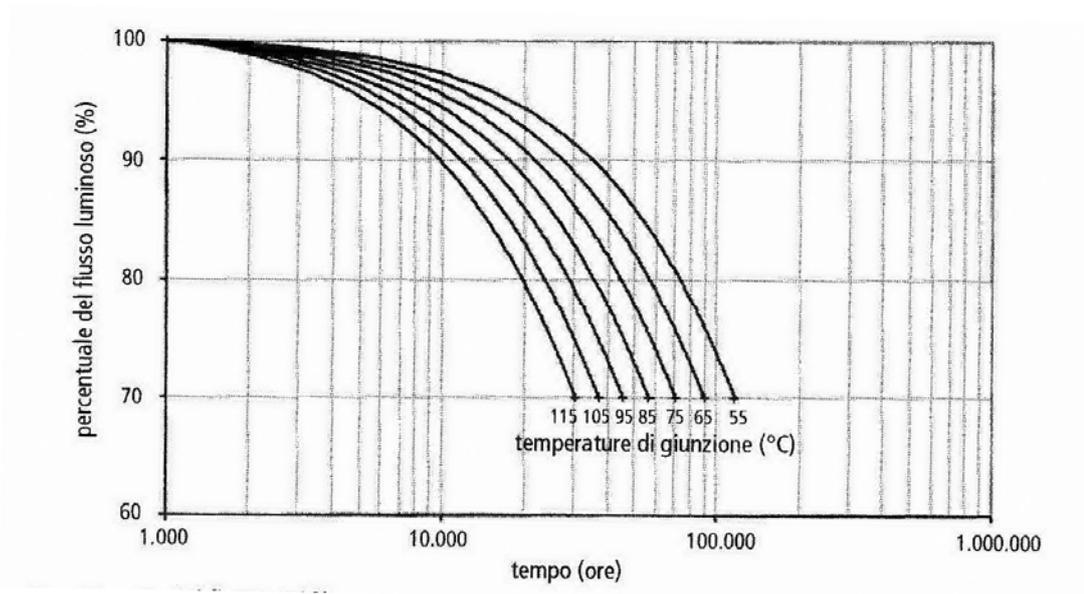


Figura 3.11

3.3.1.3 Le ottiche

Le ottiche sono un'altra caratteristica che si differenzia da tutte quelle usate finora nel campo dell'illuminazione pubblica. I Led nascono già dotati di un'ottica detta micro-ottica primaria protettiva che congloba il chip vero e proprio in modo da diffondere e rifrangere la luce, che viene "sparata" in tutte le direzioni in modo non determinabile. Solitamente un primo intervento che viene attuato nella produzione dei Led è il collocamento sotto il chip di un substrato che ha la funzione di riflettere e rifrangere le radiazioni in modo da avere una distribuzione del flusso che occupi l'emisfero superiore dello spazio che circonda il Led causando i primi fenomeni di assorbimento e dispersione della propagazione della luce.

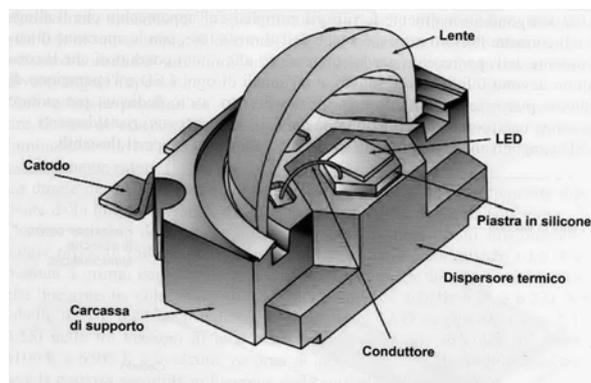


Figura 3.12

Ci sono poi le ottiche secondarie, che sono componenti aggregate al Led e che funzionano in simbiosi con le ottiche primarie, infatti sono influenzate nella ricerca della migliore efficienza luminosa e del rendimento. Le tipologie di ottiche secondarie attualmente sono tre: “ottiche piene” che funzionano in riflessione totale interna dette TIR (Total Internal Reflection), “ottiche vuote” funzionanti in riflessione speculare e “ottiche ibride” costituite da un riflettore cavo e da un elemento trasparente integrato con funzioni di lente.

3.3.2 Le prestazioni

Tecnicamente i dati forniti dalle sperimentazioni sugli emettitori di luce dimostrano che la tecnologia è matura per iniziare a competere veramente con le altre sorgenti luminose utilizzate per l’illuminazione pubblica, dopo averlo già fatto in ambito automobilistico e in quello della piccola illuminazione di interni come case, negozi e centri commerciali.

3.3.2.1 L’efficienza luminosa e la resa dei colori

Come è noto l’efficienza luminosa è il rapporto tra il flusso luminoso prodotto e la potenza elettrica assorbita, ma il primo viene sommariamente quantificato e non qualificato, cioè l’energia che procura la visione è l’energia trasformata dal sistema occhio-cervello. Se due radiazioni di differente lunghezza d’onda hanno lo stesso contenuto energetico sono considerate dallo strumento di misura radiometrica identiche, invece per il sistema occhio-cervello la differenza di frequenza è determinata in termini di diversa stimolazione. Per quantificare lo stimolo ci viene in aiuto la teoria codificata a livello internazionale della sensibilità dell’occhio medio internazionale, da cui il coefficiente di sensibilità relativa.

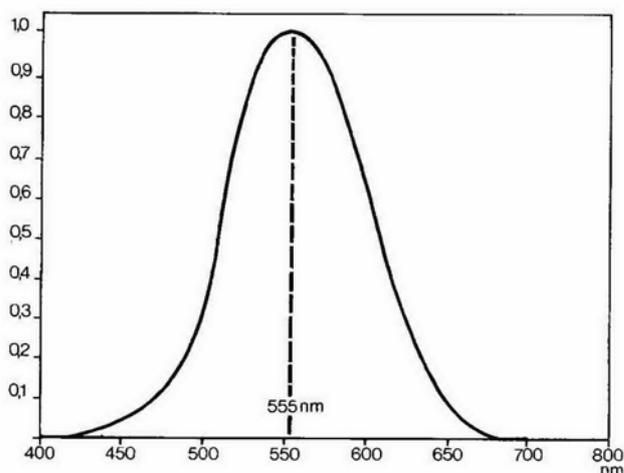


Figura 3.13

La teoria prevede (come si può notare dal grafico sopra riportato) un valore massimo del coefficiente intorno al valore di lunghezza d'onda pari a 555nm percepita come luce di colore giallo-verde, quindi una lampada che sia in grado di convertire tutta la potenza elettrica in radiazione a 555nm, avrebbe la maggior efficienza luminosa possibile, ma non sarebbe in grado di riprodurre altro colore al di fuori del giallo-verde.

Efficienza e resa dei colori rimangono incompatibili fra loro, una buona efficienza sarà indice di una insufficiente resa e viceversa, nonostante questa criticità, il dato dell'efficienza luminosa resta sicuramente il più utilizzato nelle norme e leggi per quantificare la bontà di una sorgente luminosa. Per l'incremento della resa è necessario allargare la "campana" in modo da estendere il più possibile l'intervallo di lunghezze d'onda che si almeno al di sopra di un coefficiente di sensibilità relativa di 0,75 che comunque difficilmente va oltre i 100nm su i quasi 400nm a disposizione delle luce visibile.

Per quanto riguarda il valore dell'efficienza luminosa, attorno agli anni 90 era sui 20-40 lm/W, mentre attualmente sembra abbia oltrepassato la soglia dei 100 lm/W e per i prossimi 2 anni arrivare agli oltre 150 lm/W e competere quindi con il sodio a bassa pressione che attualmente è la sorgente con la miglior efficienza luminosa.

Nel grafico sotto riportato possiamo vedere le attuali efficienze luminose del Led con una previsione futura del suo sviluppo e margine di miglioramento.

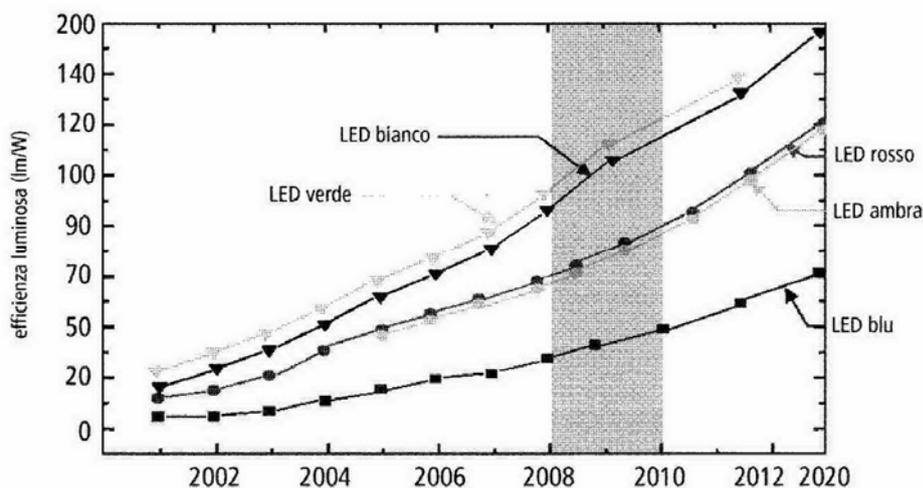


Figura 3.14

3.3.2.2 La durata di vita media e il decadimento

Come è noto la durata di vita è una delle grandi armi che ha a disposizione il Led nella battaglia per il suo inserimento nel mondo dell'illuminazione pubblica. A differenza delle lampade tradizionali, il Led non è fabbricato con filamenti resi incandescenti, involucri di vetro, utilizzando sostanze volatili sottopressione, tutte situazioni che hanno delle fragilità e quindi una minor resistenza meccanica. Il led

invece ha una grande resistenza meccanica anche in condizioni severe di installazione (trasposto, imballo, stoccaggio sono meno onerosi) e quindi questo è indice di grande durata e lunga vita. Nonostante ciò anche il Led ha il suo piccolo decadimento luminoso come la altre sorgenti ma la durata è di gran lunga superiore anche alla luce del fatto che non presenta problematiche legate alle variazioni di corrente e tensione, o a continui cicli on-off.

Questa prerogativa sconvolge tutta la procedura e la programmazione fino ad oggi utilizzata per la manutenzione e la sostituzione delle lampade, i tempi si allungheranno sicuramente e sarà molto più facile che sia un guasto al sistema di alimentazione piuttosto che al Led vero e proprio. Queste caratteristiche rendono il Led idoneo per installazioni di difficile accesso come grandi altezze, sottopassi e gallerie.

Un parametro fondamentale per la durata di vita è ,come avevamo già accennato, la temperatura di giunzione; più alta sarà quest'ultima, e più corta risulterà la vita del Led.

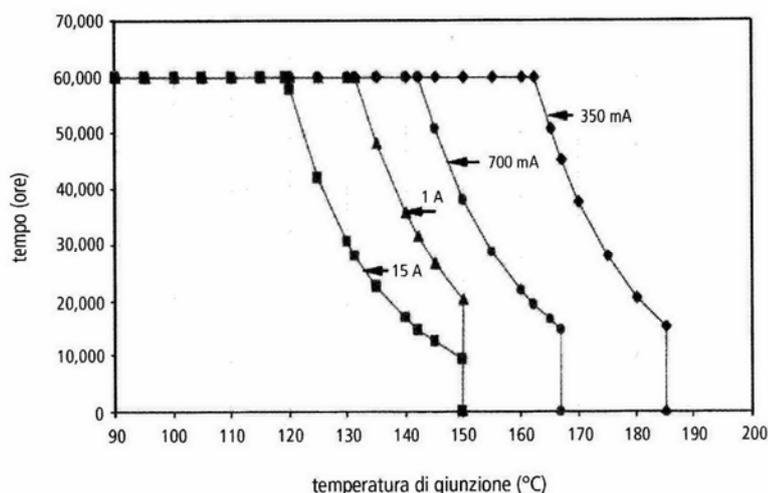


Figura 3.15

Altro parametro che influenza la durata è la corrente di pilotaggio ma in forma molto contenuta, aumentando la corrente si può produrre più flusso luminoso ma a discapito della durata e dell'efficienza luminosa.

La temperatura di giunzione, insieme alla corrente di pilotaggio, modifica la rapidità con cui si verifica un decadimento luminoso significativo prima del giungere della durata di vita media del Led.

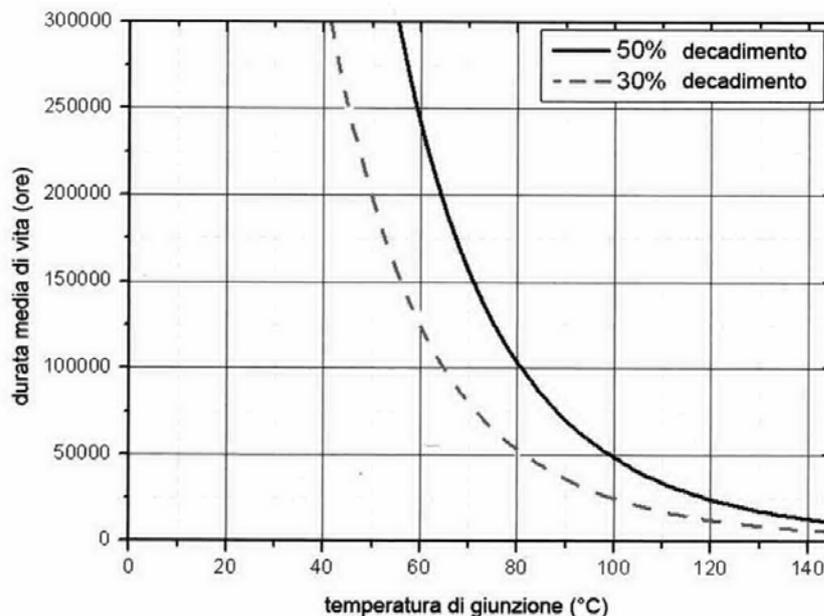


Figura 3.16

Se il decadimento supera il 30%, potrebbero non essere più rispettate le condizioni di illuminamento previste dal progetto iniziale e quindi anche se la lampada potrebbe durare ancora molto, si rende necessario un intervento manutentivo che comporterà delle spese di cui tenere conto nel bilancio finale.

3.3.2.3 L'illuminazione di beni culturali

Escludendo opere scultoree, opere monumentali e architettoniche che sono ubicate all'esterno esposte alle intemperie e agenti atmosferici, la gran parte del patrimonio artistico è conservato in musei e gallerie d'arte, illuminato da luce naturale e artificiale.

Gli studi condotti sui danni finora causati dall'energia radiante nel suo complesso, hanno evidenziato che sono alterazione dei colori (scolorimento e sbiadimento) di pigmenti e rivestimenti, perdita di compattezza, scollamento di strati pittorici e degrado strutturale. La completa assenza di radiazione infrarossa e ultravioletta nel Led, comporta il minore potere distruttivo di quest'ultima a differenza delle altre sorgenti che contengono anche oltre il 50% di emissione infrarossa.

Nella figura successiva è rappresentata la ripartizione di energia per un diodo emettitore di luce, dove possiamo notare l'assenza dichiarata dai costruttori di radiazione ultravioletta ed infrarossa.

Si nota inoltre che con un buon sistema di dispersione del calore, viene emessa solo radiazione percepita dal sistema occhio/cervello.

Bilancio energetico lampade a Led

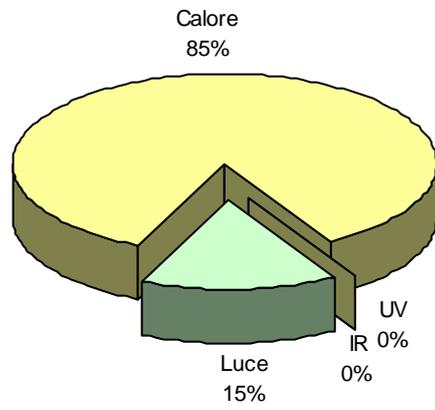


Figura 3.17

4

Comparazioni e confronti

4.1 – Caratteristiche principali di confronto

Le caratteristiche di confronto sono principalmente quelle basate sulle caratteristiche illuminotecniche che sono quindi le prestazioni tecniche e quelle basate sulle prestazioni economiche che la nuova tecnologia Led può esprimere in eccesso o in difetto nei confronti delle sorgenti tradizionali. Esistono poi altre caratteristiche su cui la nuova tecnologia emergente dei Led può fare affidamento e che non hanno termini di confronto con tutte le altre fonti luminose.

4.1.1 – L'efficienza luminosa e l'efficienza globale

Come abbiamo già visto, l'efficienza luminosa è uno dei parametri più importanti dal punto di vista del risparmio energetico, se non il più importante, necessità che può essere predominante in alcune applicazioni nell'illuminazione pubblica. Questo parametro mette a confronto due grandezze non omogenee, la luce e l'elettricità, ma che sono le due fondamentali entità in questo campo, praticamente ci parla contemporaneamente dell'aspetto tecnico e dell'aspetto economico di una sorgente luminosa. L'efficienza è quindi il rapporto tra la quantità di radiazione luminosa (con lunghezza d'onda compresa tra 380 e 780 nm, cioè nel visibile) e la totale potenza elettrica assorbita per ottenere quel determinato fascio luminoso. Ha la caratteristica di un rendimento, cioè confronta l'energia utile a valle (la luce) con energia assorbita a monte (la potenza elettrica), solo che non è adimensionale ma si misura in lumen/watt. Da questo parametro nulla sappiamo sull'efficienza del tipo di luce che abbiamo ottenuto, nel senso che abbiamo ottenuto una radiazione luminosa che stimola la percezione della vista dell'uomo trasformata dal sistema occhio-cervello. Occupiamoci per il momento della sola efficienza luminosa e non della qualità della luce emessa cioè della prestazione cromatica. I principali fenomeni dispersivi di questo "rendimento luminoso" sono il calore e le radiazioni agli estremi del visibile, cioè gli ultravioletti e gli infrarossi. La tecnologia Led a differenza di tutte le altre sorgenti luminose, ha solo emissione dispersiva di calore e quindi può vantare di non avere quelle problematiche legate alle radiazioni ultraviolette ed infrarosse. La percentuale di luce si attesta a circa il 15% del bilancio energetico, mentre il calore incide per il restante 85. Nonostante questo, l'efficienza luminosa nei Led non è ancora ai livelli della lampade al sodio, ma in prospettiva futura sembrerebbe ci siano tutti i presupposti per un allineamento. Attualmente l'efficienza dei Led sembra abbia varcato il valore dei 100 lm/W e quindi abbia nettamente prestazioni migliori delle lampade ad incandescenza e di quelle fluorescenti, senza contare che esse hanno percentuali significative di radiazioni infrarosse.

Abbiamo già visto nel precedente capitolo tutte le efficienze luminose delle sorgenti oggi disponibili sul mercato, con i loro range dovuti di volta in volta a leggere modifiche per tentare un miglioramento o adattamento, ma vediamole qui sotto riprodotte mediante un grafico a barre inserendo i dati già riportati nelle schede del capitolo precedente:

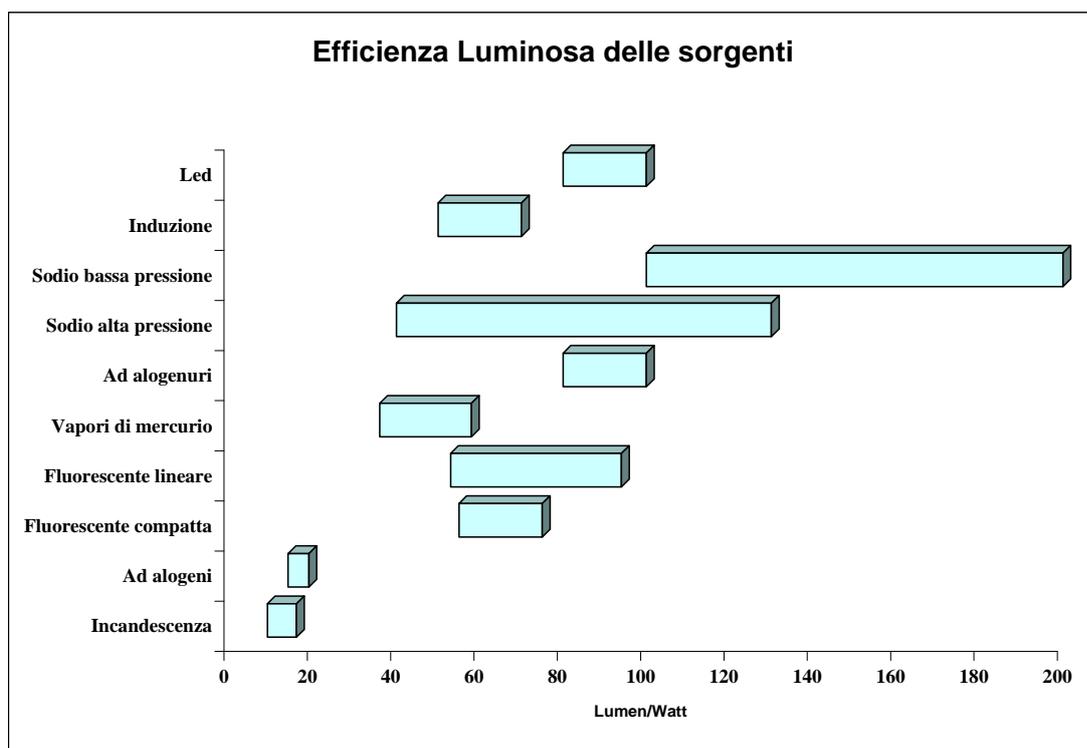


Figura 4.1

Come si può vedere il sodio a bassa pressione, pur essendo figlia di una tecnologia matura, risulta essere la miglior sorgente sul mercato dal punto di vista dell'efficienza luminosa, arrivando in particolari condizioni ottimali a quasi 200 lm/W, al di sopra nettamente a tutte le altre sorgenti luminose impiegate nell'illuminazione pubblica, presenta però due grossi handicap come le notevoli dimensioni e soprattutto la sua monocromaticità, priva di un minimo di resa cromatica. Per quanto riguarda il sodio ad alta pressione, anche esso garantisce ottimi risultati dal punto di vista dell'efficienza luminosa ed ha prestazioni sicuramente migliori in altri campi risultando la tecnologia più diffusa al momento a livello nazionale.

Un dato più significativo sulla situazione del Led in prospettiva illuminazione pubblica, ce la può dare il termine dell'efficienza globale che oltre a tener conto dell'efficienza luminosa, la combina con altri parametri come le potenze delle apparecchiature ausiliarie (alimentatori, accenditori,...), il flusso emesso, i rendimenti delle ottiche, che portano ad un risultato più significativo e appunto "globale" dove risulta che il Led migliori ancora leggermente nei confronti delle altre fonti luminose diventando il più "efficiente".

Teniamo sempre presente gli auspicabili e già noti margini di miglioramento della tecnologia Led in fatto di efficienza luminosa, ma dobbiamo anche tener conto della mancante “prova su strada”.

4.1.2 – La durata di vita, la manutenzione e il decadimento luminoso

Possiamo accomunare queste tre caratteristiche che abbiamo definito singolarmente nei precedenti capitoli per fare una valutazione il più generale possibile per limitare l’orbita delle comparazioni. Sono ovviamente strettamente legate fra di loro, la manutenzione e di conseguenze i suoi costi sono legati agli interventi per la sostituzione delle lampade a causa del loro spegnimento, più lunga sarà la durata di vita media della sorgente, e più saranno ridotti i numeri degli interventi per la loro sostituzione. Abbiamo già visto nel precedente capitolo alcuni dati sulla durata di vita media e le sorgenti più longeve risultano essere quelle ad induzione e i Led, mentre le altre sono livellate ad un gradino più basso intorno alle 10.000 ore di funzionamento medio. Per induzione e Led si parla di oltre 60.000 ore e quindi sembra che non abbiano rivali da questo punto di vista.

Se analizziamo ora il decadimento del flusso luminoso con il tempo, i dati sperimentali parlano di un 12% per incandescenza e alogene, di ben un 30% per la fluorescenza, sodio ad alta pressione ed induzione, mentre si arriva a ben il 45% per le lampade al vapore di mercurio. La lampada che risulta aver il minor decadimento sono quelle al sodio a bassa pressione con solo il 10% mentre il Led non arriva a questi livelli ma si assenta intorno al 30% come la maggioranza delle sorgenti. Ci sono però delle considerazioni da fare, questi dati sono riferiti al tempo di durata di vita media, (come è naturale che sia) quindi diverso per ogni lampada, considerando invece per tutte le sorgenti un decadimento significativo attorno alle 10.000 ore di funzionamento, il Led questo traguardo lo raggiungerebbe dopo oltre le 20.000 ore. Con la potenzialità che sembra abbia il Led (evidentemente non è ancora stato possibile verificare la sua durata su un impianto reale visto che 60.000 ore corrispondono a quasi 7 anni di funzionamento ininterrotto che corrisponderebbe ad un utilizzo in gallerie sempre illuminate) la prospettiva di vita per l’illuminazione pubblica si attesta dai 13 ai 15 anni e oltre, quindi ad una ridottissima manutenzione tale che si potrà usare la tecnologia Led in quei luoghi e in quelle applicazioni che possono arrecare disservizi e onerosità negli interventi come possono essere le gallerie autostradali, sottopassi, posizionamenti di sorgenti particolarmente alte o difficili da raggiungere o dove si debba interrompere attività produttive o assistenza e cura di persone inferme o malate.

Senza una adeguata manutenzione, qualsiasi fonte luminosa potrebbe non essere ben sfruttata, in particolar modo ci si riferisce alla sostituzione lampada o pulizia dei vetri non appena il decadimento sia tale da non rispettare la normativa relativa al tipo di installazione oppure portare ad un consumo eccessivo che superi i costi di un intervento di manutenzione.

Per discriminare meglio le sorgenti, si utilizza il fattore di manutenzione K_m che si intende come il rapporto tra l’illuminamento medio mantenuto e l’illuminamento medio di progetto, ossia dell’impianto nuovo. Ovviamente assume un valore tra 0 e 1 e tiene quindi conto sia del decadimento luminoso in seguito alle ore di utilizzo che passano, sia del naturale decadimento delle proprietà ottiche dovute all’accumularsi

di pulviscolo o altri depositi in relazione anche alla posizione e al luogo di installazione delle apparecchiature.

Il fattore di manutenzione dipende inoltre da molte variabili, in parte quindi da tipo e modello di lampada, inoltre da tipo e modello di corpo illuminante e come anticipato dalle condizioni ambientali di esercizio, quindi le discriminanti ci sono tra le varie tecnologie di lampade, soprattutto nel caso dei Led che non hanno ancora delle ottiche standard, ma spaziano ancora le sperimentazioni tra una ottica puntuale (del singolo Led) e una più generale dell'intero flusso luminoso di un gruppo di Led o dell'insieme dei gruppi o moduli.

4.1.3 – La sicurezza elettrica, meccanica e fotobiologica

Qualsiasi prodotto immesso sul mercato, seppur efficiente e vantaggioso, dovrebbe essere prima di tutto sicuro.

Nel caso dell'illuminazione a Led gli aspetti essenziali a cui si fa riferimento sono la sicurezza elettrica, meccanica e quella ottica. Per quanto riguarda il primo e il secondo aspetto la norma è già sviluppata e aggiornata, seguendo nella gran parte dei casi le specifiche dell'illuminazione tradizionale; l'unico appunto che si potrebbe fare è la maggior sicurezza elettrica dei Led in quanto funzionanti a bassissime tensioni, ma comunque sostegni e pali potrebbero venir alimentati a tensioni maggiori come attualmente per non modificare radicalmente gli impianti e poter più economicamente inserire la tecnologia Led negli impianti già esistenti. Il terzo aspetto sulla sicurezza, quello fotobiologico, potrebbe invece andare nettamente a vantaggio dei Led per la quasi totale assenza di radiazione infrarossa.

Con il termine di sicurezza ottica potremo intendere l'insieme di tutti gli accorgimenti che si rende necessario adottare per evitare che le radiazioni emesse da particolari dispositivi nelle varie condizioni ambientali risultino dannose per l'utilizzatore. Attualmente sono in vigore due normative che si sovrappongono nella loro efficacia, la prima è quella IEC/EN 60825 che terminerà il 1° settembre 2010 e sarà sostituita e quindi aggiornata dalla norma IEC 62471 – Sicurezza fotobiologica di lampade e sistemi di lampada – che assegna dei limiti espositivi, delle tecniche di misura di riferimento e uno schema di classificazione.

La nuova norma fornisce linee guida per la valutazione e il controllo dei rischi fotobiologici da parte di tutte le sorgenti che emettono radiazione ottica nel range di lunghezze d'onda comprese tra 200nm e 3000nm, quindi comprende oltre allo spettro visibile, anche l'ultravioletto e l'infrarosso.

Se l'esposizione diventa eccessiva, le radiazioni potrebbero generare lesioni agli organi del corpo umano che sono più esposti, e cioè la cute e gli occhi. Un Led che emette solamente radiazione nella banda del visibile, ossia convenzionalmente tra 380nm e 780nm, con molta probabilità non sarà pericoloso per quanto concerne i rischi legati alla radiazione ultravioletta e infrarossa.

Nei laboratori vengono effettuate le misurazioni di opportune grandezze radiometriche fondamentali, al fine di classificare i gradi di pericolosità degli apparecchi, esse sono l'irradianza spettrale, definita come la potenza o il flusso radiante che incide su un elemento di superficie e la radianza spettrale, definita come la potenza radiante emessa da una porzione di sorgente in una certa direzione. A

seconda del grado di pericolosità gli apparecchi vengono classificati secondo 4 gruppi di rischio secondo la EN 62471:2008:

Rischio di danno foto biologico	Gruppo esente da rischi	Gruppo di rischio 1	Gruppo di rischio 2	Gruppo di rischio 3
	Nessuno	Basso	Moderato	Alto
Rischio di danno fotochimico alla retina	2,8 ore	100 sec	0,25 sec	< 0,25 sec
Rischio di danno termico alla retina LR	10 sec	10 sec	0,25 sec	< 0,25 sec

Tabella 4.1

Per quanto riguarda la protezione meccanica, tutti gli apparecchi vengono classificati in base al loro grado di protezione IP (Internal Protection) che offrono sia ai corpi solidi che a quelli liquidi mediante l'uso di due cifre dove la prima indica la protezione contro polveri e corpi solidi mentre la seconda indica la conformità alla penetrazione dei liquidi. La classificazione viene riassunta in questa tabella presente nella Norma CEI 34-21:

Protezione contro la penetrazione di corpi solidi		Protezione contro la penetrazione di liquidi	
1 cifra	Descrizione sintetica	2 cifra	Descrizione sintetica
0	Non protetto	0	Non protetto
1	Corpi solidi 50mm	1	Gocce verticali
2	Corpi solidi 12mm	2	Gocce inclinate 15°
3	Corpi solidi 2,5mm	3	Pioggia
4	Corpi solidi 1mm	4	Spruzzi d'acqua
5	Polvere	5	Getti d'acqua
6	Totalmente protetto	6	Ondate
		7	Immersione
		8	Sommersioni

Tabella 4.2

Ovviamente la protezione meccanica è principalmente una caratteristica degli apparecchi illuminanti e quindi non incide significativamente sulle nostre comparazioni. La stessa Norma fissa anche i minimi gradi di protezione necessari per una armatura stradale che sono IP23 per il vano apparecchiature elettriche e IP44 per

la parte ottica. Abbiamo visto il caso dell'applicazione dei fari a Led per giochi di luce in vasche e fontane dove abbiamo la protezione massima IP68. La dicitura del grado di protezione deve essere ben visibile in tutte le apparecchiature elettriche in commercio.

4.1.4 – L'indice di resa cromatica e temperatura di colore

Attualmente i LED sono disponibili in svariate temperature di colore, ma l'efficienza luminosa è fortemente influenzata da questo parametro: le elevate efficienze superiori ai 100lm/W che rendono concorrenziale il Led rispetto alle sorgenti tradizionali, sono in realtà assicurate per ora solamente a temperature di colore molto alte, tra i 5.000 e i 6.000 gradi Kelvin, cioè per tonalità fredde, ben diverse dai toni caldi a cui siamo abituati negli ambienti urbani delle nostre città. Man mano che la temperatura di colore scende, e i toni si stemperano in tonalità più calde e invitanti simili a quanto si ottiene ad esempio con lampade a ioduri metallici con bruciatore ceramico, attorno ai 3.000 °K, l'efficienza cala drasticamente dell'ordine del 30 %, annullando alla nuova tecnologia il primato di sorgente adatta ad ottenere il maggior risparmio energetico possibile.

Chiaramente, come succede in questo tipo di tecnologia, molto dipende anche dalla scelta della qualità del lotto di LED considerato, in quanto il calo dell'efficienza in funzione della temperatura di colore può essere reso già attualmente meno pesante, ma solamente a condizione di essere disposti a pagare maggiormente la fornitura e quindi il grado di selezione operata sulla produzione dei LED.

La resa cromatica dichiarata dai produttori storici è buona, attorno ad un valore di 75, specialmente in ambito di illuminazione pubblica, dove però non servono rese eccelse come nel caso dell'illuminazione di contesti artistici o nell'illuminazione espositiva.

Resta comunque da specificare che il principio di funzionamento del diodo LED è analogo a quello di qualsiasi lampada a scarica, cioè emissione discreta di pacchetti energetici, in accordo con la legge di Plank, solo che nelle lampade a scarica tale processo avviene in un gas, nel Led invece in un solido. Ne deriva che l'andamento dello spettro di emissione è a righe e non continuo, come potrebbe sembrare visto che il costruttore fornisce una curva che è l'involuppo della densità di distribuzione spettrale. da ciò ne deriva che il Led non è adatto ad illuminare tutti i colori in quanto in certe frequenze è carente, ma ciò, come è detto, non è un grosso problema per l'illuminazione esterna, se si eccettua l'illuminazione monumentale e certe cromaticità presenti sui materiali del tessuto urbano.

4.2 – Comparazioni valutative extra tecnologiche

Altre caratteristiche di comparazione non propriamente delle fonti luminose, quindi oltre ad aspetti prettamente tecnici ed illuminotecnici, possiamo basare il nostro confronto tra le lampade tradizionali e la nuova tecnologia a Led anche con altri parametri e fattori basati soprattutto sul rispetto dell'ambiente e l'impatto ambientale.

4.2.1 – Inquinamento luminoso

L'inquinamento luminoso è quel fascio luminoso diretto o riflesso verso il cielo da fonti di luce artificiale. E' diretto quando viene emesso direttamente verso l'alto da apparecchi di illuminazione, mentre il fascio è riflesso quando il fascio luminoso verso l'alto è provocato dal manto stradale, dai marciapiedi o da costruzioni tramite la loro luminanza. L'effetto più immediato del fenomeno è l'oscuramento del cielo alla visione notturna come si può facilmente verificare osservando il cielo da una qualsiasi città, mentre le cose migliorano leggermente spostandosi in un luogo fuori dagli agglomerati urbani. Gli osservatori astronomici sono ormai dovuti emigrare nelle poche zone buie del pianeta per continuare adeguatamente la loro attività.



Figura 4.2

D'altronde è inconfutabile che l'uomo moderno non può fare a meno delle fonti luminose soprattutto per motivi di sicurezza, però oggi sempre più è richiesta una politica energetica che regoli l'emissione luminosa verso il cielo e i consumi mondiali di energia elettrica.

L'inquinamento luminoso ha molteplici effetti negativi sull'uomo e sul mondo che lo circonda in vari modi:

- in campo **artistico**: con deturpazione dei centri storici utilizzando illuminazione non mirata ai monumenti e senza una integrazione con l'ambiente circostante in modo soffuso tale da mettere in risalto le bellezze artistiche;
- in campo **scientifico**: con la costruzione di telescopi da mandare in orbita per studiare i confini dell'universo, anziché costruirli sul pianeta, dove costerebbero cento volte di meno e sarebbero più accessibili nel caso di guasto, modifiche o manutenzioni;
- in campo **ecologico** dove flora e fauna hanno visto cambiare il loro ciclo naturale “notte-giorno” con danno per la fotosintesi clorofilliana che ha subito alterazioni per l'accorciarsi dei tempi del naturale oscuramento;
- in campo del **risparmio energetico** con flussi luminosi verso l'alto che sono assolutamente dispersivi e inutili, utilizzati solo per scopi estetici ed architettonici.

L'inquinamento luminoso è senza dubbio prerogativa delle armature e degli apparecchi illuminanti, progettati per fasci di luce con ampio raggio d'azione ma che purtroppo vanno anche verso il cielo, ma anche dovuta alla lampada in sé stessa quando è utilizzata senza schermi come nel caso dei lampioni a boccia spesso utilizzati in piazze e giardini dove ben il 70% della luce prodotta viene irradiata verso il cielo.

Allora perché l'inquinamento luminoso può essere un termine di confronto?

Si pensa che con l'avvento del Led, si possa direttamente rivedere radicalmente il parco degli apparecchi illuminotecnici e quindi favorire un ricambio delle armature per limitare il più possibile il problema dell'inquinamento verso il cielo; non è detto però che il ricambio avvenga con il Led, ma sicuramente è una occasione in più per quest'ultimo di potersi mettere in “mostra”.

Si può anche intervenire senza una radicale sostituzione e senza grossi investimenti, con la semplice sostituzione, ove possibile, dei vetri curvi e prismatici o applicando degli schermi in modo da ridurre al minimo possibile la dispersione verso l'alto. Tra i peggiori esempi di lampade per l'illuminazione che irradiano oltre il 70% del loro flusso verso l'alto troviamo anche i fari fissi utilizzati agli angoli di aree commerciali e industriali o quelli roteanti installati per meri fini pubblicitari e di richiamo.

4.2.2 – Assenza di materiali tossici o nocivi

In tempi in cui l'attenzione al fattore ambientale è forte, di pregio è la caratteristica che nella lampada ad emettitori di luce vi è la mancanza di sostanze tossiche e nocive alla salute dell'uomo, degli animali e alla conservazione dell'ambiente naturale. Negli ultimi anni si sono fatti notevoli sforzi da parte delle aziende per ridurre i contenuti delle sostanze “pericolose” nelle lampade tradizionali come quelle fluorescenti, al sodio e soprattutto al mercurio, ma pur riducendone il quantitativo anche in maniera considerevole, la loro presenza rimane indispensabile per il corretto funzionamento e quindi sarà da valutare e controllare nella fase di dismissione e di

smaltimento. C'è da registrare pure casi in cui c'è l'assenza di precise indicazioni fornite dalle case costruttrici a riguardo delle quantità di sostanze presenti nei singoli modelli: nell'impossibilità di poter distinguere diversi livelli di presenza di sostanze nocive, si è scelto di indicare solo la presenza o meno del mercurio (la presenza di altre sostanze come il piombo molto spesso non è neanche specificata).

4.2.3 – La regolazione del flusso luminoso

Attualmente la regolazione del flusso luminoso avviene normalmente nelle ore notturne quando il traffico veicolare si fa meno intenso, mediante regolazione a gradini o anche continua. Non tutte le fonti luminose sono abilitate alla regolazione del flusso, alcune lo possono fare discretamente grazie a sempre più sofisticati regolatori elettronici, altre con sistemi più semplici ed economici.

La tecnologia Led porta con sé una nuova innovazione, non tanto la facoltà di una regolazione continua del flusso, ma la possibilità di regolare il flusso anche in determinate direzioni e non solo in intensità.

Un lampione stradale a tecnologia Led, incorpora oltre un centinaio di diodi emettitori che possono essere direzionati liberamente tra loro mediante le piastre riflettenti che li sostengono, oppure mediante ottiche dedicate. Solitamente saranno i moduli più esterni che saranno leggermente orientati, allargando così la superficie illuminabile a vantaggio dell'altezza dell'apparecchio illuminante che potrà essere inferiore e della interdistanza tra i punti luce che potrebbe quindi aumentare.

Spesso i lampioni incorporano già i regolatori elettronici che possono essere programmati con orari e intensità luminose a piacere durante la giornata, inoltre esiste già tecnicamente la possibilità di una programmazione e distanza mediante il telecomando.

Tutte queste possibili opzioni hanno ovviamente il loro costo e saranno adottabili economicamente solo nei casi in cui vi sia un effettivo bisogno.

4.3 – Aspetti innovativi ed esclusivi dei Led

Oltre alle comparazioni viste nei precedenti paragrafi, l'innovativa tecnologia a Led di questi ultimi anni, porta a delle innovazioni e a delle soluzioni alternative che le lampade tradizionali non possono vantare se non con compromessi e su cui non può esserci competizione e paragone.

4.3.1 – Cromaticità

Indubbiamente nessuna lampada finora può vantare l'utilizzo dei colori nell'illuminazione se non un tentativo di utilizzare vetri colorati per effetti ottici o di aiuto alla visione in particolari situazioni.

Nel Led il colore è una proprietà intrinseca ottenuta variando l'elemento drogante come è stato ben evidenziato nel paragrafo 3.3.1.1.

Si prevede un uso considerevole di questa caratteristica e molti esempi sono già realtà come alcune facciate di caserme o palazzi di amministrazioni pubbliche con la comparsa di fasci di luce con colorazione verde e rossa.

4.3.2 – Accoppiamento fotovoltaico

Vista la caratteristica alimentazione a bassissima tensione dei power Led, essi possono venir utilizzati senza l'ausilio della comune rete di tensione ma mediante l'ausilio di batterie di accumulatori.

Infatti sono molti nelle nostre arterie stradali i punti in cui a causa della mancanza di una linea elettrica rimangono al buio, soprattutto svincoli o incroci in zone isolate e periferiche dotate al massimo di una luce lampeggiante funzionante a batteria ricaricata durante il giorno da un impianto fotovoltaico che sfrutta l'energia del sole. Mediante l'uso dei Led ora la semplice luce lampeggiante può essere sostituita da un vero e proprio impianto di illuminazione dell'intero incrocio o svincolo, aumentando notevolmente la sicurezza della circolazione stradale in quei punti critici.

Si parla già della possibilità di dotare ogni palo di una linea di illuminazione, con il proprio pannello fotovoltaico in modo da renderlo indipendente e senza bisogno di interlacciamenti.

4.3.3 – La riduzione dei pesi e degli ingombri

Viste dimensioni ridotte del Led, esse comportano notevoli conseguenze per la produzione automatizzata. La produzione innanzitutto e il conseguente ricovero nei magazzini, si effettuano con macchinari e locali di modeste dimensioni. Le agevolazioni poi si ripercuotono sulla distribuzione e il trasporto, considerando il fatto della robustezza del prodotto con buone resistenze meccaniche e agli agenti atmosferici (polvere, umidità, temperature), potrà subire meno accortezze e quindi rendere maggiormente semplici tutte le operazioni inerenti.

5

Analisi e studi

5.1 – Azienda Multiservizi AMGA

L'AMGA SpA è l'azienda municipalizzata della città di Udine. Si occupa della distribuzione di gas, della captazione e distribuzione dell'acqua potabile, raccolta e depurazione delle acque reflue e dell'illuminazione pubblica compresi gli impianti semaforici. Invece l'intero gruppo AMGA si occupa di vendita gas ed energia elettrica, gestione calore (conduzione, manutenzione e costruzione impianti di riscaldamento e condizionamento).

Per quanto riguarda l'illuminazione pubblica, l'AMGA gestisce più di 13.000 punti luce in Udine e ne ha altri 10.000 circa in altri 15 Comuni; si occupa inoltre della progettazione e della loro costruzione degli impianti.

5.1.1 – Situazione e strategia adottata

La progettazione generale degli impianti di illuminazione pubblica in città risale al 1987 ed è stato stimato un intervento di adeguamento per il 15% degli impianti mentre il restante parco impianti sarà oggetto di assestamento per stralci successivi soprattutto lungo le vie di accesso e il centro storico.

Le linee guida per la progettazione sono una elevata economicità globale d'impianto, alto livello sulle realizzazioni, contenimento dell'inquinamento luminoso e dei consumi da ottenere mediante ottimizzazione delle geometrie d'impianto, corretto dimensionamento e ubicazione degli elementi d'impianto, uso di regolatori di flusso luminoso e adeguate scelte normative.

La lampada scelta per le installazioni è il sodio ad alta pressione, ma è stata presa in considerazione anche la possibilità dell'introduzione delle tecnologia Led, inizialmente come illuminazione decorativa o integrativa.

A favore della tecnologia Led si sono evidenziati i seguenti punti:

- 💡 ottime prospettive (efficienza luminosa >100lm/W)
- 💡 elevata vita utile (oltre le 60.000 ore)
- 💡 buon controllo della direzione della luce emessa
- 💡 accensione immediata
- 💡 robustezza
- 💡 minimo impatto ambientale

mentre i punti considerati a sfavore della loro applicazione sono:

- costi elevati (con tendenza a diminuire)
- costanza della temperatura di colore
- smaltimento termico
- prodotti a perdere
- aspettative non realizzabili e computabili

Prima di adottare la scelta, si è deciso di provare un approccio alla tecnologia Led mediante indagine dei prodotti sul mercato, esame delle caratteristiche tecniche e dati illuminotecnici attraverso la richiesta di campioni per delle prove aziendali. I risultati dell'indagine non è stato molto positivo a causa della difficoltà a fornire caratteristiche tecniche e assenza di dati fotometrici, difficoltà (o rifiuto) a fornire campioni in conto prova e imbarazzo davanti alla moltitudine di prodotti di ditte “non storiche” che hanno invaso il mercato elettrico.

5.1.2 – Ipotesi di progetto e raffronto

Nonostante per l'introduzione della tecnologia Led non sia necessario realizzare un nuovo impianto ma nella maggior parte dei casi è sufficiente la sostituzione del corpo illuminante, mantenendo la tipologia di impianto preesistente, si è proceduto per una corretta comparazione al raffronto tra le due tecnologie considerando la costruzione di un nuovo impianto, con le seguenti ipotesi di progetto:

Tipo strada	E (urbana)
Limite velocità	50 km/h
Larghezza carreggiata	7 m
Categoria illuminotecnica	ME3c
Flusso di traffico	100 %
Dispositivi rallentatori	Assenti
Coefficiente di manutenzione	0,8
Classe di pavimentazione	C2 con $Q_0=0,07$
Funzionamento annuo	4.000 ore
Costo dell'energia	0,125 €/kWh
Durata totale dell'impianto	15 anni (60.000 ore)

Tabella 5.1

Vista la durata di vita media di un lampada al sodio ad alta pressione di 16.000 ore, per essa sono previsti tre cambi lampada nel periodo previsto di 15 anni, mentre per il Led non è prevista alcuna sostituzione.

Sono state effettuate due simulazioni, differenziate dalla categoria illuminotecnica di progetto. Nella prima simulazione sono state usate le categorie ME3c e ME4a che

hanno rispettivamente i seguenti requisiti prestazionali: 1,0 cd/m² con U_o=0,4 UI=0,5 TI=15% SR=0,5 e 0,75 cd/m² con U_o=0,4 UI=0,5 TI=15% SR=0,5; mentre la seconda simulazione è stata condotta con categoria di progetto ME5 con requisiti di 0,5 cd/m² con U_o=0,35 UI=0,4 TI=15% SR=0,5.

5.1.3 – Risultati e conclusioni

I risultati delle due simulazioni hanno portato ai seguenti risultati riportati nelle seguenti tabelle con indicate le percentuali più significative:

Corpo illuminante	NaAP 150W	LED 56	
Classe illuminamento	ME3c	ME4a	
Altezza [m]	9	8	
Interdistanza [m]	37	30	
Numero punti luce al km	27	33	
Consumo effettivo potenza [kW]	0,170	0,067	
Consumo totale energia [kWh]	275.400	132.660	-52%
Minori emissioni CO ₂ [ton]		75,6	
Costo impianto [€]	113.600	134.600	18%
Costo energia elettrica [€]	34.425	16.583	-52%
Costo sostituzione lampada [€]	2.592	0	
Costo totale [€]	150.617	151.183	0%

Tabella 5.2

Corpo illuminante	NaAP 70W	LED	
Classe illuminamento	ME5	ME5	
Altezza [m]	8	8	
Interdistanza [m]	30	30	
Numero punti luce al km	33	33	
Consumo effettivo potenza [kW]	0,083	0,050	
Consumo totale energia [kWh]	164.340	99.000	-40%
Minori emissioni CO ₂ [ton]		34,6	
Costo impianto [€]	118.500	132.500	12%
Costo energia elettrica [€]	20.543	12.375	-40%
Costo sostituzione lampada [€]	3.168	0	
Costo totale [€]	142.211	144.875	2%

Tabella 5.3

Alla luce delle due simulazioni, la situazione sembra abbastanza chiara e lampante, con una sostanziale uguaglianza dal punto di vista del costo totale, che è il dato economico più importante. Andando a vedere le singole voci, il consumo di energia

da parte dei Led è sensibilmente minore, praticamente la metà e le emissioni di CO₂ molto contenute. Per quanto riguarda i dati geometrici sono praticamente identici, segno che si può passare da una tecnologia all'altra intervenendo solo in parte e senza il rifacimento dell'intero impianto. L'unico dato a sfavore della tecnologia Led, da queste simulazioni, sembra essere il costo iniziale dell'impianto ancora troppo alto per una buona convenienza nell'avvento dei Led.

5.2 – Azienda AEC illuminazione

Azienda toscana tra le più importanti operanti in Italia. In questi ultimi anni ha puntato molto sull'avvento del Led studiando e progettando molti modelli, testandoli in laboratorio e provandoli in esercizio. Utilizza solo diodi fabbricati dalla Osram cioè di uno dei produttori storici e più affidabili del mercato mondiale e il resto della componentistica è realizzata direttamente dalla AEC.

5.2.1 – Progetto del tunnel di Dullin

Il progetto realizzato dalla AEC ai confini del territorio nazionale riguarda un tunnel autostradale in Francia, quello di Dullin, dove l'illuminazione è operante 24h su 24h. Grazie alla estrema durata di vita degli emettitori di luce potrà prolungare di molto una eventuale manutenzione o addirittura annullarla per i previsti 10 anni di funzionamento continuo, senza mai interrompere la circolazione dei veicoli e dare quindi disservizio. Sarà sicuramente necessaria una pulizia del vetro viste le condizioni ambientali di un tunnel autostradale, ma questo avverrebbe indipendentemente dal tipo di lampada

5.2.2 – Calcoli e risultati

Ipotizzando una durata di vita media di 90.000 ore circa, i Led del tunnel operanti 24h su 24h e quindi mediamente per 8766 ore l'anno, garantiranno l'illuminazione per oltre 10 anni. Ogni anno il consumo medio stimato con l'apparecchiatura Led e con la precedente lampada utilizzata fino allo scorso anno sono:

Lampada tradizionale precedente (3x70W) =	516.927 KWh
Lampada T-Led della AEC =	334.176 KWh

Per un risparmio annuo di ben 182.751 KWh pari al 35,3% che considerando un costo medio del KWh di 0,12 euro si traduce in un risparmio di ben 21.930 euro annui che compensano già in parte i costi di realizzazione. Se poi si considera che i costi per il cambio lampada sono azzerati per 10 anni e che l'unica manutenzione riguarda la pulizia del vetro protettivo. Inoltre le lampade Led incorporano un sistema di regolazione del flusso luminoso automatizzato e programmabile con gli orari di minor flusso veicolare.

5.3 – Rivista specializzata “LUCE”

Anche la rivista “Luce” si è dedicata ad una breve e concisa comparazione tra la nuova tecnologia Led e le sorgenti luminose tradizionali.

Da notare che gli articoli e le comparazioni potrebbero non avere più molta validità, visto il continuo progresso della tecnologia Led.

5.3.1 – Articolo comparativo fascicolo numero 3/2009

L’illuminazione pubblica assume una notevole rilevanza per le Amministrazioni Pubbliche, sia come costi e consumi energetici ma anche come consenso nell’opinione pubblica. L’illuminazione può raggiungere anche il 50% delle spese elettriche totali di un Ente e si assesta tra il 15 ed il 25% come spese energetiche, mentre per la manutenzione la percentuale rispetto ad altri servizi cala ancora di più.

Potenza nominale lampada (W)	Potenza dissipata da alimentatore (W)	Potenza dissipata da alimentatore (%)	Flusso luminoso sorgente (lm)	Efficienza luminosa (lm/W)
Vapori di mercurio				
80	10	13%	3.700	41
125	15	12%	6.200	44
250	30	12%	12.700	45
Ioduri metallici				
70	22	31%	6.000	65
100	20	20%	8.500	71
150	28	19%	14.000	79
250	30	12%	23.000	82
Sodio ad alta pressione				
70	22	31%	6.500	71
100	20	20%	10.000	83
150	28	19%	17.000	96
Tecnologia Led				
39	15	38%	4.076	75
59	16	27%	6.836	91
84	22	26%	9.678	91

Tabella 5.4

Gli Enti pubblici devono adoperarsi per l'ambiente e oltre a dover rispettare le direttive del protocollo di Kyoto e quella europea 20-20-20 che impone di contenere sprechi ed eliminare dal mercato prodotti ad eccessivo consumo, l'illuminazione pubblica riveste una fondamentale importanza per la sicurezza stradale, vivibilità degli spazi cittadini, valorizzazione architettonica e paesaggistica.

La situazione italiana è caratterizzata sostanzialmente da impianti obsoleti che prevedono molte lampade a vapori di mercurio con consumi elevati e soggette a restrizioni d'impiego previste da norme giuridiche e tecniche emanate a livello nazionale ed europeo.

Oggi la tendenza è migliorare il livello di illuminazione ottenendo nel contempo risparmio energetico. La soluzione maggiormente impiegata è l'uso di lampade al sodio ad alta pressione che presentano i valori di efficienza nominali più alta; si aggiunge un ulteriore risparmio dovuto all'installazione di regolatori di flusso. Esse però hanno scarsa resa cromatica $IRC < 30$ e ridotto comfort visivo.

5.3.2 – Articolo comparativo fascicolo numero 4/2009

L'efficienza di un impianto si può valutare in potenza per unità di prodotto (watt/klumen-utilizzato) utilizzando fundamentalmente alcuni parametri come l'efficienza della sorgente luminosa e (lm/W), il rendimento del gruppo ottico η (rapporto tra flusso luminoso uscente dall'apparecchio e il flusso prodotto dalla lampada), l'utilanza u (rapporto tra flusso utilizzato sulla superficie da illuminare e flusso uscente dall'apparecchio) ed il fattore di manutenzione M (rapporto tra flusso luminoso che incide sulla strada al termine di un ciclo di manutenzione e quello ad impianto nuovo).

Quindi si ottiene un risultato di Watt per ogni migliaio di lumen utilizzato per le tre sorgenti al momento più concorrenziali in fatto di illuminazione stradale.

Risulta il sodio alta pressione il più efficiente e conveniente con 25,2 W, seguito dai Led con 29,8 W e dagli Alogenuri con 31,7 tenendo però presente che i valori per i Led non sono sufficientemente sperimentati e in rapida evoluzione.

Sorgente luminosa	e (lm/W)	H	u	M	(W/klm utile)
Sodio alta pressione	110	0,85	0,53	0,80	25,2
Alogenuri	100	0,85	0,53	0,70	31,7
Led	80	0,85	0,53	0,70	29,8

Tabella 5.5

Nonostante le incertezze sugli sviluppi futuri dei Led, si può affermare che essi sono fin d'ora una sorgente di grande interesse sotto il profilo energetico e soprattutto sotto il profilo della lunga durata.

6

CONCLUSIONI

6.1 – Futuribilità

Nel periodo storico in cui viviamo sentiamo molto parlare di ecologia, protezione del nostro pianeta, effetto-serra, scioglimento dei ghiacci a causa dell'innalzamento della temperatura del pianeta ed eccessivo consumo energetico mondiale.

Il power Led sembra capitare a proposito e tutte queste prerogative spingono ancora di più la sua massiccia applicazione in vari campi, soprattutto nell'illuminazione pubblica per un risparmio energetico a lungo raggio e a lungo termine.

6.1.1 – Conclusioni tecnologiche

La progettazione attuale ricerca sempre di più il risparmio energetico e chiaramente per quanto visto finora, l'efficienza luminosa o globale è il parametro fondamentale per ottenerlo, ma deve essere possibilmente allineato anche con altri parametri importanti e che non andrebbero sottovalutati: una sorgente dovrebbe presentare quindi una buona efficienza, bassi costi di manutenzione, una durata di vita media il più possibile lunga oltre a garantire un basso impatto ambientale, ovvero assenza di sostanze nocive al suo interno.

Se poi questa sorgente è anche economica, cioè il suo costo iniziale e di impianto è concorrenziale, avremo ottenuto una validissima soluzione.

La tecnologia Led sembra avere tutte queste caratteristiche tranne forse la parte che riguarda gli investimenti iniziali, infatti al momento risultano ancora abbastanza rilevanti i suoi costi.

Dagli studi e dalle comparazioni fin qui viste, sembra che il Led non abbia vantaggi rispetto al suo principale avversario, le lampade al sodio ad alta pressione che è in assoluto la lampada più diffusa su scala nazionale (oltre il 60%), ma vi è un sostanziale pareggio nel computo di tutte le caratteristiche tecniche messe in campo per l'analisi.

Tenendo conto però che il Led ha un margine di miglioramento tecnico maggiore rispetto a quello delle lampade al sodio, e se i costi di produzione potranno scendere, allora il Led potrà essere considerato la miglior fonte luminosa per l'illuminazione stradale, di gallerie, di aree monumentali e di centro urbani.

Nei confronti invece della lampade a vapori di mercurio, molto diffuse in Italia, la comparazione vede il Led favorito dalle prestazioni tecniche e dalla completa assenza di sostanze nocive. Nel caso però di sostituzione graduale a breve termine delle lampade al mercurio, la favorita al momento sembra però il sodio ad alta pressione per la sua notevole affidabilità, validità ed economicità dimostrata negli anni.

Al momento viene esclusa la possibilità del Led di illuminare grandi aree industriali, grandi impianti sportivi come stadi, centri olimpici in quanto il livello di illuminamento non è ancora sufficiente.

6.1.2 – Conclusioni economiche

Nonostante il costo iniziale ancora elevato per poter competere con le altre lampade, il Led dal punto di vista economico ha grandi potenzialità, a cominciare dalla sua eccellente durata di vita media, dal suo consumo energetico di molto inferiore alla concorrenza e dalla migliorabile efficienza luminosa.

Al momento però i tempi di ritorno dell'investimento iniziale sono ancora considerati lunghi e quindi impegnativi da parte delle amministrazioni pubbliche alla prese con la crisi finanziaria che sta imperversando in questo periodo.

6.1.3 – Conclusioni applicative

Nonostante la tecnologia Led non sia ancora totalmente matura per invadere il mercato dell'illuminazione pubblica, si possono già vedere in molti Comuni d'Italia le sue prime applicazioni pratiche. Potrebbero adottare la scelta di utilizzarli soprattutto dove c'era il bisogno di una sostituzione o di un adeguamento di alcuni impianti obsoleti ancora presenti, soprattutto quelli in cui è ancora impiegata la lampada ad incandescenza che ha una efficienza luminosa di gran lunga inferiore al Led e magari poter sfruttare gli impianti in serie ancora in funzione in quanto i Led si adattano bene anche a questo tipo di collegamento.

Dal punto di vista ambientale potrebbe iniziare la sostituzione delle lampade maggiormente inquinanti come le lampade a vapori di mercurio che ricordiamo sono maggiormente utilizzate in parchi e aree verdi per la loro favorevole ed adeguata emissione spettrale.

Altro impiego immediato della tecnologia Led può essere nelle nuove installazioni in progetto dalle amministrazioni comunali e provinciali in tratti di strade ancora prive di illuminazione e in sinergia con la nuova tecnologia del fotovoltaico per illuminare svincoli ed incroci non serviti da una linea elettrica aerea o in cavo.

In definitiva i tempi per l'avvento dei Led non sono completamente maturi, ma con l'evoluzione tecnica in corso e la diminuzione del loro costo, questa tecnologia potrà essere ritenuta una valida alternativa per applicazioni specifiche e mirate nel campo dell'illuminazione pubblica nei prossimi anni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Forcolini “Illuminazione LED”
Biblioteca Tecnica Hoepli
Editore Ulrico Hoepli Milano

- [2] M. Bonomo “Illuminazione d’interni”
Progettazione Tecniche & Materiali
Maggioli Editore

- [3] M. Chierigato – M. Fauri – A. Lorenzoni – F. Savorana
“Le Esco e il mercato dell’efficienza energetica”
Progetto Leonardo Bologna - Società Editrice Esculapio

- [4] L. Fellin – G. Forcolini – P. Palladino “Manuale di illuminotecnica”
Tecniche nuove

SITOGRAFIA

www.die.unipd.it
www.inquinamentoluminoso.it
www.osram.it
www.philips.it
www.cielobuio.org
www.aecilluminazione.it
www.legambiente.it
www.flimpex.com
www.regione.veneto.it
www.regione.fvg.it
www.ledlamp.it/tecnologia
www.aidiluce.it
www.dei.unipd.it

RINGRAZIAMENTI

Facendo dei ringraziamenti adesso, rischierei sicuramente di dimenticarmi di qualcuno vista la lunga e tortuosa carriera di studente di questa Università.

Chi non posso certo dimenticare sono i compagni di collegio e contemporaneamente di facoltà con cui ho condiviso la maggior parte degli esami e che mi hanno aiutato sempre e mi hanno fatto desistere dal rinunciare alla laurea nei momenti più critici: Sandrin, Joe, Bix, Samu ai quali si aggiungono il Balordo, Pratullo e Luca con cui ho condiviso lezioni, pranzi e momenti di divertimento.

Poi loro giustamente sono andati avanti e ora sono tutti apprezzati professionisti.

Un pensiero particolare va ai collegiali di altre facoltà con cui sono cresciuto e maturato, che mi hanno ascoltato e sostenuto sempre: Magu, Ale, Leo, Foggy's, Amos, Ciccio, Dane e tanti altri di cui porto il ricordo sempre con me.

Un doveroso ringraziamento a Gemma e Sonia che mi hanno guidato verso una pausa di riflessione, attraverso la quale ho potuto realizzare e costruire preziosità di inestimabile valore. Ringrazio, perché no, anche la crisi mondiale che mi ha permesso di riprendere gli studi evitandomi di cercare inutilmente un lavoro che troppi hanno perso in questi ultimi anni. Non posso certo dimenticare i miei due figli, Alessandro e ... che mi hanno dato la spinta decisiva a concludere.

Un ringraziamento particolare ad Anna, con cui ho iniziato a frequentare le prime lezioni nelle affollatissime aule degli anni novanta, quando si andava all'alba per poter prendere un posto decente, e con la quale, ironia della sorte, ho terminato gli studi con la stesura di questa tesi parecchi anni più tardi.

Sicuramente avrò dimenticato qualcuno nello stilare in tutta fretta questa pagina, ma dentro di me non dimentico alcuno. Ora devo correre a stamparla e rilegarla.

L'ultimo ringraziamento, quello più grande, va ai miei genitori, senza i quali tutto ciò non sarebbe stato possibile.

Grazie a tutti!!!

Francesco