



CESI RICERCA

Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica Illuminazione

Roberto Menga, Walter Grattieri

Febbraio 2009

Area: Usi finali

Contratto Accordo di programma con il Ministero dello Sviluppo Economico ai sensi dell'art. 3 comma 2 del D.M. 23 marzo 2006 per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico.
Piano Annuale di realizzazione 2008.

Oggetto **Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica Illuminazione**

Area USI FINALI
Progetto Razionalizzazione della pubblica illuminazione
Deliverable n. 4.5

Note Il presente rapporto, inizialmente non previsto nel documento di piano annuale delle realizzazioni 2008, è stato richiesto dalla commissione degli esperti valutatori, in data 30/07/2008, in fase di ammissione al finanziamento

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI RICERCA.

N. pagine 82 **N. pagine fuori testo**

Data 28/02/2009

Elaborato Grattieri Walter Bruno (SSE), Menga Roberto (SSE)
08004125 436546 AUT 08004125 436601 AUT

Verificato Grattieri Walter Bruno (SSE)
08004125 436546 VER

Approvato Grattieri Walter Bruno (SSE)
08004125 436546 APP

PUBBLICATO 08004125 (PAD - 799794)

Mod. RPRDS v. 01

Indice

| | |
|---|-----------|
| SOMMARIO..... | 5 |
| 1 INTRODUZIONE | 6 |
| 2 L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA..... | 8 |
| 2.1 Finalità..... | 8 |
| 2.2 Aree di intervento | 8 |
| 2.3 Classificazione delle strade | 9 |
| 2.4 Classificazioni illuminotecniche stradali..... | 10 |
| 2.5 Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento | 12 |
| 3 LE COMPONENTI DELL'ILLUMINAZIONE..... | 13 |
| 3.1 Breve cronistoria sull'uso delle lampade nella pubblica illuminazione | 13 |
| 3.2 Sorgenti luminose..... | 14 |
| 3.2.1 Le sorgenti a LED | 17 |
| 3.2.2 Scelta delle sorgenti luminose | 18 |
| 3.3 Apparecchi di illuminazione..... | 20 |
| 3.4 Supporti in generale..... | 24 |
| 3.5 I pali..... | 26 |
| 3.5.1 Esempi di Installazione su palo | 27 |
| 3.6 Disposizioni delle sorgenti luminose..... | 29 |
| 3.6.1 Tratti Rettilinei | 29 |
| 3.6.2 Incroci..... | 30 |
| 3.6.3 Curve | 31 |
| 3.6.4 Passaggi pedonali | 31 |
| 3.7 Sorgenti luminose e ambiente | 31 |
| 3.7.1 Profilo del sostegno | 32 |
| 3.7.2 Criteri per la disposizione dei centri luminosi..... | 32 |
| 3.8 Impianti elettrici | 32 |
| 3.8.1 Impianti con alimentazione in linea aerea | 33 |
| 3.8.2 Impianti alimentati con conduttori interrati..... | 35 |
| 4 PRIMI CONCETTI | 38 |
| 4.1 Verifica delle infrastrutture, le componenti e gli orari di funzionamento | 38 |
| 4.2 Illuminazione stradale: 8 punti fondamentali | 41 |
| 5 RACCOMANDAZIONI GENERALI PER UNA ILLUMINAZIONE EFFICIENTE E LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI | 43 |
| 5.1 Giustificazione per nuovi impianti | 43 |
| 5.2 Misure tecniche | 43 |
| 5.2.1 Tipo di illuminazione | 43 |
| 5.2.2 Orientamento e posizione delle luci | 43 |
| 5.2.3 Schermatura | 44 |
| 5.3 Misure gestionali | 44 |
| 5.3.1 Limitazione di orari | 44 |
| 5.4 Provvedimenti di pianificazione comunale | 45 |
| 5.4.1 Adeguamento dei piani regolatori (o delle leggi comunali) | 45 |
| 5.4.2 Piano di illuminazione..... | 45 |
| 5.4.3 Normativa Regionale..... | 45 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 6 | RACCOMANDAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE ESTERNA | 46 |
| 6.1 | Elementi di progettazione..... | 46 |
| 6.2 | Illuminazione di strade, piazzali, svincoli e barriere o caselli autostradali | 47 |
| 6.3 | Illuminazione degli edifici..... | 48 |
| 6.4 | Illuminazione di impianti sportivi | 49 |
| 6.5 | Illuminazione di Sicurezza | 49 |
| 7 | INTERVENTI DI MANUTENZIONE..... | 50 |
| 7.1 | Sostituzione delle sorgenti luminose | 50 |
| 7.2 | L'illuminazione e l'ambiente | 50 |
| 7.3 | Alcuni consigli sul tipo di lampade più adatto alle diverse zone | 50 |
| 7.4 | Gli accessori o gruppi ausiliari | 51 |
| 7.5 | I regolatori del flusso luminoso | 51 |
| 7.5.1 | I vantaggi dei regolatori di flusso..... | 51 |
| 7.6 | Sostituzione degli apparecchi illuminanti..... | 51 |
| 7.6.1 | Indicazioni utili per la scelta di un apparecchio illuminante | 52 |
| 8 | STRUMENTI FINANZIARI..... | 53 |
| 8.1 | Le ESCO..... | 53 |
| 8.2 | Regione Lombardia | 54 |
| 8.3 | I Certificati Bianchi | 54 |
| 9 | CONFRONTI ESEMPLIFICATIVI CON INTERVENTI SU IMPIANTI..... | 55 |
| 9.1 | Azioni sulla sola alimentazione dei circuiti..... | 55 |
| 9.2 | Sostituzione di lampade..... | 56 |
| 9.3 | Sostituzione di lampade e apparecchi..... | 57 |
| 9.4 | Realizzazione di nuovi impianti con criteri innovativi..... | 58 |
| 10 | COSTI DEGLI INTERVENTI | 59 |
| 10.1 | Interventi su impianti esistenti..... | 59 |
| 10.1.1 | Sostituzione delle sole lampade e accessori | 59 |
| 10.1.2 | Installazione di apparecchi e regolatori di flusso | 60 |
| 10.2 | Realizzazione di nuovi impianti | 62 |
| 11 | CONCLUSIONI | 64 |
| 12 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 66 |
| 13 | SITI WEBLIOGRAFICI..... | 66 |
| 14 | APPENDICE A - ELEMENTI DI ILLUMINOTECNICA | 67 |
| 14.1 | La Luce..... | 67 |
| 14.2 | Il fenomeno della visione | 68 |
| 14.3 | L'occhio CIE | 68 |
| 14.4 | La Visibilità..... | 69 |
| 14.5 | Principali grandezze fotometriche..... | 69 |
| 14.5.1 | Grandezze relative le sorgenti luminose..... | 69 |
| 14.5.2 | Definizioni relative le sorgenti luminose..... | 72 |
| 14.5.3 | Grandezze che caratterizzano l'ambiente illuminato..... | 74 |
| 14.6 | Altre grandezze e definizioni..... | 77 |
| 14.6.1 | Radianza o Luminosità | 77 |
| 14.6.2 | Rendimento Luminoso | 77 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 14.6.3 | Curve fotometriche..... | 78 |
| 14.6.4 | Vita media | 78 |
| 14.6.5 | Sorgente luminosa | 78 |
| 14.6.6 | Visione fotopica, mesopica, scotopica | 78 |
| 15 | APPENDICE B – RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI..... | 79 |
| 15.1 | Leggi STATALI | 79 |
| 15.2 | Leggi REGIONALI | 79 |
| 15.3 | Norme e Raccomandazioni..... | 81 |

STORIA DELLE REVISIONI

| Numero revisione | Data | Protocollo | Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati |
|------------------|------------|------------|--|
| 00 | 28/02/2009 | 08004125 | Prima Emissione |

SOMMARIO

Il presente rapporto illustra una serie di raccomandazioni che possono essere utilmente analizzate durante la realizzazione di interventi su impianti esterni di pubblica illuminazione.

Il rapporto vuole fornire una agile linea guida che raccoglie le principali informazioni emerse durante lo studio sviluppato nell'ambito del progetto di razionalizzazione della pubblica illuminazione.

Viene illustrato il tema dell'illuminazione pubblica con l'obiettivo di fornire uno strumento operativo di aiuto all'esecuzione di questi impianti e anche di fornire un supporto per le scelte di gestione del territorio e di pianificazione degli interventi che gli enti locali, come istituzione pubblica, sono chiamati ad effettuare.

Vengono fornite raccomandazioni ed indicazioni per tutti coloro che, seppur non completamente specialisti del settore, si trovano ad operare su sistemi più o meno complessi di illuminazione di spazi pubblici quali strade, piazze, percorsi ciclo-pedonali, aree a verde variamente attrezzate, parcheggi, ecc.

Vengono, infatti, toccati temi ed argomenti che amministratori comunali, responsabili degli uffici tecnici, soggetti pubblici e progettisti, sono chiamati a valutare durante le loro scelte nella realizzazione o riammodernamento di impianti di illuminazione di aree esterne di pubblico accesso.

Vengono dapprima presi in considerazione i singoli elementi che servono a realizzare gli impianti di illuminazione, cioè le lampade, gli apparecchi, i sostegni e gli impianti elettrici. Vengono poi forniti diversi consigli illuminotecnici che sono derivati dall'esecuzione di queste tipologie di impianto.

Infine sono anche forniti alcuni esempi pratici operativi per la predisposizione di piani di intervento che possono interessare sia impianti esistenti che la realizzazione di impianti ex-novo.

Due Appendici completano la guida: nella prima sono forniti alcuni concetti di illuminotecnica di base con annesso un glossario tecnico, nella seconda invece vengono richiamate le leggi nazionali e regionali vigenti in materia di illuminazione e le principali norme e raccomandazioni che il progettista è tenuto a conoscere.

1 INTRODUZIONE

L'illuminazione pubblica è parte integrante della gestione amministrativa del territorio comunale, da un lato è al servizio della comunità e delle società locali mentre dall'altro promuove lo sviluppo economico, migliora la sicurezza della viabilità e la sicurezza psicologica ed emotiva dei pedoni e dei cittadini residenti, nonché migliora il comfort abitativo ed ambientale. Comunque, molti comuni ed enti locali non sono consapevoli di tutto quanto sia disponibile in materia di illuminazione e dei risparmi energetici conseguibili attraverso scelte oculate, tenendo solo in conto di quanto oggi la ricerca e la tecnologia mettono a disposizione per ciascuna delle singole parti di cui è composto un impianto di pubblica illuminazione.

Il presente rapporto descrive in breve il tema dell'illuminazione pubblica come elemento di sintesi del progetto (Rif. [1]) con l'obiettivo di fornire una guida operativa utile alla gestione e alla realizzazione di impianti di illuminazione pubblica e si propone di essere uno strumento di supporto nell'ambito della gestione del territorio e della pianificazione degli interventi a cui gli amministratori locali, per istituzione, sono chiamati a compiere.

Le informazioni e le linee guida contenute in questo documento sono rivolte a tutti coloro che, seppur non completamente specialisti del settore, si trovano ad operare su sistemi più o meno complessi di illuminazione di spazi pubblici, quali strade, piazze, percorsi ciclo-pedonali, aree a verde variamente attrezzate, parcheggi, ecc.

Amministratori comunali, responsabili degli uffici tecnici, soggetti pubblici coinvolti nelle scelte relative alla realizzazione o riammodernamento di impianti di pubblica illuminazione su aree esterne, nonché i soggetti che vengono coinvolti nella progettazione di tali impianti, possono trovare in queste linee guida buone azioni di comportamento da adottare durante la realizzazione di interventi energeticamente e ambientalmente "sostenibili".

Particolare attenzione viene riservata all'integrazione tra programmazione del territorio attraverso nuovi impianti di illuminazione pubblica e la progettazione degli interventi di riqualificazione e di potenziamento di impianti già esistenti.

La presente Guida intende supportare gli amministratori a meglio interpretare la funzione dell'illuminazione stradale, capire i problemi gestionali che essa pone e massimizzare i benefici che derivano dalla progettazione e realizzazione oculata degli impianti. Nella prima parte essa offre le necessarie informazioni per capire che cosa è l'illuminazione delle aree pubbliche con particolare enfasi a quelle stradali e i benefici che ne possono derivare. La seconda parte delinea i passi che dovrebbero essere seguiti per raggiungere gli obiettivi di una progettazione di illuminazione stradale efficace ed energeticamente efficiente, per il conseguimento del maggior risparmio energetico.

Il risparmio energetico infatti è "la prima fonte di energia alternativa e rappresenta senza dubbio il mezzo più rapido, efficace ed efficiente in termini di costi per ridurre le emissioni di gas ad effetto serra", così si esprime la Commissione Europea nel documento "Fare di più con meno. Libro Verde sull'efficienza energetica" del 2005, e costituisce una tappa importante per lo sviluppo di una politica energetica dell'Unione Europea. Analizzando il tema in ambito nazionale, un'iniziativa volta all'efficienza energetica dà un contributo significativo alla riduzione della nostra dipendenza energetica da altri paesi, in un contesto di prezzi instabili dei combustibili e tendenti comunque a crescere (Rif. [2]).

Il primo passo in politica di risparmio energetico, e quindi applicabile al campo della pubblica illuminazione, è il contenimento degli sprechi energetici. L'Europa, che consuma almeno il 20% dell'energia che utilizza a causa della scarsa efficienza di apparecchi e impianti, si è posta l'obiettivo di ridurre queste perdite entro il 2020, adottando un "Piano d'azione sull'efficienza energetica".

Il Piano, che mira ad eliminare dal mercato i prodotti che consumano troppo e ad informare i cittadini su quelli più efficienti, introduce norme minime di rendimento energetico per apparecchiature e impianti e prevede un'ulteriore diffusione dei sistemi di etichettatura energetica e di incentivazione economica.

Il settore dell'illuminazione pubblica è un punto di partenza ideale per una politica di risparmio energetico perché la qualità del servizio è immediatamente “visibile” ai cittadini e può contribuire in modo concreto a migliorare la sostenibilità ambientale del nostro stile di vita.

Per l'illuminazione si consuma il 14% di tutta l'elettricità della Unione Europea, il 19% a livello mondiale (fonte IEA). Circa i 2/3 di tutte le sorgenti luminose attualmente installate nell'Unione Europea si basano su una tecnologia obsoleta (sviluppata prima del 1970), a scarso rendimento energetico.

Pur considerando che i consumi energetici in Italia imputabili direttamente all'illuminazione pubblica rappresentano un valore relativamente basso, in quota percentuale, rispetto al valore complessivo dei consumi nazionali (i dati disponibili sono attestati sul 2%, pari a circa 6 TWh/anno), esistono sicuri margini di miglioramento intesi a ridurre il valore assoluto dei consumi per l'illuminazione pubblica, grazie a processi di innovazione tecnologica e di razionalizzazione.

Diventa quanto mai urgente programmare azioni e interventi di efficientamento e di razionalizzazione sia nei grandi centri urbani sia nei piccoli comuni.

Questa guida si rivolge in particolare a tutti i Comuni, ed intende essere uno strumento utile per le Pubbliche Amministrazioni nella pianificazione efficace ed efficiente di sistemi di illuminazione, in grado di coniugare le esigenze di sicurezza dei cittadini, di valorizzazione del patrimonio artistico e monumentale delle città con gli impegni di risparmio energetico e di salvaguardia dell'ambiente, a cui anche il nostro Paese deve rispondere.

Questa guida non può essere, però, né esaustiva, né tanto meno completa di ogni indicazione, ma può essere utile per un opportuno risparmio energetico, vista la continua crescita ed evoluzione tecnica nel settore della illuminazione, che presenta, tra l'altro, in questi ultimi periodi sempre più elevati livelli di complessità e di tecnologia completamente diversi rispetto a solo pochi anni fa.

E' auspicabile pertanto, e questo dovrebbe esserlo anche nel caso di provvedimenti legislativi in materia di illuminazione troppo vincolanti che possono confliggere con i nuovi sviluppi che la ricerca tecnico-scientifica riesce a dare, che queste linee guida possono rappresentare delle buone pratiche da tener presente durante le analisi e le valutazioni di interventi di pubblica illuminazione.



**Figura 1 - Lampada ad arco - Giacomo Balla 1911
New York, Museum of Modern Art**

2 L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

2.1 Finalità

Il servizio di pubblica illuminazione è essenziale per la vita cittadina dato che persegue le seguenti importanti funzionalità:

- **Garantire la visibilità nelle ore buie**, dando la migliore fruibilità sia delle infrastrutture che degli spazi urbani secondo i criteri di destinazione urbanistica. Su 8760 ore annue in Italia ve ne sono in media circa 4000 che vengono considerate "notturne" con diverse necessità di luce artificiale, che viene fornita dagli impianti di illuminazione pubblica.
- **Garantire la sicurezza per il traffico stradale veicolare al fine di evitare incidenti, perdita di informazioni sul tragitto e sulla segnaletica in genere**: per assicurare i valori di illuminamento minimi di sicurezza sulle strade con traffico veicolare, misto (veicolare – pedonale), residenziale, pedonale, a verde pubblico, ecc., sono state emanate apposite norme che fissano i livelli di illuminamento in funzione della classificazione dell'area da illuminare.
- **Conferire un maggiore "senso" di sicurezza fisica e psicologica alle persone**: da sempre, l'illuminazione pubblica ha avuto la funzione di "vedere" e di "farsi vedere" e pertanto di acquisire un maggior senso di sicurezza che oggi è inteso come un deterrente alle aggressioni nonché da ausilio per le forze di pubblica sicurezza.
- **Aumentare la qualità della vita sociale con l'incentivazione delle attività serali**: con una adeguata illuminazione pubblica è possibile favorire il prolungamento, oltre il tramonto, delle attività commerciali e di intrattenimento all'aperto.
- **Valorizzare le strutture architettoniche e ambientali**: un impianto di illuminazione pubblica, adeguatamente dimensionato in intensità luminosa e resa cromatica, è di supporto alla valorizzazione e al miglior godimento delle strutture architettoniche e monumentali.

Questi obiettivi primari devono essere ottenuti cercando non solo di minimizzare i consumi energetici, ma anche contenendo il più possibile il flusso "disperso", concausa dell'inquinamento luminoso, dell'invasività della luce e dell'impatto sull'ambiente dell'intervento -sia integrando formalmente gli impianti con il territorio in cui vengono inseriti, sia con la scelta di materiali contestuali all'ambiente-, ottimizzando i costi di esercizio e di manutenzione.

Pianificare quindi un intervento per migliorare l'efficienza energetica nel campo dell'illuminazione pubblica non comporta solo la messa in gioco di considerazioni tecniche ed economiche: *in primis* è necessario rispettare la normativa in materia di sicurezza stradale e quindi considerare le necessità dovute alla pubblica sicurezza, alla tutela del patrimonio artistico e alla incentivazione delle attività sociali. Solo dopo aver adempiuto a tali obblighi è possibile rivolgere i propri sforzi all'ottimizzazione dei costi di esercizio e manutenzione dell'impianto e al contenimento del flusso luminoso "disperso".

Nel presente documento non sono sviluppate od eventualmente elencate le varie raccomandazioni o prescrizioni operative fornite dalle diverse leggi regionali ed i conseguenti provvedimenti attuativi, emessi dalle singole regioni e/o province autonome contro l'inquinamento luminoso¹ a cui si rimanda per ogni eventuale dettaglio.

Come detto prima, si può facilmente comprendere come le variabili in gioco per una adeguata illuminazione pubblica siano molte, in funzione sia delle caratteristiche ambientali e delle necessità e peculiarità dell'area da illuminare, che delle caratteristiche degli impianti già esistenti, su tale area, sui quali si vuole intervenire.

2.2 Aree di intervento

Le presenti linee guida si concentrano su situazioni concrete e ipotesi reali di intervento nel campo

¹ Combattere l'inquinamento luminoso significa ridurre la luce di disturbo rivolta verso il cielo ed indirizzare la luce solo dove effettivamente serve.

dell'illuminazione pubblica.

Vengono individuate tre principali macro-aree di intervento che si differenziano per caratteristiche ed esigenze. Tali aree sono indicate nella Tabella 1 di seguito riportata.

Tabella 1- Classificazione delle aree di intervento

| TIPO | CLASSIFICAZIONE | CARATTERISTICHE | ESIGENZE |
|-----------|---|---|---|
| A. | Strade ad esclusivo o prevalente traffico veicolare | - Velocità notevoli - Lunghezze notevoli - Difficoltà di manutenzione | - Sicurezza stradale - Elevata affidabilità - Elevata efficienza |
| B. | Aree in contesto urbano con traffico misto (veicolare + ciclo-pedonale) | - Presenza di persone - Presenza di attività commerciali e luoghi di aggregazione - Impianti inseriti in contesti urbani, molte volte pregevoli per arte e storia | - Sicurezza percepita - Ottima resa cromatica - Comfort visivo - Ottimo inserimento formale degli impianti |
| C. | Grandi aree (piazze, parcheggi, piazzali, ecc) con traffico misto | - Superfici notevoli - Limitazione nel posizionamento dei punti luce | - Elevata efficienza - Flessibilità delle possibilità di installazione e delle ottiche disponibili |

Nelle aree di tipo A. rientrano anche le gallerie stradali e gli impianti sportivi *outdoor*, che, presentando problematiche particolari, non sono approfonditi nel presente documento.

Nelle aree di tipo B. rientrano anche casi limite, in cui la destinazione d'uso è esclusivamente ciclo – pedonale, o solo pedonale.

Sempre nel caso B., ma anche nel caso C (piazze), non vengono prese in considerazione le esigenze e le relative applicazioni dovute alla presenza di monumenti ed emergenze architettoniche, in quanto l'illuminazione esterna monumentale ed architettonica possono richiedere ambientazioni caso per caso.

2.3 Classificazione delle strade

La classificazione delle strade deve avvenire in sintonia con quanto riportato nei provvedimenti di legge e ss.mm.ii. di seguito elencati:

- *Decreto Legislativo 30/04/1992, n. 285 – “Nuovo codice della strada.”, pubblicato sulla “Gazzetta Ufficiale - Serie generale” n. 114 del 18 maggio 1992 (Supplemento ordinario n. 74);*
- *Comunicato Ministeriale LL. PP. del 12/04/1995 – “Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale – Serie generale n. 146 del 24 giugno 1995 (Suppl. ordinario n. 77). Direttive emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici in attuazione dell’art.36 del D.Lgs.30 aprile 1992, n.285;*
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 5/11/2001 n. 6792 – “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale – Serie Generale del 04/01/2002 n. 3 (Suppl. Ordinario n. 5);*
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 22/04/2004 “Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»”, pubblicato sulla Gazzetta ufficiale 25/06/2004 n. 147;*
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 19/04/2006 - “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali ”, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale - Serie Generale n. 170 del 24/07/2006.*

Ai fini dell'applicazione delle norme previste dal Dlgs n.285 (Nuovo Codice della Strada) con il termine "strada" viene definita l'area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali.

Le strade, secondo il Codice della Strada, sono classificate, riguardo alle loro caratteristiche costruttive, tecniche e funzionali, nei seguenti tipi.

- A** - **Autostrade;**
- B** - **Strade extraurbane principali;**
- C** - **Strade extraurbane secondarie;**
- D** - **Strade urbane di scorrimento;**
- E** - **Strade urbane di quartiere;**
- F** - **Strade locali.**

Successivamente, il Ministero LLPP, con il provvedimento del 12 aprile 1995, introduce la classificazione di altri tipi di strade che si possono trovare in ambito urbano, con funzione e caratteristiche intermedie rispetto ai tipi precedentemente indicati, quali:

- ❑ **strade di scorrimento veloce**, intermedie tra le autostrade e le strade di scorrimento;
- ❑ **strade interquartiere**, intermedie tra quelle di scorrimento e quelle di quartiere;
- ❑ **strade locali intezionali**, intermedie tra quelle di quartiere e quelle locali, quest'ultime anche con funzioni di servizio rispetto alle strade di quartiere.

2.4 Classificazioni illuminotecniche stradali

La Norma UNI EN 13201-2 del settembre 2004, che recepisce la norma EN 13201-2 – Road Lighting – Part 2: Performance requirements (del novembre 2003, con correzioni introdotte il 3 dicembre 2003), definisce, per mezzo di requisiti fotometrici, le classi di impianti di illuminazione per l'illuminazione delle strade indirizzata alle esigenze di visione degli utenti e considera gli aspetti ambientali dell'illuminazione stradale.

In essa sono contenute tabelle con le **classi illuminotecniche** definendone le caratteristiche previste per le seguenti tipologie di strade:

- ❑ **Classi ME - Strade con traffico motorizzato** (manto stradale asciutto):
Definiscono le luminanze del manto stradale.
- ❑ **Classi MEW - Strade con traffico motorizzato** (manto stradale asciutto/umido):
Definiscono le luminanze del manto stradale.
- ❑ **Classi CE - Strade conflittuali con traffico misto**
Definiscono gli illuminamenti orizzontali di aree di conflitto come strade commerciali, incroci principali, rotatorie, sottopassi pedonali.
- ❑ **Classi S - Strade pedonali e ciclabili:**
Definiscono gli illuminamenti orizzontali per strade e piazze pedonali, piste ciclabili, parcheggi,...
- ❑ **Classi A - Strade pedonali e ciclabili:**
Definiscono gli illuminamenti emisferici.
- ❑ **Classi ES – Strade pedonali**
Definiscono gli illuminamenti semicilindrici.
Favoriscono la percezione della sicurezza e la riduzione della propensione al crimine.
- ❑ **Classi EV – Strade in presenza di superfici verticali**
Definiscono gli illuminamenti verticali.
Favoriscono la percezione di piani verticali, in passaggi pedonali, caselli, svincoli.

Vengono presentate di seguito alcune tabelle (Tabella 2, 3, 4 e 5) riprese dalla Norma UNI EN 13201-2:2003 (“Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti Prestazionali”) relative alle principali categorie di illuminazione: ME, CE, S e alla classe addizionale EV, come sopra specificate, rimandando alla norma stessa per ogni completamento e dettaglio.

Tabella 2 - Serie ME di classi di illuminazione (da Norma UNI EN 13201-2:2004)

| Classe di illuminazione | Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto | | | Abbagliamento debilitante | Illuminazione aree circostanti |
|-------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | L media [cd/m ²] (minima mantenuta) | U _o (*) (minimo) | U ₁ (**) (minimo) | TI [%] (max) | SR (***) (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 | - |

* U_o = Uniformità globale - Rapporto tra illuminamento/luminanza minima e media su un tratto stradale significativo.

** U₁ = Uniformità longitudinale - Rapporto tra illuminamento/luminanza minima e massima lungo la mezzzeria di ciascuna corsia.

*** Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti propri adiacenti alla carreggiata.

Tabella 3 - Serie CE di classi di illuminazione (da Norma UNI EN 13201-2:2004)

| Classe di illuminazione | Illuminamento orizzontale | | Abbagliamento debilitante |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | E medio [lux] (minimo mantenuto) | U _o (minimo) | TI [%] (max) |
| CE0 | 50 | 0,4 | 10 |
| CE1 | 30 | 0,4 | 10 |
| CE2 | 20 | 0,4 | 10 |
| CE3 | 15 | 0,4 | 10 |
| CE4 | 10 | 0,4 | 15 |
| CE5 | 7,5 | 0,4 | 15 |

Tabella 4 - Serie S di classi di illuminazione (da Norma UNI EN 13201-2:2004)

| Classe di illuminazione | Illuminamento orizzontale | | Abbagliamento debilitante |
|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | E medio [lux] (minimo mantenuto) | E minimo [lux] (mantenuto) | TI [%] (max) |
| S1 | 15 | 5 | 15 |
| S2 | 10 | 3 | 15 |
| S3 | 7,5 | 1,5 | 15 |
| S4 | 5 | 1 | 20 |
| S5 | 3 | 0,6 | 20 |
| S6 | 2 | 0,6 | 20 |
| S7 | Non determinato | Non determinato | - |

Tabella 5 - Serie EV di classi di illuminazione (da Norma UNI EN 13201-2:2004)

| Classe di illuminazione | Illuminamento verticale |
|-------------------------|----------------------------------|
| | E medio [lux] (minimo mantenuto) |
| EV1 | 50 |
| EV2 | 30 |
| EV3 | 10 |
| EV4 | 7,5 |
| EV5 | 5 |
| EV6 | 0,5 |

2.5 Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento

La classificazione delle strade in funzione del tipo di traffico e il corrispondente indice della categoria illuminotecnica viene definita dalla norma UNI 11248:2007 dell'ottobre 2007, che ha recentemente sostituito la norma UNI 10439-2001.

La norma in particolare individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti delle strade. Fornisce le linee guida per determinare le condizioni di illuminazione in una data zona della strada, identificate e definite in modo esaustivo, nella UNI EN 13201-2, mediante l'indicazione di una categoria illuminotecnica.

Tali categorie illuminotecniche di riferimento, per i vari tipi di strade classificate secondo la legislazione vigente, sono riportate nella seguente Tabella 6.

Tabella 6 - Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento (da Norma UNI 11248:2007)

| Tipo di strada | Descrizione del tipo di strada | Limiti di velocità [km/h] | Categoria illuminotecnica di riferimento |
|---------------------------|--|---------------------------|--|
| 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 ²) | 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 ²) | 70-90 | ME3a |
| | Strade locali extraurbane | 50 | ME4b |
| | | 30 | S3 |
| | Strade locali urbane (tipi F1 e F2 ²) | 50 | ME4b |
| | Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali,.. | 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 |
| 50 | | | |
| Strade locali interzonali | 50 | CE5/S3 | |
| | 30 | | |
| | Piste ciclabili ³ | Non dichiarato | S3 |
| | Strade a destinazione particolare ⁴ | 30 | |

² Secondo il Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 n° 6792 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

³ Secondo il Decreto Ministeriale 30 novembre 1999 n° 557 del Ministero dei Lavori Pubblici

⁴ Secondo l'art. 3.5 del Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 n° 6792 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

3 LE COMPONENTI DELL'ILLUMINAZIONE

Premesso che a monte di ciascun intervento di razionalizzazione di impianti di illuminazione pubblica ci sia una progettazione professionale e curata, i risultati migliori in termini di risparmio energetico si possono ottenere mediante l'impiego dei materiali e delle apparecchiature più adeguate all'applicazione specifica, scelte ovviamente tra quelle che il mercato e la tecnologia mettono a disposizione.

In questo documento per questioni di sintesi si presenta una breve rassegna di ciò che offre l'intero panorama nazionale della pubblica illuminazione che include:

- Tipologie principali di sorgenti luminose;
- Tipologie principali di apparecchi, in relazione alle varie categorie di impiego;
- Tipologie principali di sostegni, in relazione alle varie categorie di impiego;
- Tipologie di impianto elettrico.

Si cercherà nel seguito alcune indicazioni dello stato dell'arte del settore, ma vista la velocità con cui la tecnologia propone nuove soluzioni, si accennerà pure a proposte innovative che già si affacciano al mercato, anche se talvolta sono ancora in attesa di una conferma della loro efficacia e delle loro effettive prestazioni, queste ultime in continua e rapida evoluzione.

3.1 Breve cronistoria sull'uso delle lampade nella pubblica illuminazione

La luce artificiale si ottiene con l'ausilio di lampade che si differenziano per:

- la resa luminosa a parità di potenza elettrica assorbita;
- il colore della luce emessa (ad esempio: bianco, giallo, ecc.);
- la resa cromatica, che indica le caratteristiche di una lampada per consentire l'apprezzamento delle sfumature di colore;
- la vita media di funzionamento (ad es.: 1.000 ore, 6.000 ore, 12.000 ore, ecc.);
- i valori di potenza unitaria che il mercato offre (50 W, 70W, 100 W, 125W, 150 W, 250 W, ecc.).

La scelta idonea delle lampade da utilizzare incide in modo considerevole sull'efficienza dell'intero sistema in senso energetico e funzionale.

I primi impianti elettrici di illuminazione pubblica utilizzavano come sorgente luminosa le lampade ad incandescenza, che sono caratterizzate da un'ottima resa dei colori, una bassa efficienza luminosa, ossia i lumen emessi per ogni Watt di potenza, (circa 15 lumen/Watt) ed una vita media di funzionamento breve (1000 ore).

Negli anni '50 si diffusero le lampade fluorescenti tubolari, che aumentavano sensibilmente la resa luminosa (circa 60 lumen/Watt) e la vita media di funzionamento (circa 4000 ore); per contro, la resa dei colori diminuiva rispetto alle lampade ad incandescenza. Il loro impiego è oggi assai diminuito per due motivi:

1. Difficoltà nella costruzione di apparecchi per l'illuminazione stradale che devono essere caratterizzati da un buon rendimento che le notevoli dimensioni delle lampade fluorescenti (lunghezza 60 – 120 cm) limitano. Normalmente le dimensioni dell'ottica di un apparecchio stradale sono cinque volte maggiori delle dimensioni della lampada.
2. La resa luminosa delle lampade fluorescenti diminuisce di circa il 20 % alle basse temperature.

Negli anni '60 comparvero le lampade a vapori di mercurio ad alta pressione, più compatte rispetto a quelle fluorescenti, che sono caratterizzate da resa luminosa pressoché uguale, non risentono delle variazioni di temperatura esterna ed hanno un buon valore di vita media di funzionamento (circa 8000 ore).

Negli anni '70 si installarono le lampade a vapore di sodio a bassa ed alta pressione. Le prime sono caratterizzate da elevata efficienza luminosa (circa 110 lumen/Watt), resa cromatica pressoché nulla e, quindi, il loro impiego è limitato alle aree industriali e nelle gallerie; le seconde presentano una buona resa dei colori, vita media di funzionamento elevata (circa 12.000 ore) ed efficienza luminosa di circa 100 lumen/Watt.

Oggi giorno, le sorgenti luminose maggiormente utilizzate negli impianti di illuminazione pubblica sono quelle a vapore di mercurio e di sodio ad alta pressione. In particolari casi, come l'illuminazione di monumenti, sono impiegati anche altri tipi di lampade, come ad esempio quelle a vapore di alogenuri metallici che consentono di migliorare notevolmente la resa cromatica.

Infine, sono in via di sperimentazione le lampade ad induzione, caratterizzate da una vita media di funzionamento di circa 60.000 ore (equivalente a 14 anni).

3.2 Sorgenti luminose

Le sorgenti luminose utilizzate negli impianti di illuminazione per aree esterne devono possedere in maniera imprescindibile le principali caratteristiche, quali:

- elevata efficienza luminosa;
- elevata affidabilità;
- lunga durata di funzionamento;
- compatibilità ambientale (collegata principalmente al problema della presenza di sostanze nocive e dello smaltimento delle sorgenti esauste).

Inoltre nel caso di applicazioni legate all'ambiente urbano divengono prioritarie anche altre tematiche relative a:

- tonalità della luce (temperatura di colore);
- indice di resa cromatica.

Nell'ambito di una classificazione delle sorgenti luminose basata sul modo con cui la luce viene generata, si può affermare che, ad oggi, la vasta famiglia delle lampade a scarica nei gas ad alta densità, è quella che maggiormente risponde alle esigenze dell'illuminazione per esterni.

Con riferimento alle principali caratteristiche in precedenza richiamate si può enunciare quanto segue (Rif.[2], [3]).

- ❑ **Efficienza luminosa.** L'efficienza luminosa delle lampade a scarica è decisamente più elevata di quella delle lampade ad incandescenza, che restano perciò escluse dall'illuminazione pubblica, salvo in casi particolari di illuminazione di opere d'arte.
- ❑ **Vita utile.** Il periodo di accensione dell'illuminazione pubblica è valutato pari a circa 4300 ore all'anno, mentre per le gallerie, illuminate anche di giorno, si sale all'intero periodo annuo, pari a 8760 ore. Anche per questo motivo è quindi sconsigliato l'impiego di lampade ad incandescenza, la cui vita è valutabile nell'intorno di 2000 ore. Alcuni tipi di lampade in atmosfera di xeno e sottoalimentate hanno una vita utile di oltre 20000 ore, ma possono essere usate solo per l'illuminazione di monumenti a causa della ridotta efficienza luminosa.
- ❑ **Resa dei colori.** La possibilità di percepire i colori assicura un maggior livello di sicurezza. È quindi sconsigliabile l'impiego di lampade a vapore di sodio a bassa pressione, che emettono luce praticamente monocromatica.
- ❑ **Parzializzazione.** Deve essere possibile parzializzare gli impianti di illuminazione, nelle ore di minor traffico ed in ogni caso nelle gallerie e nei sottopassi.

La scelta delle sorgenti luminose per l'illuminazione pubblica ricade pertanto sull'impiego delle sole lampade a scarica.

Occorre però ricordare che mentre è sufficiente collegare alla rete le lampade ad incandescenza per farle funzionare, le lampade a scarica necessitano di un reattore in serie alla linea per stabilizzare la scarica,

che presenta una resistenza elettrica negativa. Inoltre, è necessario un dispositivo di accensione per l'innesco della scarica. Reattore ed accenditore costituiscono i così detti "ausiliari elettrici" che devono sempre essere presenti con le lampade a scarica.

Le lampade a scarica vengono sinteticamente descritte nel seguito. Si dividono in lampade a bassa e ad alta pressione: da notare che queste ultime richiedono un periodo di riscaldamento di qualche minuto e non possono essere riaccese immediatamente dopo essere state spente, salvo l'impiego di accenditori particolari, in quanto l'innesco della scarica è più difficile in presenza di pressioni elevate.

- ❑ **Tubi fluorescenti** (Figura 2). La scarica elettrica avviene in un tubo di vetro, con lunghezze da 0,6 m ad oltre 2 m, contenente una goccia di mercurio e un gas, normalmente neon, per avviare la scarica. La scarica avviene a bassa pressione e porta all'emissione soprattutto di radiazione ultravioletta. Questa viene convertita in radiazione visibile tramite un rivestimento di opportuni materiali fluorescenti all'interno del tubo di vetro. Il tipo di rivestimento influenza l'efficienza luminosa, il colore della luce e l'indice di resa dei colori: si va da 80 a 100 lm/W, con indici di resa dei colori che possono superare 95. Il vantaggio dei tubi fluorescenti è la bassa sopraelevazione di temperatura, la riaccensione immediata dopo spegnimento e l'ampia possibilità di parzializzazione tramite reattori elettronici, gestibili anche con calcolatore, che permettono di operare con flussi luminosi pari anche solo all'1% del valore nominale. Esistono però numerosi svantaggi per le loro applicazioni in impianti stradali, salvo nel caso in cui si privilegi la possibilità di riaccensione immediata per motivi di sicurezza: le grandi dimensioni, che rendono difficile costruire apparecchi di illuminazione che emettano la luce in direzioni preferenziali, e l'influenza della temperatura dell'ambiente. Questi tubi sono infatti realizzati soprattutto per l'illuminazione interna e sono quindi ottimizzati per una temperatura ambientale di 25°C: la loro efficienza luminosa decresce rapidamente a temperature più alte e più basse. Inoltre, possono avere difficoltà di innesco della scarica con basse temperature esterne, superabili però con l'impiego di reattori elettronici.
- ❑ **Lampade a vapore di mercurio ad alta pressione** (Figura 3). Storicamente, sono le prime lampade a scarica con dimensioni ridotte e per questo motivo hanno avuto larga diffusione. Come per i tubi fluorescenti, anche in questo caso il bulbo fluorescente deve essere rivestito internamente con materiali fluorescenti. L'efficienza luminosa non è esaltante (60 lm/W) e l'indice di resa dei colori altrettanto (33-50). Possono essere impiegate per i luoghi in cui è richiesta luce bianca (ad esempio aree commerciali) o per ricambi in impianti esistenti.
- ❑ **Lampade a vapore di sodio a bassa pressione** (Figura 4). Costruttivamente, sono analoghe ai tubi fluorescenti, salvo che non necessitano di rivestimento fluorescente in quanto la scarica nel vapore di sodio porta all'emissione di luce gialla praticamente monocromatica. L'efficienza luminosa è elevata, fino a 180 lm/W, ma le grandi dimensioni (fino a oltre un metro), l'impossibilità di parzializzazione e soprattutto l'indice di resa dei colori nulla (si vede solo giallo) ne fanno una lampada non consigliabile per l'illuminazione stradale.
- ❑ **Lampade a vapore di sodio ad alta pressione** (Figura 5). Sono lampade che raggiungono elevate efficienze (130 lm/W) e vite utili (anche oltre 20000 ore), a condizione però di evitare sbalzi di tensione oltre il 5%. A seconda del tipo di lampada, l'indice di resa dei colori varia da 20 a 60 ed anche a 85, scendendo però con l'efficienza fino a 50-60 lm/W. Le dimensioni limitate e la possibilità di parzializzazione ne fanno la lampada ideale per l'illuminazione stradale.
- ❑ **Lampade a vapori di ioduri metallici ad alta pressione** (Figura 6). Emettono luce bianca con una buona resa dei colori, anche oltre 90, con un'efficienza luminosa di 80-90 lm/W. Rispetto alle lampade a vapore di sodio ad alta pressione presentano inoltre una vita più ridotta (6000-8000 ore) e sono difficili da parzializzare. Per questi motivi il loro impiego nell'illuminazione pubblica è di solito limitato ai monumenti.
- ❑ **Lampade ad induzione** (Figura 7). La luce viene emessa per ionizzazione di vari gas contenuti in un'ampolla che lavora in campi elettromagnetici elevati nello spettro di frequenza relativo

alle microonde. La vita utile è alta, anche 60000 ore, ma l'efficienza luminosa è 60-70 lm/W ed inoltre la vita utile del magnetron che le alimenta è inferiore a quella delle lampade. Se si aggiunge il costo elevato, non sembrano utili per l'illuminazione pubblica.

- **Lampade LED** (Figura 8). Si prevede che questi tipi di lampada saranno sul mercato entro un paio d'anni con fortissimi elementi innovativi. Il colore della luce è bianco, simile all'emissione dei tubi fluorescenti, l'efficienza luminosa sarà inizialmente dell'ordine di 40-50 lm/W, per salire entro pochi anni a 100 lm/W ed in prospettiva anche molto oltre. La vita utile è prevista fino a 100000 ore. I costi, che dopo una fase di assestamento tecnologico dovrebbero scendere al livello dei tubi fluorescenti, non presentano un problema, in quanto con tali valori della vita utile probabilmente saranno installate in apparecchi di illuminazione a perdere. Per queste tipologie di lampade basate sulla tecnologia LED si rimanda brevemente al paragrafo 3.2.1 .



Figura 2 - Lampada fluorescente lineare (mod. Master TL-D, Philips)



Figura 3 - Lampada a vapori di mercurio a.p. (mod. HPL, Philips)



Figura 4 - Lampada ai vapori di sodio b.p. (mod. SOX, Philips)



Figura 5: Lampade ai vapori di sodio a.p. (mod SON T e SON H, Philips)



Figura 6 - Lampade a ioduri metallici (mod. CPO, Master HPI T, Philips)



Figura 7 - Lampada ad Induzione (mod. Master QL, Philips)



Figura 8 - Lampade a LED

All'interno di ognuna di queste tipologie di lampade, oltre ai modelli standard, vi possono essere anche molte sotto-categorie, con particolari caratteristiche, e con prestazioni molto spinte sotto certi aspetti rispetto ad altre. E' questo ad esempio il caso delle lampade a vapori di sodio ad alta pressione, che esistono in più versioni di volta in volta mirate all'esigenza di carattere prevalente:

- con efficienza maggiorata;
- a resa cromatica migliorata;
- con un contenuto nullo di mercurio;
- con vita media aumentata.

3.2.1 Le sorgenti a LED

In questi ultimi anni sono in rapidissimo sviluppo le lampade allo stato solido basate su tecnologia LED.

Lo sviluppo di dispositivi LED capaci di coprire un ampio spettro di emissione dal verde fino all'ultravioletto, sta portando ad una rivoluzione nell'industria dedicata all'illuminazione, infatti l'introduzione di strutture ad elevata efficienza luminosa mira a rimpiazzare le sorgenti bianche comunemente usate per scopi generali d'illuminazione. Allo stato attuale sono già utilizzati per realizzare sorgenti luminose complesse LED che hanno un'efficienza luminosa superiore a 100 lm/W, mentre sviluppi di ricerca hanno già raggiunto efficienze pari a 130 lm/W e indicano un continuo e rapido aumento

I vantaggi nell'adottare la tecnologia LED per l'illuminazione generale è legato sia alla riduzione delle emissioni prodotte nella generazione di energia elettrica che alla eliminazione del pericolo di inquinamento da mercurio, contenuto nelle attuali lampade a scarica.

La realizzazione di LED di potenza con emissione nelle lunghezze d'onda nel blu o ultravioletto ha permesso di realizzare in modo efficiente LED a luce bianca, ottimale per l'illuminazione pubblica.

Le migliori efficienze dei LED bianchi sono attualmente ottenute per temperature di colore molto elevate (dell'ordine di 5700 K) che possono presentarsi vantaggiosi per l'illuminazione esterna, in particolare lavorando a bassi livelli di luminanza, per i quali l'occhio umano ha una maggiore sensibilità nel verde-blu. La loro applicazione potrebbe permettere di adottare livelli di luminanza minori, pur mantenendo gli stessi standard di sicurezza, rispetto all'impiego delle convenzionali lampade al sodio (per considerare le sorgenti attualmente impiegate a maggiore efficienza luminosa) con emissione centrata sul giallo.

Si fa notare che l'attuale normativa per l'illuminazione esterna considera la possibilità di ridurre i livelli di luminanza (declassamento) in presenza di sorgenti con buona resa cromatica. E' essenziale comunque una adeguata sperimentazione prima che le sorgenti e i livelli di luminanza necessari per la sicurezza stradale possano essere valutati direttamente sulla base delle condizioni di visione mesopiche.

Per le sorgenti a LED, sia bianche che colorate, è normalmente dichiarata una vita media dell'ordine di 20.000-50.000 ore di operazione. Si tratta in realtà di un tempo stimato in condizioni operative molto diverse da quelle nelle quali possono trovarsi ad operare se usati per scopi illuminotecnici outdoor.

3.2.2 Scelta delle sorgenti luminose

La valutazione per la scelta di ogni singola potenza disponibile è resa necessaria dal fatto che le prestazioni delle lampade, all'interno della stessa famiglia, possono variare di molto da una taglia all'altra, specialmente per quanto riguarda l'efficienza.

Per ognuna delle potenze commerciali disponibili sul mercato, di ciascuna famiglia di lampade, è necessario verificare ciascuna delle seguenti informazioni:

1. **Flusso luminoso** emesso: è dato dalla parte di radiazioni visibili, pesate con la visibilità dell'occhio umano in condizioni fotopiche, prodotte da una sorgente nell'unità di tempo. L'unità di misura è il lumen (lm).
2. **Attacco**: è la parte di lampada che, inserita nel portalamпада, la pone in contatto funzionale con i punti terminali dell'alimentazione elettrica. Gli attacchi sono classificati da una convenzione internazionale e s'identificano con delle sigle composte da due gruppi distinti di lettere e numeri separati da una barra o trattino. La prima lettera maiuscola, seguita a volte da una lettera minuscola, indica la tipologia di attacco (a vite o Edison, a spina, a baionetta, ecc.). Seguono una o più cifre che indicano in millimetri una lunghezza trasversale (ad esempio il diametro degli attacchi a vite). Se dopo le cifre vi è anche una lettera minuscola, questa indica il tipo di contatto elettrico. Nel secondo gruppo vi sono solo numeri ed indicano rispettivamente la misura in millimetri della lunghezza longitudinale dell'attacco e del diametro esterno di elementi di connessione tra attacco e bulbo, se presenti.
3. **Efficienza luminosa** (fotopica): è definita come il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla sorgente e la potenza 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 (λ_m) dell'occhio ovvero $\lambda_m=555\text{nm}$ nella visione fotopica.
4. **Indice di resa cromatica** (Ra): quantifica la capacità di una sorgente di fare percepire i colori degli oggetti illuminati, la quantificazione avviene per confronto con una sorgente di riferimento e valuta l'alterazione, o meno, del colore delle superfici illuminate percepito nelle due condizioni. Diversamente da quanto avviene con lampade ad incandescenza, con le lampade a scarica si possono verificare delle significative distorsioni cromatiche. Il valore massimo dell'indice di resa cromatica è 100 e si verifica quando non vi è differenza di percezione del colore sotto la sorgente analizzata con la sorgente di riferimento.
5. **Temperatura di colore**: è il parametro che descrive il colore apparente della luce emessa da una sorgente luminosa. La temperatura del colore (CCT) 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". 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 (o correlata) viene definita come "la temperatura del corpo nero il cui colore percepito più si avvicina a quello della sorgente osservata". Tale temperatura si esprime in Kelvin (°K).
6. **Vita media**: 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 numero di 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, il numero e la frequenza di accensioni e, in caso di lampade a scarica, le sollecitazioni meccaniche.

7. **Presenza Hg e Pb:** indica la presenza, tra i componenti delle lampade, di sostanze pericolose e nocive per l'uomo e l'ambiente, quali mercurio e piombo. 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 ambientale ed energetico legato all'intero ciclo di vita delle lampade, dalla produzione fino allo smaltimento delle stesse.

Altri aspetti importanti da valutare nella scelta delle lampade sono legati a:

- gli assorbimenti delle lampade comprensivi degli accessori, quali alimentatore e accenditore, per valutare l'incidenza di tali accessori sul rendimento della lampada (queste informazioni non vengono solitamente fornite dai costruttori nella documentazione abitualmente accessibile);
- la durata di vita media;
- gli spettri di emissione di ogni singola tipologia di lampada (in questo caso invece l'informazione viene abitualmente fornita dalle case costruttrici).

Per avere un confronto tra le varie tipologie di lampade e valutarne la potenzialità ed efficacia e quindi definirne le applicazioni più adatte, è possibile ricorrere ad giudizio sintetico sulla base di una indicazione schematica, seppur semplice, di quelli che sono i pregi e i difetti di ciascuna tipologia di lampada, secondo i criteri indicati nella tabella seguente:

Tabella 7 - Indicazione di pregi e difetti delle lampade

| Giudizio | Simbologia | efficienza [lm/W] | comfort visivo Ra [-] | vita media [h] | impatto ecologico |
|----------|---|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| pessimo |  | ≤ 60 | ≤ 20 | < 5000 | |
| mediocre | --- | $60 < \leq 80$ | $20 < \leq 50$ | $5000 < \leq 10000$ | |
| discreto | 1 | $80 < \leq 100$ | $50 < \leq 80$ | $10000 < \leq 20000$ | Hg |
| buono | 2 | $100 < \leq 120$ | $80 < \leq 90$ | $20000 < \leq 30000$ | Hg ridotto |
| ottimo |  | > 120 | ≥ 90 | > 30000 | assenza |

Chiaramente l'efficienza è il parametro fondamentale per ottenere l'auspicato risparmio energetico, ma deve essere possibilmente allineato anche con gli altri parametri: una sorgente dovrebbe presentare ottima efficienza, bassi costi di manutenzione, legati ad una lunga vita media (insieme ad un limitato costo di acquisto), oltre a garantire un basso impatto ambientale, ovvero assenza di sostanze nocive al suo interno. La presenza nelle lampade di importanti quantità di tale sostanze o anche altre le fanno declassare nella valutazione di impatto ecologico.

Da questo punto di vista, in questo momento la lampada al sodio bassa pressione, pur essendo figlia di una tecnologia matura, resta ancora la migliore a livello di efficienza; inoltre la sua vita media è buona, anche se non eccezionale. Presenta, però, due grossi handicap: ha dimensioni notevoli, in particolare rispetto alle altre lampade, fatto che non permette di ottenere ottiche con prestazioni particolarmente elevate, ma soprattutto è fastidiosamente monocromatica, con un comfort visivo quasi sempre insufficiente.

Le sorgenti al sodio ad alta pressione rappresentano una valida alternativa, specialmente nella versione

Hg *free* (anche se non è la configurazione con il rendimento migliore) che garantisce ottimi risultati, mantenendo però, pur in maniera più accettabile, una significativa deficienza per quanto riguarda il comfort visivo.

Nelle applicazioni urbane, dove diventa invece fondamentale anche il comfort visivo, l'ideale sarebbe una sorgente che oltre ai requisiti appena esposti, affiancasse anche una buona resa cromatica e una gradevole temperatura di colore. La soluzione a tale problema viene, ad esempio, dalle recenti lampade a ioduri metallici miniaturizzate, che all'alta efficienza (supera infatti quella del sodio alta pressione) associano una ottima resa cromatica e una calda e brillante temperatura di colore. Inoltre le ridotte dimensioni di queste lampade permettono di ottenere ottiche con prestazioni particolarmente buone, che fanno sì che tale lampada rappresenti l'attuale soluzione migliore per l'illuminazione pubblica dal punto di vista delle prestazioni. Funzionano con il reattore elettronico e ciò comporta dei limiti nella eventuale regolazione durante le ore notturne centrali, per permettere un ulteriore risparmio energetico quando il traffico stradale è limitato.



Figura 9 - Accesso ad un ponte (foto Philips)

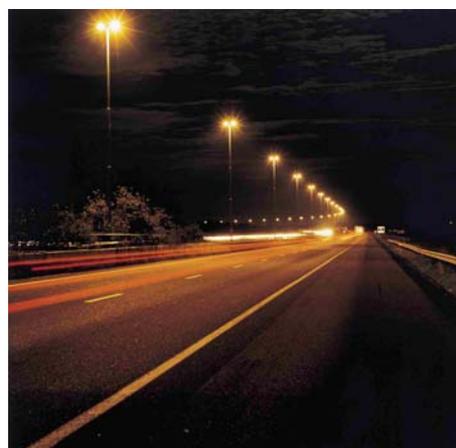


Figura 10 - Strada cittadina (foto Philips)

Le lampade ad induzione, ad oggi, non hanno avuto lo sviluppo inizialmente auspicato in quanto l'efficienza limitata e il prezzo eccessivo non hanno compensato i pregi legati alla lunga vita media e all'assenza di disturbi durante il funzionamento.

3.3 Apparecchi di illuminazione

Sono i "lampadari" per esterno, contengono le lampade e le apparecchiature di alimentazione elettrica. Sono di vario tipo e si differenziano per la forma e la funzione.

Normalmente quelli più datati sono "aperti" (Figura 11, Figura 12 e Figura 13), ossia il corpo dell'apparecchio funge da riflettore e protezione della lampada solo per la parte superiore.

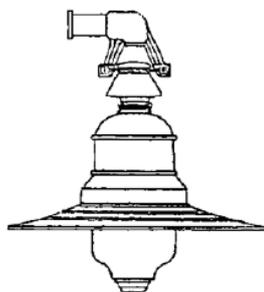


Figura 11- Apparecchio aperto con piattello



Figura 12- Apparecchio aperto con gonnella



Figura 13- Apparecchio aperto tipo ogivale

Gli apparecchi "chiusi" (Figura 14, Figura 15 e Figura 16), viceversa, assicurano la protezione della lampada e, quindi, del vano ottico dalla polvere e dall'acqua.



Figura 14- Apparecchio chiuso (Disano)



Figura 15- Apparecchio chiuso per arredo urbano (Disano)



Figura 16 - Apparecchio chiuso per piste ciclabili (Disano)

A livello di prestazioni gli apparecchi di illuminazione per esterni devono anzitutto rispondere ai seguenti requisiti di carattere generale:

- buon controllo del flusso luminoso sia ai fini del conseguimento di un adeguato rendimento che della prevenzione dell'abbagliamento;
- grado di protezione adeguato per la sicurezza d'impiego anche in condizioni atmosferiche sfavorevoli dovute al funzionamento continuato alle intemperie;
- permettere l'agevole sostituzione delle lampade e delle relative apparecchiature di alimentazione, viste le difficili condizioni in cui avviene la manutenzione (altezze notevoli e in presenza di traffico);
- garantire un buon funzionamento ed una buona durata delle lampade e delle apparecchiature di alimentazione;
- soddisfare le concomitanti esigenze di costo, durata ed estetica.

Le esigenze funzionali delle applicazioni indirizzano la scelta degli apparecchi luminosi. E' necessario quindi verificare l'offerta di mercato suddividendola in funzione dell'applicazione utilizzando la distinzione riportata nella tabella successiva.

Tabella 8 - Esigenze funzionali degli apparecchi luminosi

| | TIPO | APPLICAZIONE |
|-----|---|---|
| A. | Apparecchi stradali | Strade ad esclusivo o prevalente traffico veicolare |
| B.1 | Apparecchi da arredo urbano (stradale e pedonale) | Aree in contesto urbano con traffico misto (veicolare e/o ciclo-pedonale) |
| B.2 | Apparecchi per aree residenziali (in ambito pubblico) | Aree in contesto urbano con traffico esclusivamente ciclo/pedonale e aree verdi |
| C. | Apparecchi per grandi aree | Grandi aree (piazze, parcheggi, piazzali, ecc) con traffico misto |

In generale gli apparecchi illuminanti utilizzati nell'illuminazione pubblica sono ad illuminazione diretta (Figura 17), vale a dire in cui l'apparecchio viene puntato verso la superficie che si vuole illuminare. Occorre però ricordare che vi sono sul mercato varie proposte per utilizzare un'illuminazione indiretta (Figura 18), ponendo sopra l'apparecchio, che è rivolto verso l'alto, una superficie riflettente apposta che rimanda verso terra il flusso luminoso che intercetta.

Tale accorgimento è finalizzato solamente a rendere più "morbido" il risultato finale, con finalità estetiche e di miglioramento del comfort visivo, che può risultare interessante per gli effetti applicativi in grandi aree e a notevoli altezze.

Va anche affermato con chiarezza che tali soluzioni non sono comunque competitive *a priori* sotto il profilo energetico.



Figura 17: Lampade a luce diretta con pannello fotovoltaico



Figura 18: Esempi di sistemi a luce indiretta

I LED, diversamente dalle sorgenti primarie attualmente usate in apparecchi per l'illuminazione, che emettono quasi indistintamente nello spazio, hanno una emissione nel solo semispazio frontale. Ciò può permettere un migliore controllo della direzione della luce emessa dagli apparecchi utilizzando le sorgenti elementari costituite dai LED e dalle relative lenti.

Si fa notare che gli apparecchi illuminanti indicati nella Figura 19 e Figura 20, ancora oggi presenti in molti e vecchi impianti comunali di illuminazione pubblica stradale, non sono più rispondenti alle necessarie esigenze di risparmio energetico.



Figura 19 - Apparecchio chiuso



Figura 20 - Apparecchio chiuso

Gli apparecchi riportati nella Figura 21 e Figura 22, ancora oggi utilizzati anche con la funzione di arredo urbano, non rispondono invece ai requisiti richiesti dalla L.R. Lombardia n. 17 del 27 Marzo 2000 “Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all’inquinamento luminoso” e successivo regolamento attuativo del 13ago2007, con d.D.G. Reti e Servizi di Pubblica Utilità n.8950.

Nell’Allegato “Sorgenti luminose” di quest’ultimo decreto viene previsto altresì l’utilizzo di lampade ad avanzata tecnologia ed elevata efficienza luminosa, precisando nonché la tipologia di sorgente luminosa da preferire.



Figura 21- Sfera



Figura 22- Apparecchio in stile

Gli **apparecchi di illuminazione** hanno il compito di convogliare il flusso luminoso emesso da una o più lampade verso le zone da illuminare con le minori perdite possibili. Per gli scopi dell’illuminazione, specialmente per quanto riguarda quella stradale, gli apparecchi di illuminazione vengono considerati sorgenti di luce puntiformi e possono quindi essere caratterizzati dalla “ripartizione dell’intensità luminosa”, ossia dall’insieme delle intensità luminose emesse nelle varie direzioni dello spazio circostante. È quindi evidente che dette ripartizioni avranno aspetti diversi a seconda delle applicazioni: illuminazione di strade, di gallerie, di impianti sportivi, ecc.

Per quanto riguarda l’illuminazione stradale, l’ottimizzazione dei costi di installazione e di gestione richiede di distanziare i pali quanto più possibile e di ridurre la potenza complessiva assorbita dalle lampade dell’impianto. Ciò impone di emettere luce in direzione quasi radente: senza superare i limiti normativi sull’Indice di abbagliamento debilitante (TI⁵) per quanto riguarda l’abbagliamento si può arrivare a 70-75° rispetto alla verticale. Per ottenere un simile risultato non si può adottare la finestra piana di chiusura, ma occorre impiegare apparecchi con chiusura a coppa, liscia o prismata: infatti, con tali angoli di incidenza il vetro piano riflette verso l’interno dell’apparecchio anche il 40% del flusso luminoso che riceve, riducendo il flusso luminoso emesso ed in conseguenza il rendimento dell’apparecchio di illuminazione, surriscaldando la lampada e riducendone la vita utile.

La stabilizzazione della tensione di alimentazione di una lampada è estremamente importante per assicurarle una lunga vita ed andrebbe quindi adottato in tutti gli impianti di illuminazione. In realtà, praticamente tutti gli stabilizzatori si prestano alla parzializzazione di una lampada con modifiche limitate: nel seguito verranno quindi descritti sommariamente i così detti regolatori di flusso luminoso, che si basano tutti su una riduzione del valore efficace della tensione di alimentazione. Questa può avvenire mediante metodi diversi, che possono portare a prestazioni notevolmente diverse.

La gestione dei regolatori è affidata a circuiti elettronici collegati sia a un sensore, ad esempio di luminanza o di traffico, sia ad un temporizzatore.

Occorre tener presente che le lampade che maggiormente si prestano alla parzializzazione sono quelle a vapore di sodio ad alta pressione. Riducendo però il flusso luminoso emesso, diminuisce anche

⁽⁵⁾ TI: in inglese Threshold Increment, (Indice di abbagliamento debilitante) definito come l’incremento percentuale della luminanza che occorre attribuire alla carreggiata per rendere visibile un ostacolo in condizioni di soglia di visibilità, quando nel campo visivo siano presenti sorgenti di luce. Il valore massimo del parametro TI è prescritto dalle norme: ad esempio, per l’illuminazione stradale la norma UNI 10439 limita il TI al 10% o al 15% a seconda del tipo di strada.

l'efficienza luminosa: non risulta quindi conveniente sovradimensionare le lampade se già si prevede di doverle parzializzare continuamente.

3.4 Supporti in generale

Il primo e più grossolano distinguo che si può effettuare riguarda il modo d'installazione degli apparecchi illuminanti; nell'illuminazione pubblica le possibilità più ricorrenti sono le seguenti:

- **a palo:** il più utilizzato, in varie modalità e varianti, in tutte le applicazioni, sia urbane che extra-urbane, che nelle grandi aree;
- **su sbraccio/mensola a muro:** utilizzato quasi esclusivamente in ambito urbano, dove ci sono edifici su cui ancorarsi; meno frequentemente, è presente anche nelle grandi aree circondate da edifici, quando vi sono vincoli o impedimenti nel posizionare pali;
- **a sospensione (detto anche a tesata):** meno frequente rispetto al passato, modalità finalizzata a porre l'apparecchio illuminante al disopra e centralmente all'area da illuminare, utilizzata esclusivamente in ambito urbano, tendendo le funi di ancoraggio tra edifici posti uno di fronte all'altro o servendosi di pali di sostegno;
- **su torre faro:** modalità utilizzata esclusivamente per grandi aree, ponendo a notevole altezza (si va in media dai 10 ai 30 m circa) un gruppo di proiettori variamente orientati.

Raramente vi può essere anche l'installazione **a plafone**, ad esempio nei sottoportici dei centri cittadini, e **a parete**, nel caso che non vi sia interposizione di mensole di fissaggio tra apparecchi e superfici su cui viene installato l'apparecchio.

I pali hanno altezze variabili in funzione del tipo di utilizzazione: circa 5 metri per i giardini, 8÷12 metri per le strade e 20÷30 e oltre nel caso di torri faro impiegate per l'illuminazione di grandi spazi. Normalmente sono in acciaio, ma in passato sono stati impiegati anche sostegni in cemento con armatura di ferro; esistono anche pali in resina ed in legno per applicazioni particolari. I bracci sono fissati ai pali od alla muratura, sono in acciaio con varie forme e dimensioni od in fusione di ghisa per quelli in stile. Le tesate vengono realizzate mediante funi costituite da fili in acciaio attorcigliati ad elica. Le funi vengono quindi "tesate" tra pali o muri contrapposti ed ancorate tramite appositi amari.

Anche nelle tipologie dei sostegni utilizzati per l'illuminazione pubblica, vi sono forti differenze legate al tipo di applicazione: le varie caratteristiche, quali materiali, altezze e forme variano a seconda del campo di utilizzazione, ma tali differenze sono dettate da ragioni quasi esclusivamente estetiche ed economiche più che da esigenze tecniche.

Nello schema della successiva Figura 23 e nelle immagini delle Figure 24-29 sono illustrate alcune disposizioni tipiche degli apparecchi stradali.

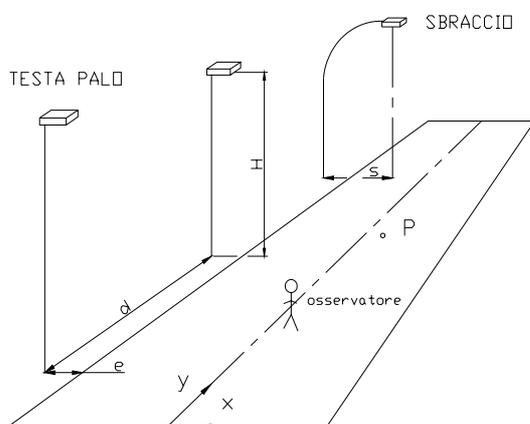


Figura 23: Schema geometrico per apparecchi stradali



Figura 24: Sospensione o tesata



Figura 25: Sbraccio a muro



Figura 26: Su palo, a testapalo



Figura 27: Su palo, con sbraccio curvo



Figura 28: Su palo da arredo urbano



Figura 29: Su palina

3.5 I pali

La norma UNI EN 40 contiene specifiche prescrizioni riguardo ai pali per illuminazione che sono definiti come sostegni destinati a far da supporto ad uno o più apparecchi di illuminazione e costituiti da una o più parti: un fusto, eventualmente un prolungamento e all'occorrenza un braccio.

Questa normativa si applica ai pali diritti di altezza nominale minore o uguale a 20 m ed ai pali con mensola di altezza nominale minore o uguale a 18 m; inoltre si applica sia ai pali diritti per apparecchi di illuminazione con attacco cima-palo sia ai pali con sbraccio per apparecchi di illuminazione con attacco laterale.

La norma specifica i materiali da utilizzare per la costruzione dei pali per illuminazione pubblica, fornisce raccomandazioni sui procedimenti di protezione contro la corrosione da adottare per la produzione dei pali e fissa le caratteristiche degli alloggiamenti elettrici, dei passaggi dei cavi e dei morsetti di messa a terra dei pali diritti.

Per ciò che riguarda l'installazione dei pali, sia con plinto che con piastra di ancoraggio, occorre attenersi in modo particolare a quanto dispongono le seguenti norme:

- UNI EN 40-2: Pali per illuminazione. Dimensioni e tolleranze.
- UNI EN 40-5: Pali. Alloggiamenti elettrici e passaggi dei cavi.

Secondo la normativa attualmente in vigore i pali per l'illuminazione possono avere diverse forme: pali diritti, conici o rastremati, con sbraccio singolo o doppio.

I pali per l'illuminazione pubblica e per l'arredo urbano, devono adattarsi per quanto possibile al contesto ambientale, senza alterarne le caratteristiche.

Le prestazioni / caratteristiche a cui devono soddisfare i pali sono indicate di seguito.

- Resistenza alla spinta del vento ed alle sollecitazioni meccaniche
- Resistenza alla corrosione
- Minime esigenze di manutenzione, con riferimento a:
 - dimensioni proporzionate;
 - presenza di finestra di ispezione.

Le distanze dei sostegni e dei relativi apparecchi di illuminazione dai conduttori di linee elettriche aeree non essere inferiori ai valori indicati nelle norme. Il distanziamento può essere ridotto per le linee in cavo aereo e, quando ci sia l'accordo fra i proprietari interessati, anche per le linee con conduttori nudi.

La distanza minima tra l'impianto di illuminazione e i limiti della carreggiata, presupposta un'altezza massima di 5 metri dalla pavimentazione stradale, deve essere:

- a) per le strade urbane dotate di marciapiede con cordonatura = 0.5 m
- b) per le strade extraurbane e per quelle urbane prive di marciapiedi con cordonatura = 1.4 m

Non bisogna inoltre dimenticare la distanza di rispetto tra gli apparecchi, i sostegni, le fondazioni e le opere circostanti.

La parte 3-1 della normativa UNI EN 40 specifica i carichi da considerare nella progettazione dei pali per illuminazione fornendo le basi per il calcolo da effettuare nella fase progettuale della struttura di sostegno dell'apparecchio illuminante costituita dal palo. Nella medesima parte sono indicate le procedure per ricavare correttamente l'entità di carico dovuta all'azione del vento, nonché tutte le variabili di carico da tenere in considerazione.

La norma consente, di effettuare un calcolo dell'azione del vento su tutto il territorio nazionale, che viene suddiviso in nove aree geografiche a seconda dell'intensità del vento che le caratterizza. Essa fa riferimento direttamente alla norma UNI ENV 1991-2-4 e sulla base di questa fornisce la velocità del vento da considerare per il luogo di messa in opera considerato.

La norma prescrive come la velocità di riferimento va a determinare la pressione di calcolo che deve a sua volta essere poi corretta applicando opportuni coefficienti relativi alla forma degli elementi, alle caratteristiche del luogo di messa in opera, alle caratteristiche fisico geometriche del palo, ecc..

Le azioni del vento vengono specificate in dettaglio nel capitolo 3.3 delle **Norme tecniche per le costruzioni**", **D.M. 14 Gennaio 2008**.

La suddivisione del territorio nazionale in base alla intensità del vento è illustrata nella successiva Figura 30.



Figura 30: Zone del carico da vento

3.5.1 Esempi di Installazione su palo

L'installazione a palo rappresenta la modalità più utilizzata nella pubblica illuminazione esterna ed interessa tutte le applicazioni. Nella successiva Tabella 9 sono riportate schematicamente le tipiche varianti per le installazioni stradali (caso A), quelle urbane (caso B) e per le grandi aree (caso C), indicando a fianco di ogni variante i diversi casi di utilizzo

Tabella 9 - Supporti su palo

| TIPICHE INSTALLAZIONI SU PALO | | Caso A | Caso B | Caso C |
|-------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|
| MATERIALI | Acciaio saldato | X | X | X |
| | Acciaio laminato | X | X | X |
| | Alluminio | - | X | - |
| | Vetroresina | X | - | - |
| | Legno | - | X | - |
| FORMA | Conica | X | X | - |
| | Rastremata | X | X | X |
| | Cilindrica | - | X | - |
| | Quadrata | - | X | - |
| | Poligonale | X | X | X |
| FINITURA | Zincato | X | - | X |
| | Zincato+ Verniciato | X | X | - |

| TIPICHE INSTALLAZIONI SU PALO | | Caso A | Caso B | Caso C |
|---------------------------------|---|---------------------|--------------------|-------------|
| INFISSIONE | In plinto | X | X | X |
| | Su piastra | - | X | - |
| ALTEZZE FUORI TERRA | Varie, ma ve ne sono alcune consigliate dalla norma UNI EN 40 | Dai 6 ai 12 m circa | Dai 3 ai 9 m circa | Oltre i 9 m |
| MODALITA' FISSAGGIO APPARECCHIO | A testa palo | X | X | X |
| | Su sbraccio | X | X | |

Nel caso in cui venga utilizzato uno sbraccio, le varianti della forma di tale sbraccio sono innumerevoli, specialmente in ambito urbano in cui si rientra in prodotti da arredo, mentre in ambito stradale si può distinguere semplicemente tra sbraccio curvo e dritto. A volte lo sbraccio non è un elemento aggiuntivo ma ottenuto dalla curvatura del palo stesso.

Per quanto riguarda le sporgenze di tali sbracci, possono essere anch'esse innumerevoli, da qualche decina di centimetri fino a qualche metro, salvo rifarsi alla raccomandazione della norma UNI EN 40 che prevede di standardizzare le sporgenze in solo 12 possibilità (da 0,3 m fino a 4,5 m).

Gli sbracci possono essere anche più d'uno sullo stesso palo. Anche nell'installazione a testa palo è possibile installare più di un apparecchio, mediante l'applicazione di un accessorio che non è altro che uno sbraccio di lunghezza minima, anche se in tale maniera l'attacco dell'apparecchio non è più a testa palo, cioè da sotto, ma laterale.

Per quanto riguarda più nel dettaglio le varie possibilità individuate nella tabella precedente, si può osservare:

- **MATERIALI:** il più utilizzato è l'acciaio; la vetroresina ha il vantaggio di consentire pali molto leggeri di facile movimentazione e che creano meno problemi di sicurezza in caso di incidente, ma presentano dimensioni maggiori nei diametri che rendono molto tozzo il sostegno; l'alluminio permette una maggiore lavorabilità del materiale che si traduce in una molteplicità di forme ottenibili, molto apprezzate a livello di arredo urbano, ma, pur con maggior garanzia di durata nel tempo, presenta costi troppo elevati che non lo rendono appetibile sul mercato italiano (diverso è invece ad esempio il discorso in Francia dove è molto utilizzato). Il legno è utilizzato solo in determinate applicazioni legate ad interventi di arredo urbano in aree verdi e contesti di alto valore ambientale, in quanto presenta costi elevati e minor garanzie di durata nel tempo, pur se trattato in autoclave.
- **FORMA:** attualmente la più utilizzata è la forma conica in lamiera saldata, anche se in passato si preferiva il palo rastremato saldato, che aveva costi minori; i pali quadrati e cilindrici vengono usati per lo più per basse altezze e in arredo urbano, mentre quelli poligonali presentano maggiore resistenza meccanica. Per l'arredo urbano vi sono inoltre numerosissime varianti e combinazioni di forme che non possono essere catalogate. Da ricordare la differenza tra il palo in lamiera saldata, e quello trafilato, di maggiore qualità, ottenuto mediante lavorazione a caldo dell'acciaio.
- **FINITURA:** per garantire la tenuta nel tempo alla corrosione è necessaria la zincatura a caldo del sostegno, eventualmente associata alla verniciatura a polveri se si vuole un miglior risultato estetico che duri nel tempo (è il caso dell'arredo urbano e di impianti in ambito urbano).
- **INFISSIONE:** Nella maggioranza dei casi viene predisposto il plinto in cui viene infisso il sostegno, tranne nei casi in cui vi sono problemi a scavare sotto una certa profondità (ad esempio per presenza di sottoservizi o rogge interrato) per i quali si prevede una piastra con tirafondi. Inoltre nella sezione di incastro del palo è opportuno proteggere il palo con una guaina termo-restringente o meglio ancora un manicotto in acciaio.

3.6 Disposizioni delle sorgenti luminose

In merito alla disposizione dei punti luce possono esserci varie possibilità dettate da esigenze illuminotecniche e/o limitazioni e che determinano altrettante tipologie di impianto in relazione alle tipologie di strada o di tratti particolari di essa (incroci, curve, ecc.). Vengono fornite nel seguito alcune indicazioni sulle disposizioni, lasciando comunque alla fase progettuale l'individuazione della disposizione dei punti luce più adeguata.

3.6.1 Tratti Rettilinei

Le principali tipologie di impianto per tratti di strada rettilinea sono riportate schematicamente nella Figura 31.

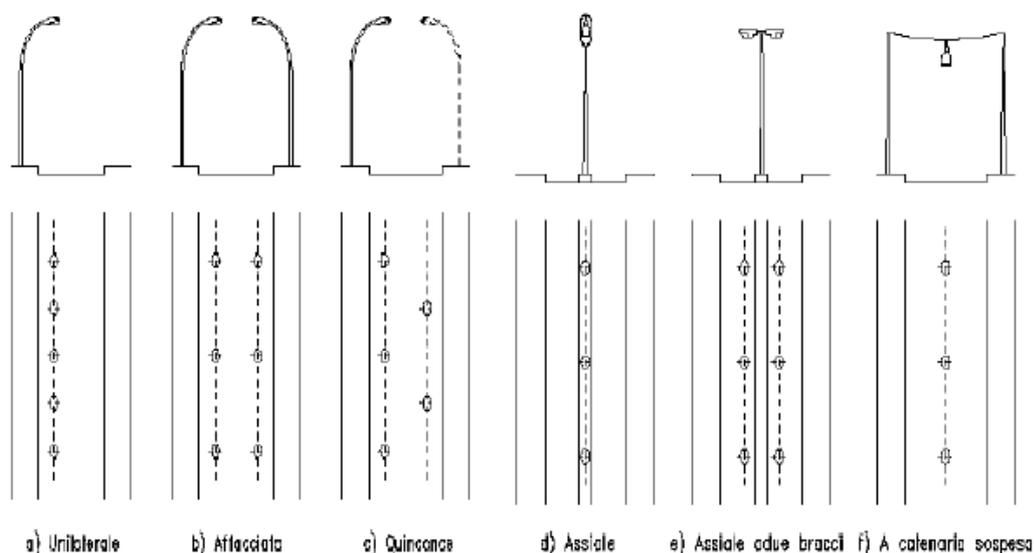


Figura 31: Tipologie di disposizione dei punti luce

Con:

- l'impianto **UNIFILARE** - caso a) di Figura 31 => i centri luminosi sono disposti lungo un lato della carreggiata. Tale disposizione è la più economica e va sempre utilizzata, quando si può realizzare la condizione $L \leq h$ (con L = larghezza carreggiata e h = altezza palo)
- impianto **BIFILARE** o Affacciato (detto anche contrapposto) - caso b) => i centri luminosi sono disposti lungo entrambi i lati della carreggiata alla stessa interdistanza;
- impianto a **QUINCONCE** o alternato - caso c) => i centri luminosi sono disposti lungo entrambi i lati della carreggiata, ma sfalsati di mezza interdistanza;
- impianto **BIFILARE centrale** o Assiale - caso d) => i centri luminosi sono disposti lungo l'asse della carreggiata, sullo spartitraffico che separa le due corsie di traffico. In questo caso il palo può essere dotato di due sbracci - caso e);
- impianto a **CATENARIA** o a sospensione - caso f) => i centri luminosi sono disposti lungo l'asse della carreggiata attraverso una tesata. Gli apparecchi d'illuminazione sono sospesi sulla sede stradale mediante funi di sostegno tesate tra due edifici. Qualora uno o entrambi i lati della strada siano privi di edifici, se è comunque indispensabile realizzare l'impianto in sospensione, si ricorre all'utilizzo di pali detti "pali tiro-fune".

3.6.2 Incroci

Il discorso degli incroci è molto più complesso e richiede esperienza nella progettazione degli impianti. Prima regola da seguire prevede che l'apparecchio di illuminazione non venga installato sull'angolo dell'incrocio, bensì alla distanza per cui si possa sfruttare al meglio il valore massimo di apertura e intensità del fascio luminoso dell'apparecchio stesso. Altra considerazione deve essere fatta nel caso di incroci privi d'illuminazione.

In questo caso si ottengono risultati migliori a disporre pochi punti luce, in corrispondenza dell'incrocio, piuttosto che ricorrere al punto luce sospeso al centro dell'incrocio stesso. Nei casi, invece, di un incrocio tra strade di diversa importanza, o con l'impianto solo da un lato, si può intervenire limitandosi a migliorare l'impianto esistente in corrispondenza dell'incrocio stesso. Con incroci molto estesi si può ricorrere alla posa di punti luce anche sulle aiuole spartitraffico, a condizione che queste abbiano un diametro superiore ai 3.00m.

Per le rotonde si possono avere 3 disposizioni fondamentali. Se la rotonda ha un diametro inferiore ai 3.00m non è ammessa la disposizione con pali/torre faro al centro e pertanto l'impianto va realizzato esternamente. Se il diametro è superiore ai 3.00m è possibile prevedere la posa di un punto luce centrale, normalmente costituito da una torre faro. Con diametri molto maggiori, sui 15.00m e oltre, è conveniente realizzare impianti con i punti luce disposti lungo il "perimetro esterno" delle strade che costituiscono la rotonda.

Figura 32: Illuminazione degli incroci a T

Per gli incroci a T su strade già illuminate, è opportuno collocare una sorgente luminosa (A) contrapposta alla linea del traffico confluyente sull'incrocio. Negli incroci a T fra strade non illuminate, ai soli fini di segnalazione, è preferibile la posa di una sola sorgente luminosa nella posizione A1.

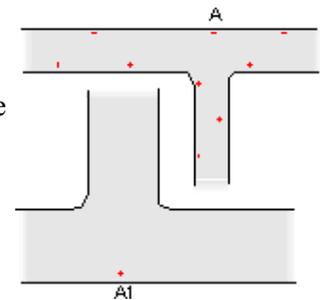


Figura 33: Illuminazione degli incroci a X

Per gli incroci a X la soluzione classica comporta la posa di una sorgente luminosa immediatamente oltre l'incrocio, per ogni senso di marcia. Tale soluzione è quasi sempre teorica perché presuppone che tutte le strade siano illuminate bilateralmente.

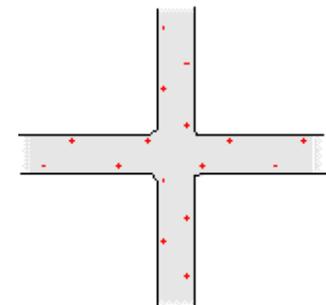


Figura 34: Illuminazione degli incroci a Y

Gli incroci a Y comprendono in genere tutti gli svincoli. La disposizione delle sorgenti luminose deve assicurare una buona guida visiva. E' preferibile utilizzare lampade di tonalità diverse.

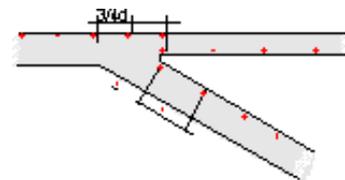
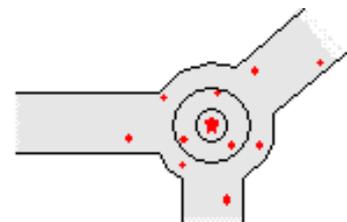


Figura 35: Illuminazione delle rotonde

Nelle rotonde si possono avere diverse disposizioni:

- Se l'aiuola ha $\varnothing < 3m$ non è ammessa la posa di pali al centro.
- Se l'aiuola ha $\varnothing > 3m$, è consentita la posa di pali centrali.



3.6.3 Curve

Nei casi di curve i centri luminosi dovrebbero venire installati con interdistanza (I) minori rispetto a quelle adottate per i lati rettilinei, fino ai $3/4$ dell'interdistanza adottata nel lato rettilineo. Nelle curve le sorgenti luminose dovrebbero essere disposte sul lato esterno della carreggiata con una interdistanza abbastanza ridotta. Infatti, sono i centri posti sul bordo esterno della curva che contribuiscono alla luminanza della carreggiata. Questo criterio di massima non va adottato sempre e comunque. Per esempio in presenza di curve più larghe è preferibile posizionare le sorgenti luminose all'interno della carreggiata mentre in strade strette e a S (strade di classe A) si deve necessariamente disporre l'impianto all'esterno, riducendo le interdistanze anche a $2/3$ del valore di rettilineo.

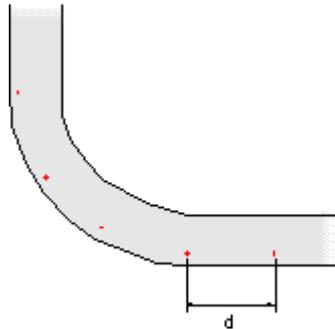


Figura 36: Disposizione delle sorgenti luminose in curva (raggio curvatura $< 80^\circ$) (d =interdistanza pali)

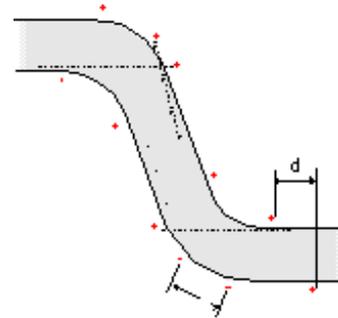


Figura 37: Disposizione delle sorgenti luminose in una curva ad S (d =interdistanza tra i pali)

3.6.4 Passaggi pedonali

Diverse statistiche hanno evidenziato l'estrema importanza dell'illuminazione dei passaggi pedonali al fine di ridurre i casi di incidenti mortali. Nelle tangenziali e nelle strade a senso unico ad alta velocità l'illuminazione con un'unica fonte luminosa è insufficiente, anche se questa è a luce gialla. E' sempre preferibile prevedere almeno tre sorgenti luminose di cui una in stretta corrispondenza delle strisce.

Nelle strade a doppio senso di circolazione, a velocità ridotta, si può risolvere l'impianto con quattro o anche due sole sorgenti luminose aggiuntive. In pieno centro urbano, infine, può essere opportuno collocare un centro luminoso in corrispondenza delle strisce. E' preferibile utilizzare lampade che attirano l'attenzione dei guidatori (esempio quelle ai vapori di sodio a bassa pressione).

Figura 38: Illuminazione delle strisce su strada a senso unico

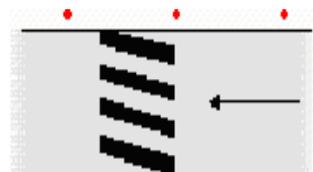


Figura 39: Illuminazione delle strisce su strada a doppia circolazione



3.7 Sorgenti luminose e ambiente

Dal punto di vista dell'ambiente le sorgenti luminose non possono essere considerate come oggetti avulsi dal contesto, bensì come parte integrante di esso.

Nella visione notturna sarà di particolare interesse la geometria dell'installazione e un accurato allineamento degli apparecchi. L'aspetto dell'impianto nelle ore diurne è di estrema importanza.

L'impianto deve essere gradevole contribuendo allo stesso tempo a caratterizzare l'ambiente; diversamente è preferibile evidenziarlo il meno possibile. Nella progettazione è buona norma tener presente i seguenti criteri:

- Proporzionare l'insieme sostegno, apparecchio di illuminazione;
- Collaborare con i responsabili delle pubbliche amministrazioni;
- Studiare accuratamente sul posto la disposizione dei centri luminosi;
- Evitare l'impiego di sostegni più alti degli elementi circostanti;
- Evitare l'ingombro dei marciapiedi da parte dei pali adottando, quando è possibile, bracci a muro o apparecchi da parete;
- Allineare accuratamente in altezza e sporgenza gli apparecchi;
- Evitare di disporre i sostegni di fronte a edifici architettonici e storici.

3.7.1 *Profilo del sostegno*

La "silhouette" della sorgente luminosa dipende principalmente dal sostegno. I pali per l'illuminazione possono essere di sezione circolare o poligonale e le loro dimensioni dipendono essenzialmente dai requisiti meccanici.

Per sorgenti luminose a bassa altezza (3-5 m) la sezione tonda è particolarmente apprezzata, quando il profilo è cilindrico. Per sorgenti di media altezza, per mantenere delle proporzioni che diano sufficiente leggerezza si ricorre a profili tronco conici, tronco piramidali oppure circolari. Per le considerazioni espresse in precedenza, il centro luminoso deve essere il meno appariscente possibile nelle ore diurne e le sue linee non devono essere in contrasto con le strutture che lo circondano. Per quanto riguarda i viali alberati, l'impianto di illuminazione deve essere progettato contestualmente alle aree verdi, in modo da prevedere gli spazi necessari tra gli alberi e i sostegni per l'illuminazione.

Nel caso di strade prive di marciapiede o con marciapiede stretto, limitate da edifici a più piani senza balconi (centri storici), la soluzione migliore dal punto di vista estetico è data dal fissaggio degli apparecchi di illuminazione direttamente a parete.

3.7.2 *Criteri per la disposizione dei centri luminosi*

Negli impianti a carattere artistico, oppure destinati ad esaltare il paesaggio, l'ubicazione deve essere attentamente studiata. Il profilo del centro luminoso è di estrema importanza quando si colloca sullo sfondo poiché può danneggiare o migliorare in modo sensibile la qualità estetica del complesso. Nella visione diurna i centri luminosi non dovrebbero interferire con il campo di osservazione di importanti edifici, o di paesaggi interessanti. Se non si può evitare che i centri luminosi appaiano vistosamente contro il cielo o contro il paesaggio, occorre:

- Disporre l'impianto verso monte, lungo le strade panoramiche;
- Aumentare l'altezza e quindi l'interdistanza al fine di ridurre il numero dei sostegni in piena vista, impiegando anche proiettori di elevata potenza.

Un altro elemento da tenere presente, in merito al problema dell'ingombro estetico degli impianti, è quello di valutare attentamente la densità minima dei centri luminosi, la moltiplicazione dei quali è uno dei più evidenti difetti dell'impianto.

3.8 Impianti elettrici

Nella costruzione delle linee di alimentazione elettrica degli impianti d'illuminazione pubblica, le Società di distribuzione dell'energia elettrica hanno normalmente adottato la tecnologia tipica di queste reti sia per omogeneità dei componenti e delle caratteristiche costruttive, sia per conseguire economie di scala.

Per soddisfare alle richieste di nuovi punti luce inoltrate dall'Amministrazione Comunale, le Società di distribuzione normalmente provvedevano alla loro alimentazione derivandosi direttamente dalle linee di alimentazione presenti in loco. In questo modo non è stata creata una rete di alimentazione al servizio degli impianti IP, ma si è sviluppata una sorta di ragnatela strettamente interconnessa alla rete di distribuzione in bassa tensione.

Per il fissaggio degli apparecchi di illuminazione, dove possibile, venivano utilizzate normalmente le murature degli edifici, o in loro mancanza mediante pali di sostegno. Anche in questo caso, ed in particolare negli impianti alimentati in linea aerea, si è fatto ricorso ai sostegni già utilizzati per ancorare le linee di distribuzione in bassa tensione.

Queste soluzioni sono perfettamente coerenti nell'ottica delle strategie di un'Impresa che, oltre a realizzare gli impianti di illuminazione, provvederà anche alla loro gestione, mantenendone la proprietà. Per contro, si è realizzato un regime di monopolio nella gestione degli impianti IP da parte delle Società, in quanto queste tipologie impiantistiche sono state considerate appendici delle reti di distribuzione b.t. e, solo in tale ipotesi, rispondono agli aspetti antinfortunistici delle norme di sicurezza.

L'analisi che segue vuole fornire una panoramica delle varie situazioni impiantistiche presenti nei vari comuni, limitandosi ai casi più rappresentativi e che si possono trovare con maggiore frequenza, ma non può essere un'analisi esaustiva, in quanto anche per i singoli casi-tipo sono presenti moltissime variabili, dovute a tempi e luoghi di esecuzione diversi.

Le varie tipologie impiantistiche presenti sono suddivise tra impianti con alimentazione in linea aerea ed impianti in cavo interrato. Nel seguito si fornisce un breve cenno.

3.8.1 Impianti con alimentazione in linea aerea

Impianto con il quinto filo

Questa tipologia impiantistica è caratteristica degli impianti IP più datati. Normalmente sono presenti nelle zone rurali, nelle piccole borgate o nei centri urbani.

Alla linea di distribuzione in bassa tensione costituita da 3 conduttori di fase più il conduttore del neutro viene aggiunto 1 conduttore derivato da una fase (quinto filo). L'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione avviene tra il conduttore di neutro che è comune con la rete di bassa tensione e il quinto filo (Figura 40).

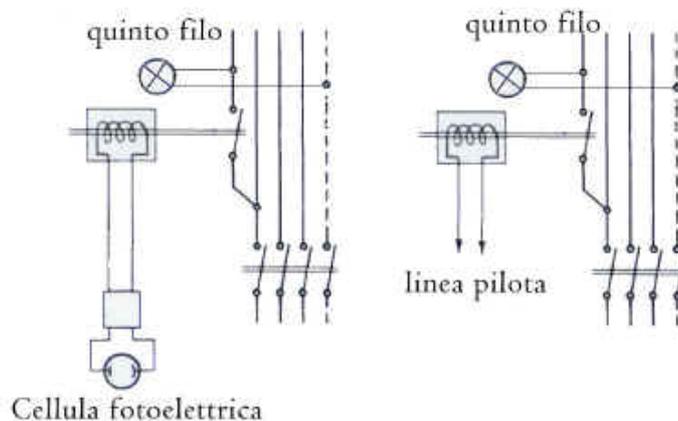


Figura 40 - Impianto con quinto filo

Normalmente, questi impianti hanno solo una protezione generale sulla linea di bassa tensione utilizzata principalmente per alimentare gli utenti dell'Ente, mentre per l'accensione e lo spegnimento si provvede tramite un contattore azionato o da una linea pilota o da una cellula fotoelettrica.

Come detto in precedenza, la parte impiantistica era assimilata ad una linea di distribuzione, pertanto priva del conduttore di terra; di conseguenza gli apparecchi di illuminazione non erano connessi ad una rete di dispersione verso terra.

Alla luce di quanto esposto, gli impianti di illuminazione a cinque fili non possono essere riscattati dall'Amministrazione Comunale, in quanto alla loro gestione può solo provvedere il gestore della rete b.t. e non sono consigliabili interventi di adeguamento alle normative relative agli impianti IP. Per questa tipologia impiantistica l'unica soluzione per il Comune è quella di provvedere al rinnovo totale degli impianti acquisendone la proprietà, e disdettando gli impianti esistenti.

Impianto con l'apparecchio di illuminazione derivato direttamente dalla rete di bassa tensione

E' una soluzione affine alla precedente, alla quale si ricorre solitamente per i punti luce isolati e normalmente presenti nelle zone rurali, nelle borgate periferiche o nelle piccole frazioni. Dalla linea di distribuzione in bassa tensione costituita normalmente da 3 conduttori di fase più il conduttore del neutro viene derivata direttamente l'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione. Per l'accensione e lo spegnimento si provvede tramite una cellula fotoelettrica (Figura 41). Anche in questo caso l'apparecchio di illuminazione non è collegato alla rete di dispersione verso terra. Questi tipi d'impianti non possono essere riscattati dall'Amministrazione Comunale, in quanto alla loro gestione può solo provvedere il proprietario della rete di bassa tensione e non sono possibili interventi di adeguamento. L'unica soluzione possibile è quindi il rinnovo totale.

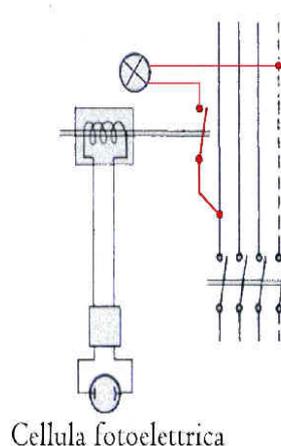


Figura 41 - Impianto con apparecchio di illuminazione derivato direttamente dalla rete di b.t.

Impianto con linea di alimentazione propria ma fascettata con la linea di distribuzione

Anche questa tipologia impiantistica è caratteristica degli impianti IP più datati.

Alla fune metallica utilizzata per il sostegno della linea di distribuzione in bassa tensione, costituita da 1 o 3 conduttori di fase più il conduttore del neutro, viene fascettata anche la linea relativa all'impianto IP formata da 1 conduttore di fase e dal conduttore di neutro. L'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione avviene in questo caso con una linea indipendente elettricamente dalla rete di bassa tensione, ma ad essa solidale meccanicamente. Nell'ipotesi di riscatto di questo impianto da parte dell'Amministrazione Comunale la commistione dei due circuiti elettrici che fanno capo a diverse utenze non è ammessa dalle Norme CEI, pertanto occorre renderle indipendenti prima dell'acquisizione mantenendo le distanze previste dalle Norme CEI.

Questa tipologia di impianto elettrico, oltre a non essere conforme alle Norme CEI, viola anche le prescrizioni contenute nella L.R n.17/2000 della Regione Lombardia in materia di efficienza energetica e di riduzione dell'inquinamento luminoso.

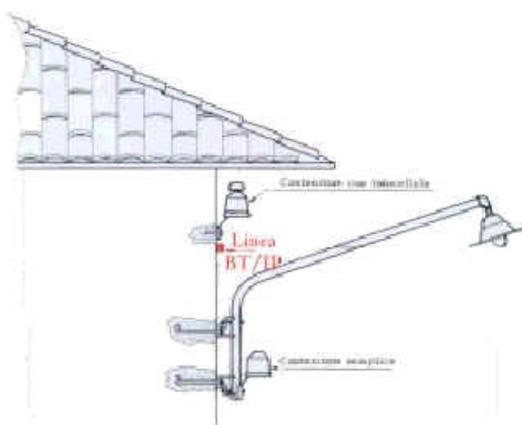


Figura 42 Impianto con linea di alimentazione propria ma solidale meccanicamente alla rete di b.t.

In via transitoria e nell'attesa della messa a norma dei circuiti, potrebbe essere stipulata una convenzione per consentire la gestione provvisoria dell'impianto, per permettere al gestore entrante di avere il consenso agli interventi manutentivi e la collaborazione del gestore uscente.

Impianto con linea di alimentazione propria e indipendente

L'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione avviene da una linea indipendente dalla rete di bassa tensione. Se la distanza tra le due linee elettriche è inferiore a quelle convenzionali può risultare sufficiente stipulare una convenzione in deroga con l'Ente distributore.

Nell'ipotesi di riscatto dell'impianto da parte dell'Amministrazione Comunale occorre provvedere alla connessione con la rete di bassa tensione tramite un punto di consegna dell'energia costituito dal quadro dell'Ente erogatore, formato da contatore di misura e dal relativo interruttore di protezione, a valle del quale sarà presente il quadro di comando e protezione dei circuiti IP dell'utente.

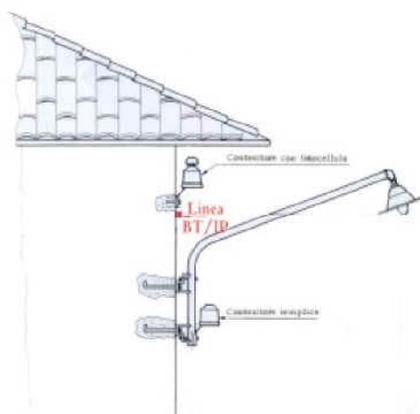


Figura 43 - Impianto con linea di alimentazione propria e indipendente dalla rete di bassa tensione

Inoltre per ottemperare alle prescrizioni della l.r. 17/00 occorre sostituire l'apparecchio di illuminazione con altro dotato di ottica antinquinamento luminoso.

3.8.2 Impianti alimentati con conduttori interrati

Nella realizzazione di impianti di illuminazione alimentati con linee posate nel terreno, occorre tenere presente che esistono diverse tipologie impiantistiche che si differenziano per i materiali utilizzati ed il tipo di posa, in relazione alla località ed alla data di esecuzione degli impianti. Pertanto è indispensabile che prima di procedere al riscatto degli impianti, l'Amministrazione acquisisca dalla Società di gestione

tutte le caratteristiche tecniche dei materiali che compongono gli impianti, il tipo di posa dei conduttori e il tipo di isolamento elettrico adottato (Classe 1 con impianto di terra - Classe 2 in doppio isolamento).

In particolare, occorre porre la massima attenzione al tipo di cavi utilizzati. Spesso venivano posati gli stessi cavi impiegati per la costruzione di reti di bassa tensione e costituiti da una formazione concentrica con all'esterno una maglia metallica con funzione di neutro. Questi cavi non sono assolutamente ammessi negli impianti di illuminazione pubblica.

Impianto con apparecchio di illuminazione derivato direttamente dalla rete di bassa tensione

A questa soluzione si ricorre solitamente per i punti luce isolati e normalmente presenti nelle zone rurali, nelle borgate periferiche o nelle piccole frazioni.

Come per gli impianti con alimentazione in linea aerea, dalla linea di distribuzione in bassa tensione, costituita normalmente da 3 conduttori di fase più il conduttore del neutro, viene derivata direttamente l'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione. Per l'accensione e lo spegnimento si provvede tramite una cellula fotoelettrica (Figura 41).

Questi tipi d'impianti non possono essere riscattati dall'Amministrazione Comunale, in quanto alla loro gestione può solo provvedere il proprietario della rete di bassa tensione e non sono possibili interventi di adeguamento. L'unica soluzione possibile è quindi il rinnovo totale.

Impianto con linea di alimentazione propria ma sotto la stessa protezione meccanica

Anche questa soluzione impiantistica è utilizzata per gli impianti più vecchi, nei quali l'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione avviene da una linea indipendente dalla rete di bassa tensione, ma posata sotto lo stesso coppone o entro la stessa tubazione utilizzata per la protezione meccanica dei cavi (Figura 44).

Nell'ipotesi di riscatto di questo impianto da parte dell'Amministrazione Comunale la commistione dei due circuiti elettrici che fanno capo a diverse utenze non è ammessa dalle Norme CEI, pertanto occorre renderle indipendenti mantenendo le distanze previste dalle Norme CEI prima dell'acquisizione.

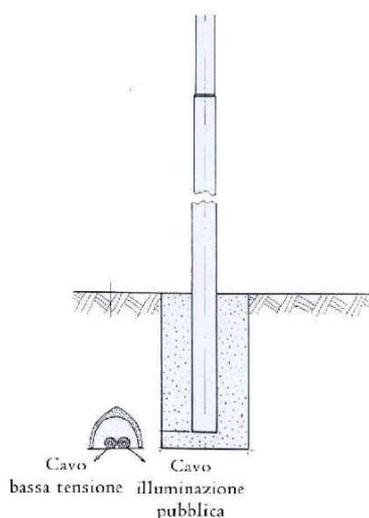


Figura 44 - Impianto con linea di alimentazione propria ma sotto la stessa protezione meccanica della rete di bassa tensione.

Impianto con linea di alimentazione propria e indipendente

L'alimentazione dell'apparecchio di illuminazione avviene da una linea indipendente dalla rete di bassa tensione (Figura 45).

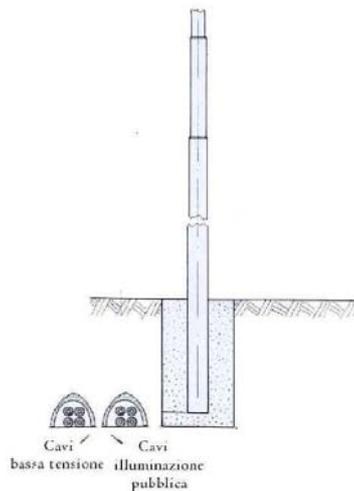


Figura 45 - Impianto con linea di alimentazione propria e indipendente dalla rete di bassa tensione

Nell'ipotesi di riscatto dell'impianto da parte dell'Amministrazione Comunale occorre, se già non esiste, provvedere alla connessione con la rete di bassa tensione tramite un punto di consegna dell'energia costituito dal quadro dell'Ente erogatore, formato da contatore di misura e dal relativo interruttore di protezione, a valle del quale sarà presente il quadro di comando e protezione dei circuiti IP dell'utente.

Impianti promiscui

Oltre alle varie tipologie impiantistiche illustrate nei punti precedenti, per ogni caso si possono riscontrare ulteriori situazioni di promiscuità negli impianti IP.

Ad esempio, negli impianti in linea aerea, gli apparecchi di illuminazione possono già risultare di proprietà del Comune, mentre tutta la parte impiantistica è di proprietà della Società di origine.

4 PRIMI CONCETTI

Vengono di seguito forniti i primi concetti che possono essere ritenuti buoni Consigli per le amministrazioni comunali e per i gestori degli impianti di illuminazione pubblica stradale in generale (Rif. [6]).

Riguardano aspetti di sicurezza ed efficienza in generale e si riferiscono a:

- Risanamento dell'illuminazione**
- Luci e lampade efficienti**
- Valori indicativi per il consumo di elettricità**
- Riduzione dell'illuminazione notturna**

4.1 Verifica delle infrastrutture, le componenti e gli orari di funzionamento

Controlli accurati periodici

La verifica periodica delle infrastrutture che costituiscono gli impianti di illuminazione permette il mantenimento della funzionalità dei supporti luminosi. Infatti con una buona e continua manutenzione, i lampioni possono durare parecchi decenni, sino a 60 anni. Ugualmente importante è una prospettiva a lungo termine: il sostegno dell'apparecchio luminoso può essere rinnovato, per durare altri anni⁶.

Lampade: sodio invece di mercurio

- La sostituzione di una lampada ai vapori di mercurio con una lampada al sodio ad alta pressione permette un risparmio dal 40 % al 50 % (Figura 46).
- La tipica luce gialla delle lampade al sodio (anche se non ottimale) attira meno gli insetti.

Orari di funzionamento: riduzione notturna quando il traffico è ridotto

- La riduzione e rispettivamente lo spegnimento totale delle luci durante alcune ore della notte porta ad un risparmio dal 20 % al 35 %. Come dimostrano diverse esperienze, le riduzioni notturne vengono poco percepite dagli utenti della strada (Figura 47).
- Anche una lunga vita media di una lampada influenza l'esercizio di un impianto di illuminazione pubblica (Tabella 10), oltre che in termini di costi diretti anche nella riduzione degli interventi di manutenzione laddove sussistono condizioni di traffico intense e difficilmente interrompibili.

Apparecchi di illuminazione: potenziale di risparmio fino al 30 %

- Gli apparecchi dotati di buoni riflettori (Figura 48) consumano fino a un terzo in meno rispetto ai riflettori vecchi e opachi delle lampade aperte (Figura 49).
- I corpi illuminanti verticali non sono adatti per l'illuminazione pubblica.
- Le grandi lampade con le opaline⁷ sono da evitare: la luce non raggiunge la strada.

Alimentatori: meglio se elettronici

- Gli alimentatori elettronici hanno perdite inferiori rispetto a quelli convenzionali. Il loro impiego è da prendere in elevata considerazione nel caso di sostituzione degli apparecchi illuminanti.

Consumo energetico: confrontare gli indici

⁶ Sono ovviamente fatti salvi i miglioramenti tecnologici, che possono motivare per obsolescenza il rifacimento di un impianto ancora funzionante.

⁷ Vetri bianco latte che coprono le lampade inibendo eccessivamente la luce.

- E' necessario considerare gli indici dei consumi energetici dei comuni più virtuosi, valutandone le loro esperienze. I comuni devono rispettare i punti fondamentali per la riduzione dei consumi energetici (vedere la successiva Tabella 11). Una indagine svolta nel 2007 in Svizzera più del 50% dei comuni rispetta i valori indicativi del consumo energetico. Questo risultato è ottenibile tramite la semplice riduzione notturna dell'illuminazione.

Energie rinnovabili: il sole splende anche di notte!

- Dare l'esempio: l'elettricità ecologica e le lampade solari hanno un grande effetto in pubblico. I lampioni fotovoltaici (Figura 50), oltre a non dipendere dalla rete di distribuzione, consentono di illuminare strade o zone distanti dalla rete elettrica, o con problematiche nella realizzazione di canalizzazioni interrato.

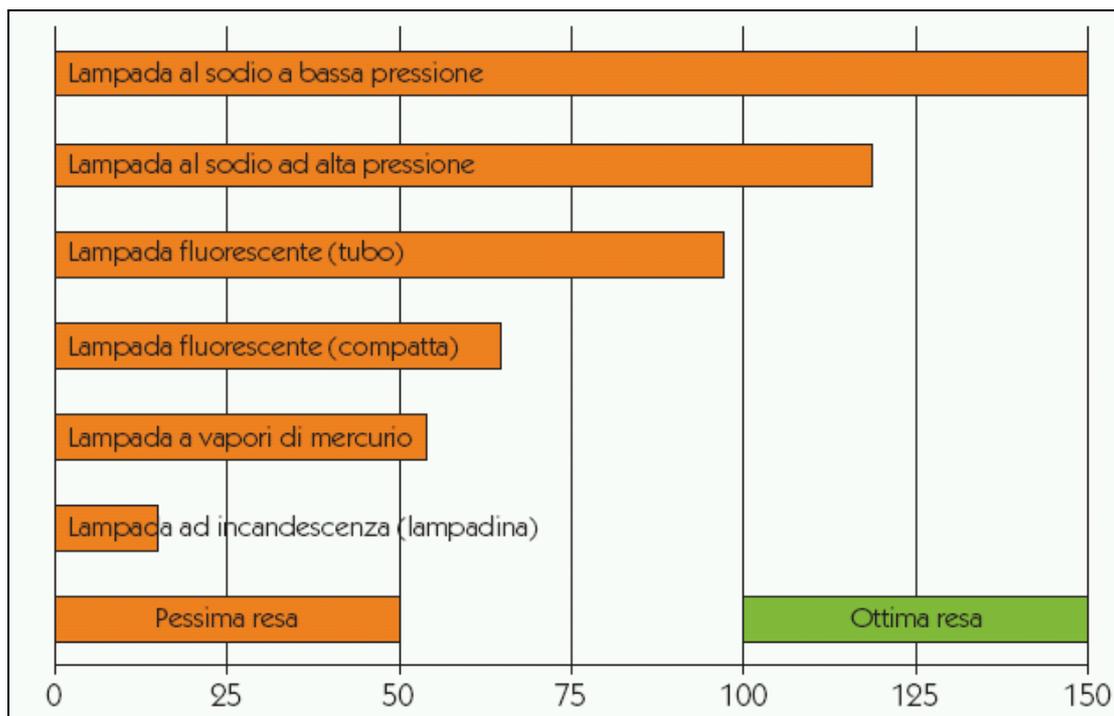


Figura 46 - Resa energetica media delle lampade per l'illuminazione stradale (lumen/Watt)

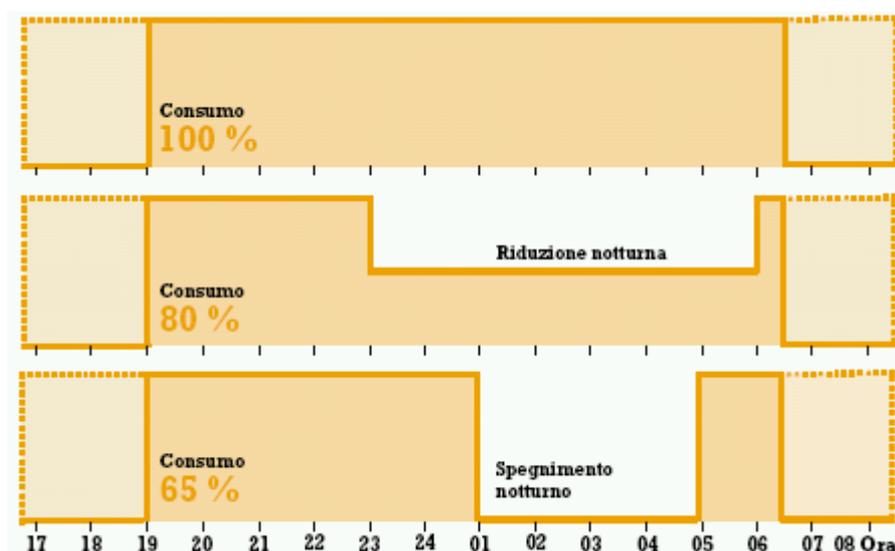


Figura 47- Effetti sui consumi con la riduzione o spegnimento notturno

Tabella 10- Durata di vita e idoneità dei vari tipi di lampade stradali

| Lampada | Durata di vita | Adatta per |
|----------------------------|----------------|----------------------------------|
| al sodio ad alta pressione | ++++ | strade, piazze |
| ad alogenuri metallici | ++ | strade, piazze |
| fluorescente (compatta) | +++ | percorsi pedonali, sottopassaggi |
| ai vapori di mercurio | +++ | — |
| a incandescenza | + | — |


Figura 48- Riflettori ermetici ad alta prestazione

Figura 49- Lampadario aperto

Figura 50- Un progetto pilota di lampada combinata con sensori di movimento

4.2 Illuminazione stradale: 8 punti fondamentali

Nella seguente Tabella 11 sono elencati sinteticamente 8 punti fondamentali che influenzano il consumo energetico, la cui verifica ed applicazione ne permettono adeguati risparmi energetici (Rif. [6]).

Tabella 11 - Otto punti fondamentali per un risparmio energetico

| | |
|---------------------------------|---|
| Stabilire la necessità | <input type="checkbox"/> La necessità di illuminazione stradale è dimostrata? <input type="checkbox"/> Stato attuale: conviene risanare? |
| Struttura di sostegno | <input type="checkbox"/> È possibile rinnovare il lampione: adattare l'altezza del punto di luce e il braccio alle nuove necessità (accorciare, allungare, ottimizzare l'inclinazione della luce). |
| Apparecchio illuminante | <input type="checkbox"/> Impiegare riflettori ad alto rendimento con lampade orizzontali. <input type="checkbox"/> La luce dovrebbe irraggiare la superficie da illuminare; solo una minima parte dovrebbe disperdersi (inquinamento luminoso). |
| Lampada | <input type="checkbox"/> Impiegare lampade al sodio ad alta pressione o altre lampade ad alto rendimento luminoso. |
| Alimentatore | <input type="checkbox"/> Gli alimentatori elettronici sono più efficienti. |
| Orari di funzionamento | <input type="checkbox"/> Grazie allo spegnimento o alla diminuzione dell'illuminazione si ottiene un notevole risparmio di elettricità. <input type="checkbox"/> Generalmente si tratta di una riduzione della potenza nelle ore di poco traffico. <input type="checkbox"/> Prevedere lo spegnimento e l'accensione in base a sensori di luce naturale. |
| Consumo energetico medio | <input type="checkbox"/> Valori indicativi per il consumo dell'illuminazione stradale di città e comuni in base alla loro popolazione (consumo medio riferito alla totalità della rete stradale illuminata, per metro di strada illuminato e anno: <ul style="list-style-type: none"> ◆ meno di 10 000 abitanti: 8 kWh/m ◆ più di 10 000 abitanti: 12 kWh/m ◆ più di 30 000 abitanti: 18 kWh/m |
| Energie rinnovabili | <input type="checkbox"/> Coprire il fabbisogno di elettricità per l'illuminazione stradale con elettricità proveniente da fonti rinnovabili. <input type="checkbox"/> I percorsi non elettrificati possono essere illuminati con lampade solari |

I corpi illuminanti aperti, di cui un esempio è riportato nella precedente Figura 49, tendono a sporcarsi facilmente, facendo diminuire notevolmente la resa. Mentre con l'utilizzo di tipologie di apparecchi illuminanti muniti di riflettori ermetici ad alta prestazione aumenta la luce che raggiunge la sede stradale.

Nella successiva Figura 51 sono riportate le percentuali dell'illuminazione utile di sei sistemi di illuminazione stradale a palo. Si può notare che il rendimento può aumentare da un minimo del 15% fino al 55%.

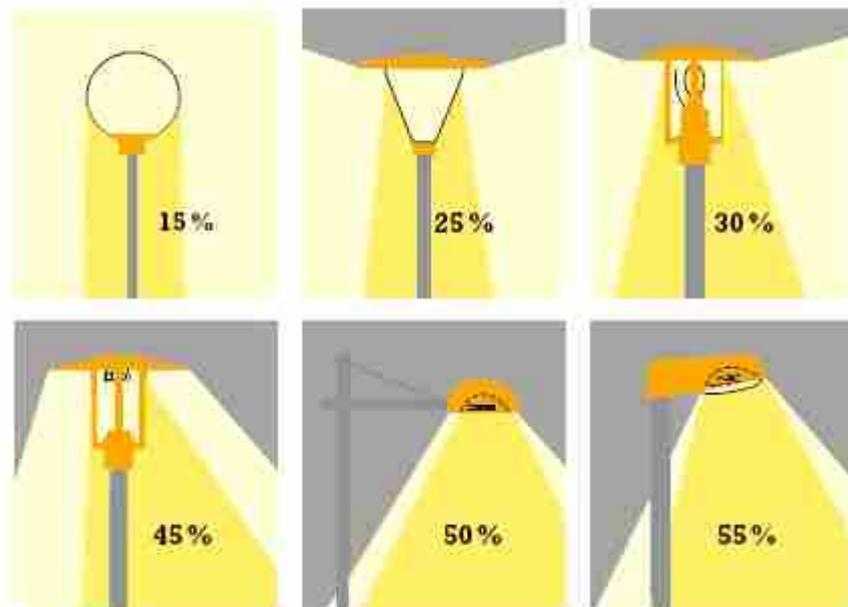


Figura 51- Percentuale di illuminazione utile

Per l'illuminazione pubblica si consuma più energia del necessario. L'utilizzo di dispositivi di regolazione intelligente dell'impianto consente infatti l'accensione delle luci solo se qualcuno si trova in strada e si spengono automaticamente dopo un certo lasso di tempo.

Nella Figura 52 è riportato un esempio di impianto di illuminazione stradale da evitare, in quanto presenta una scarsa efficienza energetica e produce un elevato inquinamento luminoso. Nella successiva Figura 53 è riportato invece un buon esempio di illuminazione stradale.



Figura 52 - Esempio di illuminazione stradale da evitare.



Figura 53 - Un buon esempio di illuminazione stradale

5 RACCOMANDAZIONI GENERALI PER UNA ILLUMINAZIONE EFFICIENTE E LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

Le indicazioni fornite nel seguito si possono applicare in tutti gli interventi che interessano i diversi tipi di impianti di illuminazione pubblica, che a titolo indicativo si riporta con la seguente lista, non esaustiva, dei tipici campi di impiego:

- Strade, percorsi pedonali, ciclabili, ecc.
- Parchi e infrastrutture per il tempo libero;
- Monumenti e edifici storici;
- Palazzi e grandi edifici pubblici;
- Impianti sportivi;
- Infrastrutture di trasporti;
- Insegne di comunicazione.

Le linee guida mirano a fornire indicazioni e raccomandazioni utili per il mantenimento o lo sviluppo dei seguenti principi:

- Promuovere un'illuminazione efficace (nel senso cioè che occorre illuminare solo ciò che si intende illuminare) ed efficiente (ossia che raggiunge il risultato minimizzando i costi e gli effetti collaterali).
- Applicare, in generale, il principio della prevenzione.

5.1 Giustificazione per nuovi impianti

- a) Chi intende realizzare un impianto di illuminazione di una certa rilevanza o situato fuori dalle zone edificabili, deve valutare il reale bisogno di illuminare in funzione dello scopo (sicurezza, pubblicità, estetica) e dell'interesse pubblico, e considerare i possibili effetti negativi sulla popolazione, l'ambiente e il paesaggio, come pure i possibili conflitti con altre attività.
- b) I suddetti impianti devono soggiacere alle procedure definite dalle normative regionali, nonché ai regolamenti edilizi locali e ai diversi Piani di illuminazione comunale.
- c) Per i monumenti storici – per i quali l'interesse pubblico è già dato – la giustificazione dovrebbe limitarsi all'analisi dell'inserimento armonioso nel paesaggio con un'illuminazione di qualità per la quale è raccomandabile di ricorrere a specialisti del settore.

5.2 Misure tecniche

5.2.1 Tipo di illuminazione

- a) Sono da adottare le lampade più efficienti disponibili sul mercato, considerando gli aspetti legati sia alla potenza che alla luminanza. Solo nei casi in cui risulti indispensabile un'elevata resa cromatica si può ricorrere all'uso di lampade a largo spettro purché funzionali in termini di massima efficienza e minor potenza installata.
- b) Commisurare la potenza di emissione in modo da ottimizzare l'illuminazione. La luminanza media mantenuta delle superfici da illuminare deve essere limitata il più possibile in modo da garantire comunque i livelli minimi previsti dalle normative tecniche di sicurezza (Figura 54).
- c) È opportuno evitare, se non addirittura vietare, l'uso di fasci di luce roteanti o fissi.

5.2.2 Orientamento e posizione delle luci

- a) Illuminare solo l'area e l'oggetto d'interesse.
- b) Gli apparecchi d'illuminazione nella loro posizione di installazione devono illuminare di principio dall'alto verso il basso, evitando emissioni di luce diretta e diffusa sopra l'orizzonte.



Figura 54: Esempio di schema progettuale per condizioni minime per strade ME4a, ME4b

5.2.3 Schermatura

Occorre prevedere l'uso di schermi che impediscano l'illuminazione di spazi che non la richiedano, soprattutto al di sopra dell'orizzonte (Figura 55).



Figura 55: Esempi di apparecchi completamente schermati

5.3 Misure gestionali

5.3.1 Limitazione di orari

- a) Per tutte le infrastrutture, è necessario che il sistema di illuminazione sia acceso in certi orari definiti in funzione delle effettive esigenze.
- b) A tal riguardo è possibile ricorrere alle seguenti soluzioni:
 - prevedere sistemi di controllo che provvedano allo spegnimento parziale o totale, o alla diminuzione di potenza impiegata, entro le ore 24 (timer e/o potenziometri), anche considerando l'aspetto stagionale e il cambio dell'ora
 - valutare l'utilizzo di dispositivi che si accendano solo in caso di necessità (rilevatori di presenza).
- c) Può essere applicato un sistema di regolazione della potenza dell'impianto in funzione del suo utilizzo e dell'orario.
- d) L'illuminazione di pannelli ed insegne di informazione (sempre più diffusi in ambito comunale) – fatta eccezione per i servizi prioritari – può essere limitata fino alle ore 24.00.

5.4 Provvedimenti di pianificazione comunale

5.4.1 *Adeguamento dei piani regolatori (o delle leggi comunali)*

In fase di revisione dello strumento urbanistico di pianificazione del territorio comunale (il Piano Regolatore Generale o, recentemente, il Piano di Governo del Territorio) i Comuni devono tener conto delle necessità di risparmio energetico nei consumi pubblici in generale e nella illuminazione in particolare, osservando le raccomandazioni presenti nelle linee guida.

I Comuni inoltre possono elaborare le proprie direttive con lo scopo di contestualizzare le indicazioni presenti nella linee guida, rendendole più restrittive od anche vincolanti.

5.4.2 *Piano di illuminazione*

I Comuni possono / devono (in ottemperanza dei dettami delle rispettive leggi regionali) redigere un piano di illuminazione che definisca:

- a) la situazione dello stato di fatto della consistenza del parco illuminante, individuando in particolare gli impianti critici e le possibilità di risanamento;
- b) cosa si può illuminare e con quale modalità;
- c) le aree da illuminare e anche le zone d'ombra da preservare al fine di evitare sovra-dimensionamenti ed escludere forme di inquinamento luminoso.

L'utilizzo razionale e parsimonioso dell'energia, in particolare dell'elettricità, è un obiettivo prioritario. Attraverso la riduzione degli sprechi e con la razionalizzazione dell'utilizzo dell'illuminazione pubblica si possono risparmiare soldi ed energia. E' necessario pertanto che nelle amministrazioni cresca la cultura dell'illuminazione, iniziando anche attraverso la sola conoscenza del consumo specifico dell'elettricità per tali scopi, ad esempio il consumo di energia elettrica diviso la lunghezza delle strade illuminate. Spesso nei comuni, soprattutto quelli piccoli, ove non sussiste la separazione dei settori tecnici, mancano le conoscenze tecniche necessarie per la gestione dell'illuminazione pubblica, la quale viene spesso delegata ad aziende terze che in generale non si curano dei consumi. Il solo utilizzo di lampade a risparmio energetico, e ad elevato rendimento, permette notevoli riduzione dei consumi.

Informazioni come consumo di energia per l'illuminazione, espresso in Euro ad abitante, e numero di punti luce per abitante, oppure spesa annua per punto luce e spesa media annua per chilometro illuminato devono essere in possesso degli amministratori per potersi confrontare e migliorare.

I piani della luce comunali devono fissare le linee guida per la progettazione e realizzazione degli impianti di illuminazione pubblica valide per tutto il territorio comunale (Rif. [7]). In particolare devono indicare:

- Controllo del flusso luminoso diretto;
- Controllo del flusso luminoso indiretto;
- Ottimizzazione delle interdistanze degli apparecchi e delle potenze installate;
- Utilizzazione delle lampade ad alta efficienza;
- Risparmio energetico con riduttori e/o sistemi di telecontrollo e telegestione;
- Parametri per il progetto illuminotecnico;
- Contenuto del calcolo illuminotecnico.

5.4.3 *Normativa Regionale*

Il rilievo dello stato di fatto dell'impianto nonché le nuove soluzioni progettuali impiantistiche devono presentare la loro conformità alle disposizioni regionali vigenti in materia, emanate in questi ultimi anni e che contengono molte prescrizioni per il risparmio energetico e per la riduzione del flusso luminoso disperso (Rif. [5]). In Appendice 2 sono richiamati tali provvedimenti legislativi.

6 RACCOMANDAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE ESTERNA

Le seguenti raccomandazioni mirano invece ad indirizzare la progettazione della illuminazione pubblica, ma sono applicabili anche quella privata, per limitare lo spreco di energia elettrica utilizzata e per non illuminare là dove non è utile ai cittadini, favorendo una migliore luminosità nelle aree di circolazione e dove è effettivamente necessario.

6.1 Elementi di progettazione

Per realizzare una rete illuminotecnica efficiente occorre definire tutti gli elementi che concorrono a fornire l'illuminazione artificiale ad un ambiente, cercando la soluzione che meglio risponda alle esigenze di utilizzazione.

La prima e fondamentale fase della progettazione è il rilievo della situazione esistente, determinando:

- le attività che si svolgono nell'ambiente, con particolare attenzione alle azioni che coinvolgono la visione e la percezione visiva;
- il tipo di oggetti della visione: veicoli, pedoni, ostacoli, monumenti, edifici, ecc.;
- i dati fisici dell'ambiente interessato: presenza e variazione della luce diurna (a livello giornaliero e stagionale), parametri meteorologici (pioggia, neve, vento, temperatura dell'aria, umidità), presenza di polveri, di elementi corrosivi e inquinanti e di materiali pericolosi;
- lo stato degli impianti esistenti;
- i dati dimensionali dello spazio: quote planimetriche, altimetriche, volumetriche;
- i dati fotometrici e illuminotecnici: fattori di riflessione e trasmissioni delle superfici esistenti (piano stradale, edifici, ...), presenza e quantificazione di fonti luminose preesistenti;
- i dati di tipo elettrotecnico: caratteristiche e potenzialità dell'impianto di fornitura elettrico, condizioni della fornitura elettrica, tipo di distribuzione dell'energia, potenza massima disponibile, punto di consegna dell'energia;
- le leggi, le normative e le raccomandazioni.

La fase successiva è la definizione degli obiettivi, garantendo:

- una visione accurata e precisa in funzione del tipo di attività svolta;
- il comfort visivo, in modo da non causare affaticamenti e disturbi;
- un corretto inserimento ambientale dell'impianto, che deve soddisfare l'estetica della luce quando è acceso e degli apparecchi quando è spento;
- la sicurezza dell'impianto, degli apparecchi, delle sorgenti luminose in tutte le condizioni di utilizzo;
- l'adattabilità e la trasformabilità dell'impianto per esigenze diverse con minimi interventi;
- la massima durata dell'impianto;
- la facilità di installazione e di manutenzione;
- un'economicità di esercizio sia per la manutenzione che per il consumo di energia.

Infine, la scelta delle soluzioni impiantistiche per:

- le sorgenti luminose;
- gli apparecchi di illuminazione;
- gli accessori e i dispositivi ausiliari;
- la posizione nell'ambiente;
- la rete di alimentazione elettrica.

Nella successiva Figura 56 sono riportati gli enti geometrici del calcolo illuminotecnico.

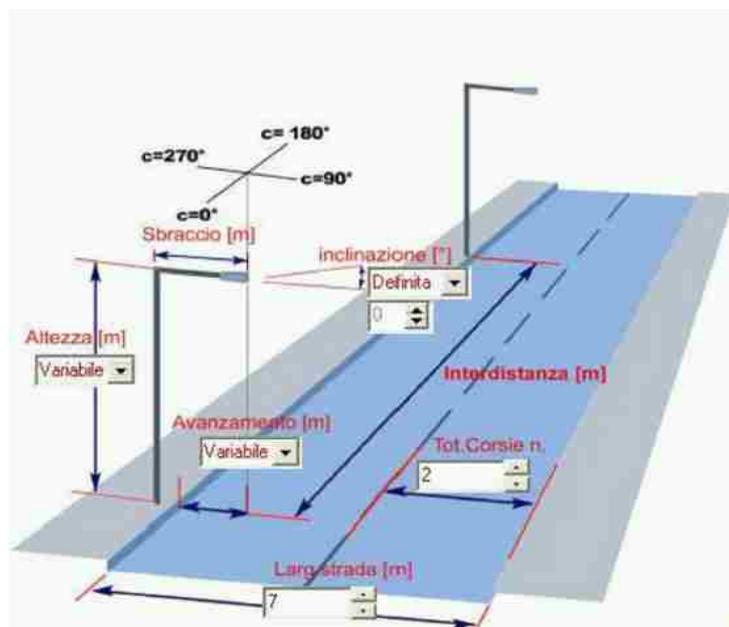


Figura 56: Requisiti geometrici di un calcolo illuminotecnico

6.2 Illuminazione di strade, piazzali, svincoli e barriere o caselli autostradali

1. Utilizzare armature full cut-off (secondo le definizioni CIE) che limitano le dispersioni di luce e l'abbagliamento;
2. Ridurre al minimo possibile l'angolo dell'armatura rispetto al terreno, preferendo l'installazione dell'armatura al centro della strada (e quindi orizzontale) o su bracci che la avvicinano al centro della strada, permettendo una sua minore inclinazione;
3. Montare sulle armature vetri di sicurezza piani che filtrano le radiazioni Ultraviolette.
4. Nelle vicinanze di Osservatori Astronomici ufficiali preferire l'installazione di più punti luce di intensità limitata e su pali bassi che illuminino l'area utile per parti, piuttosto che pochi e potenti fari su sostegni alti che illuminino tutta l'area, in quanto un più breve percorso della luce limita la quantità riflessa e diffusa verso l'alto dalle particelle di pulviscolo e nebbia.
5. Nel caso di grandi piazzali, ove si debbano usare per necessità pochi e potenti punti luce, è bene evitare di utilizzare proiettori singoli, ma eventualmente gruppi di proiettori a riflettore asimmetrico orizzontali. Un'omogenea illuminazione si potrà creare attraverso l'opportuno posizionamento dei sostegni e sfruttando il fascio di luce emesso da tali proiettori. (Figura 57).



Figura 57: Corpi illuminanti per rotonde o piazzali

6. Nell'illuminazione dei centri storici e turistici, evitare le lampade del tipo a "globo" che, anche se dotate di schermi, sono particolarmente dispersive. Se reali esigenze estetiche e turistiche richiedono l'uso di armature a lanterna "stile antico", usare lampade al sodio ad alta pressione (la cui luce giallo-oro è piacevolmente calda) con potenze non elevate. Ciò, oltre a limitare l'inquinamento luminoso, rende più plausibile l'ambientazione storica. Se, per le stesse esigenze, sono richieste armature di design particolare, scegliere solo quelle che garantiscono il "full cut off";
7. Nelle strade extraurbane, negli svincoli, nei caselli e barriere autostradali, nelle zone industriali e artigianali, aeroportuali, ecc., è consigliabile l'utilizzo di lampade al sodio a bassa pressione. La loro luce monocromatica è meno inquinante perché facilmente filtrabile. Negli incroci pericolosi e nelle strade urbane più popolate e, in genere, ove è realmente necessario distinguere i colori, è possibile utilizzare lampade al sodio ad alta pressione. Non utilizzare lampade ai vapori di Mercurio o alogene. Le lampade agli Ioduri metallici, ove specifiche esigenze rendono necessaria una luce particolarmente bianca, sono indicate per l'illuminazione degli impianti sportivi.
8. Quando è richiesta una certa percezione del colore è possibile ricorrere alla illuminazione mista, cioè un certo numero di lampade al sodio ad alta pressione frammiste a quelle al sodio a bassa pressione che rende percepibile il colore.
9. I sistemi per lo spegnimento o la riduzione dell'intensità dell'illuminazione dopo una certa ora sono da utilizzare sempre in rapporto al reale uso dell'area illuminata e alle esigenze di sicurezza del traffico.
10. Non utilizzare quantità di luce superiori a quanto effettivamente necessario. Questo è una caratteristica degli impianti male eseguiti. L'importanza della strada o dell'area illuminata deve essere accuratamente valutata e deve essere scelto il minore livello di illuminazione applicabile.
11. Evitare di illuminare fuori della zona dove l'illuminazione è richiesta (ad es. il terreno attorno agli svincoli stradali). (Figura 58).



Figura 58: Progetto illuminotecnico di rotatoria

6.3 Illuminazione degli edifici

1. Nell'illuminazione delle pareti verticali è consigliato usare, per quanto possibile, dei proiettori a riflettore asimmetrico.

2. Illuminare sempre dall'alto verso il basso. Questo rende minore la quantità di luce diffusa in cielo. Il limite del fascio del proiettore non deve mai andare oltre il bordo della parete da illuminare. Applicare se necessario degli schermi.
3. Nell'illuminazione di capannoni industriali usare sempre lampade al sodio a bassa pressione mentre per gli edifici di interesse turistico utilizzare lampade al sodio ad alta pressione.
4. Tenere conto del coefficiente di riflesso della parete nel dosare la quantità di illuminazione. Non usare mai quantitativi esagerati di luce. E' la cura e l'arte nell'allestire l'impianto a produrre la sensazione estetica e non la quantità di luce usata.

6.4 Illuminazione di impianti sportivi

1. Usare la massima cura nell'allestire l'impianto, poiché la necessità di usare lampade a largo spettro (Joduri metallici, ecc.) rende estremamente inquinante la luce dispersa.
2. Prevedere diversi livelli di illuminazione nei casi di allenamento, partita e riprese televisive.
3. L'uso di proiettori a riflettore asimmetrico, montati orizzontalmente, o altri speciali proiettori schermati, reperibili in commercio, montati con la minor inclinazione rispetto alla verticale permette di ridurre gli sprechi energetici e di inquinamento.

Nella successiva Figura 59 è riportato uno schema di progetto illuminotecnico per impianti sportivi di piccole e medie dimensioni allo scopo di illustrare i risultati minimi accettabili.

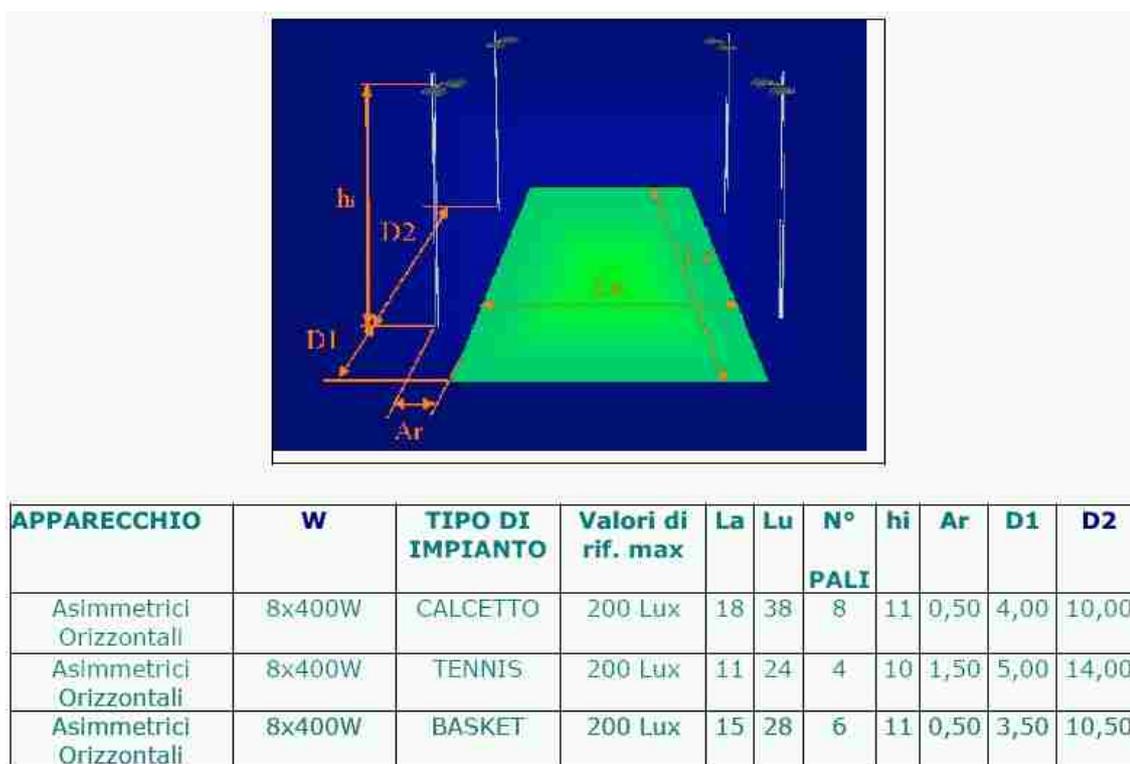


Figura 59: Progetto illuminotecnico per impianti sportivi di piccole e medie dimensioni

6.5 Illuminazione di Sicurezza

1. Nell'illuminazione di sicurezza di edifici, accessi e depositi è consigliato l'uso di sistemi con sensori a raggi infrarossi che accendano le lampade solo all'avvicinarsi di una persona.
2. Nei casi ove ciò non fosse possibile usare lampade al sodio a bassa pressione applicando per le armature gli stessi criteri precedentemente descritti.

7 INTERVENTI DI MANUTENZIONE

7.1 Sostituzione delle sorgenti luminose

La sostituzione di lampade a bassa efficienza con quelle ad alta efficienza, è generalmente, il tipo di intervento più semplice ed efficace da realizzare. Si può risparmiare fino al 25-30% dell'energia consumata incrementando, allo stesso tempo, il flusso luminoso emesso.

I costi di questa operazione sono contenuti e assicurano un buon ritorno economico.

Alcuni vecchi impianti utilizzano ancora lampade al mercurio o addirittura le lampade a incandescenza che consumano molto.

La loro sostituzione con lampade al sodio ad alta pressione consente di ridurre i consumi di energia fino al 40%, a parità di flusso luminoso.

Naturalmente le lampade al sodio sono più costose, ma il ritorno dell'investimento è compreso in un periodo economicamente accettabile vista la loro maggiore efficienza, la più lunga durata di vita e la migliore affidabilità.

La sostituzione di tutte le lampade a bassa efficienza utilizzate nel mondo per i sistemi di illuminazione consentirebbe un risparmio di oltre 390 Mtep, pari a circa 100 miliardi di euro, e ogni anno si potrebbe evitare la produzione di circa 780 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Con questo intervento, l'Europa risparmierebbe 28 miliardi di euro e l'Italia eviterebbe una spesa di 102 milioni di euro per l'illuminazione pubblica.

7.2 L'illuminazione e l'ambiente

La direttiva comunitaria 2002/95/CE, recepita in Italia con il D.Lgs. 151/2005, limita, a partire dal 1° luglio 2006 l'uso di sostanze pericolose nelle nuove apparecchiature elettriche ed elettroniche.

Esse non devono contenere piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, bifenili polibromurati (PBB) o etere di difenile polibromurato (PBDE).

Le lampade a vapori di mercurio e quelle ad alogenuri metallici sono escluse dal Decreto. Per le lampade fluorescenti è ammesso un quantitativo di mercurio non superiore a 5 milligrammi.

7.3 Alcuni consigli sul tipo di lampade più adatto alle diverse zone

Vengono di seguito riportati alcuni altri consigli sul tipo di lampade che possono essere le maggiormente indicate per le diverse zone esterne da illuminare; consigli che derivano dalla ricerca e pratica che si consolidata in quest'ultimi anni.

- **Strade:**
sodio ad alta pressione con potenze commisurate alla classificazione illuminotecnica della strada.
- **Aree Pedonali:**
sodio ad alta pressione e ioduri metallici.
- **Impianti sportivi:**
ioduri metallici.
- **Parchi, aree ciclabili e residenziali:**
fluorescenza, sodio alta pressione, ioduri metallici, led, in relazione al tipo di atmosfera che si vuole creare (colori caldi per le lampade al sodio e bianco per gli ioduri). Nelle aree verdi è preferibile l'utilizzo di ioduri metallici.
- **Monumenti ed edifici di valore storico, artistico ed architettonico:**
ioduri metallici, sodio alta pressione, led, scelti in relazione alle tipologie e ai colori delle superfici da illuminare.

7.4 Gli accessori o gruppi ausiliari

Qualsiasi tipo di lampada, a scarica o fluorescente, richiede un dispositivo che controlli la corrente di alimentazione, il reattore, a cui va abbinato un condensatore e, nel caso di lampade a scarica al sodio o a ioduri, anche un accenditore, elementi che normalmente fanno parte della lampada stessa.

Il reattore, è un dispositivo che limita la corrente elettrica che passa attraverso la lampada al valore prescritto per quel tipo specifico di lampada. Il condensatore provvede al rifasamento della corrente, limitando la potenza reattiva prodotta dal reattore. L'accenditore serve per il primo innesco dell'arco all'interno della lampada a scarica.

7.5 I regolatori del flusso luminoso

Un altro modo per ridurre i consumi energetici degli impianti di illuminazione consiste nella regolazione del flusso luminoso delle lampade adattandolo alle diverse esigenze, secondo quanto previsto dalla norma UNI 11248. L'applicazione di questa disposizione consente, infatti, di eliminare il flusso luminoso durante le ore notturne nelle aree con minore flusso di traffico (zone commerciali, centri storici ecc.), riducendo quindi i consumi energetici.

La regolazione del flusso luminoso avviene attraverso l'inserimento a monte degli impianti di apparecchi che regolano la tensione di alimentazione, consentendo di ridurre il flusso luminoso a gruppi di lampade secondo cicli programmabili.

I regolatori di flusso permettono di variare la potenza delle lampade per adattare l'impianto a parametri locali (interdistanze tra pali, riflessioni della strada, ombre...) e di mantenere il flusso luminoso costante nel tempo bilanciando il decadimento luminoso (funzionalità particolarmente utile per le lampade a ioduri metallici).

L'inserimento di questi apparecchi richiede investimenti, ma assicura vantaggi sia nella riduzione dei consumi energetici che nei costi di gestione degli impianti. Il loro impiego, infatti, consente di risparmiare fino al 30% dell'energia consumata dalle lampade e di ridurre i costi di manutenzione grazie alla stabilizzazione della tensione di alimentazione, che migliora la sicurezza degli impianti e prolunga il tempo di vita delle lampade.

In generale, l'intervento è conveniente sugli impianti che servono le strade urbane ed extraurbane, in cui il traffico nelle ore notturne si riduce notevolmente, le zone commerciali e i centri storici nelle fasce orarie di chiusura di esercizi e locali.

7.5.1 I vantaggi dei regolatori di flusso

I vantaggi nell'uso dei regolatori di flusso luminoso si possono sintetizzare nei seguenti due punti.

- **Minore consumo di energia**

La stabilizzazione della tensione durante il funzionamento a regime normale e la riduzione nelle ore notturne, quando le condizioni lo consentano (flussi di traffico veicolare ridotti), determinano un risparmio di energia elettrica. La riduzione di potenza assorbita, in funzione del tipo di lampada e delle condizioni dell'impianto, può raggiungere il 30%.

- **Minori costi di manutenzione**

L'eccesso della tensione di alimentazione è uno dei fattori che determinano l'invecchiamento precoce delle lampade. La stabilizzazione della tensione attuata dal regolatore evita alle lampade lo stress dovuto alle sovratensioni, prolungandone la durata. Inoltre la riduzione della tensione, quando il regolatore funziona a regime parzializzato, determina una sensibile diminuzione del calore, altro fattore negativo per la durata delle lampade.

7.6 Sostituzione degli apparecchi illuminanti

Gli apparecchi illuminanti hanno la funzione di distribuire, diffondere e indirizzare il flusso emesso dalla lampada, proteggendola dagli agenti esterni (intemperie, polveri, colpi, corrosione, ecc...).

Sono costituiti da un riflettore, che indirizza il flusso luminoso, da uno schermo, che riduce l'abbagliamento e controlla la distribuzione del flusso e da un contenitore, dove sono alloggiati gli altri componenti (starter, reattore,...).

La sostituzione dei vecchi apparecchi illuminanti con quelli di moderna concezione è un altro passo verso il risparmio energetico. I nuovi apparecchi, infatti, non disperdono il flusso luminoso, ma lo orientano solo dove ce n'è bisogno, riducendo i consumi di energia e l'inquinamento luminoso.

Il parametro più importante da prendere in considerazione nella scelta di nuovi apparecchi luminosi è il rendimento ottico che esprime la frazione di flusso luminoso emesso dall'apparecchio rispetto al flusso emesso dalle lampade.

Il rendimento ottico va valutato insieme ad altri parametri fotometrici, dipendenti dal campo di applicazione (la limitazione dell'abbagliamento, l'interdistanza tra i pali, l'altezza di installazione, il fattore di utilizzo, ecc.).

Una volta scelto l'apparecchio è importante assicurarsi che venga correttamente installato, in modo da dirigere realmente il fascio luminoso là dove serve.

Una imprecisa inclinazione del corpo illuminante contribuisce ad alterare in modo significativo le caratteristiche dell'apparecchio.

Si osservi infine che le prestazioni dei corpi illuminanti sono generalmente indicate con riferimento a determinati tipi di lampada; per questo motivo la sostituzione di un corpo illuminante è bene sia accompagnata dall'utilizzo della lampada che consente di massimizzarne il rendimento.

7.6.1 *Indicazioni utili per la scelta di un apparecchio illuminante*

La scelta di un apparecchio illuminante deve essere sempre improntata da elementi di efficienza, efficacia, rendimento, durabilità e bassi consumi energetici.

Questi si elencano nei seguenti aspetti:

- alto grado di protezione (IP), buone guarnizioni ecc. per proteggere l'apparecchio dagli agenti atmosferici e garantire pulizia durevole della parte ottica. Esistono apparecchi con vetro rivestito di materiale autopulente, attivato dai raggi UV;
- accesso rapido a lampade e comparto accessori separato;
- fattore di utilizzazione migliore per ridurre dispersioni di luce e dirigere il fascio là dove è richiesto;
- utilizzo di sorgenti di dimensioni ridotte per garantire un maggiore rendimento ottico degli apparecchi;
- contenimento dell'inquinamento luminoso;
- design adatto al contesto ottimizzato per smaltire il calore dei ballast e delle sorgenti;
- eliminazione dei fenomeni di abbagliamento.

Per quest'ultimo aspetto la CIE, Commission Internazionale de l'Eclairage, classifica gli apparecchi illuminanti in base alla capacità di evitare l'abbagliamento:

- apparecchi cut-off, fortemente o totalmente schermati
- apparecchi semi-cut-off;
- apparecchi non schermati.

8 STRUMENTI FINANZIARI

Tra gli strumenti finanziari messi a disposizione della Pubblica Amministrazione per migliorare l'efficienza energetica di un impianto, vi è quello del Finanziamento Tramite Terzi (FTT o TPF nell'acronimo inglese) con affidamento della realizzazione degli interventi ad una ESCO, Energy Service Company.

Il Finanziamento Tramite Terzi è stato introdotto dalla direttiva europea 93/76/CEE, ribadito dalla direttiva 2006/32/CEE e dal Piano d'azione per l'efficienza Energetica e previsto da numerosi Piani Energetici Regionali.

Un ulteriore strumento finanziario è quello previsto dal Decreto 22/12/2006 del Ministero dello Sviluppo Economico con il quale vengono messe a disposizione di Regioni e Province Autonome risorse finanziarie per consentire alle amministrazioni di disporre di diagnosi energetiche degli edifici pubblici (e di progetti esecutivi per la successiva realizzazione degli interventi. Al punto c) del decreto rientrano gli interventi di illuminazione pubblica.

8.1 Le ESCO

Le ESCO, o società di servizi energetici, sono soggetti specializzati nell'effettuare interventi nel settore dell'efficienza energetica, sollevando in genere il cliente dalla necessità di reperire risorse finanziarie per la realizzazione dei progetti e dal rischio tecnologico, in quanto gestiscono

- sia la progettazione/costruzione,
- sia la manutenzione per la durata del contratto.

In questi ultimi anni a seguito della riduzione dei trasferimenti da parte dello stato, o anche al cosiddetto "patto di stabilità" le amministrazioni comunali, o più in generale, le Pubbliche Amministrazioni si trovano a dover gestire rigidi capitoli di spesa usualmente in carenza di fondi rispetto alle esigenze complessive, e pertanto si trovano in molti casi a soffrire di scarsità di risorse finanziarie. Tali inconvenienti possono essere superati attraverso il ricorso al finanziamento tramite terzi, e cioè con le ESCO (Compagnie di Servizio Energetico). Tale strumento prevede la partecipazione di un soggetto terzo che fornisce le disponibilità finanziarie necessarie alla realizzazione dell'intervento desiderato, purché esso sia caratterizzato da un rischio molto contenuto e da un flusso di cassa sostanzialmente stabile originato dai risparmi energetici conseguiti. Ciò permette infatti a tale soggetto di ripagarsi dei costi di installazione e gestione dell'impianto sostenuti in un tempo ragionevole.

Per questo motivo da alcuni (5-10) anni operano in Europa le ESCO che non solo si occupano della gestione degli impianti, ma anche della progettazione, finanziamento e realizzazione del rinnovo degli impianti stessi e del risparmio d'elettricità.

I Comuni pagano il servizio finanziario in parte con i risparmi d'energia conseguiti e garantiti, e per la restante parte, con fondi diretti. Al termine del periodo contrattuale concordato (8-10-15 anni) il Comune si ritrova con gli impianti a norma e può beneficiare dei risparmi d'energia implementati. Ad oggi in Italia sono accreditate molte organizzazioni in qualità di ESCO nell'ambito della Pubblica Illuminazione (www.autorita.energia.it), ma purtroppo non tutte si comportano come tali; infatti, in realtà nel nord Italia pochissime Organizzazioni operano anticipando realmente l'importo di denaro necessario alla realizzazione degli interventi.

Un confronto diretto mediante bando di gara consentirebbe ai Comuni di valutare l'efficienza dei servizi offerti, i costi dettagliati di gestione, le misure d'efficienza energetica adottate, l'ammontare del risparmio garantito e la durata del contratto. Spesso invece accade che il rinnovo, tacito o esplicito con la ditta appaltatrice del servizio di gestione non prevede la messa a norma degli impianti, ma solo il Servizio di Base (ossia sostanzialmente, la continuazione della attuale gestione). Il rinnovo della Convenzione a trattativa diretta, senza prevedere la messa a norma degli impianti, oltre che a violare le disposizioni di legge sui servizi pubblici, costituisce una pesante minaccia per gli Amministratori pubblici responsabili. Infatti, un'illuminazione pubblica non a norma può essere motivo di denuncia

(come già peraltro accaduto) nel caso di incidenti di strada avvenuti in corrispondenza di luoghi illuminati da apparecchiature non rispondenti alle norme.

8.2 Regione Lombardia

La Regione Lombardia con decreto n. 7427 del 8 luglio 2008 del Dirigente della Struttura Sviluppo Reti e Investimenti della D.G. Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo sostenibile, ha approvato il bando relativo a:

- Linea di intervento 2.1.2.2 "Interventi per il miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica";
- ASSE 2 ENERGIA del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale – FESR 2007-2013, per la presentazione, da parte degli Enti locali, di progetti finalizzati al rifacimento/adeguamento di impianti di illuminazione pubblica esterna esistenti di proprietà pubblica e/o alla realizzazione di nuovi impianti, nei Comuni dotati di piano dell'illuminazione pubblica di cui alla l.r. 17/2000.

Questa forma di finanziamento ha rappresentato un contributo ai comuni per il miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica.

L'iniziativa si è collocata nell'ambito dell'obiettivo operativo finalizzato a promuovere il risparmio energetico nell'ottica di riduzione dei consumi e di abbattimento dell'inquinamento luminoso, puntando, inoltre, alla sensibilizzazione degli Amministratori locali e degli operatori del settore ad investire in tecnologie innovative ed ad elevata efficienza energetica.

8.3 I Certificati Bianchi

Il meccanismo dei “Titoli di efficienza Energetica”, o “Certificati Bianchi”, è stato introdotto in Italia dai Decreti Ministeriali del 20.7.2004⁸; esso prevede l’obbligo, per i distributori di energia elettrica e di gas, di conseguire determinati obiettivi di risparmio di energia primaria mediante l’attuazione diretta di progetti di efficienza energetica, ovvero tramite l’acquisto di Certificati Bianchi emessi in seguito alla certificazione di progetti di efficienza realizzati da Terzi. Per una descrizione sintetica della struttura del sistema può essere consultato il “Primo rapporto annuale sul meccanismo dei titoli di efficienza energetica” pubblicato dall’Autorità per l’energia elettrica e il gas (Rif.[9]).

Fra i progetti ammessi al rilascio dei Certificati, e per i quali già esistono procedure approvate per la valutazione dei risparmi, vi sono anche due interventi relativi all’illuminazione pubblica:

- Scheda tecnica n. 17: *Installazione di regolatori di flusso luminoso per lampade a vapori di mercurio e lampade a vapori di sodio ad alta pressione negli impianti adibiti ad illuminazione esterna*
- Scheda tecnica n. 18: *Sostituzione di lampade a vapori di mercurio con lampade a vapori di sodio ad alta pressione negli impianti di Pubblica Illuminazione*

Dall’avvio del meccanismo al 31 maggio 2008, questi due tipi di progetto hanno prodotto risparmi di energia primaria pari a oltre 127 ktep, equivalenti a circa l’8% dell’obiettivo di risparmio da conseguire, considerando un prezzo di mercato di 70 €/tep il corrispondente controvalore dei Certificati Bianchi emessi ammonta a circa 9 milioni di euro. Il settore dell’Illuminazione pubblica si conferma dunque un significativo bacino di risparmio energetico, che può essere anche fonte di un certo ritorno economico che si aggiunge al vantaggio di una bolletta energetica più “leggera”. In tale contesto, infatti, gli operatori qualificati al rilascio dei titoli di efficienza, tipicamente i Distributori di elettricità e di gas, le società da essi controllate, le ESCO, ma anche altri soggetti previi accordi di collaborazione con i primi, possono: realizzare progetti efficienti della tipologia prescritta, ottenerne la certificazione, cedere al mercato pubblico o tramite scambi bilaterali i certificati bianchi che ne derivano e conseguire infine una fonte di finanziamento per successivi interventi.

⁸ Pubblicati sulla G.U. n. 205 del 1-9-2004; si veda anche il Decreto “revisione e aggiornamento” del 21 dicembre 2007, G.U. n. 300 del 28-12-2007.

9 CONFRONTI ESEMPLIFICATIVI CON INTERVENTI SU IMPIANTI

Lo scopo della presente sezione di queste linee guida è quello di fornire dei confronti esemplificativi su alcuni impianti di illuminazione pubblica, con tipologia di larga diffusione, che evidenzino vantaggi tecnico economici ottenibili operando azioni a diversi livelli. Gli interventi presi in esame riguardano:

- Azioni sulla sola alimentazione dei circuiti esistenti;
- Rinnovo delle sorgenti luminose di impianti esistenti;
- Rinnovo delle sorgenti luminose e degli apparecchi di impianti esistenti;
- Realizzazione ex novo dell'impianto con criteri innovativi.

Nel seguito non verranno prese in considerazione le classi di merito dei singoli componenti, si analizzeranno bensì vuole analizzare quali siano le azioni da intraprendere su questi impianti per ottenere il maggior risparmio energetico possibile in funzione del rapporto costi/benefici.

9.1 Azioni sulla sola alimentazione dei circuiti

L'intervento limitato sulla sola alimentazione dei circuiti è molto problematico da attuare nella realtà.

Dando per ottimale lo stato del quadro e delle linee dal punto di vista della sicurezza elettrica, le azioni che si possono intraprendere sono le seguenti:

- inserimento nel quadro di un orologio astronomico che ottimizzi le accensioni, andando a ridurre di circa l'8 - 10 % le ore di funzionamento: l'azione è fattibile facilmente con tempi favorevoli di *pay-back*;

- installazione di un regolatore di flusso per la riduzione della tensione, e, conseguentemente, dei consumi fino ad un massimo del 50%, nelle ore centrali notturne: intervento molto interessante, ma con non poche difficoltà. Infatti, affinché esso sia vantaggioso le lampade devono essere già ad alta efficienza (quelle al mercurio hanno problemi di accensione, salvo inserire un dispositivo su ogni apparecchio, ma ciò fa aumentare di molto i costi), e possibilmente tutte al sodio alta pressione, per poter regolare la tensione a livelli più bassi (gli ioduri sopportano riduzioni minori). Inoltre, affinché il regolatore funzioni nella maniera ottimale, le cadute di tensione sulle parti terminali delle linee devono essere limitate, altrimenti vi sono problemi di spegnimento delle lampade in coda alla linea. L'inserimento dei regolatori senza una razionalizzazione a monte delle linee di alimentazione, potrebbe essere comunque problematico.

Una prima verifica della bontà della rete di distribuzione degli impianti può essere fatta verificando che il quadro di comando in questione sia effettivamente baricentrico rispetto alle varie linee che lo alimenta, per poi effettuare una verifica delle sezioni dei circuiti, soffermandosi con maggiore attenzione su quelli che alla prima verifica risultassero svantaggiati perché troppo lunghi. Si fa presente, infatti, che una distribuzione ottimale dovrebbe prevedere il quadro di comando posto centralmente rispetto all'area alimentata, la quale dovrebbe rientrare in un cerchio di determinato raggio.

Una verifica delle linee di alimentazione, volta a limitare le cadute di tensione e le dispersioni, può contribuire ad abbassare le perdite di linea, ma la convenienza nel far ciò, magari associato ad una razionalizzazione della distribuzione dipende completamente dallo stato in cui si trovano gli impianti.

Gli interventi sugli apparecchi illuminanti, quali l'inserimento di rettori elettronici, o reattori biregime, siano essi elettromagnetici o elettronici, presuppongono un costo troppo alto con tempi di *pay-back* eccessivi, in quanto al prezzo di tali apparecchiature, già molto costose, occorre aggiungere l'onere per il personale e macchinari per effettuate i lavori su apparecchi esistenti, spesso già obsoleti, posti in posizione disagiata a causa dell'altezza di installazione. Stessa cosa vale per l'inserimento di dispositivi di telecontrollo sui singoli punti luce, mentre avrebbe un senso telecontrollare il singolo quadro di comando, ammesso che sia a norma, al fine di migliorare il servizio offerto alla comunità e nel contempo abbassare i costi di sola manutenzione, non certo quelli legati ai consumi energetici.

9.2 Sostituzione di lampade

L'analisi e la quantificazione delle tipologie delle sorgenti luminose presenti, con l'individuazione di quelle più sfavorevoli rispetto all'efficienza luminosa (quelle cioè che a parità di assorbimento di potenza emettono meno flusso luminoso), è la procedura più semplice e utilizzata per determinare interventi minimali e urgenti che si possono effettuare al fine di ridurre i consumi energetici della rete di illuminazione esterna. La soluzione più immediata è, infatti, quella di prevedere la sostituzione delle lampade più sfavorevoli dal punto di vista dei consumi con altre di più moderna tecnologia che garantiscono una migliore efficienza. La sostituzione permette di mantenere gli stessi flussi luminosi e quindi gli stessi valori di illuminamento e luminanza, pur abbassando le singole potenze installate.

Un possibile caso reale per ottenere una significativa riduzione dei consumi, in assenza di particolari problemi legati alla resa cromatica e alla temperatura di colore (e quindi ad esempio in applicazioni puramente stradali), è quello della sostituzione di lampade al mercurio con altrettante lampade al sodio alta pressione di minor potenza.

L'intervento richiede un'analisi approfondita, con lo scopo anche di sfruttare a pieno l'effetto dell'azione di rinnovamento. Si deve, infatti, tenere in conto che un'azione di modifica di un impianto obbliga anche alla sua messa a norma rispetto a quanto previsto dalla normativa UNI 11248. Per quanto riguarda i valori medi di luminanza e/o illuminamenti, la situazione ottenibile con le nuove lampade al sodio non può che migliorare, dato l'aumento dei flussi emessi, ma nulla può a priori essere detto sulle uniformità che potrebbero restare lacunose rispetto a quanto previsto dalla norma.

La Tabella 12 riporta un prospetto di possibili sostituzioni di lampade al mercurio con lampade più efficienti, mettendo in evidenza la riduzione in potenza assorbita e le variazioni di flusso luminoso, che possono essere di entità minima o decisamente importanti a seconda dello stato dell'impianto sul quale si interviene e in funzione delle prestazioni desiderate a valle dell'intervento.

Tabella 12: Possibili sostituzioni di lampade a mercurio con lampade più efficienti - variazioni della potenza e del flusso luminoso

| Da MERCURIO A.P. | A SODIO A.P. | RIDUZIONE POTENZA in W (e in %) | VARIAZIONE FLUSSO LUMINOSO % |
|---------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 80 W | 50 W | 30 W (- 37,5%) | + 10% |
| 80 W | 70 W | 10 W (- 12,5%) | + 65% |
| 125 W | 70 W | 55 W (- 44%) | - 1 % |
| 125 W | 100 W | 25 W (- 20%) | + 60 % |
| 250 W | 100 W | 150 W (- 60%) | - 24% |
| 250 W | 150 W | 100 W (- 40%) | + 23% |
| | | | |
| Da MERCURIO A.P. | A IODURI COSMOPOLIS | RIDUZIONE POTENZA W | VARIAZIONE FLUSSO LUMINOSO % |
| 80 W | 45 W | 35 (-44%) | + 2% |
| 125 W | 60 W | 65 (-52%) | + 3% |
| 250 W | 140 W | 110 (-44%) | + 16% |

Si può osservare ad esempio che la stessa lampada al mercurio da 125 W può essere rimpiazzata da una lampada al sodio da 70 W, con una riduzione di potenza del 44 % e di flusso luminoso dell'1 %, da una lampada ancora al sodio da 100 W, con riduzione di potenza pari al 20 % ma aumento del flusso di ben

il 60 %⁹, o da una lampada agli ioduri da 60 W, con una potenza inferiore del 52 % ed un aumento di flusso del 3 %.

Riassumendo, la sostituzione della sola lampada è un provvedimento da valutare attentamente: è necessario verificare non solo il tipo di lampada installata, ma anche lo stato dell'apparecchio all'interno del quale si trova per decidere se è opportuno o meno sostituire entrambi.

Per valutare e quantificare la convenienza di ammodernare un impianto esistente mediante la sostituzione delle sorgenti luminose è opportuno introdurre il calcolo del tempo di *pay-back* dell'intervento, mediante la definizione di costo orario totale dell'impianto, T, suggerita dalla CIE (Commission Internationale de l'Eclairage):

$$T = D + C_{lh} + I + C_M + M \quad [€/h]$$

dove:

$D = A/(B \cdot H)$ = costo del materiale impiegato, lampada esclusa, in €/h, con:

A = costo del materiale per gli ausiliari elettrici [€];

B = vita degli ausiliari [anni];

H = ore di funzionamento annuo [h/anno].

$C_{lh} = E \cdot F / H_v$ = costo della lampada [€/h], con:

E = costo lampada [€];

F = numero lampade [-];

H_v = vita utile della lampada [h].

I = costo dell'energia elettrica [€/h], dato dalla tariffa elettrica [€/kWh] per il totale della potenza installata [W] e diviso per mille.

$C_M = C_{mh} + C_{mh_sost}$ = costo di manutenzione [€/h] con:

$C_{mh} = (C_{MSOST} \times 1/B)/H$ = costo di manutenzione ausiliari [€/h];

$C_{mh_sost} = C_{MSOST} / H_v$ = costo di manutenzione lampada [€/h], in cui:

C_{MSOST} = costo di manutenzione per la sostituzione delle lampade e/o ausiliari [€].

$M = 0,2x (D + C_{lh} + L/C)$ = costo per gli altri interventi [€/h].

Ne deriva che il tempo di *pay-back* S_{pb} è calcolabile con la seguente relazione:

$$S_{pb} = J / [(T_{vs} - T_{ns}) \times H]$$

con:

J = investimento iniziale [€];

T_{vs} e T_{ns} = costo orario totale della vecchia e della nuova soluzione [€/h];

H = ore annue funzionamento [h/anno].

9.3 Sostituzione di lampade e apparecchi

Con la sostituzione della lampada e del corpo illuminante, classificato come obsoleto, si ha un conseguente aumento dell'efficienza dell'intero sistema e si può affermare con sicurezza che pur abbassando la potenza installata negli impianti, si possono garantire risultati illuminotecnici superiori. Di più, conoscendo il comportamento fotometrico del nuovo apparecchio si può esattamente stimare quale sarà la situazione dei parametri illuminotecnici a sostituzione avvenuta: se il miglioramento così ottenuto non è sufficiente a garantire i requisiti minimi previsti dalla normativa vigente (il problema sono spesso le uniformità), sarà necessario rivedere anche le interdistanze e rifare quindi ex-novo l'impianto. E' questo un fatto non infrequente dato che le lampade al mercurio e i vecchi apparecchi presentano efficienze ridotte rispetto a quanto attualmente disponibile, e conseguentemente le

⁹ Non si tratta certamente di una scelta ottimale per la massimizzazione dell'efficienza, ma può essere presa in considerazione quando l'impianto preesistente non soddisfa i requisiti di illuminamento prescritti.

interdistanze esistenti sono inferiori, anche di molto, rispetto a quanto invece si potrebbe fare con nuove e più moderne apparecchiature. Può pertanto essere interessante verificare cosa accadrebbe effettuando sostituzioni con potenze di lampade al sodio molto basse rispetto alle potenze esistenti, ottenendo il più delle volte risultati molto positivi in termini di risparmio energetico.

L'individuazione del nuovo apparecchio più adatto a sostituire l'esistente, poiché i parametri geometrici (interdistanza/altezza/sbraccio e larghezza strada) di installazione sono fissati, può essere effettuata cercando corpi illuminanti in grado di soddisfare i requisiti illuminotecnici richiesti; quelli che per tali condizioni di installazione massimizzano il rendimento totale. Teoricamente, il fattore di utilizzazione risulta indipendente dalla potenza installata della sorgente, e quindi è sufficiente ricercare l'apparecchio che massimizza il prodotto tra quest'ultimo ed il rendimento ottico. Nella pratica però, poiché al variare della potenza variano le dimensioni della lampada e conseguentemente la posizione della zona di scarica, è necessario verificare per ogni taglia della potenza installata l'apparecchio che massimizza il rendimento totale.

Nel caso della sostituzione dell'apparecchio i costi orari restano gli stessi, mentre aumentano ovviamente gli investimenti iniziali, anche se occorre tener in conto che i costi di mezzi e manodopera sono praticamente invariati; infatti il tempo necessario per l'intervento è comparabile, e lampada e accessori costano meno se acquistati contemporaneamente all'apparecchio. Dall'analisi dei costi orari non si percepiscono i benefici ottenibili dalla sostituzione anche dell'apparecchio (possibilità di prevedere potenze minori e miglioramento delle interdistanze esistenti), effetto che invece apparirà ben chiaro nel caso pratico riportato più avanti.

9.4 Realizzazione di nuovi impianti con criteri innovativi

È evidente che se si decide di rifare completamente gli impianti, specialmente se le loro condizioni generali sono precarie (apparecchi obsoleti, sostegni deteriorati, linee aeree o con problemi di isolamento e/o sottodimensionate), o dovendo realizzare nuovi impianti, si possono sfruttare al meglio le opportunità offerte dalla tecnologia e ottenere impianti altamente efficienti. Scegliendo un buon apparecchio illuminante con alto rendimento e buon fattore di utilizzazione, e ottimizzando i parametri geometrici d'installazione, si può ricercare la configurazione d'impianto che comporta i consumi minori. In base alle dimensioni e alle caratteristiche dell'impianto si può inoltre valutare se sia più opportuno effettuare una regolazione centralizzata a livello di quadro o puntuale con reattori biregime, possibilmente elettronici (si ricorda che reattore elettronico sull'apparecchio e regolatore di tensione sul quadro di alimentazione non sono compatibili).

Il rifacimento degli impianti ovviamente comporta investimenti iniziali più alti, ma in taluni casi i vantaggi ottenibili sono tali da ripagare la spesa in poco tempo.

Come si vedrà nel Capitolo successivo, può succedere anche che i risparmi energetici siano molto rilevanti ma l'investimento da sostenere diventi invece talmente importante da non garantire tempi di rientro accettabili. In questi casi è importante valutare se deve essere valutato il solo risparmio economico o sia prioritario un approccio basato sul basso impatto ambientale dell'impianto, considerando tutti benefici in chiave ambientale (si pensi alla riduzione della CO₂ legata alla minore potenza installata), che derivano da una minore necessità di produrre energia.

10 COSTI DEGLI INTERVENTI

10.1 Interventi su impianti esistenti

Gli interventi di razionalizzazione energetica su impianti di Illuminazione Pubblica esistenti possono essere sia relativamente semplici, come nel caso della sostituzione delle sole lampade¹⁰, sia con grado di complessità crescente, a seconda che si intenda sostituire anche l'apparecchio illuminante e/o installare un regolatore di flusso.

Va da sé che, dal punto di vista economico, il momento migliore per intervenire è offerto dalla “finestra di opportunità” rappresentata dalla sostituzione periodica delle lampade preesistenti, in questo caso l'onere “netto” da sostenere è costituito dalla differenza fra il costo dell'intervento e quanto si sarebbe comunque speso per la sostituzione programmata.

10.1.1 Sostituzione delle sole lampade e accessori

In un impianto con lampade a vapori di mercurio da 125 W e un tempo di accensione di 4.200 ore/anno, ogni punto luce consuma circa 647 kWh/anno¹¹, alla tariffa di 0,156 €/kWh¹² il costo energetico risultante è di 100,9 €/anno. Assumendo una vita della lampada pari a 16.000 ore, ogni circa 4 anni (16.000/4.200 = 3,8 anni) è necessario sostenere una spesa per punto-luce di 37,3 € (di cui 27 € per manodopera e utilizzo del mezzo di sollevamento) per la sostituzione periodica delle lampade a fine vita.

Per la sostituzione delle lampade, a condizione che l'apparecchio illuminante sia già previsto per ospitarne di tipi diversi, sono possibili le seguenti opzioni:

- Lampada a vapori di sodio da 70 W, costo 69,5 €/cad.: a fronte di una contrazione del flusso luminoso pari al 1% consente un riduzione della potenza assorbita del 44%, con un consumo complessivo di 362 kWh/anno e costo energetico di 56,5 €/anno;
- Lampada a vapori di sodio da 100 W, costo 80,8 €/cad.: comporta un aumento del flusso luminoso emesso del 60% con riduzione di potenza del 20%, il consumo energetico è di 517 kWh/anno per un costo pari a 80,7 €/anno;
- Lampada a ioduri metallici da 60W, costo 250,2 €/cad.: il flusso aumenta del 3% con riduzione di potenza del 52%, i consumi annui sono di 305 kWh/anno per un costo di 47,6 €/anno.

Gli oneri considerati per i tre interventi di sostituzione riguardano, oltre l'acquisto della lampada, anche quello di reattore e accenditore (i cosiddetti ausiliari) e il costo della manodopera e del nolo del mezzo di servizio.

¹⁰ La sostituzione delle lampade è solo in apparenza un intervento semplice, in quanto anche un'azione di tale genere richiede comunque la conformità dell'impianto rispetto a quanto previsto dalla normativa UNI 11248. Si aggiunga anche il fatto che la sostituzione molto probabilmente avviene su un apparecchio obsoleto, di cui non si conosce il comportamento fotometrico per poter fare delle verifiche illuminotecniche relative alla sostituzione e dotato di un'efficienza sicuramente deprezzata al causa dell'usura del riflettore in ambiente inquinato come quello urbano. Inoltre, sono quasi sempre necessari importanti interventi anche a livello di ausiliari elettrici (accenditore e reattore). Anche se la nuova attrezzatura non presenta un costo importante, richiede una consistente spesa a livello di installazione: si opera infatti ad altezze di vari metri da terra (mediamente tra i 7 e i 10 m) e, oltre al costo della manodopera, si deve includere quello dell'attrezzatura per effettuare l'intervento. Nel caso in cui la lampada si trovi all'interno di un corpo illuminante ormai obsoleto, l'intervento viene a costare più dell'apparecchio stesso, senza considerare che si rischia di agire, e di investire, su un'apparecchiatura il cui rendimento è ormai minimo, sia a causa del deterioramento dei materiali che la costituiscono, sia perché realizzata decine di anni fa e quindi con prestazioni ormai ben superate dalle potenzialità offerte dalla attuale tecnologia.

¹¹ Il dato comprende oltre ai consumi veri e propri della lampada anche una stima dell'assorbimento degli ausiliari e delle perdite nei circuiti di alimentazione.

¹² Dati medi del primo trimestre 2009 pubblicati dall'Acquirente Unico, comprensivi di imposta erariale (0,31 cent/kWh) e di I.V.A (20%).

La seguente Tabella 13 riassume i dati salienti delle alternative, con i consumi ed i costi da sostenere sia nel caso si continui ad impiegare il tipo di lampada già installato, ovvero si intenda procedere con la sua sostituzione.

Tabella 13: Costi e prestazioni delle lampade

| Lampada | Costo lampada e accessori [€] | Consumi [kWh/anno] | Costo energia [€/anno] |
|-----------|-------------------------------|--------------------|------------------------|
| Hg 125 W | 37,3 | 647 | 100,9 |
| SAP 70 W | 69,5 | 362 | 56,5 |
| SAP 100 W | 80,8 | 517 | 80,7 |
| Iod. 60 W | 250,2 | 305 | 47,6 |

I tempi di ritorno economico (semplice) delle tre sostituzioni possibili sono quindi desumibili dalla Tabella 14, dove sono messi in evidenza i costi e benefici differenziali rispetto alla lampada a vapori di mercurio.

Tabella 14: Costi, benefici e tempi di ritorno della sostituzione di lampade a vapori di mercurio da 125 W

| Lampada sostitutiva | Investimento incrementale [€] | Variazione consumi [kWh/anno] | Risparmio di costo energetico [€/anno] | Periodo di ritorno semplice [anni] |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|
| SAP 70 W | 32,2 | -284,6 | 44,4 | 0,7 |
| SAP 100 W | 43,6 | -129,4 | 20,2 | 2,2 |
| Iod. 60 W | 212,9 | -341,9 | 53,3 | 4,0 |

Come può essere osservato, la maggior convenienza economica si consegue con l'installazione della lampada a vapori di sodio da 70 W, il cui maggior costo di investimento, rispetto alla sostituzione con un'altra lampada al mercurio, viene recuperato in meno di un anno grazie ai risparmi possibili sul costo dell'energia. Come già anticipato, tale soluzione implica però una leggera riduzione di flusso luminoso (-1 %), quasi sempre accettabile a meno che la situazione preesistente non sia già affetta da problemi progettuali o costruttivi ai quali è necessario ovviare. In questo caso la scelta può cadere su una lampada al sodio di maggiore potenza (100 W), con la quale i tempi di ritorno dell'investimento si allungano a 2,2 anni. L'alternativa di minor consumo consiste tuttavia nel ricorso a lampade a ioduri metallici, le quali però presentano un costo di impianto decisamente elevato che ne allunga i tempi di ritorno a 4 anni, pari cioè a circa la vita media della lampada stimata in poco più di 4 anni. E' altresì vero che queste lampade emettono luce con una resa cromatica decisamente migliore di quelle al sodio, il che potrebbe giustificare l'impiego nelle condizioni è richiesto una qualità elevata dell'illuminamento, senza dimenticare che i tempi di ritorno potrebbero venire ridotti dall'esistenza di finanziamenti a sostegno dell'efficienza.

10.1.2 *Installazione di apparecchi e regolatori di flusso*

Volendo ora esaminare anche interventi più complessi, si possono considerare le seguenti opzioni di retrofit applicate ad un impianto di illuminazione pubblica che si estende per 2.275 m ed è composto da 65 punti luce dotati di lampade a vapori di mercurio da 250 W:

- Sostituzione delle lampade con altre ai vapori di sodio da 150 W¹³ e contestuale installazione di un regolatore/stabilizzatore di tensione mediante il quale si ottiene un'attenuazione della potenza assorbita (e del flusso luminoso) del 40%¹⁴ nelle ore di minor traffico (2500 ore/anno su 4200 ore/anno di accensione totale);
- Sostituzione delle sorgenti e degli apparecchi illuminanti, ricorrendo a lampade al sodio da 100 W¹⁵, apparentemente inadeguate, ma con mantenimento dei requisiti illuminotecnici prescritti grazie all'impiego di apparecchi con ottica di pregio, tale da massimizzare il rendimento totale;
- Come caso precedente, con anche installazione di regolatore di flusso

In analogia a quanto fatto nel caso della sostituzione delle sole lampade, le alternative suddette vengono confrontate con il semplice rinnovo a fine vita delle preesistenti lampade a vapori di mercurio da 250 W; la seguente Tabella 15 riassume i dati di costo e di consumo degli interventi all'esame:

Tabella 15: Costi e consumi degli interventi

| Intervento | Investimento | Consumi | Costo energia |
|--|--------------|------------|---------------|
| | [€] | [kWh/anno] | [€/anno] |
| Rinnovo lampade esistenti Hg 250 W | 2.497,5 | 84.084,0 | 13.117,1 |
| Installazione SAP 150 W e regolatore | 15.288,8 | 33.393,4 | 5.209,4 |
| Installazione nuovo apparecchio con SAP 100 W | 20.290,4 | 33.633,6 | 5.246,8 |
| Installazione nuovo apparecchio con SAP 100 W e regolatore | 28.890,4 | 22.262,2 | 3.472,9 |

Se ora si confrontano costi e benefici della semplice sostituzione delle lampade al mercurio giunte a fine vita, con le tre alternative di razionalizzazione energetica considerate, si ottiene il prospetto riportato nella seguente Tabella 16:

Tabella 16: Costi, benefici e tempi di ritorno della sostituzione di lampade a vapori di mercurio da 250 W

| Intervento | Investimento incrementale [€] | Variazione consumi [kWh/anno] | Risparmio di costo energetico [€/anno] | Periodo di ritorno semplice [anni] |
|---|-------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|
| Installazione SAP 150 W e regolatore | 12.791,3 | -50.690,6 | 7.907,7 | 1,6 |
| Installazione SAP 100 W e apparecchio | 17.792,9 | -50.450,4 | 7.870,3 | 2,3 |
| Installazione SAP 100 W, apparecchio e regolatore | 26.392,9 | -61.821,8 | 9.644,2 | 2,7 |

Si osserva innanzitutto che le tre alternative al semplice rimpiazzo delle lampade esistenti hanno tutte tempi di ritorno interessanti: la più conveniente è la prima, con un recupero del capitale investito in

¹³ Riduzione della potenza assorbita di circa il 40% e aumento del flusso luminoso del 23%.

¹⁴ Trattandosi di un impianto esistente, con linee che potrebbero avere problemi di caduta di tensione, onde evitare spegnimenti e malfunzionamenti si preferisce non sfruttare le piene potenzialità del regolatore, il quale consente riduzioni di potenza fino al 50%.

¹⁵ Riduzione del flusso luminoso del 24%.

meno di due anni, che presenta fra l'altro un consumo inferiore alla maggiormente onerosa installazione di lampada e apparecchio illuminante.

Va tuttavia sottolineato che la terza soluzione, in apparenza meno attraente delle altre a causa del tempo di ritorno più elevato, oltre ad essere la più efficiente, a lungo andare si rivela anche la più conveniente. E' infatti in grado di mantenere ben oltre il tempo di ritorno i risparmi di costo energetico consentiti dal regolatore di flusso e dall'apparecchio illuminante migliorato, i quali hanno una vita attesa dell'ordine di 20 anni.

10.2 Realizzazione di nuovi impianti

Quando si decide di rifare completamente gli impianti, specialmente se le loro condizioni generali sono precarie (apparecchi obsoleti, sostegni deteriorati, linee di alimentazione con problemi di isolamento e/o sottodimensionate), si possono sfruttare al meglio le opportunità offerte dalla tecnologia e ottenere impianti decisamente efficienti. Scegliendo un buon apparecchio illuminante, con alto rendimento e buon fattore di utilizzazione, e ottimizzando i parametri geometrici d'installazione, si può ricercare la configurazione d'impianto che comporta i consumi minori. In base alle dimensioni e alle caratteristiche dell'impianto si può inoltre valutare se sia più opportuno effettuare una regolazione centralizzata a livello di quadro o puntuale con reattori bi-regime, possibilmente elettronici (si ricorda che reattore elettronico sull'apparecchio e regolatore di tensione sul quadro di alimentazione non sono compatibili).

Il rifacimento degli impianti ovviamente comporta investimenti iniziali rilevanti, ma in taluni casi i vantaggi ottenibili sono tali da ripagare la spesa in poco tempo. In altre situazioni si possono invece conseguire risparmi energetici importanti, ma con investimenti troppo elevati per ottenere tempi di rientro accettabili. In questi casi è importante valutare se debba essere considerato il solo risparmio economico, o sia invece opportuno mettere in conto anche i benefici ambientali che derivano da un minore consumo energetico.

Si consideri pertanto il rifacimento ex-novo dell'impianto di illuminazione precedentemente considerato, prendendo in esame le seguenti quattro alternative:

- Impiego di lampade al sodio da 100 W, unitamente ad apparecchi con ottica di pregio, con ottimizzazione delle interdistanze al fine di contenere i costi di impianto;
- Come caso precedente, con anche installazione di regolatore di flusso;
- Impiego di lampade ad Ioduri da 60 W con declassamento della categoria illuminotecnica, come permesso dall'attuale normativa nel caso di impiego di lampade ad elevata resa cromatica;
- Come caso precedente, con anche installazione di alimentatori bi-regime.

La seguente Tabella 17 riporta i principali dati tecnico-economici dei casi allo studio:

Tabella 17: Costi e consumi degli interventi

| Intervento | Investimento | Consumi | Costo energia | Costo totale orario |
|--------------------------------------|--------------|------------|---------------|---------------------|
| | [€] | [kWh/anno] | [€/anno] | [€/h] |
| Nuovo impianto con SAP 100 W | 48.729,6 | 31.046,4 | 4.843,2 | 1,64 |
| Idem c.s. con regolatore | 57.329,6 | 20.549,8 | 3.205,8 | 1,31 |
| Nuovo impianto con Iod. 60 W | 69.311,1 | 19.484,4 | 3.039,6 | 1,93 |
| Idem c.s. con alimentatore bi-regime | 75.376,4 | 15.231,8 | 2.376,2 | 1,90 |

Dal confronto fra casi omologhi di Tabella 17 e Tabella 15, riguardanti l'installazione di lampade al sodio con e senza regolatore di flusso, è possibile osservare come la realizzazione di nuovi impianti consenta di ottimizzare le interdistanze fra i punti-luce, fino ad ottenere circa il 9% di risparmio di energia rispetto alle corrispondenti configurazioni di retrofit, che risultano viceversa vincolate dalla necessità di riutilizzare i sostegni preesistenti. Nell'ultima colonna di Tabella 17 sono inoltre riportati i costi totali¹⁶ per ora di funzionamento dell'impianto dalla quale si desume che la soluzione di minimo costo è rappresentata dall'impianto con lampade al Sodio da 100 W e regolatore di flusso, il quale grazie alla consistente riduzione di consumo permette di abbattere sensibilmente il costo unitario e recuperare il maggior onere iniziale rispetto alla medesima soluzione priva di regolatore. Può altresì essere osservato che le rimanenti alternative con lampade ad Ioduri, con e senza alimentatore bi-regime, consentono ulteriori risparmi di energia e di costo relativo, necessitano tuttavia di cospicui investimenti iniziali che li rendono economicamente non competitivi. Il costo orario complessivo risulta infatti decisamente elevato, con un leggero vantaggio, anche in questo caso, per la soluzione con regolatore che fra l'altro presenta i consumi minori; si ritiene pertanto che tali interventi possono pertanto essere meglio giustificati in presenza di eventuali incentivi¹⁷ in grado di abbattere l'investimento iniziale e ridimensionare i tempi di recupero del costo aggiuntivo.

¹⁶ Comprensivi di tutti gli oneri di impianto ed esercizio riferiti al tempo di funzionamento, in prima approssimazione si sono trascurati per semplicità i costi di capitale.

¹⁷ Derivanti ad esempio dall'ammissibilità al meccanismo dei Certificati Bianchi.

11 CONCLUSIONI

Diversi sono i soggetti coinvolti nel processo di realizzazione e gestione del servizio di illuminazione pubblica. Insieme agli esecutori coinvolti nella progettazione, installazione, manutenzione e gestione dei sistemi di illuminazione, ai soggetti fornitori di energia che agiscono nel libero mercato dell'energia, ai portatori di interessi collettivi, ai legislatori e anche ai fruitori finali, che sono i cittadini utilizzatori della migliore illuminazione al minor consumo energetico, troviamo innanzitutto gli enti locali che in prima persona rappresentano i finanziatori degli interventi di pubblica illuminazione da realizzare. Trattasi di solito di Comuni e Province che, pagando direttamente la realizzazione e la gestione del servizio di illuminazione, hanno il compito di garantire i livelli di sicurezza richiesti dalle norme vigenti, nonché di favorire la migliore fruibilità e la valorizzazione delle diverse aree del territorio durante le ore serali e notturne.

Le presenti Linee Guida, sintetizzano le principali considerazioni ed aspetti, tratti dallo studio svolto nel Progetto (Rif. [1]), rivolgendosi, appunto, alle amministrazioni degli enti locali – Comuni e Province - che sono i principali soggetti pubblici coinvolti nelle scelte relative alla realizzazione e/o riaménagemento di impianti di pubblica illuminazione su aree esterne, nonché alla loro pianificazione territoriale nel tempo.

I requisiti prestazionali richiesti ad un impianto di illuminazione variano a seconda delle destinazioni d'uso dell'area o rete stradale: ad esempio, nell'illuminazione stradale è essenziale garantire la sicurezza al traffico veicolare; nell'illuminazione di aree monumentali, lo scopo è principalmente o anche esclusivamente quello di valorizzare il monumento stesso.

La norma UNI 11248:2007, recentemente emessa, rappresenta un documento di riferimento che individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione per contribuire alla sicurezza degli utenti delle strade. Oltre ad indicare come classificare una zona destinata al traffico, fornendo la procedura per la determinazione delle categorie illuminotecniche, la norma identifica gli aspetti che condizionano l'illuminazione stradale e, attraverso opportune valutazioni dei rischi, permette il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.

Nelle Linee Guida sono state fornite sia raccomandazioni, che indicazioni per tutti coloro che, seppur non completamente specialisti del settore, si vengono a trovare ad operare su sistemi più o meno complessi di illuminazione di spazi pubblici, quali: strade, piazze, percorsi ciclo-pedonali, aree a verde, variamente attrezzate, parcheggi, ecc.. Tutti sistemi in continua e rapida evoluzione, vista la velocità con cui la tecnologia propone nuove soluzioni nel settore illuminotecnico, che in breve tempo si tramutano in prodotti innovativi sul mercato.

Tale Guida, seppur non esaustiva, vuole supportare gli amministratori nell'individuazione sia dei problemi dell'illuminazione stradale, che dei benefici derivanti da una progettazione efficace ed efficiente, nonché fornire buone pratiche da adottare durante la realizzazione di interventi energeticamente e ambientalmente "sostenibili".

Il settore dell'illuminazione pubblica in questi ultimi anni è stato notevolmente rivalutato dalle Amministrazioni Comunali, in quanto strumento utile, se utilizzato in maniera professionale e intelligente, per migliorare la qualità della vita urbana, e per rendere più attraente l'immagine che la città offre ai suoi cittadini e visitatori. Inoltre, le problematiche relative alla gestione e manutenzione, visti i crescenti costi e la necessità di fornire un servizio qualitativamente elevato, richiedono un'analisi sempre più attenta da parte degli amministratori che si trovano a gestire gli impianti.

Nella Guida unitamente alle principali informazioni inerenti gli elementi che caratterizzano un impianto di illuminazione, sono stati forniti diversi consigli illuminotecnici derivati dall'esecuzione di diverse tipologie di impianto e alcune importanti raccomandazioni nella progettazione di impianti, nella loro realizzazione e anche nei necessari periodici interventi di manutenzione. Nella parte finale è stata data particolare enfasi a casi pratici di razionalizzazione energetica degli impianti, sia esistenti che nuovi, riportando anche considerazioni sulle diverse migliori soluzioni progettuali.

Nella progettazione o nel rifacimento degli impianti di illuminazione, oltre ai costi di realizzazione o d'intervento, assumono infatti estrema importanza i costi di gestione. Considerando tutte le voci di costo nell'arco della vita utile dell'impianto, è possibile valutare attraverso indicatori come il "payback time" (tempo di ritorno dell'investimento) la soluzione più conveniente. I diversi esempi descritti hanno voluto rappresentare soluzioni progettuali di riferimento al fine di fornire una casistica utile a tutti coloro che, seppur non completamente specialisti del settore, si trovano ad operare in queste scelte.

Si auspica che questa Guida, faciliti l'interazione fra l'amministratore, o il funzionario tecnico comunale e il progettista incaricato della progettazione dell'impianto di illuminazione di una strada, al fine di individuare congiuntamente la soluzione impiantistica ottimale sotto i diversi punti vista a tutto beneficio della collettività: la qualità del risultato, il rispetto dei tempi di progettazione e di esecuzione dei lavori, l'osservanza dei vincoli di bilancio, la minimizzazione dei consumi energetici, e la riduzione dei flussi luminosi non necessari.

E' necessario sottolineare, infine, che a monte di ciascun intervento di razionalizzazione di impianti di illuminazione pubblica ci deve essere sempre una progettazione professionale e curata, rispettosa della normativa vigente e delle aspettative degli utilizzatori, e che i risultati migliori in termini di risparmio energetico si possono ottenere mediante l'impiego dei materiali e delle apparecchiature più adeguate all'applicazione specifica, scelte ovviamente tra quelle che il mercato e la tecnologia mettono a disposizione.

12 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] “Ricerca di Sistema per il settore elettrico, Terzo Periodo, Progetto “Razionalizzazione dell’Illuminazione Pubblica” – Area Usi Finali”
- [2] *Guida per l’efficienza energetica nell’illuminazione pubblica ed artistica*, Enel –Anci
- [3] *Brevi note di illuminotecnica* - Introduzione agli elementi teorici e fisici alla base della progettazione illuminotecnica Informazioni & Progetti DISANO Illuminazione.
- [4] *Illuminazione Pubblica - Vademecum sulle tecnologie del risparmio energetico* / MAP – MATT, APAT, RENAEL
- [5] *Guida tecnica relativa alle problematiche della tecnica dell’illuminazione, in funzione del contenimento dell’inquinamento luminoso* - APAT
- [6] *Illuminazione stradale* - Sicurezza ed efficienza; documentazione topten.ch
- [7] Comune di Lograto (BS): *Piano della Luce di Lograto*
- [8] Autorità per l’energia elettrica e il gas “*Primo Rapporto annuale sul meccanismo dei titoli di efficienza energetica. Situazione al 31 maggio 2006*”

13 SITI WEBLIOGRAFICI

- [9] www.aidiluce.it - AIDI - Associazione italiana dell’illuminazione
- [10] www.assil.it - ASSIL - Associazione Nazionale Produttori Illuminazione
- [11] www.apil.it - APIL - Associazione Professionisti dell’Illuminazione
- [12] www.cie.co.at - Commission Internationale de l’Eclairage / International Commission on Illumination
- [13] www.osram.it - OSRAM GmbH
- [14] www.philips.it – Philips Lighting spa
- [15] www.disano.it - DISANO Illuminazione spa
- [16] www.voltimum.it – Voltimum, progetto Europeo
- [17] www.siderpali.it - Siderali spa – Pali e torri faro nella Pubblica illuminazione
- [18] www.neri.biz - Neri (Targetti Poulsen Group) Illuminazione e arredo urbano
- [19] www.irem.it – Irem spa – stabilizzatori di tensione, regolatori di flusso luminoso
- [20] www.sviluppoeconomico.gov.it - Ministero dello Sviluppo Economico
- [21] www.enel.it/enelsole/ - Enel Sole, società di Enel
- [22] www.federelettrica.it – Federelettrica - Federazione Naz. Imprese Locali dei Servizi Elettrici
- [23] www.ors.regione.lombardia.it – Regione Lombardia/Osservatorio Servizi Pubbl Utilità/Energia
- [24] www.renael.net - RENAEL (Rete Nazionale delle Agenzie Locali per l’Energia
- [25] www.eu-greenlight.org/ - THE EUROPEAN GREENLIGHT PROGRAMME An initiative promoted by the European Commission.
- [26] www.fire-italia.it - FIRE - Federazione Italiana per l’uso Razionale dell’Energia
- [27] www.autorita.energia.it/ - Autorità per l’energia elettrica e il gas

14 APPENDICE A - ELEMENTI DI ILLUMINOTECNICA

14.1 La Luce

Dal punto di vista fisico la luce viene definita come un fenomeno di natura energetica.

La luce è un particolare segnale elettromagnetico, o meglio una ristretta banda dello spettro elettromagnetico formata da lunghezze d'onda che vanno da 380nm⁽¹⁸⁾, a 780nm⁽¹⁹⁾, lunghezze d'onda alle quali la retina umana è sensibile. Questo segnale si genera nei corpi come conseguenza delle oscillazioni delle cariche che lo costituiscono, le quali generano campi elettrici e magnetici.

La luce, essendo un'onda, è caratterizzata da:

- ◆ **frequenza ν** . è il numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo
- ◆ **lunghezza d'onda λ** . distanza tra due massimi
- ◆ **periodo T** . tempo per percorrere un'oscillazione completa $T = 1/\nu$

Individuando con $c = 299,79 \times 10^6$ m/s la velocità della luce nel vuoto si ha:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

Ricordiamo che lo spettro di emissione dei corpi condensati è continuo, mentre quello dei gas o corpi aeriformi è uno spettro discreto o discontinuo. Inoltre, l'energia raggiante dipende dalla direzione di emissione:

$$J_\alpha = J_0 \cos \alpha \Rightarrow J = \int_0^{2\pi} J_u d\Omega$$

L'intensità della luce è caratterizzata in primo luogo dalla quantità di energia trasportata dalla luce stessa. La branca dell'ottica che si occupa della misurazione dell'intensità luminosa e delle sorgenti della luce si chiama **radiometria**.

Si utilizzano due tipi di unità di misura:

- radiometriche: tengono conto delle caratteristiche energetiche;
- fotometriche: tengono conto solo dalla componente visibile.

La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ha proposto la terminologia, le unità di misura ed i simboli per le grandezze sia radiometriche che fotometriche. Queste sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 18: Grandezze Illuminotecniche e relative unità di misura

| grandezze | | unità radiometriche | unità fotometriche |
|--------------------|------------|------------------------|---------------------------------|
| flusso luminoso | Φ | watt | lumen (lm) |
| illuminamento | E | watt/m ² | lux (lm/m ²) |
| radianza | I | watt/ m ² | lux s.b. (lm/m ²) * |
| intensità luminosa | I_α | watt/ sr | candela (cd) |
| luminanza | L | watt/m ² sr | cd/m ² |

Lo steradianne (sr) è l'unità di misura dell'angolo solido.

¹⁸ Il **nanometro** (simbolo nm) è un'unità di misura di lunghezza, corrispondente a 10⁻⁹ metri (cioè un milionesimo di millimetro, equivalente ad un miliardesimo di metro)

¹⁹ Per esprimere le lunghezze d'onda della luce visibile dall'occhio umano in particolare sono indistintamente utilizzate tre unità di misura: i micron, i nano millimetri e gli Armgstron.

1 Micron = 1000 Nano Millimetri = 10.000 Armgstron

14.2 Il fenomeno della visione

L'occhio è l'organo periferico della visione, che ha la duplice funzione di ricevitore del messaggio luminoso e di processore dello stesso per la sua trasmissione al cervello (che ne è l'interprete finale). La sensibilità dell'occhio è massima per la lunghezza d'onda di circa 555 nm (colore giallo-verdastro), posta al centro del campo di visibilità e tende ad annullarsi agli estremi (380-780 nm).

Le lunghezze d'onda utili ai fini della visione coprono un campo molto limitato dello spettro di emissione termica di un corpo nero, quale può essere considerato, per esempio, il sole o una lampada ad incandescenza, la cui emissione è concentrata prevalentemente nell'infrarosso (nel caso del sole anche nell'ultravioletto). Nella Figura 60 è mostrato come si modifica la curva di visibilità quando l'intensità della radiazione diventa particolarmente debole (visione scotopica); in questo caso il massimo della sensibilità dell'occhio si ha per una sorgente monocromatica di colore azzurro-verdastro. Il passaggio tra queste due modalità di funzionamento dell'occhio è dovuto alla disattivazione, in caso di luce scarsa dei recettori denominati "coni", specializzati nella visione dei colori, a vantaggio dei "bastoncelli", la cui maggiore sensibilità alla luce si paga con l'incapacità di distinguere le diverse lunghezze d'onda della radiazione luminosa.

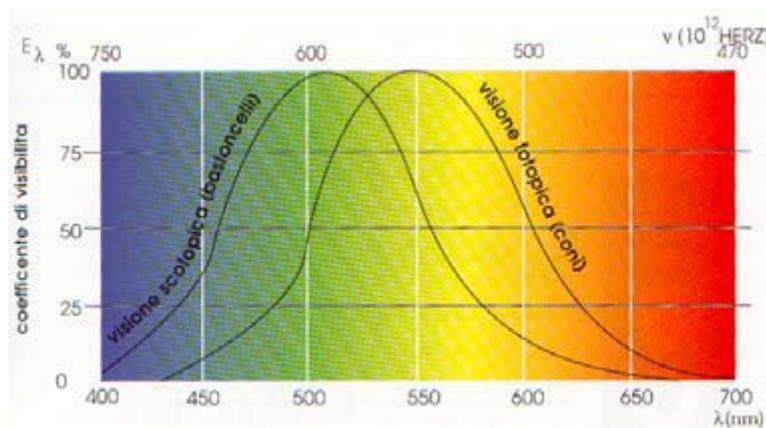


Figura 60: Curva di visibilità dell'occhio

14.3 L'occhio CIE

L'occhio umano presenta pertanto una diversa sensibilità alla radiazione a seconda della lunghezza d'onda. Nel 1931 la Commissione Internazionale d'Illuminazione (CIE - Commission Internationale de l'Eclairage) ha definito le caratteristiche convenzionali di un "occhio medio" e le relative curve di visibilità da utilizzare come riferimento in illuminotecnica (Figura 61).

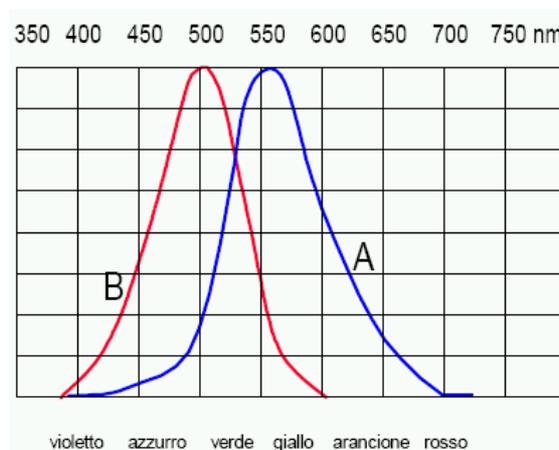


Figura 61: Sensibilità dell'occhio umano al variare della lunghezza d'onda (colore)

Nel precedente grafico di Figura 61 in ascissa è riportata la lunghezza d'onda (λ) in nm; in ordinate il coefficiente di visibilità $V(\lambda)$ variabile nel campo 0-1.

Questa definizione ha consentito di individuare il valore massimo di visibilità relativa per radiazioni di lunghezza d'onda pari a 555 nm per la visione fotopica (Curva A) e di 507 nm per quella scotopica (Curva B).

14.4 La Visibilità

La visibilità $V(\lambda)$ rappresenta le modalità secondo le quali si manifesta la risposta del sistema visivo umano quando la retina è investita dalle radiazioni delle diverse lunghezze d'onda dello spettro visibile.

Per stabilire come varia la sensibilità dell'occhio umano al variare della lunghezza d'onda, si ricorre ad indagini statistiche. Una volta stabilita per quale lunghezza d'onda si ha la massima risposta, si determina la massima visibilità $V_m = V(\lambda_{MAX})$. Questa si ha in corrispondenza della lunghezza d'onda $\lambda = 555\text{nm}$.

Si definisce **coefficiente di visibilità**:

$$v(\lambda) = \frac{V(\lambda)}{V_m} \quad 0 \leq v(\lambda) \leq 1$$

14.5 Principali grandezze fotometriche

Avendo definito la luce in termini di energia radiante sembrerebbe corretto utilizzare unità di misura appartenenti alla radiometria. L'illuminotecnica utilizza invece grandezze e metodi derivanti dalla fotometria che quantifica la luce non in termini assoluti ma in termini di stimolazione visiva.

Le grandezze fotometriche misurano quindi la quantità di energia radiata nello spettro visibile non in maniera assoluta ma in maniera relativa rispetto alla sensibilità spettrale dell'occhio CIE.

Di seguito vengono descritte le grandezze principali per la misurazione della luce, suddividendole tra grandezze relative alla sorgente luminosa (flusso luminoso, intensità luminosa, temperatura di colore e Indice di Resa Cromatica) e quelle che caratterizzano l'ambiente illuminato (illuminamento e luminanza).

Per facilitare la comprensione delle definizioni che seguono, verranno utilizzati alcuni esempi che sfruttano l'analogia che esiste tra la luce emessa da una sorgente luminosa puntiforme e l'acqua emessa da un ugello sprinkler. Ciò permette di dare una certa materialità alla luce che sarebbe altrimenti difficilmente rappresentabile.

14.5.1 Grandezze relative le sorgenti luminose

14.5.1.1 Flusso luminoso

Il **Flusso luminoso** (Φ) è la grandezza che definisce la quantità di luce emessa nell'unità di tempo da una sorgente luminosa o, come accade nel contesto dell'illuminazione, da un apparecchio.

L'unità di misura è il lumen (lm), che è definito come il flusso luminoso emesso nell'angolo solido unitario (1sr) da una sorgente puntiforme posta al centro di una sfera di intensità luminosa pari a 1 candela (1cd) in tutte le direzioni.

Poiché il flusso luminoso si riferisce ad una quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo corrisponde dimensionalmente ad una potenza (energia/unità di tempo).

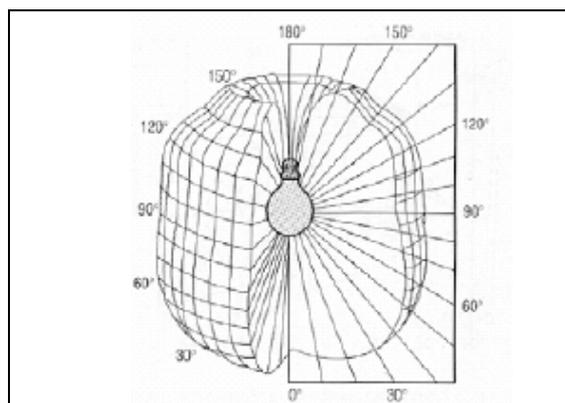


Figura 62: Flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme

L'equivalente idraulico del flusso luminoso è dato dalla quantità di acqua emessa da un ugello sprinkler nell'unità di tempo (misurata in litri per minuto) (Figura 63).

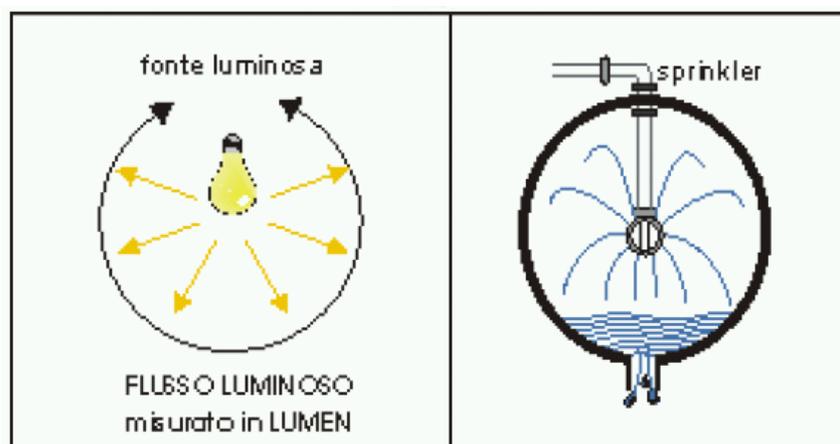


Figura 63: L'analogia idraulica del flusso luminoso

Il flusso luminoso è la grandezza a cui reagisce l'occhio umano. Esso si può calcolare anche in modo diverso, e cioè come il prodotto della visibilità dovuta ad una determinata lunghezza d'onda per la potenza trasportata dall'onda stessa $\Phi = V(\lambda) P_L$. Quindi il fenomeno luminoso dipende dalla potenza di emissione della lampada, e quindi dall'energia che le viene fornita, ma anche dalla visibilità, ossia dalle caratteristiche della lampada stessa.

Se $\varepsilon(\lambda)$ è la potenza fornita per unità di lunghezza d'onda, il flusso luminoso dovuto a tutte le lunghezze d'onda comprese in un certo intervallo è dato da:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda = V_m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} v(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda$$

Il Controllo del flusso luminoso diretto costituisce di fatto lo strumento imposto dalla normativa regionale per definire le più corrette modalità di illuminazione, in modo che gli impianti di illuminazione possano essere considerati a ridotto inquinamento luminoso e a risparmio energetico (si veda ad esempio la Legge Regionale Lombardia N.17/2000, articolo 6, comma 2 e deliberazione della Giunta Regionale Lombardia N.7/6162, articolo 5 - Criteri comuni).

14.5.1.2 Efficienza luminosa

Un'interessante estensione del concetto di flusso luminoso come potenza è il concetto di efficienza luminosa. Quando si parla infatti di sorgenti luminose, per quantificare la luce emessa comunemente ed erroneamente si ricorre ai watt; in realtà la potenza elettrica, appunto espressa in watt (W), indica la quantità di energia assorbita dalla sorgente luminosa e non tanto la luce resa.

L'**efficienza luminosa** (η) è il rapporto tra il flusso luminoso (Φ) emesso da una sorgente e la potenza elettrica assorbita dalla stessa (P , espressa in Watt) impiegata per determinare tale flusso ed è espressa in lumen/W.

$$\eta = \Phi / P$$

Attraverso questa cifra è possibile valutare il risparmio di energia che una lampada può dare in confronto ad un'altra. Nella Tabella 19 sono riportati per alcune tipologie di lampade di diversa potenza elettrica sia il flusso luminoso in lumen che l'efficienza luminosa calcolata come relativo rapporto.

Tabella 19: Esempi di lampade con flusso e efficienza

| TIPO DI LAMPADA | POTENZA W | FLUSSO Lumen | EFFICIENZA lumen/watt |
|---|--------------|-----------------|--------------------------|
| Lampada Alogena | 300 | 5000 | 17 |
| Lampada a vapori di mercurio con bulbo fluorescente | 125 | 6300 | 50 |
| Lampada a LED (2008) | 12 | 650 | 54 |
| Lampada fluorescente compatta | 24 | 1800 | 75 |
| Lampada fluorescente lineare (tubolare) | 36 | 3350 | 93 |
| Lampada a vapori di alogenuri | 2000 | 180000 | 90 |
| Lampada a vapori di sodio alta pressione (tubolare) | 400 | 48000 | 120 |
| Lampada a vapori di sodio bassa pressione | 90 | 13500 | 150 |

Il valore dell'efficienza luminosa indica quindi quanta luce viene emessa per unità di potenza della sorgente luminosa; esprime cioè l'efficienza di una lampada ed è una funzione variabile con il tipo di lampada.

Di seguito sono elencate le classi di variabilità dell'efficienza luminosa per alcune classi tipologiche di lampade:

- Per lampade ad incandescenza è pari a circa 12 - 22 lm/W (incluse alogene)
- Per lampade a mercurio 40 - 60 lm/W
- Per lampade agli alogenuri 60 - 100 lm/W
- Per lampade al sodio ad alta pressione 70 - 150 lm/W
- Per lampade al sodio a bassa pressione 100 - 180 lm/W

Come si vede scorrendo la lista, le lampade più efficienti sono quelle al sodio a bassa pressione, seguite da quelle ad alta pressione, quelle agli alogenuri poi quelle al mercurio per arrivare infine a quelle ad incandescenza che sono le peggiori da punto di vista dell'efficienza luminosa.

Prendendo in considerazione anche le lampade a LED, che sono attualmente in fase di notevole miglioramento tecnologico, la variabilità delle efficienze raggiunte sono le seguenti:

- Per lampade a LED (commercializzate nel 2008) 50 - 70 lm/W
- Per lampade a LED (prototipi di laboratorio) 110-140 lm/W

Per ridurre l'impatto sull'ambiente dell'illuminazione, una chiave è quella di disporre di fonti luminose ad alta efficienza, cioè che producano per ogni Watt consumato il massimo flusso luminoso possibile.

14.5.1.3 Intensità luminosa

Esprime la quantità di energia luminosa che è emessa da una sorgente (flusso luminoso) in una determinata direzione (angolo α).

Si definisce intensità luminosa (I) della sorgente (s) nella direzione individuata da OA , il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla sorgente entro l'angolo solido infinitesimo $d\Omega$ che contiene la direzione OA , e l'ampiezza dell'angolo stesso.

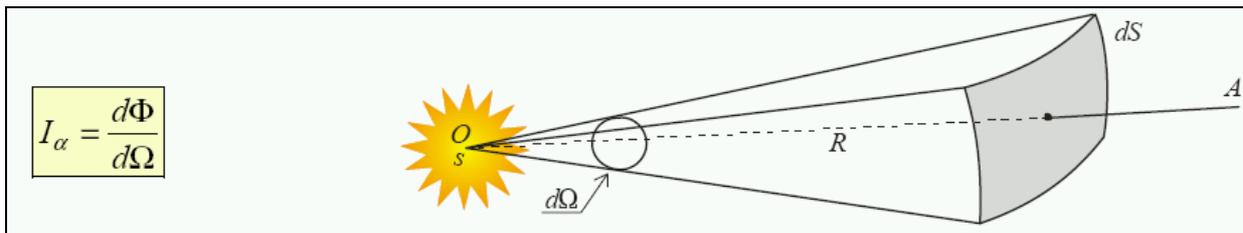


Figura 64: Intensità luminosa

L'unità di misura è la candela (cd).

In pratica l'intensità luminosa non è altro che la densità di flusso in una certa direzione. L'intensità luminosa è importante in quanto costituisce la parte più importante della curva fotometrica.

L'analogia idraulica è data dalla quantità d'acqua emessa da un ugello sprinkler, in un cono angolare di dimensioni note (Figura 65).

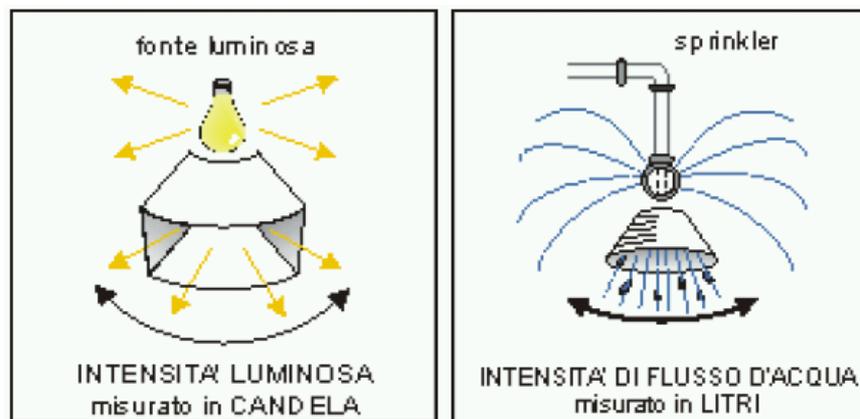


Figura 65: L'analogia idraulica dell'intensità luminosa

14.5.2 Definizioni relative le sorgenti luminose

La luce non è sempre uguale. Può essere più o meno bianca, fredda oppure calda.

I colori degli oggetti appaiono differenti, variando il tipo di sorgente luminosa utilizzata. Per giudicare e classificare le lampade da un punto di vista qualitativo vengono utilizzati due parametri molto importanti:

- ◆ Indice di resa dei colori;
- ◆ Temperatura di colore.

14.5.2.1 Indice di resa cromatica

L'Indice di resa cromatica (Ra^{20} , Rendering average) quantifica la capacità di una sorgente di fare percepire i colori degli oggetti illuminati. La quantificazione avviene per confronto con una sorgente di riferimento e valuta l'alterazione, o meno, del colore delle superfici illuminate percepito nelle due condizioni.

Diversamente da quanto avviene con lampade ad incandescenza, con le lampade a scarica si possono verificare delle significative distorsioni cromatiche.

Il valore massimo dell'indice di resa cromatica è 100 e si verifica quando non vi è differenza di percezione del colore sotto la sorgente analizzata e con la sorgente di riferimento.

Tabella 20: Valori di Indice di Resa Cromatica

| Sorgente luminosa | CRI |
|-----------------------------------|-------|
| Lampada al sodio | 0-25 |
| Lampada al mercurio a luce bianca | 45 |
| Tubo fluorescente "warm white" | 55-73 |
| Tubo fluorescente "cool white" | 65-86 |
| LED (2006) | 80 |
| Lampada agli alogenuri metallici | 85-93 |
| Lampada ad incandescenza 100 W | 100 |

14.5.2.2 Temperatura di Colore

La Temperatura di colore, espressa in gradi Kelvin (K)⁽²¹⁾, è un parametro utilizzato per individuare e catalogare, in modo oggettivo, il colore della luce di una sorgente luminosa confrontata con la sorgente campione (il corpo nero). Dire che una lampada ha una temperatura di colore pari a 3000 K, significa che il corpo nero, a questa temperatura, emette luce della stessa tonalità.

Si potrebbe dire che la temperatura è un elemento di scelta qualitativo ed ha un'importanza fondamentale nell'installazione di apparecchi di illuminazione.

Le sorgenti luminose sono suddivise in tre gruppi, a seconda della temperatura di colore:

- ◆ Da 3000 a 3500 K: colore bianco caldo
- ◆ Da 4000 a 5000 K: colore bianco neutro
- ◆ Da 5500 a 7000 k: colore bianco freddo.

La temperatura di colore non deve essere confusa con l'indice di resa dei colori, in quanto la prima indica il colore della luce emessa, ma non ci dice nulla riguardo la sua capacità di rendere i colori.

Nella tabella sottoriportata sono indicate le temperature colore di alcune sorgenti luminose.

²⁰ Al posto di Ra molte volte è utilizzata la sigla CRI (*Colour Rendering Index*) per esprimere in che modo una sorgente è in grado di riprodurre il colore di un oggetto.

²¹ La temperatura assoluta è basata sul Kelvin. La temperatura del ghiaccio (valore di 273,2 °K) corrisponde a 0 gradi centigradi (0 °C).

Tabella 21: Livelli di temperatura di colore

| Sorgente luminosa | Temperatura di colore [°K] |
|---|----------------------------|
| Cielo blu | 12-20.000 |
| Luce estiva (sole e cielo) | 6500 |
| Lampada allo Xenon | 6400 |
| Tubo fluorescente "daylight" | 6300 |
| Lampada al mercurio | 5900 |
| LED bianchi | 5600 |
| Luce del sole (mezzogiorno, estate, media latitudine) | 5400 |
| Lampada fluorescente per design | 5200 |
| Lampada fluorescente per analisi del colore | 5000 |
| Luce del sole (mattino e tardo pomeriggio) | 4300 |
| Lampada al mercurio | 4000 |
| Luce del sole (1 ora dopo l'alba) | 3500 |
| Tubo fluorescente "cool white" | 3400 |
| LED "warm white" | 3250 |
| Lampada alogena 100 W | 3000 |
| Tubo fluorescente "warm white" | 2950 |
| Lampada incandescenza 100 W | 2870 |
| Lampada incandescenza 40 W | 2500 |
| Lampada al sodio | 2100 |
| Luce del sole (alba, tramonto) | 2000 |
| Fiamma della candela | 1850 - 1900 |
| Fiamma del fiammifero | 1700 |

14.5.3 Grandezze che caratterizzano l'ambiente illuminato

14.5.3.1 Illuminamento

L'illuminamento esprime la quantità di luce che emessa da una sorgente investe una certa superficie.

E' il rapporto tra il flusso incidente sulla superficie e l'area della superficie stessa.

$$E = \frac{d\Phi_{inc}}{dS}$$

L'unità di misura dell'illuminamento è il **lux**, che dimensionalmente si esprime in lm/mq.

Il lux è una misura "relativa" ad un'area: è una densità di luce che colpisce una superficie. L'equivalente idraulico è dato dalla quantità d'acqua che cade sulla superficie in esame nell'unità di tempo.

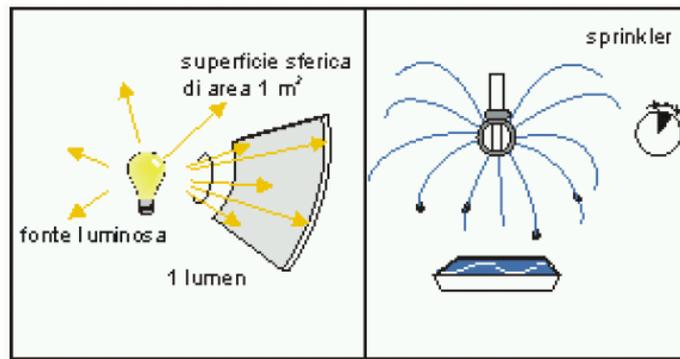


Figura 66: L'analogia idraulica dell'illuminamento

Dalla definizione di illuminamento si ricavano due importanti corollari di natura geometrica che risultano molto utili per comprendere la distribuzione della luce nello spazio:

- nel caso di una sorgente puntiforme la diminuzione del livello di illuminamento su di una superficie varia in relazione al quadrato della distanza dalla fonte. Raddoppiando la distanza dalla fonte il livello di illuminamento sulla superficie diviene quindi 1/4;
- il livello d'illuminamento su di una superficie è massimo quando i raggi luminosi giungono perpendicolari ad essa e diminuisce proporzionalmente al loro angolo d'incidenza secondo la relazione:

$$E = E_n \times \cos \alpha$$

Dove:

- E = Livello d'illuminamento sulla superficie,
- E_n = Illuminamento normale,
- α = angolo d'incidenza tra raggi luminosi e la normale alla superficie.

Nella tabella sotto riportata sono elencati alcuni esempi di illuminamento espressi in lux.

Tabella 22: Livelli di Illuminamento

| Ambiente | Illuminamento [lux] |
|--|---------------------|
| Pieno sole, Cielo sereno | 100.000 |
| Cielo nuvoloso | 10.000 |
| Cielo stellato senza luna | 4 - 10 |
| Illuminazione Stradale media | 5-30 |
| Minimo necessario ai pedoni per evitare ostacoli | 0,2 - 1 |
| Ambiente domestico | 100 - 200 |
| Esercizi commerciali | 200 - 3000 |
| Uffici e scuole | 300 - 2000 |

14.5.3.2 Luminanza o brillantezza

Esprime l'entità della luce emessa da una sorgente di dimensioni estese (primaria o secondaria) nella direzione dell'osservatore.

Si definisce luminanza (L) il rapporto tra l'intensità luminosa di una sorgente nella direzione di un osservatore (I_α) e la superficie emittente *apparente* così come viene vista dall'osservatore stesso.

$$L = dI_{\alpha} / (dA \times \cos \alpha)$$

Dove:

- I è l'intensità in candele,
- A è l'area della sorgente,
- α è l'angolo compreso tra la direzione di osservazione e l'asse perpendicolare alla superficie emittente.

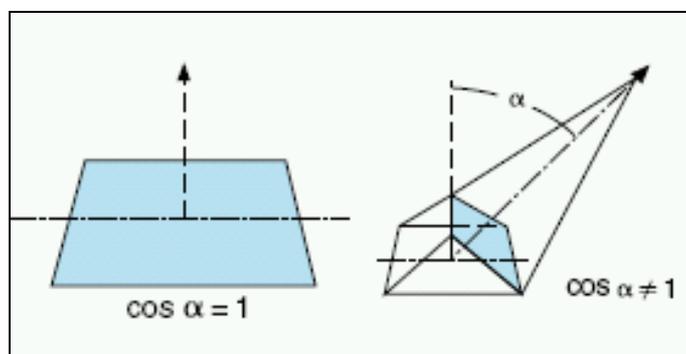


Figura 67: Luminanza

La luminanza si esprime in cd/m^2 .

L'equivalente idraulico è dato dalla quantità d'acqua che rimbalza su di una superficie nella direzione dell'osservatore.

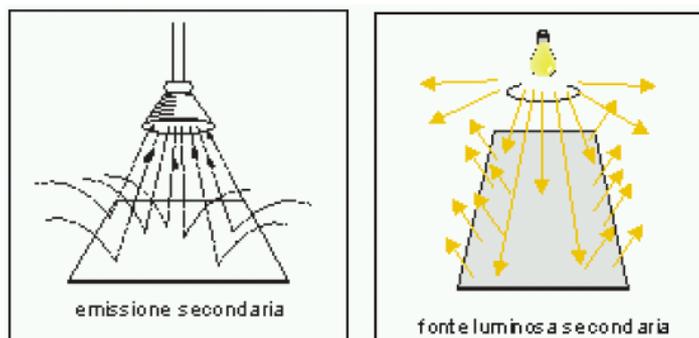


Figura 68: L'analogia idraulica della Luminanza

Nella tabella sotto riportata sono elencati alcuni valori indicativi di luminanze espresse in cd/mq .

Tabella 23: Valori di Luminanze

| Ambiente | Luminanza [cd/m^2] |
|----------------------|---|
| Sole a mezzogiorno | 16×10^9 |
| Sole al tramonto | 6×10^6 |
| Cielo sereno | 8.000 |
| Cielo nuvoloso | 2.000 |
| Terreno a prato | 800 |
| Manto nevoso | $3,2 \times 10^4$ |
| Candela stearica | 5000 |
| INC 60W bulbo chiaro | 5×10^6 |
| FL 18W | 4000 |
| JM 70W | $1,5 \times 10^7$ |

Nella successiva Figura 69 è riportata l'illustrazione della luminanza di una sorgente primaria (lampada) e quella secondaria dovuta dalla superficie illuminata, nonché il flusso luminoso che determina l'illuminamento sulla superficie.

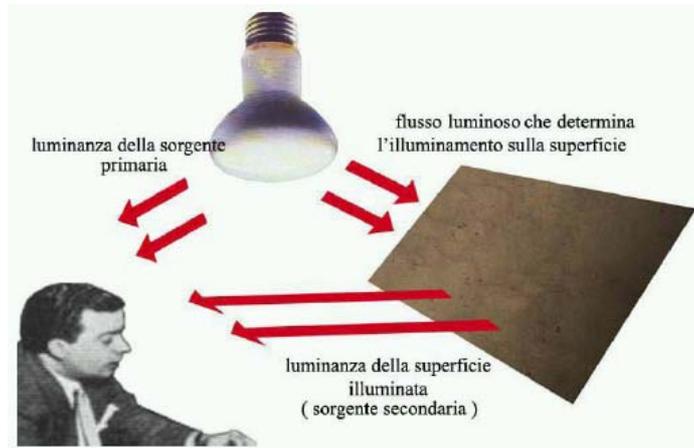


Figura 69: Luminanza di una sorgente primaria (lampada) e una secondaria (superficie illuminata)

14.6 Altre grandezze e definizioni

14.6.1 Radianza o Luminosità

La radianza l è il rapporto tra il flusso emesso dalla superficie illuminata o luminosa Φ_{em} e la sua area S .

$$l = \frac{d\Phi_{em}}{dS}$$

Come si può notare, radianza e illuminamento sono due grandezze fisicamente uguali. La prima, però, si usa per i corpi luminosi, mentre la seconda per i corpi illuminati.

La luminosità si misura in **LAMBERT (lm/mq)**; 1 Lambert è il flusso luminoso di 1 Lumen emesso in un emisfero da un'area unitaria (1mq) della superficie raggiante.

14.6.2 Rendimento Luminoso

Si definisce con rendimento luminoso (LOR, Light Output Ratio) il rapporto tra il flusso emesso (Φ_{em}) dall'apparecchio ed il flusso totale (Φ_{tot}) della lampada.

$$LOR = \frac{\Phi_{em}}{\Phi_{tot}}$$

Essendo il rendimento un rapporto tra due grandezze omogenee esso è adimensionale e generalmente viene espresso in termini percentuali.

Indica la quantità di luce emessa da una sorgente luminosa che viene distribuita nello spazio attraverso l'apparecchio di illuminazione. Questa grandezza può risultare un elemento utile nella valutazione di un apparecchio di illuminazione.

14.6.3 *Curve fotometriche*

Si definisce curva fotometrica il luogo geometrico delle posizioni occupate dalla punta del vettore I_{α} (avente intensità $d\Phi/d\Omega$) quando vi sono simmetrie nell'energia emessa dalla sorgente.

Si definisce **solido fotometrico** il luogo geometrico delle posizioni occupate dalla punta del vettore I_{α} quando la sorgente luminosa non possiede simmetria.

L'unità fondamentale del sistema assoluto fotometrico è la **candela**.

14.6.4 *Vita media*

Con il termine "Vita media" viene definito "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, il numero e la frequenza di accensioni e, in caso di lampade a scarica, le sollecitazioni meccaniche.

14.6.5 *Sorgente luminosa*

Si definisce «sorgente luminosa» qualsiasi corpo illuminante o insieme di corpi illuminanti che, diffondendo luce in modo puntiforme o lineare o planare, illumina aree, fabbricati, monumenti, manufatti di qualsiasi natura ed emergenze naturali.

14.6.6 *Visione fotopica, mesopica, scotopica*

La principale distinzione tra bastoncelli e coni (i fotorecettori della retina) riguarda la loro risposta ai livelli di luminanza: i bastoncelli rispondono a bassi livelli di luminanza, anche inferiore ad 1 cd/m^2 ; i coni rispondono ad livelli di luminanza superiori. Questo consente di distinguere tre tipi di visione:

1. **visione scotopica** quando i soli bastoncelli sono attivi;
2. **visione mesopica** quando sono attivi sia bastoncelli che coni;
3. **visione fotopica** quando sono attivi solo i coni.

Visione fotopica

Anche: visione diurna. Vista con adattamento a luminanze superiori a 3 cd/m^2 . La visione fotopica ha luogo mediante i coni, e si concentra quindi nella regione della fovea. La nitidezza è elevata e si possono percepire i colori.

Visione mesopica

Condizione di transizione dalla visione diurna fotopica, mediante i coni, alla visione notturna scotopica, mediante i bastoncelli. La percezione dei colori e la nitidezza hanno di conseguenza valori intermedi. La visione mesopica ha luogo con luminanze tra $0,01 \text{ cd/m}^2$ e 3 cd/m^2

Visione scotopica

Anche: visione notturna. Vista con adattamento a luminanze inferiore a $0,01 \text{ cd/m}^2$. La visione scotopica avviene utilizzando i bastoncelli, interessa quindi soprattutto le parti periferiche della retina. La nitidezza è limitata e non si possono percepire i colori; d'altra parte la sensibilità al movimento degli oggetti percepiti è elevata.

15 APPENDICE B – RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI

15.1 Leggi STATALI

- [1] *Decreto legislativo n. 285 del 30/4/1992: "Nuovo Codice della Strada", (G.U. n. 114, Suppl. ordinario 18/5/1992) e ss.mm.ii.*
- [2] *Decreto Presidente Repubblica n. 495 del 16/12/1992: "Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada"*
- [3] *Decreto legislativo 360/93: "Disposizioni correttive ed integrative del Codice della Strada" approvato con Decreto legislativo n. 285 del 30-4-1992*
- [4] *Direttiva Ministeriale LLPP 12/04/95 "Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani Urbani del traffico" (Suppl. ordinario n. 77 alla G.U n. 146 del 24 giugno 1995 – Serie generale).*
- [5] *Decreto Legislativo 6 novembre 2007, n. 201, "Attuazione della direttiva 2005/32/CE relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia"*
- [6] *Decreto Ministeriale LL. PP. del 5 novembre 2001 – "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"*

15.2 Leggi REGIONALI

- [7] *Regione Veneto, Legge Regionale 27 giugno 1997, n. 22, "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso".*
- [8] *Regione Valle d'Aosta, Legge Regionale 28 aprile 1998, n. 17. "Norme in materia di illuminazione esterna".*
- [9] *Regione Toscana, Legge Regionale 21 marzo 2000 n. 37. "Norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso".*
- [10] *Regione Toscana, Legge Regionale Legge Regionale n. 39 del 24 febbraio 2005, "Disposizioni in materia di energia".*
- [11] *Regione Piemonte, Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 31. "Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche".*
- [12] *Regione Piemonte, Legge Regionale 23 marzo 2004, n. 8. "Modificazioni alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizioni per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche). Ecologia".*
- [13] *Regione Lombardia, Legge Regionale 27 Marzo 2000, N. 17. "Misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso".*
- [14] *Regione Lombardia. Decreto direttore generale D. G. Reti e servizi di pubblica utilità e sviluppo sostenibile. 3 agosto 2007 - n. 8950, Legge regionale 27 marzo 2000, n. 17 – Linee guida regionali per la redazione dei piani comunali dell'illuminazione".*
- [15] *Regione Basilicata, Legge Regionale n.41 del 10-04-2000. "Inquinamento luminoso e conservazione della trasparenza e stabilità atmosferica dei siti di ubicazione di stazioni astronomiche".*

- [16] Regione Lazio, Legge Regionale 13 aprile 2000, n. 23, "Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso - Modificazioni alla legge regionale 6 agosto 1999, n. 14".
- [17] Regione Marche, Legge Regionale n. 10 del 24 Luglio 2002, "Misure urgenti in materia di risparmio energetico e contenimento dell'inquinamento luminoso".
- [18] Regione Campania, Legge Regionale n. 12 del 25 luglio 2002, "Norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso e del consumo energetico da illuminazione esterna pubblica e privata a tutela dell'ambiente, per la tutela dell'attività svolta dagli osservatori astronomici professionali e non professionali e per la corretta valorizzazione dei centri storici".
- [19] Regione Emilia Romagna, Deliberazione legislativa n. 113/2003 del 24 settembre 2003, "Norme in materia di riduzione dell'inquinamento luminoso e di risparmio energetico".
- [20] Regione Umbria, Legge Regionale 28 febbraio 2005, n. 20. "Norme in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico".
- [21] Regione Umbria, Regolamento Regionale n. 2 del 5/4/2007 "Regolamento di attuazione della LR 20/2005: Norme in materia di prevenzione dall'inquinamento luminoso e risparmio energetico" - Pubblicato sul B.U.R n. 17 del 18 aprile 2007, suppl.ord. n. 1.
- [22] Regione Abruzzo, Legge Regionale 3 MARZO 2005, n. 12, "Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico".
- [23] Regione Siciliana, Legge Regionale 22 aprile 2005, n. 4, "Norme riguardanti il contenimento dei consumi energetici e il miglioramento dei livelli qualitativi delle abitazioni. Disposizioni volte alla riduzione dell'inquinamento luminoso. Deroga ai regolamenti edilizi comunali per le farmacie".
- [24] Regione Puglia, Legge Regionale n° 15, del 23 Novembre 2005, "Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico".
- [25] Regione Liguria, Legge Regionale 29 Maggio 2007 N. 22, "Norme in materia di energia".
- [26] Regione Friuli Venezia Giulia, LEGGE REGIONALE 18/06/2007, N. 015, "Misure urgenti in tema di contenimento dell'inquinamento luminoso, per il risparmio energetico nelle illuminazioni per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici".
- [27] Regione Sardegna, Legge Regionale 29 maggio 2007, n. 2, "Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale della Regione (legge finanziaria 2007)".
- [28] Regione Sardegna, Deliberazione Giunta Regionale 48-31/07 del 29/11/2007, "Linee guida e modalità tecniche d'attuazione per la riduzione dell'inquinamento luminoso e acustico e il conseguente risparmio energetico (art. 19, comma 1, L.R. 29 maggio 2007, n. 2). Finanziamento agli Enti pubblici. Euro 3.000.000".
- [29] Provincia Torino, Deliberazione Consiglio Provinciale, n. 330414 del 10 febbraio 2004, "Linee Guida per l'applicazione della l.r. 31/2000 - Indirizzi e disposizioni per la prevenzione e la lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche".
- [30] Provincia Autonoma Trento, Legge Provinciale 3 ottobre 2007, n. 16, "Risparmio energetico e inquinamento luminoso".

[31] *Provincia Autonoma Bolzano, Legge Provinciale del 10 giugno 2008, n. 4, art.4 "contributi in conto capitale a sostegno del risparmio energetico e dell'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia".*

15.3 Norme e Raccomandazioni

[32] *AIDI 1993 "Raccomandazioni per l'illuminazione pubblica"*

[33] *AIDI 1998 "Guida per il Piano Regolatore Comunale dell'illuminazione pubblica"*

[34] *CIE Pubblicazione 115:1995: "Recommendations for lighting of roads for motor and pedestrian traffic"*

[35] *CIE Pubblicazione 136-2000: "Guida all'illuminazione delle aree urbane" (in sostituzione della CIE 92:1992)*

[36] *CIE Pubblicazione n. 92:1992 : "Guide to the lighting of urban areas"*

[37] *CIE Pubblicazione 154:2003 "The maintenance of outdoor lighting systems"*

[38] *Norma UNI 10439:2001 "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato"*

[39] *Rapporto tecnico CEN/TR 13201-1:2004 "Illuminazione stradale (Road lighting) – Selezione delle classi di illuminazione"*

[40] *NORMA EN 13201-2:2004 "Illuminazione stradale - Requisiti prestazionali"*

[41] *NORMA EN 13201-3:2004 "Illuminazione stradale – Calcolo delle prestazioni"*

[42] *NORMA EN 13201-4:2004 "Illuminazione stradale – Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche" (recepiscono anche la CIE Pubblicazione 115:1995 "Recommendations for lighting of roads for motor and pedestrian traffic")*

[43] *NORMA UNI 11248:2007 "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche" (in sostituzione della UNI 10439, recepisce il rapporto tecnico CEN/TR 13201-1)*

[44] *Norma UNI 10819:1999 "Impianti di illuminazione esterna. Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso"*

[45] *Norma UNI 11095:2003 "Illuminazione gallerie"*

[46] *UNI EN 12193:2008 "Illuminazione di installazioni sportive"*

[47] *UNI EN 12464-2:2008 "Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2:Posti di lavoro in esterno"*

[48] *Norma CEI 34 – 33 : "Apparecchi di Illuminazione. Parte II : Prescrizioni particolari. Apparecchi per l'illuminazione stradale"*

[49] *Norme CEI 34 relative a lampade, apparecchiature di alimentazione ed apparecchi d'illuminazione in generale*

[50] *Norma CEI 11 – 4: "Esecuzione delle linee elettriche esterne"*

- [51] *Norma CEI 11 – 17: "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo"*
- [52] *Norma CEI 64 – 7: "Impianti elettrici di illuminazione pubblica e similari"*
- [53] *Norma CEI 64 – 8: variante V2 Sezione 714 "Ambienti e applicazioni particolari - Impianti di illuminazione situati all'esterno."*
- [54] *"Impianti a norme CEI – volume 6: Illuminazione Esterna", TNE Maggio 97*