
PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA NEL COMUNE DI BRESCIA



RELAZIONE TECNICA DI PROGETTO

Sommario

1. PREMESSA	3
2 – ANALISI PRELIMINARE	4
2.1 – Caratteristiche delle sorgenti luminose	4
2.2 – Consistenza degli impianti di Illuminazione Pubblica.....	8
3 – PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO	13
3.1 – Obiettivi dell'intervento	13
3.2 – Sostituzione di apparecchi di illuminazione a basso rendimento contenenti lampade a bassa efficienza luminosa.....	15
3.3 – Sostituzione apparecchi obsoleti corredati di sorgenti luminose ad elevata efficienza	16
3.4 – Regolazione del flusso luminoso	17
3.5 – Sistema di telecontrollo.....	19
4 – PROGETTAZIONE DEL PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO	19
5 – REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO.....	20
6 – CARATTERISTICHE ESTETICHE APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE.....	20
6.1 – Verniciatura dei sostegni in acciaio	21
7 – CONCLUSIONI	21
8 – ALLEGATI.....	22
8.1 – Allegato 1: Costo complessivo dell'intervento	22
8.2 – Allegato 2: Abaco classificazione stradale	23
8.3 –Allegato 3: Consistenza impianti al 31/03/2014	25
8.4 –Allegato 4: Tabella corrispondenza Sorgente Scarica – Sorgente Led	29
8.5 –Allegato 5: Esempio di scheda e tavola di progetto	31
8.6 –Allegato 6: Cronogramma degli interventi	34
8.7 – Allegato 7: Specifiche tecniche apparecchi illuminanti con sorgente luminosa LED	35

1. PREMESSA

La richiesta crescente di aumento e miglioramento dei servizi da parte della popolazione residente sembra contrastare con la necessità di ridurre l'inquinamento ambientale e la spesa pubblica.

Esistono in materia direttive che indirizzano le Amministrazioni Comunali verso scelte sostenibili tentando di coniugare innovazione tecnologica e risparmio energetico migliorando la qualità del servizio offerto e contemporaneamente riducendo la cosiddetta bolletta energetica.

L'illuminazione pubblica rappresenta senza dubbio un settore in cui è possibile ottenere un notevole risparmio di energia ed una riduzione dei costi di esercizio; gli impianti, che sono figli dell'epoca in cui sono stati realizzati, non sempre sono al passo coi tempi in termini di tecnologia e ciò è causa di scarsa efficienza del servizio nel suo complesso.

La riduzione dei consumi elettrici per l'alimentazione della rete di illuminazione pubblica consente di diminuire emissioni dannose in atmosfera (CO₂) come previsto dal Protocollo di Kyoto, conseguentemente è necessario che gli impianti abbiano caratteristiche costruttive ed illuminotecniche in grado di raggiungere tale obiettivo.

L'Amministrazione Comunale ed A2A intendono perciò realizzare un programma di efficientamento per la rete di illuminazione pubblica di Brescia, tramite interventi di ristrutturazione e ammodernamento degli impianti esistenti tendenti agli obiettivi di cui sopra.

Nell'analisi preliminare verrà analizzato lo stato di fatto, con particolare attenzione agli impianti che presentano componenti obsoleti o con prestazioni non adeguate causa di sprechi energetici; si analizzeranno poi gli aspetti gestionali e manutentivi.

Per quanto riguarda il risparmio energetico verranno elencati gli obiettivi del programma e le metodologie previste per il suo tendenziale raggiungimento individuando le differenti tipologie di intervento; per ognuna di esse saranno descritte le singole opere previste indicandone i vantaggi sia in termini di efficienza che di risparmio atteso.

Nell'illustrazione del programma di efficientamento verranno stimati i costi complessivi dell'intervento.

2 – ANALISI PRELIMINARE

2.1 – Caratteristiche delle sorgenti luminose

La rete di illuminazione pubblica della città di Brescia risulta come la stratificazione di varie epoche tecnologiche, gli impianti tutti in derivazione alimentano apparecchi di illuminazione contenenti lampade di diverse caratteristiche, temperatura di colore ed efficienza luminosa. Dalla fine degli anni '70 con la realizzazione di impianti in derivazione si sono adottate le più efficienti lampade al sodio ad alta pressione aventi una efficienza superiore a 100 lm/W.

Il parco delle sorgenti luminose è oggi costituito principalmente da lampade a vapori di mercurio caratterizzata da una bassa efficienza ed uno scarso indice di resa cromatica, lampade al sodio ad alta pressione aventi elevata efficienza e scarso indice di resa cromatica e dalle lampade a ioduri metallici ad elevate efficienza luminosa ed elevato indice di resa cromatica.

Con l'avvento degli impianti alimentati in derivazione si è demandata l'accensione e lo spegnimento dei singoli impianti agli interruttori crepuscolari, appositamente tarati, agenti sugli organi di comando dei singoli quadri elettrici di alimentazione; in alcuni casi specifici sono stati installati anche orologi astronomici al fine di garantire il sincronismo di accensione dei quadri alimentanti circuiti appartenenti alla stessa area.

Recentemente, in via sperimentale, sono stati installati apparecchi di illuminazione con sorgenti luminose con tecnologia Led con la finalità di testarne sia le performance che l'affidabilità.

Le sorgenti luminose vengono caratterizzate dai seguenti parametri che ne identificano le caratteristiche e le prestazioni:

- **Flusso Luminoso:** indica la quantità di luce emesse da una sorgente luminosa, a prescindere dalla qualità della luce e della sua distribuzione nello spazio, unità di misura lumen (lm);

- **Efficienza luminosa:** è il rapporto tra il flusso luminoso emessa dalla sorgente e la potenza elettrica da essa assorbita; l'unità di misura è il lumen per watt (lm/W).
- **Vita utile:**
 - durata di vita media: il numero di ore di funzionamento dopo il quale una percentuale di un determinato lotto di lampada in ben definite condizioni di prova, smette di funzionare
 - durata di vita media economica: rappresenta il numero di ore di funzionamento dopo il quale il flusso luminoso scende, per effetto del decadimento luminoso, al di sotto di un valore percentuale prestabilito

La durata delle lampade è misurata generalmente in ore (h); i fattori che influenzano la vita operativa di una lampada sono invece la temperatura ambiente, lo scostamento dalla tensione nominale di alimentazione, il numero e la frequenza delle accensioni e le sollecitazioni meccaniche;

- **Decadimento luminoso:** rappresenta la riduzione del flusso luminoso con il trascorrere del tempo di funzionamento e comporta inevitabilmente una riduzione dell'efficienza; fisicamente si manifesta con un annerimento del vetro che ingloba il corpo emettitore di luce oppure con il degrado delle sostanze (polveri fluorescenti, gas di riempimento ecc.).
- **Temperatura di colore:** parametro che descrive il colore apparente della luce emessa da una sorgente luminosa; si misura in Kelvin (K), ed è definita come "la temperatura di un corpo nero che emette luce avente la stessa cromaticità della luce emessa dalla sorgente sotto analisi". Convenzionalmente si parla di sorgente "fredda" quando si registra una temperatura di colore dell'ordine dei 5000 K (colore bianco-azzurro), sorgente "calda" per temperature dell'ordine di 3000 K.
- **Indice di resa cromatica:** è un indicatore (CRI o Ra) che quantifica la capacità della luce emessa da una sorgente di far percepire i colori degli oggetti illuminati; viene stimato confrontando con una sorgente di riferimento (metodo CIE) e valuta l'alterazione, o meno, del colore delle superfici illuminate percepito nelle due condizioni. La sorgente campione per eccellenza è la luce naturale anche se leggermente alterata da condizioni climatiche e dalle diverse fasce orarie del giorno.

Nella valutazione del valore del CRI bisogna sottolineare che non è sempre vero che una lampada con alto indice di resa cromatica sia migliore di un'altra con un indice inferiore, in quanto tale valutazione deve essere effettuata in base all'utilizzo reale ed alla funzione della lampada stessa. Una delle migliori lampade in termini di resa cromatica è la lampada ad incandescenza che però ha una bassa efficienza luminosa e una breve durata, due caratteristiche molto importanti per una lampada.

Se per esempio si deve illuminare un luogo immerso in un'area verde la scelta ottimale ricadrà a favore di una luce con emissione spettrale che si avvicini a quella del verde in modo da mettere in risalto la vegetazione circostante trascurando i valori indicati dalla resa cromatica.

La tipologia e le caratteristiche delle lampade installate nella rete di illuminazione pubblica della città di Brescia sono di seguito elencate:

- Lampada ai vapori di Mercurio (**Hg**)
 - Efficienza Luminosa : 30 ÷ 60 lm/W
 - Temperatura di colore : 3 300 ÷ 4 500 °K
 - Indice di resa cromatica : 40 ÷ 60
 - Durata di vita : oltre 10 000 ore
- Lampada a vapori di Sodio a bassa pressione (**Na BP**)
 - Efficienza Luminosa : 130 ÷ 200 lm/W
 - Temperatura di colore : 2 000 °K
 - Indice di resa cromatica : 0
 - Durata di vita : fino a 12 000 ore
- Lampada a vapori di Sodio ad alta pressione (**Na AP**)
 - Efficienza Luminosa : 70 ÷ 150 lm/W
 - Temperatura di colore : 2 000 ÷ 2 500 °K
 - Indice di resa cromatica : 25 ÷ 80
 - Durata di vita : fino a 12 000 ore
- Lampada agli Ioduri Metallici (**JM**)

- Efficienza Luminosa : $60 \div 120$ lm/W
- Temperatura di colore : $3\,000 \div 4\,000$ °K
- Indice di resa cromatica : $75 \div 95$
- Durata di vita : fino a 10 000 ore
- **Led – Light emitting diode (LED)**
- Efficienza Luminosa : $80 \div 120$ lm/W
- Temperatura di colore : $3\,800 \div 4\,000$ °K
- Indice di resa cromatica : >80
- Durata di vita : $30\,000 \div 100\,000$ ore, media 70 000.
- **Altre : Fluorescenti**
- Efficienza Luminosa : $50 \div 80$ lm/W
- Temperatura di colore : $2\,700 \div 4\,000$ °K
- Indice di resa cromatica : $80 \div 90$
- Durata di vita : fino a 10 000 ore
- **Altre : ad incandescenza**
- Efficienza Luminosa : $10 \div 20$ lm/W
- Temperatura di colore : $2\,000 \div 3\,000$ °K
- Indice di resa cromatica : $90 \div 100$
- Durata di vita : $1\,000 \div 4\,000$ ore

2.2 – Consistenza degli impianti di Illuminazione Pubblica

La rete di illuminazione pubblica della città di Brescia è costituita da linee elettriche in bassa tensione, in derivazione, generalmente in formazione variabile (4x1x25mm), (4x1x10mm), (1x2x10mm) e (2x2.5mm), che alimenta un numero complessivo di 42.774 lampade.

IMPIANTI IN BASSA TENSIONE	
QUADRI	440
CIRCUITI	1.320

Tabella 1 : Impianti in bassa tensione al 31 032014

La città di Brescia si è dotata negli scorsi anni di regolatori di flusso luminoso, sul 95% delle lampade installate, consistente in sistemi modulari per l'ottimizzazione della gestione dei consumi negli impianti di illuminazione stradali. Il regolatore di flusso luminoso si avvia eseguendo automaticamente il ciclo di accensione delle lampade ad un livello di tensione programmabile. In seguito si porta gradualmente al valore di tensione nominale. Quando nelle ore notturne il livello di illuminamento massimo non è più necessario, il regolatore permette di alimentare le lampade con un valore di tensione ridotto al fine di ottenere un rilevante risparmio energetico.

ILLUMINAZIONE STRADALE - Consistenza lampade al 31/03/2014	
Tipologia	N°
Vapori di Sodio alta pressione	26.990
Vapori di Mercurio	2.690
Alogenuri metallici	8.920
Fluorescenza	2949
LED	618
Altre	607
	42.774

Tabella 2 : Consistenza della rete di illuminazione pubblica al 31 03 2014

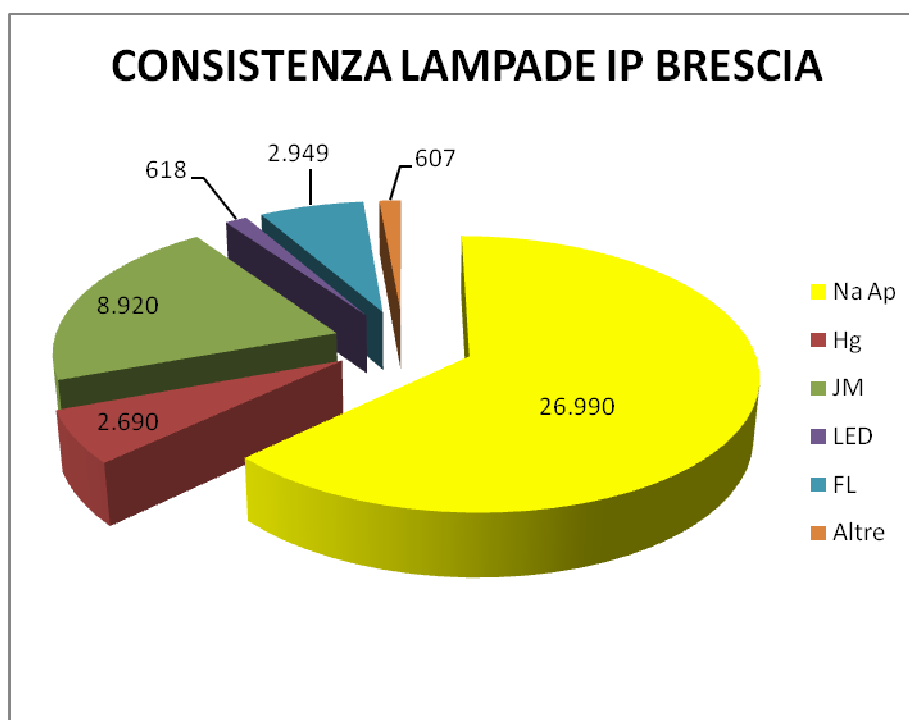


Grafico 1 : Suddivisione della rete I.P. in base alla sorgente luminosa

Gli impianti vengono suddivisi a seconda dell'area servita in:

- Impianti di illuminazione stradale
- Impianti di illuminazione di aree verdi
- Impianti di illuminazione architettonica

La potenza complessiva installata è 5.768 kW per un flusso totale emesso di circa 452.282 klm con una potenza media di lampada di circa 117W, flusso medio per lampada di 10.573 lm ed efficienza media per lampada di 90,4 lm/W.

RIPARTIZIONE LAMPADE

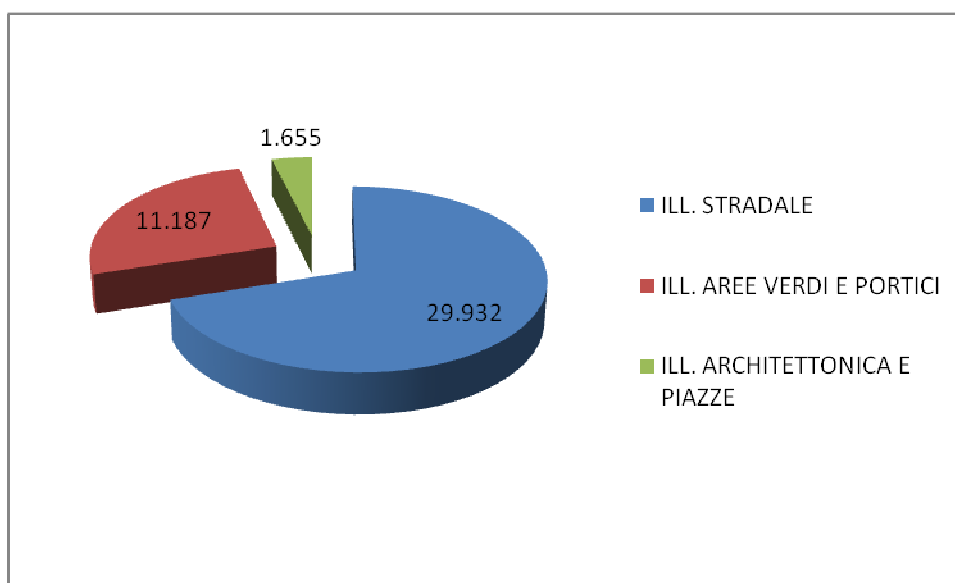


Grafico 2 : Suddivisione della rete I.P. in base alla tipologia

Il numero dei punti luce negli ultimi 10 anni è aumentato di circa 700 unità all'anno a causa del rinnovo di vecchi impianti e della realizzazione di nuovi impianti.

La progettazione dei rifacimenti ha tenuto ovviamente conto delle nuove normative che prevedono l'illuminazione di aree una volta non considerate come ad esempio i marciapiedi e le aree pedonali.

EVOLUZIONE DELLA RETE

ANNO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
N° DI LAMPADE	35.702	36.021	36.058	36.664	38.653	39.107	40.143	40.713	41.445	42.508

Tabella 3 : Evoluzione dei punti luce

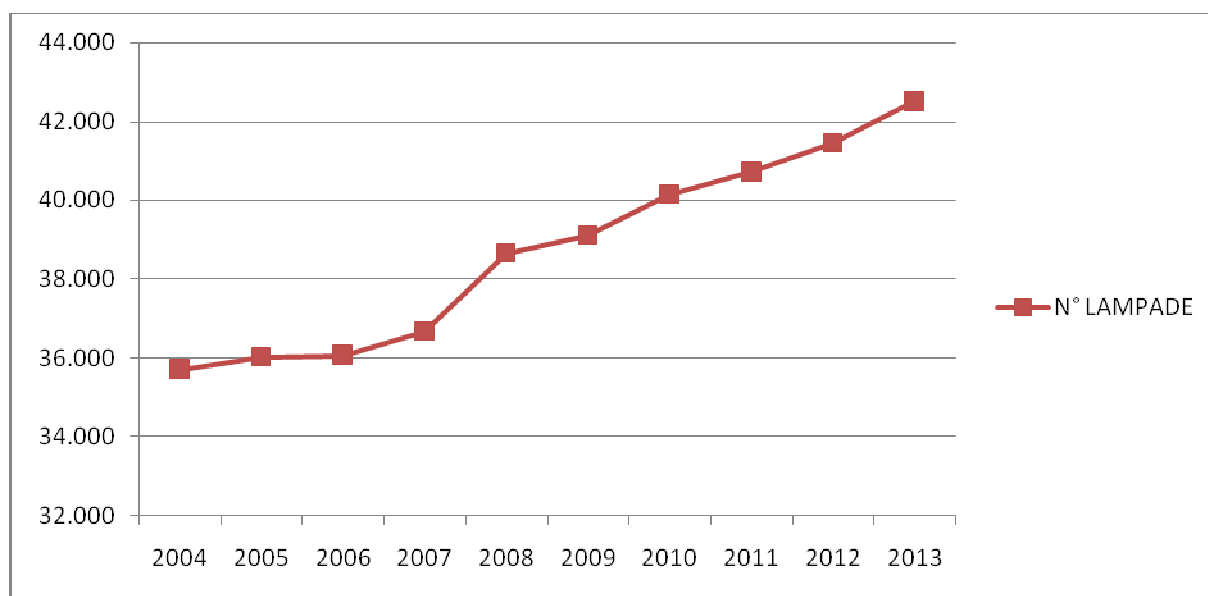


Grafico 3 : Evoluzione dei punti luce nel decennio

La maggior parte degli apparecchi di illuminazione sono installati su palo, meno del 3% in sospensione, mentre solo in pochi casi sono utilizzate torri faro.

SOSTEGNI	N°
Pali	29419
Sospensioni	1069

Tabella 4 : Sostegni

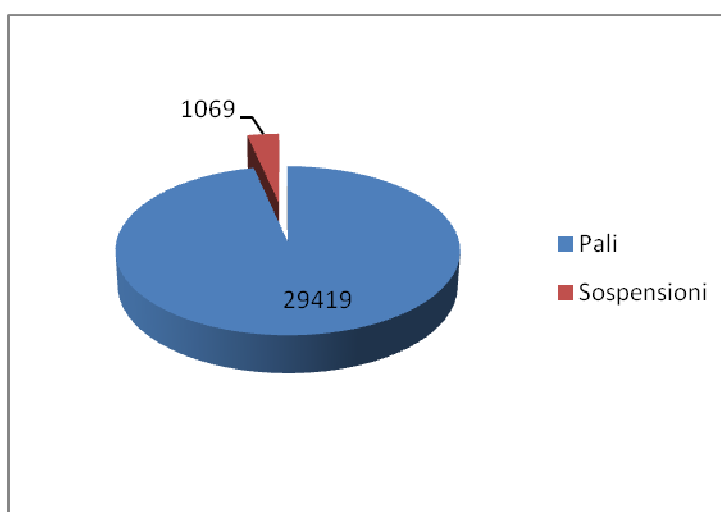


Grafico 4 : Suddivisione per tipologia di sostegno

3 – PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

3.1 – Obiettivi dell'intervento

L'obiettivo primario che si tende a perseguire è la riduzione dei consumi energetici mediante l'impiego di tecnologie efficienti ed in particolare mediante la realizzazione dei seguenti interventi:

- Sostituzione degli apparecchi di illuminazione contenenti lampade a scarica con apparecchi di illuminazione corredati di sorgenti LED;
- Utilizzo di sistemi per la regolazione notturna del flusso luminoso;
- Utilizzo del sistema di telecontrollo idoneo al monitoraggio dell'energia assorbita ed alla rilevazione dei guasti a livello di quadro elettrico.

Il **risparmio energetico annuo** è pertanto ottenibile con l'impiego di apparecchi di illuminazione a sorgenti luminose in grado di fornire le prestazioni richieste ed in grado di contenere l'inquinamento luminoso come prescritto dalla legge regionale 17/00 e 38/04 e successive modifiche integrative e può essere calcolato mediante la seguente relazione:

$$R_E = (P_1 - P_2) \times F_P \times T_h$$

dove:

P_1 = potenza installata prima dell'intervento (kW)

P_2 = nuova potenza installata dopo l'intervento (kW)

F_P = fattore di perdite elettriche (solitamente 1.155)

T_h = numero di ore all'anno di funzionamento (convenzionalmente definito in 4100 h)

Nel caso di impiego di regolatori di flusso:

$$R_E = P_2 \times F_P \times t_R \times R_{\%}$$

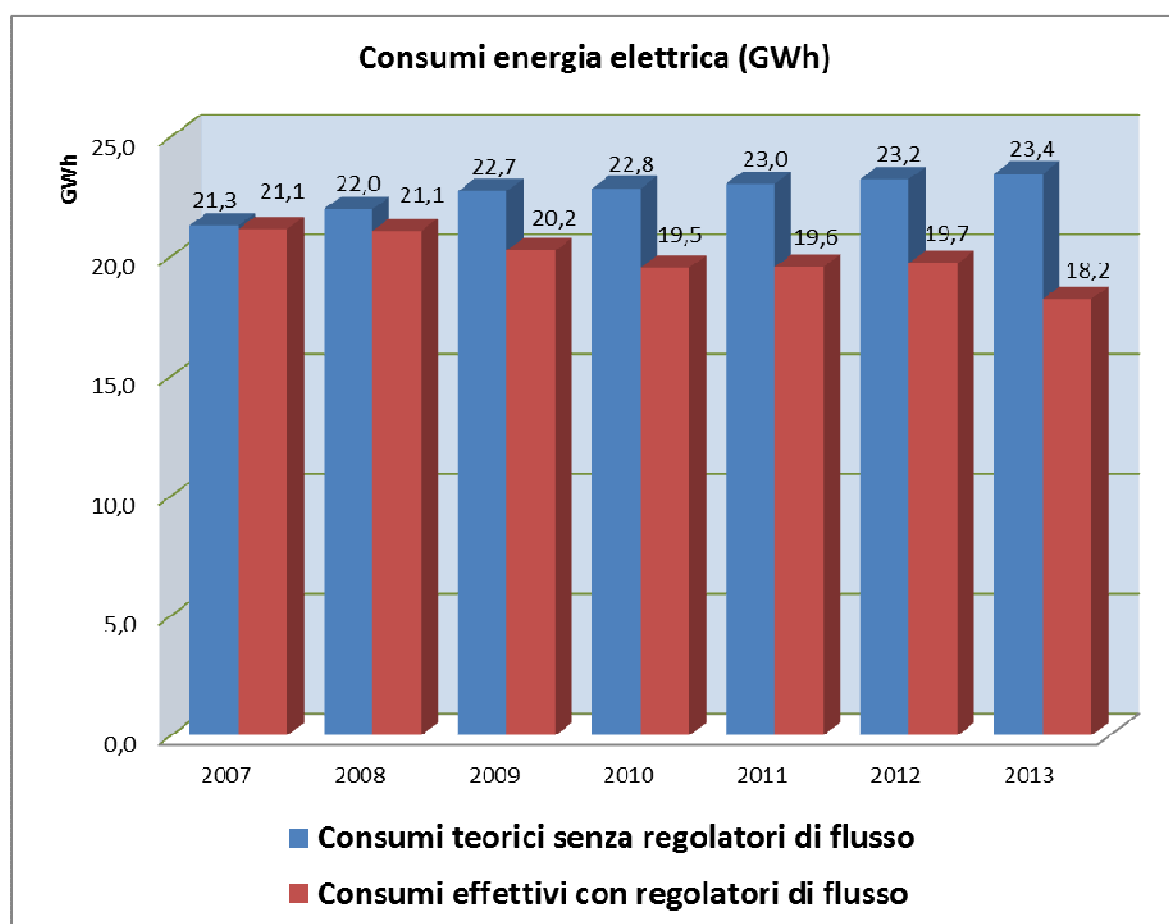
Dove:

t_R = numero di ore/anno di funzionamento a regime ridotto

$R_{\%}$ = percentuale di riduzione della potenza durante il regime ridotto

Gli impianti d'illuminazione di Brescia sono stati progressivamente dotati, dal 2007 al 2013, di regolatori di flusso centralizzati. L'adozione di questi ultimi ha ridotto i consumi di energia elettrica di oltre il 20% e l'installazione delle sorgenti LED porterà ad una ulteriore riduzione dei consumi di circa il 30%.

Nella tabella sottostante sono mostrati i consumi teorici degli impianti di Brescia nel caso non fossero stati adottati i regolatori di flusso. Sono altresì evidenziati i consumi effettivi ottenuti mediante l'adozione dei regolatori di flusso.



L'intervento in questione può essere accompagnato altresì dall'adeguamento normativo previsto dalle norme in vigore:

- Norma UNI 11248 che propone una classificazione delle strade e definisce il metodo per determinare la classe illuminotecnica per ogni specifico tratto di strada in funzione di alcuni parametri di influenza (es. complessità del campo visivo, zone di

conflitto, indice di rischio, luminosità dell'ambiente, tipo di sorgente, flusso di traffico, etc.);

- Norma UNI EN 13201-2 che assegna ad ogni categoria illuminotecnica di progetto i valori di prestazione corrispondenti, in termini, a seconda dei casi, di luminanza, illuminamento, uniformità e controllo dell'abbagliamento relativi ai requisiti illuminotecnici delle strade con traffico veicolare e aree pedonali;
- Norma UNI EN 13201-3 che definisce le modalità di calcolo in fase di progettazione degli impianti;
- Norma UNI EN 13201-4 che specifica le modalità di verifica e collaudo degli impianti (metodi e strumenti di misura)

Il risparmio verrà determinato, oltre che dalla sostituzione di apparecchi di illuminazione esistenti con apparecchi aventi elevate prestazioni energetiche, anche attraverso la regolazione del flusso luminoso mediante profili di regolazione impostati dal centro di controllo, oppure mediante impiego di alimentatori dotati di algoritmo per l'individuazione del periodo di regolazione, qualora l'impianto fosse sprovvisto di regolatore di flusso e non fosse tecnicamente possibile la sua installazione.

Gli impianti a Led garantiscono un illuminamento compatibile con i minimi previsti dalla normativa tecnica vigente ed in linea ai livelli erogati dalle apparecchiature attualmente installate.

3.2- Sostituzione di apparecchi di illuminazione a basso rendimento contenenti lampade a bassa efficienza luminosa

L'intervento consiste nell'utilizzo di apparecchi di elevata efficienza che consentiranno di contenere i costi legati alle attività manutentive e nel contempo di eliminare apparecchi corredati di lampada a bassa efficienza luminosa e apparecchi di illuminazione ormai obsoleti.

Come detto sono ancora presenti lampade a vapori di mercurio, che costituiscono ancora oggi circa il 4 % del totale delle lampade installate nel territorio comunale, sono altamente inquinanti ed hanno una bassa efficienza luminosa (circa 50 lm/W) rispetto ad una lampada a vapori di sodio ad alta pressione o a ioduri metallici (80 – 100 lm/W e oltre) oltre a non

potere essere considerate certamente sorgenti luminose puntiformi che consentano, ad un efficiente apparecchio di illuminazione un adeguato controllo del flusso luminoso.

Un primo intervento per il perseguimento dell'efficientamento degli impianti è stato individuato nella sostituzione degli apparecchi luminosi contenenti lampade a vapori di mercurio con apparecchi con sorgenti luminose a LED di potenza molto più contenuta.

La scelta delle potenze installate per i nuovi apparecchi di illuminazione a sorgenti LED garantisce il rispetto dei valori illuminotecnici minimi fissati dalla normativa.

Come detto, nell'ottica del tendenziale raggiungimento degli obiettivi prefissati si è scelto di utilizzare sorgenti luminose con l'impiego di tecnologia LED. In letteratura, la teorica possibilità tendere a perseguire:

- Risparmio energetico derivante dalla riduzione di potenza delle lampade *stimato* tra il 30 ed il 60%.
- Qualità della luce migliorata con luce bianca emessa dalle sorgenti a LED in grado di permettere una miglior distinzione degli oggetti e quindi garantire una maggior sicurezza pure con una luminanza entro i valori previsti dalla normativa tecnica.
- Inquinamento luminoso ridotto al minimo grazie al migliore controllo del flusso luminoso nonché alle ottimizzazioni di cui al punto precedente.
- Durata di vita utile del LED dichiarata dai costruttori in circa 70.000 ore contro le 4.000/5.000 ore delle lampade a vapori di Mercurio.

3.3 – Sostituzione apparecchi obsoleti corredati di sorgenti luminose ad elevata efficienza

Analizzando la rete di illuminazione pubblica si è riscontrata la presenza di alcuni apparecchi obsoleti che presentano caratteristiche prestazionali non più accettabili in considerazione delle nuove normative vigenti, come ad esempio la presenza di vetro prismatico e quindi con un'eccessiva dispersione del flusso luminoso oltre i 90° dalla verticale.

Si è pertanto ritenuto di prevedere un adeguamento di detti centri luminosi tramite la sostituzione degli apparecchi di illuminazione con apparecchi contenenti sorgenti a LED.

La scelta delle potenze installate per i nuovi apparecchi di illuminazione a sorgenti LED garantisce il rispetto dei valori illuminotecnici fissati dalla normativa vigente.

3.4 – Regolazione del flusso luminoso

La regolazione del flusso emesso dagli apparecchi, come già detto in precedenza, avverrà mediante due modalità distinte in relazione al tipo di quadro di alimentazione a cui sono sottesi gli apparecchi illuminati.

Nel caso di quadro di alimentazione con regolatore di flusso i profili di regolazione saranno impostati mediante la programmazione dal centro di controllo per ogni quadro o gruppo di quadri.

Nel caso di quadri d'alimentazione senza regolatore di flusso, ove l'installazione di questi ultimi risulti tecnicamente non attuabile, verranno impiegati dispositivi elettronici ad alta efficienza in grado di regolare il flusso luminoso emesso dal singolo apparecchio rispettando profili di regolazione ad orari preimpostati.

La regolazione del flusso luminoso è contemplata a livello normativo, viene data infatti la possibilità di ridurre il flusso in caso di intensità di traffico ridotta rispetto a portate orarie prestabilite; ad esempio, se il traffico è inferiore al 50% della portata in un determinato tipo di strada in un determinato orario, è possibile declassare di due categorie illuminotecniche e di conseguenza ridurre il flusso luminoso in tali orari conseguendo un notevole risparmio energetico rispettando sempre i minimi valori richiesti dalla vigente normativa.

L'adozione della regolazione del flusso luminoso, sia di tipo centralizzato che di tipo puntuale, durante alcune ore notturne si traduce in un minor consumo energetico, in una maggior durata delle sorgenti luminose al tendenziale fine di perseguire questi vantaggi:

- Risparmio dal 10 al 20% dell'energia consumata dai nuovi apparecchi di illuminazione con sorgenti led;
- Riduzione, durante le ore di regolazione, dell'inquinamento luminoso grazie alla diminuzione di luminanza del manto stradale con conseguente beneficio per specifiche attività di ricerca e monitoraggio astronomico. Indicativamente la regolazione del flusso luminoso avverrà a partire dalle ore 23,00 fino alle ore 06,00 riducendo, nel lasso di tempo indicato, il flusso luminoso emesso dagli apparecchi di illuminazione di valori pari a circa il 30% o superiori.

Gli apparecchi di illuminazione con regolatore di flusso centralizzato possono seguire profili

di funzionamento specifici per ogni quadro, mentre per gli apparecchi con dispositivo elettronico puntuale è possibile definire una tabella riportante l'ora e la relativa percentuale di flusso emesso dagli apparecchi di illuminazione. Indicativamente gli orari di accensione e spegnimento possono avere l'andamento indicato nella tabella seguente riferita al giorno 12 febbraio.

Orario	Stato dell'impianto	% flusso luminoso emesso
0,00	Impianto acceso regolato	70
01,00	Impianto acceso regolato	70
02,00	Impianto acceso regolato	70
03,00	Impianto acceso regolato	70
04,00	Impianto acceso regolato	70
05,00	Impianto acceso regolato	70
06,00	Impianto acceso	100
07,11	Spegnimento	100
08,00	Impianto spento	0
09,00	Impianto spento	0
10,00	Impianto spento	0
11,00	Impianto spento	0
12,00	Impianto spento	0
13,00	Impianto spento	0
14,00	Impianto spento	0
15,00	Impianto spento	0
16,00	Impianto spento	0
17,00	Impianto spento	0
18,00	Accensione	100
19,00	Impianto acceso	100
20,00	Impianto acceso	100
21,00	Impianto acceso	100
22,00	Impianto acceso	100
23,00	Impianto acceso regolato	70
24,00	Impianto acceso regolato	70

Gli effetti della percentuale di riduzione ipotizzata del flusso luminoso in orario notturno sono difficilmente percepibile dall'occhio umano.

3.5 – Sistema di telecontrollo

L'efficientamento energetico degli impianti di illuminazione mediante l'adozione di apparecchi dotati di sorgenti luminose led e sistemi di regolazione del flusso emesso in orari notturni viene completato con la gestione di un sistema di telecontrollo/telecomando.

Il sistema di telecontrollo ha la funzione di monitorare il corretto funzionamento degli impianti di illuminazione pubblica segnalando l'intervento delle protezioni poste a bordo dei quadri di comando e di protezione.

Tale sistema inoltre consente il monitoraggio dei consumi, l'accensione e lo spegnimento forzato degli impianti oltre che di impostare da remoto gli orari di accensione e spegnimento in base a richieste particolari.

Il sistema di telecontrollo si compone di un posto centrale, deputato alla supervisione delle attività e di apparati periferici posti a bordo di ogni quadro elettrico della rete di illuminazione pubblica, che dialogano con il posto centrale comunicando le eventuali anomalie rilevate.

Ogni periferica di telecontrollo gestirà, mediante comando inviato da orologio astronomico, l'accensione e lo spegnimento dei circuiti elettrici alimentati dal quadro; l'impiego di un orologio astronomico, coordinato con quella di un interruttore crepuscolare, consente di ottimizzare le ore di funzionamento degli impianti.

Ogni quadro elettrico pertanto, oltre alla gestione determinata dall'impiego di un orologio astronomico, sarà munito di interruttore crepuscolare; tale scelta consente di accendere comunque gli impianti anche in orari esterni alla fascia di normale funzionamento, a fronte di eventi meteorologici importanti (tipicamente, durante un forte temporale estivo).

4 – PROGETTAZIONE DEL PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO

Il programma di efficientamento è stato oggetto di progettazione svolta nei minimi dettagli e così condivisa con il concedente Comune di Brescia.

La progettazione ha preso le mosse dalla redazione di specifiche tecniche per le definizioni dei parametri prestazionali e funzionali degli apparecchi di illuminazione pubblica, declinati nei loro differenti possibili utilizzi; sono state individuate le caratteristiche dei proiettori con sorgenti luminose a diodi led, gli apparecchi illuminanti con sorgente luminosa a diodi led per aree verdi e arredo urbano e gli apparecchi illuminanti a palo e a sospensione con sorgente luminosa a diodi led da impiegarsi per l'illuminazione stradale (su palo o fune), per l'illuminazione di aree verdi, piste ciclabili, tunnel, aree di pregio e monumenti.

Stabiliti i requisiti minimi che gli apparecchi dovranno possedere, si è proceduto alla progettazione di ogni singola via cittadina definendo quali saranno le caratteristiche degli apparecchi che dovranno essere installati producendo una tavola di progetto relativa al quadro elettrico.

La progettazione è stata eseguita tenendo in considerazione la classificazione delle strade prevista dal nuovo codice della strada ed attribuendo conseguentemente ad ognuna di esse la categoria illuminotecnica come previsto dalla norma italiana UNI 11248 dell'ottobre 2012 ed i relativi requisiti prestazionali sulla base della norma europea UNI EN 13201-2 del settembre 2004 che identifica, per ogni categoria illuminotecnica, i livelli minimi di illuminazione e di uniformità.

5 – REALIZZAZIONE DEL PROGRAMMA DI EFFICIENTAMENTO

La realizzazione del programma di efficientamento prevede la sostituzione degli apparecchi di illuminazione attualmente installati, con l'esclusione di tutti i proiettori delle torri faro e tutte le lampade presenti allo stadio Rigamonti, con i nuovi apparecchi aventi sorgenti led; tale operazione avverrà secondo il cronoprogramma previsto. Tutti gli apparecchi di illuminazione rimossi verranno smaltiti conformemente alle vigenti normative; sia gli apparecchi obsoleti e/o non rispondenti alle leggi attuali sia quelli che, benché rispondenti alle normative vigenti, risulta anti economico e non sempre possibile la loro trasformazione e ricertificazione per l'impiego con sorgenti led.

6 – CARATTERISTICHE ESTETICHE APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE

Gli apparecchi di illuminazione con sorgente led che verranno installati sono raggruppabili in 5 macro famiglie,

- Apparecchi da installarsi su pali;
- Apparecchi da installarsi su fune (tesata);
- Apparecchi per aree verdi/camminamenti da installarsi su pali;
- Apparecchi per aree monumentali/artistiche;
- Proiettori.

Per ogni famiglia di quelle di cui sopra, oltre ai requisiti prestazionali, sono definite le caratteristiche estetiche di forma e colore.

Al fine di ottenere le autorizzazioni necessarie per procedere con l'attuazione del programma di efficientamento nelle aree sottoposte a vincoli di tipo architettonico o

paesaggistico l'Amministrazione Comunale fornirà il supporto necessario per favorire il completamento dell'iter di approvazione nei tempi previsti dal cronoprogramma lavori.

Nella scelta degli apparecchi di illuminazione è ritenuto importante rispettare alcune caratteristiche formali di base che, dato il grandissimo numero di apparecchi oggetto di intervento, garantiscano non solo la sobrietà e omogeneità dei prodotti, ma anche la loro adeguatezza al paesaggio urbano.

Per tutti gli apparecchi di illuminazione il colore delle superfici esterne dell'apparecchio illuminante sarà in linea di massima monocromo grigio grafite, oppure con colorazione tale da favorire l'integrazione con l'ambiente in cui sono inseriti.

6.1 – Verniciatura dei sostegni in acciaio

Il progetto di efficientamento prevede inoltre la riqualificazione cromatica dei sostegni stradali in acciaio, mediante la verniciatura dei pali utilizzando una soluzione cromatica omogenea: corpo palo colore azzurro con simbolo della Leonessa in colore ocra.

Si rappresenta a fianco un esempio cromatico dello stemma che verrà apposto su tutti i sostegni verniciati, in accordo con lo schema realizzativo concordato con l'amministrazione comunale.

La verniciatura riguarderà tutti i sostegni in acciaio di tipo stradale con esclusione delle tipologie già caratterizzate da elementi di tipo artistico (es. fregi in ghisa) o con colorazioni specifiche.



7- CONCLUSIONI

Al termine del programma di efficientamento, gli impianti di illuminazione pubblica di Brescia saranno tutti dotati di apparecchi di illuminazione aventi sorgenti luminose allo stato solido, che attualmente rappresentano lo stato dell'arte più avanzato in materia di efficienza luminosa, aventi sistemi elettronici di regolazione e un sistema di telecontrollo per la loro supervisione.

L'insieme di queste tecnologie consentirà di mirare ad un risparmio energetico importante nel rispetto dei livelli di illuminamento previsti dalla normativa tecnica vigente.

8 – ALLEGATI

8.1 – Allegato 1: Costo complessivo dell'intervento

I seguenti importi tengono conto di tutti i costi comprensivi di progettazione, costi generali, oneri della sicurezza, approvvigionamento materiali, gestione magazzini ed installazione dei materiali necessari alla realizzazione del programma di efficientamento della rete d'illuminazione pubblica di Brescia.

tipologia corpi illuminanti	q.tà	materiali	posa	costo unitario	costo totale
STRADALE SUP. A 5 M	26.804	€ 200,00	€ 40,00	€ 240,00	€ 6.432.960,00
MONUMENTALE E ARREDO URBANO SUP. A 5 M	630	€ 250,00	€ 80,00	€ 330,00	€ 207.900,00
AREE VERDI E MARCIAP. INF. A 5 M	7.666	€ 200,00	€ 40,00	€ 240,00	€ 1.839.840,00
PORTICI E ARREDO URBANO INF. A 5 M	2.963	€ 250,00	€ 80,00	€ 330,00	€ 977.790,00
GALLERIE E SOTTOPASSI	1.075	€ 480,00	€ 40,00	€ 520,00	€ 559.000,00
ILLUM. URBANA (PIAZZE O ZONE DI PREGIO)	1.025	€ 344,00	€ 40,00	€ 384,00	€ 393.600,00
LAMPADE ARTISTICHE	1.993	€ 250,00	€ 80,00	€ 330,00	€ 657.690,00
CORPI ILLUM. GIA' CON SORGENTE LED	618	-	-	-	-
TOTALE SOSTITUZIONE LED	42.774				€ 11.068.780,00

tipologia sostegni	q.tà	costo unitario	costo totale
SOSTEGNI IN ACCIAIO DA VERNICIARE	22.305	€ 42,00	€ 936.810,00
SOSTEGNI D'ARREDO ED ARTISTICI	2.790	-	-
SOSTEGNI IN CEMENTO	4.324	-	-
TOTALE VERNICIATURA	29.419		€ 936.810,00
TOTALE COMPLESSIVO SOSTITUZIONE LED E VERNICIATURA SOSTEGNI			€ 12.005.590,00

8.2 – Allegato 2: Abaco classificazione stradale

prospetto 1 Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi obbligatoria

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi
A ₁	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1
	Autostrade urbane	130	
A ₂	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70 - 90	ME2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	ME2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	ME3b
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 ¹⁾)	70 - 90	ME2
	Strade extraurbane secondarie	50	ME3b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME2
D	Strade urbane di scorrimento ²⁾	70	ME2
		50	
E	Strade urbane interquartiere	50	ME2
	Strade urbane di quartiere	50	ME3b
F ³⁾	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 ¹⁾)	70 - 90	ME2
	Strade locali extraurbane	50	ME3b
		30	S2
	Strade locali urbane	50	ME3b
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE3
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE4/S2
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE4/S2
	Strade locali interzonali	50	
		30	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali ⁴⁾	Non dichiarato	S2
	Strade a destinazione particolare ¹⁾	30	

1) Secondo il Decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e successive integrazioni e modifiche.
2) Per strade di servizio delle strade urbane di scorrimento, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile a questa (prospetto 5).
3) Vedere le osservazioni del punto 6.3.
4) Secondo la Legge 1 agosto 2003 numero 214 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 2003, n 151, recante modifiche ed integrazioni al codice della strada".

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata		Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	L min. mantenuta [cd/mq]	U ₀ min.	TI% max (+5% per sorgenti a bassa luminanza)	SR 2 min. (in assenza di aree di traffico con requisiti propri)
ME1	2,0	0,4	10	0,5
ME2	1,5	0,4	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	15	0,5
ME4a	0,8	0,4	15	0,5
ME4b	0,8	0,4	15	0,5
ME5	0,5	0,35	15	0,5
ME6	0,3	0,35	15	nessun requisito

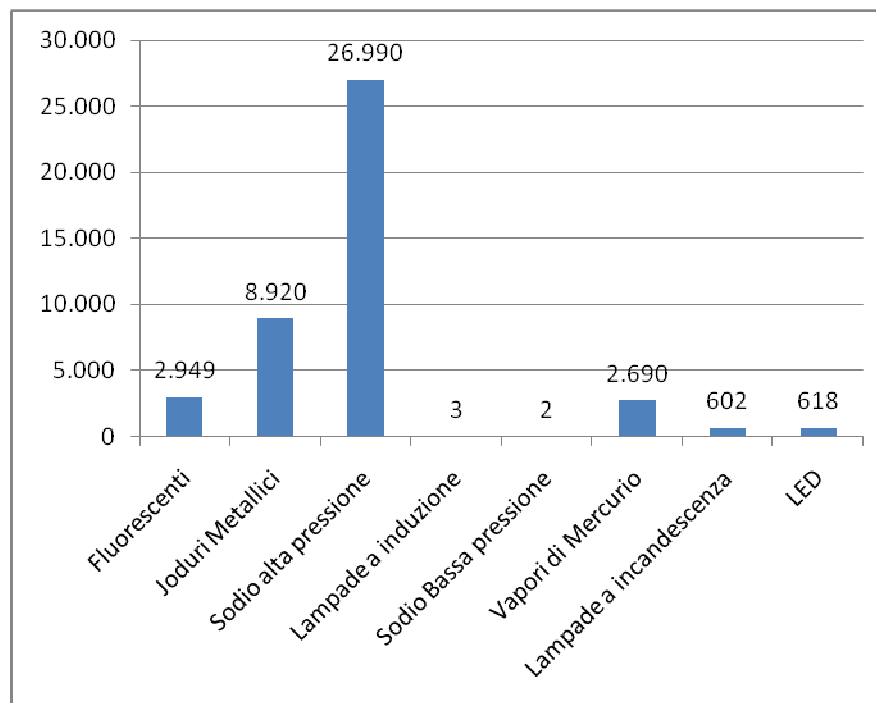
Categoria	Illuminamento orizzontale	
	Emedio min. mantenuto [lux]	Emin mantenuto [lx]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	Emedio min. mantenuto [lux] (per ottenere l'uniformità Emedio < 1,5 Emin indicato per la categoria)	Emin mantenuto [lux]
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6

Sorgente	Potenza (W)	Flusso lum. (lm)	Cat. Ill.	Tipo	Tipologia	Larghezza		Interdistanza	Altezza	Sbraccio	Lm	U ₀	E _m Carr.	E _m Marc.	E _{min} / E _{med} Carr.	E _{min} / E _{med} Marc.
					(Palo / Sosp)	Carreggiata (m)	Marciaiedi (m)	(m)	(m)	(m)	(cd/m2)	(lux)	(lux)	(lux)		
LED	83	10296	ME3b	Strada locale urbana	Palo a quinc.	15	5 + 5	30	10	0,30	1,23	0,65	25	16	0,62	0,48
LED	83	10296	ME2	Strada urbana di scorr.	Palo	20	-	25	10	2 x 0,30	1,72	0,59	32	-	0,57	-
LED	83	10296	ME3b	Strada locale urbana	Sosp.	15	5 + 5	25	9	-	1,21	0,62	34	22	0,60	0,51
LED	57	6864	ME2	Strada urbana interquartiere	Palo a quinc.	20	10 + 10	20	6	2 x 1,25	1,76	0,54	31	28	0,52	0,46
LED	25	2050	S2	Area Verde / Pedonale	Palo	-	3	15	4	-	-	-	-	15	-	0,44

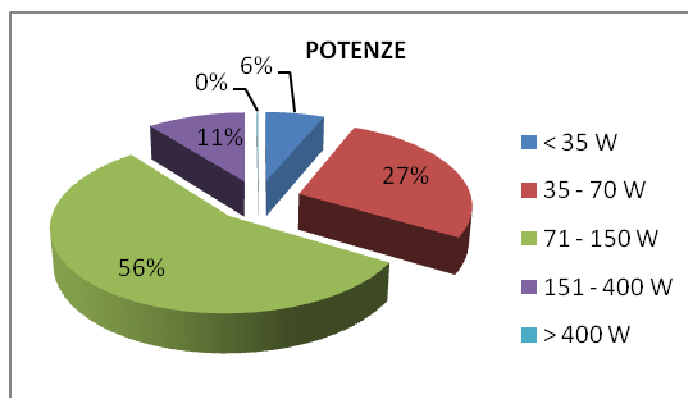
8.3 -Allegato 3: Consistenza impianti al 31/03/2014

Tipologia	Q.tà
Fluorescenti	2.949
Joduri Metallici	8.920
Sodio alta pressione	26.990
Lampade a induzione	3
Sodio Bassa pressione	2
Vapori di Mercurio	2.690
Lampade a incandescenza	602
LED	618
TOTALE	42.774



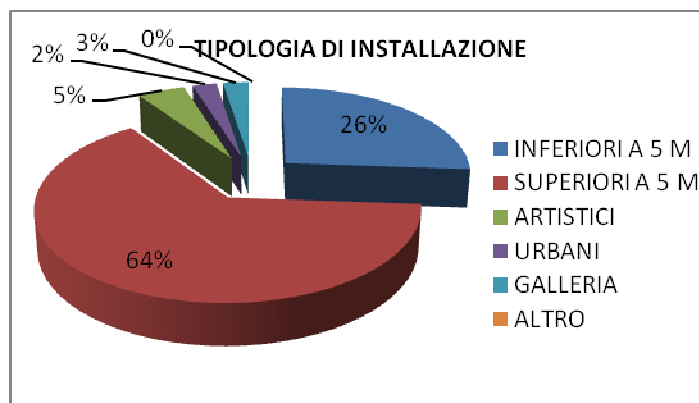
POTENZE

< 35 W	2.699
35 - 70 W	11.654
71 - 150 W	23.873
151 - 400 W	4.501
> 400 W	47



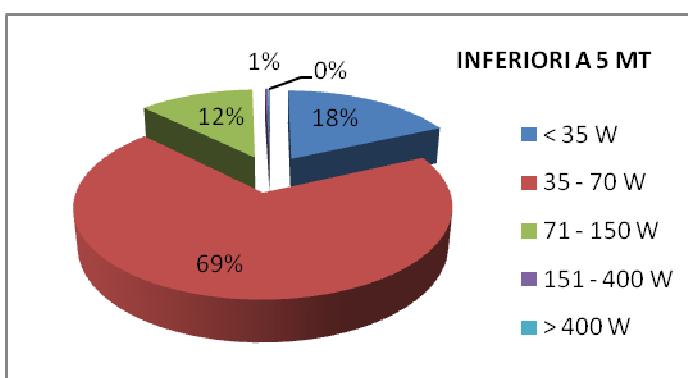
TIPOLOGIA

INFERIORI A 5 M	11.176
SUPERIORI A 5 M	27.502
ARTISTICI	1.994
URBANI	1.025
GALLERIA	1.075
ALTRO	2



TIPO INSTALLAZIONE

INFERIORI A 5 M	
< 35 W	2.030
35 - 70 W	7.740
71 - 150 W	1.355
151 - 400 W	35



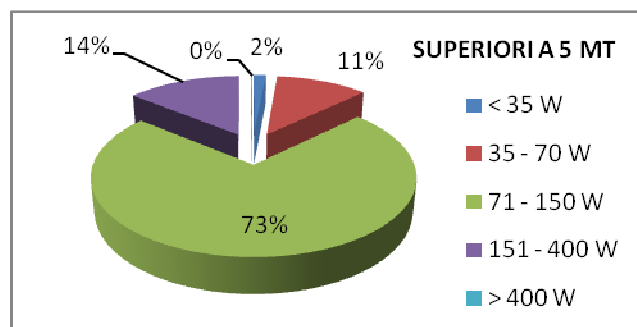


> 400 W

17

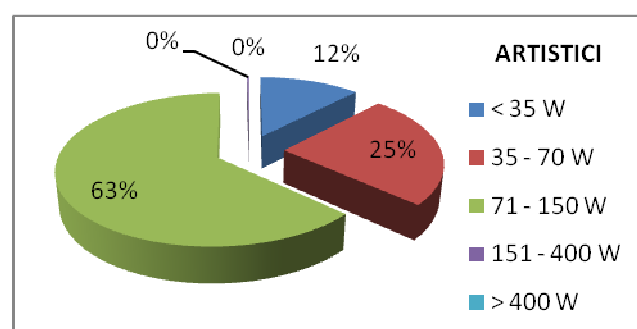
SUPERIORI A 5 M

< 35 W	417
35 - 70 W	3.117
71 - 150 W	20.094
151 - 400 W	3.846
> 400 W	30



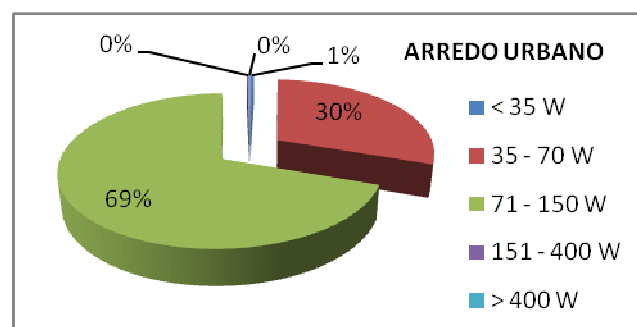
ARTISTICI

< 35 W	243
35 - 70 W	490
71 - 150 W	1.255
151 - 400 W	5
> 400 W	0



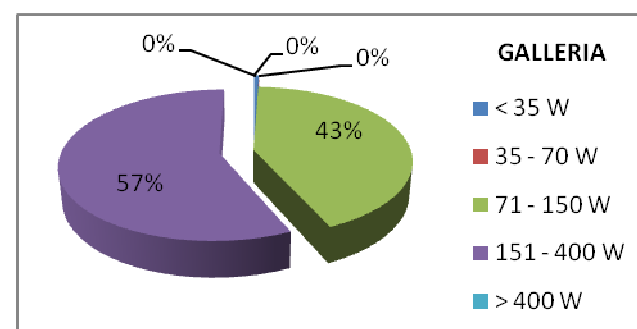
ARREDO URBANO

< 35 W	5
35 - 70 W	306
71 - 150 W	711
151 - 400 W	3
> 400 W	0



GALLERIA

< 35 W	6
35 - 70 W	0
71 - 150 W	458
151 - 400 W	611
> 400 W	0



8.4 -Allegato 4: Tabella corrispondenza Sorgente Scarica – Sorgente Led

Sorgenti Mercurio [W]	Sorgenti LED [W]
50	37
80	37
125 (giardini)	25
125 (piazze)	42
125 (stradali)	55
250	89

Sorgenti Na Bp [W]	Sorgenti LED [W]
90	50

Sorgenti Na Ap [W]	Sorgenti LED [W]
70	37
100	55
108	55
150	89
250	108
400	124
1000	400

Sorgenti Alogenuri Metallici [W]	Sorgenti LED [W]
20	10
35	25
70	25
100	45
150	89
250	108
400	124
1000	400
2000	800

Sorgenti Incandescente Alogena [W]	Sorgenti LED [W]
5	2
20	12
50	37
145	89
500	124

Sorgenti Fluorescente [W]	Sorgenti LED [W]
35	10
36	10
58	25

8.5 –Allegato 5: Esempio di scheda e tavola di progetto

Via Pisa

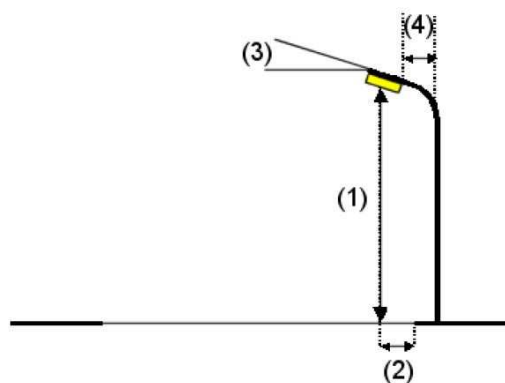
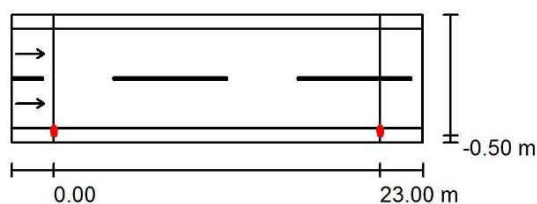
Classificazione stradale:	Strada locale urbana (F)
Classe Illuminotecnica:	ME3b
Lm [cd/m²]	1
Lampade Attuali (tipo)	Sodio alta pressione
Potenza attuale singola lampada [W]	100
Flusso Luminoso attuale [Lm]	10.500
Numero lampade installate	4
Altezza sostegno [m]	8
Interdistanza sostegno [m]	23
Marciapiede	1+1
Lampada futura	LED
Potenza futura singola lampada [W]	57
Flusso Luminoso futuro [Lm]	6.800

Profilo strada

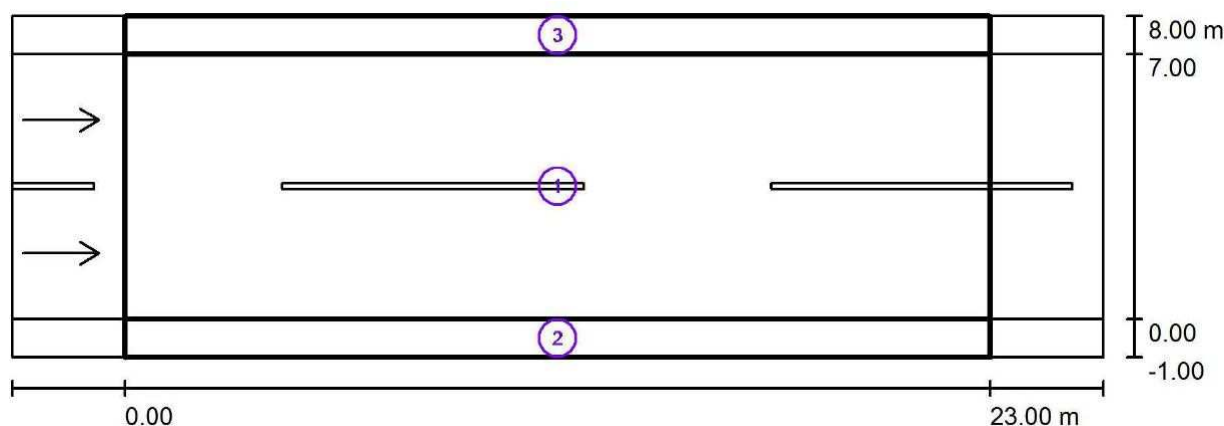
<u>Marciapiede 2</u>	Larghezza:	1 m
<u>Carreggiata 1</u>	Larghezza:	7 m
	Numero Corsie:	2
	Manto stradale:	C2
<u>Marciapiede 1</u>	Larghezza:	1 m

Fattore di manutenzione: 0.90

Disposizione lampade



Flusso Luminoso (lampadine):	6800 lm	Valori massimi di intensità luminosa
Potenza lampade:	57.0 W	per 70°: 523 cd/klm
Disposizione:	un lato	per 80°: 30 cd/klm
Distanza pali:	23 m	per 90°: 0.00 cd/klm
Altezza di montaggio (1):	8 m	Per tutte le direzioni che, per le lampade installate e utilizzabili, formano l'angolo indicato con le verticali inferiori.
Altezza fuochi:	7,963 m	
Distanza dal bordo stradale (2):	-1m	Nessuna intensità luminosa superiore a 90°
Inclinazione braccio (3):	0.0°	La disposizione rispetta la classe di intensità luminosa G3.
Lunghezza braccio (4):	0	La disposizione rispetta la classe degli indici di abbagliamento D.6.



Lista campo di valutazione

① Campo di valutazione carreggiata 1

Lunghezza:	23
Larghezza:	7
Reticolo:	10x6 Punti Carreggiata
Elementi stradali corrispondenti:	1
Manto stradale:	C2
Classe di Illuminazione:	ME3b

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati)

	Lm [cd/m ²]	U0	UI	Ti [%]	SR
Valori reali calcolati:	1.15	0.47	0.87	10	0.60
Valori nominali secondo la classe:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓	✓	✓	✓

② Campo di valutazione Marciapiede 1

Lunghezza: 23
Larghezza: 1
Reticolo: 10x3 Punti
Elementi stradali corrispondenti: Marciapiede 1
Classe di Illuminazione: S1

(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	21.23	12.89
Valori nominali secondo la classe:	≥ 15.00	≥ 5
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

③ Campo di valutazione Marciapiede 2

Lunghezza: 23
Larghezza: 1
Reticolo: 10x3 Punti
Elementi stradali corrispondenti: Marciapiede 2
Classe di Illuminazione: S3





(Tutti i requisiti fotometrici sono rispettati)

	E_m [lx]	E_{min} [lx]
Valori reali calcolati:	7.82	6.15
Valori nominali secondo la classe:	≥ 7.50	≥ 1.50
Rispettato/non rispettato:	✓	✓

8.6 –Allegato 6: Cronogramma degli interventi

Le fasi principali del progetto sono:

- progettazione definitiva entro 4 mesi dall'inizio del progetto
- inizio sostituzione entro 9 mesi
- completamento attività entro 3 anni

ATTIVITÀ DA AVVIARE	ANNO 1	ANNO 2	ANNO 3
•Progettazione definitiva			
•Approvvigionamento materiali			
•Installazione LED			
•Verniciatura sostegni			

8.7 – Allegato 7: Specifiche tecniche apparecchi illuminanti con sorgente luminosa LED

I criteri di scelta degli apparecchi illuminanti tengono conto delle diverse esigenze di natura estetica e tecnica in modo da coniugare la continuità stilistica con l'esigenza di realizzare impianti ad elevata efficienza energetica.

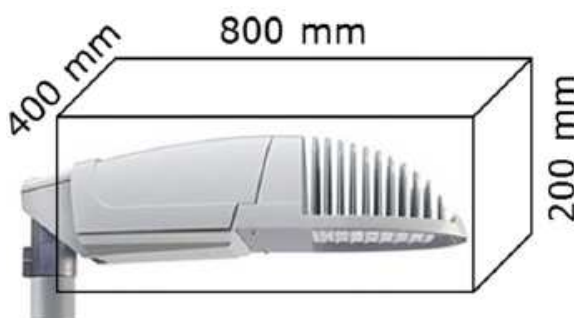
Requisito generale per tutte le tipologie è l'alta qualità dei prodotti dal punto di vista estetico oltre che tecnico, la scarsa visibilità di elementi di fissaggio in vista, in particolare per i punti luce destinati alle zone pedonali ed agli spazi verdi.

Oltre gli aspetti di maggior efficienza e continuità di esercizio legati all'introduzione della tecnologia a LED, sarà favorito il complessivo riordino di una delle dotazioni più diffuse nel paesaggio urbano cittadino, oggi costituita da diversi tipi di apparecchi e installazioni, producendo un effetto di generale omogeneità dell'illuminazione nel paesaggio notturno della città, eliminando il disordine prodotto dalla presenza di fonti luminose di colori e intensità contrastanti.

La tipologia dei nuovi apparecchi sarà coerente con le attuali soluzioni estetiche, garantendo il livello di illuminamento al suolo e l'affidabilità per il corretto esercizio degli impianti.

Nella scelta dei corpi illuminanti verranno rispettate alcune caratteristiche formali di base che garantiscano non solo la sobrietà e omogeneità dei prodotti, ma anche la loro adeguatezza al paesaggio urbano.

Gli apparecchi saranno assoggettati a prescrizioni dimensionali il cui ingombro esterno sia in linea con le dimensioni degli apparecchi attualmente installati. Ciò in coerenza con le infrastrutture esistenti e con i diversi ambiti urbanistici (infrastrutture a palo, in sospensione, aree verdi, etc.).



Le dimensioni sopra illustrate si riferiscono agli apparecchi per l'illuminazione stradale. Per ogni tipologia impiantistica (su palo, fune, aree verdi, aree monumentali, proiettori) sono state definite le caratteristiche mediante l'elaborazione di specifiche tecniche particolareggiate che identificano prestazioni e dimensioni.



Si allega una sintesi delle specifiche tecniche: Apparecchi illuminanti per aree verdi e arredo urbano, Apparecchi illuminanti stradali a palo e sospensione, Kit per apparecchi con ottica opalina, Kit per apparecchi illuminanti con riflettore, Proiettori.