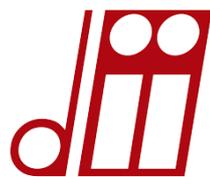


Università degli Studi di Padova



DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA INDUSTRIALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Sistemi adattivi per impianti di illuminazione pubblica:  
analisi della ciclopedonale del Lungargine Scaricatore

Relatore: Prof. Arturo Lorenzoni

Correlatore: Ing. Alessandro Tosetti

Laureando: Andrea Santarsiero

Matr: 1130359

Padova, 1 Marzo 2019

*. . . a Mamma e papà, un profondo Grazie*

*E a me, per aver sempre fortemente creduto di potercela fare. ☆*

## Sommario

Introduzione.....	5
CAP. 1 - Lo stato dell'illuminazione in Italia.....	7
Lo stato dell'arte dei punti luce a Padova.....	15
Lampade operanti sul territorio.....	16
Incandescenza.....	16
Sodio Alta Pressione (SAP).....	17
LED.....	18
Lampade ad alogenuri o a ioduri metallici.....	21
Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione (SBP).....	21
Illuminazione stradale, evoluzione e tecnologia.....	23
CAP. 2 - LED pre programmati e LED adattivi.....	25
Regolatori di flusso.....	26
Sistemi di dimmerazione.....	29
Cicli pre programmati.....	31
Cos'è l'illuminazione adattiva.....	32
Illuminazione adattiva su traffico motorizzato.....	33
Dimmerazione secondo norma.....	34
Efficienza energetica e quadro normativo.....	36
Classificazione stradale.....	37
Illuminazione urbana intelligente e classificazione tecnologica.....	39
CAP. 3 - Regolazione della luminosità e studio dell'impianto adattivo.....	41
Test sul campo e adeguamento dell'illuminazione.....	44
CAP. 4 - Studio economico-impiantistico.....	53
Confronto LED vs SAP.....	53
Confronto LED pre programmati vs LED adattivi.....	54
Costi di squadra e di installazione.....	55
Spesa energetica.....	57
Analisi economica.....	61
SAP.....	63
SAP con regolatore di flusso.....	64
LED a dimmerazione pre programmata (P.P.).....	65
LED adattivi.....	65
Confronto.....	65
CAP. 5 - Nuove frontiere tecnologiche.....	71
Smart city.....	71

Proposte per Padova smart .....	76
Conclusioni .....	79
Ringraziamenti.....	80
Bibliografia .....	81

# Introduzione

Il presente lavoro di tesi, svolto presso la società AcegasApsAmga di Padova, si è prestatato alla necessità di compiere un'analisi costi-benefici sulle moderne tecnologie di illuminazione pubblica applicate alle aree pedonali e ciclopedonali, con particolare riferimento all'illuminazione cosiddetta "intelligente" o adattiva, oggi sempre più presente nel panorama illuminotecnico mondiale. Tali nuove tecnologie sono innovative sul lato energetico e tecnologico ma ancora economicamente dispendiose e non sempre il più alto costo viene compensato dalla maggiore efficienza. Partendo dallo studio del primo impianto adattivo intelligente di Padova, di fatto un beta test, questo elaborato offre una analisi qualitativa delle più recenti tecnologie luminose applicabili nei contesti urbani.

L'adozione di nuove tecnologie è condizione necessaria impostaci dagli alti dispendi energetici, in un settore come l'illuminazione pubblica spesso trascurato ma erogatore di grandi sprechi e al contempo, se colte, di grandissime opportunità e soddisfazioni. Fino a pochi anni fa le scelte per la sostituzione di lampade obsolete erano riservate alle sole lampade al sodio alta pressione (SAP) che andavano a sostituire le vecchie lampade di quasi tutte le tipologie: ai vapori di mercurio, fluorescenti, ioduri metallici e incandescenza. Risulta tuttavia avviato ed in corso d'opera il processo che porterà alla lenta ma inesorabile dismissione di tutto il parco di illuminazione legato alle cosiddette lampade a scarica, in favore dei LED. Questi ultimi, infatti, garantiscono più degli altri corpi luminosi, la possibilità di integrare risparmio energetico, modulazione del flusso luminoso e svariate opzioni sensoristiche che rendono la lampada "intelligente". Durante l'internship in azienda è stato impostato l'assetto illuminotecnico e valutate le prestazioni dell'impianto del lungargine Scaricatore in c.da Bassanello a Padova, da pochi mesi operante con un sistema adattivo il quale, dopo una certa ora e durante la notte, riduce il flusso luminoso ed energetico fin quando le telecamere poste agli ingressi rilevano transiti ciclopedonali che riportano nuovamente e temporaneamente l'illuminamento ai valori di regime. I sistemi LED adattivi sono però, come anticipato, ancora costosi per quanto riguarda le spese di installazione e ciò pone dubbi circa le possibilità di implementazione strategica nelle aree urbane. I LED non adattivi pre programmati, ad esempio, ma non solo, si offrono come soluzione ancora di riferimento nel panorama illuminotecnico stradale e perfino le meno recenti ma ancora molto presenti tecnologie, come le SAP, sono arrivate ad un punto di maturazione tale da poter essere ancora competitive sul

mercato al punto da, non solo procrastinarne l'accantonamento ma competere ancora nella sostituzione. La scelta del sistema più idoneo verrà giocata sul lato economico, su quello del comfort e sulla capacità di rispondere sempre più intelligentemente alle necessità di un certo contesto. La sfida del futuro verrà accolta dalle smart cities, città intelligenti, produttrici di contenuti a distanza in cui un sistema intelligente di illuminazione stradale può offrirsi come volano per l'innovazione: un sistema di Street Lighting progettato in un'ottica di ecosostenibilità capace di illuminarsi al momento giusto, funzionare senza soluzione di continuità in modo da facilitare le condizioni di traffico, fornire servizi alla cittadinanza, garantire un ambiente sicuro rappresentando anche un grande miglioramento della produzione architettonica, turistica e commerciale di una città.

## CAP. 1 - Lo stato dell'illuminazione in Italia

Il dibattito sul risparmio energetico è ormai da tanti anni ai primi posti nei dibattiti nazionali e internazionali soprattutto nei Paesi industrializzati, esso vuol dire non solo tagli agli sprechi ma anche affinatezza di strutture e ottimizzazione di procedure e servizi. Risparmio che, si traduce non solo in termini economici ma anche in mancato inquinamento ed emissioni di gas triatomici, tra i quali il più noto è certamente il diossido di carbonio, elemento considerato il responsabile principale dell'effetto serra e alla cui riduzione il protocollo di Kyoto ha imperativamente chiesto di impegnarsi.

Il settore dell'illuminazione pubblica<sup>1</sup> in Italia consuma circa il 2% dell'intero fabbisogno energetico e, sebbene, tale percentuale possa non apparire elevata, ha corrisposto in termini economici nel 2017 ad una spesa pari a 1,7 miliardi di euro ed una buona parte di questi soldi viene devoluta a costi sostenuti per sprechi, il più delle volte dovuti alla vetustà degli impianti ma anche, come vedremo, al sovradimensionamento di impianti nuovi. Tuttavia, aldilà dell'obsolescenza che prima o poi colpisce ogni settore tecnologico, un problema di primo rilievo si ha nella mancata applicazione di criteri intelligenti per illuminare in grado di abbattere sensibilmente gli sprechi, presenti soprattutto durante le ore notturne in cui l'illuminazione

richiesta è nettamente inferiore alla media. Un secondo problema, ma non per questo meno importante, riguarda la mancata ricerca di una progettazione accurata della luce. Troppo spesso, per mancanza o disattenzione agli obblighi normativi ancor prima che progettuali, ci si scontra con realtà

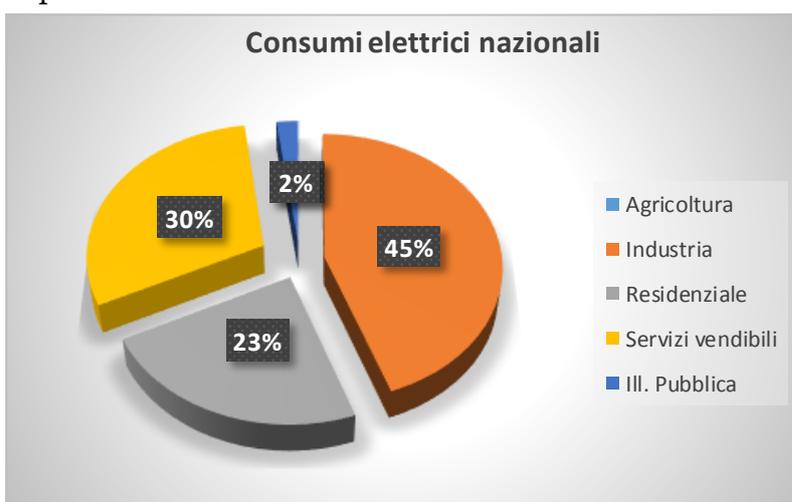


Figura 1

in cui l'illuminazione, oltre ad esser mal impiegata, è esageratamente presente oltre che non opportunamente dimensionata per soddisfare le necessità legate alle diverse condizioni atmosferiche. Tuttavia, in questo studio ci si concentrerà prevalentemente su aspetti che riguardano la prima problematica appena esposta.

<sup>1</sup> Da ora in poi nel prosieguo dell'elaborato verrà usata l'abbreviazione IP.

L'Italia è uno dei Paesi più illuminati d'Europa, le foto scattate dalla NASA pare non lascino spazio a dubbi.

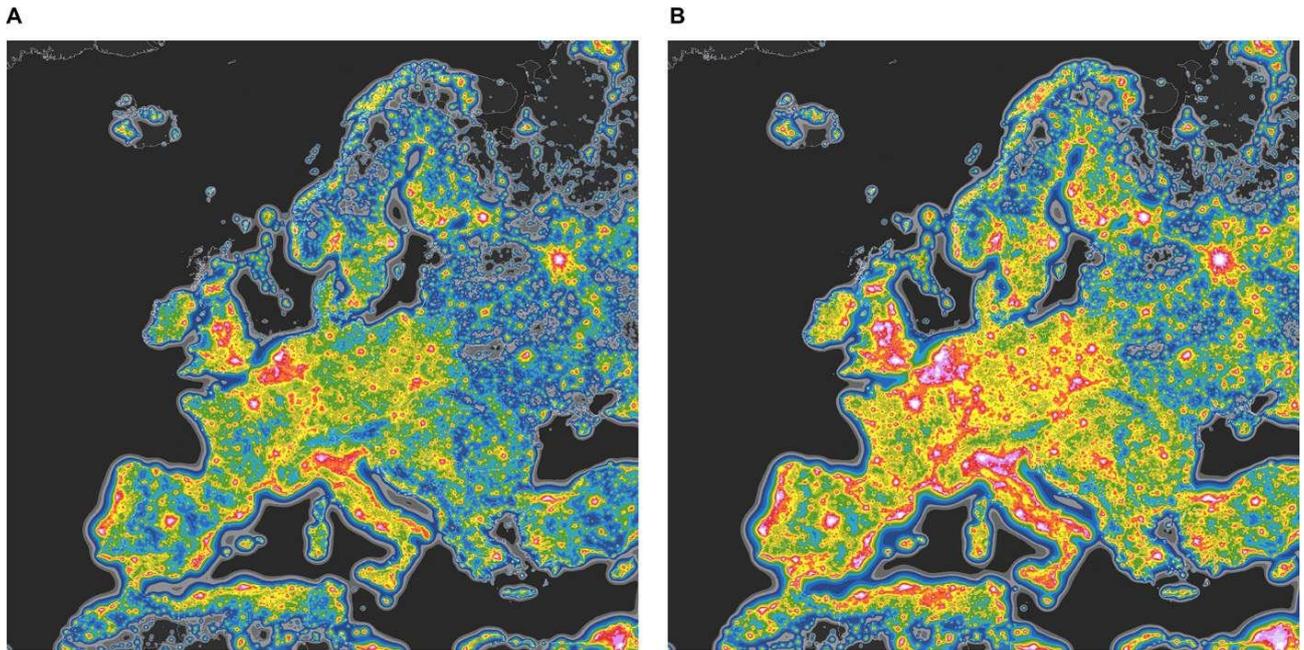


Figura 2 Mappe della luminosità del cielo artificiale in Europa, in incrementi di due volte, in rapporto alla luminosità del cielo naturale (A) La mappa mostra la luminosità artificiale del cielo nella banda V, come nelle altre mappe. (B) La mappa mostra la previsione della luminosità del cielo percepita per un occhio adattato al buio dopo una transizione verso la tecnologia LED a 4000K CCT, senza aumentare il flusso fotopico delle lampade attualmente installate.<sup>2</sup>



Figura 3

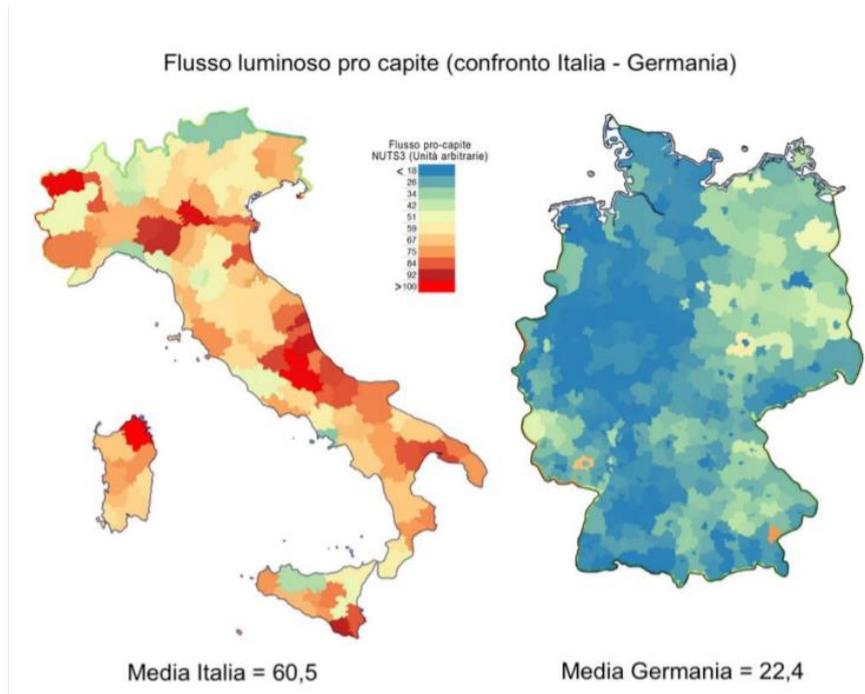
L'eccessivo consumo per illuminazione pubblica nel nostro paese è evidenziato anche dalla Figura 2. In Fig. 3 vengono riportati i flussi luminosi pro capite, a livello provinciale, di Italia e Germania.

Anche se non si tratta di una tipologia d'inquinamento che danneggia direttamente la salute delle persone, esso è comunque considerato tale poiché è la causa di alterazione del

<sup>2</sup> <http://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377.full>

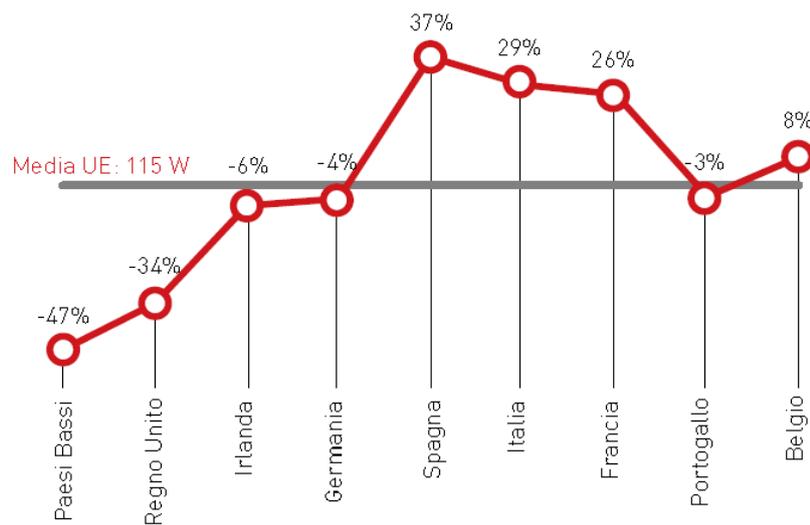
fotoperiodo in alcune piante e di alterazione dei ritmi circadiani nelle piante, negli animali e nell'uomo (la produzione di melatonina che regola i ritmi sonno/veglia si blocca già a bassissimi livelli di illuminamento), oltre ad essere un enorme elemento di disturbo nelle osservazioni astronomiche.

Figura 4 fonte: osservatoriocpi.unicatt.it



In fig. 4 la differenza tra i due Paesi: la media di flusso luminoso pro capite per l'Italia è quasi il triplo di quella della Germania. Altresì, secondo studi citati dal Rapporto sulla Finanza Locale 2016 di Cassa Depositi e Prestiti in Italia si registra una potenza installata per superficie urbanizzata più che doppia rispetto a quella inglese, tedesca e francese. La potenza nazionale complessiva installata risulta pari a 1.595 MW, equivalente ad una potenza media per punto luce di 148 W, questo dato situa l'Italia del 29% al disopra del valore medio europeo di 115 W, seconda solo alla Spagna (+37%) e assai distante da Paesi Bassi (-47% rispetto alla media UE) e Regno Unito (-34%).

Figura 5 - Benchmark europea della potenza installata media degli impianti di illuminazione pubblica



Contrariamente a quanto avviene in queste realtà, nelle nostre strade la sorgente più impiegata è la lampada da 150 W, mentre oltre il 50% dei tratti "potrebbe essere illuminato con sorgenti da soli 70 W".

Il consumo annuo pro capite per illuminazione pubblica in Italia risulta pari a 107 kWh, più del doppio della Germania (50 kWh) e della Gran Bretagna (42 kWh) e un terzo in più della Francia (80 kWh). Conseguenza dell'installazione di una potenza troppo elevata dei punti luce, mentre nell'EU la media è 51 kWh. Solo la Spagna, con un consumo pro capite di 116 kWh registra una performance peggiore di quella italiana.<sup>3</sup> È evidente che l'Italia ha ancora un problema di sovrailluminazione, tesi suffragata anche dallo studio condotto dall'Osservatorio sui Conti Pubblici italiani dell'Università Cattolica del Sacro Cuore diretto da Carlo Cottarelli, del Maggio 2018, "Illuminazione pubblica: spendiamo troppo", nel quale vengono riportati anche i dati a livello regionale ove si riconosce che praticamente la totalità di esse per quanto riguarda l'illuminazione pro-capite, è anche di molto oltre la media UE: si vedano in particolare la Val d'Aosta (199 kWh), la Calabria (151 kWh) e la Basilicata (143 kWh) oltre 3 volte la media UE. In posizioni dignitose, ma sempre superiori alla media, si trovano Campania (80 kWh), Lazio (81 kWh) e Veneto (85 kWh).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Dati Censis 2017

<sup>4</sup> A livello provinciale il maggior consumo si registra a Parma (254 kWh), Rieti (204 kWh) e Aosta (199 kWh), il minore a Napoli (49 kWh), Milano (65 kWh) e Prato (66 kWh). Se si eliminano Napoli e Milano che, a causa della loro popolosità beneficiano di maggiori economie di scala, troviamo insieme a Prato, Bolzano (71 kWh) e Vicenza (72 kWh).

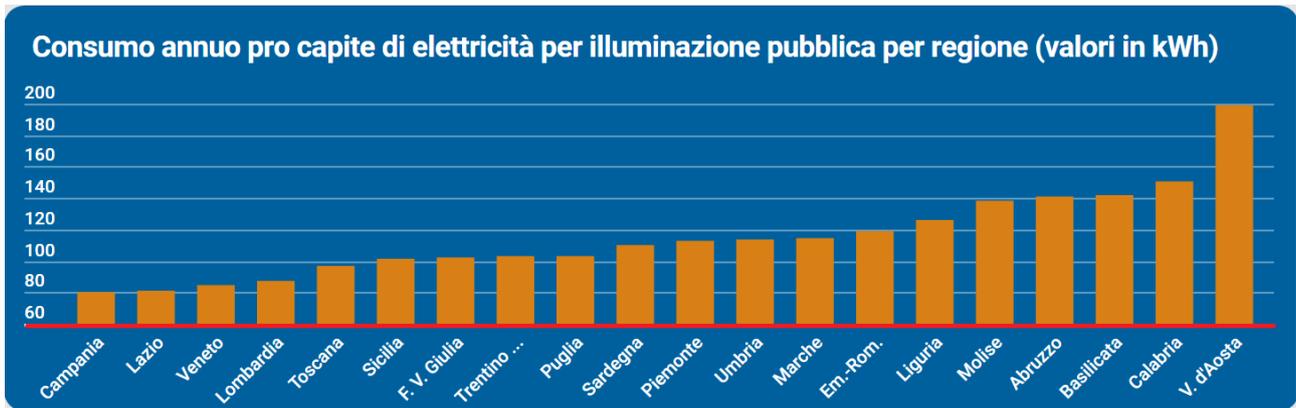


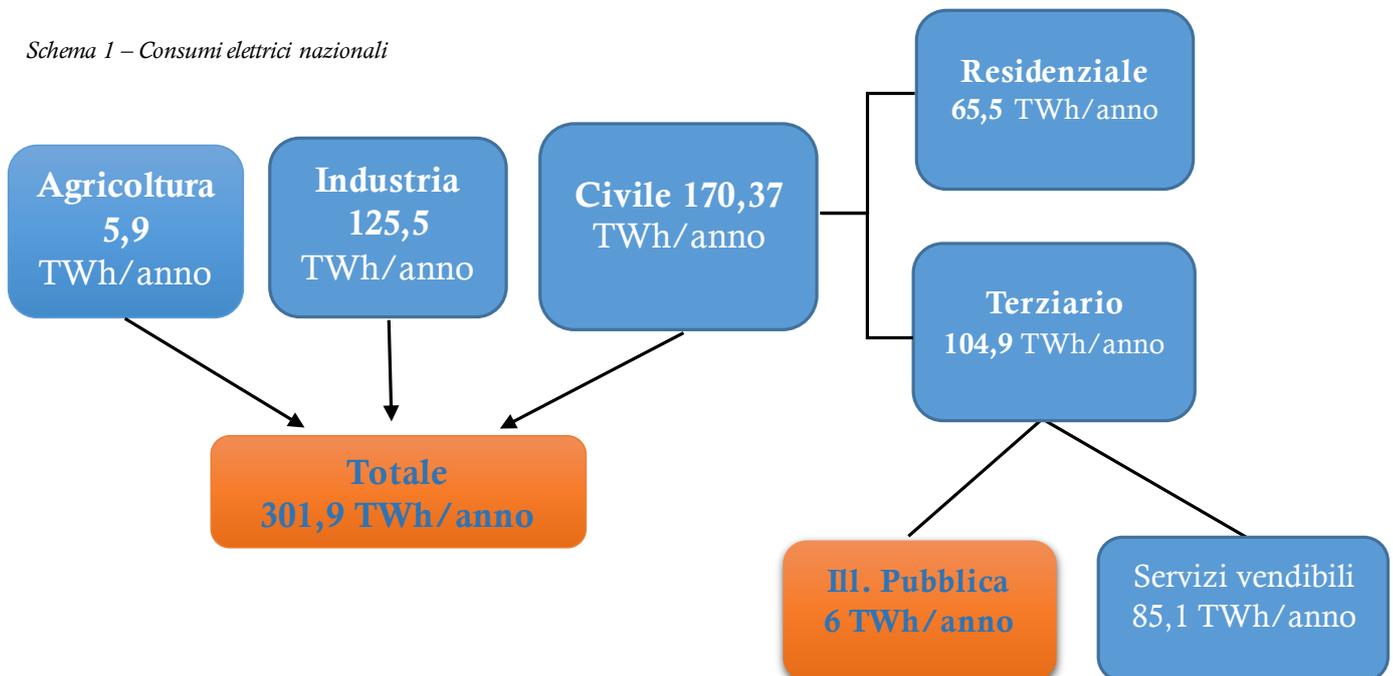
Figura 6 – Tutte le regioni italiane si collocano almeno 30 kWh pro capite al di sopra della media UE di 51 kWh. Si deve tener conto che regioni piccole, come Molise e Val d'Aosta sono svantaggiate in questa classifica a causa delle minori economie di scala. Fonte: osservatoriocpi.unicatt.it

Ma allora quanto incide e come viene distribuita la risorsa illuminazione?

L'Italia nel 2017 ha consumato una quantità di energia elettrica pari a circa 301,9 TWh/anno, principalmente ripartita tra i seguenti settori: Agricoltura, Industria e Civile, quest'ultimo suddiviso a sua volta in Terziario, nel quale rientra l'IP, e in Residenziale.

- Agricoltura 5,99 TWh
- Industria 125,5 TWh
- Civile 170,4 TWh, diviso ancora in:
  - Residenziale 65,5 TWh
  - Terziario 104,9 TWh da cui:
    - Illuminazione Pubblica 6,04 TWh e Servizi vendibili 85,1 TWh

Schema 1 – Consumi elettrici nazionali

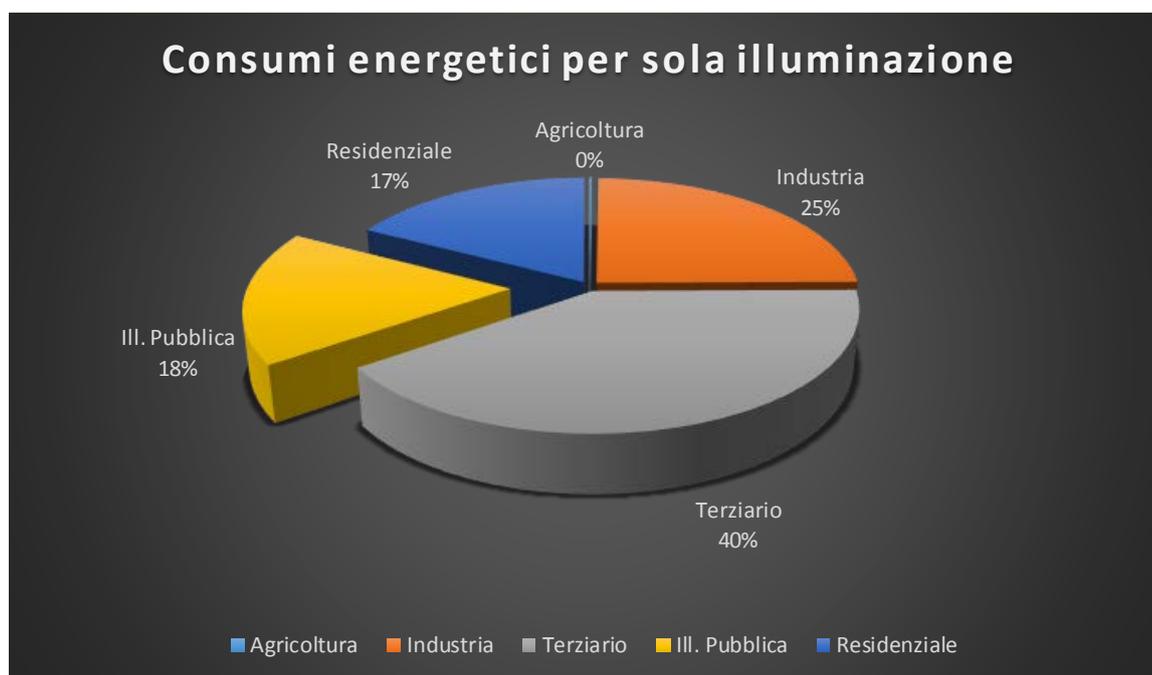


Invece, come si evince da Tab. 1 e Fig. 7, i consumi per la sola illuminazione ripartiti negli stessi settori sono pari al 13,4% nell'Industria, 21,9% nel terziario, 9,4% residenziale, suddividono un totale di 54,2 TWh di cui l'IP assorbe una porzione del 18%, di poco superiore alla stessa per il residenziale. Praticamente si illumina di più fuori che dentro casa.

Tabella 1

Settore	Consumi totali in Italia TWh/anno	Consumi per illuminazione in Italia TWh/anno <sup>5</sup>	%
AGRICOLTURA	5,9	trascurabile	/
INDUSTRIA	125,5	13,4	10,7
TERZIARIO	104,9	21,9	20,88
ILLUMINAZIONE PUBBLICA	6	9,46	100%
RESIDENZIALE	65,5	9,4	14,4
<b>TOTALE</b>	<b>301,9</b>	<b>54,2</b>	<b>16,8</b>

Figura 7 - Consumi elettrici annuali in Italia, 2017. Fonte: www.enea.it



Diversi studi sul tema, da anni suggeriscono come alcune misure di efficientamento potrebbero generare un risparmio notevole senza creare disagi alla collettività, realizzando un importante contenimento della spesa e una forte riduzione dell'inquinamento luminoso. In particolare Istituti nazionali ed internazionali come Cassa Depositi e Prestiti, ENEA, Agenzia

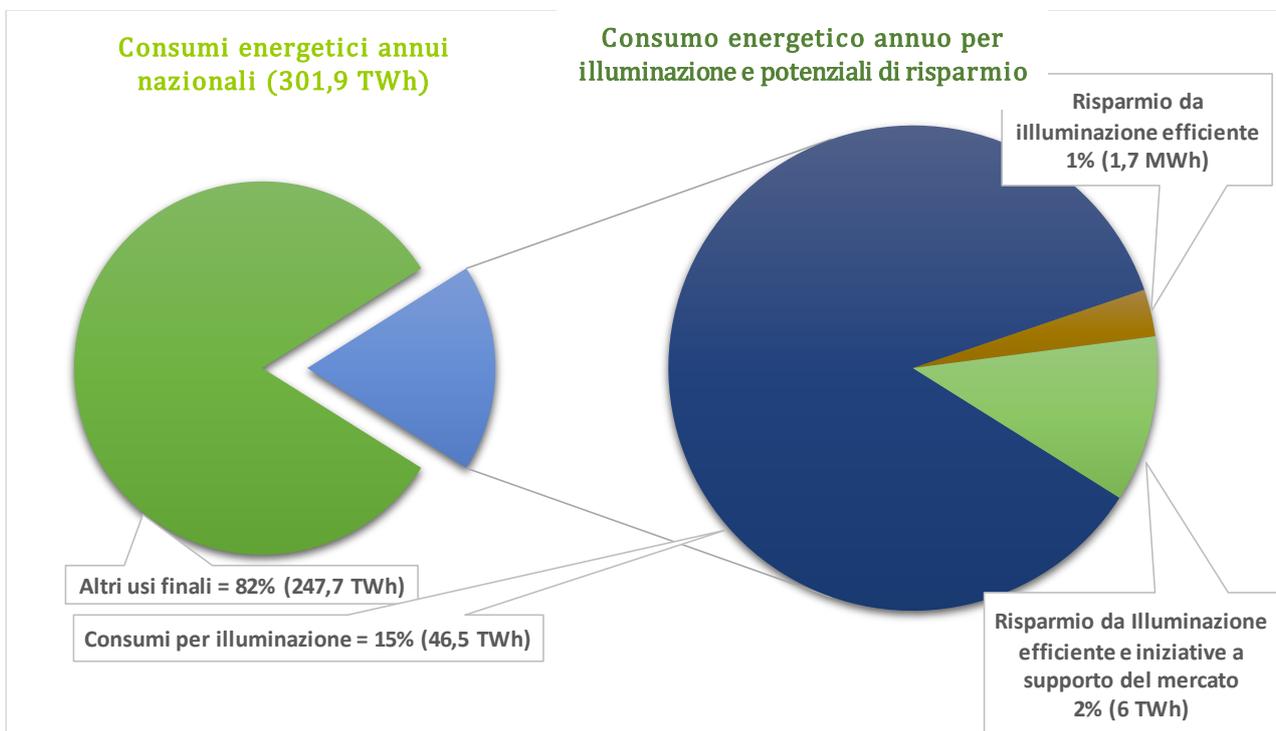
<sup>5</sup> Dati aggiornati al 2015

Internazionale per l'Energia (IEA) stimano come solo attraverso interventi di efficientamento, con tecnologie già presenti, degli impianti e di miglioramento delle loro prestazioni funzionali e illuminotecniche saremmo in grado di ridurre la spesa energivora di un minimo del 30 finanche al 60%, il che significa un risparmio annuo di circa 400 milioni di € e 1 milione di tonnellate in meno di emissioni di  $CO_2$ .

Tabella 2

SITUAZIONE ATTUALE DEI CONSUMI ENERGETICI ANNUI PER L'ILLUMINAZIONE		
CONSUMO ENERGETICO	EMISSIONI $CO_2$	TON EQUIV DI PETROLIO
54,2 TWh	28,8 Mt <sup>6</sup>	10,13 MTEP <sup>7</sup>

Figura 8



In questo contesto è possibile delineare degli scenari di penetrazione delle soluzioni di illuminazione efficiente e relativi potenziali di risparmio energetico.

<sup>6</sup> 1 MWh elettrico = 531 kg  $CO_2$  (fonte: Ministero dell'Ambiente)

<sup>7</sup> Fattore di conversione: 1 kWh =  $0,187 * 10^{-3}$ TEP (delibera Comunitaria EEN 3/08)

Tabella 3

<b>PENETRAZIONE ILLUMINAZIONE EFFICIENTE E POTENZIALI DI RISPARMIO</b>		
	<b>ILLUMINAZIONE EFFICIENTE</b>	<b>ILLUMINAZIONE EFFICIENTE E INIZIATIVE A SUPPORTO DEL MERCATO</b>
<b>RISPARMIO ENERGETICO</b>	<b>-1,7 TWh</b>	<b>- 6 TWh</b>
<b>RIDUZIONE EMISSIONI CO<sub>2</sub></b>	<b>-0,9 Mt</b>	<b>- 3 Mt</b>
<b>RIDUZIONE TEP</b>	<b>-0,3 MTEP</b>	<b>- 1,1 MTEP</b>

Ed è appunto su questa linea guida si auspica di poter intraprendere lo stesso percorso della Germania che, tra il 2007 e il 2016 ha conseguito una riduzione del 53% dei suoi consumi pro capite.

Per raggiungere tali obiettivi, lo studio “Illuminazione pubblica: spendiamo troppo” dell’Osservatorio sui Contri Pubblici Italiani diretto da Carlo Cottarelli, del Maggio 2018, segnala che non è sufficiente il solo semplice passaggio all’illuminazione LED ma si dovrebbero invece affrontare 5 criticità:

1. dimmerabilità del flusso luminoso;
2. regolazione della luminosità di alcuni impianti;
3. passaggio integrale a LED per gallerie e illuminazione semaforica;
4. adeguamento dei servizi di manutenzione ai costi di mercato;
5. impiego intensivo di sensori di movimento o di illuminazione adattiva.

L’Agenzia Internazionale per l’Energia (IEA) inoltre ricorda che l’impegno di aggiornamento degli impianti deve considerare non solo il costo di acquisto/installazione ma anche i minori costi di esercizio derivanti dal funzionamento di un impianto efficiente che costituiscono gran parte del costo totale del ciclo di vita.

In questa tesi saranno discussi i punti 2 e 5, in un primo tempo regolando la potenza luminosa del nuovo impianto adattivo del Lungarine Scaricatore secondo le norme vigenti, susseguentemente sarà discussa la convenienza economica del passaggio al sistema LED e al sistema LED adattivo per le aree pedonali e ciclopedonali.

## Lo stato dell'arte dei punti luce a Padova

Il Comune di Padova dispone di 36'000 punti luce, di cui:

- 8'000 a LED
- 1'800 a incandescenza
- 1'700 SAP, alimentate in MT (1'500 Volt, 9.6 A)
- 24'500 SAP in BT (230 Volt)

Solo 6 anni fa, nel 2012, la suddivisione dei punti luce contava lampade a ioduri metallici (1%), fluorescenti (7%) e a vapori di mercurio (22%). Il LED aveva appena cominciato la sua comparsa con un numero di installazioni pari all'1,4%. Costanti le incandescenti.

Lampade	2012	2018
A incandescenza	5,8%	5%
Fluorescenti	7,2%	/
A ioduri metallici	1%	/
A vapori di mercurio	22%	/
SAP	63%	73%
LED	1,4%	22%

Tabella 4

Oggi le lampade fluorescenti, a ioduri metallici e a vapori di mercurio non esistono più, persistono ancora marginalmente alcune ad incandescenza, i SAP hanno incrementato la loro percentuale, si registra l'avanzata prepotente dei LED che in 6 anni si son conquistati già quasi un quarto del parco lampade comunale.

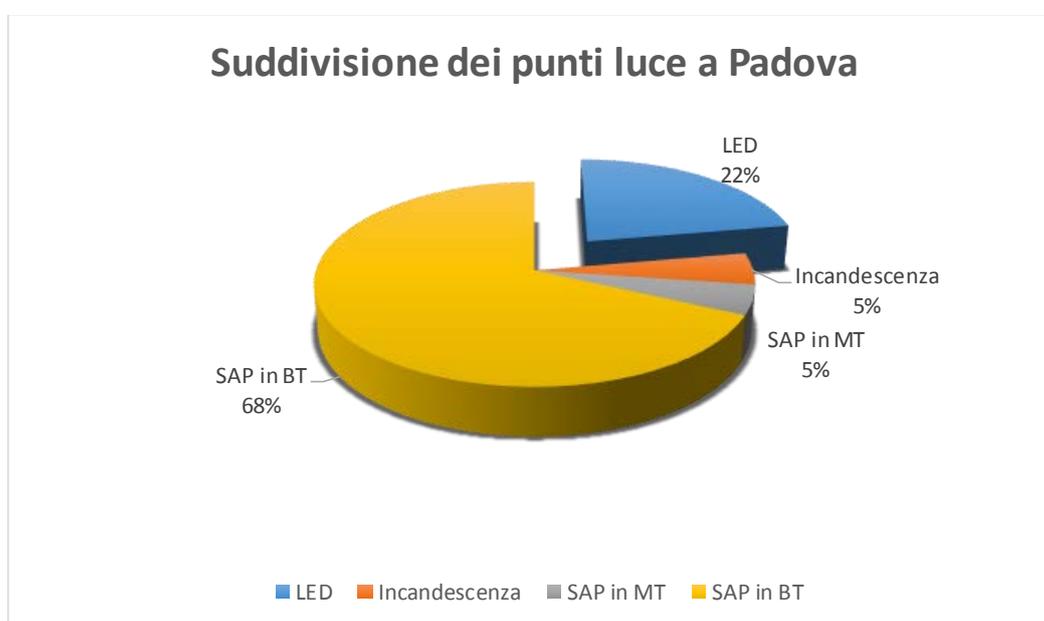


Figura 9 – Suddivisione dei punti luce per tipologia di lampada nel Comune di Padova (aggiornato al 2018)

## Lampade operanti sul territorio

### Incandescenza

Il filamento metallico, avvolto di solito a spirale, è posto all'interno di un'ampolla di vetro nella quale è praticato il vuoto. Sono state le prime ad essere impiegate nel campo dell'illuminazione, create nel 1878 da Thomas Edison e perfezionate successivamente attraverso l'introduzione di un filamento di tungsteno che, riscaldato all'interno di un bulbo, contenente gas inerte (azoto, argon) e/o un alogeno (iodio, bromo), a temperature intorno a 2'700 K dal passaggio di corrente elettrica, permette l'irraggiamento dei fotoni a seguito della collisione prodotta tra il flusso di elettroni e gli ioni di gas o vapori metallici in cui sono immersi, generando luce. Si dividono in GLS (Generale Lighting Service) Reflector, Alogene. Solo queste ultime sono ancora minimamente impiegate in sostituzione delle normali lampadine per via dell'ancora accettabile rapporto resa cromatica/costo.



Figura 10

Tuttavia, sono ormai da tempo considerate altamente inefficienti, energivore e ad alta dispersione di calore, fin al 95% della loro energia, oltre che dalla bassa durata di vita anche se dal bassissimo costo, per questo, quelle superiori a 100 W non si trovano più in commercio e verranno presto interamente soppiantate da lampade più efficienti. L'UE conta di eliminare anche quelle sotto i 100 W entro il 2020.

Nel parco di illuminazione della città di Padova rappresentano ancora il 5% del totale con potenze che vanno da 125 a 375 W.

## Sodio Alta Pressione (SAP)



Figura 11 – Lampada SAP, Sodio Alta Pressione

Lampade a scarica, basate anch'esse sull'emissione luminosa per luminescenza da parte di un gas ionizzato mantenuto nel bulbo ad alta pressione, generando una colorazione bianca tendente all'arancio, dalla temperatura di colore di circa 2'000 K, caratteristica che le rende idonee per applicazioni in cui è gradita la resa dei colori ma non fondamentale (illuminazione stradale). Costituiscono l'evoluzione della tecnologia ai vapori di sodio a bassa pressione, rispetto alle quali hanno un miglior, seppur ancor modesto, indice di resa cromatica anche se a fronte di una minor resa luminosa. Dall'alta efficienza luminosa (150 lumen/watt), sono ancora apprezzate per la competitiva durata di vita media (16'000 ore) e il costo ridotto. Particolari accorgimenti costruttivi per non pregiudicarne la longevità vanno tenuti in conto per far fronte all'aggressività chimica del sodio alle alte pressioni, come il rivestimento del vetro mediante particolari ossidi di alluminio.

### *Vantaggi*

- Elevata resa luminosa:  $\cong 150$  lumen/watt;
- Mediamente elevata durata di vita media: 16'000 ore;
- discreta resa cromatica,  $R_a \cong 20 \div 50$ ;
- Costo:  $\cong 25$  €
- Colore di emissione caldo;

### *Svantaggi*

- Dimmerazione parziale;
- Durata di vita fortemente condizionata dalla qualità di erogazione del servizio;
- L'assorbimento energetico cresce nel tempo;

- La durata di vita media varia tra il 10 e il 30% di quella dei LED;

## LED



*Figura 12 - diodo ad emissione di luce (LED)*

I LED (diodi ad emissione di luce), insieme agli OLED (diodi organici ad emissione di luce) Sono il presente e il futuro dell'illuminotecnica. Nati nel 1962, sono in commercio dal 1990 e sono costituiti da un sottile strato di semiconduttore drogato che sottoposto ad una tensione diretta è in grado di produrre fotoni. I vari tipi di drogaggio dei semiconduttori determina la lunghezza d'onda della luce emessa.



*Figura 13 - Faretto LED*

Una potenzialità quella dei LED, che però non è ancora pienamente espressa. Il led per ora si sta affermando decisamente solo in alcuni settori. Uno di questo è sicuramente l'illuminazione pubblica. Durevoli ed efficienti i led sono l'ideale per l'illuminazione stradale anche perché sono direzionali, emettono cioè un fascio luminoso definito, riducendo al minimo l'inquinamento luminoso e permettendo anche di ridurre i punti luce. Tra le elevate potenzialità questa tecnologia annovera l'alta resa luminosa intorno ai 120 lumen/watt (sono stati raggiunti anche i 160 lm/w), l'alta resa cromatica  $R_a \cong 85$ , l'assenza delle componenti IR e UV ma soprattutto l'elevata durata di vita di media, dichiarata fino a 100'000 ore ma realisticamente certificata per 50-60'000 ore; tali fattori stanno rendendo i led le scelte sempre più preminenti sul mercato. Altro aspetto, fondamentale ma spesso ignorato, e che fa di queste sorgenti le più adatte anche dal punto di vista della salvaguardia del pianeta, è che diversamente dalle tradizionali lampade a scarica, se disperse in ambiente provocano un danno minimo perché non contengono né i fosfori contenuti nei tubi fluorescenti, né gas pericolosi come i vapori di mercurio, elemento altamente tossico e in grado di provocare gravi forme di inquinamento del suolo e delle acque. Il punto critico di questa tecnologia è l'elettronica raffinata che sta alla base del funzionamento, necessita di un monitoraggio costante delle condizioni d'utilizzo, la sua durata di vita media è difatti molto condizionata dall'energia termica che riesce a dissipare che altrimenti ne ridurrebbe pesantemente la durata di vita media.

### *Vantaggi*

- risparmio energetico: a parità di potenza assorbita, il LED produce un flusso luminoso di circa cinque volte superiore a quello delle lampade ad incandescenza e alogene;
- scarso calore sviluppato: l'efficienza elevata è legata al fatto che solo una piccola parte dell'energia assorbita è dissipata sotto forma di calore, a differenza delle lampade a incandescenza e delle fluorescenti; (i Power LED hanno tuttavia bisogno di un cooler perché l'aumento della temperatura degrada le caratteristiche ottiche ed elettriche del sistema);
- bassa potenza richiesta: al contrario delle lampade tradizionali, i LED hanno bisogno di correnti talmente ridotte che è possibile tranquillamente autoalimentarli con energie rinnovabili (luce del sole o del vento);
- funzionamento in sicurezza: rispetto alle lampade normali, che lavorano a tensione di rete, i comuni LED sono più sicuri, perché alimentati a bassa o a bassissima tensione.

Questo discorso non è valido per i più recenti tipi di Power LED, che sono alimentati con la stessa tensione;

- lunghissima durata di vita: 50'000 ore di vita per blu e bianco, 10'000 ore per i monocromatici, superano abbondantemente le 750 ore delle lampade a incandescenza e le 7500-10000 ore delle lampade fluorescenti;
- risparmio sui costi di manutenzione;
- resistenza agli urti e alle sollecitazioni, anche a caldo; insensibilità alle vibrazioni;
- accensione a freddo: al contrario delle lampade fluorescenti, hanno tempo di accensione pari a zero fino a temperature di  $-40^{\circ}\text{C}$ , per cui il flusso emesso è immediatamente pari al flusso di regime;
- assenza di componente ultravioletta: l'assenza totale di emissione UV fa sì che i LED non alterino i colori e non attirino insetti, per cui risultano la sorgente luminosa ideale per illuminare tutti quegli oggetti soggetti a degradazione, come opere d'arte e alimenti.

### *Svantaggi*

- bassi valori di flusso emesso, generalmente vi è la necessità di accorpate un certo numero di singole unità;
- emissione dipendente dalla temperatura; la dipendenza dell'intensità luminosa e del colore dalla temperatura di giunzione dei LED è particolarmente problematica per i prodotti che funzionano in ambienti esterni non controllati, in cui le variazioni di temperatura possono superare facilmente i  $50^{\circ}\text{C}$ ;
- eccessiva emissione della componente "blu" nello spettro;
- costo ancora relativamente elevato;

Le sorgenti luminose a LED, al contrario delle sorgenti luminose tradizionali, non tendono a spegnersi improvvisamente esaurita la loro vita utile: i LED infatti nel tempo diminuiscono gradualmente il loro flusso luminoso iniziale fino ad esaurirsi completamente in un periodo molto lungo. Il mantenimento del 70% del flusso iniziale corrisponde al limite al di sotto del quale l'occhio umano percepisce una riduzione della luce emessa. Per questo motivo, numerose ricerche dimostrano che una riduzione del flusso iniziale del 30% è accettabile per la maggioranza delle applicazioni luminose e quindi viene definita come "vita media utile" di un

LED il tempo trascorso prima che venga raggiunto questo limite (indicato generalmente come “L70”).

Per completezza di argomento cito ancora 2 lampade non operanti nel Comune di Padova ma ancora diffuse nel territorio nazionale nel campo dell’illuminazione urbana.

## Lampade ad alogenuri o a ioduri metallici

Hanno un flusso luminoso molto concentrato il che consente di realizzare impianti di illuminazione con potenze contenute. Il principale svantaggio è la lentezza in fase di accensione, circa 5 minuti, che raddoppiano in caso di spegnimento e accensione a caldo. Sono usate nei casi in cui è richiesta una buona resa cromatica (strade frequentate dal pubblico, strade commerciali o dei centri storici, parchi e giardini).

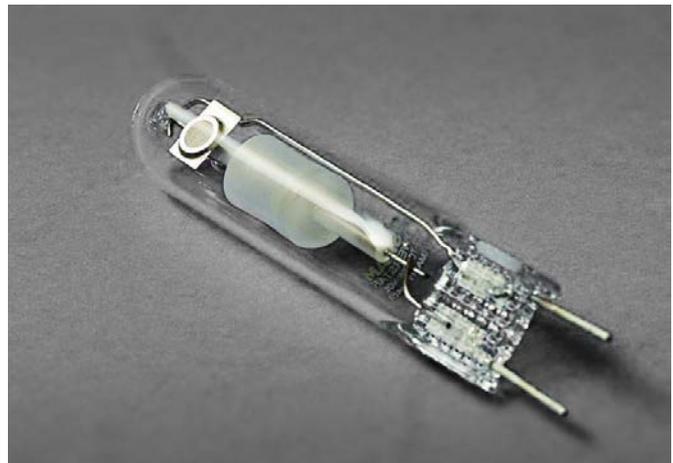


Figura 14

## Lampade ai vapori di sodio a bassa pressione (SBP)

Sono utilizzate quasi esclusivamente per illuminare le strade extraurbane, o installate presso le aree industriali dove non è richiesta una buona resa dei colori (difatti l’immagine sarà tendente al giallo-arancio) ma è necessaria un’ottima visibilità al buio.



Figura 15

Il riepilogo in Tabella 5:

Caratteristiche					
LAMPADE A INCANDESCENZA		Potenza (W)	Efficienza (lm/W)	Vita media (h)	R <sub>a</sub> (resa cromatica)
Alogene	A tensione di rete	25-1000	20-25	2'000-6'000	100
	A bassissima tensione	25-1000	20-25	2'000-6'000	100
LAMPADE A SCARICA					
Ad alta pressione	Ad alogenuri	70-2000	75-80	10'000	85-95
	A vapori di mercurio	50-1'000	30-55		65
	A vapori di sodio (SAP)	50-1'000	39-120	5'000-15'000	80
A bassa pressione	A vapori di mercurio	5-58	50-95	5'000-12'000	75-80
	A vapori di sodio (SBP)	18-180	100-200	5'000-18'000	≈ 0
A induzione		55 / 85	65-75	6'000	-
LED		0.5-1	40-60	75'000	90

Tabella 5

In Fig. 16 sono mostrati i valori estratti dalla tabella; ciò che si nota è la sostanziale parità tra SAP e LED nei valori qualitativi, efficienza luminosa e resa cromatica, e di netta predominanza dei LED invece nei valori quantitativi, ovvero la durata media. I led arrivano a durare fino ad almeno 4 volte di più.

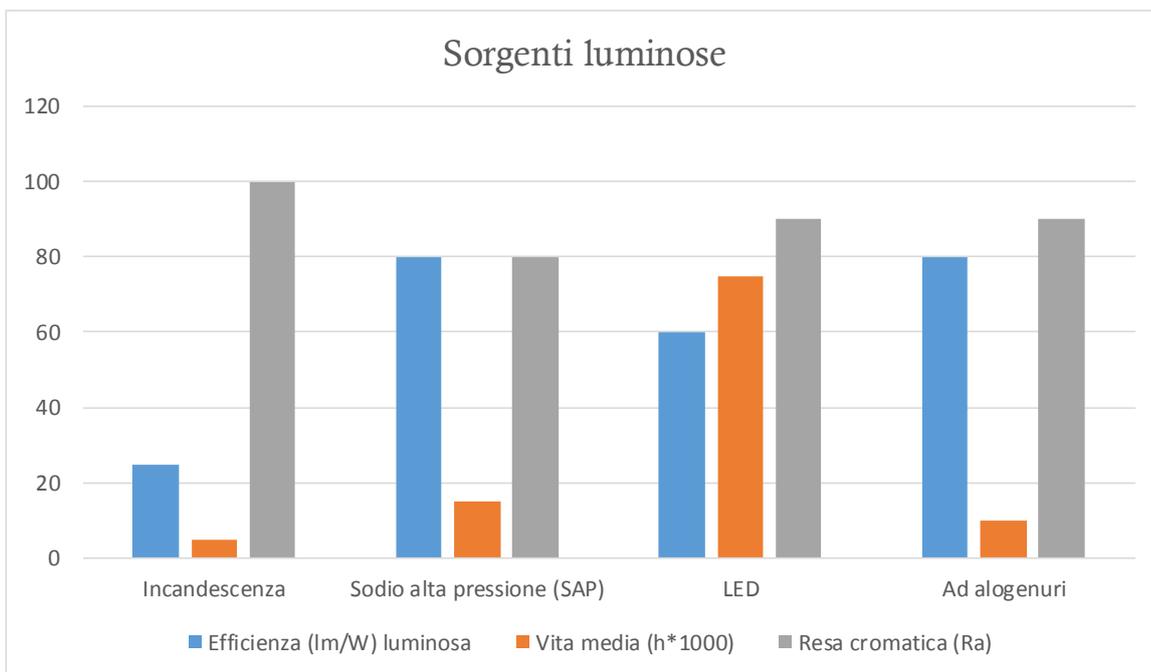
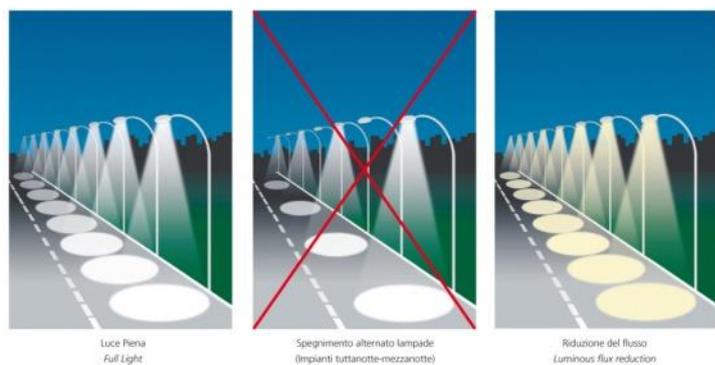


Figura 16

## Illuminazione stradale, evoluzione e tecnologia

L'Italia ha sempre cercato strade innovative per risparmiare energia nell'illuminazione delle strade. Negli anni 70 si sperimentavano le domeniche a piedi: in quegli anni apparvero i primi impianti di illuminazione cosiddetti tutta notte-mezzanotte. Apparve infatti da subito uno spreco evidente illuminare le strade durante le ore più fonde della notte quando il traffico era quasi inesistente: quindi si spegnevano i lampioni, uno sì, l'altro no, dopo la mezzanotte.

Figura 17



Negli anni 90 apparve chiaro che questa tecnica creava pericoli dovuti alla disuniformità dell'illuminazione. Grazie alla tecnologia si resero disponibili i regolatori di flusso luminoso e la *UNI 10439 Illuminotecnica - Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico*

*motorizzato*, ora ritirata e sostituita dalla UNI 11248, immediatamente recepì la novità nel 2001 ed introdusse per la prima volta in Europa una regola pratica di facile applicabilità per ridurre il flusso luminoso (a uniformità costante) in funzione del traffico che più o meno si può sintetizzare così:

traffico -50%, flusso luminoso -25%, traffico -75%, flusso luminoso -50% (tale norma è attiva ancor oggi, come vedremo più avanti). Allora le raccomandazioni internazionali del CIE (Commissione internazionale per l'illuminazione) e le norme europee accennavano solo vagamente alla possibilità di ridurre il flusso luminoso. Italia ed UNI ancora un passo avanti nel 2008 quando la norma *UNI 11248 Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche* delimita meglio le condizioni per regolare il flusso luminoso, mentre la norma Europea ancora consente soltanto la possibilità di regolare il flusso luminoso senza dare indicazioni pratiche. Nel 2015 la nuovissima norma europea EN 13201 sull'illuminazione stradale, finalmente introduce un paragrafo sulla regolazione della luce stradale ed il risparmio energetico, enunciando dei principi generali. Ma l'Italia ed UNI si accingono a fare un passo deciso nel solco tracciato dai normatori europei: passare dalla sola definizione di illuminazione stradale adattiva all'applicazione pratica, con l'identificazione delle "regole di ingaggio", approfittando della revisione della norma UNI 11248 attuata nel 2016.

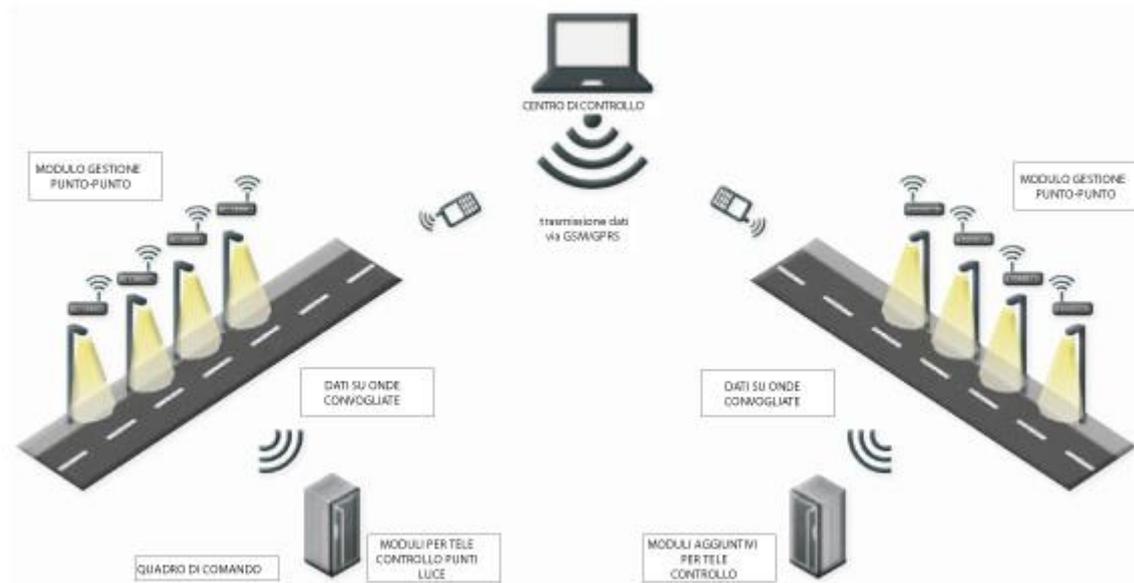


## CAP. 2 - LED pre programmati e LED adattivi

La vera innovazione nel campo degli scenari di illuminazione urbana è probabilmente arrivata con l'introduzione di sistemi di telecontrollo degli impianti di illuminazione, strumenti avanzati che consentono di monitorare costantemente lo stato degli impianti, decidere in maniera flessibile come, dove, e quando accendere, spegnere o ridurre il flusso luminoso di ogni singolo punto luce, e con la ulteriore possibilità di intervenire anche su impianti già esistenti. Il principio di funzionamento generale di questi sistemi si basa sull'utilizzo della tecnologia PLC (Power-Line Communication) ad onde convogliate, che consiste nel porre sopra al segnale elettrico di 50 Hz un altro segnale con una frequenza più alta (banda da 1,6 a 30 Mhz) e con energia debole. Il secondo segnale si propaga sull'installazione elettrica e può essere ricevuto e decodificato da remoto da tutti i ricevitori PLC che si trovano sulla stessa linea elettrica. Tramite un filtraggio e una separazione degli intervalli di frequenza utilizzati si ottiene la separazione tra i due tipi di corrente. Per mettere in comunicazione ogni singolo punto luce con il quadro di telegestione viene inserito in ogni armatura un dispositivo operante con onde convogliate che permette l'accensione e lo spegnimento del singolo punto luce, ove è installato. Inoltre, fornisce la lettura da remoto delle misure da parte del centro di controllo (tensione, corrente, fattore di potenza, ore di funzionamento, stato della lampada, ecc.) consente di individuare in tempo reale i guasti eliminando per tempo le possibili scorie emesse nell'aria prolungandone la vita utile, identificare le lampade in esaurimento, eseguire dettagliate analisi sul funzionamento dei punti luce gestiti.

Un sistema siffatto viene denominato "punto-punto" e la comunicazione avviene in PLC tra punto luce e quadro e attraverso i canali di comunicazione classici, GSM, GPRS, LAN, Wi-Fi tra quadro e centro di controllo.

Figura 18 – Schema di controllo remoto di un sistema di illuminazione pubblica operante ad onde convogliate (PLC)



L'adozione della tecnologia delle onde convogliate ha portato all'introduzione sistematica di impianti, già a vapori di sodio ad alta pressione (SAP) con cicli di dimmerazione pre-programmati, successivamente è venuta la volta dei LED operanti tramite orologio astronomico a cicli di dimmerazione pre-programmati.

## Regolatori di flusso

I regolatori di flusso sono dispositivi che effettuano una riduzione e controllo della tensione e del flusso luminoso ad orari prestabiliti dal sistema di accensione. Possono essere installati sul punto luce o sul quadro elettrico serie a cui i punti luce fan capo. Sono controllati da interruttori crepuscolari o astronomici, questi ultimi sono i più usati perchè hanno il vantaggio di regolare gli orari di accensione all'alba e spegnimento al tramonto in funzione dell'impostazione della latitudine e longitudine del sito d'installazione in funzione del mutare delle stagioni e non solo in base all'aumento o diminuzione della luminosità media dell'ambiente (ciò ha comportato in passato accensioni e spegnimenti anomali, non solo per cause di eventi sociali ma anche atmosferiche).

Nel caso delle SAP l'alto costo del regolatore centralizzato rende conveniente l'installazione solo se effettuata su quadri con almeno 60 p.l., il prezzo medio è sui 4/5.000 €.

Le SAP in media tensione sono pilotate in corrente dal quadro di controllo, quelle in bassa t. sono pilotate in tensione, riducendola del valore corrispondente al flusso luminoso desiderato si determina un minor assorbimento di corrente; gli step di riduzione possono essere due, coerentemente con quanto permette la norma UNI 11248 sul risparmio energetico relativo alla riduzione del traffico.

Le lampade SAP controllate tramite regolatore di flusso sono state evidenziate come maggiormente longeve in quanto isolate dalle sovratensioni e armoniche, costantemente presenti nelle linee di distribuzione elettrica, che compromettono la durata di vita del corpo illuminante. L'allungamento della durata di vita con regolatore di flusso può arrivare al 40%.

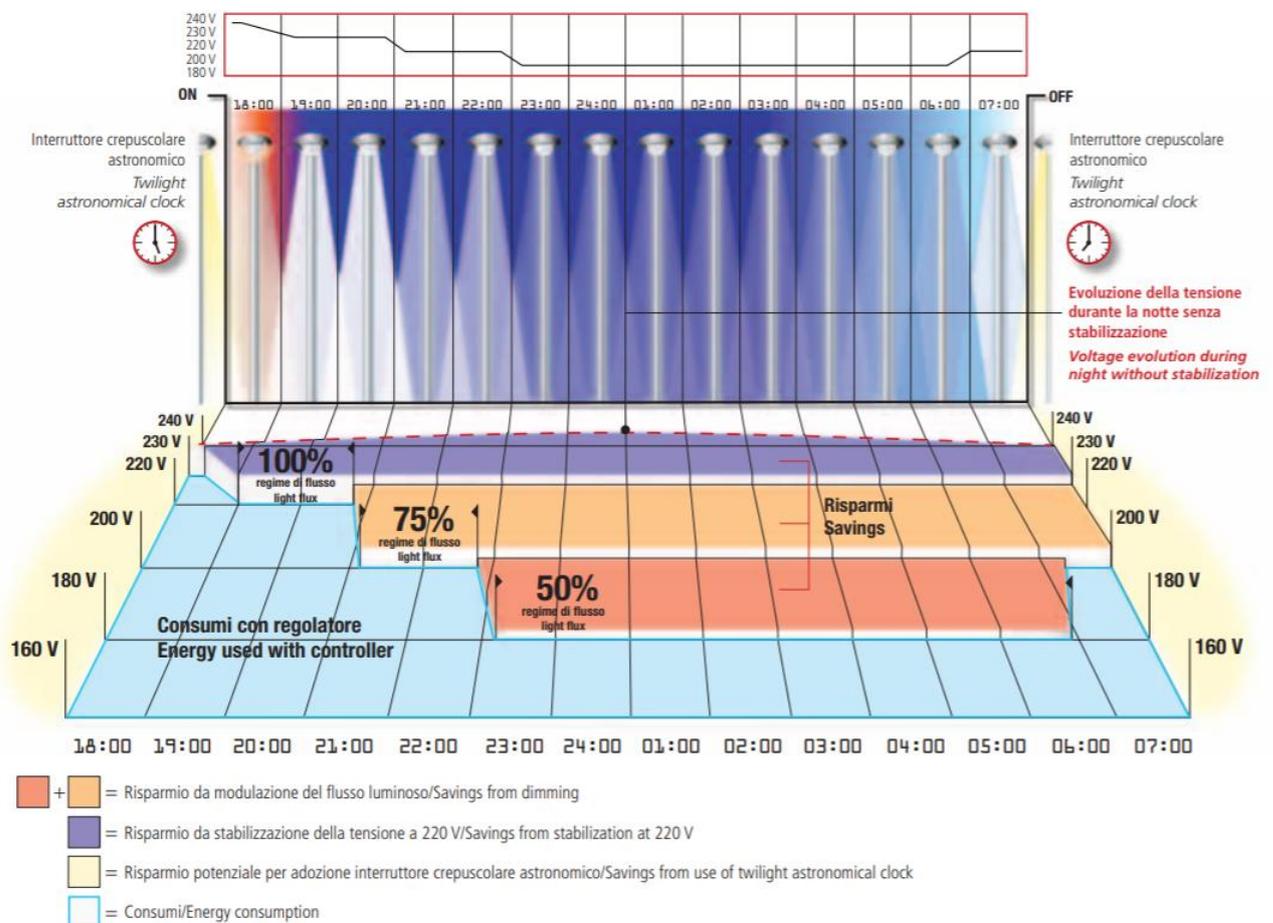


Figura 19

Nel caso dei LED la regolazione del flusso ha 2 soluzioni:

- nativa, con modulo preinstallato, per lampade singole o per linea, operante tramite orologio astronomico e controllabile via onde convogliate;

- adattiva, in cui il corpo illuminante “segue” le rilevazioni di una telecamera, o sensore di prossimità, e alza il livello luminoso nel momento in cui viene rilevato un transito, pedonale o motorizzato. Controllabile in presenza di un modem (GSM, GPRS, UMTS, 4G, 5G, radio o wi-fi);

In questo secondo caso la lampada prevede l’installazione di un modulo di controllo, aggiuntivo o preintegrato, nella lampada stessa che si interconnetta con un sistema informatico sensibile ai rilevamenti di traffico. Tale sistema verrà descritto più avanti, durante lo studio del sistema di illuminazione adattiva del Lungargine Scaricatore.

Nel resto del Comune di Padova, i corpi illuminanti LED installati, relativamente recenti avendo al massimo una decina d’anni, dispongono tutti di un regolatore di flusso integrato pre-programmato, che dimmerà il flusso luminoso del 30% in riduzione, in fascia notturna. (Il dimmer integrato ha un costo aggiuntivo di pochi euro ed esce già installato dalla Casa produttrice.) I corpi illuminanti SAP sono invece controllati in tensione attraverso il quadro elettrico serie a cui sono collegati.

Dei 430 quadri di alimentazione relativi invece alle SAP, 147 hanno il regolatore di flusso e sono dimmerati al 30% in riduzione in fascia notturna.

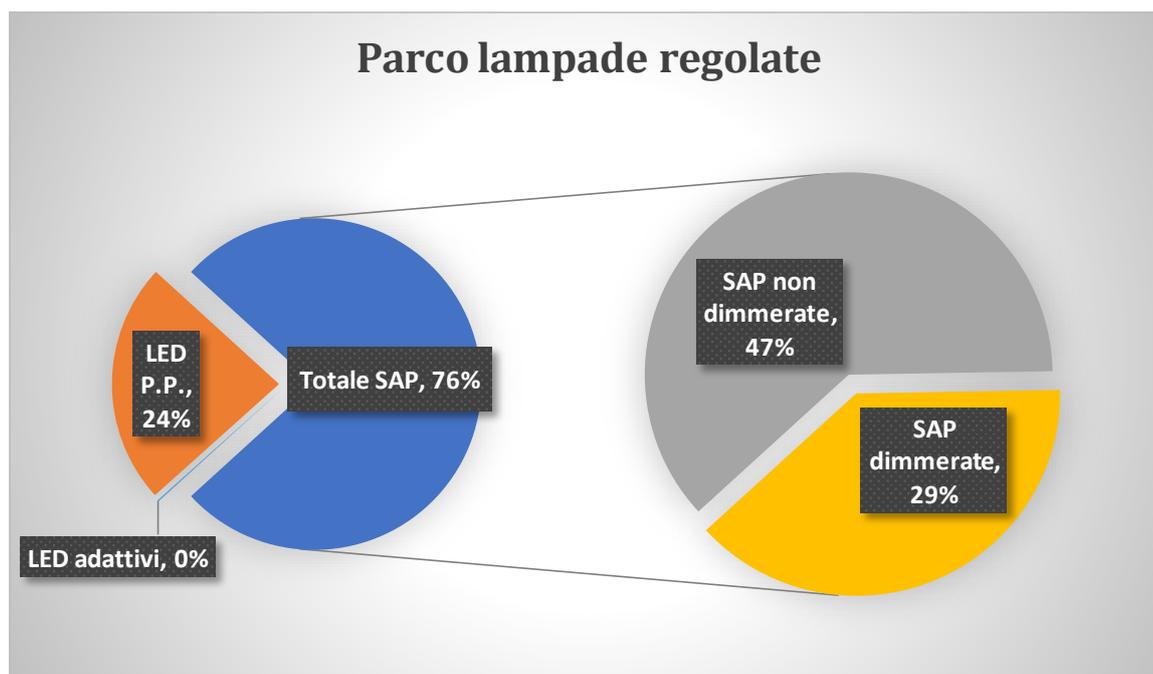


Figura 20 – Parco lampade con possibilità di regolare il flusso luminoso presenti nel Comune di Padova

La fig. 20 mostra come le SAP abbiano il controllo di  $\frac{3}{4}$  del parco lampade ma solo una porzione intorno al 40% siano dimmerate, che corrisponde al 29% del totale parco lampade. I LED sono

tutti pre programmati dimmerati, si affacciano i LED adattivi, corrispondenti oggi ad una percentuale quasi nulla (solo 46 lampade su 36.000).

Le SAP vengono controllate in tensione da un quadro che governa tutta la linea serie e a seconda del numero di lampade e della potenza che si trovano a gestire può costare 4/5000 €. Ogni quadro può controllare un numero molto diverso di lampade, è perciò complicato risalire al numero esatto ma una stima sufficientemente accurata fa ritenere il numero delle SAP dimmerate circa il 40% del totale. Anche in questo caso il flusso in dimmerazione è del 30% in riduzione, che non può scendere ulteriormente a causa dell'incapacità delle SAP di reggere tensioni di alimentazione sotto i 170 volt, si rischia infatti di interrompere la corrente tra i due elettrodi principali causando lo spegnimento della lampada.

## Sistemi di dimmerazione

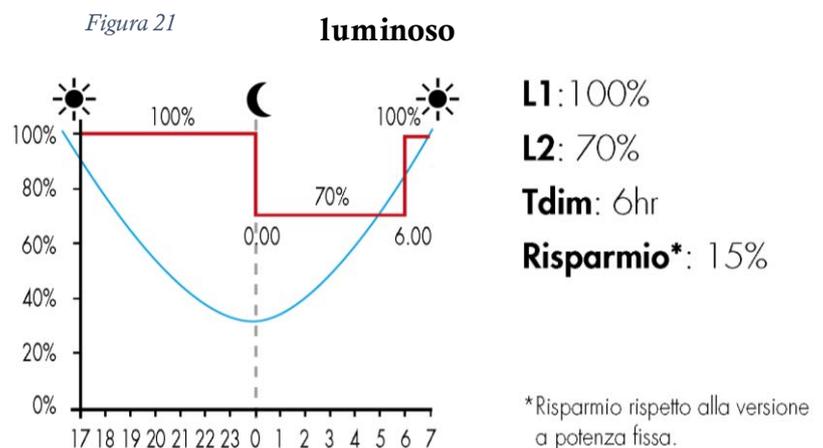
Da circa una decina d'anni le nuove tecnologie di illuminazione permettono la dimmerazione, ovvero la modulazione del flusso luminoso, sono la tecnologia SAP ma soprattutto quella a LED a permettere una facile e affidabile regolazione, gli apparecchi sono equipaggiati con un alimentatore elettronico in grado di regolare l'emissione luminosa agendo direttamente sulla corrente che alimenta il gruppo ottico.

Queste sono le soluzioni disponibili sul mercato, in particolare per i LED:

### ➤ VERSIONE da DIM-AUTO

#### Regolazione automatica del flusso

L'alimentatore è configurato con un profilo di dimmerazione automatica che permette di sfruttare la massima intensità luminosa nelle prime e nelle ultime ore di accensione dell'impianto, riducendo i consumi energetici nelle ore centrali della



notte quando frequentemente è sufficiente un livello di illuminazione inferiore. Il profilo di riduzione si adatta automaticamente alla durata del periodo notturno durante l'anno.

### **Opzione DAC (profilo DIM-AUTO custom)**

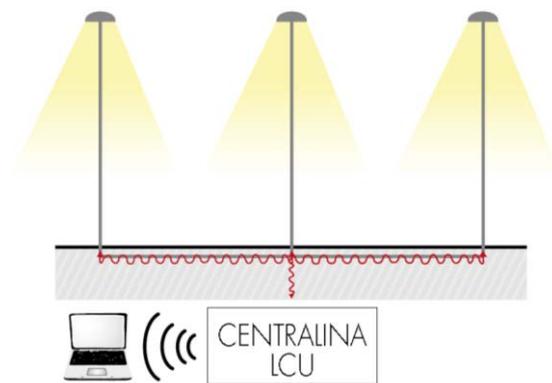
L'alimentatore è configurato con profilo di dimmerazione custom, personalizzato totalmente dall'utente (fino a 5 livelli di regolazione in 4 step).

#### ➤ **VERSIONE PLM**

### **Regolazione del flusso luminoso tramite onde convogliate**

La riduzione del flusso luminoso può essere associata al monitoraggio puntuale e remoto del singolo apparecchio mediante il telecomando ad onde convogliate. Con questa opzione, associata ad una centralina LCU, è possibile controllare il singolo punto luce permettendo di realizzare scenari personalizzati di illuminazione. Con quadri di telecomando più complessi è possibile monitorare da remoto, tramite reti wireless o GSM/GPRS, il consumo energetico dell'impianto e segnalare eventuali guasti senza interventi di manutenzione in campo.

Figura 22



La centralina LCU permette il controllo versatile di un impianto. Il profilo di riduzione può essere personalizzato con una semplice operazione di programmazione locale o da remoto. Gli apparecchi possono essere divisi in sottogruppi con profili di dimmerazione diversi. Possibilità di utilizzo di orologio astronomico o di interfacciamento con dispositivi a commutazione esterni.

Esistono poi due opzioni la cui realizzazione è fattibile previa analisi di fattibilità:

## OPZIONE D10 (DIM-10)

### REGOLAZIONE DEL FLUSSO TRAMITE CONTROLLO ANALOGICO 1-10V

Permette la regolazione degli apparecchi di illuminazione tramite un segnale analogico di tensione compreso tra 1V, corrispondente al livello di luminosità minimo, e 10V, corrispondente al livello di luminosità massimo.

## OPZIONE DR (DIM-REG)

### REGOLAZIONE DEL FLUSSO LUMINOSO DA REGOLATORI DI FLUSSO

Negli impianti in retrofit<sup>8</sup> a LED può essere presente un regolatore di flusso per lampade a scarica. Con questa opzione l'apparecchio a LED insegue la regolazione di tensione effettuata nell'impianto variando di conseguenza la corrente di alimentazione dei LED.

E' possibile così far convivere nello stesso impianto apparecchi HID<sup>9</sup> con apparecchi a LED sfruttando i sistemi a risparmio energetico esistenti.



Figura 23

La soluzione a regolatore di flusso non rappresenta la soluzione primaria un adattamento derivante dagli impianti SAP.

## Cicli pre programmati

È stato grazie alla UNI 10439 del 2001 che in Italia fu introdotta in maniera chiara la possibilità di regolare il flusso luminoso degli apparecchi di illuminazione stradale in funzione del traffico. Tuttavia quasi sempre i Comuni non sono in possesso di dati di traffico, né in

<sup>8</sup> Il retrofit consiste nell'aggiungere nuove tecnologie o funzionalità ad un sistema vecchio, prolungandone così la vita utile, in questo caso si sta parlando di aggiungere LED in un sistema elettrico progettato per SAP.

<sup>9</sup> Luci a scarica ad alta intensità (High-intensity discharge lamps), si tratta di solito di SAP ad

tempo reale, né storici, per cui per ovviare a questo problema si gestirono i cicli di regolazione sulla base di informazioni statistiche. La UNI 11431 del 2011 *Luce e illuminazione - Applicazione in ambito stradale dei dispositivi regolatori di flusso luminoso* ha in parte ovviato al problema, indicando gli orari di regolazione che si possono adottare in funzione delle stagioni, in modo da fornire al progettista un criterio generale di riferimento ed evitare valutazioni troppo ottimistiche. Tuttavia, una regolazione basata sui cicli preimpostati a tavolino, statistici, ha due svantaggi:

- non consente in ogni momento all'utente di usufruire delle più adatte condizioni di illuminazione. Un incidente, una coda, o semplicemente un'importante partita di calcio possono determinare un flusso di traffico ben diverso da quello stimato, e quindi l'impianto di illuminazione erogherebbe un flusso luminoso notevolmente inferiore a quello auspicato dalla norma.
- le condizioni di traffico variano molto durante l'anno e quindi l'adozione di cicli predefiniti, dovendo necessariamente prendere in considerazione i casi peggiori, risulta spesso troppo conservativa ai fini del risparmio energetico.

Su quest'ultimo punto gli astrofili chiedono che senso avrebbe illuminare a piena potenza le strade di un paesino periferico già alle 19.00 in un giorno feriale di inverno, mentre la UNI 11431 conservativamente indica le 22.00 come primo orario di riduzione. In definitiva, una illuminazione che in tempo reale si adatta alle condizioni misurate e costantemente monitorate, incrementa la sicurezza e riduce i consumi di energia.

## **Cos'è l'Illuminazione adattiva**

La UNI 11248 aggiornata nel 2016 specifica: *Illuminazione a regolazione in tempo reale (illuminazione adattiva): «illuminazione a regolazione nella quale le variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento sono attuate con continuità in base alle reali condizioni dei parametri di influenza come il flusso di traffico, la tipologia di traffico o le condizioni atmosferiche.»* In pratica si tratta della pratica di regolare l'illuminazione stradale basata su dati in tempo reale sia del traffico che delle condizioni meteo (che influenzano notevolmente la capacità del conducente di individuare gli ostacoli, si pensi alla nebbia), e

tenendo anche conto delle prestazioni reali dell'impianto di illuminazione (la luminanza vera presente in quel momento). Grazie alle moderne tecnologie oggi si riesce a realizzare impianti equipaggiati con queste tecnologie che si adattano continuamente ed in tempo reale ai bisogni dell'utenza con investimenti ragionevoli.

La disponibilità di sensori e sistemi di comunicazione a basso costo sta riscontrando un crescente consenso tra gli operatori del settore, per questo il GL 5 del CT 23 di UNI (Commissione dell'Ente Italiano di Normazione per l'illuminazione stradale), partendo da un nuovo concetto espresso nella edizione 2015 della norma europea EN 13201 parte 1, ha deciso di normare le possibili applicazioni relative all'illuminazione adattiva: la norma 13201 stabilisce che l'Illuminazione adattiva consiste in variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento in relazione al flusso di traffico (per esempio numero di veicoli ogni 5 minuti), orario, condizioni meteo o altri parametri. Quindi i concetti fondamentali espressi dalla norma sono legati a tre parametri sensibili:

- luminanza (o illuminamento)
- flusso veicolare
- condizioni metereologiche

Nel sistema adattivo l'illuminazione, in accordo alla norma, è garantita sulla base delle misurazioni effettuate in quel preciso momento e non è affidata a cicli di funzionamento pre-programmati.

## **Illuminazione adattiva su traffico motorizzato**

La nuova versione della UNI 11248 individua due modalità di regolazione:

- TAI (Traffic Adaptive Installations) nel caso in cui l'unico parametro misurato sia il traffico. La norma consente di regolare il flusso luminoso sulla base di campioni presi ad intervalli di 5 min, secondo logiche che prevedono una riduzione graduale, e quando necessario, un incremento più rapido;
- FAI (Full Adaptive Installations) nel caso in cui oltre al traffico si misurino anche le condizioni metereologiche e la luminanza in tempo reale. In questo caso la norma consente di declassare fino a 3 livelli (mentre con il TAI il massimo ammesso è 2

livelli), cioè ottenere un maggior risparmio energetico, a condizione che il sistema monitori non solo il traffico, ma anche gli altri parametri essenziali ai fini della gestione dell'impianto: le condizioni meteorologiche, che possono creare situazioni di pericolo e richiedono strategie di regolazione diverse da quelle basate sul solo traffico, e la luminanza reale misurata, per garantire che sporcizia degli apparecchi, decadimento sorgenti e spegnimenti inattesi non determinino condizioni di illuminazione ancora più degradate del minimo consentito.

Dai risultati delle sperimentazioni compiute nella provincia di Bergamo dall'I.N.R.I.M. - Istituto Nazionale Ricerca Metrologica di Torino si evidenziano i vantaggi intrinseci che si ottengono mediante la regolazione della luce stradale adibita a traffico motorizzato. Il risultato è stato un risparmio energetico del 30% rispetto ad una regolazione a cicli pre-programmati. Non è però ancora stato documentato l'effettivo risparmio energetico, ed ovviamente economico, nell'applicazione di tale illuminazione adattiva alle piste pedonali e ciclopeditoni, le categorie illuminotecniche a cui riferirsi sono infatti diverse e lo sono anche la potenza degli impianti e delle singole lampade da cui ne dipenderà conseguentemente un costo inferiore.

## **Dimmerazione secondo norma**

Gli impianti di IP si accendono grazie ad un sistema centralizzato controllato da orologi astronomici che sostituiscono i vecchi interruttori crepuscolari facilmente confondibili da luminosità artificiali. La norma a riferimento per la parzializzazione nelle ore notturne è la UNI 11248, la quale prevede la possibilità di ridurre anche di 2 categorie illuminotecniche, quindi del 50%, i livelli di illuminazione nelle ore notturne con minore flusso di traffico.

In condizioni di traffico ridotto:

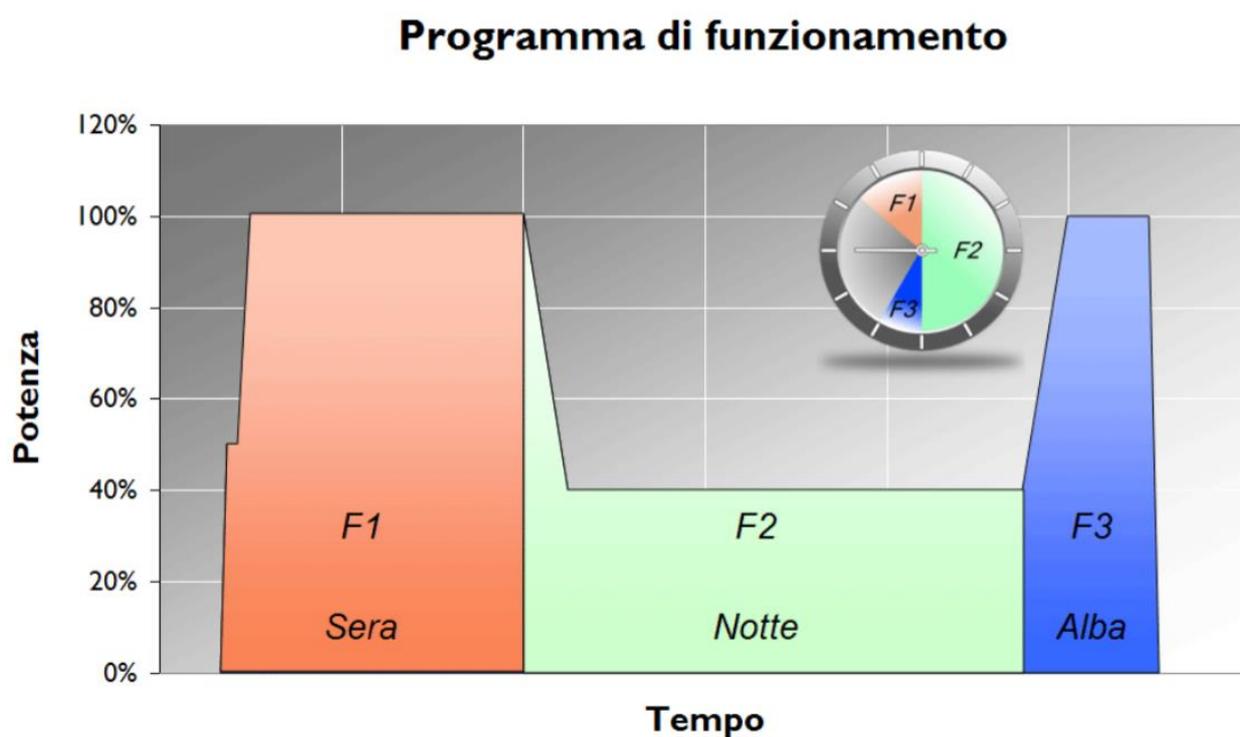
**Traffico < 50%:** è consentita la riduzione di 1 categorie illuminotecnica (75% del flusso luminoso)

**Traffico < 75%:** è consentita la riduzione di 2 categorie illuminotecniche (50% del flusso luminoso),

purchè sia garantita la sicurezza dei cittadini, al fine di ridurre i consumi energetici, e di limitare gli aspetti negativi dell'illuminazione. Nella classificazione delle strade, la succitata norma UNI 11248 ammette che le prestazioni illuminotecniche possano variare non solo in

funzione del traffico ma anche delle fasce orarie. Questo significa che il flusso luminoso può essere diminuito in corrispondenza degli orari in cui, presumibilmente, nei pressi di un edificio, di un'area definita o di una strada si registri un flusso di persone, o veicoli, ridotto. Quello delle 22.30 nella città di Padova è stato statisticamente rilevato come l'orario in cui si è registrato un calo di transiti significativo di almeno il 50%, e sarà quello tenuto a riferimento nei successivi calcoli energetici.

Figura 24 - Programma di funzionamento della dimmerazione notturna



**Prima fascia:** 18.00 – 22.30, 4 ore e mezza di accensione nella categoria illuminotecnica di esercizio.

**Seconda fascia:** 22.30 – 6.00, 7 ore e mezza di accensione in dimmerazione (1 o 2 categorie illuminotecniche in riduzione)

## Efficienza energetica e quadro normativo

Qual è la migliore definizione di “illuminazione urbana intelligente”? Una definizione che raccoglie molti consensi è la seguente:

“Effettiva integrazione, automatica ed ecocompatibile, di sistemi fisici, digitali e sociali per garantire la migliore illuminazione, sicurezza ed interoperabilità in ogni situazione. Il sistema di illuminazione intelligente potrebbe integrarsi o interfacciarsi con altri sistemi intelligenti come smart building, smart city o smart grid”.

Dal punto di vista dell'efficienza energetica e di quello ambientale, un impianto di illuminazione dovrebbe avere un livello di illuminazione corrispondente al valore minimo richiesto della categoria illuminotecnica pertinente e dovrebbe soddisfare anche tutti gli altri requisiti pertinenti, per esempio uniformità (valore  $U_0$ ), illuminazione delle zone circostanti o ulteriori. In tal senso, i livelli di illuminazione specificati nei prospetti delle norme sono i valori di riferimento per i minimi livelli mantenuti.

Così come avviene per ogni settore tecnico, anche per gli impianti di pubblica illuminazione è necessario, in fase di progettazione, attenersi a quanto previsto da direttive, leggi e normative presenti sia a livello internazionale che nazionale. Gli obiettivi che con esse si vogliono perseguire riguardano congiuntamente tre aspetti:

- Sicurezza dei cittadini;
- Risparmio energetico;
- Compatibilità ambientale.

In particolare, l'IP stradale deve rispettare quattro norme essenziali:

UNI 11248, UNI EN 13201-2, -3 e -4 che, nel corso del 2016 sono state aggiornate. Nello specifico, la UNI 11248 propone una classificazione delle strade, definendo così un metodo per determinare la classe illuminotecnica in funzione di alcuni parametri specifici, come la complessità del campo visivo, la luminosità dell'ambiente, il tipo di sorgente utilizzato, il flusso di traffico. Sulla scorta di questa classificazione, la UNI EN 13201-2 assegna, dal punto di vista illuminotecnico, i valori minimi di luminanza, illuminamento, uniformità e controllo dell'abbagliamento. Tale norma definisce, per mezzo di requisiti fotometrici, le classi di impianti di illuminazione per l'illuminazione stradale indirizzata alle esigenze di visione degli utenti della strada e considera gli aspetti ambientali dell'illuminazione stradale. Le successive,

UNI EN 13201-3 e -4 definiscono, rispettivamente, le modalità di calcolo specifiche per la progettazione degli impianti da installare e quelle di verifica e collaudo degli impianti stessi.

A seguito delle disposizioni su esposte è compito delle Regioni intervenire giocando un ruolo chiave attraverso la promulgazione delle leggi regionali. In Italia ne esistono 16, per il contenimento dell'inquinamento luminoso e il risparmio energetico impongono di progettare «ai valori minimi di luminanze e illuminamenti previsti dalle norme tecniche e di sicurezza». In Veneto si fa riferimento alla legge regionale n.17 del 7/08/2009, *“Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici”* (in seguito semplicemente L.R.17). Tale legge, come recita il titolo stesso, ha tra le sue principali finalità il conseguimento del risparmio energetico e la riduzione dell'inquinamento luminoso; al fine di perseguire tali obiettivi vengono espressamente indicati quelli che sono i compiti di Regione, Province e Comuni; a quest'ultimi in particolare spetta la produzione del PICIL, ovvero il Piano dell'illuminazione comunale per il contenimento dell'inquinamento luminoso, inoltre è sempre in questa legge che si fa per la prima volta riferimento alla figura del progettista illuminotecnico individuata nel professionista appartenente alle figure professionali dello specifico settore, iscritto all'ordine o ai collegi professionali, ed al quale è affidata la redazione di ogni progetto illuminotecnico da sottoporre al regime dell'autorizzazione comunale. Fra gli obiettivi del PICIL vi è la classificazione dell'intero territorio al fine di permettere la futura progettazione illuminotecnica di strade, piazze, giardini, incroci principali e piste ciclabili ed è a tale classificazione che questo studio ha fatto riferimento per conoscere la categoria illuminotecnica di esercizio del Lungargine Scaricatore.

## **Classificazione stradale**

Ogni strada ha una propria classe illuminotecnica assegnata che definisce i valori di riferimento che gli impianti di IP devono rispettare. L'individuazione delle classi di illuminazione per tutte le aree pubbliche adibite alla circolazione, destinate al traffico motorizzato, ciclabile o pedonale, spetta al progettista che ricorre alla norma UNI 11248 che individua in particolare le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a

contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti delle strade. La norma 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; definisce anche per tutte le tipologie, specifici parametri di riferimento e di analisi. La UNI-11248 introduce tre differenti livelli di categorie illuminotecniche:

1. la **categoria di riferimento**, definita in base alla classificazione delle strade secondo il Codice della Strada;

2. la **categoria di progetto**, ottenuta da quella di riferimento valutando dei parametri di influenza, che si ritengono costanti durante la vita dell'impianto o per i quali si considera la situazione peggiore;

3. una o più **categorie di esercizio** con requisiti prestazionali pari o inferiori a quelle di progetto, ottenute valutando parametri di influenza variabili (ad esempio il flusso di traffico). La categoria di esercizio descrive la condizione di illuminazione prodotta da un dato impianto in uno specifico istante della sua vita o in una definita e prevista condizione operativa.

La categoria di esercizio assegnata al Lungargine Scaricatore, strada di competenza di questo elaborato, è la P2, in quanto ciclopedonale e soggetta a vincoli di solo illuminamento orizzontale senza il requisito ulteriore del riconoscimento facciale (illuminamento verticale) in quanto area decentrata della città.

prospetto 3 **Categorie illuminotecniche P**

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisito aggiuntivo se è necessario il riconoscimento facciale	
	$\bar{E}$ <sup>a)</sup> [minimo mantenuto] lx	$E_{min}$ [mantenuto] lx	$E_{v,min}$ [mantenuto] lx	$E_{sc,min}$ [mantenuto] lx
P1	15,0	3,00	5,0	5,0
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2
P7	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata		

a) Per ottenere l'uniformità, il valore effettivo dell'illuminamento medio mantenuto non deve essere maggiore di 1,5 volte il valore minimo di  $\bar{E}$  indicato per la categoria.

Tabella 6 - Prospetto 3 estratto dalla norma UNI EN 13201-2

I vincoli da sottoporre a misurazione sono solo l'illuminamento orizzontale medio minimo mantenuto  $\bar{E} = 10 \text{ lx}$  e  $E_{min} = 2 \text{ lx}$ .<sup>10</sup> Da valutare anche il fattore di uniformità  $U_0$  che non deve superare 1,5 volte il valore di  $\bar{E}$ , minimo mantenuto.

## Illuminazione urbana intelligente e classificazione tecnologica

Le tecnologie attualmente disponibili sul mercato per la gestione del flusso luminoso degli impianti di IP agiscono principalmente sull'accensione e spegnimento dell'impianto, sulla stabilizzazione e regolazione del flusso luminoso, sui sistemi di telecontrollo e telegestione e sul rifasamento della linea.

La susseguente classificazione non rappresenta un'analisi qualitativa dei sistemi di illuminazione ma un supporto al fine di effettuare una valutazione oculata. Per meglio comprendere tale classificazione va prima data una chiara definizione di:

**Telecontrollo:** trasmissione, dalla periferica al computer del Centro di Controllo, dei dati e degli stati di funzionamento dell'impianto (monitoraggio dei parametri funzionali).

**Telecomando:** Programmazione, comando e regolazione a distanza delle modalità di funzionamento di un impianto tramite un adeguato software installato presso un Centro di Controllo.

**Telegestione:** insieme delle funzioni di telecontrollo e telecomando tramite un unico software di gestione.

**Centro di Controllo:** Pc o server, installato anche a grande distanza dagli impianti, che raccoglie e gestisce tutti i dati e le attività relative ai parametri degli impianti di Pubblica Illuminazione di una città o area dedicata tramite un applicativo software dedicato.

Al fine di consentire una scelta consapevole dei sistemi di gestione e controllo, in funzione delle caratteristiche dell'ambiente da illuminare e delle esigenze degli utenti si sono classificati 4 livelli di impianti di illuminazione intelligente:

---

<sup>10</sup> Il lux (simbolo lx) è l'unità di misura per l'illuminamento, accettata dal Sistema Internazionale. Un lux è pari a un lumen fratto un metro quadrato. Potremmo definire il lux come il flusso luminoso per unità di superficie.

## LIVELLO 1

### *SISTEMA STAND ALONE*

- Non comunica a distanza
- Multilivello, in quanto modifica autonomamente i livelli di illuminazione durante la notte
  - Pre-programmato in fabbrica e/o modificabile solo recandosi in sito
- L'accensione e lo spegnimento sono rapportati al ciclo giorno/notte durante tutto l'anno, modificando gli orari in accordo alle stagioni

## LIVELLO 2

### *TELECONTROLLO*

- Multilivello, in quanto modifica autonomamente i livelli di illuminazione durante la notte
  - Comunicazione unidirezionale: da periferica al Centro di Controllo.
    - La periferica comunica al Centro di Controllo gli stati, gli allarmi e le misure
- L'accensione e lo spegnimento sono rapportati al ciclo giorno/notte durante tutto l'anno, modificando gli orari in accordo alle stagioni

## LIVELLO 3

### *TELEGESTIONE*

- Comunicazione bidirezionale: la periferica comunica al Centro di controllo gli stati, gli allarmi e le misure di ogni singolo punto luce; il Centro di Controllo può interagire con la periferica per modificare le programmazioni, le impostazioni o addirittura in real time per comandare le accensioni, spegnimenti e regolazioni di luce in ogni singolo punto luce
- Multilivello in quanto modifica autonomamente i livelli di illuminazione durante la notte
  - L'accensione e lo spegnimento sono rapportati al ciclo giorno/notte durante tutto l'anno, modificando gli orari in accordo alle stagioni.

## LIVELLO 4

### *TELEGESTIONE E INTEROPERABILITÀ*

- Comunicazione bidirezionale: la periferica comunica al Centro di Controllo gli stati, gli allarmi e le misure di ogni singolo punto luce; il Centro di Controllo può interagire con la periferica per modificare le programmazioni, le impostazioni o anche in real time per comandare le accensioni, spegnimenti e regolazioni di luce in ogni singolo punto luce, tramite un software aperto e che interagisce con altri sistemi in ottica "smart city".
- Multilivello in quanto modifica autonomamente i livelli di illuminazione durante la notte
- Interagisce in tempo reale con sensori (luce solare – meteo – traffico ecc) per garantire la migliore illuminazione in quel momento, ovvero quella che garantisce la maggiore sicurezza ed il risparmio energetico
  - Predisposto per consentire la trasmissione dei dati di sistemi no lighting (Wi-Fi, videosorveglianza, Gestione totem interattivi, Servizi informatici, ecc)

## CAP. 3 – Regolazione della luminosità e studio dell’impianto adattivo

Il sistema installato nel Lungargine Scaricatore è un adattivo, il primo installato nel Comune di Padova e si tratta, di fatto, di un beta test. È costituito da 46 lampade intelligenti equipaggiate con dei moduli (devices/ dimmers) che attuano la regolazione del flusso luminoso ed energetico, connesse tra loro ad un gateway il quale connesso a sua volta ad un Cloud e alla centrale operativa di controllo tramite i canali wireless disponibili o in 3G/4G. La comunicazione tra i dispositivi invece avviene grazie ai protocolli *LoRa<sup>TM</sup>* e *LoRaWAN<sup>TM</sup>* (il secondo si applica ad aree estese) che utilizzano una banda libera di comunicazione tramite segnali in radio frequenza (RF) a lungo raggio e a bassa potenza, il nome è l’acronimo di “Long Range Wide Area Network” e rappresenta la tecnologia e lo standard di riferimento per l’IoT (Internet of Things) grazie alla capacità di comunicazione a grandi distanze e ad un consumo estremamente ridotto di batteria.

I canali comunicativi distribuiscono istruzioni sia in downstream, verso le lampade inviando istruzioni sulla dimmerazione del flusso, sia in upstream, ovvero dal sensore all’applicazione manager. Per questi ultimi, il flusso è da sinistra a destra in Fig. 25. Il messaggio verrà ricevuto da uno o più gateway che lo passeranno al Network Server tramite il web, il quale reindirizzerà il messaggio all’applicazione preposta al management.

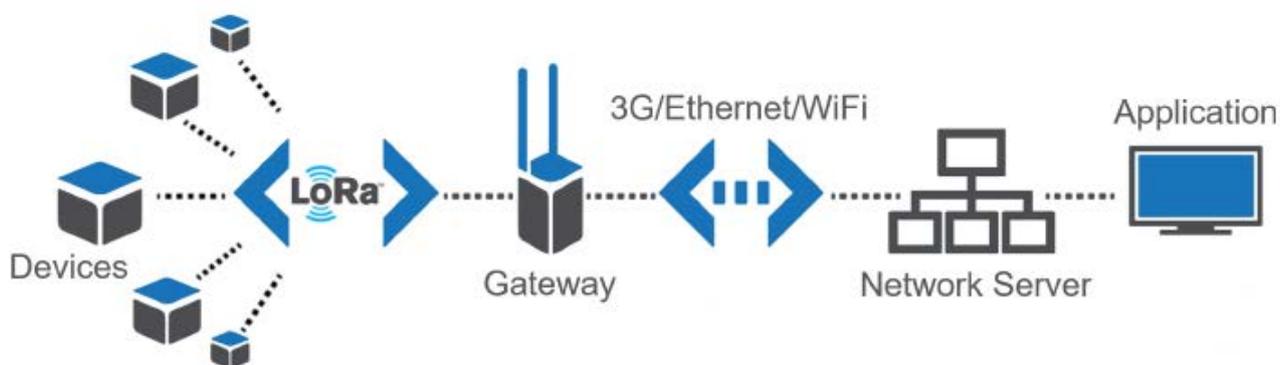


Figura 25 - Schema di funzionamento del sistema LoRa

I risultati delle video analisi compiute dalle Smart Camera<sup>11</sup> nella fascia notturna vengono utilizzati per ottenere informazioni circa la presenza di persone, il loro numero e la loro direzione, in modo da inviare comandi di dimmerazione ai devices. Grazie a questa

<sup>11</sup> In realtà non sono vere videocamere in quanto non distinguono forma, dimensione o numero di sagome, potrebbero essere dunque equiparate od anche sostituite con dei sensori di prossimità.

interazione è quindi possibile ridurre il flusso luminoso in assenza di persone e aumentarlo, invece, nel momento in cui la presenza viene rilevata.

I componenti facenti parte del sistema sono i seguenti:

- **Lampada intelligente** composta dall'apparato di illuminazione e dal modulo di controllo, in connettività LoRaWAN™, capace di controllare e comunicare lo stato della lampada, gestire in autonomia i programmi di illuminazione e ricevere comandi di dimmerazione immediata.
- **Smart Camera** in connettività LoRaWAN™. La camera è supervisionata da un computer a bordo per l'estrazione di informazioni rilevanti riguardo al movimento delle persone nell'area supervisionata. Il calcolo viene eseguito a bordo della camera, solo l'informazione estratta viene trasmessa.
- **Gateway LoRaWAN™** che gestisce la comunicazione radio e lo scambio di informazioni con l'applicazione di controllo tramite il Network Server.
- **LoRaWAN™ Network Server** che supervisiona la comunicazione LoRaWAN™ e lo scambio di informazioni tra lampade, camera e l'applicazione di supervisione.
- **Applicazione di supervisione** usa le informazioni ricevute dalla smart camera per coordinare la regolazione (dimming) in funzione del numero di persone.
- **Interfaccia Web** fornisce l'interfaccia a tutti i parametri del sistema per interagire con ciascun componente.
- **Sensore di temperatura e umidità**

L'apparato è alimentato in derivazione dalla stessa rete a 230 Vac che fornisce direttamente l'alimentazione al driver LED che viene controllato mediante interfaccia 1-10V, utile a discretizzare l'intensità luminosa.

Grazie all'utilizzo di tale elettronica l'intero apparato di illuminazione è virtualizzato all'interno della piattaforma e diventa un'entità virtuale presente nel Cloud, controllabile da dovunque. È in grado di tracciare i dati di consumo della lampada quali potenza, tensione e corrente, oltre che di monitorare il livello di temperatura e luminosità della lampada. Attraverso il controllo 1-10V, il dispositivo accetta comandi di dimmerazione discretizzati in centesimi percentuali dalla piattaforma ed è quindi in grado di regolare il flusso luminoso della lampada.

Le quattro telecamere sono disposte ai 4 ingressi del lungargine pronte a rilevare passaggi ciclopedonali che attiveranno il sistema aumentando il regime illuminotecnico dalla fascia notturna di riduzione (seconda fascia, F2) alla fascia serale di regime (prima fascia, F1).



*Figura 26 - Lampade adattive installate nel Lungargine Scaricatore, questa nel particolare dotata di telecamera*

Le lampade sono partizionate virtualmente in tre gruppi, ciascun gruppo è delimitato da una videocamera che controlla il passaggio. In questo modo, solamente il settore dove viene effettivamente rilevata la presenza aumenta di luminosità, lasciando gli altri settori in modalità di risparmio energetico. Ogni attivazione dura 15 minuti in modo da consentire il transito agevole lungo la tratta più lunga per circa 1 km di lungargine, dopodichè qualora non venga rilevato alcun altro passaggio il sistema torna allo stato di luminosità attenuata di seconda fascia.

## Test sul campo e adeguamento dell'illuminazione

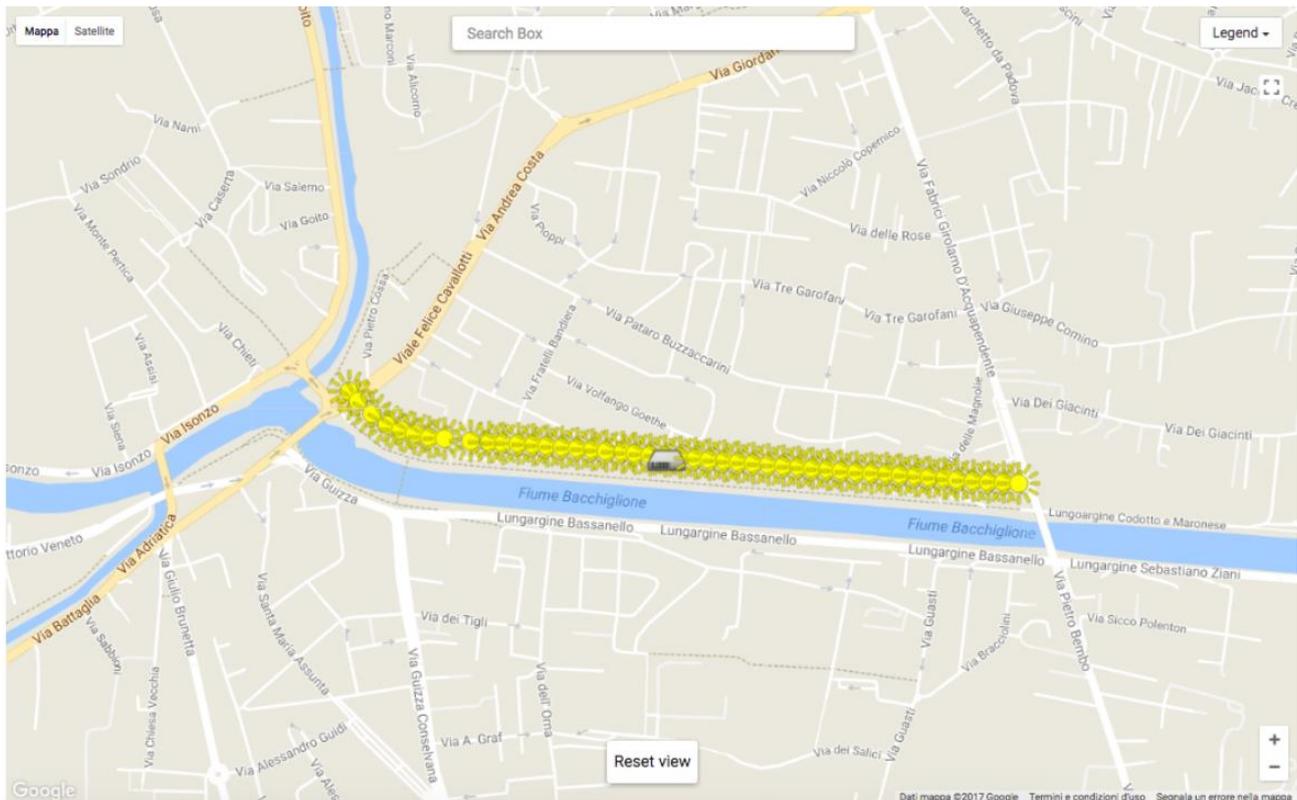


Figura 27 - Mappa del Lungargine e numerazione dei 46 punti luce adattivi

Le lampade LED della Cree installate, da 44 W a luce bianca sono entrate in funzione a Gennaio 2018, sostituendo le vecchie HPS (High Pressure Sodium) da 70 W dal caratteristico colore arancio, ed hanno operato fino al 30 di Agosto con il seguente programma:

- 44 watt in prima fascia, ovvero dall'orario di accensione, mediamente le 18.00, fino alle 22.30 (più un certo numero di attivazioni)
- 22 watt in seconda fascia, dalle 22.30 all'orario di spegnimento previsto al mattino (in media le 5.30),

Tale regime di lavoro non aveva però tenuto conto, fino ad allora, dell'analisi illuminotecnica della strada che andava ancora misurata secondo le norme, da qui ne è dipesa la prima parte del mio lavoro di tesi che ha riguardato l'impostazione del corretto assetto luminoso, interfacciandomi con le più recenti norme sull'illuminotecnica stradale.

Dalla UNI EN:13201-3:2016 estraggo la posizione dei punti di calcolo (griglia) uniformemente distanziati in cui andrà operato la misura dell'illuminamento tramite uno strumento apposito, il luxmetro.

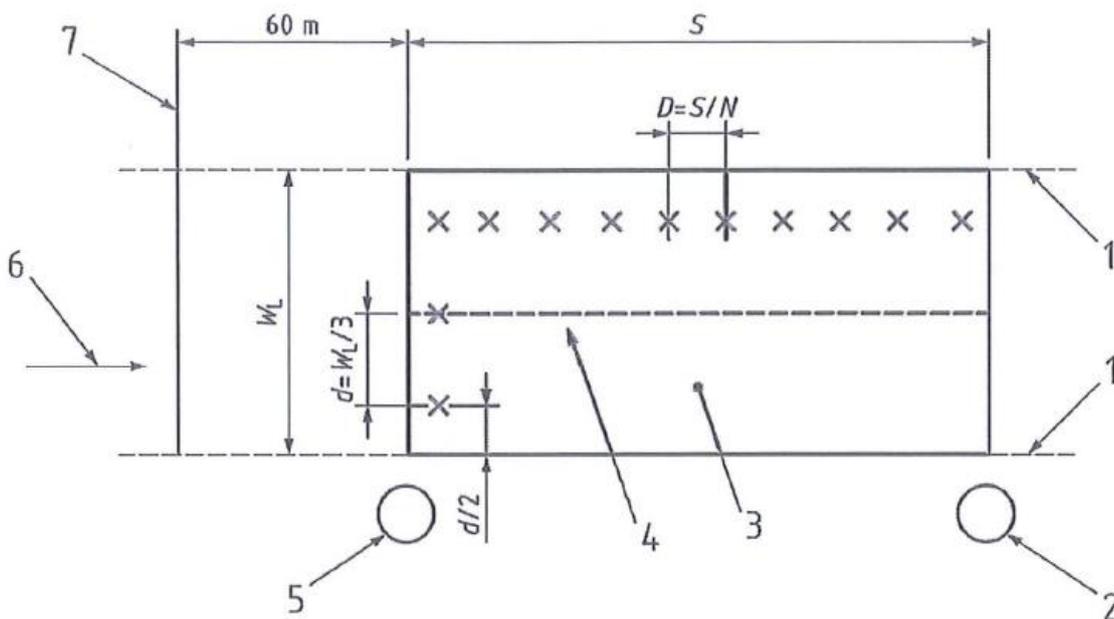


Sulla strada vanno segnati 60 punti di calcolo equidistanziati, da punto luce a punto luce, per ogni senso di marcia, in una pista ciclopedonale ne bastano 30 in quanto trattasi di un'unica corsia, distribuiti su 3 linee parallele da 10 punti l'una.

Figura 28 - Luxmetro

Figura 29 - Estratto da norma, Informazioni per i calcoli di luminanza, posizione dei punti di calcolo in una corsia di marcia

- 1 Bordo della corsia
- 2 Ultimo apparecchio di illuminazione nel campo di calcolo
- 3 Campo di calcolo
- 4 Mezzeria della corsia
- 5 Primo apparecchio di illuminazione nel campo di calcolo
- 6 Direzione di osservazione
- 7 Posizione longitudinale dell'osservatore
- X Marcatura di linee di punti di calcolo in direzione trasversale e longitudinale



L'interdistanza tra i punti in direzione longitudinale e trasversale deve essere determinata nel modo seguente:

a) In direzione longitudinale

$$D = \frac{S}{N}$$

dove:

$D$  è la distanza tra i punti in direzione longitudinale, in metri; (calcolata 2.5 m)

$S$  è la distanza tra gli apparecchi di illuminazione nella stessa fila, in metri; (25 metri)

$N$  è il numero di punti di calcolo in direzione longitudinale con i seguenti valori:

per  $S < 30$  m,  $N = 10$ ;

per  $S > 30$  m, il minimo numero intero che dà  $D \leq 3$  m. La prima fila trasversale di punti di calcolo presenta un'interdistanza pari a  $D/2$  oltre il primo apparecchio di illuminazione (allontanandosi dall'osservatore).

b) In direzione trasversale

L'interdistanza ( $d$ ) in direzione trasversale è determinata dalla formula:

$$d = W_L/3$$

dove:

$d$  è l'interdistanza tra i punti in direzione trasversale, in metri; (1.33 m)

$W_L$  è la larghezza della corsia, in metri. (4 m)

Il lavoro di misurazione dei valori di illuminamento è avvenuto tramite il Luxmetro, uno strumento costituito da un trasduttore che, grazie all'effetto fotoelettrico, converte i segnali luminosi in energia elettrica, i valori in output sono settati secondo una scala tarata in lux. Sono stati testati 10 step, durante ognuno dei quali si è fatto ridurre il flusso luminoso delle lampade del 10%, rilevandone i valori in griglia ogni volta tramite il luxmetro e rilevandone l'assorbimento in potenza. Di ogni step sono stati misurati il valor minimo, valor medio e calcolato il coefficiente di uniformità  $U_0$  ( $\frac{\text{valore minimo}}{\text{valore medio}}$ ). I valori rispettosi della norma sono stati evidenziati in verde, quelli non ottemperanti, in rosso.

Di seguito i valori tabellati, in lux.

<b>Step 1</b>			<b>10 %</b>
Pa = 18 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
33	22,7	14,2	
19,5	17,3	11,3	
7,7	8,6	8,1	
3,9	4,6	5,1	
2,8	3,1	3,3	
2,5	2,6	1,9	
3,5	3,3	1,4	
5,7	5,9	2	
10,4	9,8	5	
20	14,7	9,9	

$$E_{min} = 1,4$$

$$\bar{E} = 8,7933$$

$$U_0 = 0,15921$$

<b>Step 2</b>			<b>20 %</b>
Pa = 19.5 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
38,3	26	15,6	
12,7	19,2	12,5	
9,4	9,8	9,3	
4,8	5,2	5,7	
3,3	3,9	3,7	
2,7	3	2,2	
4	3,7	1,7	
6,2	6,7	2,3	
12	11,5	5	
25	18,8	11,4	

$$E_{min} = 1,7$$

$$\bar{E} = 9,853$$

$$U_0 = 0,1725$$

<b>Step 3</b>			<b>30 %</b>
Pa = 18 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
46,3	30,5	17,8	
25,9	21,4	13,6	
10,4	11,2	10,04	
5,3	6,03	6,3	
3,8	4,1	4,3	
2,7	3,2	2,7	
4,1	2,8	1,8	
6,5	6,3	2,3	
12	11,4	5,1	
24	17,7	10,5	

$$E_{min} = 1,8$$

$$\bar{E} = 11,002$$

$$U_0 = 0,1636$$

<b>Step 4</b>			<b>40 %</b>
Pa = 25 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
54	34,2	21,2	
30	24,3	15,5	
12,3	13,4	11,7	
6,1	6,7	7,2	
4,4	4,6	5	
3,7	3,7	2,7	
5,4	4,7	2,04	
8,2	8,6	3,4	
15,5	14,3	6,4	
33,4	23,2	14,8	

$$E_{min} = 2,04$$

$$\bar{E} = 13,3547$$

$$U_0 = 0,15276$$

<b>Step 5</b>			<b>50 %</b>
Pa= 27 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
59	39,6	23,4	
34,9	28,7	19	
14,2	14,7	13,9	
6,8	7,7	8,6	
4,9	5,2	5,3	
3,8	4,3	3,1	
5,6	5,2	2,4	
8,9	9,4	3,2	
17	16,8	7,7	
34	24,4	16,1	

$$E_{min} = 2,4$$

$$\bar{E} = 14,9267$$

$$U_0 = 0,1608$$

<b>Step 6</b>			<b>60 %</b>
Pa= 30,5 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
66,5	43,8	27,3	
38	32,5	21	
15,7	16,4	15,3	
7,4	8,6	9,8	
5,5	5,8	6,2	
4,4	4,8	3,5	
6,6	5,9	2,6	
10,2	10,5	3,7	
19,3	18,1	17,8	
41	28,3	19	

$$E_{min} = 2,6$$

$$\bar{E} = 17,183$$

$$U_0 = 0,1513$$

<b>Step 7</b>			<b>70 %</b>
Pa = 33,5 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
74	48,6	30	
41,5	36,4	23,5	
17,3	18,4	16,6	
8,3	9,4	10,8	
6	6,6	6,9	
4,9	5,3	4,2	
7	6,5	2,9	
11,9	12,3	3,8	
20,7	19,7	18,8	
40,2	30	20,5	

$$E_{min} = 2,9$$

$$\bar{E} = 18,767$$

$$U_0 = 0,1545$$

<b>Step 8</b>			<b>80 %</b>
Pa= 38,5 W			
1° corsia	2° corsia	3° corsia	
81,3	53,1	32,3	
46,3	40	25	
18,8	19,5	18,4	
9	17	11,5	
6,5	7	7,1	
5,5	5,7	4	
7,8	7	3,1	
12,2	13,5	4,2	
23	22,3	10	
45	34,5	21	

$$E_{min} = 3,1$$

$$\bar{E} = 20,387$$

$$U_0 = 0,1521$$

Step 9		90 %
Pa = 42,5 W		
1° corsia	2° corsia	3° corsia
86,3	57	35,5
49,4	43,1	28
20,2	21,5	20,1
10	10,9	12,7
7,1	8	8,6
6	6,3	4,4
9,2	8	3,6
14	4,6	5,2
10,9	24,2	24,8
47,5	35,7	22

$$E_{min} = 3,6$$

$$\bar{E} = 21,493$$

$$U_0 = 0,1675$$

Step 10		100 %
Pa = 43,3 W		
1° corsia	2° corsia	3° corsia
90,2	58	35,6
50,5	42,6	27,7
19,4	21	19
9,4	10,7	12,4
7,1	7,7	7,5
5,7	6,2	4,2
8,8	7,9	3,5
14,6	15,6	5,1
26	25	10,8
55	40	22,8

$$E_{min} = 3,5$$

$$\bar{E} = 22,33$$

$$U_0 = 0,1567$$

Dalle su esposte tabelle risulta chiaramente come il primo step, in ordine crescente, rispettoso dei vincoli normativi sia il 4, in quanto tutti i valori rispettano il minimo  $E_{min}$  che deve essere superiore a 2, il medio minimo mantenuto  $\bar{E}$  superiore a 10 e il coefficiente di uniformità  $U_0$  inferiore ad una volta e mezzo il medio minimo mantenuto.

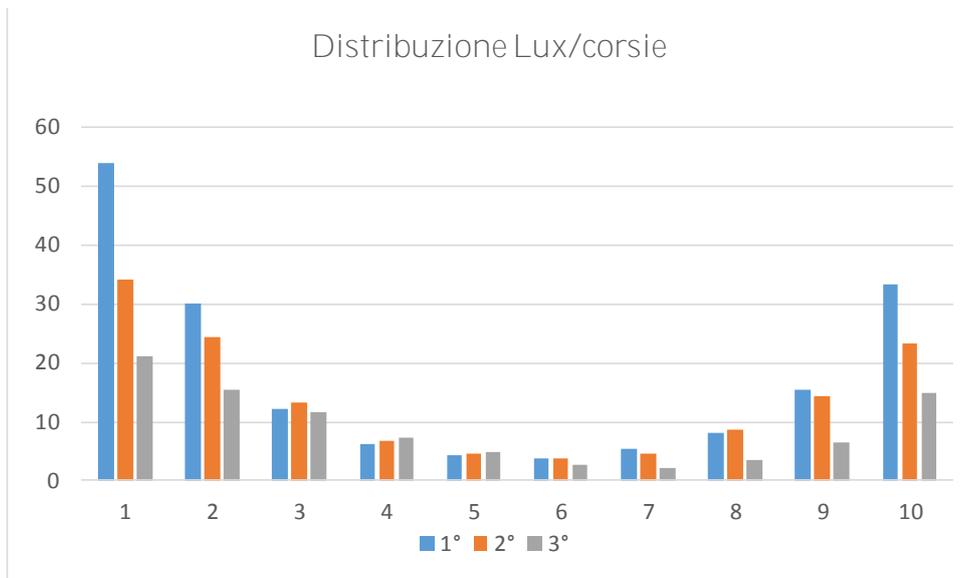
Dall'esperienza sul campo è risaltato come, al 20% della potenza luminosa, la ciclopedonale fosse illuminata al punto da soddisfare i requisiti già in 29 punti su 30, e il medio minimo mantenuto  $\bar{E}$  pari a 9,9 fosse praticamente coerente con il limite di legge di 10. Praticamente l'illuminazione risultava a norma di legge già ad una potenza molto modesta di dimmerazione. Ciò è dovuto principalmente per due motivi:

- evidente sovradimensionamento dell'impianto;
- mancata osservazione dei limiti dell'illuminamento verticale, non previsti perché trattasi di una zona decentrata dal centro urbano, difatti tali ulteriori vincoli avrebbero richiesto non solo l'individuazione di soggetti in movimento ma anche il loro riconoscimento facciale;

Nel grafico sottostante di fig. 30 viene riportata la distribuzione dei lux per corsia, da quella più vicina alla lampada (la 1°) alla più lontana (la 3°). La distribuzione non è una perfetta legge parabolica a causa di piccoli errori di misurazione imputabili a imperfetto posizionamento

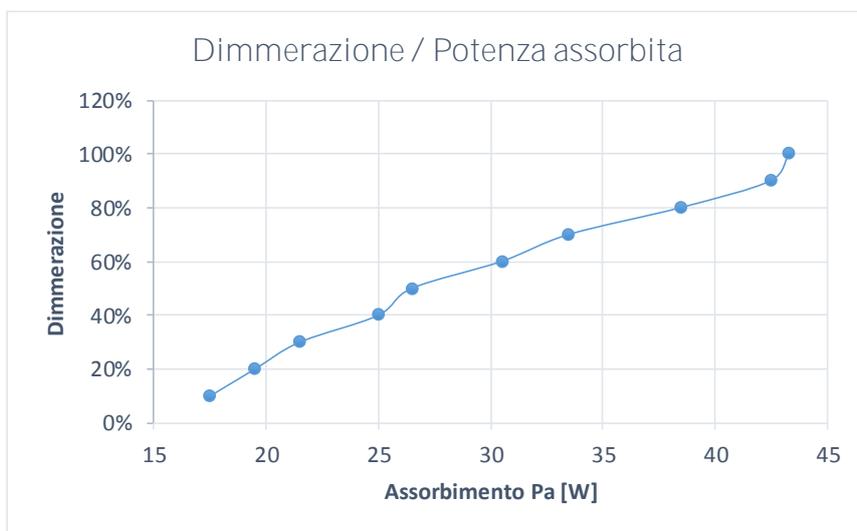
sulla griglia e ad una diversa altezza di posizionamento del luxmetro data la misurazione manuale.

Figura 30



La correlazione tra potenza assorbita  $P_a$  e flusso luminoso (lux) è approssimabile ad una lineare con ridotto margine di errore, coerentemente con quanto dichiarato dal produttore Cree:

Figura 31



La configurazione più vantaggiosa, che meglio rispetta le norme sull'illuminamento, ed è conforme alle politiche sul risparmio energetico (L.R. 17 della Regione Veneto) è lo step 4, in cui non ci sono valori inferiori a 2 su tutta l'area in griglia e il valore dell'illuminamento medio è correttamente non superiore ad 1,5 volte il valor minimo di  $\bar{E}$ .

È stato così possibile impostare il nuovo regime illuminotecnico 25-18 W:

- 25 watt in prima fascia, serale, pari al 40% del flusso luminoso totale;
- 18 watt in seconda fascia, notturna, pari al 10% del flusso luminoso totale;

Tale nuovo regime, basato unicamente su considerazioni normative, ha portato ad una configurazione più leggera, in termini di potenza, del 31,45%. Tale sovradimensionamento progettuale può essere ritenuto generosamente accettabile, trattandosi di un beta test, ma discutibile in termini di messa in opera standard.

In termini energetici il confronto è impraticabile a priori in quanto l'assorbimento energetico dipende strettamente dal numero di rilevazioni, tuttavia se si fosse trattato di un impianto a dimmerazione pre programmata con cicli di adattamento luminoso predefiniti, il risparmio energetico sarebbe stato del 15,4%, passando da 102,11 a 86,4 kWh.

Estendendo questi calcoli ai circa 2 milioni di punti luce nazionali non a norma secondo l'ENEA<sup>12</sup>, risulterebbe un risparmio sulla spesa energetica di 184,8 MWh elettrici, corrispondenti a 52,4 milioni di € e 98,1 tonnellate di emissioni di CO<sub>2</sub> in meno. Tutto questo solo adeguando le condizioni luminose dei punti luce alle norme vigenti.

---

<sup>12</sup> Fonte: <http://www.energiaenergetica.enea.it/news-eventi/focus-efficienza-12019illuminazione-pubblica-puo-tagliare-consumi-fino-al-60>



## CAP. 4 - Studio economico-impiantistico

La valutazione globale di un investimento come l'installazione di un nuovo impianto di IP o il retrofit di un impianto esistente richiede la conoscenza dei seguenti fattori economici: spesa energetica al consumo e costo di installazione impianto. Tale studio sarà portato avanti considerando 4 tipologie di installazione:

- ✚ SAP Sodio alta pressione
- ✚ SAP con regolatore di flusso
- ✚ LED pre programmati
- ✚ LED adattivi

### Confronto LED vs SAP

In questa analisi è stata considerata la sostituzione di lampade SAP con LED. L'analisi si è basata sul costo della spesa energetica nel periodo di vita utile medio dei LED, della posa dell'impianto e sui costi di sostituzione e manodopera dei SAP ogni 4 anni, come previsto dal contratto comunale, normalizzati ed attualizzati.

La valutazione della spesa è stata operata attualizzando i costi dovuti al consumo energetico negli anni di operatività e, nel caso del SAP, inserendo ed integrando un calcolo dovuto alla sostituzione delle lampade spalmato ogni 4 anni. Per far questo sono stati tenuti in considerazione i costi di squadra e attrezzature.

Le lampade SAP hanno una durabilità molto inferiore rispetto ai LED, necessitano di una sostituzione in itinere, ogni 4 anni secondo accordi col Comune di Padova. Per il calcolo comparativo dei costi sono stati presi in considerazione i costi di sostituzione, del pezzo e di posa, normalizzati sulla singola lampada. I costi che l'azienda deve sostenere per operare la sostituzione sono i costi di "uscita" di squadra.

## Confronto LED pre programmati vs LED adattivi

Sono le due tipologie di luminarie che l'azienda AcegasApsAmga ha scelto per illuminare le aree ciclopedonali del Comune di Padova. Dal punto di vista dell'assorbimento energetico per stabilire la convenienza dell'impianto e il relativo vantaggio economico, sono necessari i valori dell'assorbimento, in quanto esso varia ogniqualvolta in fascia notturna viene rilevato un transito ciclopedonale che farà ritornare il regime illuminotecnico immediatamente ai valori di prima fascia serale. Tali valori, non sono stati a mia disposizione in quanto l'azienda installatrice delle lampade adattive non ha mantenuto il registro degli assorbimenti su base semestrale. Per stabilire dunque la convenienza dell'installazione è stato necessario ipotizzare due casi:

- Zero passaggi
- Full passaggi

Nel primo caso ipotizzo che nelle ore notturne non ci sia alcun rilevamento e che quindi il regime notturno sia proseguito costante fino allo spegnimento degli impianti, nel secondo caso ipotizzo che ci sia stata una successione di passaggi tale da mantenere le lampade accese sempre costantemente in prima fascia.

Una volta calcolati tali due valori, sono stati confrontati con quelli di un impianto a led ugualmente recente ma a dimmerazione preprogrammata operante su un'altra pista ciclopedonale, quella di Via Zize. Le lampade ivi installate sono le AEC X-MOD da 30 W, operanti secondo il seguente regime illuminotecnico:

- h. 18.00 – h. 22.30 30 W
- h. 22.30 – h. 6.00 21 W

Figura 32 - Lampade LED installate in via Zize



Il calcolo dell'energia assorbita è stato semplice, bastando moltiplicare le potenze nelle due fasce orarie per il tempo in cui hanno operato su base annuale, trovando la cifra di 102.106,9 Wh.

Nel caso “zero passaggi” dei LED adattivi è stato calcolato un assorbimento di 86.398 Wh, nel caso “full passaggi” 104.725 Wh. Si nota chiaramente come l'assorbimento delle lampade a dimmerazione preprogrammata si colloca in mezzo ai due valori della dimmerazione adattiva, rendendo quest'ultima soluzione non sempre conveniente ma anzi direttamente dipendente dal numero di passaggi, da cui dipenderà l'incremento di assorbimento energetico. È fortemente intuibile già da ora comprendere come più il numero di passaggi è alto tanto meno risulterà conveniente l'installazione di un impianto adattivo. Dunque i centri città, o comunque le aree più limitrofe al centro, si ben comprende come si collochino in un contesto svantaggiato per conseguire politiche di mero risparmio energetico, perchè soggette ad un traffico notturno di una certa rilevanza.

## **Costi di squadra e di installazione**

- 2 operai 54 €/h
- Piattaforma 180 €/giorno
- Attrezzatura e materiali minori 18 €/giorno

Il costo di due operai per un giorno lavorativo è  $54 \text{ €} * 8 \text{ h} = 432 \text{ €/giorno}$ .

- *SAP*, immaginando di cambiare 2000 lampade l'anno, delle circa 26.000 presenti sul territorio comunale, come effettivamente opera l'azienda manuttrice AcegasApsAmga, in un numero di giorni lavorativi pari a 133, si ottiene una spesa annuale per la sola sostituzione lampade pari a:

$$133 \text{ g} * (180 + 18 + 432) = 84.000,00 \text{ €}$$

da cui se ne ricava un costo variabile di

$$84000 / 2000 = 42 \text{ €/cad}$$

che, sommata al costo fisso, prezzo lampada di  $25 \text{ €/cad}$ , si ottiene una somma complessiva, linearizzata sulla singola lampada, di

$$67 \text{ €}.$$

- Al caso *SAP con regolatore di flusso* si deve aggiungere il costo del quadro regolatore spalmato su un numero  $x$  di punti luce:

$$67 + 4500/x \text{ €}$$

- *LED pre programmati* ha preso in considerazione la semplice spesa energetica nei 15 anni sommata alle spese di posa linearizzate  $70/46 = 1,52 \text{ €/lampada}$  e del costo della lampada  $140 \text{ €}$ , per un totale di

$$141,42 \text{ €}$$

- *LED adattivi*, i costi di installazione rappresentano la parte di gran lunga più importante e sono così ripartiti:

costo lampada adattiva  $44 \text{ W} = 170 \text{ €}$ ,

costo di posa linearizzato  $70/46 = 1,52 \text{ €/lampada}$ ,

impianto di dimmerazione =  $70 \text{ €}$ ,

$$\text{Totale } 241,52 \text{ €}$$

## Spesa energetica

Ai costi di installazione si aggiunge la spesa energetica su base annuale, calcolata tenendo conto delle ore di accensione impianto e dell'assorbimento di potenza in prima e seconda fascia.

Per le lampade SAP l'assorbimento energetico calcolato è risultato essere pari a 290,61 kWh, a cui corrisponde un consumo di 53,7 €<sup>13</sup>.

Per i LED P.P. (30 W) 102,107 kWh, a cui corrisponde una spesa economica di 18,9 €.

Per i LED adattivi (25-18 W) è stato necessario suddividere il problema in 3 casi, in quanto il loro assorbimento dipende evidentemente dalle rilevazioni dei transiti ciclopdonali che faranno attivare l'impianto elevando il consumo:

- 0 (zero) passaggi
- Punto di pareggio energetico
- Full passaggi

È stato costruito un foglio di calcolo in Microsoft Excel in cui sono stati inseriti i valori delle due lampade prese in esame, riportando numero di ore operanti in un anno, potenza luminosa assorbita in prima e seconda fascia e ore die di accensione. Sono stati calcolati gli assorbimenti energetici ottenendo i consumi totali annui dei LED a dimmerazione pre programmata facilmente calcolabile (30-21 W) e dei LED adattivi (25-18 watt) nei due casi: zero passaggi, full passaggi.

---

<sup>13</sup> Il costo dell'energia è maggiorato per un'utente aziendale ed è pari a 0,185 €cents/kWh

Figura 33- Impostazione calcoli delle due tipologie di LED, assorbimento energetico su foglio Excel

Lampade LED 30W "Preimpostate"				Lampade LED adattive			
Numero ore LED 30 W			4189	Numero ore LED adattivi			4189
		prima fascia	30 W			prima fascia	25 W
		seconda fascia	21 W			seconda fascia	18 W
Fasce orarie	18	22,5	4,5 h	Fasce orarie	18	22,5	4,5 h
	22,5	30	7,5 h		22:30 - 6,	22,5	30
Ore annue		ore die	12 h	Ore annue		ore die	12 h
		prima fascia	1570,875 h			prima fascia	1570,9 h
		seconda fascia	2618,125 h			seconda fascia	2618,1 h
Consumo in prima fascia			47126,25	Consumo in prima fascia			39272 Wh
Consumo in seconda fascia			54980,63	Consumo in seconda fascia			47126 Wh
Passaggi max die			30	Passaggi max die			30
Giorni annui			365	Giorni annui			365
Passaggi max annuo			10950	Passaggi max annuo			10950
Consumo totale LED			102106,9 Wh	Consumo adattivo con zero passaggi			86398 Wh
				Consumo adattivo full passaggi			104725 Wh

È stato impostato un calcolo progressivo, al crescere del numero di passaggi si incrementa l'assorbimento energetico di 7 wh per ogni ora di accensione dalla seconda alla prima fascia. Per far sì che Excel calcoli la progressione sono stati assegnati degli step da circa 30 ore ciascuno, fino ad arrivare al numero di ore totali di seconda fascia (2618).

Nel primo caso, zero passaggi, il numero di rilevazioni è stato imposto pari a zero, calcolando un assorbimento di 86,4 kWh/anno.

Nel secondo caso, punto di pareggio energetico, l'assorbimento dipende strettamente dal numero di rilevazioni. Tale valore è ignoto e lo si è dovuto calcolare. Si è impostato come punto di pareggio quel valore dell'assorbimento dei LED adattivi che "pareggia" l'assorbimento energetico dei LED pre programmati al crescere dei rilevamenti. La relazione tra incremento di assorbimento e numero di rilevazioni è lineare e incontra l'ordinata al valore prima riportato di 102,1 kWh/anno a cui corrisponde in ascissa la rilevazione n° 8976.

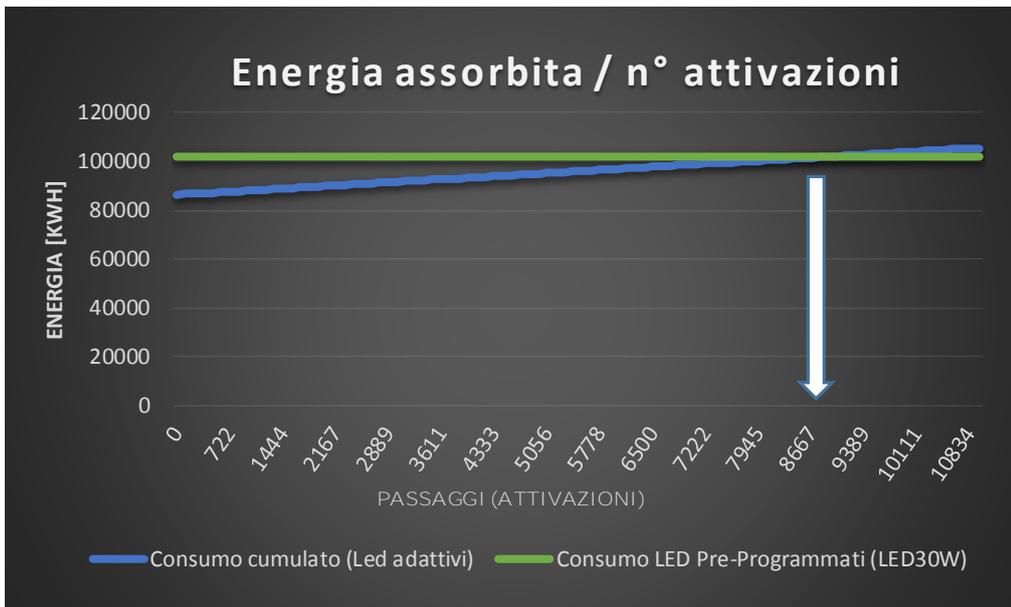


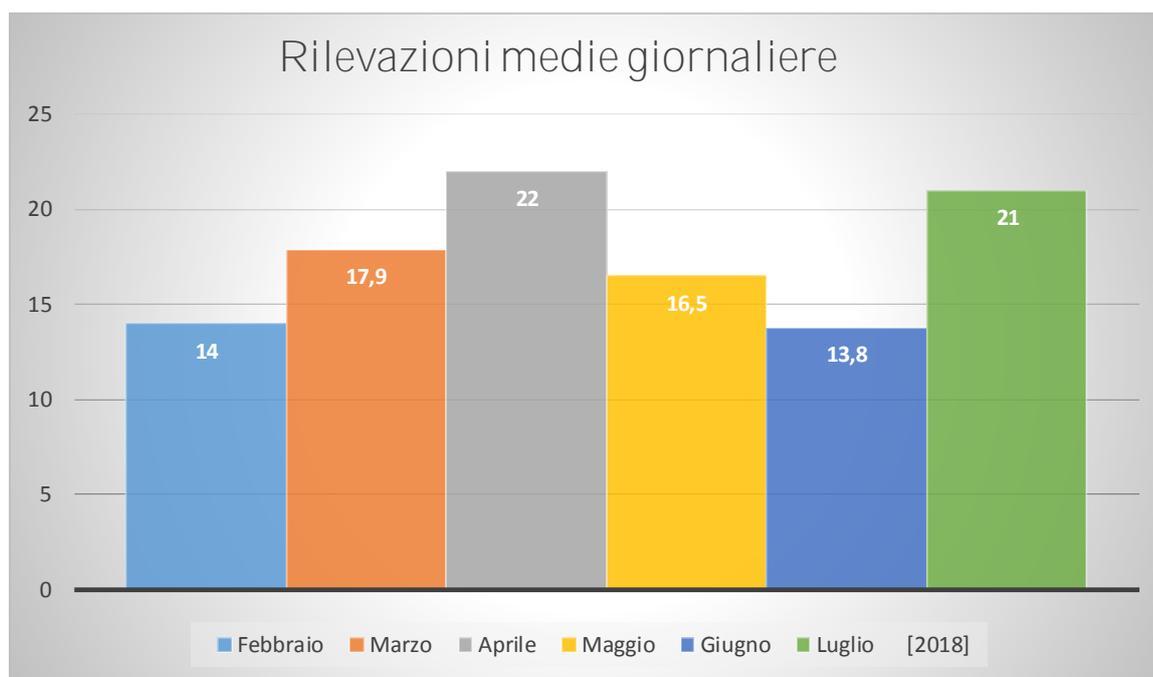
Figura 34 – Calcolo del numero di passaggi del sistema adattivo corrispondente all'assorbimento energetico dei led pre programmati

Il terzo caso, “full passaggi” è stato calcolato imponendo il regime di assorbimento costante in seconda fascia, la più energivora, come se le lampade rilevassero transiti in continuo mantenendo alto il regime illuminotecnico. Il valore calcolato è 104,73 kWh.

Si evince evidentemente dal grafico come il punto di pareggio sia collocato in posizione avanzata, a circa l'82% dell'assorbimento energetico massimo. Ciò farebbe ritenere che l'installazione di un impianto adattivo, per essere conveniente almeno dal punto di vista energetico (per quello economico si vedrà più avanti) rispetto ad un impianto a cicli pre-programmati “rivale” (cioè operante alla stessa potenza), dovrebbe essere collocato in luoghi periferici ove non vi sono transiti ciclopedonali rilevanti, come potrebbero essere periferie urbane, aree pedonali decentrate, lungargini. Quantomeno il numero di attivazioni (rilevamenti) non dovrebbe superare quello individuato dal punto di pareggio energetico, in questo caso 8976 attivazioni.

A questo punto risulta facile rilevare come, dividendo per il numero di giorni annuali, una media giornaliera di facile calcolo individui il numero di transiti (attivazioni) medi giornalieri massimo a 24,6. I dati a mia disposizione dei soli ultimi 6 mesi di attivazione dell'impianto adattivo del Lungargine Scaricatore mi hanno permesso di numerare le rilevazioni mensili dei soli mesi di Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno e Luglio e di riportarli su base giornaliera.

Figura 35 - Rilevazioni medie giornaliere dell'impianto adattivo nei mesi da Febbraio a Luglio 2018



Dal grafico di fig. 35 risulta come nessuno tra questi mesi presi in esame oltrepassi il limite delle quasi 25 attivazioni, collocandosi dunque sotto il punto di pareggio energetico ne risulta una installazione energeticamente efficiente. Va comunque rilevato che si tratta di un dato parziale, semestrale.

Si fa notare che il punto di pareggio energetico non dipende dalla strada né dalla frequenza giornaliera di passaggi ma dalla somma delle energie al consumo in 1° e in 2° fascia dei LED pre programmati e dei LED adattivi, quindi dai regimi di potenza attivati. Di fatto se, l'impianto a led p.p., dal consumo orizzontale costante, consumasse meno, il pdp energetico cadrebbe prima, a metà dell'assorbimento energetico massimo, rendendo sempre più sfavorevole l'adozione di un impianto adattivo o spostandone l'installazione in luoghi sempre più periferici e meno frequentati.

## Analisi economica

Vi è un netto risparmio sulla spesa energetica da parte dei LED, sia pre programmati che adattivi, come viene di seguito mostrato in Tab. 7, ove si evidenzia anche che il costo di installazione di questi ultimi è molto superiore sia ai SAP che ai LED preprogrammati.

Installare un impianto LED adattivo costa infatti quasi 4 volte più che uno a SAP ma la spesa energetica di quest'ultimo è di molto superiore fin dall'inizio, con tendenza all'aumento negli anni, senza dimenticare che queste lampade andranno sostituite ogni 4 anni.

Tabella 7

<i>Tipo</i>	<i>Costi di installazione (€)</i>	<i>Spesa energetica annua (€)</i>
<i>SAP</i>	67	64,8
<i>SAP (con Regolatore di Flusso)</i>	67 + 4500/x	53,7
<i>LED Pre-programmati</i>	141,42	18,9
<i>LED ADATTIVI (media)</i>	241,52	18,1
<i>Adattivi 0 pass</i>	"	15,98
<i>Adattivi pdp energetico</i>	"	18,9
<i>Adattivi full pass</i>	"	19,5

Invece, i costi di installazione di un regolatore di flusso per le SAP pur essendo molto più alti perfino dei LED adattivi, e pur non rappresentando ormai più una scelta di installazione vantaggiosa nell'IP può risultare interessante applicare tale soluzione su strade o autostrade con molti corpi illuminanti, con cui abbattere i costi di installazione del quadro regolatore, per i quali i costi di sostituzione con i LED sarebbero altissimi; in tali casi i quadri dovrebbero controllare un numero di lampade almeno pari o superiore a 100 abbattendo così drasticamente i costi del regolatore. Una soluzione del genere è stata con successo applicata all'anello più esterno che circonda il comune di Pordenone.

Il criterio utilizzato per la valutazione economica del progetto di investimento è il VAN, *valore attuale netto*, si tratta di un indice che attualizza una serie di flussi di cassa tramite il tasso di rendimento: esso rappresenta la differenza tra i benefici prodotti in termini economici sui quali influiscono inflazione ed impegno del capitale prolungato nel tempo, ad una certa data, derivanti dalla messa in opera del progetto, ed il costo sostenuto per realizzarlo. Il criterio si regge sul principio che il denaro si svaluta nel tempo, tecnicamente, i flussi di cassa del valore nominale uguale su una serie temporale generano flussi di cassa di valore efficace diversi che rendono i flussi finanziari futuri meno preziosi nel tempo.

Se per esempio esistesse una serie temporale di flussi di cassa identici, il flusso di cassa nel presente sarebbe il più prezioso, con ogni flusso di cassa futuro che diventerebbe meno prezioso del flusso di cassa precedente. Un flusso di cassa oggi è di fatto più prezioso di un flusso di cassa identico in futuro perché un flusso attuale può essere investito immediatamente e iniziare a generare rendimenti, mentre un flusso futuro non può.

Il VAN è determinato calcolando la somma algebrica dei costi (flussi di cassa negativi) e i benefici (flussi di cassa positivi) originati da un progetto per ciascun periodo di un investimento, generalmente di un anno ma potrebbe essere misurato in trimestri, semestri o mesi, attualizzati ad un tasso di sconto che tiene conto del costo opportunità della moneta nello stesso periodo definito. La somma dei valori attuali di ciascun periodo scontati al tasso di rendimento periodico, dettato dal mercato, nel nostro caso considerato costante, determina il valore netto.

Se tale valore risultasse negativo l'iniziativa sarebbe da scartare in quanto i benefici prodotti (nel nostro caso, i risparmi energetici) non garantirebbero la compensazione dell'investimento iniziale sostenuto. In caso di VAN positivo l'investimento è remunerativo e se ne consiglia l'intrapresa.

La formula è la seguente:

$$VAN = -I_0 + FC \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} = -I_0 + FC * FA$$

dove,

$I_0$ : è il costo d'investimento iniziale;

$FC$ : è il flusso di cassa (costante per gli  $n$  anni);

$k$ : è l'anno  $k$ -esimo;

$n$ : è la durata dell'iniziativa economica;

$i$ : è l'interesse di calcolo o interesse reale;

$FA$ : è il fattore di annualità.

L'interesse reale  $i$ , funzione del costo medio ponderato del capitale e dell'inflazione, con specifico riguardo a quella relativa al settore preso in considerazione (energetico in questo studio), è stato assunto costante pari al 5%. La durata  $n$  dell'iniziativa economica, invece, è stata assunta pari a 15 anni.



## SAP con regolatore di flusso

Nel caso di ▷ SAP con regolatore di flusso il totale dei costi è stato calcolato sommando ai costi al consumo e di installazione, il costo dell'aggiunta di un quadro regolatore (4500 €) spalmato su almeno 100 punti luce.

Tabella 9

Costi SAP con Reg. flusso	€
Costi al consumo	53,74
Costi di sostituzione ogni 4 anni	67/4 = 16,75
Aggiunta Quadro regolatore	4500/100 = 45
<b>Tot costi al consumo e gestione</b>	<b>115,49</b>

In tabella 10 si riporta l'andamento dei costi per i primi 10 anni.

Tabella 10 – Costi attualizzati normalizzati totali delle SAP con regolatore di flusso, primi 10 anni.

Anni	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	SAP+ Reg.Flusso								
Costi al consum	-€ 98,74	-€ 149,92	-€ 198,66	-€ 245,09	-€ 289,30	-€ 331,41	-€ 371,51	-€ 409,70	-€ 446,07
Tot + costi inst.	-€ 115,49	-€ 182,62	-€ 246,56	-€ 307,45	-€ 365,44	-€ 420,67	-€ 473,28	-€ 523,37	-€ 571,08

Al ventesimo anno di gestione, il costo per lampada di una linea che alimenta almeno 100 punti luce SAP, nonostante l'aggravio economico dovuto all'acquisto del nuovo quadro regolatore, la spesa risulta essere più bassa rispetto alla stessa di una linea senza quadro regolatore. Si risparmia una cifra intorno ai 100 € per lampada, che rapportata su 100 lampade fa corrispondere un risparmio di 10'000 € dopo 20 anni. In tabella Tab. 11 si riporta l'andamento nei successivi 10 anni.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-€ 480,71	-€ 513,71	-€ 545,13	-€ 575,05	-€ 603,55	-€ 630,69	-€ 656,54	-€ 681,16	-€ 704,61	-€ 726,94	-€ 748,20
	-€ 616,52	-€ 659,79	-€ 701,01	-€ 740,26	-€ 777,64	-€ 813,24	-€ 847,15	-€ 879,44	-€ 910,20	-€ 939,49	-€ 967,38

Tabella 11 - Costi attualizzati normalizzati totali delle SAP con regolatore di flusso, ultimi 10 anni

## LED a dimmerazione pre programmata (P.P.)

Lampada ▷ LED a dimmerazione preprogrammata 30-21 W. Ai costi per il consumo energetico 18,9 € sono stati aggiunti i costi di posa linearizzati su 46 (numero di lampade installate sul Lungargine) 1,5 € più il costo di acquisto della lampada 140 €:

Tabella 12

Costi LED P.P.	€
Costi al consumo	18,9
Costi di posa linearizzati	70/46 = 1,52
Costo di acquisto	140
<b>Totale costi</b>	<b>160,42</b>

Per i LED le analisi economiche generalmente si fermano intorno ai 15 anni di vita, non esistendo ancora uno storico accertato dei comportamenti non si conosce l'effettiva longevità di questo corpo luminoso, anche per via della grande dipendenza dalle condizioni ambientali operative, generalmente lo si considera possa durare, con un calo delle prestazioni dell'ordine di pochi punti percentuale, intorno ai 15 anni ma non è escluso possa durare di più, anche molto di più se si accetta un più accentuato calo delle prestazioni luminose. Per favorire un raffronto ottimistico si è deciso di estendere a 20 gli anni di analisi. (Tabella 13)

Anni	1	2	3	4	5	6	7	8			
LED P.P. (30-21W)											
	-€ 159,50	-€ 176,63	-€ 192,94	-€ 208,47	-€ 223,27	-€ 237,36	-€ 250,78	-€ 263,56			
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-€ 275,73	-€ 287,32	-€ 298,36	-€ 308,87	-€ 318,89	-€ 328,42	-€ 337,51	-€ 346,16	-€ 354,39	-€ 362,24	-€ 369,71	-€ 376,83

Tabella 13 - Costi attualizzati normalizzati totali ventennali delle lampade LED preprogrammate

Il totale dei flussi di spesa scontati raggiunge la ridottissima somma di 337,51 € al quindicesimo anno di operosità e di 376,83€ nel caso i led dovessero estendere la loro vita operativa fino al ventesimo anno.

## LED adattivi

Nel caso dei ▷ LED adattivi, come già spiegato, il raffronto deve essere suddiviso in 3 casi, ognuno relativo al numero di rilevazioni:

- 0 passaggi
- Punto di pareggio energetico
- Full pass

I costi totali sono stati ottenuti dalla somma della spesa energetica annua (15,98 € / 18,9 € / 19,5 €) più i costi di installazione dell'impianto adattivo, linearizzati sulla singola lampada:

- lampada adattiva 44W (funzionante a 25-18 W) 170 €
- posa 1,52 €
- impianto di dimmerazione 70 €

per un totale di 257, 259.5 e 260 € al primo anno di operatività.

Tabella 14

Costi LED adattivi	0 passaggi	Pdp energetico	Full passaggi
Costo di acquisto	170	170	170
Costi di posa linearizzati	1,52	1,52	1,52
Costi al consumo	15,98	18,9	19,5
<b>Totale</b>	<b>257</b>	<b>259,5</b>	<b>260</b>

L'andamento dei costi è riportato in Tabella 15, ove si possono notare i costi iniziali più alti tra quelli di tutti gli altri corpi luminosi presi in considerazione, gli stessi costi però sul finire della vita utile registrano un carico più morbido e comparabilmente competitivo soprattutto con le soluzioni SAP.

Anni	1	2	3	4	5	6	7	8
	LED adattivi (25-18W)							
0 pass	-€ 256,74	-€ 271,23	-€ 285,03	-€ 298,17	-€ 310,69	-€ 322,61	-€ 333,97	-€ 344,78
pdp energetico	-€ 259,52	-€ 276,66	-€ 292,99	-€ 308,53	-€ 323,34	-€ 337,44	-€ 350,87	-€ 363,67
full pass	-€ 260,11	-€ 277,82	-€ 294,68	-€ 310,74	-€ 326,04	-€ 340,61	-€ 354,48	-€ 367,69
	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	
	-€ 355,08	-€ 364,89	-€ 374,23	-€ 383,13	-€ 391,60	-€ 399,67	-€ 407,35	
	-€ 375,85	-€ 387,45	-€ 398,50	-€ 409,02	-€ 419,04	-€ 428,59	-€ 437,68	
	-€ 380,28	-€ 392,26	-€ 403,68	-€ 414,55	-€ 424,90	-€ 434,76	-€ 444,15	

Tabella 15 - Costi attualizzati normalizzati totali quindicennali di lampade a LED adattive nei 3 casi di assorbimenti energetici

Le soluzioni adattive, alla fine della loro vita utile, presentano una spesa che non si discosta di più di 40 € tra la soluzione più e quella meno energivora, a causa del basso prezzo dell'energia, ma risultano comunque più costose della soluzione a LED preprogrammati la cui spesa quindicennale si ferma a meno di 380 €; la soluzione adattiva più economica, ed anche quella più impraticabile (0 passaggi), si ferma a 407 € e quella al pdp energetico, esattamente coerente con lo stesso consumo energetico dei LED pp, arriva a quasi 438€.

Il costo superiore, dunque, dei led adattivi non si ammortizza nel loro tempo di vita utile, determinandone la soluzione potenzialmente meno energivora ma più costosa.

A questo proposito vi è una precisazione da fare: la norma sulla parzializzazione UNI 11248 che prevede l'adeguamento dei regimi illuminotecnici in caso di riduzione del traffico si applica solo ai LED preprogrammati, non agli adattivi, in quanto a questi ultimi non è data richiesta l'illuminazione se non vi sono passaggi, dunque il loro regime illuminotecnico parziale può essere il più basso previsto dalla potenza della lampada. Nel caso del Lungargine tale regime è stato difatti impostato al 10%, che prevede un assorbimento di circa 18 W; avrebbe potuto essere più basso e consumare ancor meno, il che avrebbe consentito di recuperare lo svantaggio economico del costo iniziale superiore, tuttavia tale svantaggio non si recupera nel tempo di vita utile della lampada, servirebbe una longevità doppia della stessa o, alternativamente, un costo dell'energia vicino ai 50 €cents/kWh. Cosa che, naturalmente, non ci auguriamo.

## Confronto

Nel successivo screen di Fig. 37<sup>14</sup> si grafica l'andamento economico delle soluzioni sin qui studiate riportando l'andamento dei costi attualizzati sulle ordinate negative, gli anni in ascissa.

Si nota subito quale appare come soluzione migliore:

i LED  pre-programmati fin già dal 2° anno di attività rivelano avere i più bassi costi di

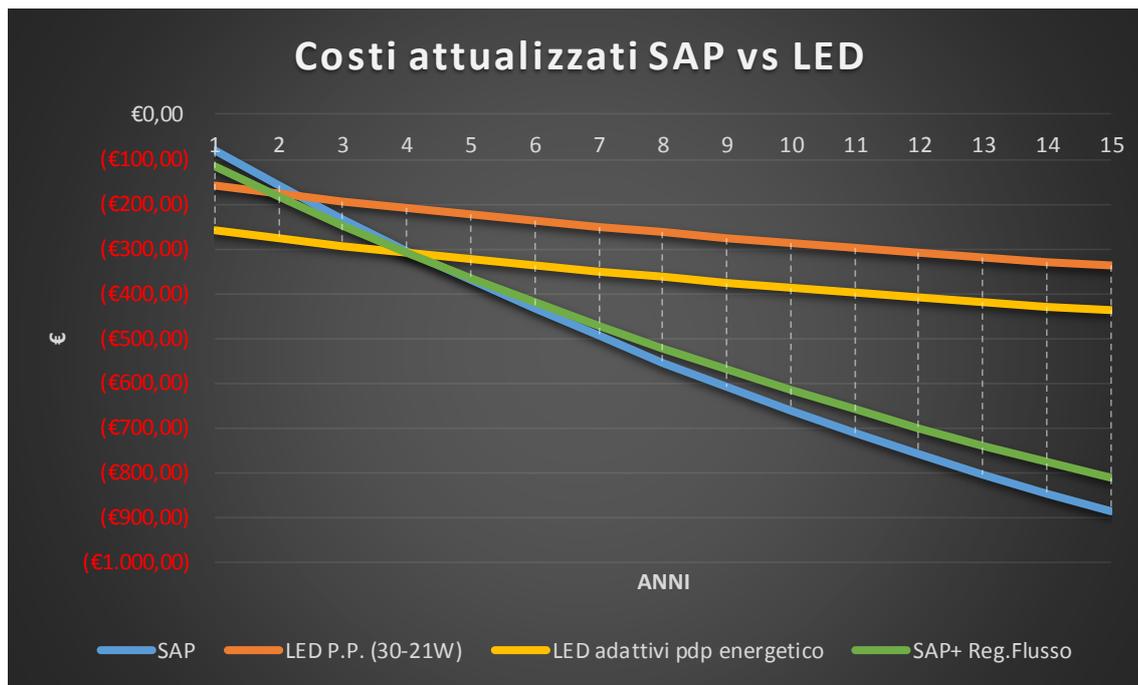
---

<sup>14</sup> Nel grafico, per una maggiore leggibilità, sono state omesse le due estreme soluzioni adattive inserendovi solo quella del punto di pareggio energetico

esercizio. Il basso costo iniziale e al consumo, l'alta longevità, fattori tipici dei led, uniti alla preventiva possibilità di dimmerazione tramite orologio astronomico integrato, li rende evidentemente la scelta più efficiente ed economica.

I SAP — hanno i più bassi costi iniziali, poi la maggior spesa al consumo grava pesantemente sulla spesa quindicennale rivelandosi come la soluzione più sconsigliata. La loro curva incrocia i LED P.P. già dal 2° anno e i LED adattivi dal 4°, poi la loro convenienza decade inesorabilmente.

Figura 37 - Costi attualizzati normalizzati quindicennali delle diverse soluzioni di corpi luminosi



I SAP — con quadro regolatore di flusso partono leggermente svantaggiati ma comunque più convenienti rispetto ad ogni tipo di LED, la loro curva segue quasi fedelmente quella dei SAP non regolati, incrociandosi al 4° anno, fino a cui la soluzione SAP è ancora conveniente, poi decadono sistemandosi nella parte bassa. La differenza di ordinate fra le due soluzioni “sorelle” fa ritenere un risparmio di poco meno di 100 € per punto luce in 20 anni di utilizzo a favore delle SAP con quadro regolatore.

I LED adattivi sono racchiusi in un fascio quasi indistinguibile di 3 caratteristiche grafiche, questo perché la differenza economica delle 3 rispettive soluzioni, anche nel lungo periodo, è minima.

Escono da questo confronto ridimensionati i LED adattivi ■ a causa dei costi degli impianti accessori da installare a latere su ogni lampada, in particolare il dimmer e le telecamere rilevatrici di transiti ciclopedonali poste agli ingressi dell'impianto. Questi rappresentano un costo alto (circa 60 € a punto luce e sono circa gli stessi che si ritrovano nella differenza in ordinata delle due curve) che non riesce ad ammortizzarsi negli anni e che consente ai LED P.P. di imporsi come scelta di riferimento. Questi ultimi, infatti, si impongono come soluzione economicamente più vantaggiosa nel caso di una scelta ex novo di un impianto urbano per illuminazione ciclopedonale ma non per traffico motorizzato. In quest'ultimo caso, il passaggio al sistema adattivo è un obbligo in quanto il sistema deve necessariamente attivarsi in presenza di un passaggio motorizzato dovendo garantire la migliore visibilità possibile.

Tuttavia rincorrere l'efficienza energetica non significa solo consumare meno ma consumare quando e dove serve. Dunque se i LED adattivi non sono idonei a illuminare le strade urbane destinate a pedoni e velocipedi, in urbe, quali possono essere i campi di applicazione?

Possono esservi casi anche in cui viene richiesta una certa intelligenza luminosa in cui i vantaggi degli adattivi sono da preferire rispetto alle soluzioni pre-programmate, ad esempio pensando di installarli in:

- aree urbane pedonali molto frequentate in orari notturni;
- aree con frequenza di eventi sportivi serali;
- aree urbane ed extraurbane interessate dallo svolgimento di iniziative a carattere religioso, ludico, folcloristico, occasionali e/o programmate

In tali casi verrebbe difatti richiesta una luminosità ben superiore a quella minima garantita dalla fascia serale e seppur le soluzioni preprogrammate offrano la possibilità di poter essere regolate da remoto necessitano di un controllo di programmazione e monitoraggio al cambiare degli eventi a cui un tecnico specifico dovrà costantemente prestare attenzione. La soluzione adattiva, seppur leggermente più costosa eliminerebbe questo problema adattandosi autonomamente.

Ma vi è anche un altro motivo per cui le soluzioni adattive prenderanno il sopravvento: le smart cities.

*Nota a margine:* Si fa notare, che per un corretto confronto, i due impianti LED dovrebbero avere la stessa potenza: i led P.P. assorbono 30 e 21 W, gli adattivi 25 e 18 W, le lampade non sono esattamente equipotenziali in assorbimento e in fasce di regime, tuttavia la differenza è così ridotta e il costo dell'energia al kilowattora così relativamente basso da rendere irrilevante tale discrepanza. Le differenze economiche, di seguito ricordate e tratte dalla tabella, sono dell'ordine dei decimi di euro: le spese energetiche annuali nei 3 casi sono: 15,98 €, 18,9 €, 19,5 €.

## CAP. 5 - Nuove frontiere

Gli abitanti delle città, e le aree urbane in particolare, sono in continuo aumento; i consumi che ne derivano arrivano a toccare il 70% dell'energia globale. La sfida in questo ambito è di ottenere città sempre più sostenibili e vivibili al tempo stesso. In tutto il mondo si è presa coscienza che sono proprio le città a essere la causa dei maggiori consumi e che esse stesse mostrano la potenzialità di poter capovolgere questa situazione a proprio vantaggio, grazie all'utilizzo di nuove tecnologie. In questo contesto anche l'illuminazione urbana deve cogliere la necessità di trasformarsi in modo da non essere più un parametro esclusivamente funzionale ma un elemento piacevole e invitante per la vita delle persone. Per ottenere questi obiettivi è fondamentale:

- avere una conoscenza approfondita di tutte le tecnologie disponibili innovative ed efficienti: LED, regolatori di flusso, sistemi di telegestione degli impianti, sorgenti a basso consumo e eventuale integrazione dell'impianto di illuminazione autoalimentato attraverso i sistemi fotovoltaici;
- conoscere sempre tutti gli aspetti normativi e tecnici più aggiornati;
- valutare le strategie di illuminazione già effettuate su altri Comuni per ottenere risultati all'avanguardia.

### **Smart city**

Si parla già da anni di smart city, città intelligente, come prossimo e imminente futuro della società moderna. Si tratta di un insieme di strategie di pianificazione urbanistica tese all'ottimizzazione e all'innovazione dei servizi pubblici in modo da mettere in relazione le infrastrutture materiali della città con il capitale umano, intellettuale e sociale di chi le abita grazie all'impiego diffuso delle nuove tecnologie della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente e dell'efficienza energetica, al fine di migliorare la qualità della vita e soddisfare le esigenze di cittadini, imprese e istituzioni.

Ed è con le smart city che nasce un nuovo concetto di illuminazione pubblica intelligente che non solo permette di ridurre i consumi, o meglio, di adattarli all'uso umano, ma di avvicinarci sempre più ad una integrazione globale di servizi, gestiti a distanza, grazie a tecnologie radio o wireless oggi conosciute con la dicitura Internet of Things (IoT).



*Figura 38 – Smart city con sistema LoRa*

I settori di applicazione dell'IoT possono essere i più disparati, ogni città può scegliere su quale tipologia di sensori puntare e investire, da cui è inizialmente fondamentale la creazione dell'infrastruttura informatica. Progettualmente si preferisce partire dalla realizzazione di una rete indipendente su cui poi far convergere la rete della sensoristica e l'illuminazione adattiva; è tuttavia indubbio che la rete pubblica dei punti luce goda di una ottimale e penetrante ramificazione e ben si presti ad un uso smart di controllo del territorio, per questo l'ENEA sta sviluppando una serie di tecnologie e metodologie che permettono di utilizzare proprio il sistema di IP come struttura portante di una rete di sensori, sistemi di comunicazione e applicazioni intelligenti. Partendo dai punti luce dell'IP sarà dunque possibile monitorare facilmente prima di tutto la manutenzione degli stessi, poi i parcheggi, il traffico, la raccolta dei rifiuti, lo stato di salute delle infrastrutture e dei monumenti, la qualità dell'aria ed il livello dell'inquinamento e molto altro.

Come infrastruttura di riferimento a livello globale si sta facendo strada il LoRa, già anticipato nel capitolo 3, e il relativo suo protocollo di rete LoRaWAN, questa tecnologia è stata sviluppata per poter permettere a sensori alimentati a batteria (nel caso dell'IP verranno alimentati direttamente dalla rete elettrica nazionale) di inviare e ricevere messaggi utilizzando il minor quantitativo di energia possibile, in particolare i vantaggi che mette a disposizione sono:

- Lunga distanza di comunicazione (>5 km in area urbana, >15 km in area extraurbana);
- Lunga vita della batteria (>10 anni);
- Basso costo

- Basso rate di trasmissione dati (0.3 bps – 50 kbps);
- Sicurezza (crittografia applicata ad ogni livello);
- Banda libera ISM (Industrial, Scientific, Medical) ad alta penetrazione;
- Trasmissione dati bidirezionale;

Si tratta inoltre di un protocollo Open che permette di non dipendere da alcun operatore telefonico e di collegarsi in cloud con altri protocolli, offrendo così la possibilità di integrazione in moduli pre-esistenti senza la necessità di riprogettare un sistema da zero. In Italia non vi è ancora un grande operatore nazionale, questo consente la già attuale costruzione di reti a livello provinciale e regionale che nel prossimo futuro diverranno con tutta probabilità una risorsa federata per una rete unificata.

In questo contesto, il lampione si trasforma da semplice strumento d'illuminazione a vera e propria stazione in quanto saranno in grado di raccogliere grandi quantità di dati, cosa che offrirà nuove opportunità per le innovazioni tecnologiche. L'IP si presterebbe dunque in maniera ottimale al veicolamento di servizi a favore della cittadinanza, attraverso lo sfruttamento dei lampioni come rete di erogazione di servizi "smart city".

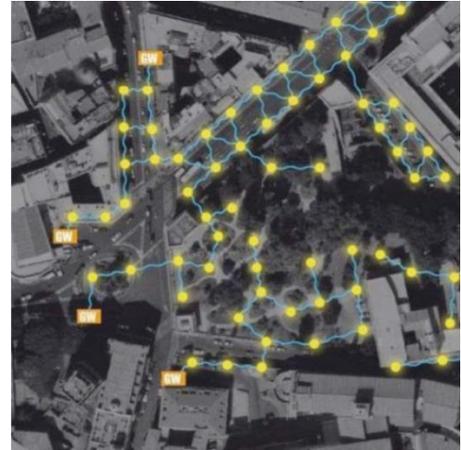
*Figura 39 – Raffigurazione di lampada intelligente con sensori IoT*



Una serie di sensori wireless possono dar vita ad un dialogo con diversi servizi per i cittadini tra cui:

- ✓ Sistemi di collegamento Wi-Fi: possibilità per i cittadini di collegarsi attraverso computer portatili, tablet pc o smartphone alla rete internet;
- ✓ Telelettura delle utenze domestiche: i contatori dell'acqua, del gas possono essere telemisurati e telegestiti (interazione con smart buildings);
- ✓ Controllo e movimenti dei trasporti pubblici: possibilità di sapere in tempo reale tutti gli spostamenti e i tempi di attesa dei mezzi pubblici;
- ✓ Realizzazione di un catasto dell'energia: possibilità di conoscere i sistemi di produzione di energie rinnovabili e quindi di poterle definire e quantificare;
- ✓ Health care: attraverso dei sistemi dotati di sensori è possibile la telelettura dei parametri vitali delle persone, specie quelle anziane, anche al di fuori delle mura domestiche;
- ✓ Tracciabilità di persone, animali, oggetti (ad esempio: biciclette);

- ✓ Informazioni in tempo reale sui parcheggi: nodi sensore a basso consumo, inseriti nell'asfalto, possono informare sullo stato di occupazione di un parcheggio;
- ✓ Controllo dell'irrigazione pubblica;
- ✓ Applicazioni turistiche: possibilità di offrire informazioni di carattere turistico specifiche e localizzate, ad esempio attraverso sensori alloggiati in monumenti, così da comunicare a chi si avvicina informazioni di carattere culturale e turistico;
- ✓ Raccolta dei rifiuti urbani: possibilità da parte del sistema di avvisare quando i cassonetti sono pieni, di conseguenza si ottiene un'ottimizzazione dei percorsi dei camion di raccolta;
- ✓ Ricarica batterie veicoli elettrici: i lampioni si trasformano in centrali di ricarica;
- ✓ Censimento del traffico: possibilità di conteggiare i passaggi dei veicoli inviando in tempo reale le informazioni per il censimento e le statistiche sul traffico;
- ✓ Prevenzione e monitoraggio dei furti di auto: sensori alloggiati nelle autovetture possono essere utilizzati per tracciare i propri autoveicoli;
- ✓ Controllo delle vibrazioni e oscillazioni negli edifici storici per un monitoraggio continuo;
- ✓ Prevenzione degli incendi: possibilità di rilevare incendi e fumo con conseguente comunicazione dell'allarme;
- ✓ Rilevazione di agenti inquinanti e controllo dell'inquinamento;
- ✓ Informazioni sulle condizioni e sulle previsioni meteo della città: lettura di pluviometri, anemometri, nivometri, etc;



*Figura 40 - Esempio di mappatura della città che diventa così "smart".*

Qualità come queste che incrementano la qualità della vita (al costo accettabile della perdita di un po' di privacy) sono alla base dei 107 indicatori dell'ultimo recente rapporto iCity Rate 2018, nella cui analisi di Forum FPA sono state individuate ed analizzate 15 dimensioni urbane aggregate che in ambito nazionale e internazionale definiscono i traguardi per le città: occupazione, ricerca e innovazione, solidità economica, trasformazione digitale, energia, partecipazione civile, inclusione sociale, istruzione, attrattività turistico-culturale, rifiuti, sicurezza e legalità, mobilità sostenibile, verde urbano, suolo e territorio, acqua e aria.

Le dimensioni aggregate hanno consentito di stilare la classifica tra 107 comuni capoluogo, visibile in fig. 41:

RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO
1	Milano	640,2	28	Biella	492,7	55	Terni	434,9	82	Sassari	334,7
2	Firenze	621,6	29	Siena	492,6	56	Cuneo	434,5	83	Isernia	331,7
3	Bologna	620,0	30	Rimini	491,9	57	Verbania	427,7	84	Nuoro	328,9
4	Trento	583,6	31	Brescia	489,5	58	Lucca	426,5	85	Campobasso	324,9
5	Bergamo	567,1	32	Lodi	488,0	59	Ascoli Piceno	425,2	86	Siracusa	323,2
6	Torino	547,7	33	Ferrara	485,2	60	L'Aquila	423,9	87	Latina	322,9
7	Venezia	544,1	34	Lecco	482,8	61	Asti	417,4	88	Palermo	322,1
8	Parma	539,1	35	Pavia	480,2	62	Lecce	408,9	89	Catania	312,9
9	Pisa	538,6	36	Belluno	476,8	63	Pescara	407,9	90	Cosenza	307,0
10	Reggio nell'Emilia	532,8	37	Novara	476,3	64	Fermo	405,7	91	Andria	302,7
11	Padova	532,5	38	Perugia	470,8	65	Massa	402,7	92	Messina	302,5
12	Ravenna	531,7	39	Como	469,6	66	Alessandria	402,1	93	Foggia	298,2
13	Pordenone	529,9	40	Aosta	468,3	67	Bari	391,6	94	Catanzaro	296,9
14	Trieste	523,2	41	Piacenza	467,9	68	Pistoia	390,3	95	Avellino	296,7
15	Roma	522,7	42	Arezzo	465,2	69	Grosseto	385,1	96	Ragusa	296,2
16	Cremona	522,6	43	Cagliari	459,1	70	Matera	384,9	97	Reggio di Calabria	292,5
17	Modena	521,0	44	Macerata	458,1	71	Frosinone	381,0	98	Benevento	287,6
18	Udine	520,6	45	Ancona	457,0	72	Rieti	369,5	99	Caserta	283,0
19	Mantova	516,0	46	Varese	455,1	73	Potenza	362,9	100	Brindisi	278,3
20	Bolzano - Bozen	512,9	47	Sondrio	455,1	74	Viterbo	360,8	101	Enna	275,1
21	Treviso	512,1	48	Prato	454,7	75	Imperia	357,6	102	Taranto	268,9
22	Verona	506,7	49	Vercelli	449,6	76	Teramo	354,8	103	Crotone	248,8
23	Genova	503,5	50	Gorizia	446,8	77	Rovigo	351,0	104	Trapani	237,4
24	Forlì	500,6	51	Pesaro	439,8	78	Oristano	350,2	105	Caltanissetta	235,9
25	Monza	496,6	52	Livorno	438,5	79	Napoli	345,3	106	Vibo Valentia	227,6
26	Vicenza	494,5	53	La Spezia	435,7	80	Salerno	342,9	107	Agrigento	225,2
27	Cesena	493,7	54	Savona	435,6	81	Chieti	336,6			

Figura 41 - Classifica delle città intelligenti italiane, settima edizione - Ottobre 2018 – fonte: [www.forumpa.it](http://www.forumpa.it)

Milano, stando a questa analisi, per la quinta volta consecutiva si conferma città più smart d'Italia e quella che cerca di utilizzare in modo più esteso gli strumenti dell'intelligenza urbana per promuovere e gestire lo sviluppo in forme sostenibili. La seguono Firenze e Bologna, staccate di venti punti e che si distaccano a loro volta da tutte le altre realtà urbane assumendo sempre più la valenza di modelli di riferimento. Profondi gap con le città del Mezzogiorno su cui gravano pesanti ritardi strutturali (occupazione, solidità economica, ricerca e innovazione) ma anche quegli ambiti, come l'energia e la trasformazione digitale, in cui ci sarebbero le opportunità per accorciare le distanze.

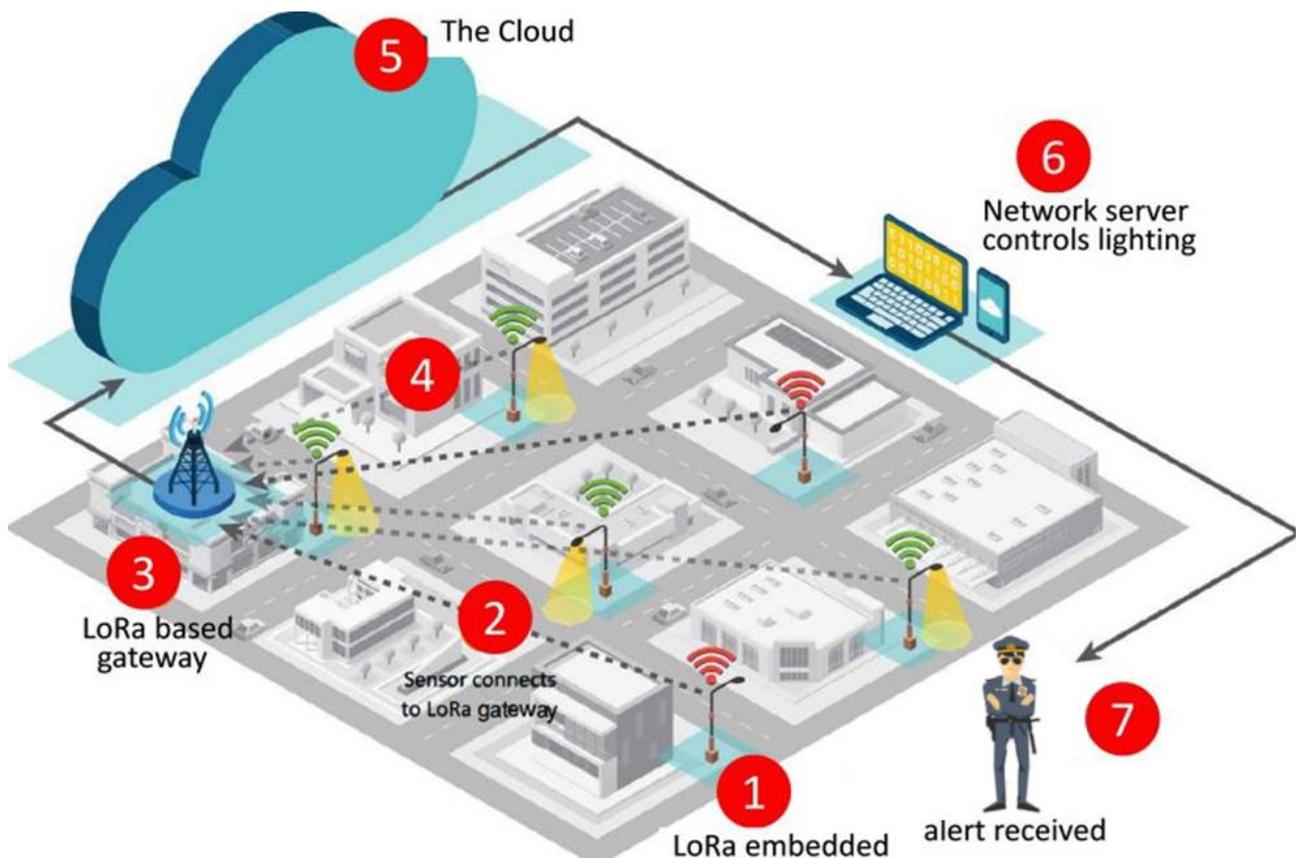
## Proposte per Padova smart

Come si è visto dalla classifica precedente, la città di Padova la si ritrova all'11° posto, a soli 3 decimi di punto dalla top ten e terza nel Nord-Est dopo Trento e Venezia. Tra le possibilità di innovazione, due soluzioni attuabili nel breve termine potrebbero essere l'adozione di sensori di rumore e di effrazione, installati nel Centro storico, in particolare nella zona Piazze ove la concentrazione dei punti luce al metro quadrato è superiore; i primi consentirebbero un controllo dell'inquinamento acustico, i secondi una sorveglianza e tutela degli esercizi commerciali. La creazione della infrastruttura informatica, come fatto con il lungargine avvierebbe la propagazione della sensoristica consentendone l'estensione del raggio di copertura al di fuori del centro e accrescendone le potenzialità smart.

La metodica di realizzazione sarebbe esattamente la stessa di quella realizzata con l'adattivo del Lungargine Scaricatore, basato sulla piattaforma LoRa, utilizzando l'esistente rete di IP connessa ai gateway wireless cittadini già esistenti, che facciano da supporto alla sensoristica.

Il sistema funzionerebbe secondo la logica illustrata in Fig. 42:

Figura 42 - Struttura base di un sistema per l'illuminazione intelligente basato sulla tecnologia LoRa inglobante sensori smart city



1. I sensori di presenza e di illuminazione (dimmers) inseriti in ogni punto luce hanno la capacità di controllare la quantità di flusso luminoso emesso;
2. La tecnologia LoRa inserita nel punto luce si collega al gateway di LoRa trasmettendo le informazioni rilevate dai sensori;
3. Il gateway LoRa (o uno presente già fornitore della rete cittadina) raccoglie e aggrega i dati ricevuti da tutti i punti luce posti nel suo raggio d'azione;
4. Sensori per rispondere ad altre funzionalità “smart city” (di rumore e di effrazione, etc) si collegano allo stesso gateway;
5. Il gateway invia i dati al cloud dove un server dedicato all'applicazione li analizza;
6. Il server può controllare ogni singolo punto luce e i dati che riceve dai sensori;
7. Se un sensore, o più di essi, rileva un'effrazione o un livello di decibel superiore al consentito per più volte di seguito, il server invia un messaggio di allerta alle forze dell'ordine.

La struttura del network è la stessa vista nella fig. 25 del capitolo 3, di seguito in fig. 43 ne viene proposta un'altra comprendente la connessione alla sensoristica:

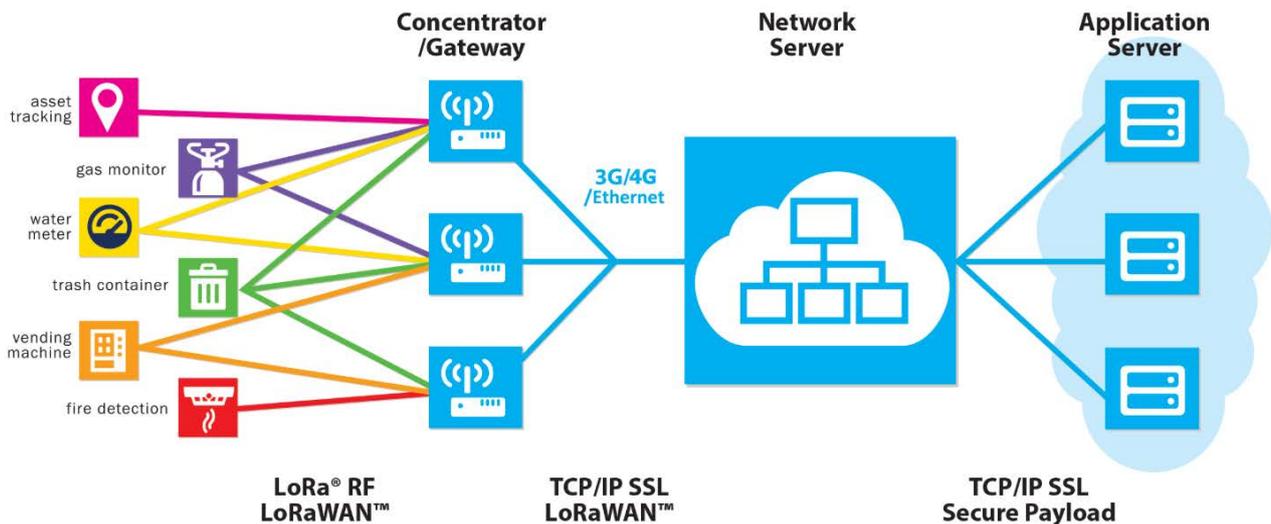
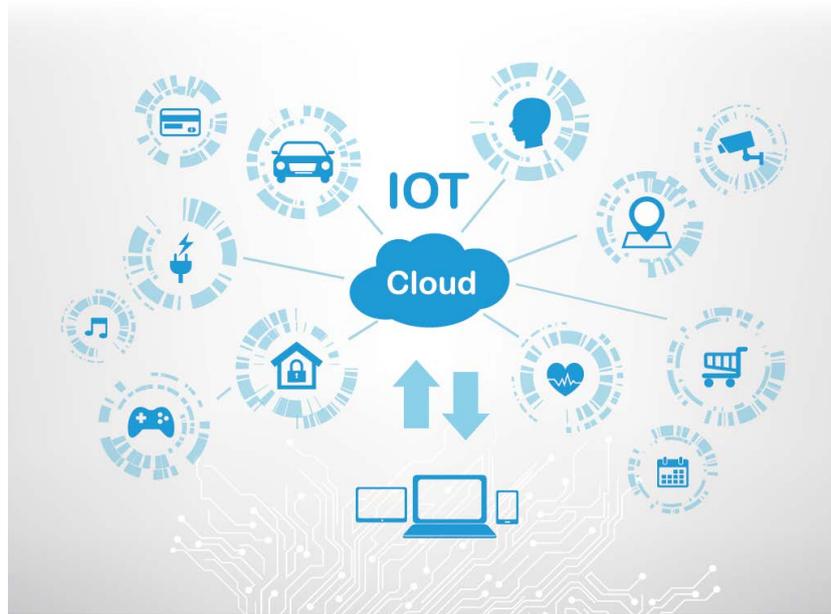


Figura 43 - Struttura network LoRaWAN

I diversi sensori, che vanno dal contatore d'acqua piovana al rilevatore di fuoco, al rilevatore del riempimento dei cassonetti della spazzatura comunicano in LoRaWAN con il gateway locale il quale invia comunicazione, per i canali wireless della rete cittadina o via 3G/4G/5G degli operatori telefonici, al Server centrale il quale li gestisce con un'application server.



*Figura 44*

L'IoT viene definita la rivoluzione dell'Industria 4.0, utilizzando oggetti intelligenti si permetterà alle aziende di operare sempre connesse, interattive e vicine ai bisogni dinamici della società sfruttando i dati in tempo reale per ottimizzare i processi produttivi.

## Conclusioni

L'illuminazione pubblica assume dunque sempre più i connotati di una risorsa strategica nazionale, non solo per quanto riguarda il risparmio energetico ma anche come volano per l'innovazione tecnologica. Molti studi sollecitano da anni investimenti in questo settore e sarebbero molto produttivi in quanto l'IP costituisce ancora oggi una delle maggiori voci della spesa energetica dei Comuni italiani, tra il 20-30%<sup>15</sup>, i rapidi sviluppi delle tecnologie del settore e la diminuzione del prezzo dei LED rende questo investimento interessante ancor più se si considera che hanno tra i più bassi tempi di rientro della spesa, in un periodo di tempo al massimo compreso fra 3 e 5 anni, rispetto al resto delle innovazioni dedite al risparmio energetico<sup>16</sup> (pompe di calore, solare termico, cogenerazione, caldaie a condensazione, etc).

Va però ricordato che, non solo circa il 20% dei punti luce nazionali risulta non a norma ma alla stessa percentuale appartengono pali che non sono di proprietà dell'ente locale di riferimento, circostanza che contrasta con la normativa e complica gli interventi di efficientamento.

Nelle aree pedonali e ciclopedonali i LED pre programmati appaiono ancora come la soluzione che meglio coniuga il risparmio energetico all'adattabilità urbana, in quanto sono controllabili da remoto, competitivi ed economici sia in aree a medio-bassa frequentazione, per via della non ammortizzabilità del costo superiore degli adattivi, che a medio-alta frequentazione, per via del superamento del punto di pareggio energetico. Essi si collocano come la scelta illuminotecnica meglio ottemperante alle necessità di risparmio economico ed energetico.

Gli impianti adattivi hanno però un vantaggio grazie al quale si faranno preferire ad ogni altra sorgente luminosa e in quasi in ogni area urbana: la capacità di rendere la città smart: il loro prezzo superiore, infatti, non va visto come un costo da cui rientrare ma come un investimento in innovazione e infrastrutture tecnologiche, capaci di traghettarci in un mondo 4.0.

---

<sup>15</sup> Fonte: [www.gse.it](http://www.gse.it)

<sup>16</sup> Fonte: Rapporto sull'efficienza energetica RAEE 2017, pag. 107

## Ringraziamenti

Si conclude così la mia Odissea accademica. Finalmente!

Ringrazio il mio anfitrione e locatore, Prof. Alessandro Medici per l'aiuto offertomi nell'elaborazione del foglio Excel (lo so che a te non piace, un giorno imparerò a usare Calc ma per ora non rompere! ☺) Ringrazio i miei due ex coinquilini, Flavia e Luca, per il bell'anno di #coinquilinanza e l'inconsueto rapporto di complicità. Ringrazio Lissana per aver aiutato a spacciarmi come esperto tecnico di illuminazione quel giorno a prendere misure sul lungargine. Ringrazio infine la Città e l'Università di Padova per avermi accolto e formato.

*“Patavium virum me fecit.”* Jan Zamoyski

## Bibliografia

### Testi consultati

- “Facciamo piena luce, indagine nazionale sull’efficienza nell’illuminazione pubblica” Lorenzoni, Porcu, Sabbadin, 2006
- “Lighting design nell’ambiente urbano”, Politecnico di Milano, 2012
- “Illuminazione Pubblica adattiva: modellistica dei sistemi intelligenti” Pizzuti, Annunziato, Bucci, Moretti, 2011
- Rapporto sulla Finanza Locale 2016, Cassa Depositi e Prestiti
- “Illuminazione pubblica: spendiamo troppo”, Osservatorio sui Conti Pubblici Italiani, Università Cattolica del Sacro Cuore, 2018
- “Illuminazione urbana e scenari di progettazione”, Università Sapienza di Roma e Enea, 2011
- “L’efficienza energetica negli impianti d’illuminazione pubblica. Il caso di un comune di medie dimensioni” Tesi specialistica Rando Dario, Relatore Arturo Lorenzoni, A.a 2009-2010
- “Linee Guida Operative per la realizzazione di impianti di Pubblica illuminazione”, RSE S.p.A., 2012
- “Stato dell’arte dei LED”, Università Sapienza di Roma ed Enea, 2010
- “Illuminazione urbana intelligente”, ASSIL, 2015
- Legge della Regione Veneto n. 17 del 7 Agosto 2009 - Bur n. 65 del 11/08/2009: " Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici"
- Norma UNI 11630 “Luce e illuminazione – Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico”, 2016
- Norma UNI 11248 “Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche, 2016
- Norma UNI EN 13201-2-3-4-5 “Illuminazione stradale· Parte 2: Requisiti prestazionali”, 2016

### Siti web consultati

- [it.wikipedia.com](http://it.wikipedia.com)
- [https://www.reverberi.it/sites/default/files/rassegna\\_stamp/Regolazione%20LED.pdf](https://www.reverberi.it/sites/default/files/rassegna_stamp/Regolazione%20LED.pdf)
- <https://www.urbanasolutions.net/>

- <http://www.disano.it/it/servizi/disano-risparmio-energetico/sistemi-di-regolazione-led/sistema-ad-onde-convogliate#sthash.Ff4S4yEb.dpbs>
- <https://illuminotronica.it/lora-lighting-cittadino-lot/>
- [https://www.digimax.it/blog/259\\_Tutti-i-vantaggi-del-protocollo-Lora-nel-nuov.html](https://www.digimax.it/blog/259_Tutti-i-vantaggi-del-protocollo-Lora-nel-nuov.html)
- <https://www.researchgate.net/publication/318787764>
- <http://www.aecilluminazione.it/uploads/kcFinder/files/DIMMERAZIONE%20LED%20ITA.pdf>

Tabella degli orari di accensione degli impianti di IP

ORARI DI ACCENSIONE E SPENNAMENTO IMPIANTI ILLUMINAZIONE PUBBLICA																								
GENNAIO					FEBBRAIO					MARZO					APRILE									
GIORNO	ORA ACCENSIONE	ORA SPENNAMENTO	ORE GIORNO	TOTALE PERIODO	GIORNO	ORA ACCENSIONE	ORA SPENNAMENTO	ORE GIORNO	TOTALE PERIODO	GIORNO	ORA ACCENSIONE	ORA SPENNAMENTO	ORE GIORNO	TOTALE PERIODO	GIORNO	ORA ACCENSIONE	ORA SPENNAMENTO	ORE GIORNO	TOTALE PERIODO					
1	16:20	07:35	15:15	61,00	1	17:15	07:20	14:05	56,20	1	18:00	06:35	12:35	52,20	1	18:40	05:40	11:00	44,00					
5	16:30	07:35	15:05	75,25	5	17:20	07:15	13:55	69,35	5	18:05	06:30	12:25	62,05	5	18:45	05:30	10:45	53,45					
10	16:40	07:30	14:50	74,10	10	17:30	07:10	13:40	68,20	10	18:10	06:20	12:10	60,50	10	18:55	05:20	10:25	52,05					
15	16:50	07:35	14:45	73,45	15	17:40	07:05	13:25	67,05	15	18:15	06:10	11:55	59,35	15	19:00	05:10	10:10	50,50					
20	17:00	07:30	14:30	72,30	20	17:45	07:00	13:15	66,15	20	18:25	06:05	11:40	58,20	20	19:10	05:05	09:55	49,35					
25	17:10	07:25	14:15	89,45	25	17:50	06:50	13:00	52,00	25	18:35	05:50	11:15	78,45	25	19:15	04:55	09:40	58,00					
				totale mese					456,35					379,35					371,55					308,15
MAGGIO					GIUGNO					LUGLIO					AGOSTO									
1	19:20	04:45	09:25	33,40	1	19:50	04:15	08:25	33,40	1	20:10	04:15	08:05	32,20	1	19:50	04:50	09:00	32,00					
5	19:25	04:40	09:15	46,15	5	19:55	04:15	08:20	41,40	5	20:10	04:20	08:10	40,50	5	19:40	05:00	09:20	46,40					
10	19:30	04:35	09:05	45,25	10	20:00	04:10	08:10	40,50	10	20:10	04:25	08:15	41,15	10	19:30	05:05	09:35	47,55					
15	19:35	04:25	08:50	44,10	15	20:05	04:10	08:05	40,25	15	20:05	04:30	08:25	42,05	15	19:20	05:15	09:55	49,35					
20	19:40	04:20	08:40	43,20	20	20:10	04:10	08:00	40,00	20	20:00	04:35	08:35	42,55	20	19:10	05:20	10:10	50,50					
25	19:45	04:20	08:35	51,30	25	20:10	04:10	08:00	48,00	25	19:55	04:40	08:45	61,15	25	19:00	05:25	10:25	72,55					
				totale mese					268,20					244,35					260,40					299,55
SETTEMBRE					OTTOBRE					NOVEMBRE					DICEMBRE									
1	18:55	05:30	10:35	42,20	1	18:00	05:55	11:55	47,40	1	17:15	06:35	13:20	53,20	1	16:30	07:05	14:35	58,20					
5	18:40	05:35	10:55	54,35	5	17:50	06:00	12:10	60,50	5	17:00	06:40	13:40	68,20	5	16:30	07:10	14:40	73,20					
10	18:35	05:40	11:05	55,25	10	17:40	06:05	12:25	62,05	10	17:00	06:50	13:50	69,10	10	16:30	07:20	14:50	74,10					
15	18:30	05:40	11:10	55,50	15	17:35	06:10	12:35	62,55	15	16:50	06:50	14:00	70,00	15	16:30	07:25	14:55	74,35					
20	18:20	05:45	11:25	57,05	20	17:30	06:20	12:50	64,10	20	16:45	06:55	14:10	70,50	20	16:30	07:35	15:05	75,25					
25	18:10	05:50	11:40	70,00	25	17:20	06:30	13:10	82,10	25	16:40	07:00	14:20	86,00	25	16:30	07:35	15:05	105,35					
				totale mese					335,15					389,50					417,40					456,25
Totale ore funzionamento anno: 4189																								