



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale

In Ingegneria Energetica e Nucleare

A.a. 2020/2021

Sessione di Laurea Magistrale Ottobre 2021

**L'illuminazione pubblica del Comune di Buttigliera Alta
(TO): analisi dei consumi energetici nel processo di
riqualificazione degli impianti**

Relatori:

Prof. Marco Carlo Masoero

Prof.ssa Anna Pellegrino

Ing. Roberto Gerbo

P.I. Sergio Collesei

Candidato:

Ludovica Cortoni

“E quindi uscimmo a riveder le stelle”

(Dante, *Inferno*, canto XXXIV, v. 139)

Indice

INTRODUZIONE	6
CAPITOLO 1 – Il settore dell’illuminazione pubblica	10
1.1. Evoluzione dell’illuminazione pubblica	10
1.2. Soluzioni di luce per l’illuminazione pubblica	13
1.3. Apparecchi per l’illuminazione pubblica	20
1.4. Sistemi per la gestione dell’illuminazione pubblica	23
CAPITOLO 2 – Legislazione normativa tecnica di riferimento	32
2.1. UNI 11248:2016 – “Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche”	33
2.2. UNI EN 13201:2016 – “Illuminazione stradale”	40
2.3. UNI 10819:2021 – “Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l’alto del flusso luminoso”	51
2.4. Legge regionale 3/2018	54
2.5. Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima	55
2.6. Criteri Ambientali Minimi	58
CAPITOLO 3 – Il perimetro di applicazione dell’analisi: Comune di Buttigliera Alta (TO)	64
3.1. Analisi dei dati pluriennali disponibili degli impianti IP	66
3.2. La scelta degli impianti IP oggetto dell’analisi	75
3.2.1. Analisi dei valori provenienti dal flusso dati	80
3.3. Le ore di accensione degli impianti IP	91
3.4. Il perimetro di analisi di dettaglio	98
3.5. I consumi energetici normalizzati degli impianti IP oggetto di analisi di dettaglio	100
3.6. Considerazioni finali	111
3.6.1. Funzionamento dell’orologio astronomico	112
CAPITOLO 4 - Analisi di azioni migliorative future	116
4.1. I sensori di movimento per l’ <i>instant dimming</i>	118
4.2. La regolazione adattiva TAI/FAI	119

4.3. I sistemi di illuminazione adattivi per una gestione smart degli impianti IP	123
4.4. L'illuminazione <i>smart</i> incontra gli SDGs	127
CAPITOLO 5 – Conclusioni	130
Ringraziamenti	132
Bibliografia	134

INTRODUZIONE

La preoccupazione verso i continui cambiamenti climatici, causati dall'aumento dell'effetto serra antropico, sta scuotendo la sensibilità generale verso l'adozione di strategie che promuovano l'efficientamento energetico nei settori di competenza dell'uomo.

In effetti, i cambiamenti climatici sono da sempre esistiti e la presenza di gas che trattengono calore creando l'effetto serra è una condizione vantaggiosa per la vita dell'uomo, dal momento che senza di essi la temperatura media sulla Terra si aggirerebbe intorno ai -15°C.

Negli ultimi 150 anni, tuttavia, questi cicli si stanno accelerando, a cause delle attività antropiche: con la rivoluzione industriale l'uomo ha iniziato a emettere in atmosfera tonnellate di anidride carbonica facendo arrivare la concentrazione di CO₂ a 410-415 ppm¹, rispetto ai 200-180 ppm, che hanno caratterizzato gli ultimi 700mila anni.

Le attività umane che influenzano maggiormente il clima, creando più danni sulla Terra, sono quelle che coinvolgono il consumo delle fonti fossili (petrolio, carbone, gas), responsabili da sole dell'83% delle emissioni totali di CO₂, e la sola produzione di elettricità dal carbone incide per il 36%.

Il documento cui fare riferimento per le misure atte a contrastare la presente crisi climatica è l'Accordo di Parigi, firmato nel 2015, in occasione della COP21 (Conferenza delle Parti, edizione n.21), tenutasi proprio nella capitale francese. Il trattato, sottoscritto dai 196 Stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), delinea la strada per la decarbonizzazione con obiettivi a lungo termine, a partire dall'anno 2020.

Nell'ottica di raggiungere la carbon neutrality entro la seconda metà del secolo, gli Stati devono intraprendere una vera e propria transizione energetica, tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia e l'adozione di tecnologie sempre più performanti, per ridurre gli sprechi.

Anche il settore dell'illuminazione pubblica comunale sta affrontando una e vera propria trasformazione, per implementare misure di efficientamento energetico, in linea con la preoccupazione generale verso la crisi climatica odierna.

Secondo studi recenti, il consumo di energia elettrica destinato all'illuminazione pubblica rappresenta il 2% dei consumi nazionali: se a livello assoluto sembra una percentuale non troppo rilevante, comparando i consumi di energia elettrica destinati all'illuminazione pubblica in Italia con la media europea, il rapporto è 2:1.

Siamo uno dei Paesi più illuminati d'Europa e ciò va ad impattare a livello ambientale anche sull'inquinamento luminoso, creando ulteriori preoccupazioni e l'esigenza di prendere misure per un

¹ Unità di misura che indica "parti per milione".

ammodernamento impiantistico. Infatti, le preoccupanti cifre che caratterizzano l'illuminazione pubblica italiana sono dovute:

- all'inefficienza degli impianti, spesso obsoleti e costituiti da sorgenti luminose di vecchia generazione;
- all'utilizzo di sistemi di accensione/spengimento non coerenti con gli andamenti di alba e tramonto variabili giornalmente in base a condizioni climatiche e/o all'uso a piena potenza degli impianti anche in ore in cui sarebbe accettabile una riduzione dell'illuminazione pubblica;
- al sovradimensionamento degli impianti, per cui viene installata più potenza rispetto a quella ritenuta effettivamente necessaria dalla normativa tecnica di riferimento.

Anche gli impianti di illuminazione pubblica comunale devono necessariamente intraprendere il percorso di transizione energetica, adottando le tecnologie all'avanguardia che si stanno affermando per razionalizzare i consumi. Tra gli interventi promossi come strategie di efficientamento degli impianti di illuminazione pubblica comunali vi sono: *la sostituzione dei corpi illuminanti con sorgenti a LED (Light Emitting Diodes), l'adozione di sistemi di gestione impiantistica all'avanguardia, quali i sistemi di regolazione adattivi, l'installazione di sistemi per il telecontrollo e la telegestione degli impianti.*

Queste strategie di ammodernamento dell'asset impiantistico esistente permettono di abbattere i consumi energetici e le relative spese comunali, e sono da adottare quanto prima per convertire i nostri impianti di illuminazione pubblica in sistemi che rispecchiano i consumi medi europei.

Il presente lavoro di tesi studia il settore dell'illuminazione pubblica comunale ed i consumi energetici che lo contraddistinguono, analizzando un caso reale di riqualificazione degli impianti.

Si parte dalla caratterizzazione impiantistica del punto luce, passando per la normativa tecnica di riferimento, per arrivare al cuore dello studio, e cioè l'analisi dei consumi energetici destinati all'illuminazione pubblica del Comune di Buttigliera Alta (TO), che costituisce il perimetro di controllo del presente lavoro di tesi; vengono poi vagliate le possibili soluzioni migliorative future, da proporre all'asset impiantistico esistente.

Nel *Capitolo 1* viene presentato il settore dell'illuminazione pubblica attraverso una digressione storica, dalla sua nascita alla trasformazione che sta sperimentando, contestualmente all'evoluzione delle *smart cities*. Vengono analizzate le varie tipologie di sorgenti luminose che sono state installate negli anni, ed i diversi tipi di apparecchi, a corredo del punto luce. Infine, vengono spiegate le diverse

modalità di gestione impiantistica, dai sistemi di regolazione del solo flusso luminoso emesso, ad architetture più complesse per il controllo da remoto degli apparecchi.

Nel *Capitolo 2* è passata in rassegna la normativa tecnica di riferimento, che regola l'illuminazione pubblica comunale e la progettazione stessa degli impianti. In particolare, vengono presentate:

- le normative tecniche UNI 11248:2016, UNI EN 13201:2016 per la progettazione degli impianti di illuminazione pubblica, la cui priorità è garantire l'illuminazione necessaria per la sicurezza del cittadino;
- la normativa tecnica UNI 10819:2021 e la Legge regionale 3/2018 (per il Piemonte), che si occupano di contenere l'inquinamento luminoso derivante dagli impianti di illuminazione pubblica comunali;
- il PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima) come l'insieme delle azioni volte all'efficientamento energetico, in linea con le direttive europee;
- i CAM (Criteri Ambientali Minimi) che si inseriscono, nuovamente, nel tema della sostenibilità ambientale e del risparmio energetico.

Il *Capitolo 3* costituisce l'analisi vera e propria dei consumi energetici reali del perimetro di studio in esame: il Comune di Buttigliera Alta (TO). L'analisi viene condotta su tre anni distinti, caratterizzati da sorgenti luminose e soluzioni di gestione impiantistica diversi. Sono dapprima passati in rassegna i dati trasmessici dal Comune, caratterizzanti il censimento ed i consumi energetici degli impianti nei tre periodi di studio presi come riferimento, anche confrontati con i valori del progetto esecutivo realizzato (per una giusta valutazione delle prestazioni in progettazione e realtà finale installata, elemento determinante per quantificare i reali risparmi energetici ottenibili/ottenuti).

Dal momento che la composizione impiantistica è variabile nel tempo e, spesso, presenta dati non coerenti negli anni, è necessario circoscrivere, eventualmente normalizzando, il perimetro del nostro studio limitatamente agli impianti con dati affidabili ed omogenei.

I confronti negli anni sono fatti rispetto alle ore di accensione ed ai consumi energetici registrati: a seguito di ciò è possibile definire quale sia l'anno caratterizzato dalla composizione impiantistica più efficiente ed a ridotto consumo energetico, sia per quanto riguarda la tecnologia adottata che i sistemi di accensione/spegnimento.

Tra le considerazioni finali, viene posto l'accento sul funzionamento degli orologi astronomici, che vengono installati negli impianti per comandarne l'accensione e lo spegnimento, e sul problema della deriva cui sono soggetti.

Nel *Capitolo 4* sono proposti, come spunti migliorativi all'avanguardia, i sistemi di gestione che si stanno affermando negli impianti di illuminazione pubblica comunali. Tra questi, vengono analizzati i sensori di movimento ed i sistemi di illuminazione adattivi, che rendono *smart* la gestione impiantistica. Le diverse tecnologie sono presentate in via del tutto qualitativa, senza uno studio di fattibilità sull'installazione delle stesse negli impianti di illuminazione pubblica del Comune di Buttigliera Alta.

Per dare seguito a queste indicazioni, sarebbe opportuno valutare cosa richiederebbe l'installazione di tali sistemi ed i benefici che questi comporterebbero nella riduzione dei consumi, attraverso un'analisi costi-benefici.

CAPITOLO 1 – Il settore dell’illuminazione pubblica

Inizialmente concepito per rispondere ad una necessità di sicurezza del cittadino, il settore dell’illuminazione pubblica è oggetto di sviluppo e quindi di studio da quasi due secoli ormai, e nasce con l’urbanizzazione e l’ingrandirsi delle città: ad oggi, dati statistici contano per l’Italia un lampione ogni 6 abitanti, per un totale di circa 10 milioni di lampioni distribuiti sul territorio nazionale.

Di per sé, l’illuminazione pubblica è intesa come

“l’illuminazione funzionale di uno spazio esterno che si pone come obiettivi la rispondenza alla normativa tecnica e ai relativi parametri raccomandati”².

Per la precisione, l’illuminazione pubblica nasce come illuminazione stradale e si è estesa poi ad illuminazione di parchi e giardini, delle aree industriali e commerciali, e dei centri urbani.

Benché sia un servizio da sempre richiesto alle autorità delle Pubbliche Amministrazioni, che devono preoccuparsi di prolungare il giorno urbano attraverso tali sistemi artificiali, nell’attuale presente l’illuminazione pubblica sta richiamando un forte interessamento, oltre che per l’efficienza energetica, anche a seguito della nascita delle smart city, centri sempre connessi e rispondenti ai criteri di sviluppo sostenibile che vedono nell’infrastruttura dell’illuminazione pubblica uno dei punti di partenza su cui costruire le strategie di trasformazione digitale della città.

1.1. Evoluzione dell’illuminazione pubblica

Percorrendo a ritroso nel tempo la storia dell’illuminazione pubblica, si susseguono tecnologie di generazione della luce e sistemi per il controllo dell’illuminazione che hanno subito un profondo processo tecnologico migliorativo in un lasso di tempo molto breve.

Le prime forme di illuminazione pubblica risalgono al XVIII secolo ed erano caratterizzate da un bruciatore ad olio centralizzato, che permetteva di regolare la velocità di combustione e quindi l’intensità dell’illuminazione, ma ad accensione e spegnimento manuale.

La tecnologia ad olio fu ben presto rimpiazzata dal gas combustibile, ottenuto dalla decomposizione delle sostanze organiche dapprima del legno, e, successivamente, del carbon fossile, e con un’infrastruttura di supporto che per la prima volta cominciò ad assomigliare ai lampioni odierni. L’utilizzo del gas come combustibile, in alternativa all’olio, aveva tra i vantaggi quello di non produrre scintille, riducendo i pericoli di incendio.

Il XIX secolo segna l’inizio della vera rivoluzione per l’illuminazione pubblica con la prima lampadina a incandescenza, concepita da Thomas Edison nel 1878; dalla scoperta alla sua

² F. Bisegna, F. Gugliermetti, M. Barbalace, L. Monti, “Metodologie di progettazione e valutazione di sistemi di illuminazione pubblica”, in *Ricerca di sistema elettrico*, Università di Roma “Sapienza”, ENEA, settembre 2010, p. 3.

affermazione, il passo è stato breve e favorito sia dalla facilità di impiego, dalla tonalità e dalla costanza della luce, sia dal rapido progredire dell'industria elettrica che ha consentito di portare ovunque l'elettricità. Il primo impianto di illuminazione pubblica a incandescenza in Europa fu montato a Torino e inaugurato nel maggio del 1884, in occasione dell'Esposizione Generale Italiana, in piazza Carlo Felice, con 12 lampade ad arco Siemens da 800 candele.

Durante il XX secolo l'illuminazione pubblica ha visto, da un lato, il miglioramento delle soluzioni tecnologiche e ingegneristiche per lampadine a filamento e fluorescenti che sfruttano l'elettricità, con l'impiego di sostanze sempre più compatibili dal punto di vista ambientale, passando dall'utilizzo di gas come il mercurio al sodio, ad esempio; dall'altro lato, il XX secolo è segnato dalla scoperta del principio di funzionamento dei LED (Light Emitting Diode), da parte dello scienziato russo Oleg Losev, nel 1927.

Da allora, la tecnologia dei diodi a emissione luminosa ha intrapreso un cammino che non si è ancora arrestato, e il processo di ingresso dei LED nei sistemi di illuminazione pubblica e privata è ben lontano dalla conclusione. L'impiego di questa nuova tecnologia comporta una maggior sostenibilità ambientale dell'impianto pubblico, poiché sono sorgenti di illuminazione a basso consumo e quindi meno inquinanti, e una conseguente riduzione delle emissioni di CO_2 ; l'utilizzo dei LED vede anche un abbattimento dei costi di manutenzione, per via della loro maggiore durata media. Nonostante ciò, la penetrazione di questa tecnologia nel mercato globale si attesta ancora intorno al 40%, dato al 2018.

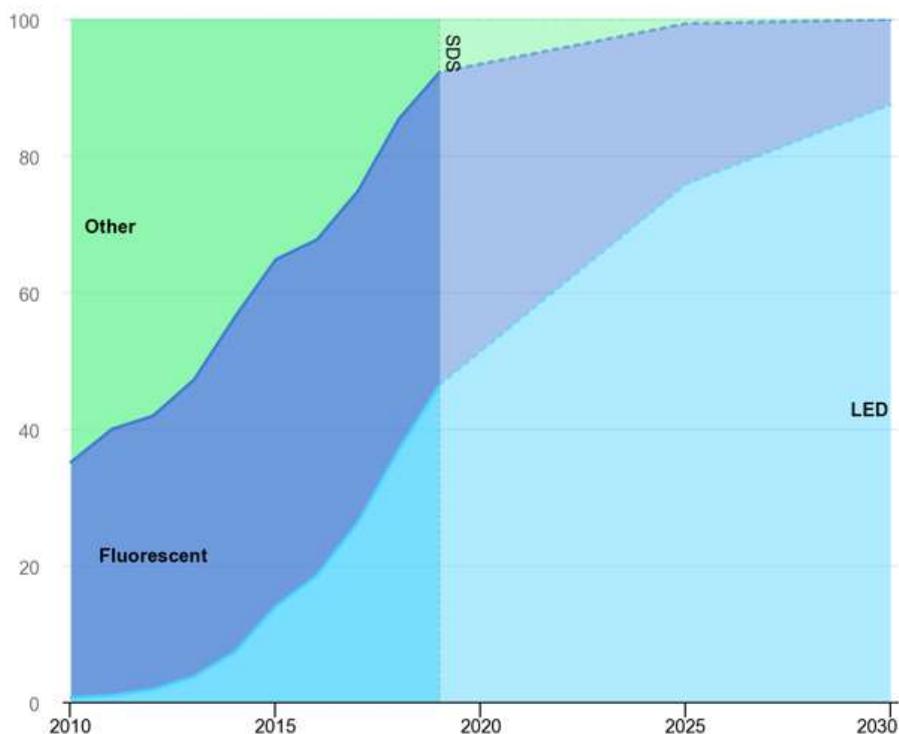


Figura 1 – Percentuale di lampade vendute per tipologia, e previsioni del Sustainable Deveopment Scenario (SDS) (Fonte: IEA, “Lighting sales by type in the Sustainable Deveopment Scenario, 2010-2030”, Paris, 2020)

La consapevolezza dei problemi ambientali legati all'eccessivo sfruttamento delle risorse, tra cui la produzione di energia elettrica, sta spingendo anche l'illuminazione pubblica a fare scelte più coscienti. Sebbene già con l'utilizzo dei LED l'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica sia notevolmente migliorata, l'introduzione dei sistemi di gestione per la temporizzazione e la regolazione del flusso luminoso abbatta ulteriormente gli sprechi di energia. Essi sono di supporto alla specifica tecnologia utilizzata per generare la luce e, attraverso l'utilizzo di sensori di movimento e/o crepuscolari, garantiscono l'illuminazione solo dove e quando serve. Fra i sistemi di regolazione, l'illuminazione intelligente adattiva si sta inserendo come mezzo più efficiente nel garantire l'illuminazione solo quando realmente necessaria.

Inoltre, con l'affermarsi delle smart city e il diffondersi dell'IoT (Internet of Things) i lampioni si fanno oggetti urbani intelligenti e connessi: da semplici punti luce vengono riprogettati per essere al centro della gestione della città, sia perché presenti in modo strutturato e capillare sul territorio, sia perché già ad oggi sede di una serie di costi e di servizi.

L'illuminazione pubblica intelligente e connessa è la nuova frontiera: per le pubbliche amministrazioni, essa rappresenta un'opportunità di offrire più servizi ai cittadini ottimizzando costi e risorse e sfruttando l'infrastruttura esistente.

I lampioni intelligenti e connessi possono essere usati anche come:

- Sistemi di videosorveglianza urbana per la sicurezza pubblica, il controllo del traffico, la gestione dei parcheggi, i movimenti dei trasporti pubblici e, più in generale, come sistemi di tracciabilità;
- Dispositivi per il controllo della qualità dell'aria, il monitoraggio ambientale, la raccolta di informazioni sulle previsioni meteo della città;
- Sistemi di collegamento Wi-Fi;
- Sistemi di controllo delle vibrazioni per il monitoraggio e la previsione dei terremoti;
- Sistemi di prevenzione incendi, con dispositivi di rilevazione dei fumi;
- Sistemi di controllo per la raccolta di rifiuti urbani;
- Colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici.

A livello globale, IoT Analytics stima che il mercato dei lampioni connessi supererà i 3,6 miliardi di dollari nel 2023 crescendo a un tasso annuo del 21%.

A livello regionale, l'Asia dimostra un passo molto più veloce nell'adozione di illuminazione stradale connessa (Connected Streetlight), con India e Cina in testa.

In Europa, il mercato è ancora un po' lento, ma potrebbe crescere a un CAGR (Compound Annual Growth Rate) del 6% nei prossimi 5 anni; le previsioni parlano di un valore del mercato europeo pari a 450 milioni di dollari nel 2025.

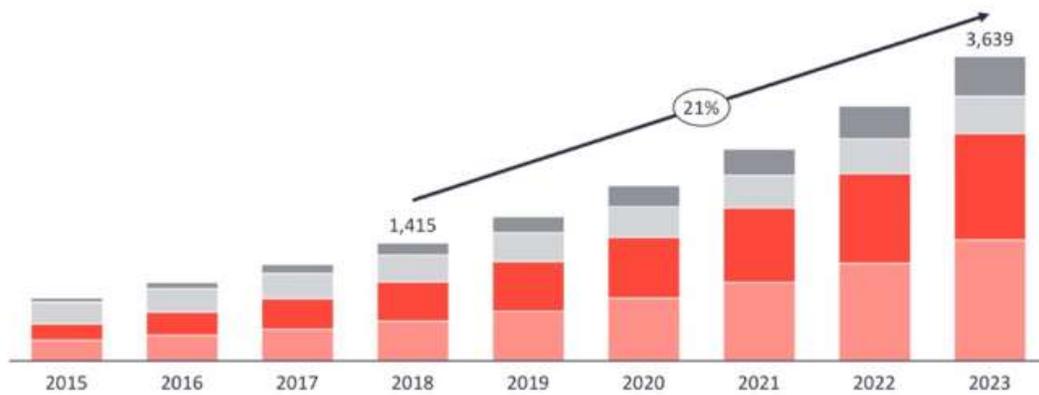


Figura 2 – Andamento del mercato globale dei lampioni connessi (Fonte: IoT Analytics, 2018)

1.2. Soluzioni di luce per l'illuminazione pubblica

Gli impianti destinati all'illuminazione pubblica sono costituiti da tre elementi fondamentali: le sorgenti/lampade, gli apparecchi di supporto e i sistemi di gestione. L'efficienza energetica di un impianto è quindi valutata tenendo in considerazione tutti e tre gli elementi che lo compongono.

Le tecnologie usate per generare la luce si differenziano in base ai diversi principi di funzionamento e alle diverse prestazioni energetiche, di colore e di durata delle lampade.

Le sorgenti di luce attualmente utilizzate sono di due tipi: sorgenti a scarica e sorgenti a stato solido. Si citano, per completezza, anche le lampade a incandescenza che dal 2009 sono state progressivamente ritirate dal mercato ed eliminate definitivamente il 1° settembre 2012, seguendo la normativa europea sull'Ecodesign o Direttiva EUP (Energy Using Products) 2005/32/CE, finalizzata al risparmio energetico e alla lotta contro i cambiamenti climatici.

Le sorgenti/lampade a incandescenza sono lampade a bulbo e il loro principio di funzionamento consiste nel passaggio di corrente elettrica attraverso un sottile filamento di tungsteno che, surriscaldandosi, emette la radiazione elettromagnetica; sono state ritirate dal commercio poiché si tratta di una tecnologia poco sostenibile dal punto di vista sia energetico che economico, dal momento che l'emissione avviene soprattutto nell'infrarosso, producendo calore, con un'efficienza energetica compresa soltanto tra i 14-28 lm/W.

Le sorgenti/lampade a scarica nei gas possono essere costituite da un involucro di vetro compatto o lineare, al cui interno è contenuto un gas; un flusso di elettroni liberi, indotto da un campo elettrico, urta gli atomi del gas, lo ionizza e porta gli elettroni di valenza a livelli energetici superiori. Quando l'elettrone torna al livello energetico inferiore rilascia la radiazione elettromagnetica.

Le sorgenti a scarica nei gas possono essere a vapori di mercurio ad alta e bassa pressione (lampade fluorescenti), a vapori di sodio ad alta e bassa pressione, a ioduri metallici e a induzione elettromagnetica.

In Figura 3, è rappresentato il principio di funzionamento delle lampade fluorescenti, che emettono la radiazione elettromagnetica nel campo dell'ultravioletto e che viene trasformata in radiazione visibile dalle polveri fluorescenti di rivestimento.

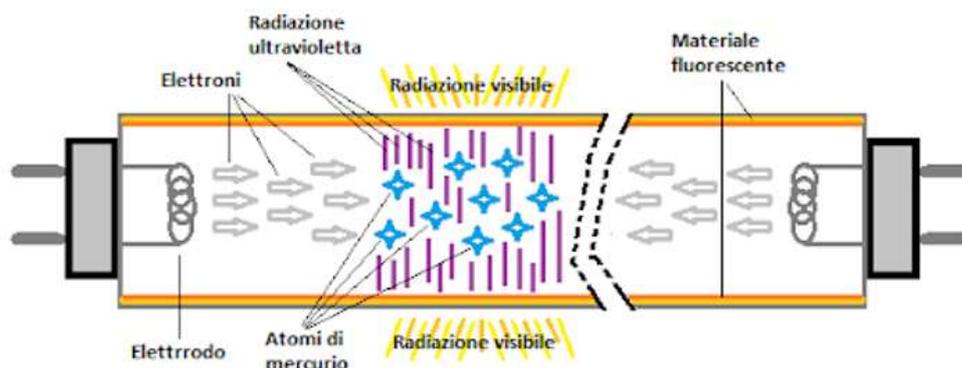


Figura 3 – Principio di funzionamento delle lampade fluorescenti lineari (Fonte: CPITALIA, 2011)

Nelle lampade a ioduri metallici, invece, per ottenere una luce bianca ben bilanciata, sono introdotti nel tubo di scarica degli additivi (ioduri), al posto delle polveri fluorescenti.

Nelle lampade a vapori di sodio, la scarica elettrica avviene in una miscela composta da gas rari (Argon, Neon) che provoca il riscaldamento della lampada e il raggiungimento della temperatura di fusione del sodio; a questo punto, il sodio vaporizza e viene ionizzato dalla scarica.

Le lampade a induzione elettromagnetica, infine, possono essere considerate come lampade fluorescenti con la sola differenza che il bulbo è perfettamente sigillato, poiché non è necessario il passaggio di elettrodi; la scarica viene generata da due bobine, avvolte su un nucleo di ferrite e montate in posizione diametralmente opposte, che inducono un campo magnetico all'interno del bulbo.

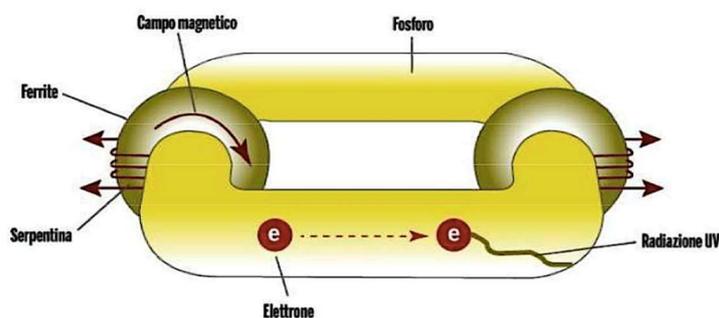


Figura 4 – Principio di funzionamento delle lampade a induzione elettromagnetica (Fonte:

www.grandecasa.it)

Le sorgenti/lampade a stato solido basano il loro principio di funzionamento sul fenomeno dell'*elettroluminescenza* che consiste nell'emissione di radiazione da parte di un materiale soggetto ad un campo elettrico. La sorgente è un diodo costituito da materiale semiconduttore in grado di produrre fotoni quando attraversato da corrente elettrica. Il diodo è drogato opportunamente per formare una giunzione p-n: uno strato con eccesso di elettroni (n) interfacciato ad uno strato con eccesso di lacune (p). Quando sono sottoposti alla tensione del campo elettrico, gli elettroni liberi nella banda di conduzione si ricombinano con le lacune della banda di valenza. Ogni volta che avviene la ricombinazione, gli elettroni cedono energia sotto forma di fotoni.

Le sorgenti a stato solido comprendono i LED (Light Emitting Diodes) e gli OLED (Organic Light Emitting Diodes), un tipo di diodo organico usato soprattutto per schermi e televisori.

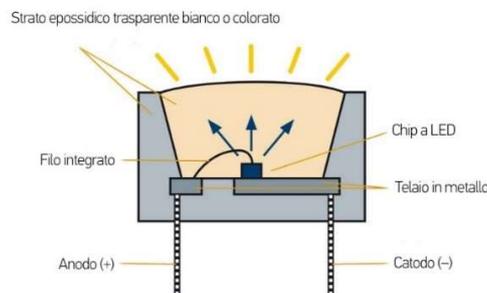


Figura 5 – Principio di funzionamento delle sorgenti a LED (Fonte: www.hella.com)

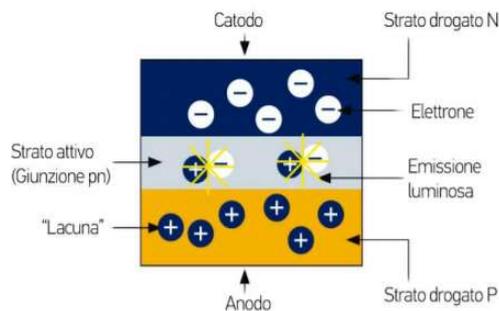


Figura 6 – Esempio di giunzione p-n (Fonte: www.hella.com)

Il collegamento della lampada alla rete non è diretto ma avviene per mezzo di un alimentatore che, nelle sorgenti a scarica, funziona da trasformatore ed ha il compito di regolare la tensione di alimentazione della rete alle esigenze della lampada. Nelle tecnologie a LED, invece, poiché la lampada lavora in corrente continua, è necessario introdurre anche un circuito elettronico di pilotaggio (driver) in grado di trasformare la tensione alternata in corrente continua stabilizzata.

Lo Figura 7 di seguito riassume le diverse tecnologie usate per generare la luce.

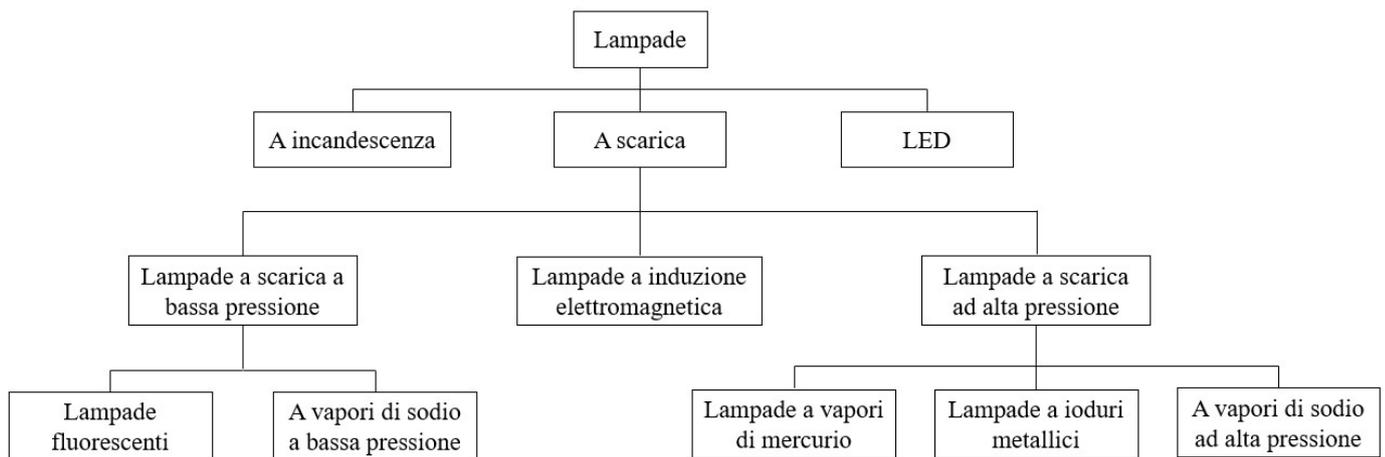


Figura 7 – Schema riassuntivo delle sorgenti per generare la luce

La scelta di una soluzione tecnologica a favore di un'altra dipende dagli obiettivi del progetto illuminotecnico che deve garantire condizioni di illuminazione adeguate alle esigenze visive e di efficienza energetica. Per rispondere a tali obiettivi, i parametri di valutazione che indicano quale sia la tecnologia migliore da adottare, sono grandezze di carattere illuminotecnico ed economico:

– **Efficienza luminosa [lm/W]**

Indice economico che valuta il rendimento della sorgente: è il rapporto tra il flusso luminoso emesso e la potenza elettrica assorbita dalla lampada.

– **Temperatura di colore correlata [K]**

Grandezza illuminotecnica che esprime la cromaticità della luce bianca emessa da una sorgente di luce.

– **Indice di resa cromatica [R_a o CRI]**

Grandezza illuminotecnica che esprime il grado di fedeltà nella restituzione dei colori in rapporto ad una sorgente di riferimento di analoga temperatura di colore.

– **Durata media [h]**

Indice che valuta l'aspetto economico della lampada: esprime il periodo di funzionamento dopo il quale, in un lotto di sorgenti in condizioni di prova, il 50% di esse cessa di funzionare.

Un altro termine che guida la scelta tecnologica in un impianto di illuminazione pubblica è la capacità della lampada di “dimmerare”, cioè di regolare il flusso luminoso.

Le sorgenti più idonee a trovare applicazione nell'ambito dell'illuminazione pubblica sono le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione, i LED e le lampade a ioduri metallici.

Inizialmente le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione si sono affermate come sostitute delle lampade ai vapori di mercurio, caratterizzate da prestazioni inferiori e dall'ulteriore difetto di rientrare, una volta dismesse, nella categoria dei rifiuti speciali.

Le lampade ai vapori di sodio sono caratterizzate dall'ottima efficienza luminosa, dalla lunga durata e da un buon risparmio energetico; anche i costi di esercizio e manutenzione sono bassi per l'amministrazione pubblica. Di contro, hanno una limitata capacità di dimmerare il flusso luminoso e un valore molto basso per l'indice di resa cromatica, il che le rende idonee ad essere utilizzate per l'illuminazione stradale, urbana, dei centri storici, di parcheggi, dove serve illuminare risparmiando energia, ma in cui la qualità della resa cromatica non è l'obiettivo primario.

Nell'ultimo decennio è stata la tecnologia a LED a fare da padrona in campo illuminotecnico. Inizialmente, intorno agli anni '60, i LED erano realizzati di colore rosso e, quindi, usati soltanto come spie di avvertimento; in seguito, sono stati sviluppati gli altri colori fino ad arrivare al blu (1995) e, quindi, alla luce bianca, ottenuta per sintesi additiva dei tre colori primari. Da allora, il mercato dei LED è in continua evoluzione e affermazione.

I benefici dei LED risiedono sia negli aspetti economici che energetici: sono caratterizzati dall'ottima efficienza luminosa, dalla possibilità di regolare il flusso luminoso, da un buon indice di resa cromatica ed hanno una durata di vita praticamente imbattibile se comparata con le altre tecnologie esistenti; sono caratterizzati dall'accensione immediata e dall'assenza di sostanze tossiche, che ne rende semplice lo smaltimento, e le ridotte dimensioni del singolo LED costituiscono un grande vantaggio per le dimensioni degli apparecchi. Di contro ci sono i costi, ancora un po' alti rispetto alle tecnologie più consolidate, e il problema dell'abbagliamento; la luce LED, infatti, ha un ottimo potere di illuminazione ma se la lampada non è installata correttamente può causare fenomeni di abbagliamento molesto.

Le lampade a ioduri metallici hanno elevata efficienza luminosa, una buona durata media, resa del colore non sempre ottimale, regolabilità limitata del flusso luminoso e, soprattutto, hanno tempi di accensione e riaccensione lunghi. Per quest'ultimo motivo, trovano applicazione in grandi ambienti in cui non siano previsti cicli di accensione e spegnimento frequenti e in cui si vogliono contenere i consumi energetici, come l'illuminazione stradale, di parcheggi, di rotonde, dei palazzetti sportivi.

Infine, le lampade a induzione elettromagnetica si stanno proponendo in un mercato ormai dominato dai LED, poiché anch'esse caratterizzate da parametri tecnici ed economici molto competitivi e paragonabili alla tecnologia a LED. L'unico contro sono le dimensioni della lampada che limita la gamma degli apparecchi attualmente disponibili.

Nella Tabella 1 sono riassunti i valori indicativi per i parametri illuminotecnici ed economici, relativi alla tipologia di lampada considerata.

Tipo di lampada	Efficienza luminosa	R_a	Temperatura di colore	Durata media	Stima costo apparecchio, lampada, e accessori, con IVA
	[lm/W]		[K]	[h]	[€]
Sodio AP	70-140	20-65	1.900-2.500	12.000-45.000	100
Mercurio	40-75	60-90	3.000-6.500	6.000-10.000	60
Ioduri metallici	80-90	65-95	3.000-6.000	4.000-20.000	250
LED	90-150	75-98	2.700-6.500	20.000-100.000	300
Induzione	60-85	75-80	2.700-6.500	50.000-100.000	1000

Tabella 1 – Variabili illuminotecniche ed economiche delle lampade più usate per la pubblica illuminazione

I costi riportati in Tabella 1 sono indicativi dell'investimento iniziale per la lampada, l'apparecchio e gli accessori correlati (il prezzo di installazione in opera è sostanzialmente invariante). Per calcolare la spesa totale relativa all'impianto di illuminazione pubblica, ai costi di investimento dovranno essere aggiunti i costi di gestione, per la manutenzione e la spesa energetica, che dipendono dalla tipologia di apparecchio adottata e dal regime di funzionamento reale. Nei costi di manutenzione, in aggiunta, influisce il peso dell'apparato, l'alimentatore e gli eventuali sistemi di dimmeraggio.

Inoltre, benché come si evince dalla tabella il range di temperatura di colore caratteristico dei LED sia molto ampio, nel proseguo vedremo che le leggi regionali limitano la temperatura dei LED a valori inferiori ai 3500 K. Ciò è legato alla necessità di contenere il rischio di abbagliamento e di mantenere uniformi i livelli di tonalità della luce emessa dagli impianti di illuminazione e, quindi, di rimanere vicino ai valori di temperatura di colore tipici dell'ambiente circostante (oltre che rispetto ad abitudine storica di colore delle sorgenti al Sodio, tra le più diffuse nell'illuminazione pubblica). Tuttavia, per i LED scendere a valori così bassi di temperatura di colore comporta una dispersione di energia, che non viene quindi trasformata in luce. Dal grafico in Figura 8, infatti, riferito a dati caratteristici di un riflettore LED (fonte: DomoEnergyStorage), è possibile notare come al diminuire della temperatura di colore correlata diminuisca l'efficienza luminosa della sorgente LED, a causa delle dispersioni per cui l'energia in ingresso non viene trasformata in luce.

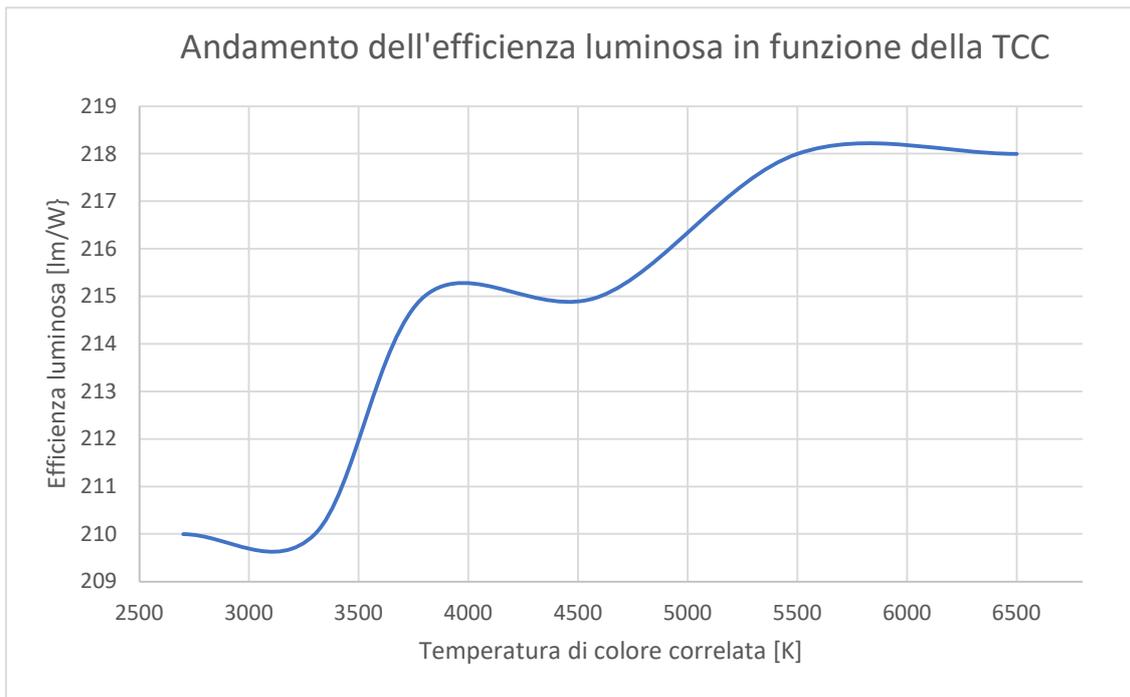


Figura 8 – Grafico che correla l'andamento dell'efficienza luminosa di una sorgente LED al variare della temperatura di colore correlata (Fonte dati: DomoEnergyStore)

Studi più recenti hanno evidenziato che le limitazioni sulla temperatura di colore sarebbero correlate anche a contenere le ripercussioni negative della luce blu, caratteristica dei LED, sulla salute umana. Infatti, l'inquinamento della luce artificiale, in particolare dei raggi UV contenuti nella luce emessa dai LED alle alte temperature (oltre i 6.000K), per esposizioni prolungate potrebbe essere potenzialmente dannoso per la salute umana in quanto:

- È soppressore di melatonina e, quindi, co-responsabile della nostra insonnia e cattiva qualità del sonno, e delle patologie che ne derivano come effetto cascata.
- È responsabile di importanti esposizioni alle radiazioni dei campi elettromagnetici che possono portare alla degenerazione maculare legata all'età (AMD), patologia che colpisce la zona centrale della retina (la macula, appunto) ad andamento progressivo, che può portare alla perdita completa e irreversibile della visione centrale.
- Può aggravare problemi radicati nella disfunzione mitocondriale, che vanno da malattie metaboliche fino al cancro. Nei mitocondri, infatti, è presente la molecola citocromo c ossidasi, responsabile dell'assorbimento della luce per la produzione dell'adenosina trifosfato (ATP), il carburante necessario alle cellule per svolgere tutte le molteplici funzioni del nostro metabolismo.

Nelle lunghezze d'onda comprese tra i 570 nm e gli 850 nm la luce riesce ad aumentare considerevolmente la produzione di ATP, ma la luce emessa dai LED non copre queste

lunghezze d'onda e, quindi, ostacola in qualche modo il funzionamento mitocondriale, portando appunto a patologie più o meno gravi.

Appare quindi evidente che l'entusiasmo nei confronti delle lampade a LED, per i risparmi energetici ed economici che il loro utilizzo comporta, deve essere soppesato considerando anche le implicazioni sulla salute umana, inerenti la tonalità di luce emessa; ovviamente è opportuno sottolineare che ad influire sugli effetti negativi per la salute umana delle lampade a LED sono i tempi di esposizione, per cui l'illuminazione pubblica avrà effetti del tutto trascurabili rispetto, ad esempio, alle ore trascorse in ambienti di lavoro illuminati sempre a LED (uffici).

1.3. Apparecchi per l'illuminazione pubblica

Nella terminologia illuminotecnica, il corpo illuminante è costituito dalla sorgente luminosa e dall'apparecchio, comprendente il guscio di protezione, il supporto della lampada e il sistema ottico, i sistemi di alimentazione e regolazione.

Gli apparecchi sono di fatto i contenitori della sorgente luminosa con molteplici funzioni:

- Proteggono e alimentano la lampada;
- Ridistribuiscono il flusso luminoso emesso dalla sorgente, indirizzandolo nello spazio in cui è richiesto, nell'ottica di contenere l'inquinamento luminoso e massimizzare l'efficienza energetica;
- Schermano la sorgente, assicurando un comfort visivo al fine di scongiurare fenomeni di abbagliamento (frequenti soprattutto in caso di sorgenti puntiformi dall'elevata luminanza);
- Contribuiscono alla caratterizzazione dello spazio urbano.

Lo strumento fondamentale per il progettista per la valutazione delle prestazioni illuminotecniche degli apparecchi è il solido fotometrico, attraverso cui è possibile definire qualitativamente e quantitativamente la luce emessa dall'apparecchio. Il solido fotometrico, infatti, riporta le direzioni in cui viene emessa la luce con le relative intensità (espresse in candele³).

Sezionando il solido fotometrico secondo piani specifici, è possibile ottenere l'indicatrice fotometrica, che è una rappresentazione 2D dell'emissione luminosa della sorgente in determinate direzioni dello spazio; ovviamente è possibile ottenere più indicatrici fotometriche a seconda dei piani con cui viene sezionato il solido.

³ La candela, simbolo cd, è una delle sette unità di misura di base appartenenti al Sistema Internazionale delle unità di misura. Rappresenta l'unità di misura dell'intensità luminosa in uno steradiano (Sr), in simboli 1 cd= 1 Lumen/Sr.

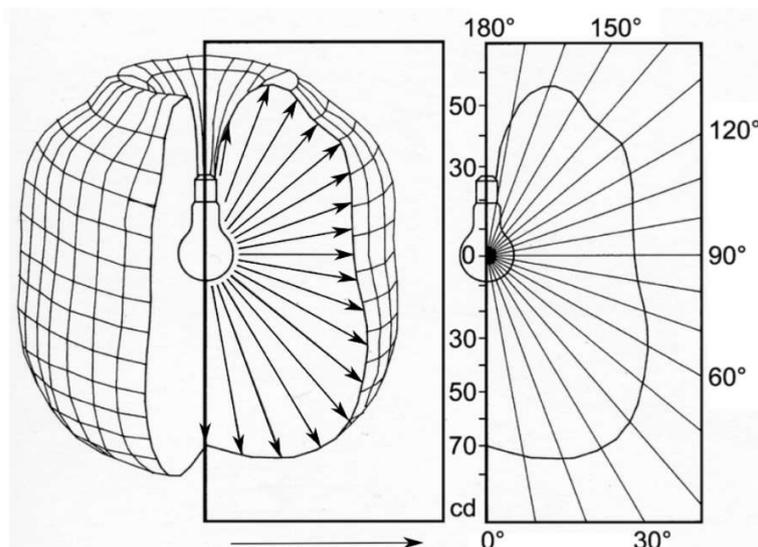


Figura 9 – Esempio di solido fotometrico (a sx) e indicatrice fotometrica (a dx) (Fonte: FORCOLINI lighting)

Il rendimento, invece, valuta la resa dell'apparecchio perché considera quanto flusso luminoso è emesso dall'apparecchio in relazione a quello della sorgente. Sempre più spesso oggi l'apparecchio viene immesso sul mercato insieme alla lampada e/ o all'alimentatore: in quel caso, dovrà essere specificato se il rendimento riportato nella scheda tecnica è riferito al solo apparecchio o al sistema complessivo comprendente la lampada e/o l'alimentatore.

Gli altri parametri che caratterizzano gli aspetti funzionali degli apparecchi sono:

- Il grado di protezione IP che l'apparecchio fornisce alla sorgente nei confronti di polvere e acqua;
- Il grado di resistenza all'urto meccanico;
- La classe di protezione elettrica, cioè la protezione che l'apparecchio fornisce in rapporto al contatto accidentale con parti normalmente in tensione;
- La protezione termica, che definisce l'idoneità dell'apparecchio ad essere installato su superfici diversamente infiammabili.

Gli apparecchi che attualmente si stanno affermando in maggior misura sono i moduli LED dotati già di ottica e sistema di alimentazione; per questo tipo di apparecchi dovrà quindi essere specificato se il rendimento riportato nella scheda tecnica è riferito a tutto il sistema comprendente il modulo e l'alimentatore, o a una parte di esso.

Gli altri parametri prestazionali, riportati nelle schede tecniche, che caratterizzano i moduli LED sono:

- La temperatura massima dell'ambiente in cui l'apparecchio è installato, in °C;

- La potenza assorbita dall'apparecchio, fornita dalla rete elettrica di alimentazione, in W;
- Il flusso luminoso dell'apparecchio, corrispondente al flusso reale emesso al netto delle dispersioni, in lumen; il flusso luminoso è confuso con la potenza reale dell'apparecchio e, infatti, esistono tabelle di conversione lumen-watt per sostenere l'equivalenza delle due grandezze;
- L'efficacia luminosa dell'apparecchio, in lm/W;
- La temperatura di colore correlata, in K;
- L'indice di resa cromatica;
- La vita media utile L_x (in h), periodo durante cui il 50% di un numero di moduli LED ha fallito di fornire almeno la percentuale x del flusso luminoso iniziale;
- Il tasso di guasto repentino (%) associato alla vita media utile, che è la % di moduli LED che cessano di funzionare alla vita media utile.

L'utilizzo di apparecchi a LED, in sostituzione delle tecnologie più datate, consente di ridurre i consumi energetici e i costi di manutenzione, senza il bisogno di modificare gli impianti esistenti.

Nella sostituzione di lampade a vapori di sodio (soluzione usuale più recente prima del LED), gli apparecchi a LED consentono di ridurre i consumi fino al 30-50%, di migliorare la qualità della luce e la resa dei colori, senza dover modificare le configurazioni di interdistanze dell'impianto.

Per quanto riguarda le strutture di sostegno dei corpi illuminanti, infine, queste si compongono di pali provvisti di braccio o no (soluzione testa palo), di bracci a muro, di cavi di sospensione e, più raramente, di strutture a fari.

La soluzione più funzionale per i lampioni è quella a schermo totale (full cut-off), costituita da un apparecchio montato orizzontalmente con la lampada incassata, in cui il flusso luminoso è ben indirizzato verso le superficie da illuminare.

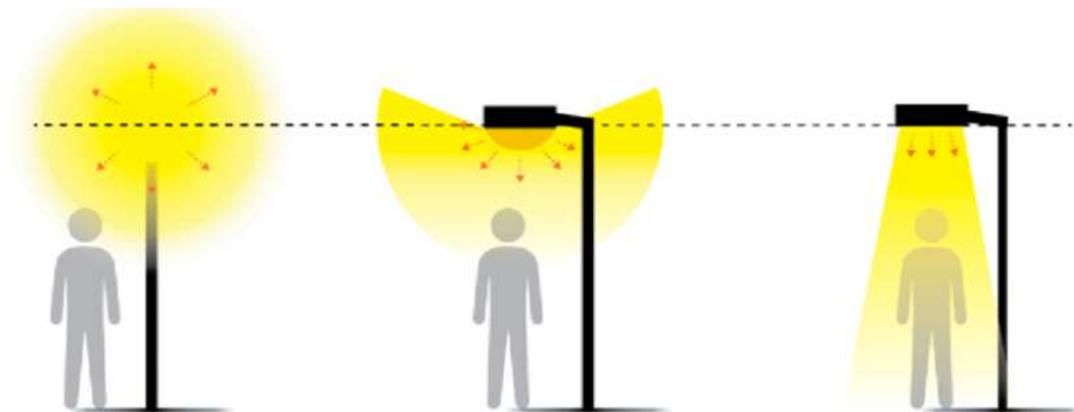


Figura 10 – Confronto tra concetto di non cut-off (a sx), di semi cut-off (al centro), di full cut-off (a dx)
(Fonte: ResearchGate)

1.4. Sistemi per la gestione dell'illuminazione pubblica

Di corredo alle tecnologie usate per generare la luce, ogni impianto di illuminazione pubblica è dotato di *sistemi di temporizzazione e di regolazione di intensità* del flusso luminoso emesso, che garantiscono la gestione dell'impianto e attraverso cui è possibile contenere i consumi energetici e le correlate spese per l'illuminazione pubblica, e limitare il fenomeno dell'inquinamento luminoso: la luce viene emessa in quantità e negli orari stabiliti secondo un profilo dei consumi stimati dell'utenza. Per incrementare i risparmi energetici, inoltre, si sta affermando il concetto di *illuminazione adattiva*, per l'amministrazione razionale, autonoma e soprattutto flessibile alle esigenze di illuminazione reali, "a consuntivo".

Nell'ambito dell'illuminazione intelligente (smart lighting), tutta la sensoristica associata al punto luce è monitorata attraverso i *sistemi di telecontrollo e telegestione*, che permettono il controllo continuo da remoto dell'impianto.

I *sistemi di temporizzazione* impostano l'accensione e lo spegnimento dell'impianto di illuminazione pubblica sugli orari di crepuscolo/alba civile, in cui il sole si trova ad un'altezza sotto l'orizzonte che varia a seconda della latitudine/longitudine del posto, della stagionalità, e della morfologia del territorio. In particolare, i sistemi di temporizzazione sono stati introdotti per necessità marittime, per garantire la visibilità alle navi che entrano nel porto, e, a livello del mare, il crepuscolo/alba civile corrisponde ad una posizione del sole di 6° sotto l'orizzonte e ad un'altitudine di 0 m, condizione che permette la visibilità dell'occhio umano in un raggio fino a circa 4 km.

I dispositivi di temporizzazione sono posizionati nei quadri elettrici di distribuzione dell'impianto di illuminazione. Le tecnologie più datate di sistemi di temporizzazione sono gli *orologi crepuscolari e astronomici*.

L'orologio crepuscolare è composto da una sonda che misura l'intensità luminosa e viene posizionata esternamente all'armadio del quadro elettrico, e da un regolatore di livello luminoso che pilota l'accensione e lo spegnimento dell'impianto. È molto economico ma è soggetto a malfunzionamenti, a causa della sporcizia che si deposita sulla sonda o dell'opacizzazione del rivestimento della stessa, e risente molto degli effetti di ombreggiamento locali, per cui deve essere installato in posizioni prive di disturbi del tipo.

Oggi, vengono spesso installati e/o forniti insieme al corpo illuminante e quindi posizionati sul palo stesso di sostegno. Rimane la necessità di una manutenzione frequente, che risulta anche costosa, per garantirne l'efficienza, perché lo sporco che vi si deposita così come gli agenti atmosferici ne compromettono il funzionamento.

L'orologio astronomico, invece, comanda l'accensione e lo spegnimento in funzione delle coordinate di latitudine e di longitudine in cui è installato il dispositivo. Ovviamente esistono diverse tipologie

di orologi astronomici, dalle più sofisticate a quelle più economiche e meno efficienti: queste ultime, non saranno dotate di processori e software di bordo da permettere loro di tenere in conto della morfologia del territorio, che varia la sua influenza durante l'arco dell'anno. In questo caso, la vera correzione avviene unicamente attraverso gli off-set da impostare e che tengono conto sia della morfologia del territorio che di possibili effetti climatici locali. Generalmente, quindi, l'orologio astronomico viene tarato, di default, con un anticipo di 30 minuti nell'orario di accensione e un ritardo di pari entità nello spegnimento. Garantisce circa 4.100 ore/anno di funzionamento dell'impianto di illuminazione pubblica e non è dotato di datalogger, sistema che permette il monitoraggio dei consumi reali. Normalmente gli orologi astronomici sono programmabili manualmente o elettronicamente, tramite PC o App, e tipicamente vengono programmati in fabbrica; una volta che l'impianto è acceso, la potenza emanata dalla sorgente resta costante durante tutto il periodo di funzionamento.

Inoltre, la taratura dell'orologio con un anticipo e un ritardo di default rispettivamente sull'orario di accensione e di spegnimento, porta a sprechi nell'arco della giornata soleggiata che si ripercuotono in modo considerevole sui consumi annuali; infatti, l'accensione anticipata e/o lo spegnimento ritardato è richiesto realmente soltanto il 40% dei giorni all'anno, ciò significa che il restante 60% è luce emessa ma non necessaria, quindi sprecata.

Insieme al problema della taratura, gli orologi astronomici sono soggetti alla deriva della tecnologia, di entità pari a 3/4 minuti all'anno. I minuti di luce sprecata a causa della inesatta taratura si sommano a quelli di deriva e, col tempo, pesano sui consumi di energia elettrica, per cui il sistema dovrebbe essere riconfigurato periodicamente. Di fatto, la riconfigurazione stagionale (4 volte all'anno) consentirebbe di eliminare la deriva tecnologica degli orologi astronomici e di tenere in conto dell'influenza del territorio rispetto al periodo dell'anno.

L'innovazione per la temporizzazione degli impianti di illuminazione pubblica sta nella tecnologia crepuscolare web: il principio di funzionamento è analogo a quello dell'orologio astronomico/crepuscolare, con la programmazione degli orari di on/off, ma grazie al collegamento via rete internet al server delle previsioni meteo, mezz'ora prima dell'accensione e dello spegnimento dell'impianto, è possibile conoscere i fenomeni locali che stanno avvenendo in tempo reale, e scegliere il momento ottimale di intervento.

Fisicamente, si tratta di centraline terminali low-cost, che permettono la completa gestione via web delle linee di illuminazione pubblica in modo indipendente e personalizzato, per effettuare, eventualmente, anche manutenzione sulle linee. La tecnologia crepuscolare web assicura un funzionamento dell'impianto di 3.950 ore/anno, può essere dotata di datalogger, in modo da rilevare i consumi reali in bolletta, e può estendere il monitoraggio ad altri parametri sensibili, quali ad esempio la qualità dell'aria.

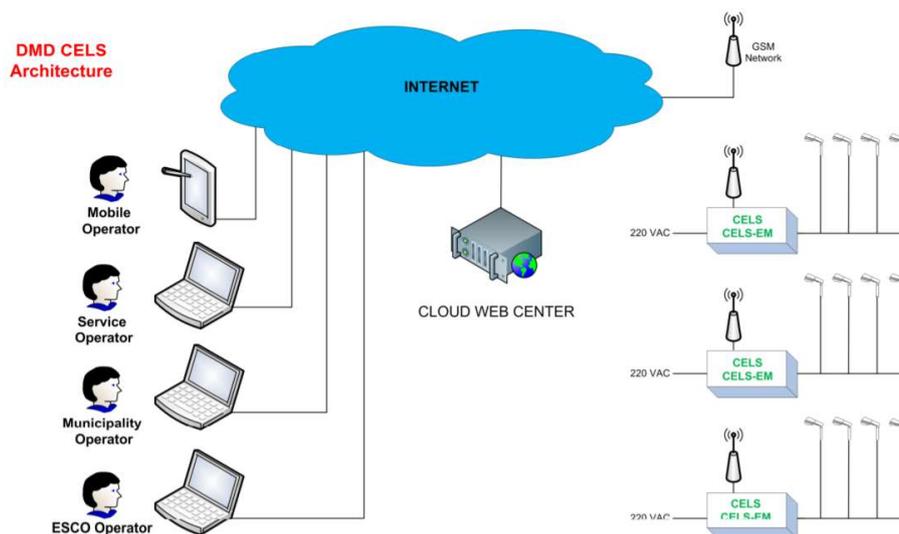


Figura 11 – Architettura del servizio CELS, tecnologia crepuscolare web (Fonte: www.canaleenergia.com)

Insieme ai sistemi di temporizzazione, ogni singolo punto luce può essere dotato anche di sistemi ON/OFF di attenuazione notturna, al fine di diminuire le prestazioni dell'impianto di illuminazione pubblica in periodi notturni e in zone scarsamente trafficate (ad esempio, nelle aree industriali), in cui non è necessario mantenere il flusso luminoso a piena potenza. Il sistema di attenuazione, eventualmente, può prevedere anche lo spegnimento totale della linea per certi periodi della notte.

In genere, il sistema di attenuazione opera per circa 2.000 ore/anno, dalle 23 alle 6, riducendo i consumi del 15-20% in tali intervalli e un abbassamento dell'illuminamento del 50%: sono sistemi che, a fronte di un discreto risparmio energetico, creano un'illuminazione discontinua dello spazio e un'uniformità luminosa non ottimale.

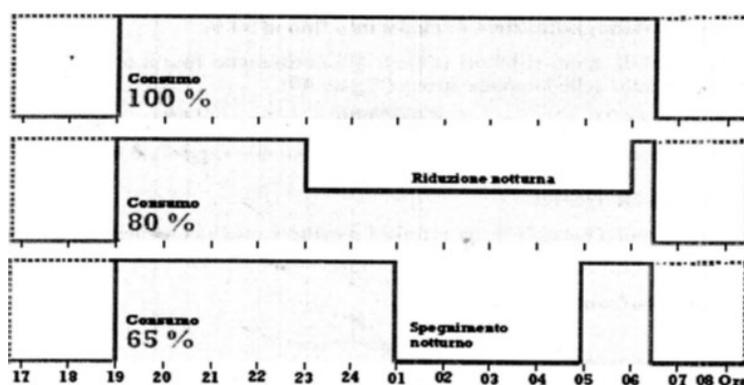


Figura 12 – Risparmio energetico conseguibile con i sistemi di attenuazione notturna

I sistemi per la regolazione del flusso luminoso sono strumenti elettronici che riducono la potenza assorbita dalla lampada agendo sulla tensione di alimentazione. I regolatori di flusso possono essere centralizzati o a personalizzazione di funzionamento e, quindi, comandare l'intero impianto o essere montati a bordo del singolo punto luce.

La loro installazione consente anche l'attenuazione notturna, oltre che i seguenti vantaggi aggiuntivi:

- Stabilizzazione della tensione ai valori programmati durante il funzionamento a regime, che evita alle lampade lo stress dovuto a sovratensioni. Le sorgenti luminose, infatti, devono essere alimentate ad una tensione che non superi al massimo il 5% del valore nominale (pari a 230 V): si pensi che un 10% di sovratensione provoca una riduzione fino al 50% della vita media delle lampade e un sovra consumo del 20%; la funzione di stabilizzazione serve a rendere la lampada indipendente dagli sbalzi di tensione che si hanno dalla rete, imputabili principalmente al minor prelievo da parte delle grandi utenze nelle ore notturne;
- Ulteriore risparmio di energia elettrica consumata, pari a circa il 5-7%, che è un effetto collaterale della stabilizzazione descritta nel punto precedente, e che dipende dal taglio della tensione eccedente il valore nominale;
- Risparmio nei costi di manutenzione e gestione dell'impianto, conseguente all'allungamento della vita media della lampada, dovuto, di nuovo, alla stabilizzazione della tensione.

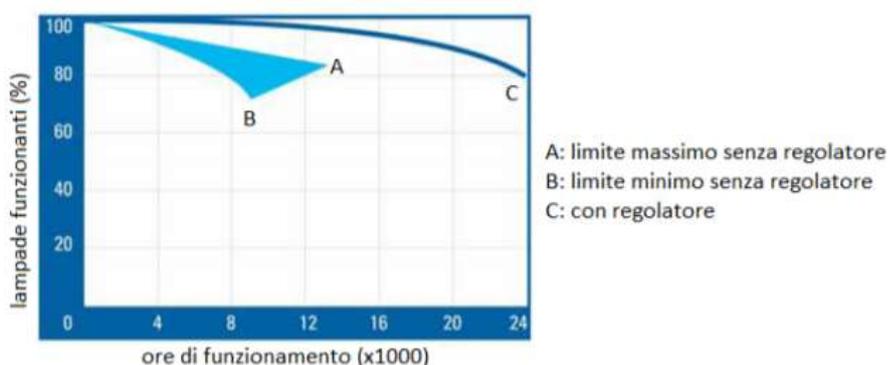


Figura 13 – Percentuale di lampade funzionanti con e senza regolatore di flusso luminoso (Fonte: ENEA, “Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street”, 2011)

- Uniformazione e ottimizzazione del livello di illuminamento;
- Riduzione dell'inquinamento luminoso;
- Facilità di penetrazione nel mercato, essendo i regolatori di flusso indipendenti dalle lampade alimentate in quanto agiscono sulla tensione di alimentazione.

Ovviamente, la regolazione del flusso deve sempre soddisfare i valori previsti dalle normative vigenti che definiscono le prestazioni illuminotecniche minime, necessarie a garantire una corretta illuminazione stradale: a tal proposito, nel Capitolo 2 sarà spiegato come la norma *UNI 11248* prevede la riduzione del flusso luminoso in corrispondenza di un minor flusso di veicoli, nell'ottica di garantire un risparmio energetico.

In particolare, è nelle ore notturne che il traffico si riduce notevolmente e che il regolatore di flusso permette di ottimizzare il livello di illuminamento, senza ridurlo, e di risparmiare energia: si stima una diminuzione dei consumi del 25-30%, cui va sommato il risparmio conseguente gli effetti di attenuazione.

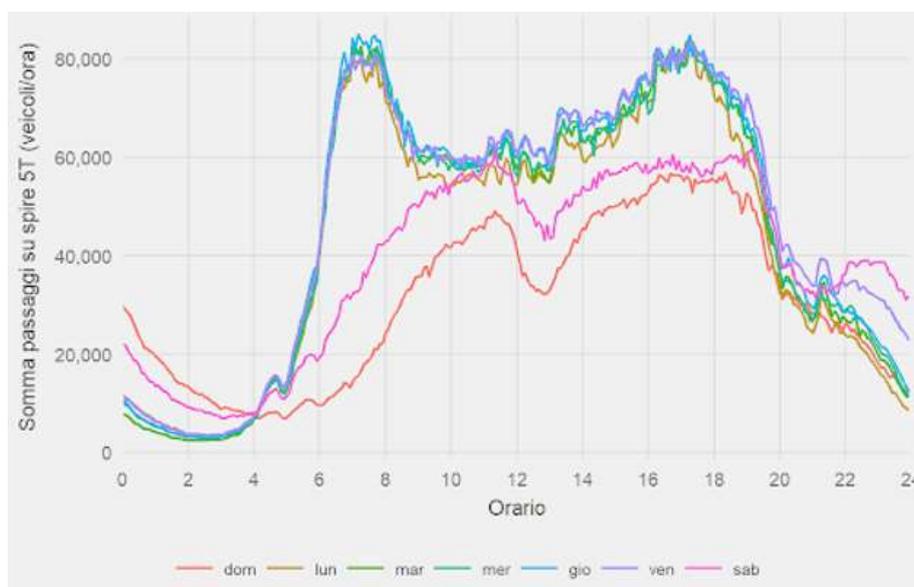


Figura 14 – Andamento giornaliero del traffico nella città di Torino, suddiviso per giorni della settimana (Fonte: RaccontaDati, “Un’analisi del traffico a Torino”, 2018)

Attualmente, la massima espressione tecnologica per la gestione dell’illuminazione stradale è l’illuminazione adattiva, che, essendo basata sul concetto di “energy on demand”, supera lo scoglio di una regolazione del flusso luminoso assolutamente passiva, vincolata all’impostazione di un profilo di consumi prestabilito. Il concetto di illuminazione adattiva è stato introdotto nel 2015 dalla norma europea *EN 13201-1* e recepita in Italia dalla *UNI 11248:2016*.

Nell’illuminazione adattiva la sensoristica installata sui lampioni è in grado di rilevare le condizioni di traffico veicolare e pedonale, meteorologiche e di luminanza del manto stradale, in modo da regolare l’illuminazione in tempo reale, e non più seguendo profili di funzionamento pre-programmati, frutto di valutazioni statistiche sicuramente meno precise.

Le sorgenti di luce che meglio si prestano ad essere accoppiate ad una gestione adattiva dell’illuminazione sono, ovviamente, i LED in quanto hanno la totale capacità di dimmerare il flusso luminoso.

L’illuminazione adattiva persegue due obiettivi principali:

- il massimo risparmio energetico conseguibile, grazie al fatto che l’intensità di illuminazione non è costante ma si adatta alle reali esigenze.

- l'aumento della sicurezza stradale, modificando la luminosità in maniera automatica in base alle condizioni meteorologiche, di traffico veicolare e di luminanza del manto stradale; in particolare, si distinguono i concetti di regolazione discreta TAI (Traffic Adaptive Installation), in cui si tiene conto delle sole condizioni di traffico veicolare, e di regolazione continua FAI (Full Adaptive Installation), in cui invece si considerano tutte e tre le variabili influenti l'illuminazione adattiva e quindi, il traffico, le condizioni meteorologiche e la luminanza del manto stradale.

Di contro, il passaggio all'illuminazione adattiva richiede investimenti considerevoli, per cui è opportuno valutare, attraverso un'analisi costi-benefici, la fattibilità degli interventi.

La gestione dei sensori di un impianto di illuminazione pubblica intelligente è affidata ai sistemi di telecontrollo e telegestione. I sistemi di telecontrollo permettono altresì di monitorare gli impianti a distanza e in tempo reale, verificando il corretto funzionamento di tutte le parti, di migliorare le condizioni di manutenzione, grazie alle segnalazioni tempestive di malfunzionamenti, e di controllare i consumi energetici effettivi. La comunicazione è unidirezionale poiché le informazioni partono dalla periferia per arrivare al centro di controllo del sistema di telecontrollo.

L'installazione nei quadri di alimentazione standard di moduli aggiuntivi per i sistemi di telegestione consente di ricevere i principali parametri elettrici dai sensori e di trasmetterli al centro di controllo. Nei sistemi di telegestione, la comunicazione è bidirezionale: il centro di controllo, infatti, può interagire con la periferia da remoto, per modificare le programmazioni, comandare l'accensione/spengimento dell'impianto, gestire la regolazione del punto luce.

Il sistema di telegestione può essere "ad isola", in cui i parametri elettrici sono monitorati all'altezza del quadro elettrico, oppure "punto-punto", considerando il singolo punto luce.

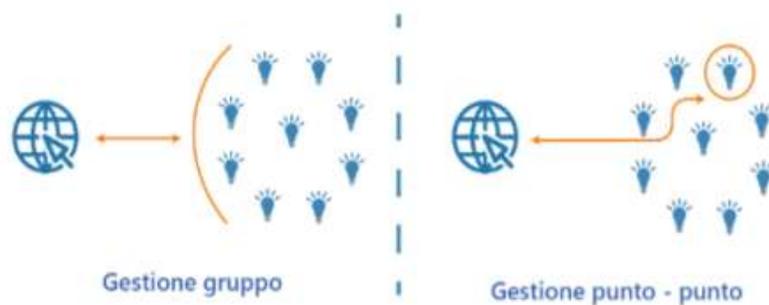


Figura 15 – Telegestione a confronto: sistema ad isola (sx) e sistema punto-punto (dx) (Fonte: www.smartlightingproject.it)

Il centro di controllo è localizzato negli uffici della Pubblica Amministrazione locale/ del manutentore ed è costituito da un PC o da un server, nel caso in cui la telegestione comprenda tante unità periferiche. Il PC è dotato di uno specifico software applicativo e di supervisione che permette di comunicare con le stazioni remote, di archiviare ed elaborare i dati ricevuti, in modo da contabilizzare i consumi elettrici dei singoli quadri.

La trasmissione dei dati avviene principalmente attraverso la tecnologia a onde convogliate PLC (Power Line Communication) che consiste nell'aggiungere al segnale elettrico in bassa frequenza (50/60 Hz) un segnale nuovo, a più alta frequenza, modulato dall'informazione da trasmettere; in questo modo è possibile trasmettere dati in forma digitale utilizzando la linea elettrica già presente come supporto di comunicazione, risparmiando sui costi per l'installazione di cavi aggiuntivi.

Il risparmio sui cavi aggiuntivi, tuttavia, è recuperato dalla richiesta di manutenzioni successive sulla rete molto stringenti e dalla scarsa adattabilità delle onde convogliate, per cui l'impianto di illuminazione, ed ogni singolo elemento che lo compone, deve essere progettato per supportare la trasmissione a mezzo di PLC, altrimenti rischia di non esserci il passaggio dell'informazione e, quindi, di non funzionare.

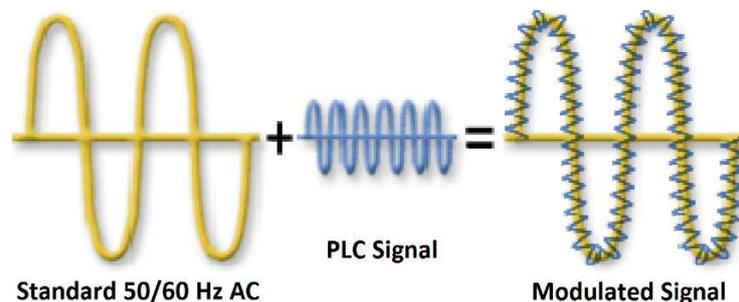


Figura 16 – Trasmissione dei dati attraverso la tecnologia PLC (Fonte: ENEA, “Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street”, 2011)

Attraverso la tecnologia PLC è possibile agganciare anche un'ampia gamma di dispositivi che sfruttano la struttura del palo della luce come supporto fisico, ma che trasmettono informazioni di utilità sociale, estranee al mondo dell'illuminazione pubblica: si tratta del sistema integrato a led con palo intelligente. Visto il grande investimento richiesto, l'incognita al riguardo è capire come razionalizzare le spese tra illuminazione pubblica e costi sociali secondo criteri di analisi costi-benefici.

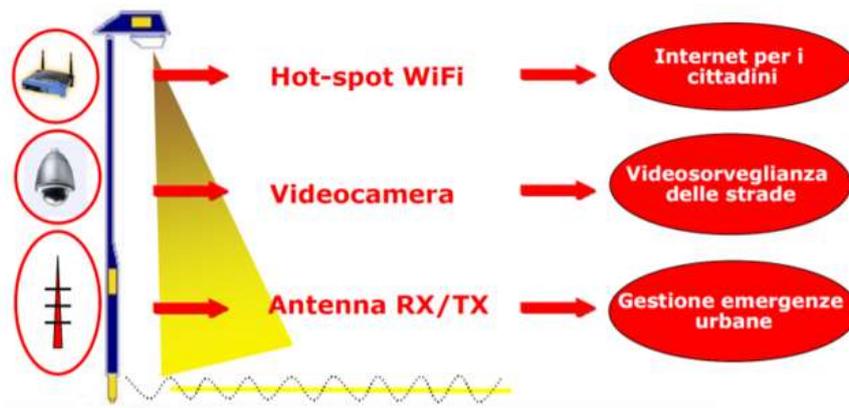


Figura 17 – Sistema integrato a LED con palo intelligente (Fonte: ENEA, “Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street”, 2011)

CAPITOLO 2 – Legislazione normativa tecnica di riferimento

La normativa di riferimento per la progettazione degli impianti di illuminazione pubblica si divide, con il seguente ordine di priorità, tra:

1. Leggi e decreti legislativi che mirano al miglioramento dell'efficienza energetica, in linea con le direttive europee;
2. leggi per la compatibilità ambientale e il Codice della Strada;
3. normative tecniche che guidano la progettazione degli impianti, con l'obiettivo di garantire la sicurezza dei cittadini e, contemporaneamente, limitare l'inquinamento luminoso;

Per contenere l'inquinamento luminoso e i consumi energetici, in mancanza di leggi nazionali, ogni Regione ha redatto leggi regionali più o meno ambiziose nei confronti dei target ambientali, in relazione alle specificità del territorio.

Altresì l'efficientamento energetico è ormai diventato una priorità ed è opportuno che anche nell'ambito della pubblica illuminazione si perseguano obiettivi volti al risparmio energetico ed alla riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera. La direttiva europea che impone gli obiettivi per il miglioramento dell'efficienza energetica è la direttiva UE 2018/2002, recepita in Italia dal D. Lgs. n. 73 del 14/07/2020; le azioni promosse dal decreto e volte all'efficientamento energetico vengono notificate alla Commissione europea tramite il PNIEC (Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima).

I Criteri Ambientali Minimi (CAM), infine, si inseriscono nel quadro normativo europeo per la sicurezza e il risparmio energetico: sono i requisiti ambientali minimi definiti per l'acquisto di prodotti e servizi da parte delle Pubbliche Amministrazioni, tra cui due specifici CAM sono dedicati alla illuminazione pubblica.

Poiché l'oggetto di questo studio è l'analisi dell'efficientamento energetico di un impianto di pubblica illuminazione comunale, è opportuno richiamare i riferimenti normativi tecnici che hanno guidato tale processo di miglioramento nel comune di Buttigliera Alta.

Le normative tecniche di riferimento per la progettazione degli impianti di pubblica illuminazione sono la *UNI 11248*, la *UNI EN 13201 – Parte 2,3,4,5* e la *UNI 10819*. Esse descrivono come progettare un impianto considerando le esigenze visive degli utenti della strada e rispettando, al contempo, l'ambiente; essendo norme UNI non sono obbligatorie ma occorre comunque rispettare normative equivalenti, inoltre nei CAM sono specificatamente richiamate e quindi indirettamente diventano vincolanti.

2.1. UNI 11248:2016 – “Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche”

Definisce le prestazioni illuminotecniche richieste agli impianti di illuminazione fissi, con l’obiettivo di garantire la sicurezza degli utenti della strada, buone condizioni di visibilità, il buon smaltimento del traffico e la sicurezza pubblica.

L’impianto di illuminazione stradale può essere destinato a parti di strada che richiedono condizioni di illuminazione diverse e, a tal proposito, la norma *UNI 11248* riconosce sei *zone di studio*, in cui è suddivisa la strada, differenziate in base alla tipologia di traffico e alle necessità di illuminazione richieste:

1. strade a traffico veicolare;
2. strade di classe F (con limite di velocità di 30 km/h);
3. piste ciclabili e zone i cui utenti principali sono i pedoni;
4. zone di conflitto, come strade in zone commerciali, rotonde, zone con presenza di code;
5. zone per dispositivi rallentatori;
6. attraversamenti pedonali.

È compito del progettista suddividere la strada nelle sue zone di studio e definirne l’estensione; per ognuna di esse, inoltre, il progettista deve definire la categoria illuminotecnica caratteristica, a partire dai seguenti parametri:

- la classe della strada nella zona di studio;
- la geometria della zona di studio;
- l’utilizzazione della zona di studio;
- le condizioni e la tipologia del traffico nella zona di studio;
- l’influenza dell’ambiente circostante.

La prima **categoria** illuminotecnica che deve scegliere il progettista è quella di **ingresso/riferimento**, che si trova tabulata in funzione unicamente della zona di studio e del tipo di strada considerato.

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limiti di velocità [km/h]	Categoria illuminotecnica di ingresso
A₁	Autostrade extraurbane	Da 130 a 150	M1
	Autostrade urbane	130	
A₂	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	Da 70 a 90	M2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	Da 70 a 90	M3
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
D	Strade extraurbane di scorrimento	70	M2
		50	
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	DA 70 A 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C3/P1
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	M3
30		C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare	30	

Tabella 2 – Classificazione delle strade per l'individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso nell'analisi dei rischi

Inoltre, la norma prevede che le condizioni di illuminazione richieste all'impianto possano mutare in funzione di alcuni parametri, detti di influenza, costanti o variabili nel tempo. A tal proposito, quindi, il progettista deve individuare, per ogni impianto di illuminazione pubblica, altre due categorie illuminotecniche, in aggiunta a quella di riferimento: la categoria illuminotecnica di progetto e quella/e di esercizio, definite a seguito di un'analisi dei rischi e seguendo la metodologia di tipo sottrattivo, prevista dalla norma.

La **categoria illuminotecnica di progetto** specifica i requisiti illuminotecnici da considerare durante il dimensionamento dell'impianto; questa dipende dai parametri di influenza che si mantengono costanti nel lungo periodo quali, tra i più comuni:

- la complessità del campo visivo;
- l'assenza o la bassa densità di zone di conflitto;
- la segnaletica cospicua nelle zone conflittuali;
- la segnaletica stradale attiva;
- l'assenza di pericolo di aggressione;

Il valore della riduzione introdotta da ogni parametro di influenza è compreso tra 0 e 2.

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto	1
Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1

Tabella 3 – Riduzioni introdotte dai parametri costanti più comuni per definire la categoria illuminotecnica di progetto

La somma della riduzione introdotta da ogni parametro di influenza, ridotta al più grande intero minore o uguale alla somma stessa, rappresenta la riduzione per ottenere la categoria illuminotecnica di progetto, nota quella di riferimento.

La/e categoria/e illuminotecnica/che di esercizio specifica (specificano) sia le condizioni istantanee di funzionamento dell'impianto, sia quelle previste dal progettista, in funzione dei parametri di influenza variabili, che sono:

- flusso orario di traffico <50%, rispetto alla portata di servizio;
- flusso orario di traffico <25%, rispetto alla portata di servizio;
- flusso orario di traffico <12,5%, rispetto alla portata di servizio (previsto solo per gli impianti con regolazione adattiva FAI);

- riduzione nella complessità della tipologia di traffico.

Il valore della riduzione introdotta da ogni parametro di influenza è compreso tra 0 e 2.

Per ottenere la categoria illuminotecnica di esercizio si opera in modo analogo a quanto descritto sopra per la categoria illuminotecnica di progetto, ma considerando le riduzioni apportate dai parametri variabili nel tempo.

In generale, la norma *UNI 11248* consente il decremento dalla categoria illuminotecnica di riferimento a quella di progetto fino a due classi, e dalla categoria di progetto a quella di esercizio di una classe, qualora il primo declassamento sia stato effettivamente di due, altrimenti la riduzione non potrà comunque essere superiore a due classi.

Dalla categoria illuminotecnica di riferimento a quella di esercizio è possibile registrare una riduzione massima fino a quattro classi soltanto negli impianti adattivi FAI (Full Adaptive Installation), in cui i sensori monitorano le condizioni di traffico, meteorologiche e di luminanza del manto stradale, attraverso un campionamento continuo.

Il valore di riduzione totale ottenuto come somma dei decrementi introdotti rispettivamente dai parametri di influenza costanti e variabili nel tempo, rappresenta il valore da aggiungere al numero che appare nella sigla della categoria illuminotecnica di ingresso, per ottenere la categoria illuminotecnica di esercizio.

Impianto	Riduzione per la cat. Ill. di progetto rispetto a quella di ingresso	Riduzione max adottata per la cat. Ill. di esercizio	Riduzione max della cat. di esercizio rispetto all'ingresso
Normale	0	0	0
		1	1
		2	2
	1	0	1
		1	2
		2	3
	2	0	2
		1	3
	Condizioni di traffico stabilmente minori rispetto alla portata max	1 (flusso di traffico stabilmente minore del 50%)	0
1			2
2			3

	2 (flusso di traffico stabilmente minore del 25%)	0	2
		1	3
Impianti adattivi FAI	0	0	0
		1	1
		2	2
		3 (flusso <12,5%)	3
	1	0	1
		1	2
		2	3
		3 (flusso <12,5%)	4
	2	0	2
		1	3
		2 (flusso <12,5%)	4

Tabella 4 – Riduzioni ottenibili dalla categoria illuminotecnica di ingresso a quella di progetto ed esercizio, condizionate dai parametri di influenza

In alternativa, è possibile adottare accorgimenti integrativi all'impianto di illuminazione per riequilibrare la classificazione, senza il bisogno di decrementare le categorie illuminotecniche.

Condizione	Rimedio
Prevalenza di precipitazioni meteoriche	Ridurre l'altezza e l'interdistanza tra gli apparecchi di illuminazione e l'inclinazione massima delle emissioni luminose rispetto alla verticale in modo da evitare il rischio di riflessioni verso l'occhio dei conducenti degli autoveicoli
Riconoscimento dei passanti	Verificare che l'illuminamento verticale all'altezza del viso sia sufficiente
Luminosità ambientale elevata (ambiente urbano)	Adottare segnaletica stradale attiva e/o a riflessione catadiottrica di classe adeguata a mantenere la condizioni di cospicuità
Intersezioni, svincoli, rotatorie (in particolare se con traffico intenso e/o di elevate velocità)	
Curve pericolose in strade con elevata velocità degli autoveicoli	
Elevata probabilità di mancanza di alimentazione	
Elevati tassi di malfunzionamento	
Presenza di rallentatori di velocità	

Attraversamenti pedonali in zone con flusso orario di traffico e/o velocità elevate	Illuminare gli attraversamenti pedonali con un impianto separato e segnalarli adeguatamente
Programma di manutenzione inadeguato	Ridurre il fattore di manutenzione inserito nel calcolo illuminotecnico

Tabella 5 – Esempi di provvedimenti integrativi all'impianto di illuminazione stradale

Definendo la categoria illuminotecnica di esercizio è possibile ridurre i consumi energetici senza mettere a repentaglio l'incolumità delle persone perché l'illuminamento fornito è quello realmente necessario, in quelle specifiche condizioni di traffico, nella fascia oraria considerata, e a seguito di un'attenta valutazione dei rischi condotta.

In aggiunta, la norma *UNI 11248* inserisce raccomandazioni per l'illuminazione riguardanti: l'abbagliamento debilitante, i valori di indice di resa cromatica minimi, gli apparecchi di illuminazione isolati, la gestione dell'impianto in condizioni meteorologiche buone e avverse, le categorie illuminotecniche comparabili tra zone contigue e adiacenti, e la guida visiva, funzione della disposizione delle sorgenti luminose e per cui è necessario evitare discontinuità.

L'aggiornamento più importante introdotto nella *UNI 11248:2016*, sta nell'Appendice D, in cui è presentato il concetto di illuminazione adattiva.

Nell'illuminazione adattiva la categoria illuminotecnica di esercizio non è definita a priori ma le condizioni di illuminazione sono scelte sulla base di un campionamento in continuo dei parametri variabili nel tempo. Gli impianti adattivi si differenziano in impianti TAI (Traffic Adaptive Installation) e FAI (Full Adaptive Installation):

- TAI (Traffic Adaptive Installation): impianti a regolazione in tempo reale, in cui la categoria illuminotecnica è scelta sulla base del campionamento continuo del solo flusso orario di traffico.

Il flusso orario di traffico è calcolato:

- Conteggiando il traffico di veicoli/perdoni/ciclisti, su un periodo di campionamento di 10 minuti;
- Moltiplicando per 6 il conteggio ottenuto, per ottenere appunto il flusso orario.

Per ogni conteggio è possibile applicare una sola variazione di categoria illuminotecnica: se la variazione è in riduzione, questa si attiva solo a seguito di due campionamenti consecutivi in riduzione; se la variazione è in aumento, essa si attiva a seguito del primo campionamento in incremento. Per evitare ripetute variazioni di categoria illuminotecnica, che potrebbero

creare fastidio agli utenti della strada, l'intervallo di tempo stabilito, entro il quale il flusso orario deve mantenersi coerente alla variazione di categoria illuminotecnica assegnata, è di 10 minuti.

- FAI (Full Adaptive Installation): impianto in cui la categoria di esercizio è scelta mediante un campionamento in continuo del flusso di traffico, delle condizioni meteorologiche, delle condizioni al contorno di luminanza o illuminamento del manto stradale.

In questo caso il traffico è conteggiato nel modo seguente:

- Conteggio per 1 minuto dei veicoli/pedoni/ciclisti;
- Per ottenere il flusso orario il conteggio del campione viene moltiplicato per 60;
- Si calcola la media aritmetica sui primi 10 campioni;
- Si calcola la media mobile ripetendo i passaggi precedenti per ogni minuto, scartando il primo campione e aggiungendo l'ultimo campione, così da determinare il flusso di traffico medio sempre su 10 campioni.

Il valore della media mobile consente di monitorare continuamente i valori di luminanza/illuminamento medio ottenuti per interpolazione lineare tra la categoria illuminotecnica di progetto e quella di esercizio, risultante dall'analisi dei rischi.

Come già anticipato, il controllo tramite regolazione FAI è l'unico metodo che permette un decremento massimo fino a quattro classi rispetto alla categoria illuminotecnica di riferimento. Se, invece, per 3 campioni consecutivi il flusso è maggiore del 20% della media mobile, il sistema deve portarsi al valore di luminanza/illuminamento medio ottenuto sempre per interpolazione tra la categoria di progetto illuminotecnico e l'ultima di esercizio individuata.

Le condizioni meteo e di luminanza sono valutate dal progettista stesso che, nella fase dell'analisi dei rischi, decide le strategie da adottare.

La regolazione FAI deve garantire in continuo che il valore di illuminamento campionato sia rispondente ai valori previsti da progetto; le variazioni che possono allontanare i valori campionati da quelli di progetto sono dovute essenzialmente a:

- Decadimento del flusso luminoso per l'invecchiamento delle sorgenti e/o per lo sporcamento delle ottiche;
- Variazioni delle caratteristiche di riflessione del manto stradale;
- Variazioni delle condizioni ambientali che si ripercuotono sul funzionamento dell'impianto.

2.2. UNI EN 13201:2016 – “Illuminazione stradale”

La norma europea *CEN 13201* è divisa in cinque capitoli, ed UNI ha adottato soltanto le parti da 2 a 5:

- la UNI EN 13201-2: Illuminazione stradale – Parte 2: *Requisiti prestazionali*;
- la UNI EN 13201-3: Illuminazione stradale – Parte 3: *Calcolo delle prestazioni*;
- la UNI EN 13201-4: Illuminazione stradale – Parte 4: *Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche*;
- la UNI EN 13201-5: Illuminazione stradale – Parte 5: *Indicatori delle prestazioni energetiche*.

Il primo capitolo della *CEN 13201* è un rapporto tecnico sulle linee guida per la selezione delle classi illuminotecniche alle quali ricondurre ogni zona di studio destinata al traffico motorizzato e no, e include quindi aspetti legati alla sicurezza del cittadino. Poiché è responsabilità dello Stato garantire le condizioni di sicurezza del cittadino, ogni Stato Membro ha dovuto elaborare una propria classificazione delle categorie illuminotecniche e per l'Italia il documento di riferimento è la norma *UNI 11248* sopradescritta.

Di seguito, vengono descritte le *Parti 2,3,4,5* della *CEN 13201:2016* come recepite in Italia.

La norma UNI EN 13201-2:2016 definisce, per mezzo di requisiti fotometrici, le tipologie di impianti da destinare all'illuminazione stradale, considerando le esigenze visive degli utenti e gli aspetti ambientali connessi.

In pratica, la norma si occupa di individuare i requisiti prestazionali, specificati per mezzo di categorie illuminotecniche, per le diverse zone di studio individuate dalle *UNI 11248*, ottenendo così i seguenti:

- Requisiti per il traffico motorizzato (categoria M), previsti per i conducenti di veicoli motorizzati su strade con velocità di percorrenza medio/alte.

I requisiti espressi dalla norma considerano la luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di asciutto e bagnato e i parametri da verificare sono espressi tramite valori minimi di luminanza media del manto stradale, e di uniformità generale e longitudinale; la norma considera anche l'abbagliamento debilitante, espresso da limiti massimi per il fattore di incremento di soglia, e la minima illuminazione necessaria delle zone contigue data dal rapporto dell'illuminamento ai bordi.

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto asciutto e bagnato				Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità
	Asciutto			Bagnato	Asciutto	Asciutto
	\bar{L} [minima mantenuta] [cd/m ²]	U_0 [minima]	U_1 [minima]	U_{ow} [minima]	f_{TI} [massima] [%]	R_{EI} [minima]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

Tabella 6 – Categorie illuminotecniche M

- Requisiti per le zone di conflitto (categoria C), previsti per i conducenti di veicoli motorizzati e altri utenti della strada in zone di conflitto come strade in aree commerciali, incroci stradali complessi, rotonde, strade con presenza di code.

I requisiti valutano l'illuminamento orizzontale del manto stradale della carreggiata, definendo valori minimi per i parametri di illuminamento medio mantenuto e uniformità generale di luminanza.

Categoria	Illuminamento orizzontale	
	\bar{E} [minimo mantenuto] [lx]	U_0 [minimo]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20	0,40
C3	15	0,40
C4	10	0,40
C5	7,50	0,40

Tabella 7 – Categorie illuminotecniche C basate sull'illuminamento del manto stradale

- Requisiti per i pedoni e i ciclisti (categoria P e HS), ovvero destinati a pedoni e ciclisti su marciapiedi, piste ciclabili, corsie di emergenza, e altre zone separate della strada o lungo la carreggiata di una via di traffico.

I requisiti per i pedoni (categoria P) valutano l'illuminamento orizzontale, assegnando valori minimi di illuminamento medio e minimo mantenuto; in aggiunta, se è reso necessario il riconoscimento facciale, la norma prevede valori minimi per l'illuminamento verticale, valutato in un dato punto, e l'illuminamento semicilindrico, valutato su un piano al di sopra della strada.

Categoria	Illuminamento orizzontale		Requisito aggiuntivo per il riconoscimento facciale	
	\bar{E} [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	-	-

Tabella 8 – Categorie illuminotecniche P

Per i ciclisti (categoria HS), la norma valuta l'illuminamento emisferico attraverso valori minimi di illuminamento emisferico medio ed uniformità generale di illuminamento del manto stradale.

Categoria	Illuminamento emisferico	
	\bar{E}_{hs} [minimo mantenuto] [lx]	U_0 [minimo]
HS1	5,00	0,15
HS2	2,50	0,15
HS3	1,00	0,15
HS4	Prestazione non determinata	Prestazione non determinata

Tabella 9 – Categorie illuminotecniche HS

- Requisiti aggiuntivi, previsti per le categorie SC o EV.

Le categorie SC sono definite laddove è importante il riconoscimento facciale e l'aumento della sensazione di sicurezza; a tal proposito, la norma prescrive di mantenere certi valori minimi per l'illuminamento semicilindrico mantenuto, da valutare su un piano posto a 1,5m sopra il livello della strada.

Illuminamento semicilindrico	
Categoria	$E_{sc, min}$ [mantenuto] [lx]
SC1	10,0
SC2	7,50
SC3	5,00
SC4	3,00
SC5	2,00
SC6	1,50
SC7	1,00
SC8	0,75
SC9	0,50

Tabella 10 – Categorie illuminotecniche HS

Le categorie EV sono destinate a zone dove è necessario il riconoscimento di superfici verticali come, ad esempio, nelle zone di intersezione; il requisito definito per le categorie EV è l'illuminamento minimo del piano verticale.

Illuminamento del piano verticale	
Categoria	$E_{v, min}$ [mantenuto] [lx]
EV1	50
EV2	30
EV3	10,0
EV4	7,50
EV5	5,00
EV6	0,50

Tabella 11 – Categorie illuminotecniche EV

I requisiti prestazionali definiti per le diverse categorie devono essere calcolati e misurati rispettivamente secondo la *EN 13201 – 3* e la *EN 13201 – 4*.

L'Appendice A, inoltre, riporta le categorie di intensità luminosa tra cui poter scegliere per limitare l'abbagliamento debilitante e/o controllare i valori di luce molesta, nel caso in cui non sia possibile calcolare il fattore dell'incremento di soglia.

Categoria	Intensità luminosa massima in direzioni al di sotto della linea orizzontale in cd/klm del flusso di emissione dell'apparecchio di illuminazione			Altri requisiti
	A 70° e oltre	A 80° e oltre	A 90° e oltre	
G*1	-	200	50	Nessuno
G*2	-	150	30	Nessuno
G*3	-	100	20	Nessuno
G*4	500	100	10	Intensità luminose per angoli maggiori di 95° pari a zero
G*5	350	100	10	Intensità luminose per angoli maggiori di 95° pari a zero
G*6	350	100	0	Intensità luminose per angoli maggiori di 90° pari a zero

Tabella 12 – Categorie di intensità luminosa

Le categorie G*1, G*2, G*3 corrispondono ai concetti tradizionali di “semi cut-off” e di “cut-off”, mentre G*4, G*5, G*6 corrispondono a condizioni di schermatura totale (“full cut-off”).

Le categorie da D0 a D6, infine, sono relative alla limitazione dell'abbagliamento molesto.

Categoria	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Indice di abbagliamento massimo	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

Tabella 13 – Categorie dell'indice di abbagliamento

Con l'aggiornamento del 2016 della norma in oggetto, le classi illuminotecniche sono state ridotte, adottando quelle della CIE (ISO, ente normatore internazionale) 115, per dare anche uniformità a livello internazionale; in aggiunta, è stata introdotta la possibilità di variare il valore di uniformità a seconda delle esigenze visive.

La norma *UNI EN 13201-3:2016* descrive le convenzioni e gli algoritmi da implementare per il calcolo delle caratteristiche fotometriche degli impianti destinati all'illuminazione stradale e progettati in conformità alla *UNI EN 13201-2*.

Con la versione aggiornata, è stato formalizzato l'algoritmo di calcolo, sono state risolte alcune discrepanze del calcolo dei TI ed è stata introdotta la grandezza del rapporto di bordo (o Edge Illuminance Ratio) R_{EI} , in sostituzione del rapporto di contiguità (o Surround Ratio) S_r , come parametro per caratterizzare l'illuminazione delle zone limitrofe alla carreggiata.

Come prima convenzione, la norma stabilisce il numero di cifre decimali da riportare nei calcoli delle diverse grandezze illuminotecniche:

- 2 cifre decimali per la luminanza media, l'uniformità generale e longitudinale di luminanza, il rapporto di bordo e l'illuminamento medio quando è minore di 10 lx;
- 1 cifra decimale per l'illuminamento medio quando è compreso tra 10 e 20 lx;
- 0 cifre decimali per il fattore di incremento di soglia e per l'illuminamento medio maggiore di 20 lx.

Per valutare le prestazioni degli impianti di illuminazione e le qualità dell'illuminamento emesso sono necessari i dati fotometrici relativi alle sorgenti impiegate, che vengono ricavati mediante l'adozione di tabelle di intensità (*I-table*), e del coefficiente ridotto di luminanza (*r-table*). Le tabelle di intensità (*I-table*) definiscono la distribuzione dell'intensità luminosa emessa dalle sorgenti in tutte le direzioni rilevanti, e rispetto a un certo angolo formato tra la sorgente e la verticale passante per la sorgente, mentre la tabella del coefficiente ridotto di luminanza (*r-table*) è relativa alle proprietà di riflessione della luce da parte della superficie della strada.

In particolare, la norma *UNI EN 13201 – 3* definisce la procedura di calcolo per l'illuminamento e la luminanza, le due grandezze fotometriche che meglio caratterizzano gli impianti di illuminazione stradale. Per calcolare le grandezze fotometriche è possibile applicare le formule matematiche all'area rilevante, definita dalla norma come la regione tra due apparecchi di illuminazione posizionati sulla stessa linea e costituita da molteplici punti di calcolo uniformemente distribuiti. Quando le sorgenti di illuminazione sono disposte su più linee, la norma prescrive di considerare l'area di calcolo compresa tra le sorgenti più distanti.

In direzione longitudinale, la distanza tra i punti di calcolo della luminanza o dell'illuminamento è valutata secondo la formula seguente:

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

Dove:

- D è la distanza tra i punti di calcolo in direzione longitudinale, espressa in metri;
- S è la distanza tra due sorgenti appartenenti alla stessa linea, in metri;
- N è il numero di punti di calcolo in direzione longitudinale, ed assume i seguenti valori:

- $N=10$, per distanze $S < 30$ m;
- Per distanze $S > 30$ m, N è pari al più piccolo intero che fa risultare $D \leq 3$ m.

La distanza tra due punti di calcolo in direzione trasversale è calcolata con la seguente formula:

$$d = \frac{W_L}{3}$$

Dove:

- d è la distanza tra i punti di calcolo in direzione trasversale, espressa in metri;
- W_L è la larghezza della corsia, espressa in metri.

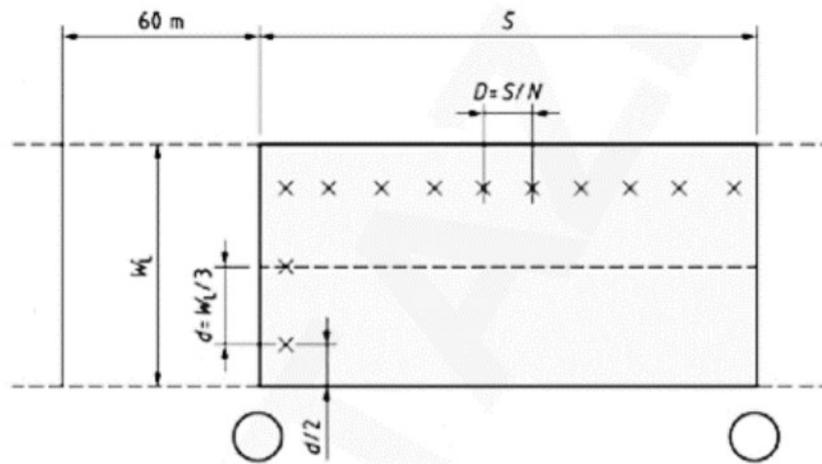


Figura 18 – Posizione dei punti di calcolo nella corsia della strada

Per il calcolo della luminanza si considera che l'occhio dell'osservatore si trovi ad 1,5 m dal livello della strada e ad una distanza di 60 m dalla prima linea di delimitazione dell'area rilevante, al centro della corsia. Per valutare la luminanza media, l'uniformità generale di luminanza e l'incremento di soglia è necessario ripetere i calcoli per ogni posizione dell'osservatore sull'intera corsia; l'uniformità longitudinale, invece, deve essere calcolata per ogni linea centrale della corsia.

Per quanto riguarda l'illuminamento, la norma prescrive di applicare le formule matematiche all'area rilevante, come già spiegato per la luminanza. Per il calcolo della distanza tra le sorgenti in direzione longitudinale si applica la stessa formula vista per la luminanza; in direzione trasversale, invece, è prevista l'implementazione della seguente espressione:

$$d = \frac{W_t}{n}$$

Dove:

- d è la distanza tra i punti di calcolo in direzione trasversale, espressa in metri;
- W_t è la larghezza della carreggiata, in metri;

- n è il numero di punti in direzione trasversale con un valore maggiore o uguale a 3, ed è il più piccolo intero per cui $d \leq 1,5$ m.

La norma riconosce quattro tipi di illuminamento, per ognuno dei quali specifica la posizione dell'osservatore rispetto alla quale svolgere i calcoli:

- illuminamento orizzontale, i punti di calcolo devono giacere su un piano all'altezza del suolo;
- illuminamento emisferico, i punti di calcolo devono giacere su un piano all'altezza del suolo;
- illuminamento semi-cilindrico, i punti di calcolo devono giacere su un piano all'altezza di 1,5 m dal livello del suolo;
- illuminamento verticale, i punti di calcolo devono giacere su un piano all'altezza di 1,5 m dal livello del suolo.

Dopo aver definito le procedure per determinare l'area rilevante e il modo di calcolo della luminanza e dell'illuminamento, la norma *UNI EN 13201 – 3:2016* definisce le caratteristiche di qualità relative alla luminanza e all'illuminamento: la luminanza media, l'uniformità generale, l'uniformità longitudinale, l'incremento di soglia f_{TI} e il rapporto di bordo R_{EI} .

La norma *UNI EN 13201-4:2016* chiarisce le condizioni di verifica e di collaudo per calcolare le prestazioni fotometriche degli impianti di illuminazione stradale, progettati secondo la *UNI EN 13201-2*.

Nella versione aggiornata al 2016 sono introdotti il calcolo dell'incertezza di misura e delle tolleranze di progetto; inoltre vengono definiti gli scopi per i quali effettuare le misurazioni individuando, quindi, i requisiti necessari alla strumentazione e le modalità di misura.

In almeno quattro condizioni sono richieste le misurazioni dei parametri fotometrici:

- in fase di collaudo, per verificare la conformità ai requisiti dello standard ed alle specifiche progettuali;
- a intervalli regolari durante l'intero arco di vita dell'impianto, per verificare l'abbassamento delle prestazioni e prevedere interventi di manutenzione;
- costantemente per correggere il flusso luminoso delle lampade, se l'impianto utilizza la regolazione adattiva FAI;
- per indagare su possibili incongruenze tra le misure e le aspettative progettuali, oppure per controllare l'influenza dell'ambiente.

Le diverse procedure di misurazione e le caratteristiche metrologiche degli strumenti sono scelti a partire dallo scopo della misurazione, in modo da individuare quelli più appropriati.

La norma infatti prevede due tipi di sistemi di misura: statico o dinamico; la scelta di prediligere un sistema a scapito dell'altro, può dipendere da esigenze di accuratezza dei risultati, da eventuali vincoli legati a ragioni di sicurezza, o da certe condizioni locali e/o temporanee.

Per quanto riguarda la misurazione delle grandezze fotometriche, per la luminanza la norma prescrive di usare un misuratore di luminanza, per l'illuminamento un misuratore di illuminamento. Se necessario, la calibrazione e le caratteristiche fotometriche dello strumento devono essere valutate nelle condizioni di applicazione, considerando la temperatura dell'ambiente, le condizioni di umidità e lo spettro emesso nella regione del visibile dalle sorgenti di luce intorno.

La norma classifica in tre gruppi le incertezze delle misurazioni come derivanti rispettivamente:

- dalle caratteristiche metrologiche del sistema di misura e dall'influenza delle procedure di misurazione;
- dall'influenza delle caratteristiche nominali e di layout del sistema di illuminazione;
- dall'influenza delle caratteristiche istantanee del sistema di illuminazione, e dalle condizioni ambientali e meteorologiche.

Infatti, l'incertezza di misura dipende, più nel dettaglio, da:

- accuratezza dello strumento di misura;
- accuratezza delle coordinate di riferimento dell'area di misura;
- influenza della procedura di misurazione;
- influenza dei metodi di elaborazione dei dati;
- caratteristiche del sistema di illuminazione e stabilità dei parametri fotometrici durante la misura;
- condizioni di alimentazione elettrica;
- condizioni meteorologiche;
- condizioni dell'ambiente circostante.

Le misurazioni devono riguardare il sistema di illuminazione in tutta la sua lunghezza e in ogni condizione operativa. Tuttavia, se le caratteristiche del sistema di illuminazione sono mantenute costanti, è possibile selezionare un numero inferiore di zone, in cui svolgere le misurazioni.

Anche i parametri geometrici dell'area misurata devono essere noti, in modo da definire completamente il sistema di riferimento entro cui viene fatta la misura, e conoscere le eventuali influenze.

La norma descrive le condizioni più idonee in cui fare la misurazione, in particolare:

- dopo un periodo di invecchiamento delle sorgenti;

- a seguito della stabilizzazione dopo l'accensione del sistema;
- nelle giuste condizioni del manto stradale e climatiche (temperature troppo alte/basse, condensa, umidità, vento troppo forte potrebbero danneggiare lo strumento di misura) e
- evitando l'influenza delle sorgenti esterne/riflesse durante le misurazioni.

Infine, la norma prescrive al progettista di redigere un report contenente:

- gli obiettivi delle misurazioni;
- le informazioni raccolte durante le misure, se rilevanti;
- dettagli sugli strumenti di misura utilizzati;
- dettagli sulle condizioni climatiche, ambientali e di alimentazione elettrica;
- una breve descrizione della procedura adottata e dell'elaborazione dei dati, incluso la valutazione delle incertezze;
- i risultati ottenuti, con le relative incertezze;
- la giustificazione di considerare una porzione del sistema di illuminazione e ciò che questa scelta ha comportato;
- le azioni promosse per controllare la luce diretta o riflessa dal contorno.

La norma UNI EN 13201-5:2016 definisce i due indicatori più idonei a valutare le prestazioni energetiche degli impianti di illuminazione stradale:

- l'indice di densità di potenza D_P (PDI), ovvero la quantità di energia necessaria al sistema di illuminazione per rispettare i requisiti previsti dalla *EN 13201 – 2*;
- l'indicatore del consumo energetico annuale D_E (AECI), che indica appunto il consumo annuale di potenza dell'impianto.

Questi indicatori sono adatti per comparare differenti soluzioni tecnologiche e progettuali da applicare ad uno stesso sistema di illuminazione; sono da applicare a tutti i sistemi di illuminazione destinati alle categorie illuminotecniche M, C e P, definite dalla *UNI EN 13201 – 2*.

A questi due indicatori, poi, la norma aggiunge il parametro di efficienza del sistema di illuminazione η_{inst} , per fare comparazioni tra sistemi alternativi.

L'indice di densità di potenza relativo ad un'area suddivisa in sotto aree, e in una specifica condizione operativa è definito dalla seguente formula:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i * A_i)}$$

Dove:

- D_P è l'indice di densità di potenza, espresso in $\frac{W}{lx \cdot m^2}$;
- P è la potenza totale del sistema di illuminazione (potenza del punto di illuminazione e di qualsiasi altro dispositivo connesso ad esso) destinato all'area rilevante, in W;
- \bar{E}_i è l'illuminamento orizzontale medio mantenuto sulla sotto-area i -esima, in lx;
- A_i è l'estensione della sotto-area i -esima illuminata dal sistema di illuminazione, in m^2 .
- n è il numero di sotto-aree da illuminare.

Se la classe illuminotecnica prevista per l'impianto cambia durante il giorno, per certe condizioni di traffico e/o meteorologiche, l'indice di potenza D_P deve essere ricalcolato separatamente, per ognuna delle classi illuminotecniche previste; in alternativa, se per l'impianto sono previste più classi illuminotecniche durante il corso del giorno e/o dell'anno, l'indice D_P può essere valutato attraverso un valor medio, specificando chiaramente quest'assunzione.

La quantità annuale di energia richiesta dal sistema di illuminazione è influenzata da diversi parametri: il tempo per cui il sistema rimane acceso, la classe illuminotecnica assegnata, l'efficienza del sistema di illuminazione, il modo in cui il sistema segue le variazioni di necessità visiva degli utenti della strada, il consumo parassitico di energia da parte dei dispositivi quando l'illuminazione non è richiesta. Quindi i bisogni reali di energia possono variare a seconda di:

- Variazioni stagionali di durata del giorno e della notte, e questo dipende dalla collocazione geografica;
- Variazioni delle condizioni atmosferiche, che si ripercuotono in una differente esigenza visiva;
- Variazioni di densità di traffico nelle strade, nelle aree pubbliche o durante la notte, seguendo le attività sociali;
- Cambiamento della destinazione d'uso della strada.

L'indicatore di consumo energetico annuale (AECI) è definito tramite la formula seguente:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j * t_j)}{A}$$

Dove:

- D_E è l'indicatore di consumo energetico annuale di un sistema di illuminazione stradale, in $\frac{W \cdot h}{m^2}$;
- P_j è la potenza richiesta associata al periodo operativo t_j , in W;

- t_j è la durata del j -esimo periodo del profilo operativo quando P_j è consumata, su un anno, in h;
- A è l'estensione dell'area interessata dal sistema di illuminazione, in m^2 ;
- m è il numero di periodi caratterizzati da diverse potenze operative, inclusi i periodi di quiescenza.

In definitiva, i due indicatori D_E e D_P sono da usare, in coppia, per definire la performance energetica di un sistema di illuminazione.

2.3. UNI 10819:2021 – “Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso”

La norma *UNI 10819* aggiornata a marzo del 2021, è stata emanata per limitare l'inquinamento luminoso nella difesa della volta celeste.

L'inquinamento luminoso è l'effetto deleterio causato dagli impianti di illuminazione urbani e suburbani, originato dall'uso eccessivo di luce artificiale e da una cattiva progettazione illuminotecnica, per cui la luce diretta è irradiata anche al di fuori delle aree a cui essa è dedicata e, in particolare, verso la volta celeste. Oltre al danno all'ecosistema, per l'eccessiva produzione di energia richiesta per l'illuminazione, il fenomeno ha gravi ripercussioni anche nel mondo animale e vegetale, perché altera i cicli migratori e i ritmi circadiani di piante, animali e persone. A ciò, si deve aggiungere il danno economico, per lo spreco di energia elettrica impiegata inutilmente nell'illuminazione di zone che non andrebbero illuminate.

La norma *UNI 10819* prescrive i metodi di calcolo e verifica per valutare il flusso luminoso disperso verso l'alto (e/o comunque al di fuori delle superfici da illuminare) emesso dalle sorgenti di luce artificiale dei sistemi di illuminazione esterna, tra cui i sistemi per l'illuminazione stradale. La norma non si applica agli impianti per l'illuminazione delle gallerie e dei sottopassi, a tutti i dispositivi di segnalazione (come, ad esempio, i semafori, la segnaletica stradale attiva e similari) e ai proiettori dei veicoli.

Nell'ambito dell'illuminazione stradale, la norma definisce diversi parametri di verifica per valutare la dispersione del flusso luminoso verso l'alto.

Se l'impianto di illuminazione è di modesta entità, cioè è caratterizzato dall'assenza di contenimento del flusso luminoso verso l'alto e afferisce ad un unico punto di connessione del distributore, deve soddisfare contemporaneamente le seguenti due condizioni, per rientrare nelle prescrizioni previste dalla norma:

- Flusso luminoso totale emesso dalla sorgente non superiore a 1.800 lm;
- Flusso luminoso emesso verso l'alto dall'insieme di apparecchi di illuminazione non superiore a 2.250 lm.

In alternativa, se l'impianto di illuminazione stradale non è di modesta entità, i parametri di verifica per valutare il flusso luminoso disperso verso l'alto sono:

- Il rapporto medio di emissione R_n , dato dal rapporto:

$$R_n = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n \phi_{u,i}}{\sum_{i=1}^n \phi_{t,i}}$$

tra il flusso luminoso totale emesso dall'apparecchio di illuminazione e il flusso luminoso emesso dallo stesso nell'emisfero superiore;

- L'intensità luminosa caratteristica in valore assoluto I_A e l'intensità luminosa caratteristica riferita a un flusso luminoso di 1.000 lm I_{fn} ; infatti nonostante la grandezza più idonea a valutare la dispersione di luce verso l'alto sia proprio il flusso luminoso emesso nell'emisfero superiore, in via semplificativa è possibile far riferimento alla ripartizione delle intensità luminose del singolo apparecchio.
- L'illuminamento massimo E_{max} , per valutare la luce dispersa che può risultare anche molesta. In particolare, E_{max} deve essere valutato:

- o Su una superficie di calcolo verticale, in corrispondenza della facciata dell'edificio, di altezza pari a quella dell'edificio;
- o Su una superficie di calcolo verticale lungo il perimetro della proprietà di altezza minima pari all'altezza del centro luminoso più alto, e su una superficie di calcolo orizzontale, nella proprietà adiacente il confine, ad una distanza dal suolo non superiore a 0,25 m e di larghezza massima di 2 m.

- L'indice spettrale I_{sg} , che caratterizza lo spettro della sorgente luminosa, relativamente alla quantità di luce blu emessa rispetto alla radiazione totale relativa alla curva spettrale di visibilità fotopica.
- Il fattore di illuminazione dell'impianto q_{inst} definito in accordo alla *UNI EN 13201 – 5:2016* dalla seguente formula:

$$q_{inst} = \frac{\bar{L}}{Q_0 * \bar{E}}$$

Dove:

- \bar{L} è la luminanza media del manto stradale calcolata secondo la *UNI EN 13201 – 3:2016*; \bar{L} è anche uno dei requisiti prestazionali previsti per gli impianti destinati alle categorie illuminotecniche M, secondo la norma *UNI EN 13201 – 2:2016*;
- \bar{E} è l'illuminamento orizzontale medio sul manto stradale, in lx;
- Q_0 è il coefficiente medio di luminanza, calcolato secondo la *UNI 11248:2016*.

Il fattore di illuminazione dell'impianto permette, infatti, un confronto dell'efficienza energetica e del contributo all'inquinamento luminoso di diversi sistemi di illuminazione.

Qualsiasi sovradimensionamento dell'impianto in termini di luminanza o illuminamento medio mantenuto, deve essere ridotto ai valori minimi applicabili prescritti dalle norme.

La norma prevede di condurre verifiche per constatare che l'impianto di illuminazione stradale sia stato progettato e realizzato nel rispetto dei parametri di verifica individuati per l'illuminazione stradale, e che soddisfi i limiti imposti per il contenimento dell'inquinamento luminoso.

Per provare la rispondenza dell'impianto limitatamente agli aspetti che influenzano l'inquinamento luminoso, la norma *UNI 10819:2021* prevede quattro tipi di verifiche:

- Verifica istruttoria documentale, inerente tutte le attività atte a constatare la conformità documentale del progetto dell'impianto di illuminazione alla norma *UNI 10819:2021*;
- Verifica geometrica sul campo, per provare la conformità dell'impianto di illuminazione alle scelte progettuali, considerando le reali condizioni operative sul campo, per quanto riguarda il tipo e le tolleranze di installazione degli apparecchi di illuminazione;
- Verifica fotometrica sul campo, che prevede le misurazioni fotometriche e spettroradiometriche per valutare le condizioni di realizzazione e funzionamento dell'impianto;
- Caratterizzazione dell'impianto, per quantificare le grandezze introdotte dalla norma *UNI 10819:2021*, in modo da valutare la dispersione del flusso luminoso verso l'alto.

Questi quattro tipi di verifica devono essere considerati indipendenti sia in termini di esecuzione temporale che per le finalità.

La strumentazione da usare per le verifiche deve avere le seguenti caratteristiche:

- Essere tarata con certificato di taratura in corso di validità durante le misure, per garantirne la riferibilità;
- Essere idonea allo scopo delle misurazioni;
- Per ogni tipo di applicazione, devono essere valutate le relative prestazioni metrologiche;

- Se necessario, la taratura e le caratteristiche fotometriche dello strumento devono essere corrette considerando le condizioni di applicazione e, in particolare, la temperatura dell'ambiente, l'umidità e gli spettri di emissione degli apparecchi di illuminazione, nella regione del visibile.

Per definire le linee guida per fare le misurazioni sul campo, la norma fa riferimento alla *UNI EN 13201 – 4:2016*.

2.4. Legge regionale 3/2018

Oltre alle linee guida dettate dalla norma *UNI 10819*, le Regioni italiane hanno emanato leggi regionali per contenere l'inquinamento luminoso e promuovere il risparmio energetico, non essendovi attualmente leggi nazionali in materia.

La legge regionale di riferimento per la regione Piemonte è la legge n. 3 del 09 febbraio 2018 recante “Modifiche alla legge regionale del 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizione per la prevenzione e lotta all'inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche)”.

Gli obiettivi che si vuole perseguire con la legge 3/2018 mirano a:

- Contenere l'inquinamento luminoso ed ottico, attraverso una riduzione dei consumi energetici e un contestuale efficientamento degli impianti destinati all'illuminazione pubblica;
- Salvaguardare i bioritmi naturali della flora e della fauna, con particolare attenzione ai fenomeni migratori;
- Conservare gli equilibri ecologici dell'ambiente, in riferimento alla tutela delle aree naturali protette e delle specie animali, soprattutto degli uccelli selvatici;
- Ridurre i fenomeni di abbagliamento molesto per garantire anche maggior sicurezza alla circolazione stradale;
- Tutelare i siti degli osservatori astronomici, i belvedere e i punti panoramici delle città, la qualità della vita e le condizioni di fruizione dei centri urbani.

I requisiti tecnici minimi, individuati dalla presente legge regionale, per l'installazione o la modifica degli impianti di illuminazione già esistenti prevedono:

- Per gli apparecchi illuminanti un valore di intensità luminosa compreso tra 0 e $0,49 \text{ cd/klm}$, per gli angoli $\gamma \geq 90^\circ$; quindi sono ammesse emissioni verso l'alto fino a $0,49 \text{ cd/klm}$;
- Per le sorgenti, valori di efficienza luminosa maggiori o uguali a 90 lm/W e di temperatura di colore correlata minori o uguali a 3.500 K;

- Per gli apparecchi e per gli impianti, valori di efficienza uguali o superiori ai minimi prescritti dai CAM;
- La luminanza media o l'illuminamento delle superfici di calcolo devono essere mantenuti ai valori minimi previsti dalle normative tecniche *UNI*, in modo da garantire la sicurezza agli utenti senza contribuire all'inquinamento luminoso;
- Rapporti tra l'interdistanza e l'altezza delle sorgenti maggiori o uguali a 3,7 m;
- Sistemi in grado di regolare e ridurre il flusso luminoso in misura uguale o superiore al 30% rispetto alla piena operatività dell'impianto di illuminazione; ovviamente questi sistemi non sono prescritti in caso di regolazione adattiva.

La Regione, coadiuvata dall'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA), verifica il corretto utilizzo dell'energia destinata all'illuminazione esterna da parte delle province e dei comuni; questi ultimi hanno l'obbligo di presentare alla Regione lo stato dell'arte dei propri impianti di illuminazione, aggiornandolo biennialmente.

Inoltre, i Comuni che presentano una popolazione superiore ai 30.000 abitanti, devono approvare il Piano Regionale per l'Illuminazione Comunale (PRIC), relativamente alle proprie esigenze territoriali.

Il PRIC è redatto per censire la consistenza e lo stato di manutenzione degli impianti di illuminazione pubblica di un territorio comunale, al fine di prevederne e disciplinarne le modalità di intervento, sia per realizzare nuove installazioni sia per adeguare o sostituire gli impianti già esistenti.

La conformità alla normativa vigente dei PRIC è verificata dagli organi tecnici comunali.

2.5. Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima

Il tema dell'efficienza energetica è stato ed è tuttora al centro di numerosi studi che mirano a contrastare il fenomeno del riscaldamento globale, e della conseguente crisi climatica.

I vantaggi che conseguono l'adozione di manovre per l'efficientamento energetico si ripercuotono in: risparmi economici ed energetici, riduzione delle emissioni di CO₂, maggior competitività per le imprese che mirano a raggiungere il massimo grado di sviluppo tecnologico, maggior sicurezza nell'approvvigionamento di energia, perché riducendo i consumi nazionali, decresce la dipendenza dalle importazioni estere.

Anche per quanto suddetto, l'efficienza energetica costituisce una componente essenziale delle strategie europee e nazionali: la direttiva europea di riferimento è la *UE 2018/2002*, recepita in Italia

dal D. Lgs. n. 73 del 14 luglio 2020, recante “Attuazione della direttiva (UE) 2018/2002 che modifica la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica”.

L’Art. 3 del D. Lgs. n. 73/2020 introduce i due obiettivi di risparmio energetico, che sono:

- Riduzione dei consumi di energia primaria, sulla scia della decarbonizzazione del Paese;
- Raggiungimento del “contributo nazionale minimo di efficienza energetica al 2030 notificato alla Commissione europea con il Piano nazionale integrato per l’energia e il clima (PNIEC)”.

Infatti, l’Italia, in quanto membro aderente all’Agenda 30 per lo Sviluppo Sostenibile, ha l’obbligo di redigere il PNIEC e presentarlo alla Commissione europea, aggiornandolo biennialmente, secondo il Regolamento UE 2018/1999, per garantire un sistema di governance trasparente.

Ovviamente gli obiettivi della direttiva UE 2018/2002, recepiti dal D. Lgs. n. 73/2020 e presentati nel PNIEC, sono in linea con quelli dell’Agenda 30 per lo Sviluppo Sostenibile.

Entrando in merito a quanto riportato nel PNIEC, gli obblighi di efficientamento energetico da declinare anche alle reti di illuminazione pubblica prevedono:

- La riduzione, al 2030, del fabbisogno di energia primaria italiano del 43% rispetto alle proiezioni elaborate dalle CE nel 2007 con lo scenario Primes;
- La riduzione, in ciascuno degli anni dal 2021 al 2030, dei consumi finali di energia di un valore pari allo 0,8% dei consumi annui medi calcolati sul triennio 2016-2018, attraverso l’adozione di regimi obbligatori di efficienza energetica. L’obiettivo equivale ad una riduzione di 0,93 Mtep/anno del consumo di energia finale, per un totale di 9,3 Mtep/anno al 2030.

In termini assoluti, i risparmi di energia primaria e finale stimati per l’Italia avranno il seguente andamento.

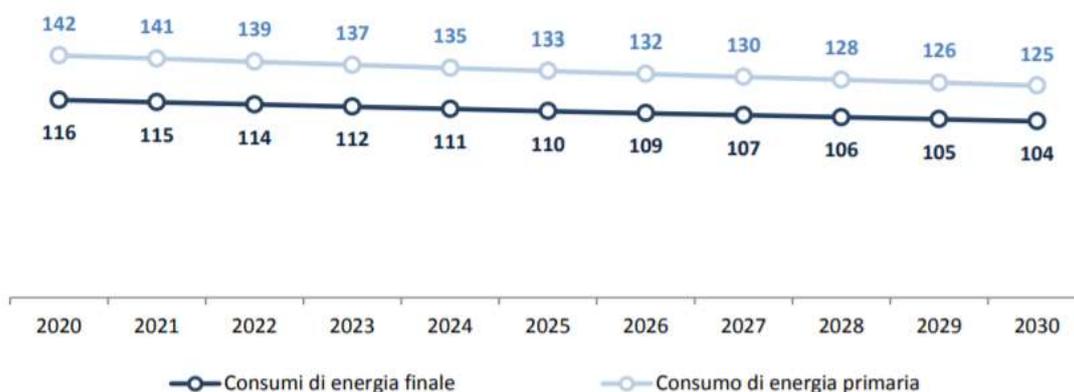


Figura 19 – Traiettorie dei consumi di energia per il periodo 2021-2030, in Mtep (Fonte: MISE, “Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima”, 2019)

La ripartizione dei 9,3 Mtep/anno al 2030 tra i vari contributi settoriali è stata stimata attraverso un approccio modellistico che considera i margini di miglioramento dell'efficienza energetica di ciascun settore; in particolare, il terziario contribuirebbe per il 26% circa nella riduzione dei consumi finali di energia, e, in termini assoluti, per 2,4 Mtep/anno al 2030, grazie ad interventi di riqualificazione edilizia, l'installazione di pompe di calore e un forte efficientamento dei dispositivi di uso finale, tra cui appunto quelli per l'illuminazione pubblica.

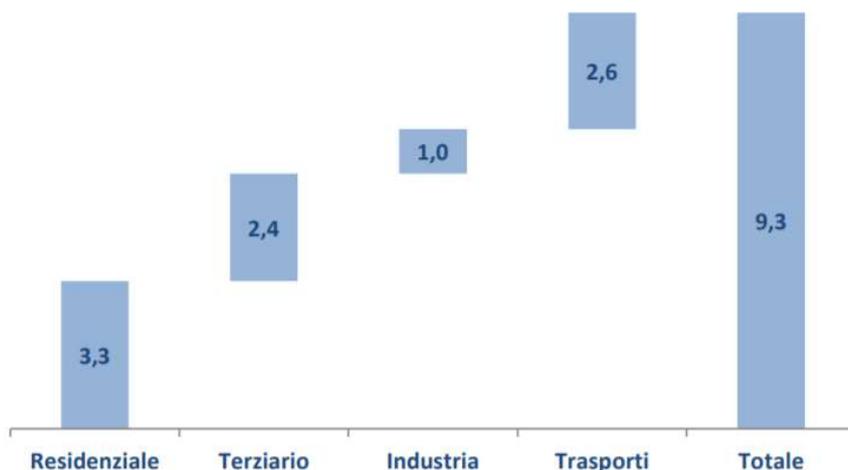


Figura 20 – Ripartizione della riduzione dei consumi di energia finale tra i diversi settori (Fonte: MISE, “Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima”, 2019)

Nel contesto sopradescritto il programma di efficientamento atteso per l’illuminazione pubblica prevede un set di misure indirizzate alle amministrazioni locali, per:

- l’accelerazione del processo già in atto di sostituzione delle sorgenti luminose con la tecnologia a LED;
- la regolazione della luminosità degli impianti a LED, in funzione delle reali necessità;
- l’installazione di orologi astronomici per la riprogrammazione più efficiente delle ore di utilizzo dell’impianto;
- l’installazione di sistemi di monitoraggio dei consumi;
- l’impiego di sensori di movimento o della regolazione intelligente adattiva.

Per raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica descritti nel PNIEC, la Legge di Bilancio 2018 pone le pubbliche amministrazioni nell’obbligo di riqualificare gli impianti di illuminazione pubblica entro il 31 dicembre 2022 al fine di ottenere, entro il 31 dicembre 2023, una riduzione dei consumi elettrici pari almeno al 50% rispetto al consumo medio 2015-2016. Per il perseguimento di tali obiettivi le imprese incaricate possono fruire delle agevolazioni erogate sul Fondo rotativo per il

sostegno alle imprese e agli investimenti di ricerca, in cui sono stati stanziati 300.000.000 € per la concessione di fondi a tasso agevolato.

Inoltre, L'art. 1, comma 29, della Legge di Bilancio 2020 (Legge n.160 del 27 dicembre 2019), prevede lo stanziamento di fondi di importo pari a 500.000.000 € da destinare ai Comuni, per ciascuno degli anni dal 2020 al 2024, per la realizzazione di opere pubbliche in materia di sviluppo territoriale sostenibile e di efficientamento energetico, ivi compresi interventi inerenti l'illuminazione pubblica. Le somme assegnate a ciascun Comune vengono ripartite, secondo l'art.1, comma 30 della legge n. 160/2019, sulla base della popolazione residente nel Comune alla data del 1° gennaio 2018.

Nella Manovra di Agosto (D. Lgs. n. 104/2020) è stato introdotto il comma 29-bis, che incrementa, per il solo anno 2021, la dotazione di ulteriori fondi di importo pari a 500.000.000 €, raddoppiando di fatto quella già prevista dal comma 29.

L'efficientamento energetico deve essere visto come un'occasione per produrre effetti positivi sui bilanci di chi amministra le città e gli interventi relativi all'illuminazione pubblica rappresentano una buona occasione per raggiungere la messa a norma degli impianti e la riduzione delle spese correnti.

2.6. Criteri Ambientali Minimi

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) rappresentano i requisiti ecologici per indirizzare le Pubbliche Amministrazioni a scelte progettuali, di prodotti o di servizi, volte a massimizzare i benefici ambientali ed economici. I CAM vengono definiti con l'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali dei prodotti e dei servizi acquistati, seguendo il loro intero ciclo di vita attraverso una valutazione LCA (Life Cycle Assessment).

Nell'ottica di coinvolgere gli Stati Membri alla produzione e al consumo sostenibile, la Commissione europea ha emanato un quadro normativo per gli Acquisti Verdi, il GPP (Green Public Procurement), e ha definito i Criteri Ambientali Minimi, invitando i Paesi europei a promuovere dei Piani d'Azione Nazionali per consentirne la massima diffusione.

In Italia il PAN GPP (Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement), adottato con Decreto Interministeriale dell'11 aprile 2008, e aggiornato con D.M. del 10 aprile 2013, è stato elaborato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) attraverso un processo di consultazione con gli enti locali e le parti interessate, con la collaborazione degli altri Ministeri competenti (Economia e Finanze, e Sviluppo Economico) e delle strutture tecniche di supporto (CONSIP, ENEA, ISPRA, ARPA).

Inoltre, l'efficacia dei CAM è assicurata dall'art. 34, recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del Codice appalti (D. Lgs. 50/2016), modificato in seguito dal Correttivo del Codice

appalti (D. Lgs. 56/2017), che ne ha reso obbligatoria l'applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti.

I criteri ambientali minimi di riferimento per l'illuminazione pubblica sono i seguenti:

- CAM per “L’acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l’acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l’affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica” (approvato con DM 27 settembre 2017) – Illuminazione pubblica (Fornitura e progettazione);
- CAM per il “Servizio di illuminazione pubblica” (approvato con DM 28 marzo 2018) – Illuminazione pubblica (Servizio).

I CAM rappresentano il minimo delle prestazioni ambientali da raggiungere, ma le pubbliche amministrazioni sono libere di porsi obiettivi più ambiziosi di rispetto e protezione dell’ambiente.

In particolare, il CAM relativo alla fornitura e progettazione si divide in tre sottogruppi riguardanti le sorgenti, gli apparecchi e gli impianti per la pubblica illuminazione e definisce i requisiti richiesti ad ognuna delle tre schede; il CAM servizio, invece, definisce come realizzare gli interventi di riqualificazione dell’impianto.

In fase di gara per l’assegnazione di un appalto, le pubbliche amministrazioni devono valutare se le offerte ricevute possano essere considerate “Verdi”, e quindi in linea con ciò che prevede il GPP, rispettando almeno i *criteri base* contenuti nei CAM.

La rispondenza ai criteri base dei CAM prevede:

- Il rispetto dei requisiti richiesti ai candidati, che provano la capacità del concorrente di eseguire il contratto di fornitura/ servizio. Le capacità richieste si differenziano in base alla scheda CAM (riferita a sorgenti/ apparecchi/ impianti/ servizi) considerata:
 - CAM – Sorgenti/apparecchi: al candidato sono richieste capacità tecnico professionali per l’installazione delle sorgenti/apparecchi di illuminazione, e il rispetto dei diritti umani e delle condizioni lavorative, per cui l’appaltatore si assume la responsabilità di conformità agli standard sociali minimi e al monitoraggio degli stessi;
 - CAM – Impianti: la selezione dei candidati prevede la qualificazione del progettista, che deve avere competenze tecniche necessarie a scegliere, dimensionare e progettare correttamente l’impianto;
 - CAM – Servizi: al candidato è richiesto il rispetto dei diritti umani e delle condizioni lavorative.

- Il rispetto delle specifiche tecniche dei prodotti e/o dei servizi, e cioè il livello minimo da raggiungere in relazione ai più significativi impatti ambientali. Le specifiche tecniche sono definite e si differenziano per ciascuna scheda relativa a sorgenti, apparecchi, impianti o servizi di pubblica illuminazione:
 - CAM – Sorgenti: sono definite le efficienze luminose, i fattori di mantenimento del flusso luminoso, i fattori di sopravvivenza, il rendimento degli alimentatori da adottare, differenziando per il tipo di lampada (a LED o SAP);
 - CAM – Apparecchi: vengono stabiliti valori minimi per il grado di protezione dagli agenti esterni (IP), per la prestazione energetica (indice IPEA), per il flusso luminoso emesso dall'apparecchio verso l'alto, per il tasso di guasto ecc.;
 - CAM – Impianti: sono definiti gli indici di prestazione energetica (indice IPEI), le condizioni per l'installazione di sistemi di regolazione del flusso luminoso, le caratteristiche dei sistemi per la telegestione e il telecontrollo ecc..
 - CAM – Servizi: prevede che il fornitore effettui il censimento e rediga l'analisi energetica dell'impianto, valuti gli indici prestazionali, presenti il progetto definitivo ed esecutivo entro un periodo di tempo pari a 12 mesi dall'aggiudicazione.
- La rispondenza alle clausole contrattuali, che sono criteri di sostenibilità che l'appaltatore si impegna a rispettare durante lo svolgimento del contratto. Di nuovo, sono definite diverse clausole contrattuali per ogni scheda CAM considerata:
 - CAM – Sorgenti: la dichiarazione di conformità UE e conformità ai requisiti tecnici, e la gestione dei rifiuti elettrici ed elettronici;
 - CAM – Apparecchi: l'utilizzo di certe sorgenti luminose per apparecchi di illuminazione, la conformità al progetto illuminotecnico, la dichiarazione di conformità UE e conformità ai requisiti tecnici, la formazione del personale dell'Amministrazione;
 - CAM – Servizi: la gestione dell'impianto, le sorgenti luminose e gli apparecchi di illuminazione, la fornitura di energia elettrica, i rapporti periodici sul servizio, la sensibilizzazione degli utenti.

Per la scheda Impianti non sono indicate alcune clausole contrattuali.

Per favorire l'assegnazione dell'appalto, inoltre, le Pubbliche Amministrazioni stabiliscono dei criteri di aggiudicazione (*criteri premianti*), che non sono obbligatori, ma che permettono di selezionare prodotti/servizi più sostenibili di quelli individuabili coi soli criteri di base.

I criteri di base e premianti relativi alla pubblica illuminazione sono soggetti ad aggiornamenti periodici poiché seguono l'evoluzione tecnologica e la normativa nazionale ed europea.

Tuttavia, nonostante i D.M. del 27 settembre 2017 e del 28 marzo 2018 abbiano avuto il merito di aggiornare i CAM nell'ambito dell'illuminazione pubblica, emergono delle criticità se li poniamo nel contesto europeo. Infatti, i criteri per l'assegnazione dell'appalto mirano a certi standard di risparmio energetico ma presentano anche dei limiti:

- Non c'è nessun obbligo temporale da parte dei Comuni di perseguire obiettivi di consumo simili a quelli della media europea; infatti, i decreti comportano solo vincoli, neanche stringenti, nel caso in cui i comuni decidano di procedere di loro iniziativa all'ammodernamento degli impianti;
- Nei recenti piani di conversione degli impianti sta trovando successo l'impiego di LED bianchi a 4.000 K, molto efficienti ma altrettanto inquinanti a causa delle forti emissioni nella parte blu dello spettro del visibile; studi condotti dall'American Medical Association consigliano di limitare la temperatura dei LED a 3000 K per rendere minimo il contenuto di luce blu. Le scelte che sono operate oggi giorno rappresentano quindi un rischio economico dal momento che l'impianto, in futuro, dovrà eventualmente essere riammodernato per prevenire la salute umana.

Quindi nonostante l'impegno dell'Italia a seguire le direttive europee per mettersi in linea con gli altri Stati Membri, risultiamo ancora tra i Paesi più luminosi del continente, a causa di una cattiva gestione dei consumi di energia elettrica e della disomogeneità tra le leggi regionali che regolamentano l'inquinamento luminoso.

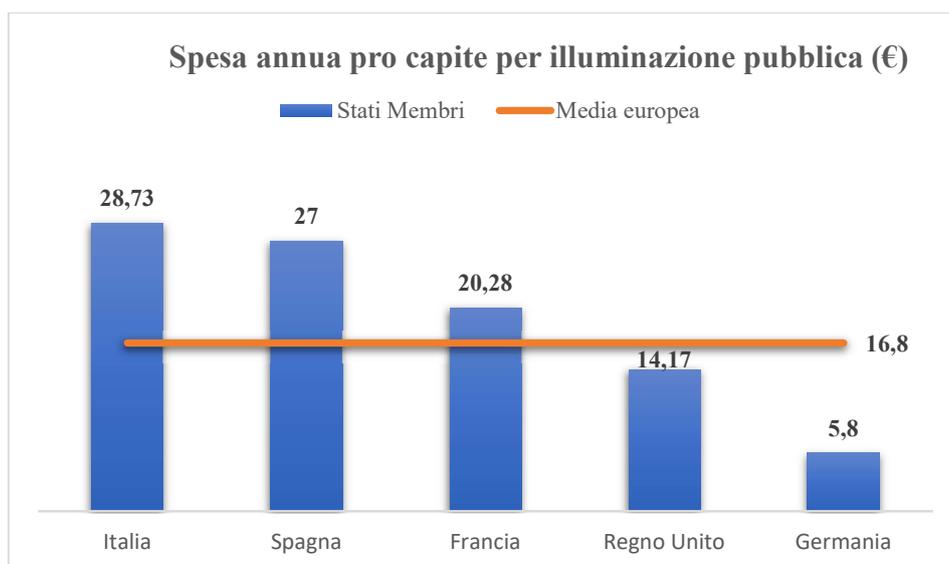


Figura 21 – Spesa per illuminazione pubblica pro capite di alcuni Stati membri e confronto con la media europea, dati al 2017 (Fonte dati: OsservatorioCPI, “Illuminazione pubblica: spendiamo troppo”, 2018)



Figura 22 – Luminosità notturna del cielo europeo (fonte: NASA)

CAPITOLO 3 – Il perimetro di applicazione dell’analisi: Comune di Buttigliera Alta (TO)

Focalizzandosi a livello comunale, di nostro interesse per la presente analisi, occorre premettere che le spese per i consumi energetici per le pubbliche amministrazioni si ripartiscono tra costi per:

- l’energia termica, destinata prevalentemente al riscaldamento degli uffici comunali;
- per l’energia elettrica, ripartiti tra l’illuminazione pubblica, le scuole, gli uffici e similari.

Per gli oneri d’esercizio che comportano, legati ai consumi e alla manutenzione, gli impianti di riscaldamento e gli impianti elettrici, in particolare quelli di illuminazione pubblica, incidono in modo significativo sul bilancio delle pubbliche amministrazioni.

In particolare, l’illuminazione pubblica urbana rappresenta una delle principali fonti di spreco del nostro Paese: la spesa annua che le amministrazioni comunali devono affrontare per l’illuminazione pubblica si aggira intorno a 1,7 miliardi di euro, per un consumo di energia elettrica di circa 100 kWh per abitante, il doppio della media europea, pari a 51 kWh. Nonostante queste ingenti spese correlate all’illuminazione pubblica, figlie della presenza di impianti obsoleti e/o di una cattiva gestione degli stessi, i cittadini non sono soddisfatti dei servizi resi dalle amministrazioni comunali e circa un italiano su due non si sente al sicuro a fronte della quantità di energia elettrica richiesta per illuminare. Di qui, la necessità da parte dei Comuni di riqualificare i propri impianti, non per “illuminare di più” ma per “illuminare meglio”, cercando di utilizzare adeguatamente le tecnologie a disposizione ed evitando inutili sprechi, dovuti a impianti obsoleti ed illuminazione poco efficiente e/o utile alla collettività.

Tra i costi inerenti la pubblica illuminazione vi sono:

- Costi per l’investimento della tecnologia iniziale;
- Costi gestionali, legati sia alla tecnologia adottata, sia ai regimi di funzionamento reale dell’impianto.

Per ottimizzare le spese, quindi, le amministrazioni possono agire:

- sui costi gestionali, introducendo i dispositivi di gestione dell’impianto, in modo da garantirne l’utilizzo soltanto quando e dove realmente richiesto;
- attraverso investimenti per introdurre tecnologie di maggiore efficienza.

Il processo che guida al raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico in ambito di illuminazione pubblica si articola in quattro punti sequenziali che prevedono:

1. il censimento degli impianti presenti, come indicato nel PRIC⁴, e la raccolta dei dati di consumo;
2. il supporto alle decisioni e la promozione di piani d'azione per individuare interventi sulla gestione e/o interventi per il miglioramento, questi ultimi supportati da analisi costi/benefici;
3. l'ottimizzazione gestionale, con l'introduzione di sistemi di temporizzazione, di attenuazione notturna, di regolazione del flusso luminoso;
4. interventi di miglioramento, che coinvolgono soprattutto la sostituzione delle lampade vetuste con sorgenti a LED.

Il presente lavoro di tesi non studia tanto gli step sopra elencati che caratterizzano il processo volto al risparmio energetico, quanto piuttosto l'attuazione degli stessi fatta nel tempo dal Comune di Buttigliera Alta (TO), e si propone di analizzare come varia la risposta degli impianti di illuminazione pubblica, in termini di ore di funzionamento e consumi energetici, a seguito delle opere di ottimizzazione gestionale e di interventi migliorativi messi in atto.

In particolare, nella suddetta analisi vengono studiate le ore di accensione ed i consumi energetici degli impianti di pubblica illuminazione del Comune di Buttigliera Alta, prendendo in considerazione tre periodi distinti:

- il 2012-14, considerati come anno di riferimento (baseline); in questo periodo, le lampade sono principalmente al sodio (SAP) ed il sistema di gestione è un orologio crepuscolare tradizionale;
- il 2017, caratterizzato dall'ottimizzazione gestionale con l'introduzione dell'orologio web CELS per l'accensione e lo spegnimento degli impianti;
- il 2020-21, contraddistinto dal ritorno all'orologio astronomico per la gestione impiantistica e dall'intervento migliorativo di sostituzione dei corpi illuminanti esistenti con lampade a LED.

L'analisi condotta⁵ si articola in una prima fase di censimento degli impianti presenti sul territorio comunale, riportato per i tre periodi di studio presi in esame. Perché l'analisi risulti il più affidabile possibile, la seconda fase prevede uno studio dei dati provenienti dai censimenti di cui sopra, a seguito della quale vengono individuati gli impianti da escludersi dall'analisi, poiché caratterizzati da dati poco attendibili/ non confrontabili omogeneamente.

⁴ Il PRIC è il Piano Regolatore dell'Illuminazione Comunale, il documento di pianificazione urbanistica che regola le varie tipologie di illuminazione di una città.

⁵ Si rimanda agli Allegati A e B per l'analisi completa svolta di cui, nei prossimi paragrafi, si riporta un'estrapolazione dei dati raccolti e dei risultati ottenuti.

Una volta circoscritti gli impianti su cui poter effettuare le valutazioni successive, lo studio prosegue analizzando le ore di accensione ed i consumi energetici che hanno caratterizzato l'illuminazione pubblica di Buttigliera Alta nei tre diversi periodi di studio considerati.

Dal confronto che emerge è possibile definire quale intervento migliorativo abbia avuto maggior impatto sulle spese comunali e in termini di risparmio energetico.

3.1. Analisi dei dati pluriennali disponibili degli impianti IP

Nella prima fase dell'analisi, propedeutica al censimento degli impianti presenti nel territorio comunale, il Comune di Buttigliera Alta, per ogni periodo di studio preso in esame, ha messo a disposizione i dati riportati nelle tabelle di seguito, che sono stati razionalizzati ed analizzati con coordinamento dell'ing. Gerbo e del pi Collesei, per conto del Comune stesso.

Per alcuni impianti, i dati riportati nelle tabelle sottostanti risultano essere poco significativi: nelle successive analisi, queste ed altre incongruenze hanno guidato il processo di selezione degli impianti, per cui solo quelli caratterizzati da dati omogenei ed affidabili dal 2012 in poi, possono essere presi in considerazione per sviluppare lo studio e gli ulteriori confronti.

In questa prima fase, ancora, per dare una panoramica impiantistica generale, vengono riportati i dati trasmessici dal Comune tali e quali, suddivisi per periodo di studio preso in esame:

- Anni 2012-14

- Censimento eseguito nel 2014 dall'ing. Gerbo e dal pi Collesei, riportato in Tabella 14.

Il censimento conta 37 impianti distinti (altri 12 impianti, alla data, erano in gestione integrale Enel So.L.E.⁶) per i quali sono state fatte misurazioni spot in campo di potenza assorbita. Nella tabella sotto riportata i valori nominali di censimento della potenza sono stati maggiorati forfettariamente del 15 % per tenere conto di perdite di rete e degli ausiliari degli apparecchi di illuminazione, derivando così la potenza installata.

In sintesi:

⁶ Enel So.L.E. è un'azienda italiana che opera nel settore dell'illuminazione pubblica e artistica, facente parte del Gruppo Enel.

Q.E.	Strade- Vie- Piazze asservite	POD ⁷	Numero lampade	Potenza nominale	Potenza installata ⁸	Potenza assorbita ⁹
				[kW]	[kW]	[kW]
100	Via della Torre – Frazione Ferriera	IT001E01536690	17	2,55	2,93	2,93
101	Via Rocciamelone - Frazione Ferriera	IT001E01249239	12	1,20	1,38	1,38
102	Corso Vandel - Piazza Tien Anmen - Via Caval Grigio - Frazione Ferriera	IT001E01536694	38	3,50	4,03	4,03
103	Via Cascina Tolosa - Frazione Ferriera	IT001E01536686	12	1,31	1,51	1,04
104	Via Conti Caron - Vicolo Palermo	IT001E01530878	30	4,03	4,63	4,29
105	Via Avigliana- Via IV Novembre	IT001E01527954	33	3,30	3,80	3,91
106	Piazza del Popolo - Via IV Marzo- Via IV Novembre	IT001E04955520	29	1,88	2,17	1,27
107	Strada degli Abay	IT001E01249184	13	1,95	2,24	2,24
108	Strada delle Braide	IT001E01249234	8	1,40	1,61	1,09
109	Via Fornero - Via Ragazzi del 99/Chiesetta	IT001E01528227	58	7,33	8,42	7,62
110	Corso Superga SP 186 - Via Madonna Dei Boschi	IT001E01527955	15	1,93	2,21	2,07
111	Via Rosta	IT001E01536688	10	0,90	1,04	0,90
112	Via Monte Cuneo	IT001E04955533	13	1,30	1,50	1,50
113	Via Braida Vecchia	IT001E01536687	25	2,50	2,88	2,88
114	Strada del Closio- Via Cornaglio- Via Greco	IT001E01536689	37	3,39	3,90	2,53
115	Via Torrazza	IT001E04955523	11	1,10	1,27	1,27
116	Via Vallarbasse	IT001E01536692	13	1,18	1,35	1,33
117	Via Monte Cuneo	IT001E01536685	18	1,80	2,07	2,07
118	Corso Laghi Sp 186	IT001E01536695	40	6,00	6,90	3,11
119	Corso Laghi Sp 186	IT001E01527956	38	6,79	7,81	6,50
120	Frazione S A Ranverso- Strada Antica di Francia- Frazione Ferriera	IT001E00493203	62	7,32	8,42	4,95
121	Piazza Jougne - Via Gatta- Via Ramo- Frazione Ferriera	IT001E01536083	33	5,95	6,84	5,50
122	Corso Torino - Strada della Praia- Frazione Ferriera	IT001E00662856	23	3,45	3,97	6,56

⁷ Il POD (Point Of Delivery) è il punto di consegna dell'energia elettrica, identificato da un codice alfanumerico.

⁸ Si riferisce alla potenza nominale aumentata forfettariamente del 15%, per tenere conto delle perdite di rete e degli ausiliari degli apparecchi di illuminazione.

⁹ Si riferisce alla potenza rilevata dalle misurazioni fatte in campo.

123	Corso Torino - Strada della Praia- Frazione Ferriera	IT001E00662869	42	6,40	7,36	7,94
124	Piazza Tien Anmen - Frazione Ferriera	IT001E01530938	16	2,00	2,30	2,30
125	Piazza San Maurizio - Frazione Ferriera	IT001E00738991	20	2,65	3,05	1,98
126	Corso Torino SS 25 - Frazione Ferriera	IT001E01536693	4	1,00	1,15	1,10
127	Piazza San Maurizio - Strada Antica di Francia- Frazione Ferriera	IT001E01536691	1	0,10	0,12	0,69
128	Via al Castello- Via Rivoli	IT001E00734017	4	0,28	0,32	0,39
129	Strada del Closio	IT001E01249183	11	1,10	1,27	0,92
130	Corso Torino SS 25 - Frazione Ferriera	IT001E00255906	26	3,68	4,23	4,03
131	Corso Superga SP 186- Parcheggio c.so Superga/ Via Rosta	IT001E01249233	32	4,47	5,15	4,92
132	Via Reano	IT001E02020752	6	0,60	0,69	Assenza dati
133	Strada del Picat	IT001E02015394	3	0,13	0,14	Assenza dati
134	Strada del Picat	IT001E02015397	3	0,13	0,14	Assenza dati
30002	Piazza Donatori di sangue	IT001E02225488	39	2,09	2,40	Assenza dati
135	Corso Torino SS 25 - Frazione Ferriera	IT001E02657085	33	5,05	5,81	Assenza dati

Tabella 14 - Censimento relativo all'anno 2014

Come è possibile evincere dalla Tabella 14, per alcuni impianti e, in particolare, quelli con quadro elettrico identificativo numero 132, 133, 134, 30002, 135, non sono presenti le misure di potenza spot eseguite in campo.

- Consumi energetici mensili e per fascia oraria (fonte ing. Gerbo e pi Collesei), riferiti all'anno 2012 e utilizzati per redigere il PAES¹⁰ del Comune di Buttigliera Alta, comprensivi di potenza totale installata e misurata come sopra indicato di ogni impianto suddetto. Si segnala che mancano i dati di consumo per gli impianti con quadro elettrico identificativo numero 132, 133, 134, 30002, 135, per cui, in Tabella 15, sono riportati solamente i 32 impianti di cui sono disponibili le bollette al 2012.

In sintesi, si riporta l'estrapolazione annuale dei consumi per fascia oraria:

¹⁰ Il PAES, Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile, rappresenta il documento di pianificazione e programmazione delle politiche comunali per la riduzione delle emissioni di gas serra.

Q.E.	POD	Estrapolazione dei consumi su base annuale [kWh]			Totale consumi annui
		F1	F2	F3	[kWh/anno]
100	IT001E01536690	361	2920	8941	12222
101	IT001E01249239	162	1287	3927	5376
102	IT001E01536694	515	3978	12182	16675
103	IT001E01536686	149	1178	3662	4989
104	IT001E01530878	499	3976	13061	17536
105	IT001E01527954	456	3601	11058	15115
106	IT001E04955520	174	1425	4580	6179
107	IT001E01249184	234	1975	6230	8439
108	IT001E01249234	175	1179	3599	4953
109	IT001E01528227	811	6551	20172	27534
110	IT001E01527955	511	2427	6771	9709
111	IT001E01536688	127	999	3078	4204
112	IT001E04955533	129	1024	3331	4484
113	IT001E01536687	362	2730	8380	11472
114	IT001E01536689	-275	-2313	-7442	-10030
115	IT001E04955523	140	1136	3541	4817
116	IT001E01536692	144	1145	3543	4832
117	IT001E01536685	-729	-6727	-23712	-31168
118	IT001E01536695	312	2546	8033	10891
119	IT001E01527956	724	5854	18884	25462
120	IT001E00493203	770	5964	18205	24939
121	IT001E01536083	1537	5424	16457	23418
122	IT001E00662856	792	5924	16977	23693
123	IT001E00662869	1019	7773	23171	31963
124	IT001E01530938	269	2198	6779	9246
125	IT001E00738991	280	2266	7063	9609
126	IT001E01536693	220	1198	3253	4671
127	IT001E01536691	81	652	2016	2749
128	IT001E00734017	37	307	957	1301
129	IT001E01249183	141	1119	3424	4684
130	IT001E00255906	451	3599	11123	15173
131	IT001E01249233	691	5470	16829	22990

Tabella 15 – Consumi energetici dei soli 32 impianti distinti, riferiti all'anno 2012

Da notare, i Q.E. 114 e 117 presentano valori di consumi negativi per mancanza dati in quel periodo.

- Anno 2017 (caratterizzato dall'introduzione della tecnologia CELS)
- Censimento di 37 impianti distinti (altri 12 impianti, alla data, erano in gestione integrale Enel So.L.E.), coincidente col censimento relativo agli anni 2012-14, riportato in Tabella 14.
- Consumi energetici mensili e per fascia oraria (fonte ing. Gerbo e pi Collesei).

Le ore di funzionamento per fascia oraria sono rilevate con datalogger locale di un impianto campione, gestito, come per tutti gli altri impianti IP del Comune, per mezzo di orologio web CELS. I consumi sono differenziati per ore di funzionamento per fascia oraria, comuni a tutti gli impianti di illuminazione pubblica comunali censiti in corrispondenza degli anni 2012-14. La potenza installata per ogni impianto è stata dedotta prendendo in analisi il progetto di sostituzione delle lampade esistenti con sorgenti a LED, fatto nell'anno 2020: è la potenza riferita a quello che, di seguito, viene chiamato Censimento pre-LED.

La potenza nominale degli impianti all'anno 2017 è stata ipotizzata uguale a quella nominale riportata nel progetto di cui sopra, prima dell'installazione delle lampade a LED, e aumentata forfettariamente del 15%, per tenere conto delle perdite di rete e degli ausiliari degli apparecchi di illuminazione.

Note le ore di funzionamento da datalogger, ipotizzata la potenza installata per ogni impianto, i consumi energetici annui per fascia oraria sono stati ricavati per mezzo della seguente relazione:

$$C_{Fi-esima} = P_{installata} * h_{Fi-esima}$$

In cui:

- $C_{Fi-esima}$ rappresentano i consumi energetici annui in fascia i-esima, in $\frac{kWh}{anno}$;
- $P_{installata}$ è la potenza installata dell'impianto considerato, in kW ;
- $h_{Fi-esima}$ sono le ore annue di funzionamento dell'impianto in fascia i-esima, in $\frac{h}{anno}$.

In sintesi, si riporta l'extrapolazione annuale dei consumi per fascia oraria:

Q.E.	POD	Potenza installata	Estrapolazione dei consumi su base annuale			Totale consumi annui
			[kW]	F1	F2	
100	IT001E01536690	2,93	503	4078	7158	11739
101	IT001E01249239	1,61	276	2239	3930	6445
102	IT001E01536694	4,03	690	5597	9825	16112
103	IT001E01536686	1,78	306	2479	4351	7135
104	IT001E01530878	3,68	631	5117	8983	14731
105	IT001E01527954	4,26	729	5917	10386	17033
106	IT001E04955520	1,92	329	2671	4688	7688
107	IT001E01249184	2,42	414	3358	5895	9667
108	IT001E01249234	1,21	207	1679	2947	4834
109	IT001E01528227	9,40	1612	13073	22948	37633
110	IT001E01527955	2,21	380	3080	5407	8866
111	IT001E01536688	1,50	256	2079	3649	5985
112	IT001E04955533	1,50	256	2079	3649	5985
113	IT001E01536687	4,31	739	5997	10527	17263

114	IT001E01536689	4,46	765	6202	10886	17852
115	IT001E04955523	1,27	217	1759	3088	5064
116	IT001E01536692	1,35	232	1882	3304	5418
117	IT001E01536685	2,07	355	2879	5053	8286
118	IT001E01536695	3,11	532	4318	7579	12429
119	IT001E01527956	8,25	1414	11466	20127	33007
120	IT001E00493203	7,60	1303	10571	18555	30429
121	IT001E01536083	5,29	907	7356	12913	21176
122	IT001E00662856	6,56	1124	9115	16001	26240
123	IT001E00662869	8,63	1479	11994	21053	34526
124	IT001E01530938	2,30	394	3198	5614	9207
125	IT001E00738991	1,99	341	2767	4856	7964
126	IT001E01536693	0,86	148	1199	2105	3453
127	IT001E01536691	0,69	118	960	1684	2762
128	IT001E00734017	0,32	55	448	786	1289
129	IT001E01249183	1,27	217	1759	3088	5064
130	IT001E00255906	4,60	789	6397	11229	18414
131	IT001E01249233	7,53	1291	10468	18375	30134
132	IT001E02020752	1,21	207	1679	2947	4834
133	IT001E02015394	0,12	21	173	303	497
134	IT001E02015397	0,17	28	230	404	663
30002	IT001E02225488	2,31	396	3214	5642	9253
135	IT001E02657085	2,70	463	3758	6597	10818

Tabella 16 – Consumi energetici derivati per l'anno 2017

- Censimento pre-LED, termine con cui viene indicato lo stato dell'arte degli impianti presenti nel territorio comunale prima del passaggio alla tecnologia a LED; il censimento deriva direttamente dal progetto elaborato nell'anno 2020, per la sostituzione delle lampade vetuste con sorgenti a LED.

Il censimento conta, nuovamente, 37 impianti distinti (altri 12 impianti, alla data, erano in gestione integrale Enel So.L.E.). Come già anticipato nel punto precedente, anche in questo caso la potenza nominale è stata incrementata forfettariamente del 15% per derivare la potenza installata degli impianti, in modo da tener conto delle perdite di rete e degli ausiliari degli apparecchi di illuminazione.

In linea generale, il censimento pre-LED, riportato in Tabella 17, dovrebbe coincidere con quello comunale del 2014, riportato in Tabella 14. Eventuali incongruenze saranno prese in considerazione nella seconda fase di analisi dei dati provenienti dai censimenti, in modo da scartare gli impianti caratterizzati da dati non omogenei negli anni.

In sintesi, il censimento pre-LED:

Q.E.	POD	Numero lampade	Potenza nominale [kW]	Potenza installata [kW]
100	IT001E01536690	17	2,55	2,93
101	IT001E01249239	14	1,4	1,61
102	IT001E01536694	38	3,5	4,03
103	IT001E01536686	12	1,55	1,78
104	IT001E01530878	30	3,2	3,68
105	IT001E01527954	33	3,7	4,26
106	IT001E04955520	33	1,67	1,92
107	IT001E01249184	14	2,1	2,42
108	IT001E01249234	7	1,05	1,21
109	IT001E01528227	58	8,18	9,40
110	IT001E01527955	15	1,93	2,21
111	IT001E01536688	8	1,3	1,50
112	IT001E04955533	13	1,3	1,50
113	IT001E01536687	25	3,75	4,31
114	IT001E01536689	37	3,88	4,46
115	IT001E04955523	11	1,1	1,27
116	IT001E01536692	13	1,18	1,35
117	IT001E01536685	18	1,8	2,07
118	IT001E01536695	18	2,7	3,11
119	IT001E01527956	41	7,17	8,25
120	IT001E00493203	55	6,61	7,60
121	IT001E01536083	34	4,6	5,29
122	IT001E00662856	38	5,7	6,56
123	IT001E00662869	50	7,5	8,63
124	IT001E01530938	16	2	2,3
125	IT001E00738991	19	1,73	1,99
126	IT001E01536693	5	0,75	0,86
127	IT001E01536691	6	0,6	0,69
128	IT001E00734017	4	0,28	0,32
129	IT001E01249183	11	1,1	1,27
130	IT001E00255906	28	4	4,6
131	IT001E01249233	45	6,55	7,53
132	IT001E02020752	7	1,05	1,21
133	IT001E02015394	3	0,11	0,12
134	IT001E02015397	4	0,14	0,17
30002	IT001E02225488	40	2,01	2,31
135	IT001E02657085	16	2,35	2,70

Tabella 17 – Censimento pre-LED

- Anni 2020-21 (caratterizzati dall'installazione delle sorgenti a LED)
- Censimento di 49 impianti distinti, corrispondenti alla somma dei 37 impianti, considerati nei censimenti degli anni precedenti, e degli altri 12 che, anteriormente, erano in gestione integrale Enel So.L.E.. Per derivare la potenza installata, la potenza nominale degli impianti

è stata incrementata forfettariamente del 5% per tenere conto delle perdite di rete soltanto, in quanto i consumi imputabili agli ausiliari degli apparecchi di illuminazione sono compresi nel valore di targa della lampada, essendo apparecchi a LED.

Benché gli impianti censiti per il periodo 2020-21 siano 49 in totale, in Tabella 18 sono riportati i soli 37 impianti considerati dall'inizio dello studio. In sintesi:

Q.E.	POD	Numero lampade	Potenza nominale	Potenza installata
			[kW]	[kW]
100	IT001E01536690	17	0,61	0,64
101	IT001E01249239	14	0,50	0,53
102	IT001E01536694	38	1,46	1,53
103	IT001E01536686	12	0,54	0,57
104	IT001E01530878	30	1,08	1,13
105	IT001E01527954	33	0,97	1,02
106	IT001E04955520	35	1,04	1,09
107	IT001E01249184	13	0,47	0,49
108	IT001E01249234	7	0,56	0,59
109	IT001E01528227	58	2,38	2,50
110	IT001E01527955	17	0,98	1,02
111	IT001E01536688	8	0,29	0,30
112	IT001E04955533	13	0,47	0,49
113	IT001E01536687	25	0,90	0,95
114	IT001E01536689	37	1,33	1,40
115	IT001E04955523	11	0,40	0,42
116	IT001E01536692	13	0,49	0,52
117	IT001E01536685	18	0,88	0,93
118	IT001E01536695	18	0,92	0,96
119	IT001E01527956	41	2,43	2,56
120	IT001E00493203	55	2,03	2,13
121	IT001E01536083	34	1,98	2,08
122	IT001E00662856	38	3,31	3,48
123	IT001E00662869	50	4,48	4,71
124	IT001E01530938	16	0,52	0,54
125	IT001E00738991	19	0,61	0,64
126	IT001E01536693	5	0,31	0,33
127	IT001E01536691	6	0,18	0,19
128	IT001E00734017	52	2,34	2,45
129	IT001E01249183	11	0,33	0,35
130	IT001E00255906	28	1,63	1,71
131	IT001E01249233	46	2,54	2,67
132	IT001E02020752	7	0,43	0,46
133	IT001E02015394	3	0,09	0,09
134	IT001E02015397	4	0,14	0,15
30002	IT001E02225488	40	1,21	1,27

135	IT001E02657085	16	1,06	1,11
------------	----------------	----	------	------

Tabella 18 – Censimento degli impianti con tecnologia a LED, relativo agli anni 2020-21

- Consumi energetici mensili e per fascia oraria (trasmessi dal Comune di Buttigliera Alta), desumibili dai file mensili del fornitore elettrico (NOVAæg), per i mesi da ottobre 2020 a giugno 2021. Si evidenzia che solo tra ottobre e dicembre 2020 i nuovi impianti di illuminazione pubblica con sorgenti a LED erano ultimati, funzionanti e collaudati secondo Progetto esecutivo. In sintesi, si riporta l’estrpolazione annuale dei consumi, per fascia oraria:

Q.E.	POD	Mese di ultimazione impianto	Potenza installata	Estrapolazione dei consumi su base annuale			Totale consumi annui
				[kW]	F1	F2	
100	IT001E01536690	Ottobre	0,64	88	580	1590	2258
101	IT001E01249239	Ottobre	0,53	62	433	1221	1716
102	IT001E01536694	Novembre	1,53	248	1458	4112	5818
103	IT001E01536686	Novembre	0,33	44	346	970	1360
104	IT001E01530878	Ottobre	1,13	265	1221	2911	4397
105	IT001E01527954	Dicembre	1,02	398	1100	2273	3771
106	IT001E04955520	Novembre	1,09	101	701	1988	2790
107	IT001E01249184	Ottobre	0,49	70	503	1430	2003
108	IT001E01249234	Ottobre	0,59	84	596	1687	2367
109	IT001E01528227	Ottobre	2,50	299	2113	5996	8408
110	IT001E01527955	Novembre	1,02	168	1039	2727	3934
111	IT001E01536688	Ottobre	0,30	43	291	828	1162
112	IT001E04955533	Dicembre	0,49	40	371	1103	1514
113	IT001E01536687	Ottobre	0,95	121	850	2440	3411
114	IT001E01536689	Ottobre	1,40	194	1320	3685	5199
115	IT001E04955523	Ottobre	0,42	58	392	1111	1561
116	IT001E01536692	Ottobre	0,52	77	511	1256	1844
117	IT001E01536685	Ottobre	0,93	66	622	1879	2567
118	IT001E01536695	Ottobre	0,96	326	1146	2288	3760
119	IT001E01527956	Ottobre	2,56	1019	2931	6166	10116
120	IT001E00493203	Dicembre	1,61	209	1511	4293	6013
121	IT001E01536083	Ottobre	2,08	810	2143	5702	8655
122	IT001E00662856	Ottobre	3,48	476	3327	9436	13239
123	IT001E00662869	Ottobre	4,71	1457	5332	11468	18257
124	IT001E01530938	Novembre	0,54	107	611	1681	2399
125	IT001E00738991	Novembre	0,64	94	697	1986	2777
126	IT001E01536693	Ottobre	0,33	44	317	899	1260
127	IT001E01536691	Ottobre	0,19	0	0	0	0
128	IT001E00734017	Dicembre	2,45	15	121	325	461
129	IT001E01249183	Ottobre	0,35	51	362	1030	1443
130	IT001E00255906	Ottobre	1,71	246	1630	4544	6420
131	IT001E01249233	Ottobre	2,67	395	2699	7615	10709

132	IT001E02020752	Ottobre	0,46	63	456	1300	1819
133	IT001E02015394	Ottobre	0,09	11	94	273	378
134	IT001E02015397	Ottobre	0,15	20	144	411	575
30002	IT001E02225488	Novembre	0,93	121	833	2310	3264
135	IT001E02657085	Ottobre	1,11	149	1077	3090	4316

Tabella 19 – Consumi energetici caratterizzanti il periodo 2020-21

Per estendere lo studio su un periodo di tempo pari ad un anno, per i mesi di luglio, agosto e settembre 2021 di cui, al momento dell'analisi, non erano disponibili le bollette da cui reperire i dati di consumo, sono state fatte le seguenti assunzioni sul comportamento degli impianti, considerando l'andamento dell'illuminazione naturale mensile (una sorta di normalizzazione):

- Mese di luglio coincidente con mese di maggio;
- Mese di agosto coincidente con mese di aprile;
- Mese di settembre coincidente con mese di marzo;
- Mese di ottobre coincidente con mese di febbraio;
- Mese di novembre coincidente con mese di gennaio.

Le assunzioni di cui sopra sono anche giustificate dal valore delle ore di funzionamento per fascia oraria degli impianti di Buttigliera Alta registrate per l'anno 2017, in cui è possibile notare come le uguaglianze ipotizzate siano piuttosto soddisfatte.

Ore di funzionamento impianti IP per fascia (2017)											
	F1	F2	F3		F1	F2	F3		F1	F2	F3
Maggio	242	174	328	Aprile	198	170	352	Marzo	253	179	312
Luglio	231	185	328	Agosto	242	174	328	Settembre	231	185	304
Deviazione	-4,5%	6,3%	0,0%	Deviazione	22,2%	2,4%	-6,8%	Deviazione	-8,7%	3,4%	-2,6%

Tabella 20 – Ore di funzionamento per fascia oraria degli impianti di IP del Comune di Buttigliera Alta, riferiti all'anno 2017

3.2. La scelta degli impianti IP oggetto dell'analisi

Una volta descritta la composizione impiantistica presente nel Comune di Buttigliera Alta, è stato necessario procedere alla scelta degli impianti di illuminazione pubblica caratterizzati da dati affidabili dal 2012, preso come anno di riferimento, in poi, eventualmente effettuando anche delle normalizzazioni, per un confronto omogeneo negli anni.

Quindi, per procedere a successive valutazioni energetiche affidabili, cuore del presente studio, è doveroso condurre una pre-analisi ("scrematura") dei dati di censimento riportati per i tre periodi di studio presi in esame (2012-14, 2017, 2020-21). La pre-analisi riguarda la composizione numerica

degli apparecchi presenti in ogni impianto e il confronto tra le potenze installate e misurate nel tempo; in particolare si sono confrontati:

- Censimento anno 2014 (con misura spot di potenza) e censimento pre-LED, considerato convenzionalmente come riferimento di base

Considerato il possibile diverso numero di lampade per impianto nel tempo e/o la possibile variazione di potenza delle stesse, il confronto è stato fatto basandosi sulla potenza unitaria media per apparecchio per ogni impianto, ottenuta dividendo la potenza installata per il relativo numero di apparecchi censiti.

Sulla base di tale parametro e con il supporto della misurazione spot effettuata nel 2014 (anch'essa riportata a potenza unitaria media per apparecchio), gli impianti che presentano uno scostamento percentuale maggiore del $\pm 10\%$ della potenza unitaria media per apparecchio riferita al censimento 2014 rispetto alla misurata nello stesso anno, vengono già scartati in questo primo confronto. In particolare, sono stati considerati affidabili 23 impianti, alcuni dei quali (anche se con potenza unitaria media accettabile) abbisognano di una normalizzazione dei dati 2012-14 allo stato pre-LED, sulla base del numero di lampade, per un confronto omogeneo.

Q.E.	POD	Periodo di riferimento	Potenza media per apparecchio	Scostamento % censimento 2014 su misurata 2014	N° lampade invariato 2014 e pre LED	Normalizzare per calcoli 2012-14
			[W]	[%]		
100	IT001E01536690	2014	172,50	0,09%	SI	NO
		MISURATA 2014	172,35			
		PRE LED	172,50			
101	IT001E01249239	2014	115,00	0,00%	NO	SI
		MISURATA 2014	115,00			
		PRE LED	115,00			
102	IT001E01536694	2014	105,92	0,00%	SI	NO
		MISURATA 2014	105,92			
		PRE LED	105,92			
104	IT001E01530878	2014	154,48	8,03%	SI	NO
		MISURATA 2014	143,00			
		PRE LED	122,67			
105	IT001E01527954	2014	115,00	-2,94%	SI	NO
		MISURATA 2014	118,48			
		PRE LED	128,94			
107	IT001E01249184	2014	172,50	0,11%	NO	SI
		MISURATA 2014	172,31			
		PRE LED	172,50			
109	IT001E01528227	2014	145,24	10,55%	SI	NO
		MISURATA 2014	131,38			

		PRE LED	162,09			
110	IT001E01527955	2014	147,66	7,00%	SI	NO
		MISURATA 2014	138,00			
		PRE LED	147,66			
112	IT001E04955533	2014	115,00	-0,33%	SI	NO
		MISURATA 2014	115,38			
		PRE LED	115,00			
113	IT001E01536687	2014	115,00	-0,17%	SI	NO
		MISURATA 2014	115,20			
		PRE LED	172,50			
115	IT001E04955523	2014	115,00	-0,39%	SI	NO
		MISURATA 2014	115,45			
		PRE LED	115,00			
116	IT001E01536692	2014	104,12	1,77%	SI	NO
		MISURATA 2014	102,31			
		PRE LED	104,12			
117	IT001E01536685	2014	115,00	0,00%	SI	NO
		MISURATA 2014	115,00			
		PRE LED	115,00			
123	IT001E00662869	2014	175,24	-7,30%	NO	SI
		MISURATA 2014	189,05			
		PRE LED	172,50			
124	IT001E01530938	2014	143,75	0,00%	SI	NO
		MISURATA 2014	143,75			
		PRE LED	143,75			
126	IT001E01536693	2014	287,50	4,55%	NO	SI
		MISURATA 2014	275,00			
		PRE LED	172,50			
130	IT001E00255906	2014	162,77	5,01%	NO	SI
		MISURATA 2014	155,00			
		PRE LED	164,29			
131	IT001E01249233	2014	160,78	4,58%	NO	SI
		MISURATA 2014	153,75			
		PRE LED	167,29			
132	IT001E02020752	2014	115,00	Assenza potenza misurata 2014	NO	SI
		PRE LED	172,50			
133	IT001E02015394	2014	48,30	Assenza potenza misurata 2014	SI	NO
		PRE LED	41,40			
134	IT001E02015397	2014	48,30	Assenza potenza misurata 2014	NO	SI
		PRE LED	41,40			
30002	IT001E02225488	2014	61,63	Assenza potenza misurata 2014	NO	SI
		PRE LED	57,79			
135	IT001E02657085	2014	175,98	Assenza potenza misurata 2014	NO	SI
		PRE LED	168,91			

Tabella 21 – Impianti caratterizzati da dati affidabili, risultato del primo confronto tra Censimento 2014, Potenza misurata nel 2014 e Censimento pre-LED

Come è possibile evincere dalla Tabella 21, gli impianti con quadro elettrico identificativo numero 132, 133, 134, 30002, 135, mancano della misura spot di potenza effettuata in campo nel 2014: in questo caso il confronto è stato fatto, a seguito di eventuali normalizzazioni richieste, tra la potenza media unitaria per apparecchio riferita al 2014 e allo stato pre-LED; da ciò, è emerso che anche questi impianti sono caratterizzati da dati affidabili ed omogenei e, quindi, possono essere oggetto delle analisi energetiche successive.

Gli impianti che, a seguito di questo primo confronto e sulla base delle considerazioni espone sopra, risultano esclusi dalle successive analisi energetiche, sono i seguenti:

Q.E.	POD	Periodo di riferimento	Potenza media per apparecchio	Scostamento % censimento 2014 su misurata 2014
			[W]	[%]
103	IT001E01536686	2014	125,54	44,86%
		MISURATA 2014	86,67	
		PRE LED	148,54	
106	IT001E04955520	2014	74,71	70,60%
		MISURATA 2014	43,79	
		PRE LED	58,20	
108	IT001E01249234	2014	201,25	47,71%
		MISURATA 2014	136,25	
		PRE LED	172,50	
111	IT001E01536688	2014	103,96	15,51%
		MISURATA 2014	90,00	
		PRE LED	186,88	
114	IT001E01536689	2014	105,30	54,00%
		MISURATA 2014	68,38	
		PRE LED	120,53	
118	IT001E01536695	2014	172,50	121,86%
		MISURATA 2014	77,75	
		PRE LED	172,50	
119	IT001E01527956	2014	205,49	20,13%
		MISURATA 2014	171,05	
		PRE LED	201,11	
120	IT001E00493203	2014	135,77	70,06%
		MISURATA 2014	79,84	
		PRE LED	138,21	
121	IT001E01536083	2014	207,35	24,41%
		MISURATA 2014	166,67	
		PRE LED	155,59	
122	IT001E00662856	2014	172,50	-39,56%
		MISURATA 2014	285,39	
		PRE LED	172,50	
125	IT001E00738991	2014	152,38	53,91%
		MISURATA 2014	99,00	

		PRE LED	104,71	
127	IT001E01536691	2014	115,00	-83,33%
		MISURATA 2014	690,00	
		PRE LED	115,00	
128	IT001E00734017	2014	80,50	-17,65%
		MISURATA 2014	97,75	
		PRE LED	80,50	
129	IT001E01249183	2014	115,00	37,50%
		MISURATA 2014	83,64	
		PRE LED	115,00	

Tabella 22 – Impianti esclusi dallo studio a seguito del primo confronto tra Censimento 2014, potenza misurata nel 2014 e Censimento pre-LED

– Censimento anno 2017 e censimento pre-LED

In questa comparazione, non sono necessarie valutazioni su eventuali normalizzazioni allo stato pre-LED dal momento che, per l'anno 2017, sono note le ore esatte di funzionamento degli impianti da datalogger, e l'energia è calcolata moltiplicando tali ore per le potenze installate: assumendo che le potenze siano pari a quelle censite allo stato pre-LED, la normalizzazione per l'anno 2017 è implicita.

– Censimento anno 2020-21 e potenza media rilevata da bolletta

Per l'anno 2020-21 il confronto consiste nel valutare lo scostamento tra la potenza installata, derivante dal censimento rispetto allo stato a LED, e la potenza media degli impianti, deducibile dal flusso dati del fornitore di energia elettrica.

La potenza media mensile è ottenuta assumendo la potenza massima rilevata dal flusso dati come valore medio mensile della potenza dell'impianto di illuminazione pubblica: infatti, il tipo di impianto IP e, in particolare, la soluzione a LED, non ha andamenti di assorbimento con picchi di accensione, per cui tale potenza massima è sufficientemente approssimabile alla potenza dell'impianto.

Per quantificare la potenza media degli impianti sono stati considerati i mesi da ottobre 2020 a giugno 2021 di cui, al momento di questo studio, erano disponibili le bollette. Si segnala che, per alcuni impianti, è stata rilevata una potenza anomala mensile, per cui nel calcolo della potenza media degli impianti tali valori sono stati esclusi (segnati in rosso in Tabella 23);

in sintesi:

Q.E.	POD	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	P media
		kW									
100	IT001E01536690	0,57	0,57	0,62	0,61	0,57	0,57	0,56	0,56	0,59	0,58
101	IT001E01249239	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
102	IT001E01536694	1,40	1,42	1,44	1,44	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41	1,43
103	IT001E01536686	0,93	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,32
104	IT001E01530878	1,61	0,56	2,05	1,49	1,53	0,56	1,03	0,56	0,98	1,45
105	IT001E01527954	0,96	0,96	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,60	0,85	0,85
106	IT001E04955520	0,82	0,74	0,78	0,74	0,69	0,66	0,66	0,68	0,65	0,71
107	IT001E01249184	0,49	0,49	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
108	IT001E01249234	0,59	0,59	0,60	0,59	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,59
109	IT001E01528227	2,06	2,08	2,08	6,30	2,09	2,08	2,07	2,06	2,04	2,07
110	IT001E01527955	1,10	1,00	1,01	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	0,99	1,01
111	IT001E01536688	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,29
112	IT001E04955533	0,18	0,18	0,46	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,46
113	IT001E01536687	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86
114	IT001E01536689	1,31	1,37	1,32	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	3,00	1,33
115	IT001E04955523	0,38	0,39	0,39	1,18	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,39
116	IT001E01536692	0,45	0,46	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45
117	IT001E01536685	0,63	0,47	0,76	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
118	IT001E01536695	0,88	1,23	1,22	1,22	0,90	0,89	0,89	0,88	0,88	1,00
119	IT001E01527956	2,37	2,39	2,40	2,42	2,42	2,39	2,38	1,66	2,35	2,39
120	IT001E00493203	1,41	1,41	1,58	1,62	1,64	1,60	1,57	1,53	1,51	1,54
121	IT001E01536083	4,03	4,13	5,51	5,20	5,17	3,75	3,24	3,15	5,04	4,43
122	IT001E00662856	3,27	3,28	3,30	3,31	3,28	3,27	3,28	3,26	3,22	3,27
123	IT001E00662869	4,50	4,53	4,55	4,58	4,55	4,52	4,52	4,50	4,46	4,52
124	IT001E01530938	2,05	0,52	0,52	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
125	IT001E00738991	1,74	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,63
126	IT001E01536693	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
127	IT001E01536691	Assenza dati in bolletta									
128	IT001E00734017	0,34	0,34	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
129	IT001E01249183	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,35	0,36
130	IT001E00255906	1,52	1,91	1,93	1,93	1,53	1,52	1,53	1,52	1,54	1,53
131	IT001E01249233	2,58	2,84	2,89	3,04	2,62	2,60	2,59	2,58	2,56	2,66
132	IT001E02020752	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45
133	IT001E02015394	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10
134	IT001E02015397	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
30002	IT001E02225488	1,58	0,86	0,86	0,87	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84	0,86
135	IT001E02657085	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,06

Tabella 23 – Potenza media degli impianti di illuminazione pubblica rilevata dalle bollette per il periodo 2020-21

3.2.1. Analisi dei valori provenienti dal flusso dati

Per chiarire le incongruenze segnate in rosso in Tabella 23, l'ing Gerbo e il pi Collese per il Comune hanno condotto un approfondimento specifico, riportato nell'Allegato B, per i valori di potenza anomala mensile registrata nel flusso dati.

In primis, è stato ricavato come indice di analisi l'andamento delle ore di funzionamento di ciascun impianto, rapportando i consumi mensili, la cui estrapolazione annuale è riportata in Tabella 19, con le relative potenze di Tabella 23.

Q.E.	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu
	[ore/mese]								
100	405	444	405	407	353	347	291	259	105
101	407	439	439	427	351	345	285	257	228
102	378	430	442	429	355	348	293	263	235
103	215	434	438	425	354	345	288	256	228
104	344	434	371	552	442	386	214	271	166
105	408	397	434	425	351	341	285	565	236
106	388	404	414	397	342	345	288	249	228
107	410	441	438	424	354	343	287	258	227
108	406	438	436	430	349	341	287	255	183
109	409	438	438	140	349	342	286	256	229
110	249	442	440	431	349	346	288	258	199
111	403	438	438	421	351	340	289	257	229
112	406	439	176	423	351	343	287	257	230
113	393	435	436	394	347	340	284	251	224
114	405	419	438	420	349	341	286	256	58
115	409	438	441	141	353	343	286	240	232
116	409	441	445	426	350	344	287	257	205
117	293	49	314	426	342	344	288	257	229
118	411	321	395	343	353	344	287	258	228
119	409	440	439	425	349	345	233	557	238
120	410	437	393	321	348	341	284	255	226
121	208	221	172	174	148	197	186	174	99
122	409	440	437	424	352	343	285	253	219
123	384	440	438	425	351	343	286	256	226
124	224	437	443	425	352	350	294	263	236
125	274	438	440	425	351	344	287	255	229
126	397	425	438	426	353	344	288	256	114
127	Assenza dati								
128	392	129	443	432	352	341	284	250	227
129	409	438	436	425	351	343	283	253	227
130	410	355	410	374	354	346	288	257	226
131	409	405	425	379	351	345	289	257	229
132	406	440	440	425	353	344	286	257	227
133	375	427	427	417	344	333	281	250	228
134	414	431	431	424	347	340	278	250	229
30002	176	440	438	424	351	342	288	255	60
135	386	442	440	427	352	345	288	257	229
Valore mensile di riferimento	400	420	430	410	350	340	285	250	225

Tabella 24 – Andamento mensile delle ore di funzionamento degli impianti, per verifica fonte flusso dati

Comparando le ore di funzionamento mensile ricavate per ciascun impianto con i rispettivi valori di riferimento (valore stimato ricorrente per la maggior parte degli impianti), gli impianti che, in un dato mese, registrano uno scostamento evidente sono segnati in rosso, in quanto individuano indirettamente anomalie nella potenza.

A titolo esemplificativo, si riportano le curve derivate dalla Tabella 24 per i mesi di ottobre, novembre e dicembre.

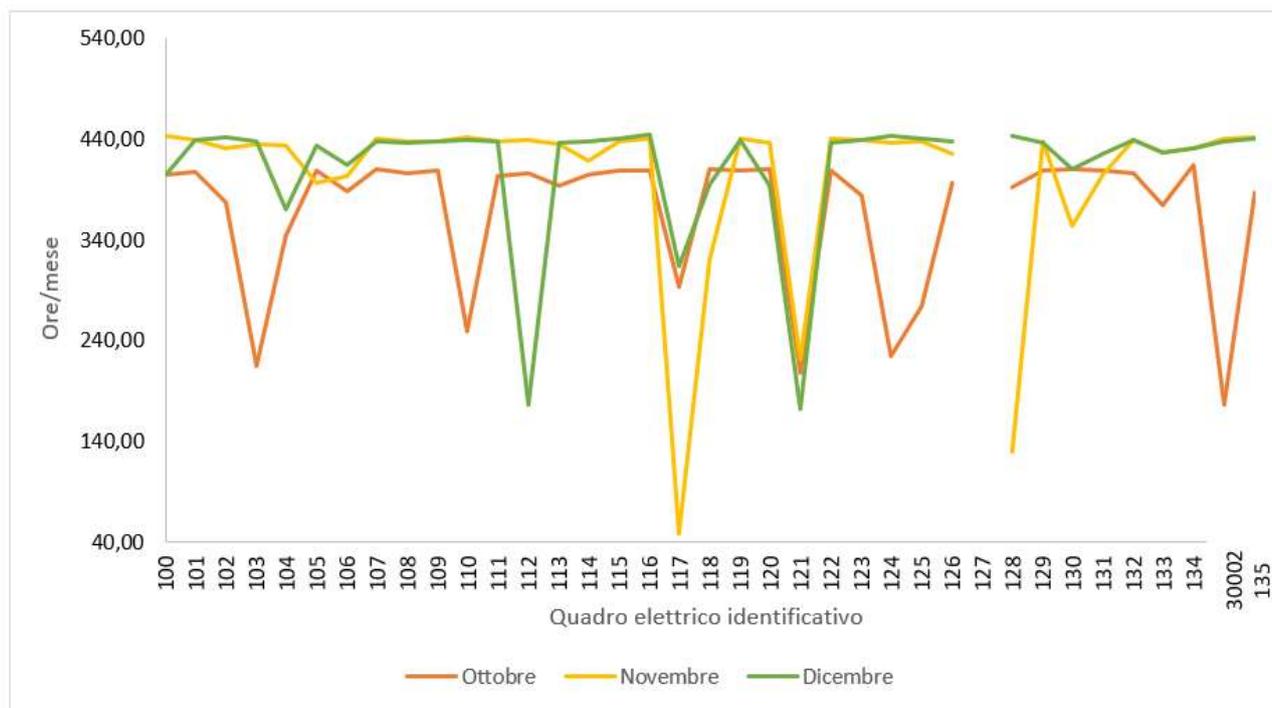


Figura 23 – Andamento delle ore di funzionamento degli impianti in esame

Di fatto, il grafico di Figura 23 conferma quanto già emerso e segnato in Tabella 23: laddove l'andamento si discosta dai valori mensili di riferimento, vi sono delle anomalie di potenza caratterizzanti l'impianto in questione che devono essere approfondite.

È stato quindi necessario proseguire nella delucidazione di tali incongruenze, comparando le potenze provenienti dal flusso dati con i rispettivi valori riportati nel file pdf delle bollette, per verificare quando i due valori si diversificano in modo evidente e cercare, quindi, di risolvere questi disallineamenti.

Di seguito, si riporta un prospetto riassuntivo di quanto emerso nel confronto avvenuto tra il Comune e l'ing. Gerbo e il pi Collese, che ha consentito di chiarire ed eliminare le anomalie emerse dal solo flusso dati (peraltro caratterizzanti anche impianti già scartati per i motivi emersi nelle comparazioni di cui sopra), che si segnala come grave anomalia (non prevedibile) del fornitore.

Q.E.	FONTE	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Pmedia	NOTE	
		kW								
100	BOLLETTE	0,56	0,56	0,62	0,61	0,57	0,56	0,58	Check positivo dati consumo. Consumi di dicembre e gennaio in aumento perché comprensivi di illuminazione natalizia.	
	FLUSSO DATI	0,57	0,57	0,62	0,61	0,57	0,57	0,58		
101	BOLLETTE	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	Check positivo dati consumo.	
	FLUSSO DATI	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42		
102	BOLLETTE	1,39	1,42	1,43	1,44	1,44	1,43	1,43	Variazione da ottobre a novembre poiché tutte le luci sono state accese a Led dal mese di novembre; precedentemente c'erano lampade spente.	
	FLUSSO DATI	1,4	1,42	1,44	1,44	1,44	1,43	1,43		
103	BOLLETTE	0,93	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	Sostituite lampade a LED doppie con Lampade a Led Singole, a regime da novembre.	
	FLUSSO DATI	0,93	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32		
104	BOLLETTE	0,56	0,56	1,48	1,48	1,53	0,56	0,56	Valori flusso consumi ottobre 2020 diversi da bolletta, per altri check positivo dati Consumo. Valori dicembre-febbraio bolletta stimati in modo errato (non fanno testo). Negli sviluppi futuri, i valori di dicembre-febbraio verranno posti pari a 0,56.	
	FLUSSO DATI	1,61	0,56	2,05	1,49	1,53	0,56	1,45		
105	BOLLETTE	0,96	0,96	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	I diversi valori di ottobre e novembre sono dovuti alla presenza di lampade a Led precedenti dotate di trasformatore induttivo; impianto a regime da dicembre.	
	FLUSSO DATI	0,96	0,96	0,87	0,86	0,86	0,86	0,85		
106	BOLLETTE	0,82	0,73	0,78	0,74	0,68	0,66	0,70	Impianto a regime da novembre, prima vecchie lampade a LED sostituite in un secondo tempo.	
	FLUSSO DATI	0,82	0,74	0,78	0,74	0,69	0,66	0,71		
107	BOLLETTE	0,48	0,49	0,49	0,5	0,49	0,49	0,49	Check positivo dati Consumo.	
	FLUSSO DATI	0,49	0,49	0,5	0,5	0,49	0,49	0,49		
108	BOLLETTE	0,58	0,59	0,59	0,58	0,59	0,59	0,58	Potenza reattiva?	
	FLUSSO DATI	0,59	0,59	0,6	0,59	0,6	0,59	0,59		
109	BOLLETTE	2,05	2,07	2,08	2,1	2,09	2,07	2,07	Check positivo dati consumo. Grave errore flusso gennaio: hanno sommato la potenza delle tre fasce F1, F2, F3.	
	FLUSSO DATI	2,06	2,08	2,08	6,3	2,09	2,08	2,07		

110	BOLLETTE	1,09	1	1,01	1	1,02	1	1,01	Check positivo, impianto a regime da novembre. Potenza reattiva fino ad ottobre con presenza di ancora 3 lampade vecchie
	FLUSSO DATI	1,1	1	1,01	1	1,02	1	1,01	
111	BOLLETTE	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
112	BOLLETTE	0,18	0,18	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	Check positivo dati consumo, ma dati consumo dicembre bassi. Potenza anomala mese ottobre - novembre (impianto in parte spento).
	FLUSSO DATI	0,18	0,18	0,46	0,47	0,46	0,46	0,46	
113	BOLLETTE	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,85	0,85	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	
114	BOLLETTE	1,31	1,37	1,31	1,34	1,32	1,31	1,32	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	1,31	1,37	1,32	1,34	1,33	1,32	1,33	
115	BOLLETTE	0,38	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38	0,38	Check positivo dati consumo. Grave errore flusso gennaio: hanno sommato la potenza delle tre fasce F1, F2, F3.
	FLUSSO DATI	0,38	0,39	0,39	1,18	0,39	0,39	0,39	
116	BOLLETTE	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,45	0,45	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,45	0,46	0,45	0,46	0,46	0,46	0,45	
117	BOLLETTE	0,62	0,46	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	Check positivo dati consumo. Potenza anomala mese novembre (impianto spento in parte?).
	FLUSSO DATI	0,63	0,47	0,76	0,77	0,76	0,76	0,76	
118	BOLLETTE	0,88	1,23	1,22	1,22	0,89	0,89	1,00	Potenza anomala mesi novembre- gennaio per illuminazione natalizia.
	FLUSSO DATI	0,88	1,23	1,22	1,22	0,9	0,89	1,00	
119	BOLLETTE	2,36	2,38	2,4	2,41	2,42	2,39	2,39	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	2,37	2,39	2,4	2,42	2,42	2,39	2,39	
120	BOLLETTE	1,41	1,4	1,58	1,62	1,63	1,6	1,54	Check positivo dati consumo. Potenza anomala mese ottobre e novembre (impianto spento in parte?).
	FLUSSO DATI	1,41	1,41	1,58	1,62	1,64	1,6	1,54	
121	BOLLETTE	4,02	4,13	5,51	5,2	5,16	3,75	4,35	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	4,03	4,13	5,51	5,2	5,17	3,75	4,43	
122	BOLLETTE	3,26	3,27	3,3	3,3	3,28	3,26	3,27	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	3,27	3,28	3,3	3,31	3,28	3,27	3,27	
123	BOLLETTE	4,5	4,52	4,55	4,57	4,55	4,52	4,52	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	4,5	4,53	4,55	4,58	4,55	4,52	4,52	
124	BOLLETTE	2,05	0,52	0,52	0,53	0,52	0,52	0,52	Check positivo dati consumo. Potenza anomala mese ottobre
	FLUSSO DATI	2,05	0,52	0,52	0,53	0,53	0,52	0,52	

									per passaggio a led non completato.
125	BOLLETTE	1,74	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,63	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	1,74	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,63	
126	BOLLETTE	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	
127	BOLLETTE	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	-
	FLUSSO DATI	-	-	-	-	-	-	-	
128	BOLLETTE	0,34	0,34	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,34	0,34	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
129	BOLLETTE	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,35	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
130	BOLLETTE	1,52	1,91	1,92	1,92	1,53	1,52	1,65	Potenza anomala mesi novembre- gennaio per illuminazione natalizia.
	FLUSSO DATI	1,52	1,91	1,93	1,93	1,53	1,52	1,53	
131	BOLLETTE	2,58	2,83	2,88	3,03	2,62	2,59	2,70	Potenza anomala mesi novembre- gennaio per illuminazione natalizia.
	FLUSSO DATI	2,58	2,84	2,89	3,04	2,62	2,6	2,66	
132	BOLLETTE	0,44	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
133	BOLLETTE	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	via del Picat 1 già a LED
	FLUSSO DATI	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10	
134	BOLLETTE	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	via del Picat 2 già a LED
	FLUSSO DATI	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
30002	BOLLETTE	1,58	0,85	0,86	0,86	0,86	0,85	0,85	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	1,58	0,86	0,86	0,87	0,86	0,86	0,86	
135	BOLLETTE	1,06	1,06	1,06	1,07	1,06	1,06	1,06	Check positivo dati consumo.
	FLUSSO DATI	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	

Tabella 25 – Comparazione dei dati di potenza provenienti dalle bollette con il flusso dati

Dalla Tabella 25 è possibile notare che, in linea generale, i valori trasmessi dal flusso dati coincidono con quelli riportati nei file pdf delle bollette: i piccoli disallineamenti sono dovuti a diversità di cifre decimali considerate, poiché le bollette riportano i valori delle potenze con 2 decimali, mentre il flusso dati con 3. Questi disallineamenti si ripercuotono anche nel calcolo della potenza media per cui, quella calcolata coi valori delle bollette differisce di poco rispetto a quella ricavata dal flusso dati; tuttavia, essendo variazioni minime possono essere trascurate.

Inoltre, nelle note sono riportati ulteriori commenti chiarificatori, che sintetizzati, spiegano:

- Qualora un impianto registri una variazione significativa di potenza tra un mese e il successivo, questa è dovuta al completamento del passaggio a led che è avvenuto in un secondo momento;
- Gli incrementi di potenza registrati per novembre, dicembre e gennaio sono comprensivi delle luminarie natalizie;

- Per il quadro elettrico 104, vi sono degli errori nel flusso dati per cui le potenze stimate per i mesi di dicembre, gennaio e febbraio, negli studi successivi, verranno normalizzate al valore del mese di novembre; inoltre, la potenza media calcolata coi valori del flusso dati differisce molto rispetto a quella ricavata dalle bollette per cui, per gli studi successivi, verrà presa per buona quest'ultima.

Infine, per completare l'analisi dei dati ricavabili dalle bollette, il pi Collesei per il Comune ha studiato la bontà della tecnologia a LED (inteso come sistema lampada+alimentatore), installata negli impianti in esame, caratterizzando ogni quadro elettrico con i valori di energia reattiva deducibili dalle bollette: laddove risulti un valore di energia reattiva diverso da zero significa che è presente qualche alimentatore delle lampade che non opera in modo ottimale poiché gli apparecchi a LED devono lavorare con un $\cos\varphi = 0$.

Q.E.	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu
	kVARh								
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	72	0	0	0	0	0	0	0	0
105	120	10	0	0	0	0	0	0	0
106	50	0	0	0	0	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0	0	0	0	0
108	36	37	36	36	29	30	25	23	17
109	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	250	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	0	0	0	0	0	0	0	0	0
114	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	16	14	12	7	10	14	14	15	17
122	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	377	0	0	0	0	0	0	0	0
125	29	56	55	54	45	45	38	40	30
126	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	0	0	0	0	0	0	0	0	0

128	9	12	12	12	11	11	10	10	10
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	8	10	10	10	8	8	8	7	6
134	10	14	13	14	11	11	10	9	9
30002	78	89	88	86	71	70	59	53	12
135	102	93	94	91	76	75	63	55	49

Tabella 26 – Potenza reattiva caratterizzante gli impianti nel periodo 2020-21

L'analisi esposta sopra ha permesso di chiarire le incongruenze di valori emerse dal flusso dati in modo da utilizzare per il presente studio valori di potenza quanto più possibile affidabili, per il periodo in esame 2020-21.

A seguito di questo studio è stato possibile definire una potenza media mensile (riportata in Tabella 25), da confrontare con la potenza installata, ricavata dal censimento 2020-21 dello stato degli impianti IP con apparecchi a LED, presentato in Tabella 18. In sintesi:

Q.E.	Potenza installata	Potenza media da bollette/flusso mensile	Scostamento % tra potenza media da bollette e installata	N° lampade invariato pre-LED vs LED (2020-21)
	[kW]	[kW]	[%]	
100	0,64	0,58	89,6%	SI
101	0,53	0,42	79,2%	SI
102	1,53	1,43	93,2%	SI
103	0,57	0,31	54,4%	SI
104	1,13	0,56	49,4%	SI
105	1,02	0,85	83,8%	SI
106	1,09	0,70	63,6%	NO
107	0,49	0,49	99,3%	NO
108	0,59	0,58	98,7%	SI
109	2,50	2,07	82,7%	SI
110	1,02	1,01	98,7%	NO
111	0,30	0,28	93,3%	SI
112	0,49	0,46	93,3%	SI
113	0,95	0,85	90,4%	SI
114	1,40	1,32	94,1%	SI
115	0,42	0,38	91,7%	SI
116	0,52	0,45	87,1%	SI
117	0,93	0,76	82,1%	SI
118	0,96	1,00	103,5%	SI
119	2,56	2,39	93,4%	SI
120	2,13	1,54	72,3%	SI
121	2,08	4,35	209,4%	SI
122	3,48	3,27	94,0%	SI

123	4,71	4,52	96,0%	SI
124	0,54	0,52	96,2%	SI
125	0,64	0,63	97,3%	SI
126	0,33	0,32	98,0%	SI
127	0,19	-	-	SI
128	2,45	0,08	3,3%	NO
129	0,35	0,35	102,0%	SI
130	1,71	1,65	96,5%	SI
131	2,67	2,70	101,1%	NO
132	0,46	0,44	96,8%	SI
133	0,09	0,09	95,2%	SI
134	0,15	0,14	94,1%	SI
30002	1,27	0,85	66,9%	SI
135	1,11	1,06	95,6%	SI

Tabella 27 – Confronto tra potenza installata e potenza media rilevata dalle bollette, per il periodo 2020-21

Come si può evincere anche dalla Tabella 23, l'impianto con quadro elettrico identificativo numero 127 manca dei dati in bolletta per gli anni 2020-21, per cui non è stato possibile definirne la potenza media e lo scostamento relativo.

Dalla Tabella 27 è possibile notare che, per i quadri elettrici 103, 104, 106, 109, 120, 121, 128, 30002, lo scostamento percentuale tra la potenza media rilevata dalle bollette e quella installata è maggiore del $\pm 20\%$ e, quindi, significativo. Alla luce di queste considerazioni, si è ritenuto opportuno di segnalare l'anomalia al Comune ed indagare sulla autenticità del censimento relativo agli impianti IP per il periodo 2020-21, fissando un incontro, coordinato dall'ing. Gerbo e dal pi Collesei, col progettista che si è occupato del rifacimento degli impianti di illuminazione pubblica comunali.

A seguito di tale incontro, il pi Collesei ha elaborato e trasmesso una tabella di riepilogo, con indicate le potenze di ogni impianto aggiornate alla fine del cantiere (quindi stato reale) e considerazioni aggiuntive sulle potenze rilevate dalle bollette, grazie alla quale è possibile spiegare le anomalie emerse dal confronto, riportato in Tabella 27. Di seguito si presenta la tabella suddetta, di cui si riportano soltanto gli impianti con quadro elettrico 103, 104, 106, 109, 120, 121, 128, 30002, caratterizzati da uno scostamento percentuale significativo tra potenza dichiarata nel censimento e rilevata dalle bollette.

Q.E.	Scostamento P censimento vs P bollette	Potenza censimento	Potenza fine cantiere	Motivazione
	[%]	[kW]	[kW]	
103	54,4%	0,57	0,33	In progetto, presenti 6 lampade da non sostituire, poi sostituite con 2 lampade LED, in fase realizzativa.
104	49,4%	1,13	1,13	Nell'impianto sono presenti 2 lampade doppie, probabilmente per illuminazione parco e area pedonale.

106	63,6%	1,09	1,09	Nell'impianto erano presenti 22 lampade a LED di potenza dichiarata non certa 40 W e 20 W.
109	82,7%	2,5	2,5	Sono presenti due lampade a LED con potenza dichiarata, ma non certa, di 150 W, di cui non è stato possibile verificare.
120	72,3%	2,13	1,61	In censimento ci sono 10 LED ad incasso NON SOSTITUITI e dichiarati da 50 W ciascuno. Non risultano accesi dal 2012, non sono stati sostituiti e probabilmente sono da 5 W ciascuno.
121	209,4%	2,08	2,08	Impianto IP con carichi esogeni, alimenta anche le prese del Mercato. In fase realizzativa è stato predisposto apposito quadro per la richiesta del contatore indipendente.
128	3,3%	2,45	2,45	In sede realizzativa sono stati riuniti il QE 128 con il QE 12. Inoltre, sono state aggiunte due lampade prima a regime forfettario.
30002	66,9%	1,27	0,93	In corso di realizzazione sono state sostituite lampade con doppia lampadina con lampade singola lampadina LED

Tabella 28 – Tabella di riepilogo, esplicitiva delle anomalie rilevate calcolando lo scostamento tra potenza installata e potenza da bollette

A seguito di questa ulteriore analisi, è possibile definire gli impianti di illuminazione pubblica con apparecchi a LED che, dal confronto per l'anno 2020-21, risultano caratterizzati da dati affidabili, aggiornando per i quadri elettrici 103, 120 e 30002, la potenza dichiarata nel censimento con quella realmente installata a fine cantiere (i soli per i quali è cambiata).

Q.E.	POD	Potenza installata	Potenza media da bollette	Rapporto % tra potenza media da bollette e installata
		[kW]	[kW]	[%]
100	IT001E01536690	0,64	0,58	89,6%
101	IT001E01249239	0,53	0,42	79,2%
102	IT001E01536694	1,53	1,43	93,2%
103	IT001E01536686	0,33	0,31	94,3%
105	IT001E01527954	1,02	0,85	83,8%
107	IT001E01249184	0,49	0,49	99,3%
108	IT001E01249234	0,59	0,58	98,7%
109	IT001E01528227	2,50	2,07	82,7%
110	IT001E01527955	1,02	1,01	98,7%
111	IT001E01536688	0,30	0,28	93,3%
112	IT001E04955533	0,49	0,46	93,3%
113	IT001E01536687	0,95	0,85	90,4%
114	IT001E01536689	1,40	1,32	94,1%
115	IT001E04955523	0,42	0,38	91,7%
116	IT001E01536692	0,52	0,45	87,1%
117	IT001E01536685	0,93	0,76	82,1%
118	IT001E01536695	0,96	1,00	103,5%

119	IT001E01527956	2,56	2,39	93,4%
120	IT001E00493203	1,61	1,54	95,7%
122	IT001E00662856	3,48	3,27	94,0%
123	IT001E00662869	4,71	4,52	96,0%
124	IT001E01530938	0,54	0,52	96,2%
125	IT001E00738991	0,64	0,63	97,3%
126	IT001E01536693	0,33	0,32	98,0%
129	IT001E01249183	0,35	0,35	102,0%
130	IT001E00255906	1,71	1,65	96,5%
131	IT001E01249233	2,67	2,70	101,1%
132	IT001E02020752	0,46	0,44	96,8%
133	IT001E02015394	0,09	0,09	95,2%
134	IT001E02015397	0,15	0,14	94,1%
30002	IT001E02225488	0,93	0,85	91,8%
135	IT001E02657085	1,11	1,06	95,6%

Tabella 29 – Impianti che, dal confronto per il periodo 2020-21, risultano caratterizzati da dati affidabili

Gli impianti che presentano uno scostamento maggiore del $\pm 20\%$ tra la potenza media rilevata dalle bollette e la potenza installata, alla luce delle motivazioni riepilogate in Tabella 28, sono esclusi dalle analisi energetiche successive, perché ritenuti con dati di consumo/potenza poco affidabili. In sintesi:

Q.E.	POD	Potenza installata	Potenza media da bollette	Scostamento % tra potenza media da bollette e installata
		[kW]	[kW]	[%]
104	IT001E01530878	1,13	0,56	49,4%
106	IT001E04955520	1,09	0,70	63,6%
121	IT001E01536083	2,08	4,35	209,4%
128	IT001E00734017	2,45	0,08	3,3%

Tabella 30 – Impianti esclusi dalle successive analisi energetiche, per il confronto eseguito per il periodo 2020-21

A seguito di questa pre-analisi è stato possibile definire un perimetro degli impianti su cui concentrare lo studio, caratterizzati da dati affidabili dal 2012 in poi.

Riassumendo, le fasi viste sopra includono:

- Il confronto della potenza media per apparecchio calcolata per il censimento 2014, per la misurazione spot 2014, per il censimento pre-LED;
- Il confronto tra la potenza media 2020-21, rilevata dal flusso dati del fornitore elettrico e verificata con le bollette, e la potenza installata 2020-21, deducibile dal censimento e aggiornata con la potenza dichiarata dal progettista a fine cantiere, per lo stato degli impianti a LED.

Da questi confronti, è stato possibile individuare gli impianti da scartare dalla presente analisi e, di conseguenza, definire la lista degli impianti con dati coerenti, che saranno oggetto delle valutazioni energetiche successive.

NB: La definizione delle ore di accensione degli impianti IP, analisi che verrà illustrata nel prossimo paragrafo, rientra tra gli step che hanno guidato il processo di selezione degli impianti con dati coerenti e affidabili; infatti, gli impianti che, per il 2012-14, presentano un valore minore di 3600 ore di funzionamento all'anno, devono essere scartati poiché indicano un funzionamento anomalo dell'impianto.

Il paragrafo 3.4 riassume quanto esposto sopra, in questa fase di pre-analisi, e quanto emerso dalle considerazioni fatte sulle ore di funzionamento degli impianti, presentate nel paragrafo 3.3: la Tabella 33 sintetizza questo processo di scrematura del perimetro di studio degli impianti.

3.3. Le ore di accensione degli impianti IP

Per continuare la caratterizzazione del perimetro degli impianti su cui poter condurre le analisi energetiche successive al netto delle variazioni di ore/anno, è necessario valutare le ore di funzionamento che hanno caratterizzato gli impianti di illuminazione pubblica del Comune di Buttigliera Alta, nei tre periodi di studio presi a riferimento.

Per quanto riguarda le ore reali di funzionamento annue, esse sono state definite seguendo linee diverse per i tre anni di studio e, in particolare:

- Per il periodo 2012-14, sono state derivate dal rapporto

$$h_{Fi-esima} = C_{Fi-esima} / P_{misurata\ 2014}$$

In cui:

- $h_{Fi-esima}$ sono le ore di funzionamento in fascia i-esima;
- $C_{Fi-esima}$ sono i consumi energetici in fascia i-esima, derivati dalle bollette, in kWh ;
- $P_{misurata\ 2014}$ è la potenza rilevata attraverso le misurazioni spot in campo, effettuate nel 2014, in kW .

Gli impianti che, da questo rapporto, ottengono un valore minore di 3600 ore di funzionamento annue, non possono essere considerati nelle successive analisi poiché, evidentemente, sono caratterizzati da un funzionamento inusuale/ dato di potenza non corretto.

Infatti, in questa prima gestione, l'orologio crepuscolare ivi installato assicura un funzionamento nominale ottimale di 4120 ore/anno: scendere troppo al di sotto di tale valore significa un funzionamento dell'impianto che non rispecchia la realtà, verosimilmente causato da un errore di installazione del sistema di on/off che potrebbe risentire di riflessi esterni e, quindi, accendersi più tardi/spegnersi prima.

Da notare che già in questo periodo la gestione impiantistica è ben ottimizzata: gli orologi astronomici relativi ad esperienze in altri Comuni nello stesso periodo hanno evidenziato valori intorno a 4300-4400 ore di funzionamento annue (fonte: ing Gerbo, pi Collesei).

- Per l'anno 2017 le ore di funzionamento reali sono quelle rilevate dal datalogger di un impianto campione, gestito tramite orologio web CELS: esse coincidono proprio con quelle dell'orologio CELS e sono comuni a tutti gli impianti di illuminazione pubblica del Comune;
- Per il periodo 2020-21, le ore di funzionamento reali sono state derivate dal rapporto

$$h_{Fi-esima} = C_{Fi-esima} / P_{media bollette}$$

In cui:

- o $h_{Fi-esima}$ sono le ore di funzionamento in fascia i-esima, in ore;
- o $C_{Fi-esim}$ sono i consumi energetici in fascia i-esima, derivati dalle bollette, in *kWh*;
- o $P_{media bollette}$ è la potenza media rilevata dalle bollette nel periodo tra ottobre 2020 e giugno 2021, in *kW*; è la potenza riportata in Tabella 23.

Per questo periodo, la gestione impiantistica è affidata ad un orologio astronomico la cui impostazione fissata in sede di installazione (ritardo nell'accensione di 20 minuti e un anticipo nello spegnimento di pari entità) è caratterizzata da una media delle ore di funzionamento annue di 3876,5; senza gli offset di accensione e spegnimento, registrerebbe 4217 ore/anno di funzionamento, in linea con quelle di un astronomico medio riportato a riferimento in Tabella 32.

La Tabella 31 di seguito, riporta le ore di funzionamento annue dei 17 impianti, oggetto dell'analisi, e lo scostamento di ogni periodo di riferimento rispetto ai precedenti.

Q.E.	POD	Periodo di riferimento	Ore di funzionamento annue	Scostamento % vs 2012-14	Scostamento % vs 2017
			[h/anno]	[%]	[%]
100	IT001E01536690	2012-14	4171,3		
		2017-CELS	4003,0	-4,0%	
		2020-21	3923,2	-5,9%	-2,0%
101	IT001E01249239	2012-14	3895,7		
		2017-CELS	4003,0	2,8%	
		2020-21	4096,6	5,2%	2,3%
102	IT001E01536694	2012-14	4142,9		
		2017-CELS	4003,0	-3,4%	
		2020-21	4087,2	-1,3%	2,1%
105	IT001E01527954	2012-14	3865,7		

		2017-CELS	4003,0	3,6%	
		2020-21	4317,1	11,7%	7,8%
107	IT001E01249184	2012-14	3767,4		
		2017-CELS	4003,0	6,3%	
		2020-21	4104,5	8,9%	2,5%
109	IT001E01528227	2012-14	3613,4		
		2017-CELS	4003,0	10,8%	
		2020-21	4061,8	12,4%	1,5%
110	IT001E01527955	2012-14	4690,3		
		2017-CELS	4003,0	-14,7%	
		2020-21	3890,8	-17,0%	-2,8%
111	IT001E01536688	2012-14	4671,1		
		2017-CELS	4003,0	-14,3%	
		2020-21	4117,3	-11,9%	2,9%
113	IT001E01536687	2012-14	3983,3		
		2017-CELS	4003,0	0,5%	
		2020-21	3992,1	0,22%	-0,27%
115	IT001E04955523	2012-14	3792,9		
		2017-CELS	4003,0	5,5%	
		2020-21	4095,9	8,0%	2,3%
116	IT001E01536692	2012-14	3633,1		
		2017-CELS	4003,0	10,2%	
		2020-21	4079,6	12,3%	1,9%
123	IT001E00662869	2012-14	4025,6		
		2017-CELS	4003,0	-0,6%	
		2020-21	4039,2	0,34%	0,90%
124	IT001E01530938	2012-14	4020,0		
		2017-CELS	4003,0	-0,4%	
		2020-21	3953,0	-1,7%	-1,25%
126	IT001E01536693	2012-14	4246,4		
		2017-CELS	4003,0	-5,7%	
		2020-21	3951,2	-7,0%	-1,29%
129	IT001E01249183	2012-14	5091,3		
		2017-CELS	4003,0	-21,4%	
		2020-21	4084,0	-19,8%	2,0%
130	IT001E00255906	2012-14	3765,0		
		2017-CELS	4003,0	6,3%	
		2020-21	3880,5	3,1%	-3,1%
131	IT001E01249233	2012-14	4672,8		
		2017-CELS	4003,0	-14,3%	
		2020-21	3972,8	-15,0%	-0,8%

Tabella 31 – Sintesi delle ore di funzionamento reali annue dei 17 impianti risultati attendibili

Come è possibile notare dalla Tabella 31, le ore di funzionamento annue riportate per i periodi 2012-14 e 2020-21 risultano valori ragionevoli, rispetto anche a quanto detto nell'introduzione del presente

capitolo. Le ore per il 2017, poi, si ripetono uguali per tutti gli impianti poiché coincidono con le ore di funzionamento dell'orologio web CELS.

Gli scostamenti percentuali calcolati saranno da applicare agli scostamenti percentuali derivati per i consumi energetici, per individuare il reale scostamento percentuale relativo alla installazione delle lampade a LED.

Nella Tabella 32 di seguito, è possibile ragionare a livello impiantistico generale, abbandonando lo studio del singolo quadro elettrico; per ogni periodo preso in esame sono riportati, infatti, i valori delle ore di funzionamento registrate per il mese e per la fascia oraria corrispondente, ottenuti mediando le ore di funzionamento dei singoli 17 impianti oggetto di studio.

L'ultima colonna rappresenta la caratterizzazione media di un orologio astronomico attualmente sul mercato, da confrontare con quello installato negli impianti (il TOT) per i periodi di riferimento indicati.

Mese	Fascia	2012-14	2017	2020-21	Astronomico medio
		[h]	[h]	[h]	[h]
Gennaio	F1	29,8	20,5	29,6	457,0
	F2	122,5	137,1	116,7	
	F3	289,8	276,7	284,1	
	TOT	442,1	434,3	430,3	
Febbraio	F1	17,0	5,3	18,7	380,4
	F2	108,6	114,6	101,2	
	F3	253,8	247,1	232,7	
	TOT	379,5	366,9	352,5	
Marzo	F1	5,8	0,2	7,9	367,8
	F2	104,1	109,6	102,5	
	F3	255,5	240,6	232,7	
	TOT	365,4	350,4	343,1	
Aprile	F1	0,02	0,1	1,2	297,0
	F2	59,4	107,6	63,8	
	F3	242,8	174,5	221,5	
	TOT	302,2	282,2	286,5	
Maggio	F1	0,03	0,1	3,3	257,3
	F2	48,4	95,0	51,2	
	F3	220,2	154,6	207,7	
	TOT	268,6	249,7	262,3	
Giugno	F1	0,03	0,1	0,6	227,3
	F2	33,8	81,9	37,0	
	F3	197,2	138,7	171,7	
	TOT	231,1	220,7	209,3	
Luglio	F1	0,1	0,1	3,3	243,2
	F2	37,4	85,7	51,2	
	F3	209,7	150,3	207,7	

	TOT	247,2	236,1	262,3	
Agosto	F1	0,5	0,1	1,2	283,0
	F2	56,9	102,8	63,8	
	F3	237,2	171,7	221,5	
	TOT	294,6	274,6	286,5	
Settembre	F1	0,8	2,1	7,9	323,6
	F2	80,0	121,7	102,5	
	F3	252,5	189,4	232,7	
	TOT	333,3	313,2	343,1	
Ottobre	F1	6,9	20,6	16,6	399,7
	F2	114,2	136,3	117,2	
	F3	269,9	221,7	247,8	
	TOT	391,1	378,6	381,6	
Novembre	F1	36,3	58,4	49,9	471,0
	F2	109,6	146,7	121,1	
	F3	262,1	225,5	263,8	
	TOT	408,1	430,7	434,7	
Dicembre	F1	36,7	63,6	41,6	509,5
	F2	113,8	151,8	115,9	
	F3	306,8	250,2	288,3	
	TOT	457,4	465,6	445,8	
Totale		4120,5	4003,0	4038,0	4216,9
Scostamento vs 2012			-2,9%	-2,0%	2,3%
Scostamento vs 2017				0,87%	5,3%
Scostamento vs 2020-21					4,4%

Tabella 32 – Confronto mensile delle ore di funzionamento nei tre periodi di riferimento presi in esame

Da questo primo confronto, valutando gli scostamenti tra un periodo di riferimento e il precedente, è possibile fare le seguenti considerazioni generali:

- Come già anticipato all’inizio del presente paragrafo, la gestione impiantistica al 2012-14 è già ben ottimizzata; le 4120 ore/anno di funzionamento del 2012-14, se rapportate con le tecnologie usualmente installate al tempo, caratterizzate da valori intorno ai 4300-4400 ore/anno, sono significative del buon sistema di gestione degli impianti. A conferma di ciò, è lo scostamento registrato nell’anno 2017 rispetto al 2012-14, a seguito dell’introduzione dell’orologio web CELS: se in altri Comuni l’adozione della tecnologia CELS ha portato risultati migliorativi evidenti (8-10%), in questo caso la riduzione delle ore di funzionamento è pari soltanto al 2,9%, poiché già al 2012-14 Buttigliera Alta era dotata di un sistema di temporizzazione performante;
- Il 2017, di fatto, è il periodo che presenta la gestione oraria migliore, facendo registrare agli impianti il più basso valore di ore di funzionamento reali annue. È ovviamente un risultato prevedibile, vista la tecnologia gestionale all’avanguardia caratterizzante quel periodo;

- Il ritorno all'orologio astronomico tradizionale, per il periodo 2020-21, fa peggiorare, in modo quasi impercettibile (+0,87%), le prestazioni degli impianti per quanto riguarda le ore annue di funzionamento reali degli stessi rispetto al 2017; tuttavia occorre ricordare che tale risultato è a prezzo di un taglio secco di 20 minuti al mattino e 20 minuti alla sera, rispetto agli orari usuali dell'orologio astronomico, a scapito, nelle giornate non soleggiate, della buona illuminazione all'imbrunire e al sorgere del sole.

Dall'altra parte, comparando la gestione attuale con l'orologio crepuscolare installato nel 2012-14, è possibile notare come il miglioramento della tecnologia installata si ripercuote in modo positivo sulle ore di funzionamento reali degli impianti, facendo registrare una diminuzione delle stesse del 2,0%. Si ricorda, infatti, che il funzionamento di un orologio crepuscolare è molto sensibile a ciò che lo circonda e può essere quindi falsato dalla presenza di luce artificiale esterna, per cui anticipa l'accensione/ritarda lo spegnimento. L'orologio astronomico, invece, essendo impostato rispetto alle coordinate geografiche del luogo in cui è installato, lavora secondo questi parametri di input e, conseguentemente, non è disturbato dalla presenza di luminarie vicine;

- Infine, le prestazioni di un orologio astronomico medio attualmente sul mercato sono le peggiori se comparate ai tre periodi di riferimento presi in esame.

In particolare, rapportando il funzionamento dell'orologio astronomico medio con quello dell'orologio realmente installato per il periodo 2020-21, il primo è caratterizzato da un aumento delle ore di funzionamento degli impianti del 4,4%; questo perché l'orologio astronomico realmente installato gode dei 20 minuti di off-set nell'accensione e nello spegnimento, per seguire le reali esigenze di illuminazione ed evitando quindi inutili sprechi di luce.

In generale, rispetto al periodo di riferimento 2012-14, l'introduzione dell'orologio web CELS per la gestione impiantistica nel 2017 e, poi, il ritorno all'orologio astronomico tradizionale unitamente alla sostituzione delle lampade esistenti con apparecchi a LED, nel 2020-21, si traduce in una riduzione delle ore di funzionamento annue degli impianti e, conseguentemente, anche dei consumi energetici, essendo questi ultimi direttamente correlati alle ore di funzionamento. È evidente, tuttavia, che la riduzione delle ore di funzionamento non inciderà in modo significativo sull'abbassamento dei consumi energetici poiché, a livello assoluto, gli scostamenti registrati in Tabella 32 sono piuttosto bassi; questo apporto sarà comunque da considerare.

Dal punto di vista grafico, i valori riportati in Tabella 32, assumono i seguenti andamenti, distinti per fascia oraria considerata, che ammettono alcune valutazioni di sintesi.

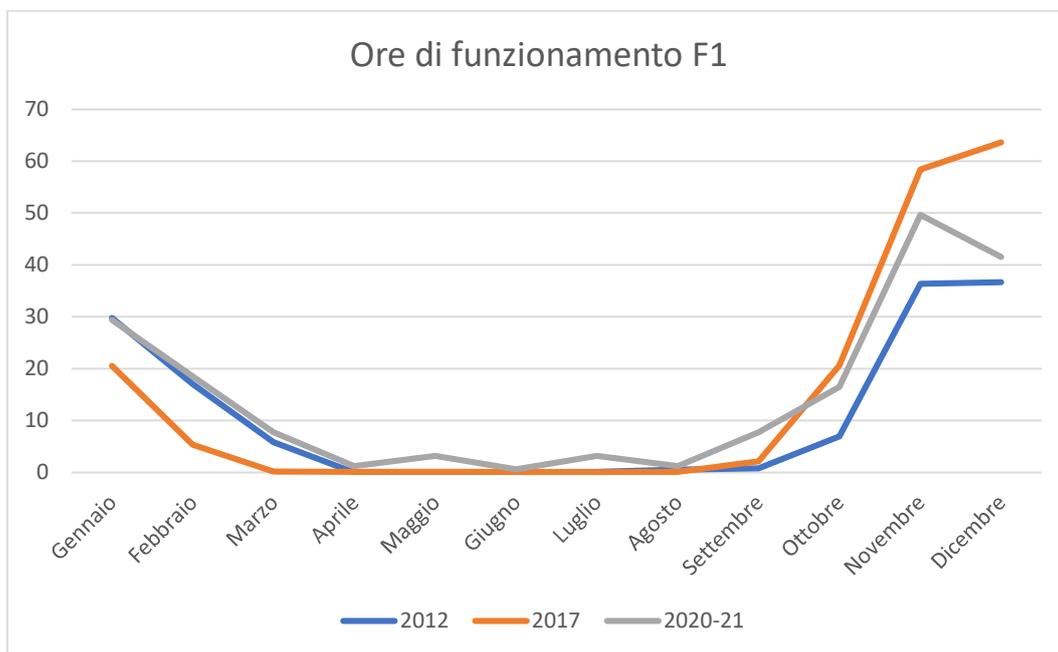


Figura 24 – Andamento delle ore di funzionamento annue in fascia F1, distinte per periodo di riferimento considerato

Per le ore di funzionamento in fascia F1¹¹ la soluzione migliore, nei primi mesi dell'anno e fino a settembre, è relativa alla gestione impiantistica a mezzo di orologio web CELS (2017); da settembre, poi, il periodo 2012-14 è caratterizzato da una linea di andamento più bassa.

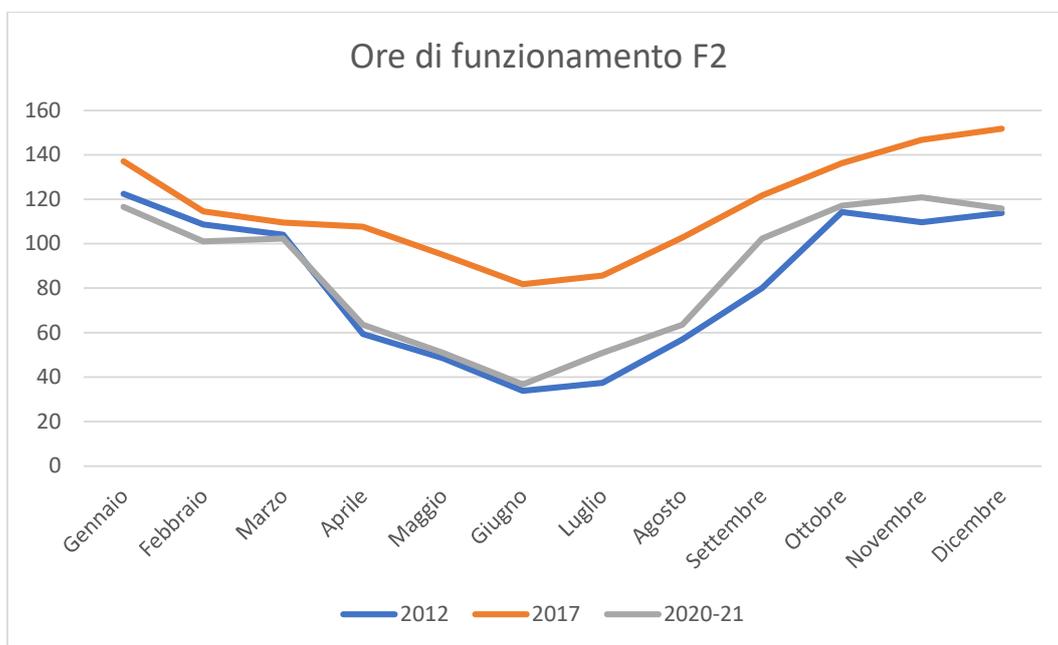


Figura 25 – Andamento delle ore di funzionamento annue in fascia F2, distinte per periodo di riferimento considerato

¹¹ Da lunedì a venerdì, ore 08-19.

Per la fascia F2¹², invece, il periodo 2017 risulta essere caratterizzato dall'andamento peggiore, mentre i periodi 2012-14 e 2020-21 sono piuttosto simili.

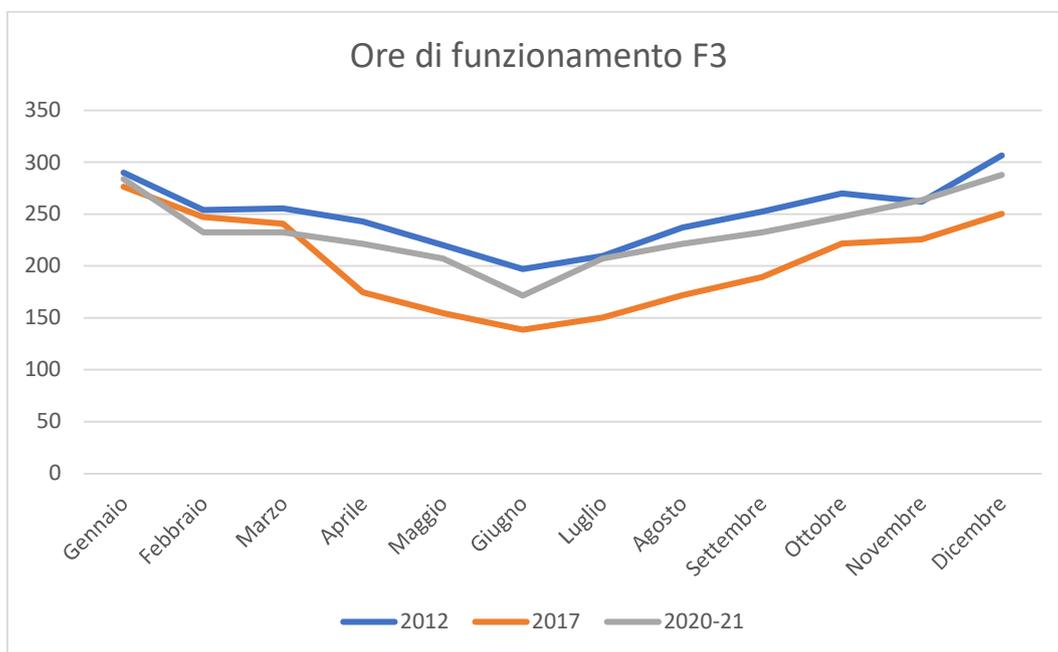


Figura 26 – Andamento delle ore di funzionamento annue in fascia F3, distinte per periodo di riferimento considerato

Seguendo l'andamento generale, l'orologio web CELS introduce miglioramenti evidenti soprattutto nella gestione degli impianti in fascia F3¹³ poiché, essendo collegato al web, riesce realmente a ritardare l'accensione/ anticipare lo spegnimento secondo le reali esigenze del momento.

3.4. Il perimetro di analisi di dettaglio

La Tabella 33 di seguito riassume quanto emerso dai confronti eseguiti nella fase di pre-analisi e dalle considerazioni effettuate sulle ore/anno di funzionamento degli impianti: per ogni quadro elettrico viene indicato se l'impianto è da scartarsi o da tenersi per le analisi successive, con le relative motivazioni.

Q.E.	SCELTA FINALE	
	Impianto con dati coerenti dal 2012 in poi da usare per analisi successive	Motivazione
100	SI	Dati coerenti.
101	SI	Dati coerenti.

¹² Da lunedì a venerdì, ore 07-08, 19-23; sabato, ore 07-23.

¹³ Da lunedì a sabato, ore 00-07, 23-24; domenica 00-24.

102	SI	Dati coerenti.
103	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014, installata PRE-LED.
104	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e PRE-LED. Per lo stato a LED troppa differenza tra potenza installata e rilevata da bollette.
105	SI	OK, cambia la potenza installata per il censimento 2014 rispetto al pre-LED perché è aumentata la potenza delle lampade installate.
106	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014, installata PRE-LED. Per lo stato a LED, troppa differenza tra potenza installata e rilevata da bollette, per potenze lampade dichiarate nel censimento non certe.
107	SI	OK con normalizzazione, la differenza tra la potenza installata 2014 e PRE-LED è dovuta all'aggiunta di 1 lampada allo stato PRE-LED.
108	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014, installata PRE-LED.
109	SI	Dati coerenti.
110	SI	Dati coerenti.
111	SI	OK con normalizzazione, cambia la potenza installata per il censimento 2014 rispetto al pre-LED perché è aumentata la potenza delle lampade installate.
112	Impianto da scartare	Dato ore/anno 2012-14 basso (2989,3), possibile funzionamento anomalo dell'impianto nel 2012-14.
113	SI	OK, cambia la potenza installata per il censimento 2014 rispetto al pre-LED perché è aumentata la potenza delle lampade installate.
114	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014 e installata PRE-LED; inoltre mancano dati di consumo per il 2014.
115	SI	Dati coerenti.
116	SI	Dati coerenti.
117	Impianto da scartare	Mancano dati di consumo per il 2014.
118	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e misurata 2014. Anche dato ore/anno 2012-14 basso (3501,9).
119	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e misurata 2014.
120	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014 e installata PRE-LED.
121	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria misurata 2014, installata 2014 e installata PRE-LED. Per lo stato a LED, troppa differenza tra potenza installata e rilevata da bollette, per la presenza di carichi esogeni.
122	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e misurata 2014.
123	SI	OK con normalizzazione.
124	SI	Dati coerenti.

125	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e misurata 2014.
126	SI	OK con normalizzazione, cambia la potenza installata per il censimento 2014 rispetto al pre-LED perché è diminuita la potenza delle lampade installate nel pre-LED.
127	Impianto da scartare	Troppa differenza tra potenza media unitaria installata 2014 e misurata 2014. Inoltre, mancano i dati di consumo per il 2020.
128	Impianto da scartare	Cambiato l'assetto del quadro: nel progetto a LED si aggiunge un quadro esterno e il numero di lampade cambia significativamente. Dato ore/anno 2012-14 basso (3327,4). Per lo stato a LED modifica significativa dell'assetto impiantistico.
129	SI	Tutto OK; probabilmente nel 2014 alcune lampade erano spente e la potenza rilevata è un po' più bassa di quella installata.
130	SI	OK, con normalizzazione.
131	SI	OK, con normalizzazione.
132	Impianto da scartare	Da scartare per analisi ore, per mancanza dati di consumo per il 2014. Da utilizzare per sola analisi CONSUMI ENERGETICI.
133	Impianto da scartare	Da scartare per analisi ore, per mancanza dati di consumo per il 2014. Da utilizzare per sola analisi CONSUMI ENERGETICI.
134	Impianto da scartare	Da scartare per analisi ore, per mancanza dati di consumo per il 2014. Da utilizzare per sola analisi CONSUMI ENERGETICI.
30002	Impianto da scartare	Da scartare per analisi ore, per mancanza dati di consumo per il 2014. Da utilizzare per sola analisi CONSUMI ENERGETICI.
135	Impianto da scartare	Da scartare per analisi ore, per mancanza dati di consumo per il 2014. Da utilizzare per sola analisi CONSUMI ENERGETICI.

Tabella 33 – Sintesi delle considerazioni emerse nella fase di pre-analisi

Gli impianti con quadro elettrico identificativo numero 132, 133, 134, 30002, 135 mancano delle bollette per il 2012, indi per cui verranno analizzati soltanto per quanto riguarda i consumi energetici e limitatamente a due degli anni presi a riferimento, il 2017 e il 2020-21, di cui sono disponibili i dati di consumo.

3.5. I consumi energetici normalizzati degli impianti IP oggetto di analisi di dettaglio

La caratterizzazione dell'illuminazione pubblica del Comune di Buttigliera Alta prosegue con l'analisi dei consumi energetici degli impianti presenti nel territorio comunale, nei tre periodi di studio in esame.

Per la valutazione dei consumi energetici è stato necessario effettuare delle normalizzazioni in modo da rendere il confronto omogeneo negli anni. In particolare, dopo aver analizzato i dati di consumo mensili messi a nostra disposizione dal Comune, si è ritenuto opportuno di procedere nel modo seguente, differenziando le normalizzazioni per i tre periodi in esame:

- Per il periodo 2012-14 i dati trasmessici dal Comune sono stati normalizzati secondo il numero di lampade installate negli impianti allo stato pre-LED. Infatti, i dati di consumo per questo periodo sono relativi all'anno 2012 ma, nel tempo, è cambiato il numero di lampade presenti in ogni impianto quindi, per confrontare in modo omogeneo la situazione prima del passaggio a LED (periodo 2012-14 vs 2017), il numero di lampade presenti nel 2012 è stato rapportato a quello indicato nel censimento pre-LED (riferito all'anno 2017). In questo modo, sono stati derivati i consumi al 2012 normalizzati, rispetto alla situazione pre-LED; in formule:

$$C_{2012,normalizzati} = C_{2012} \frac{n_{pre-LED}}{n_{2014}}$$

In cui:

- $C_{2012,normalizzati}$ sono i consumi al 2012 normalizzati, in kWh;
- C_{2012} sono i consumi al 2012, trasmessici dal Comune, in kWh;
- $n_{pre-LED}$ è il numero di lampade riportato nel censimento del progetto per il passaggio a LED, eseguito nel 2020; è anche il numero di lampade associato al censimento relativo all'anno 2017;
- n_{2014} è il numero di lampade da censimento comunale, fatto per l'anno 2014.

Poiché in Tabella 15 sono riportati i consumi trasmessici dal Comune, relativi all'anno 2012, per completezza di analisi si riportano anche i consumi al 2012 normalizzati alla situazione pre-LED, derivati per questo confronto finale.

In questo caso, si riportano direttamente i consumi dei soli 17 impianti che sono stati ritenuti affidabili per queste valutazioni energetiche successive.

Q.E.	POD	n 2014	n pre-LED	Totale consumi annui
				[kWh/anno]
100	IT001E01536690	17	17	12222
101	IT001E01249239	12	14	6272
102	IT001E01536694	38	38	16675
105	IT001E01527954	33	33	15115
107	IT001E01249184	13	14	9088
109	IT001E01528227	58	58	27534
110	IT001E01527955	15	15	9709

111	IT001E01536688	10	8	3363
113	IT001E01536687	25	25	11472
115	IT001E04955523	11	11	4817
116	IT001E01536692	13	13	4832
123	IT001E00662869	42	50	38051
124	IT001E01530938	16	16	9246
126	IT001E01536693	4	5	5839
129	IT001E01249183	11	11	4684
130	IT001E00255906	26	28	16340
131	IT001E01249233	32	45	32330

Tabella 34 – Consumi energetici relativi al 2012 normalizzati alla situazione pre-LED

- Per l'anno 2017, e come già anticipato nel paragrafo 3.2 dei confronti, la normalizzazione è implicita in quanto, avendo a disposizione soltanto le ore di funzionamento degli impianti registrate da datalogger, la potenza installata viene fatta coincidere con quella relativa al censimento pre-LED. I consumi energetici, poi, sono derivati moltiplicando la potenza per le ore di funzionamento e, quindi, sono già riferiti al periodo pre-LED. In definitiva, i consumi energetici normalizzati per l'anno 2017 sono gli stessi riportati in Tabella 16.
- Per gli anni 2020-21, e come riportato in Tabella 35, il numero di lampade (rispetto alla situazione finale di cantiere) si è mantenuto costante rispetto alla situazione pre-LED per tutti i quadri elettrici, eccetto che per i Q.E. 107, 110 e 131, per i quali, comunque, è variato di poco.

Q.E.	POD	N lampade, pre-LED	N lampade, 2020-21
100	IT001E01536690	17	17
101	IT001E01249239	14	14
102	IT001E01536694	38	38
105	IT001E01527954	33	33
107	IT001E01249184	14	13
109	IT001E01528227	58	58
110	IT001E01527955	15	17
111	IT001E01536688	8	8
113	IT001E01536687	25	25
115	IT001E04955523	11	11
116	IT001E01536692	13	13
123	IT001E00662869	50	50
124	IT001E01530938	16	16
126	IT001E01536693	5	5
129	IT001E01249183	11	11
130	IT001E00255906	28	28
131	IT001E01249233	45	46
132	IT001E02020752	7	7
133	IT001E02015394	3	3

134	IT001E02015397	4	4
30002	IT001E02225488	40	40
135	IT001E02657085	16	16

Tabella 35 – Confronto numero di lampade presenti nel periodo pre-LED vs 2020-21

In questo caso, la normalizzazione dei consumi è fatta considerando la data in cui l'impianto ha completato il passaggio a LED: come riportato in Tabella 19, infatti, non tutti gli impianti hanno concluso la transizione alla tecnologia a LED nell'ottobre del 2020.

Di conseguenza, per i mesi in cui l'impianto presenta ancora lampade vetuste, la potenza rilevata dal flusso dati non rispecchia lo stato a LED e, quindi, per allineare lo studio, viene fatta coincidere con la potenza registrata nel mese in cui è avvenuto il passaggio allo stato a LED. Parallelamente, i consumi reali riportati per gli stessi mesi dal flusso dati del fornitore di energia elettrica devono essere normalizzati rispetto alle stesse potenze. In formule:

$$C_{2020-21,normalizzati} = C_{reali} \frac{P_{LED}}{P_{ante-LED}}$$

Dove:

- $C_{2020-21,normalizzati}$ sono i consumi normalizzati per i soli mesi in cui l'impianto non aveva ancora completato il passaggio a LED;
- C_{reali} sono i consumi reali riportati dal flusso dati del fornitore di energia elettrica;
- P_{LED} è la potenza registrata nel mese in cui l'impianto ha completato il passaggio allo stato a LED;
- $P_{ante-LE}$ è la potenza relativa al mese considerato, in cui ancora non erano presenti gli apparecchi a LED.

Poiché in Tabella 19 sono riportati i consumi reali per il periodo 2020-21, per completezza di analisi si presenta anche l'estrapolazione annuale dei consumi normalizzati derivati per lo stesso periodo, seguendo le linee esposte sopra.

Q.E.	Mese passaggio a LED	Normalizzazione	P		Totale consumi annui
			ante-LED	PLED	
			[kW]	[kW]	[kWh/anno]
100	Ottobre	Non necessaria	0,58		2258
101	Ottobre	Non necessaria	0,42		1716
102	Novembre	SI, per mese ottobre	1,39	1,43	5829
105	Dicembre	SI, per mese ottobre e novembre	0,96	0,85	3690
107	Ottobre	Non necessaria	0,49		2003
109	Ottobre	Non necessaria	2,07		8408
110	Ottobre	Non necessaria	1,01		3934
111	Ottobre	Non necessaria	0,28		1162
113	Ottobre	Non necessaria	0,85		3411

115	Ottobre	Non necessaria	0,38	1561	
116	Ottobre	Non necessaria	0,45	1844	
123	Ottobre	Non necessaria	4,52	18257	
124	Novembre	SI, per mese ottobre	2,052	0,52	2056
126	Ottobre	Non necessaria	0,32	1260	
129	Ottobre	Non necessaria	0,35	1443	
130	Ottobre	Non necessaria	1,65	6420	
131	Ottobre	Non necessaria	2,70	10709	
132	Ottobre	Non necessaria	0,44	1819	
133	Ottobre	Non necessaria	0,09	378	
134	Ottobre	Non necessaria	0,14	575	
30002	Novembre	SI, per mese ottobre	1,58	0,85	3135
135	Ottobre	Non necessaria	1,06	4316	

Tabella 36 – Consumi energetici relativi al periodo 2020-21, normalizzati rispetto alla potenza installata dello stato a LED

Di seguito, si riporta un prospetto riepilogativo dei consumi energetici annui normalizzati che hanno caratterizzato gli impianti nei tre periodi di riferimento, con indicato lo scostamento percentuale di un periodo rispetto al precedente.

Si ricorda che, nelle analisi esposte finora, gli impianti oggetto di studio erano i primi 17 riportati in Tabella 37. Per la valutazione dei consumi energetici si aggiungono anche gli ultimi 5 impianti, dal 132 al 135, di cui, non avendo i dati di consumo riferiti all'anno 2012, lo studio si limita ai periodi di riferimento 2017 e 2020-21. Ne consegue che, per questi 5 impianti, non è possibile valutare lo scostamento dei consumi rispetto al 2012-14 e, conseguentemente, risulterà significativo soltanto lo scostamento relativo al 2017.

Q.E.	POD	Periodo di riferimento	Totale consumi annui	Scostamento % vs 2012-14	Scostamento % vs 2017
			[kWh/anno]	[%]	[%]
100	IT001E01536690	2012-normalizzato	12222		
		2017-normalizzato	11739	-3,95%	
		2020-21	2258	-81,5%	-80,8%
101	IT001E01249239	2012-normalizzato	6272		
		2017-normalizzato	6445	2,76%	
		2020-21	1716	-72,6%	-73,4%
102	IT001E01536694	2012-normalizzato	16675		
		2017-normalizzato	16112	-3,38%	
		2020-21-normalizzato	5829	-65,0%	-63,8%
105	IT001E01527954	2012-normalizzato	15115		
		2017-normalizzato	17033	12,69%	
		2020-21-normalizzato	3690	-75,6%	-78,3%
107	IT001E01249184	2012-normalizzato	9088		
		2017-normalizzato	9667	6,37%	
		2020-21	2003	-78,0%	-79,3%

109	IT001E01528227	2012- normalizzato	27534		
		2017- normalizzato	37633	36,68%	
		2020-21	8408	-69,5%	-77,7%
110	IT001E01527955	2012-normalizzato	9709		
		2017-normalizzato	8866	-8,68%	
		2020-21	3934	-59,5%	-55,6%
111	IT001E01536688	2012- normalizzato	3363		
		2017- normalizzato	5985	77,94%	
		2020-21	1162	-65,4%	-80,6%
113	IT001E01536687	2012- normalizzato	11472		
		2017- normalizzato	17263	50,48%	
		2020-21	3411	-70,3%	-80,2%
115	IT001E04955523	2012-normalizzato	4817		
		2017-normalizzato	5064	5,12%	
		2020-21	1561	-67,6%	-69,2%
116	IT001E01536692	2012- normalizzato	4832		
		2017- normalizzato	5418	12,13%	
		2020-21	1844	-61,8%	-66,0%
123	IT001E00662869	2012- normalizzato	38051		
		2017- normalizzato	34526	-9,26%	
		2020-21	18257	-52,0%	-47,1%
124	IT001E01530938	2012-normalizzato	9246		
		2017-normalizzato	9207	-0,42%	
		2020-21-normalizzato	2056	-77,8%	-77,7%
126	IT001E01536693	2012- normalizzato	5839		
		2017- normalizzato	3453	-40,87%	
		2020-21	1260	-78,4%	-63,5%
129	IT001E01249183	2012-normalizzato	4684		
		2017-normalizzato	5064	8,11%	
		2020-21	1443	-69,2%	-71,5%
130	IT001E00255906	2012- normalizzato	16340		
		2017- normalizzato	18414	12,69%	
		2020-21	6420	-60,7%	-65,1%
131	IT001E01249233	2012-normalizzato	32330		
		2017-normalizzato	30134	-6,79%	
		2020-21	10709	-66,9%	-64,5%
132	IT001E02020752	2012- normalizzato	-		
		2017- normalizzato	4834	-	
		2020-21	1819	-	-62,4%
133	IT001E02015394	2012-normalizzato	-		
		2017-normalizzato	497	-	
		2020-21	378	-	-24,0%
134	IT001E02015397	2012- normalizzato	-		
		2017- normalizzato	663	-	
		2020-21	575	-	-13,3%
30002	IT001E02225488	2012-normalizzato	-		
		2017-normalizzato	9253	-	

		2020-21-normalizzato	3135	-	-66,1%
135	IT001E02657085	2012-normalizzato	-		
		2017-normalizzato	10818	-	
		2020-21	4316	-	-60,1%

Tabella 37 – Sintesi e scostamenti nel tempo dei consumi energetici annui dei 17+5 impianti risultati attendibili

Con l'introduzione dell'orologio astronomico web CELS nel 2017, i consumi energetici degli impianti rispetto al 2012-14 mutano a causa della variazione delle ore di funzionamento degli stessi. Infatti, riprendendo ciò che avevamo anticipato nel paragrafo 3.3, le ore di accensione degli impianti influenzano inevitabilmente i consumi energetici annui.

Se consideriamo i periodi 2012-14 e 2017, caratterizzati dalla stessa tipologia di apparecchi presenti, gli scostamenti delle ore di accensione, registrati per il 2017 rispetto al 2012-14, dovrebbero coincidere con gli scostamenti dei consumi energetici, derivati per gli stessi periodi, in virtù del fatto che abbiamo operato attraverso delle normalizzazioni. Qualora questa relazione non sussista, nonostante le normalizzazioni effettuate per portare il 2012-14 allo stato pre-LED, coincidente con l'anno 2017, significa che la potenza rilevata al 2012 risente di errori di misurazione verosimilmente collegati al fatto che, al momento del rilievo, alcune lampade erano spente (motivo per cui alcuni impianti sono stati esclusi dalla analisi).

Peraltro, considerata l'attenzione al risparmio energetico del Comune di Buttigliera Alta pregressa all'installazione dell'orologio astronomico web CELS, quest'ultimo (sperimentato inizialmente nel Comune stesso) non ha introdotto riduzioni rilevanti: in altre esperienze successive, infatti, i vantaggi sono stati maggiori dal momento che gli impianti operavano precedentemente intorno alle 4300-4400 ore di funzionamento all'anno.

Per il periodo 2020-21 non si può non considerare che la riduzione di orario impostata sull'orologio astronomico, tarato con un off-set di ± 20 minuti/giorno (ritardo nell'accensione e anticipo nello spegnimento), è pari a 0,67 ore/giorno, e a 243 ore/anno, cioè il 6% delle ore medie di accensione annue (4000 ore/anno di funzionamento medio).

Dall'altra parte, la sostituzione delle lampade con sorgenti a LED nel 2020-21 è l'intervento che fa registrare un'evidente diminuzione dei consumi energetici rispetto sia al 2012-14 che al 2017, indipendentemente dal sistema di temporizzazione installato (le ore di funzionamento nei tre periodi in esame non sono poi molto diverse). In questo caso, quindi, la variazione dei consumi registrata per l'anno 2020-21 non dipende tanto dalle ore di funzionamento degli impianti, quanto piuttosto dalla potenza delle nuove lampade installate.

A titolo esemplificativo, si riporta quanto esposto sopra sottoforma di grafico, per i quadri elettrici 100 e 102, presi come impianti campione.

Periodo	Q.E.	POD	Scostamento ore	Scostamento consumi
2017 vs 2012-14	100	IT001E01536690	-4,03%	-3,95%
2020-21 vs 2017			-1,99%	-80,8%

Tabella 38 – Incidenza variazione ore sui consumi, per il Q.E. 100



Figura 27 – Incidenza della variazione delle ore sui consumi, per il Q.E. 100

Se per il primo confronto, 2017 vs 2012, la variazione dei consumi energetici dipende unicamente dalla diminuzione delle ore di funzionamento reali dell'impianto, per il secondo confronto (2020-21 vs 2017) le ore incidono soltanto per il 2,46% sulla riduzione dei consumi.

Periodo	Q.E.	POD	Scostamento ore	Scostamento consumi
2017 vs 2012-14	102	IT001E01536694	-3,38%	-3,38%
2020-21 vs 2017			2,10%	-63,8%

Tabella 39 – Incidenza variazione ore su consumi energetici, per il Q.E. 102



Figura 28 – Incidenza della variazione delle ore sui consumi, per il Q.E. 102

Anche per il quadro elettrico 102, nel primo confronto (2017 vs 2012-14) la variazione delle ore influenza totalmente la diminuzione dei consumi energetici; nel secondo confronto (2020-21 vs 2017), invece, essa influisce in modo negativo, facendo di fatto aumentare i consumi del 2,10%.

Per l'anno 2020-21, è possibile eseguire valutazioni aggiuntive rispetto al 2017, riprendendo le analisi già elaborate nel progetto esecutivo per la sostituzione delle lampade con sorgenti a LED.

Infatti, da questo documento trasmessoci è possibile rilevare lo scostamento stimato dei consumi energetici valutato per il 2020-21 rispetto al 2017: ciò risulta essere un valido termine di paragone per questo studio, poiché lo scostamento riportato in Tabella 37 è relativo ai consumi reali, mentre quello derivato dal progetto è relativo ad una stima dei consumi fatta rispetto alla variazione delle potenze installate, dal 2017 al 2020-21.

In Tabella 40 è possibile notare come le stime effettuate da progetto esecutivo, e basate solo sulla variazione della potenza installata per ogni impianto, siano molto vicine a ciò che succede nella realtà. Per la precisione, i consumi energetici annui reali risultano essere un po' più bassi rispetto a quelli stimati (eccetto che per i Q.E. 102, 115, 126, 129, 132 e 135), benché comunque i due valori si avvicinino molto.

Q.E.	POD	Scostamento % consumi reali 2020-21 vs 2017	Scostamento % consumi stimati da progetto esecutivo 2020-21 vs 2017	Differenza scostamento % tra consumi stimati e consumi reali
		[%]	[%]	[%]
100	IT001E01536690	-80,8%	-79,2%	1,57%
101	IT001E01249239	-73,4%	-69,5%	3,88%
102	IT001E01536694	-63,8%	-64,4%	-0,56%
105	IT001E01527954	-78,3%	-76,6%	1,77%
107	IT001E01249184	-79,3%	-79,2%	0,09%
109	IT001E01528227	-77,7%	-73,9%	3,71%
110	IT001E01527955	-55,6%	-54,2%	1,44%
111	IT001E01536688	-80,6%	-80,2%	0,42%
113	IT001E01536687	-80,2%	-79,2%	1,05%
115	IT001E04955523	-69,2%	-69,5%	-0,32%
116	IT001E01536692	-66,0%	-60,8%	5,2%
123	IT001E00662869	-47,1%	-48,2%	1,05%
124	IT001E01530938	-77,7%	-76,9%	0,77%
126	IT001E01536693	-63,5%	-64,2%	-0,66%
129	IT001E01249183	-71,5%	-74,6%	-3,07%
130	IT001E00255906	-65,1%	-64,9%	0,21%
131	IT001E01249233	-64,5%	-62,6%	1,83%
132	IT001E02020752	-62,4%	-64,2%	-1,79%
133	IT001E02015394	-24,0%	-16,7%	7,3%
134	IT001E02015397	-13,3%	-	-
30002	IT001E02225488	-66,1%	-34,1%	32,0%
135	IT001E02657085	-60,1%	-60,8%	-0,70%

Tabella 40 – Confronto tra scostamento reale e stimato da progetto esecutivo dei consumi energetici del 2020-21 vs 2017

In totale, il valore medio percentuale di risparmio del periodo 2020-21, desunto dalle bollette, rispetto al 2017 è pari a 67,85% che, differenziato deducendo la quota relativa alle ore di funzionamento annue, arriva a 68,73% (l'aumento delle ore di funzionamento reali nel 2020-21 rispetto al 2017 si ripercuote in modo negativo sui consumi, facendoli aumentare).

Assumendo, dalle ultime bollette del 2020-21, che la spesa annua degli impianti considerati come campione sia pari a 18.094,32 €/anno, il valore medio di risparmio rispetto al 2017 (differenziato aggiungendo la quota % relativa all'aumento delle ore di funzionamento) è di 38.190 €/anno (al netto orario di funzionamento 39.765 €/anno). Tale valore, esteso in base alle potenze di tutti gli impianti oggetto del progetto di trasformazione a LED, fa valutare il risparmio complessivo pari a 71.349 €/anno (al netto orario di funzionamento 74291 €/anno) e sarà da utilizzare nella valutazione dei tempi di ritorno dell'intervento.

Valutazioni analoghe a quelle sopra presentate per i consumi energetici, possono essere fatte per le potenze caratterizzanti ogni impianto, sempre per il periodo di riferimento 2020-21.

In particolare, per definire la qualità/performance delle apparecchiature a LED presenti negli impianti, è possibile confrontare la potenza installata in ogni quadro elettrico, dichiarata a fine cantiere, con la potenza media reale di ogni impianto, ottenuta dividendo i consumi energetici deducibili dalle bollette con le ore di funzionamento reali, definite in Tabella 29. In sintesi:

Q.E.	POD	Potenza media reale da consumi	Potenza installata da Progetto	Differenza % P media reale vs installata
		[kW]	[kW]	[%]
100	IT001E01536690	0,56	0,64	-13,0%
101	IT001E01249239	0,43	0,53	-19,7%
102	IT001E01536694	1,44	1,53	-5,7%
105	IT001E01527954	0,91	1,02	-10,4%
107	IT001E01249184	0,50	0,49	0,9%
109	IT001E01528227	2,08	2,50	-16,8%
110	IT001E01527955	0,97	1,03	-4,9%
111	IT001E01536688	0,29	0,30	-4,8%
113	IT001E01536687	0,84	0,94	-10,6%
115	IT001E04955523	0,39	0,42	-7,0%
116	IT001E01536692	0,46	0,52	-12,0%
123	IT001E00662869	4,52	4,71	-3,9%
124	IT001E01530938	0,51	0,54	-5,9%
126	IT001E01536693	0,31	0,33	-4,1%
129	IT001E01249183	0,36	0,35	3,1%
130	IT001E00255906	1,59	1,71	-7,2%
131	IT001E01249233	2,65	2,67	-0,5%
132	IT001E02020752	0,45	0,46	-1,1%
133	IT001E02015394	0,09	0,10	-0,9%
134	IT001E02015397	0,14	0,15	-5,8%
30002	IT001E02225488	0,78	0,93	-16,4%
135	IT001E02657085	1,07	1,11	-3,6%

Tabella 41 – Confronto tra potenza media reale derivata dai consumi energetici vs potenza installata, 2020-21

La linea di tendenza di Tabella 41 è analoga a quella desumibile dalla Tabella 40, per cui la potenza assorbita realmente da ogni impianto risulta essere inferiore a quella installata, a testimonianza di una buona qualità delle apparecchiature installate; si discostano da questo comportamento soltanto i Q.E. 107 e 129, che richiederebbero un approfondimento.

In alcuni casi (si veda, ad esempio, il Q.E. 101) invece questa differenza è anche piuttosto significativa in segno negativo, per cui, per aumentare i risparmi energetici, potrebbe essere proposto di rivedere le potenze installate, allineando gli impianti alle reali esigenze di funzionamento.

3.6. Considerazioni finali

Spostando la valutazione sul piano economico, è possibile eseguire un'analisi qualitativa dei risparmi monetari conseguibili attraverso le azioni migliorative avviate negli anni negli impianti di illuminazione pubblica comunali di Buttigliera Alta.

L'introduzione, nell'anno 2017, dell'orologio astronomico web CELS, dotato di datalogger, ha una spesa di investimento iniziale bassa e, contemporaneamente, ottimizza i tempi di funzionamento degli impianti, raggiungendo un risparmio energetico che si ripercuote, inevitabilmente, anche sul piano economico. Il datalogger integrato, inoltre, permette di conoscere i reali consumi energetici degli impianti e di rilevare eventuali anomalie nei censimenti degli stessi.

Come abbiamo già evidenziato in precedenza, tuttavia, la diminuzione delle ore di funzionamento e, quindi, dei consumi energetici a seguito dell'introduzione dell'orologio astronomico web CELS, è poco significativa nel caso di Buttigliera Alta (una media di -2,9% nelle ore di funzionamento, rispetto al periodo precedente con orologio crepuscolare tradizionale) e, conseguentemente, anche il risparmio economico raggiunto sarà poco rilevante (in generale, invece, il risparmio percentuale ottenuto in altri contesi similari è del 6-10%).

L'introduzione di orologi astronomici web, si presenta come un'azione migliorativa di breve periodo, con tempi di ritorno entro i 12-18 mesi dall'installazione dell'apparecchio, grazie soprattutto al basso costo dell'investimento iniziale del sistema di temporizzazione.

La sostituzione degli apparecchi vetusti con sorgenti a LED ha tempi di ritorno maggiori rispetto alla sostituzione del sistema gestionale, a causa della più alta spesa per l'investimento iniziale. In genere, per intraprendere questo tipo di azione migliorativa, le giunte regionali emettono bandi che sostengono, dal punto di vista economico, l'efficientamento della pubblica illuminazione e, in particolar modo, la sostituzione degli apparecchi presenti con sorgenti a LED.

Nel caso specifico del rifacimento degli impianti comunali di Buttigliera Alta con sorgenti a LED (ultimato nell'ottobre del 2020) avente un importo complessivo pari a 572.665,04 €, la partecipazione al bando della Regione emesso nel 2018 e chiuso a fine maggio del 2019, ha reso l'ente pubblico beneficiario di un contributo massimo di 400.000 €, con il vincolo temporale di ultimazione del progetto entro un anno.

L'importo complessivo dell'intervento, in seguito al ribasso di gara, alla perizia di variante, ammonta a 463.816,01 €, di cui 333.228,27 € finanziati dalla Regione Piemonte (contributo rimodulato in seguito al ribasso di gara) ed i rimanenti 130.587,74 € a carico del Comune stesso, beneficiario dell'agevolazione; in base ai risparmi reali ottenuti, i tempi di ritorno sono:

- Riferendosi al complesso apparecchi a LED+orologio astronomico tarato con -20 minuti/giorno (cioè con 6% circa dovuto a orologio astronomico) 6,5 anni;
- Riferendosi alla sola sostituzione con apparecchi a LED 6,2 anni.

Da notare come la sostituzione dei corpi illuminanti contestuale al ritorno all’orologio astronomico abbia tempi di ritorno maggiori poiché, di fatto, per il periodo 2020-21 si è adottato un sistema gestionale peggiore rispetto a quello precedentemente installato (orologio astronomico web CELS). La sostituzione dei corpi illuminanti con apparecchi a LED si presenta come una soluzione a positiva azione orizzontale, da continuare: è importante proseguire negli appalti per illuminazione pubblica del CONSIP¹⁴ e/o sostenuti da bandi regionali, che mirino al rifacimento degli impianti vetusti, con sorgenti più efficienti, a LED.

3.6.1. Funzionamento dell’orologio astronomico

In questa sezione, viene analizzato il funzionamento degli orologi astronomici installati a bordo palo negli impianti di illuminazione pubblica comunale di Buttigliera Alta nell’ottobre del 2020, contestualmente alla sostituzione delle sorgenti presenti con apparecchi a LED.

La qualità degli orologi astronomici presenti negli impianti è studiata rapportando le ore di funzionamento degli stessi, corrispondenti alle ore di accensione degli impianti ricavate in Tabella 32, con gli orari di crepuscolare civile relativi alla località di Buttigliera Alta, nel periodo di studio compreso tra ottobre 2020 e giugno 2021.

Mese	Ore di accensione impianti 2020-21	Orari di crepuscolare	Scostamento 2020-21 vs crepuscolare	Valore medio scostamento	Scostamento vs valore medio
	[ore/mese]	[ore/mese]	[%]	[%]	[%]
Ottobre	382	324	17,8%	18,7%	-1,0%
Novembre	435	357	21,8%		3,0%
Dicembre	446	403	10,6%		-8,1%
Gennaio	430	376	14,4%		-4,3%
Febbraio	352	304	16,0%		-2,8%
Marzo	343	307	11,8%		-7,0%
Aprile	287	244	17,4%		-1,3%
Maggio	262	201	30,5%		11,7%
Giugno	209	163	28,4%		9,7%

Tabella 42 – Funzionamento dell’orologio astronomico rispetto alle ore di crepuscolare civile

Come è possibile notare dalla Tabella 42, l’orologio astronomico lavora sempre più rispetto agli orari di crepuscolare civile: si ricorda, infatti, che l’accensione degli impianti di illuminazione pubblica è

¹⁴ CONSIP (CONcessionaria Servizi Informativi Pubblici) è una società per azioni il cui unico azionista è il Ministero dell’economia e delle finanze del governo italiano; è la centrale acquisti della pubblica amministrazione italiana.

calibrata con un anticipo di 20 minuti al giorno ed un ritardo di pari entità nello spegnimento, per tutti i mesi dell'anno, per garantire maggiore illuminazione ai cittadini e rispondere a possibili effetti climatici locali (ad esempio, la nuvolosità).

Ricavando il valore medio degli scostamenti, pari al 18,7%, è poi possibile analizzare quando la differenza di funzionamento dell'orologio astronomico rispetto al crepuscolare risulti particolarmente evidente se rapportata alla media: nei mesi di maggio e di giugno.

Generalizzando i risultati ottenuti, appare evidente come il comportamento degli impianti devii dalla tendenza media con l'allungarsi delle giornate e la conseguente riduzione delle ore di accensione degli stessi. Infatti, poiché gli off-set di 20 minuti al giorno sull'accensione e sullo spegnimento degli impianti sono impostati in modo univoco durante tutto l'anno, per i mesi estivi che registrano una minor durata del crepuscolare civile gli off-set incidono maggiormente sulle ore di funzionamento degli impianti. In questo modo, anche lo scostamento rispetto agli orari di crepuscolare civile e, poi, rispetto al valore medio calcolato, risulta essere più alto.

Sarebbe interessante valutare se per i suddetti mesi in cui vige l'ora legale (da aprile a ottobre), di fatto quelli in cui le ore di luce sono maggiori e quelle di crepuscolare si riducono, possa essere proposta una riduzione nei minuti di off-set, per adattare il comportamento degli impianti alla media degli altri mesi, pur mantenendo le giuste condizioni di illuminazione atte a garantire la sicurezza del cittadino.

Strettamente collegate ai risparmi energetici ed economici conseguibili, vi sono le opere di mantenimento nel tempo dell'efficienza del sistema di temporizzazione installato, finalizzate a scongiurare il fenomeno della "deriva".

Nel caso specifico di Buttigliera Alta, in cui sono montati a bordo palo gli orologi astronomici sopra analizzati, questi, si ricorda, di fatto sono orologi tradizionali al cui interno è presente un software in grado di geolocalizzarsi, riconoscendo la latitudine e la longitudine del luogo in cui è installato e, quindi, individuando gli orari locali di alba e tramonto.

Ogni orologio astronomico riporta un grado di tolleranza, valutato in condizioni di laboratorio (a temperatura pari a 25°C, e umidità controllata intorno al 50-60%) pari a circa 1-2%; questi valori contraddistinguono anche le tecnologie più economiche ma sono relativi a valutazioni fatte in condizioni di funzionamento ottimale e su un apparecchio nuovo.

Nella realtà, infatti, l'orologio astronomico montato a bordo palo si ritrova a lavorare in condizioni di temperatura e umidità sicuramente più estreme per cui anche la tolleranza ne risente, arrivando a valori del 3-4% (anche l'usura contribuisce al decadimento di tale sistema fisico). Oggettivamente sono comunque valori bassi che, però, diventano non trascurabili nel tempo, poiché i secondi di

ritardo derivanti si sommano, facendo accumulare minuti e decine di minuti di ritardo. Di qui, la necessità di risincronizzare gli orologi con cadenza almeno annuale, per scongiurare che il ritardo accumulato possa inficiare le prestazioni gestionali degli impianti di illuminazione pubblica comunali.

L'orologio astronomico, tuttavia, è un dispositivo di difficile sincronizzazione poiché richiede di conoscere il funzionamento che lo governa e, a tal proposito, è difficile trovare uno specialista del settore tra gli uffici comunali. La sincronizzazione dell'orologio astronomico, poi, è diversa a seconda dell'azienda produttrice: spesso necessita di una prob¹⁵ specialistica e, nel migliore dei casi, basta uno smartphone.

In aggiunta, la maggior parte degli orologi astronomici è equipaggiata di batteria tampone al litio in modo tale che, in caso di mancanza di corrente, i dati primari possano essere salvati. Anche la batteria al litio però deve essere mantenuta perché non ha durata infinita (in genere la vita utile è intorno ai 5 anni) e, quindi, deve esserne prevista la sostituzione ogni tot anni.

Presentando come esempio gli orologi astronomici installati a Buttigliera Alta, occorre inoltre rilevare che in occasione della sostituzione degli apparecchi con sorgenti a LED, questi, benché nuovi, erano inizialmente tutti settati sfasati l'uno dall'altro. Nel novembre 2020, quindi, uno specialista ha provveduto alla programmazione degli stessi in modo tale da sincronizzare più o meno bene tutti gli impianti tra loro. Ad oggi, dopo soli otto mesi trascorsi, è possibile notare (fonte pi Collesei), di nuovo, differenze di accensione abbastanza significative, intorno ai 10 secondi di ritardo tra un impianto e l'altro.

È quindi importante sottolineare che l'installazione di sistemi di temporizzazione per la gestione impiantistica deve accompagnarsi con la loro manutenzione periodica, per garantire l'efficienza degli stessi nel tempo.

A riprova di quanto sia importante la manutenzione per gli orologi astronomici, sono le indicazioni presenti in ogni progetto riguardante interventi sugli impianti di illuminazione pubblica, in cui il progettista stesso sottolinea sempre la necessità di mantenere i sistemi di temporizzazione, proprio per scongiurare il fenomeno della deriva.

¹⁵ È una chiavetta proprietaria per la programmazione degli orologi astronomici: prima si programma la chiavetta con un software specialistico e poi si programma l'orologio astronomico.

CAPITOLO 4 - Analisi di azioni migliorative future

Nell'ottica di proseguire sulla strada dell'efficientamento energetico, al fine di massimizzare la riduzione dei consumi degli impianti destinati all'illuminazione pubblica, il Comune di Buttigliera Alta potrebbe valutare l'installazione delle soluzioni gestionali all'avanguardia, che si stanno proponendo negli ultimi anni contestualmente alla nascita del concetto di *smart city* (dall'inglese, *città intelligente*).

Di fatto, i sistemi di gestione del flusso luminoso attualmente installati seguono cicli preimpostati influenzati, nel caso specifico di Buttigliera Alta, dalle coordinate geografiche del luogo in cui sono montati; questo tipo di gestione ha, però, un duplice svantaggio:

- Non garantisce il massimo della sicurezza al cittadino, poiché è frutto di valutazioni statistiche fatte rispetto agli orari di alba e tramonto della località che, talvolta, possono non rispecchiare le reali esigenze di illuminazione (si pensi, ad esempio, al caso di una giornata particolarmente nuvolosa per cui potrebbe risultare necessaria l'accensione anticipata degli impianti di illuminazione pubblica).
- Volendo essere conservativa, spesso porta ad uno spreco di energia, illuminando anche quando non realmente necessario.

Per superare gli svantaggi collegati ai sistemi di gestione basati sui cicli preimpostati, si sta affermando il concetto di illuminazione adattiva che consente il controllo intelligente del flusso luminoso, monitorando in tempo reale le condizioni di traffico, meteorologiche e di luminanza del manto stradale. In questo modo, conformemente a quanto riportato nella normativa UNI EN 11248:2016, è possibile aumentare/diminuire il flusso luminoso emesso dalla sorgente in funzione dei parametri monitorati, per garantire l'illuminazione più adatta in tempo reale.

Si stima che l'utilizzo di un sistema di illuminazione adattivo permette di ridurre il consumo energetico degli impianti di un ulteriore 25-30% su sorgenti a LED già ottimizzate con cicli di funzionamento preimpostati.

L'illuminazione adattiva è garanzia in primis di massima sicurezza per il cittadino, combinata al minimo consumo energetico e alla riduzione dell'inquinamento luminoso.



Figura 29 – Visualizzazione grafica del risparmio energetico conseguito dall'illuminazione adattiva in una giornata tipo (Fonte: www.buildingcue.it, “Illuminazione adattiva, la nuova tecnologia sviluppata da Enel X”, 2020)

Questi sistemi di illuminazione non devono essere confusi con l'*instant dimming*, cioè con quei sensori che comandano l'accensione istantanea dell'impianto di illuminazione al passaggio di veicoli/pedoni/ciclisti. Questo tipo di regolazione è frequente soprattutto nelle strade poco trafficate del nord Europa e, in Italia, in zone quali parchi, piste ciclabili o aree pedonali, in situazioni cioè in cui non c'è rischio di compromettere la sicurezza del cittadino a seguito del disagio creato dal fenomeno dell'abbagliamento.

L'illuminazione adattiva costituisce un sistema più complesso e segna l'inizio dell'era *Lighting 4.0*¹⁶, cioè dell'evoluzione della gestione smart dell'illuminazione pubblica.

Un altro vantaggio collegato all'illuminazione adattiva è la flessibilità d'uso dell'impianto, che può diventare sede di ulteriori servizi, come ad esempio impianti di sorveglianza e Wi-Fi, pannelli a messaggio variabile o altra sensoristica di monitoraggio dei parametri ambientali.

Nell'attuale presente, quindi, la linea di tendenza che si sta delineando circa gli impianti di illuminazione pubblica si preoccupa dell'ammodernamento dell'asset già esistente: i sistemi di illuminazione adattiva sono soluzioni integrabili all'impianto attuale purché la sorgente sia a LED (deve essere totalmente dimmerabile) e monitorabile da remoto, attraverso i sistemi di telecontrollo. Quindi l'ammodernamento di un impianto tradizionale attraverso i sistemi di illuminazione adattivi non richiede la modifica delle linee di alimentazione esistenti e si presenta come una trasformazione attuabile senza troppa complessità.

¹⁶ Lighting 1.0 è stato il passaggio dalle lampade al sodio a quelle a LED; il 2.0 è rappresentato dalla gestione da remoto dei singoli punti luce, grazie ai sistemi di telecontrollo; il 3.0 è segnato dall'integrazione di servizi a valore aggiunto nell'infrastruttura dell'illuminazione pubblica (telecamere di sicurezza, rete Wi-Fi, sensori per il monitoraggio dei parametri ambientali, ecc.); il Lighting 4.0 costituisce la sfida per la corretta illuminazione intelligente, garantendo la luce solo dove e quando necessario, con la miglior efficienza e qualità.

Infine, i big data raccolti dai sensori dei sistemi di illuminazione adattivi e inviati al centro di controllo del sistema di telecontrollo, viaggiano direttamente sulla rete: l'arrivo del 5G sicuramente abatterà i periodi di latenza, aumentando i volumi trasmissibili, ma non è indispensabile per queste soluzioni. Ovviamente e come per tutte le nuove tecnologie, è importante valutare la sostenibilità dell'investimento dal punto di vista economico, facendo un'analisi costi-benefici circa l'installazione dei sistemi di illuminazione adattivi. Spesso, infatti, i vantaggi economici dei nuovi sistemi non sono sufficienti a garantirne il successo, se non vi fossero ulteriori importanti benefici quali, ad esempio, la miglior qualità del servizio reso al territorio.

4.1. I sensori di movimento per l'*instant dimming*

In Italia, la regolazione del flusso luminoso per mezzo dei sensori di movimento è destinata alle aree pubbliche pedonali/ciclabili (categorie P e HS). I sensori di movimenti installati a bordo palo sono una tecnologia di rilevamento a infrarossi e lavorano secondo due livelli prestabiliti di intensità di flusso luminoso:

- A piena potenza, quando rilevano il passaggio di pedoni/ciclisti;
- A potenza ridotta quando invece non rilevano movimento nella zona considerata.

I sensori di movimento rientrano tra le possibilità per rendere l'impianto di illuminazione *smart*; la loro installazione negli impianti destinati all'illuminazione pubblica, infatti, incontra diversi vantaggi, tra cui:

- Il risparmio energetico, poiché l'impianto si accende a piena potenza soltanto dopo aver rilevato il passaggio di persone, eliminando così sprechi di luce soprattutto a tarda notte.
- La sostenibilità ambientale poiché, riducendo i consumi energetici, anche le emissioni di CO₂ sono ridotte al minimo;
- La maggior sicurezza per le persone poiché, di fatto, l'impianto è sempre acceso, anche se alla minima potenza, e in grado di andare a pieno regime appena rileva il passaggio di pedoni/ciclisti.

Negli Stati del Nord Europa, la regolazione degli impianti di illuminazione per mezzo dei sensori di movimento è applicata anche alle strade destinate al traffico motorizzato (categoria M). Ne è un esempio il progetto "*Motion sensor street lighting*", installato in Norvegia su una strada poco trafficata che collega le cittadine di Hole e Nes, lunga circa 5 miglia (circa 8 km).

Come per l'installazione in aree pedonali, il sensore installato a bordo palo rileva l'oggetto in movimento, la sua velocità e direzione, e comanda l'accensione dei punti luce successivi.



Figura 30 – Funzionamento del sensore di movimento installato nell’ambito del progetto “Motion sensor street lighting” (Fonte: www.citintelly.com)

Esistono due tipi di installazione dei sensori di movimento:

- Modalità stand-alone, per cui un solo sensore, montato in corrispondenza di un palo strategico, è in grado di controllare una o più sorgenti di illuminazione, comunicando il *dimming* attraverso segnali in radiofrequenza;
- Modalità onda di luce, in cui posizionando un sensore corrispondentemente ad ogni apparecchio è possibile regolare la luce seguendo in modo dinamico il flusso di traffico (di pedoni/ciclisti/veicoli), creando così una vera e propria onda di luce.

I sensori di movimento hanno un costo di investimento iniziale basso e ottimizzano bene i consumi energetici, riducendo il flusso luminoso al valore minimo, previsto dalla normativa. Di conseguenza, i tempi di ritorno dell’investimento in questa tecnologia sono brevi.

Se comparati ai sistemi di regolazione adattivi, che analizzeremo nel paragrafo seguente, sono soluzioni meno invasive: il sensore di movimento si limita infatti alla regolazione del flusso luminoso dell’apparecchio, mentre l’installazione dei sistemi di regolazione adattivi è un investimento tecnologico verso la transizione delle città in *smart cities*.

4.2. La regolazione adattiva TAI/FAI

È la norma UNI 11248 che, con l’aggiornamento eseguito nel 2016, introduce per la prima volta il concetto di illuminazione adattiva, di cui individua le due modalità di regolazione differenziate per il tipo di parametri monitorati:

- TAI, sistema di regolazione discreto, dipendente dal solo traffico, per cui l’impianto necessita soltanto di un sistema di conteggio dei veicoli/ciclisti/pedoni, a seconda del tipo di strada cui è destinato. Il flusso luminoso emesso dalla sorgente dipende dal flusso orario di traffico calcolato su un periodo di campionamento pari a 10 minuti, secondo logiche che prevedono

una riduzione graduale e, quando necessario, un più rapido incremento del flusso luminoso emesso.

In questo tipo di regolazione è possibile un decremento totale fino a 3 categorie illuminotecniche, a partire da quella di riferimento per arrivare alla categoria illuminotecnica di esercizio. Sono, infatti, riconosciute due sole condizioni di flusso di traffico:

- Quando è stabilmente minore del 50%, (riduzione di una categoria illuminotecnica, flusso luminoso emesso pari al 75% del valore nominale);
- Quando è stabilmente minore del 25% (riduzione fino a due categorie illuminotecniche, flusso luminoso emesso pari al 50% del valore nominale).

Gli ulteriori declassamenti sono dovuti ai parametri che si mantengono costanti nel tempo, tra cui la segnaletica stradale attiva, la complessità del campo visivo, l'assenza di zone di conflitto. Si rimanda al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** per un'analisi più approfondita della norma che regolamenta gli impianti adattivi TAI.

Impianto	Riduzione per la cat. III. di progetto rispetto a quella di ingresso	Riduzione max adottata per la cat. III. di esercizio	Riduzione max della cat. di esercizio rispetto all'ingresso
Impianti adattivi TAI	1 (flusso di traffico stabilmente minore del 50%)	0	1
		1	2
		2	3
	2 (flusso di traffico stabilmente minore del 25%)	0	2
		1	3

Tabella 43 – Regolazione degli impianti adattivi TAI

- FAI, sistema di regolazione continuo, dipendente dai 3 parametri monitorati di traffico, meteo e di luminanza del manto stradale, che è la grandezza fotometrica caratterizzante le strade destinate al traffico motorizzato (categoria M). Conseguentemente, l'impianto di illuminazione necessita di videocamere che monitorino il traffico, sensori per valutare le condizioni meteorologiche e sonde di acquisizione dei valori medi di luminanza.

Nella regolazione adattiva FAI, il flusso orario di traffico è calcolato su un periodo di campionamento pari a 1 minuto; si ripete il conteggio del traffico su 10 campioni consecutivi (10 minuti totali quindi, ma con periodi di campionamento di un minuto ciascuno), di cui si calcola la media aritmetica. Dalla media aritmetica, si calcola la media mobile ripetendo i passaggi già fatti precedentemente, scartando il primo campione e aggiungendo l'ultimo così da determinare un flusso di traffico medio. Nella regolazione adattiva FAI l'indicatore per il flusso orario di traffico è la media mobile che, usualmente, viene utilizzata proprio per la

predizione di andamenti, in quanto riduce l'effetto derivante dai cambiamenti di tendenza casuali.

Le condizioni meteorologiche e di luminanza del manto stradale sono tenute in considerazione dal progettista stesso che, nella fase dell'analisi dei rischi, decide le strategie da adottare. Infatti, le condizioni meteo che possono creare situazioni di pericolo richiedono strategie di regolazione diverse da quelle basate sul solo traffico; dall'altra parte, i valori di luminanza reale rilevata garantiscono che la sporcizia degli apparecchi, il decadimento delle sorgenti e gli spegnimenti inattesi degli impianti non determinino condizioni di illuminazione ancora più degradate del minimo consentito.

La regolazione per mezzo dei sistemi adattivi FAI consente, a partire dalla categoria illuminotecnica di riferimento, un decremento totale fino a 4 classi per arrivare alla categoria illuminotecnica di esercizio. Infatti, in questo tipo di regolazione, grazie alla sensoristica avanzata montata a bordo palo, sono rilevabili fino a tre condizioni di flusso di traffico: oltre alle due già viste sopra per i sistemi TAI, si inserisce anche la condizione di traffico stabilmente minore del 12,5%.

Impianto	Riduzione per la cat. III. di progetto rispetto a quella di ingresso	Riduzione max adottata per la cat. III. di esercizio	Riduzione max della cat. di esercizio rispetto all'ingresso
Impianti adattivi FAI	0	0	0
		1	1
		2	2
		3 (flusso <12,5%)	3
	1	0	1
		1	2
		2	3
		3 (flusso <12,5%)	4
	2	0	2
		1	3
		2 (flusso <12,5%)	4

Tabella 44 – Regolazione degli impianti adattivi FAI

È importante sottolineare che i punti sensibili quali le zone di conflitto, gli attraversamenti pedonali, le strade ad elevata incidentalità, non sono mai soggetti ai decrementi della classe illuminotecnica di progetto.

Si rimanda al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, per analisi più approfondite sulla norma UNI 11248 che regola anche i sistemi adattivi FAI.

Con l'affermarsi dei sistemi di illuminazione adattivi TAI/FAI, sarà sempre più frequente individuare apparecchi installati a bordo palo, di corredo all'impianto di illuminazione pubblica, che monitorano le condizioni al contorno del punto luce.

La Figura 31 di seguito rappresenta un sensore di luminanza tipico; il suo funzionamento consiste nel convertire la luminanza registrata (in cd/m^2) in un segnale in corrente o tensione (a seconda del tipo di sonda scelta), da inviare alla stazione di acquisizione. Prima di trovare impiego nei sistemi di illuminazione adattivi, le sonde di luminanza vengono usate, e sono ritenute indispensabili, per valutare la luminanza di soglia all'ingresso delle gallerie, secondo gli algoritmi di calcolo descritti nella norma UNI EN 13201:2016 – 3, al fine di scongiurare il fenomeno dell'abbagliamento debilitante. In genere, il valore di luminanza misurato è relativo ad un angolo di 20°. La raccomandazione delle case produttrici è di tenere la lente sempre al massimo della pulizia, per garantire il corretto rilevamento del valore di luminanza.



Figura 31 – Sensore di luminanza (Fonte: www.overtchsolucoes.com)

L'apparecchiatura LTM, riportata in Figura 32 è un esempio di camera per la misura in tempo reale della luminanza, del traffico e delle condizioni meteorologiche. La camera è tarata per quantificare il livello di luminanza seguendo, di nuovo, gli algoritmi di calcolo descritti nella norma UNI EN 13201:2016 – 3; il traffico è conteggiato ricorrendo all'indicatore della media mobile, in termini di numero di veicoli/ora. Grazie al monitoraggio in tempo reale del flusso di traffico, della luminanza e delle condizioni meteo, si garantisce l'illuminazione necessaria alle esigenze visive, calcolata in tempo reale. In questo modo, il progettista non dovrà più sovradimensionare la quantità di flusso luminoso necessaria, introducendo fattori di manutenzione per tener conto dell'eventuale

deterioramento delle sorgenti, della sporcizia delle stesse e degli altri fattori che incidono sulla luminanza.

Per quanto riguarda le condizioni meteorologiche, il sensore è in grado di discriminare le diverse condizioni di asciutto, umido, pioggia e pilotare opportunamente gli apparecchi, secondo quanto stabilito nell'algoritmo dal progettista.



Figura 32 – Apparecchiatura LTM (Fonte: REVETEC)

Gli investimenti richiesti per l'installazione dei sistemi di illuminazione adattivi sono ingenti e, nonostante gli ulteriori risparmi energetici conseguibili con tali tecnologie rispetto ai cicli di illuminazione pre-programmati, i tempi di ritorno dell'investimento sono comunque lunghi.

Tuttavia, quando si parla di sistemi adattivi è necessario considerare la tecnologia nella sua totalità e non solo per il costo dell'investimento iniziale: questo tipo di installazione, infatti, è in grado di rendere la città smart e, quindi, di traghettarla nell'era del *Lighting 4.0*.

4.3. I sistemi di illuminazione adattivi per una gestione smart degli impianti IP

Oggi giorno i sistemi di regolazione adattivi trovano applicazione soprattutto nell'ambito della *Smart Street Lighting*, cioè dell'illuminazione stradale intelligente, in cui il palo diventa sede di ulteriori servizi a valore aggiunto ed è interconnesso agli altri punti luce facenti parte dell'impianto di illuminazione pubblica. Rientrano infatti nel concetto di *Smart Street Lighting* tutti gli impianti dotati di dispositivi che, da un lato, permettono una gestione più flessibile e raffinata, rispetto a quella del tradizionale impianto basato su cablaggi e comandi manuali; dall'altro lato, gli impianti considerati "intelligenti" sono in grado di interfacciarsi con altri dispositivi connessi alla rete, per abilitare ulteriori servizi sul territorio.

I sistemi di illuminazione intelligenti devono quindi essere supportati da un'infrastruttura all'avanguardia, che permetta il telecontrollo e la telegestione da remoto delle unità periferiche costituenti l'impianto di illuminazione, e le connessioni tra i singoli pali, in modo da rilevare l'esigenza di illuminazione in tempo reale dipendentemente anche dal contesto in cui è inserito il punto luce.

L'infrastruttura di supporto dei sistemi di illuminazione intelligenti consta principalmente dei seguenti elementi:

1. *Lampade dimmerabili*

A tale scopo, le sorgenti che meglio si prestano ad essere installate nei sistemi di illuminazione adattivi sono le lampade a LED poiché consentono una totale regolazione del flusso luminoso. In un'ottica di illuminazione intelligente, inoltre, le lampade a LED sono quelle che garantiscono i minori consumi energetici e la maggiore attenzione alla sostenibilità ambientale.

2. *Dispositivo di controllo (controllore)*

Nei sistemi adattivi, le lampade sono dotate anche di un modulo di controllo in grado di comunicare lo stato della lampada al sistema di telecontrollo, gestire in autonomia i programmi di illuminazione e ricevere, dal centro di telegestione, i comandi di dimmerazione immediata. Il controllore deve essere montato su ogni palo dell'impianto di illuminazione pubblica e costituisce il nodo di una rete di comunicazione.



Nodo interno



NEMA



ZHAGA

Figura 33 – Esempi di nodi di telecontrollo o “smart nodes” (Fonte: AEC Illuminazione)

In Figura 33 sono rappresentati tre esempi di nodi di telecontrollo, da installare sul palo della luce: da sinistra, il primo apparecchio esemplifica un nodo interno, da montare direttamente

all'interno del corpo illuminante; gli altri due nodi, invece, sono esterni e si differenziano per il tipo di connessione.

Una volta montati sul corpo illuminante, l'architettura del palo della luce risulterà come mostrato in Figura 34.



Figura 34 – Esempio di corpo illuminante con lo smart nodes installato (Fonte: AEC Illuminazione)

Le informazioni tra i singoli punti luce viaggiano attraverso supporto cablato (onde convogliate), o per mezzo dei protocolli IoT (Internet of Things) a corto raggio (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee) in grado di trasmettere informazioni su distanze piuttosto brevi.

3. Dispositivo coordinatore (Gateway)

Le unità periferiche connesse tra loro costituiscono una rete di punti luce collegata, a sua volta, al dispositivo coordinatore e, quindi, ad un Cloud e alla centrale operativa del sistema di telecontrollo. Di fatto, il dispositivo coordinatore è l'interfaccia tra la rete dei punti luce e il centro di controllo del sistema di telecontrollo. Il coordinatore gestisce la comunicazione di informazioni ricevute dall'applicazione di controllo, tramite i protocolli IoT a lungo raggio (3G/4G/5G, LPWAN), o su supporto cablato (Ethernet, fibra ottica).



Figura 35 – Esempio di Gateway, da installare all'interno del quadro elettrico (Fonte: AEC Illuminazione)

4. Software e interfaccia Web

È la piattaforma che permette all'utente di comunicare con la rete dei punti luce, direttamente da remoto, presso il centro di controllo del sistema di telecontrollo. Tramite l'interfaccia Web è possibile controllare i parametri monitorati dai sensori installati a bordo palo, individuare eventuali guasti presenti sulla linea, analizzare i consumi energetici degli impianti.

5. Sensori

Montati a bordo palo per conoscere le condizioni in tempo reale di traffico, meteorologiche, di luminanza, così da garantire le reali esigenze di illuminazione.

La Figura 36 di seguito, esemplifica l'infrastruttura di supporto dei sistemi di illuminazione intelligenti e come viaggiano le informazioni tra i singoli punti luce e da/verso il centro di controllo del sistema di telecontrollo. Le informazioni da/verso le unità periferiche, verso cioè i controllori montati a bordo palo, viaggiano tramite onde convogliate (Power Line Communication) o sistemi wireless a corto raggio (ZigBee, Bluetooth, radiofrequenza). Si ricorda che la trasmissione di informazioni a mezzo di PLC è supportata dalla stessa linea elettrica di alimentazione e, quindi, non necessita l'installazione di cavi aggiuntivi. Dall'altra parte, tuttavia, le onde convogliate sono difficilmente adattabili e qualsiasi modificazione sulla linea deve essere verificata per supportare la trasmissione di informazioni a mezzo di PLC.

Giunte al dispositivo coordinatore (Gateway, installato all'interno del quadro elettrico) le informazioni da/verso il server e, poi, il software locato negli uffici comunali, sono comunicate a mezzo di sistemi wireless a lungo raggio (Wi-Fi, GSM, GRPS) o su supporto cablato (fibra ottica, LAN, WAN, Extranet).

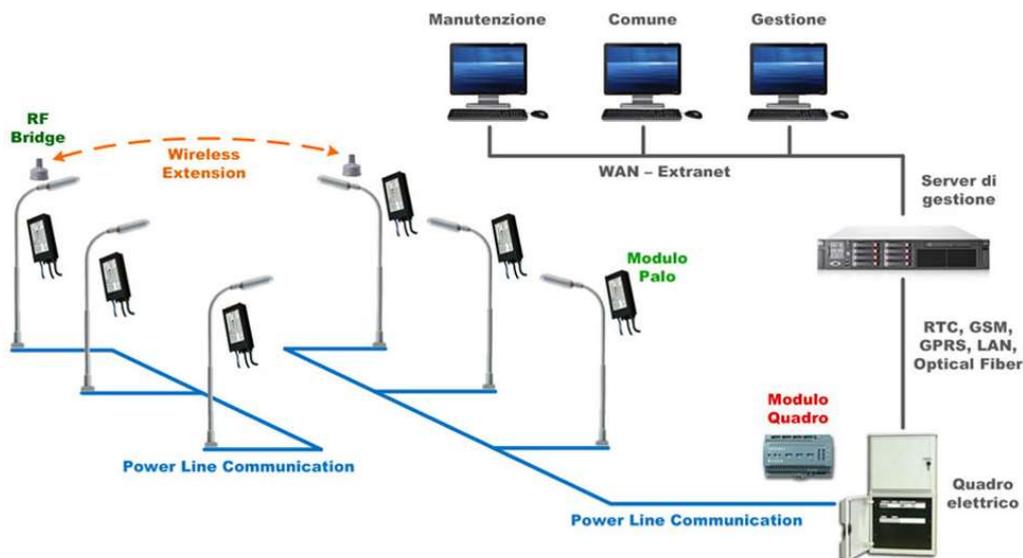


Figura 36 – Trasmissione di informazioni nella pubblica illuminazione (Fonte: TEKNE engineering)

Le tecnologie di trasmissione (a corto/lungo raggio) sono scelte dipendentemente dalla velocità di trasmissione dei dati, dalla distanza tra i nodi della rete, dai consumi energetici per la trasmissione dei dati, dai costi. Nonostante le diverse tecnologie di trasmissione, i dati sono solitamente trasmessi tramite il protocollo IP (Internet Protocol), un protocollo di interconnessione di reti, che garantisce la compatibilità tra le diverse tecnologie di rete e piattaforme. In questo modo si supera il problema di adattabilità delle onde convogliate: l'Internet Protocol nasce proprio per interconnettere reti eterogenee per tecnologia, prestazione e gestione; così, ogni dispositivo appartenente all'Internet of Things diventa identificabile semplicemente attraverso un indirizzo IP ed individuabile da qualsiasi server.

4.4. L'illuminazione *smart* incontra gli SDGs

La transizione che stanno sperimentando gli impianti di illuminazione pubblica verso il mondo dell'IoT e delle smart cities è dettata anche dal raggiungimento degli obiettivi per lo sviluppo sostenibile (gli SDGs, dall'inglese Sustainable Development Goals).

Gli SDGs fanno parte dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità, sottoscritto nel settembre del 2015 dai 193 Paesi facenti parte dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite).

In totale, l'Agenda 2030 ingloba 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, articolati in 169 traguardi da raggiungere entro il 2030. Essi rappresentano traguardi comuni nel senso che riguardano tutti i Paesi che li hanno sottoscritti: nessuno ne è escluso, né deve essere lasciato indietro sulla strada per il raggiungimento degli stessi. L'indicazione di questi 169 traguardi è funzionale ad affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico e ridurre qualsiasi forma di povertà o disuguaglianza, garantendo la sostenibilità economica, sociale e ambientale delle comunità umane nel lungo periodo.



Figura 37 – I 17 obiettivi di sviluppo sostenibile

La transizione degli impianti di illuminazione pubblica verso impianti *smart* incontra i seguenti obiettivi di sviluppo sostenibile:

- SDG n. 9, “Costruire infrastrutture resilienti e promuovere l’innovazione e l’industrializzazione equa, responsabile e sostenibile”;
- SDG n. 11, “Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, duraturi, sicuri e sostenibili”.

Di fatto, la costruzione di impianti di illuminazione connessi e telegestiti è un investimento sulle infrastrutture per l’innovazione tecnologica delle città, dal momento che i pali diventano sede di diversi servizi a valore aggiunto da rendere ai cittadini.

Inoltre, l’introduzione dei sistemi di gestione adattivi costituisce un cambiamento tecnologico che incontra principi di innovazione responsabile e sostenibile, poiché la regolazione del flusso luminoso è impostata sul concetto di “energy on demand”, seguendo cioè le reali esigenze di illuminazione della città ed evitando quindi inutili sprechi di luce non richiesta. La conseguenza di questa innovazione tecnologica per gli impianti di illuminazione pubblica si ripercuote sulle città che diventano insediamenti sicuri e sostenibili sul lungo periodo.

Molti studi del settore Smart Street Lighting prevedono che per il 2024 gli impianti di illuminazione pubblica di Nord America, Europa, Asia e Australia entreranno a far parte del mondo IoT, in linea con il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile sottoscritti nell’Agenda 2030.

CAPITOLO 5 – Conclusioni

A seguito dell'analisi svolta, risulta evidente come il settore dell'illuminazione pubblica si presenti un ottimo presupposto per intraprendere azioni di riqualificazione e innovazione impiantistica, volte ad abbattere i consumi energetici e le relative spese che gravano sulle amministrazioni comunali.

A livello nazionale, infatti, l'illuminazione pubblica incide per il 20-30% sulle spese delle Pubbliche Amministrazioni, e ciò è una conseguenza del ritardo con cui questo settore si è presentato nei confronti dell'innovazione tecnologica. Gli impianti di illuminazione pubblica italiani sono infatti caratterizzati da tecnologie ormai passate e sistemi di gestione poco *smart*, basati su cicli di illuminazione programmati, che non seguono le reali esigenze di illuminazione dei cittadini.

Di conseguenza, per l'illuminazione pubblica la strada dell'innovazione impiantistica si presenta come assolutamente indispensabile, e favorita dalla diffusione di tecnologie presenti sul mercato a prezzi del tutto competitivi, che rendono gli investimenti iniziali sostenibili dal punto di vista economico, con tempi di ritorno piuttosto brevi.

Sicuramente, l'investimento più importante che una Pubblica Amministrazione possa intraprendere, nell'ottica di abbattere le spese comunali per l'illuminazione pubblica, coinvolge la sostituzione delle sorgenti presenti negli impianti con apparecchi a LED.

La tecnologia a LED, infatti, risulta essere la soluzione più performante tra le alternative presenti attualmente sul mercato, in grado di migliorare notevolmente l'efficienza impiantistica. In realtà, la penetrazione dei LED nel mercato globale è ancora indietro ma, con l'evolversi della tecnologia, il prezzo degli stessi sta notevolmente diminuendo: se prima la diffusione di questi apparecchi incontrava l'ostacolo dei costi, adesso la sua installazione è solo che favorita.

Ne consegue che la riqualificazione degli impianti attraverso l'adozione di apparecchi a LED è un'azione che deve essere necessariamente presa in considerazione da parte delle Pubbliche Amministrazioni, con cui possono ottenere un buon rendiconto che si ripercuote sul piano energetico, economico e, non meno importante, ambientale.

I finanziamenti messi a disposizione dei Comuni a sostegno di questi interventi sono un ulteriore incentivo per promuoverne la messa in atto.

Riportando i dati registrati dal Comune di Buttigliera Alta, come perimetro di studio della presente analisi, a seguito dell'introduzione degli apparecchi a LED, i consumi energetici sono diminuiti del 68% circa. In un'analisi costi-benefici, l'investimento necessario che, in aggiunta, è per la maggiore quota finanziato dai fondi per la transizione energetica messi a disposizione dei Comuni, rientrerà in circa 6 anni.

L'altra tipologia di intervento che sta proponendosi per l'innovazione tecnologica degli impianti di illuminazione pubblica riguarda la gestione dell'asset impiantistico attraverso i sistemi adattivi TAI/FAI.

Attualmente i sistemi adattivi TAI sono più diffusi di quelli FAI dal momento che risultano essere di più facile gestione, ed hanno avuto un buon riscontro sul piano pratico, registrando risultati vantaggiosi per quanto riguarda la riduzione dei consumi energetici.

La regolazione adattiva FAI, invece, è ancora in via di sperimentazione poiché la sua applicazione in campo risulta essere più onerosa rispetto ai ritorni economici ad oggi conseguibili.

Infatti, i sistemi di regolazione FAI devono fare i conti con le numerose tecnologie che coinvolgono: non si tratta dei soli sensori per il monitoraggio delle condizioni di traffico, ambientali e di luminanza del manto stradale; questi sistemi coinvolgono anche il campo della trasmissione dati, per cui nell'atto pratico risulta difficile combinare i diversi aspetti per avere un rendiconto vantaggioso dell'investimento.

Le incertezze suddette circa la tecnologia adattiva FAI fanno ritenere il sistema ancora troppo prematuro e di difficile implementazione a livello reale.

Nel caso particolare del Comune di Buttigliera Alta, questo dispone semplicemente di sistemi di temporizzazione, quali gli orologi astronomici, per l'accensione/lo spegnimento degli impianti, che non operano una vera e propria regolazione del flusso luminoso emesso dalle sorgenti. Nonostante ciò, il funzionamento di questi sistemi di temporizzazione può essere compromesso dalle problematiche che li coinvolgono quali, abbiamo citato, il fenomeno della deriva.

Quindi se anche i semplici orologi astronomici sono comunque affetti da fenomeni che gravano sul funzionamento degli impianti di illuminazione pubblica, è possibile comprendere la difficoltà di applicazione dei sistemi adattivi FAI, i quali devono gestire tra di loro una complessità di parti e di sistemi eterogenei.

Se come sistemi gestionali lasciano ancora un po' a desiderare, l'illuminazione adattiva FAI può essere vista, in un'ottica più ampia, con l'intento di rendere la città *smart* e connessa con altri sistemi, in grado di rendere al cittadino servizi a valore aggiunto e traghettare l'illuminazione pubblica comunale nell'era del *Lighting 4.0*.

In questo modo, l'illuminazione adattiva andrebbe incontro alle tematiche calde che stanno affermandosi nell'attuale presente, della transizione ecologica e dell'innovazione tecnologica.

Ringraziamenti

Durante la scrittura della tesi, nel trattare il tema dell'inquinamento luminoso del cielo, mi sono spesso imbattuta in articoli che, poeticamente, riportavano l'ultimo verso dell'*Inferno* dantesco

“E quindi uscimmo a riveder le stelle”.

Prendo in prestito la citazione del Sommo Poeta, per segnare l'epilogo, credo e spero momentaneo, della mia carriera da studente.

Lungi da me paragonare la mia esperienza universitaria all'*Inferno* di Dante: è stata tutt'altro! Anni pieni di vita, di stimoli, di nuove conoscenze, di arricchimento culturale e soprattutto umano. E ciò lo devo alle persone che hanno condiviso con me questi anni, che voglio ringraziare sentitamente.

Ringrazio i Professori del Politecnico e, soprattutto, i miei relatori, il Prof. Marco Carlo Masoero e la Prof.ssa Anna Pellegrino, per la grande professionalità, l'appoggio e la fiducia che hanno dimostrato di avere nei miei confronti, dispensando consigli e aiuti preziosi.

Ringrazio i miei relatori esterni, l'Ing. Roberto Gerbo ed il P.I. Sergio Collesei, per il tempo dedicatomi e per il supporto indispensabile che mi hanno offerto durante tutto il periodo in cui sono stata in tesi: sono stati per me mesi di grande arricchimento professionale. È stata una fortuna potermi confrontare con professionisti di tale spessore nel campo dell'energia.

Ringrazio la mia famiglia per essere il mio porto sicuro. Il babbo Fabrizio, perché è il mio punto di riferimento, la prima persona che consulto prima di ogni decisione importante. La mamma Elda, per essere dolcezza e sensibilità, supporto e comprensione, che a volte mancano nella vita così pratica dell'ingegneria. Francesco per la tranquillità che porta in casa, per l'attitudine *naif* con cui affronta la vita, da cui dovremmo solo che imparare.

Ringrazio Davide, per avermi insegnato che gli ostacoli più grandi sono quelli che ci poniamo noi e che ad ogni problema c'è sempre una soluzione. Grazie per la pazienza e la comprensione che mi hai sempre dimostrato e per aver gioito con me e, spesso, più di me, dei traguardi raggiunti.

Le mie coinquiline, Giulia e Ivana, la mia seconda famiglia. Perché la vita a Torino è stata più colorata con loro, e gli spritz alle Panche un immancabile punto di sosta. Dalle serate improvvisate, le nostre preferite, alle feste in casa di gente, siete state le amiche perfette con cui condividere la spensieratezza. E le olive ascolane e i pipi e patate.

Il mio gruppo studio, Eli, Ture ed Enzo perché ad ogni disperazione condivisa corrispondeva un pranzo rassicurante a casa Giove. Con voi al mio fianco mi sono sentita a volte invincibile, a volte

una pazza a presentarmi a certi esami, che poi alla fine riuscivano sempre bene. Grazie soprattutto ad Eli, perché ha fatto un po' da mamma a tutti noi. Una delle cose che mi mancherà più di Torino saranno proprio le nostre chiacchiere nei pomeriggi di studio, che iniziavano con una pausa e finivano perché era ora di cena.

Ringrazio gli amici di giù, che, seppur lontani, non mi hanno mai fatto sentire lontana da loro, e che ad ogni mio ritorno era come se non fossi mai partita. Grazie per esserci da sempre.

Ultima ma di certo non per importanza, ringrazio la nonna Anna che con la sua pragmaticità mi spronava ad “accettare tutto” e le telefonate di mezz'ora Torino-Montecchio ci tenevano compagnia nelle serate in cui non potevamo guardare “I soliti ignoti” insieme.

Bibliografia

- A. Bertaglio, *“Illuminazione pubblica: il paradosso”*, 2018.
- AEC Illuminazione, *“Illuminazione pubblica smart e connessa”*, 2020.
- Apkappa, *“L’importanza dell’illuminazione adattiva”*, 2019.
- B. M. Eula, *“I CAM per l’illuminazione pubblica – Bando per la riduzione dei consumi energetici e l’adozione di soluzioni tecnologiche innovative sulle reti di illuminazione pubblica dei Comuni piemontesi – Prospettive 2021 per la riapertura dello sportello”*, in Regione Piemonte, Torino, 2021.
- CAM per *“L’acquisizione di sorgenti luminose per l’illuminazione pubblica, l’acquisizione di apparecchi per l’illuminazione pubblica, l’affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica”*, 2017.
- CAM per *“Servizio di illuminazione pubblica”*, 2018.
- C. Cottarelli, C. Valdes, D. Bonata, F. Falchi, R. Furgoni, *“Illuminazione pubblica: spendiamo troppo”*, Osservatorio CPI, Università Cattolica del Sacro Cuore, 2018.
- D. Bonata, *“UNI 11248 – Illuminazione stradale e selezione delle categorie illuminotecniche”*, Light-is, 2017.
- Ecologia e consulenza, *“Illuminazione pubblica in Italia: costi e prospettive”*, in *Rivista BioEcoGeo*, 2018.
- F. Bisegna, F. Gugliermetti, M. Barbalace, L. Monti, *“Metodologie di progettazione e valutazione di sistemi di illuminazione pubblica”*, Università di Roma “Sapienza”, 2010.
- Filodiritto, *“L’efficienza energetica nel settore dell’illuminazione pubblica: norme, contributi regionali e problematiche degli operatori”*, 2017.
- G. Dotti, *“Come cambia l’illuminazione pubblica: dai primi lampioni del passato alla città ultra-connessa”*, in *wired.it*, 2018.
- G. R. Pelassa, *“L’attività – GPP – Green Public Procurement (Acquisti Verdi)”*, in Regione Piemonte, Torino, 2021.
- Harvard Health Pubblicazioni, *“Blue light has a dark side – What is blue light? The effect blue light has on your sleep and more”*, 2020.
- ItalTesla, *“Induzione vs LED: una sfida vinta in partenza”*, 2016.
- L. Baronchelli, *“Illuminazione pubblica a LED: lampioni sempre più intelligenti e connessi”*, in *LUMI 4 innovation*, 2019.
- L. Baronchelli, *“Illuminazione pubblica: quanto ci costa?”*, in *LUMI 4 innovation*, 2019.
- L. Baronchelli, *“Illuminazione stradale e pubblica intelligenti ed efficiente: esempi in Italia e nel mondo”*, in *LUMI 4 innovation*, 2020.

Legge Regionale 3/2018, “*Modifiche alla legge regionale 24 marzo 2000, n. 31 (Disposizioni per la prevenzione e lotta all’inquinamento luminoso e per il corretto impiego delle risorse energetiche)*”, 2018.

L. Franca, “*Illuminazione adattiva, la nuova tecnologia sviluppata da Enel X*”, 2020.

Light-is, “*UNI 11248 – Parte 2 – Illuminazione adattiva: le nuove frontiere dell’illuminazione eco-sostenibile*”, 2016.

L. Mecca, “*Seminario di aggiornamento tecnico – Come cambia la progettazione della luce*”, 2016.

M. Annunziato, F. Bucci, C. Meloni, F. Moretti, S. Pizzuti, “*Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street*”, ENEA, 2011.

M. D’Amore, “*Progetto LIFE PREPAIR – Il manuale sui CAM della pubblica illuminazione*”, in *Regione Piemonte*, Torino, 2021.

MISE, MATTM, MIT, “*Piano Nazionale Integrato per l’Energia e il Clima*”, 2019.

M. Seraceni, “*Criteri Ambientali Minimi nell’illuminazione pubblica e cultura della luce*”, in *LUMI 4 innovation*, 2021.

N. Tava, “*Illuminazione Pubblica: normativa UNI 11248 e UNI 13201*”, 2021.

P. Di Lecce et al., “*Outodore adaptive lighting in the new UNI 11248 Italian Standard and result of experience*”, 2017.

Reverberi, “*Prosensor*”, 2019.

S. Caon, “*I CAM per l’illuminazione pubblica – Bando per la riduzione dei consumi energetici e l’adozione di soluzioni tecnologiche innovative sulle reti di illuminazione pubblica dei Comuni piemontesi – Focus sui principali risultati ottenuti dal Bando Edizione 2018*”, in *Regione Piemonte*, Torino, 2021.

S. Veccari, “*Progettazione dell’illuminazione stradale tra normativa, risparmio energetico e illuminazione adattiva*”, 2020.

Torino Storia, “*La storia dell’illuminazione pubblica a Torino*”, 2020.

UNI 10819, “*Luce e illuminazione – Impianti di illuminazione esterna – grandezza illuminotecnica e procedure di calcolo per la valutazione della dispersione verso l’alto del flusso luminoso*”, 2021.

UNI 11248, “*Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecnica*”, 2016.

UNI EN 13201 – 2, “*Illuminazione stradale – Parte 2: Requisiti prestazionali*”, 2016.

UNI EN 13201 – 3, “*Illuminazione stradale – Parte 3: Calcolo delle prestazioni*”, 2016.

UNI EN 13201 – 4, “*Illuminazione stradale – Parte 4: Metodi di misurazione delle prestazioni fotometriche*”, 2016.

UNI EN 13201 – 5, “*Illuminazione stradale – Parte 5: Indicatori delle prestazioni energetiche*”, 2016.

Voltimum, *“Illuminazione pubblica normativa: UNI 11248 e UNI 13201 – 2”*, 2017.