

ILLUMINAZIONE PUBBLICA E SISTEMI DI CONTROLLO ADATTIVI:
APPLICABILITÀ E VALUTAZIONI ENERGETICHE NELL'AMBITO DI UN CASO STUDIO



Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e Città



Tesi di Laurea Magistrale
Anno accademico 2018/2019

ILLUMINAZIONE PUBBLICA E SISTEMI DI CONTROLLO ADATTIVI:
APPLICABILITÀ E VALUTAZIONI ENERGETICHE NELL'AMBITO DI UN CASO STUDIO

Candidata: Roberta Biagioni

Relatrice: Prof.ssa Anna Pellegrino
Correlatori: Arch. Rossella Taraglio e Arch. Gabriele Piccablotto

PREMESSA	8
CAPITOLO 1 - LA CITTA' DEL FUTURO LINEE DI INDIRIZZO E RIFERIMENTO	11
1.1 – LA SMART CITY: AMBITI DI APPLICAZIONE E RELAZIONE CON L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA	12
1.2 – ILLUMINAZIONE PUBBLICA: RUOLI E INIZIATIVE	14
CAPITOLO 2 – ANALISI DEI SISTEMI DI GESTIONE E SMART LIGHTING	19
2.1 – PHILIPS LIGHTING	20
2.2 – GRUPPO SCHRÉDER	27
2.3 – REVERBERI ENETEC	35
2.4 – OSRAM	40
2.5 – GREENLED INDUSTRY	45
2.6 – AEC ILLUMINAZIONE	48
2.7 – COMLIGHT	54
CAPITOLO 3 - LA GESTIONE E IL CONTROLLO DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA	59
3.1 – LA GESTIONE DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA	60
3.2 – LA NORMATIVA TECNICA PER LA PROGETTAZIONE E GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE STRADALE	62
3.3 – REALIZZAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE ADATTIVA SECONDO LA NORMA UNI 11248:2016	65
3.4 – L'ILLUMINAZIONE ADATTIVA E MODELLI PREDITTIVI NEL CONTESTO DELLE SMART CITIES	69
CAPITOLO 4 – CASO STUDIO: SAVIGLIANO	75
4.1 – INQUADRAMENTO E ANALISI TERRITORIALE DI SAVIGLIANO	76
4.2 – SITUAZIONE ATTUALE IN AMBITO ILLUMINOTECNICO	91
4.2.1 – IL SISTEMA DI TELEGESTIONE WIRELESS ATTUALE	92
RETE INTEROPERABILE OWLET NIGHTSHIFT	
RETE INTEROPERABILE OWLET IOT	

4.3 – INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI STUDIO	98
4.3.1 – STRADA PROVINCIALE SP 20	99
4.3.1.1 – STATO DI FATTO	102
4.3.1.2 – ANALISI DEI RISCHI	104
4.3.1.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO	120
4.3.2 – VIA DUCCIO GALIMBERTI	125
4.3.2.1 – STATO DI FATTO	126
4.3.2.2 – ANALISI DEI RISCHI	128
4.3.2.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO	138
4.3.3 – CORSO CADUTI PER LA LIBERTA’	143
4.3.3.1 – STATO DI FATTO	144
4.3.3.2 – ANALISI DEI RISCHI	145
4.3.3.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO	152
4.4 – CONFRONTO TRA DIVERSI SISTEMI DI GESTIONE E CONTROLLO	156
SISTEMA A PIENA POTENZA	
SISTEMA PRE-PROGRAMMATO	
SISTEMA ADATTIVO	
ANALISI ECONOMICA	
4.5 – CONFRONTO DEL SISTEMA ADATTIVO IN DIVERSE CONDIZIONI DI TRAFFICO	162
FLUSSO DI TRAFFICO AD ALTA INTENSITA’ - APPLICAZIONE DELLA TAI E INDIVIDUAZIONE DEL PROFILO LUMINOSO	
FLUSSO DI TRAFFICO A BASSA INTENSITA’ - APPLICAZIONE DELLA TAI E INDIVIDUAZIONE DEL PROFILO LUMINOSO	
4.6 – CONSIDERAZIONI FINALI	168
5 – CONCLUSIONI	171
RINGRAZIAMENTI	174
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	175

Il seguente lavoro di tesi nasce dall'intenzione di analizzare e studiare le nuove soluzioni di gestione e controllo per gli impianti di illuminazione pubblica nell'ambito delle smart city, al fine di esaminare l'applicabilità e valutare i potenziali risparmi energetici rispetto alle soluzioni tradizionali.

Oggigiorno, con il termine smart city si intende una comunità del futuro in grado di soddisfare i bisogni dei cittadini attraverso l'utilizzo di tecnologie e servizi, provenienti da differenti ambiti, caratterizzati da interoperabilità e coordinazione. A tale scopo, è necessario avere a disposizione un'infrastruttura che metta in relazione persone e oggetti, in grado di raccogliere dati e informazioni per migliorare la qualità di vita dei cittadini.

In tale contesto, è stato preso in analisi il concetto di *smart street*, ovvero strade intelligenti caratterizzate da una vasta rete capillare di lampioni diffusi su tutto il territorio. Questi, risultano essere servizi pubblici di fondamentale importanza in grado di mettere in relazione oggetti e persone. Inoltre, sono caratterizzati da una duplice funzione. Infatti, data la loro presenza sul territorio come punti elettrificati, consentono di ospitare sensori e telecamere che rilevano informazioni provenienti dalla smart city, mantenendo comunque la loro principale funzione di illuminazione pubblica, anche se, sono state incrementate e migliorate le loro principali attività di accensione, spegnimento e dimmerazione.

Infatti, nell'ottica di perseguire gli obiettivi della smart city, si sono sviluppati sistemi adattivi di gestione e controllo che permettono di ottimizzare l'utilizzo della luce nelle ore notturne e inoltre, anche attraverso l'utilizzo delle sorgenti a LED, di ottenere significativi risparmi energetici ed economici. Numerose aziende di illuminazione, negli ultimi anni, si sono impegnate nello sviluppo di nuovi sistemi intelligenti in grado di interagire con i servizi della smart city.

Al fine di studiare e analizzare il funzionamento e l'applicabilità di tali sistemi, è stato individuato come caso studio la città di Savigliano, all'interno della quale, nel 2018 è stato avviato un progetto dalla società Ardea Energia e dall'azienda di illuminazione Schröder, finalizzato al rilevamento dei flussi di traffico e all'applicazione di un sistema adattivo.

Perseguendo l'obiettivo della tesi di analisi e utilizzo di un sistema adattivo TAI (Traffic Adaptive Installation), è stata applicata la Norma UNI 11248:2016 su tre differenti tipologie stradali di proprietà del comune che ha permesso di sviluppare un'analisi dei rischi e individuare la fattibilità dell'intervento solo in corrispondenza della strada extraurbana SP20.

Non avendo a disposizione il rilevamento notturno dei veicoli, sono stati ipotizzati dei consumi energetici ottenibili da tre differenti scenari rappresentati da un sistema di illuminazione a piena potenza, a regolazione pre-programmata e a regolazione adattiva. Per quest'ultimo, non è stato possibile individuare un consumo energetico specifico ma è stato determinato un range ottenuto dalla rilevazione dei passaggi dei veicoli ad alta e a bassa intensità. In seguito, sono stati individuati due differenti campioni di profili di traffico che hanno permesso di elaborare un profilo di regolazione e valutare i relativi consumi, al fine di determinare se in questi casi il sistema adattivo risulta economicamente conveniente rispetto a un sistema pre-programmato.

L'obiettivo della tesi, per quanto riguarda il caso studio, è stato quello di verificare l'applicabilità del controllo adattivo degli impianti di illuminazione in un contesto reale, evidenziando potenzialità, limiti di applicazione e verificando non solo la convenienza economica di un impianto adattivo, ma anche la sua predisposizione nel perseguire gli obiettivi della smart city e la sua idoneità nel fornire durante tutte le ore notturne un'illuminazione in grado di rispettare i requisiti di sicurezza e migliorare la qualità visiva degli utenti.

CAPITOLO 1

LA CITTA' DEL FUTURO LINEE DI INDIRIZZO E RIFERIMENTO



Nell'ambito dello sviluppo delle nuove città intelligenti del futuro, l'interrelazione e la coordinazione tra i differenti ambiti di intervento delle smart city, assumono un ruolo sempre più significativo. Progettare una città intelligente non significa solo sviluppare nuove tecnologie, ma queste devono comunicare tra loro al fine di dare origine a nuovi servizi utili alla cittadinanza. È quindi necessario individuare un'infrastruttura in grado di consentire lo sviluppo e l'applicazione dei nuovi sistemi intelligenti.

In questo contesto, la collaborazione tra l'IoT e la rete di illuminazione pubblica dà luogo a un sistema in grado di monitorare dati e informazioni riguardanti la città e ottenere risparmi energetici nel campo dell'illuminazione pubblica. Di seguito vengono riportati i principali ruoli e iniziative che mettono in relazione la smart city con l'illuminazione pubblica.

1.1 – LA SMART CITY: AMBITI DI APPLICAZIONE E RELAZIONE CON L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

“La Smart City è una proiezione astratta di comunità del futuro, un perimetro applicativo e concettuale definito da un insieme di bisogni che trovano risposte in tecnologie, servizi e applicazioni riconducibili a domini diversi: smart building, inclusion, energy, environment, government, living, mobility, education, health, e molto altro ancora. Tali tecnologie, servizi ed applicazioni non costituiscono di per sé né singolarmente né collettivamente una Smart City, se non vengono integrate in una piattaforma che assicuri interoperabilità e coordinamento, ma soprattutto la definizione di appropriati strumenti di governance e finanziamento, elementi essenziali alla realizzazione della visione politica e sociale costitutiva della Smart City. (Tratto da “Smart city,” What is a smart city?, 2017, [1]).

Da diversi anni il tema delle smart city è al centro di numerosi dibattiti, la necessità di costruire una nuova infrastruttura tecnologica e immateriale è diventata un elemento fondamentale per definire possibili percorsi di sviluppo per la città. Si tratta quindi di attuare strategie volte all'innovazione dei servizi pubblici, finalizzati a sviluppare nuove relazioni tra le infrastrutture e le persone, attraverso nuovi sistemi in grado di migliorare l'efficienza energetica, la mobilità, le comunicazioni, ma ponendo maggiore attenzione sull'impatto ambientale delle nuove tecnologie.

Come riportato nel testo di F. Ferrero, A. Pacifici, A. Vesco, le città intelligenti fanno riferimento a numerosi ambiti applicativi, i quali risultano essere strettamente correlati gli uni agli altri. La

pianificazione, la gestione e lo sviluppo della Smart City deve quindi considerare la complessità dell'area urbana per ottimizzare gli sforzi e massimizzare i benefici, in questo campo l'ICT gioca un ruolo fondamentale per sviluppare soluzioni smart e creare un'importante collaborazione tra le varie infrastrutture [2].

Analizzando tali ambiti di applicazione per la smart city, è possibile osservare che alcuni di essi si basano su servizi indirizzati alla cittadinanza, mentre altri sono finalizzati ad implementare i nuovi sistemi tecnologici di innovazione.

La complessità risiede nel programmare e coordinare tali servizi tra gli attori pubblici e privati che intervengono nella città, puntando all'innovazione e sviluppando nuove prestazioni in grado di coinvolgere i cittadini al fine di migliorare la qualità della vita e soddisfare nuove esigenze e bisogni della società.

Di seguito è stato riportato uno schema riguardante i principali settori di intervento delle città intelligenti del futuro.

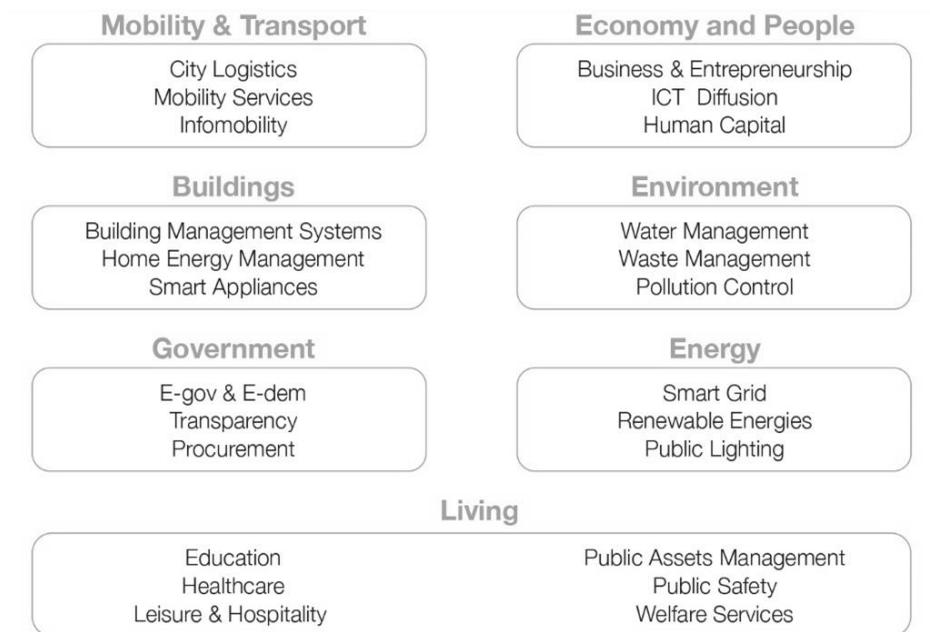


Figura 1.1 - Classificazione degli ambiti di applicazione per una Smart City.

Fonte: "Smart city," What is a smart city?, 2017 [1].

Come dichiarato nel testo di A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, la Smart City è quindi caratterizzata dall'interconnessione tra tecnologie, informatica e infrastrutture, questo è reso possibile grazie allo sviluppo dell'Internet of Things. L'obiettivo è quello di utilizzare al meglio le risorse pubbliche, aumentando i servizi offerti ai cittadini, e riducendo i costi operativi delle pubbliche amministrazioni. L'IoT può portare a benefici nella gestione e ottimizzazione dei servizi come nel trasporto, nell'illuminazione, nella sorveglianza e molto altro ancora, attraverso la raccolta di dati utilizzati per promuovere le azioni delle amministrazioni nei confronti dei cittadini, stimolare la partecipazione della comunità nelle attività pubbliche e incentivare la creazione di nuovi servizi [3].

In questo contesto, si è sviluppato il concetto di *smart street*: un sistema che fa riferimento alla rete di illuminazione pubblica di una strada caratterizzata da lampioni intelligenti e multifunzionali, costituiti da rilevatori e sistemi in grado di adattare l'illuminazione alle condizioni del contesto. Come riportato da Lighting Manufacturer, la collaborazione tra IoT e i lampioni stradali consente lo sviluppo di un ambiente sostenibile e permette alle autorità municipali di controllare dinamicamente i sistemi di illuminazione stradale. Questa tecnologia è in grado di gestire un gran numero di impianti analizzando grandi quantità di dati generati dai lampioni per migliorare i servizi, massimizzare il risparmio energetico e ridurre i costi operativi [4].

1.2 - ILLUMINAZIONE PUBBLICA: RUOLI E INIZIATIVE

Secondo quanto sostenuto da Newcities, il 19% del consumo totale di elettricità del mondo è rappresentato dall'illuminazione. Quasi due terzi dell'energia sono impiegati per l'illuminazione di edifici commerciali e pubblici, e il 15% è utilizzato per l'illuminazione stradale [5]. L'obiettivo principale è quello di creare un ambiente sicuro e confortevole per i pedoni e gli autisti nelle ore notturne. L'uso corretto dell'illuminazione comporta numerosi benefici, ma questa è anche causa di elevate emissioni di CO₂ e ingenti spese da parte delle amministrazioni comunali. La necessità di ridurre il consumo di energia e le emissioni di carbonio stanno portando il mercato delle nuove tecnologie dell'illuminazione a studiare nuove soluzioni [6].

In questo contesto, è possibile osservare lo sviluppo di numerose iniziative che mirano a introdurre nuove tecnologie nell'ambito dell'energia rinnovabile, delle Smart Grid e dell'illuminazione pubblica.

Infatti, come dichiarato da Enea, al fine di affrontare le sfide globali riguardanti la produzione e la sicurezza energetica, è necessario sviluppare nuove tecnologie a basse emissioni di anidride carbonica. In questo ambito si sono sviluppate le Smart Grid: reti informatiche che permettono di integrare fonti rinnovabili per produrre e distribuire energia a scala urbana. Queste, sono in grado di monitorare e gestire i consumi elettrici utilizzando avanzate tecnologie digitali, inoltre, riducono i costi e gli impatti ambientali, aumentando l'affidabilità, l'efficienza e la stabilità del sistema [7].

Inoltre, nell'ambito dell'illuminazione pubblica si mira a ridurre la diffusione di tecnologie obsolete, appartenenti a impianti vetusti, non a norma e non efficienti dal punto di vista funzionale e prestazionale e a introdurre nuove tecnologie legate alle sorgenti di illuminazione LED e alla gestione e al controllo del flusso luminoso emesso.

Numero di punti luce	Circa 11 milioni
Potenza istallata	1595 MW
Consumo annuo energia elettrica per IP	5900 GWh
Immissione CO ₂ (IEA)	531 gr/kWh
Tempo di accensione considerato	4200 ore/anno
Numero punti luce con efficienza luminosa inferiore a 70lm/W	2 milioni
Numero punti luce di proprietà dei Comuni	7.5 milioni
Numero punti luce di proprietà non Comunale	1.7-2 milioni
Consumo annuo pro capite	98 kWh
Potenza media installata per punto luce	145 W
Risparmi energetici medi conseguibili tramite riqualificazione impianti	30/40%
Risparmi energetici medi conseguibili con riqualificazione LED + telegestione adattiva	60/70%

Figura 1.2 – I numeri dell'Illuminazione Pubblica in Italia (valori approssimativi)

Fonte: ENEA "Lumière & Public Energy Living Lab" [8].

Prendendo in considerazione quanto detto, l'illuminazione pubblica risulta avere un peso ingente all'interno del bilancio delle amministrazioni comunali.

A tal proposito, il 28 marzo 2018, è stato pubblicato il Decreto Ministeriale che disciplina i criteri ambientali minimi (CAM) dei servizi di illuminazione. Come riportato dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, i Criteri Ambientali Minimi sono i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. Attraverso la loro applicazione è possibile diffondere tecnologie e prodotti che rispettano l’ambiente, producendo benefici sul mercato e stimolando gli operatori economici ad allinearsi alle nuove proposte della pubblica amministrazione [9].

Analizzando quanto sostenuto finora, è interessante osservare come l’illuminazione pubblica, nell’ambito delle smart city, assuma un duplice ruolo. Infatti, al fine di utilizzare tecnologie dotate di sensori in grado di acquisire e analizzare i *big data* raccolti dal territorio circostante, ai lampioni viene attribuito un ruolo “strumentale”, cioè, vengono utilizzati come punti elettrificati predisposti ad accogliere sensori e telecamere di rilevazione del flusso di traffico, dei livelli di inquinamento e qualità dell’aria, delle condizioni meteorologiche e molto altro ancora. In questo primo ambito, la presenza capillare degli impianti di illuminazione su tutto il territorio, diventa un’infrastruttura fondamentale per lo sviluppo di alcuni servizi delle smart city.

Il secondo ruolo, ovviamente di non minor importanza, rappresenta la funzione stessa dei lampioni, quindi sistemi in grado di ospitare sorgenti luminose che forniscono un’illuminazione stradale rispettando i requisiti di sicurezza e le normative vigenti. In quest’ottica, anche questa funzione si è evoluta, seguendo i nuovi obiettivi delle smart city, infatti, sono state incrementate le prestazioni delle sorgenti LED, sempre più efficienti, con migliori performance luminose e minore consumo energetico. Inoltre, si sono sviluppati dei sistemi di gestione e controllo dell’illuminazione in grado di fornire in tempo reale livelli di luce necessari durante le ore notturne, nel rispetto delle norme tecniche sulla sicurezza.

A tale proposito, G. Leonardi nel testo *“Sviluppo dell’architettura e tecnologie di Smart lighting e funzionalità del palo intelligente”* sostiene che la funzione del palo non è più solo quella di sostenere gli apparecchi di illuminazione, ma grazie all’utilizzo di sensori, svolge un ruolo fondamentale per monitorare l’illuminazione, l’ambiente, i flussi traffico veicolare e pedonale [10].

È opportuno inoltre ricordare che, al fine di integrare in modo corretto l’illuminazione nel contesto urbano e sviluppare progetti unitari ed omogenei, esiste uno strumento regolatore, il Piano

Regolatore dell'Illuminazione Comunale (PRIC), redatto dalle amministrazioni comunali per controllare gli impianti esistenti, pianificare e gestire la manutenzione o sostituzione delle installazioni nuove o esistenti. Come dichiarato da M. Sambati, i principali obiettivi verso cui mirano le pubbliche amministrazioni riguardano la sicurezza degli individui attraverso l'utilizzo di sorgenti luminose più efficienti, il rispetto ambientale, l'ottimizzazione dell'energia e degli interventi manutentivi al fine di ridurre il tempo di ritorno dell'investimento iniziale. Inoltre, il PRIC permette di progettare la città dal punto di vista illuminotecnico, rispettando il suo tessuto urbano e consente ai comuni di ricavare un censimento qualitativo e quantitativo degli impianti esistenti [11].

Perseguendo l'obiettivo di miglioramento del sistema elettrico nazionale, si sono sviluppati negli ultimi anni due importanti progetti emanati da Enea (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile). Il Progetto Lumière, come dichiarato da Enea, nasce dall'intenzione di migliorare il servizio di illuminazione pubblica, al fine di renderlo più efficiente dal punto di vista dei consumi energetici e gestionali, soddisfacendo i bisogni della città e dei cittadini che le vivono [12]. In seguito, è stato elaborato il sistema di gestione PELL (Public Energy à-Living Lab), come dichiarato da Enea, una piattaforma in grado di gestire il censimento degli impianti di illuminazione pubblica e organizzare un database basato sul recupero, raccolta, organizzazione, gestione, rielaborazione e infine valutazione dei sistemi luminosi. Grazie al monitoraggio e alla digitalizzazione, è possibile controllare a distanza e in tempo reale dati tecnici e informazioni relative ai consumi [13].

Queste iniziative sottolineano chiaramente l'importanza sempre più rilevante che stanno occupando gli investimenti nell'ambito dell'illuminazione pubblica, poiché questa risulta essere un'infrastruttura essenziale a cui possono fare riferimento le smart city del futuro, al fine di sviluppare e implementare i servizi utili alla cittadinanza.

CAPITOLO 2

ANALISI DEI SISTEMI DI GESTIONE E SMART LIGHTING



Oggi, una delle sfide più importanti lanciata dalle città intelligenti è quella di sviluppare un'illuminazione non solo funzionale, ma intelligente e maggiormente sostenibile con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici, le emissioni di CO₂ e migliorare la qualità di vita dei cittadini attraverso l'integrazione di questi nuovi sistemi con numerosi servizi proposti dalla smart city.

In questo contesto, alcune aziende si sono mobilitate per sviluppare tecnologie in grado di rispondere alle nuove esigenze della società. Grazie alla rete capillare dei punti luce all'interno del tessuto urbano, è possibile usufruire di specifici sensori per monitorare non solo lo stato dell'illuminazione pubblica, ma acquisire anche informazioni relative ai livelli di inquinamento dell'aria, flussi di traffico, monitorare i parcheggi, la raccolta dei rifiuti, i sistemi di irrigazione e molto altro ancora.

Questi sensori permettono quindi di sfruttare i lampioni della luce come punti di raccolta di dati e trasmetterli su un cloud per monitorare a distanza le informazioni utili per migliorare la qualità di vita dei cittadini.

Di seguito è stata effettuata un'analisi di mercato sui sistemi intelligenti sviluppati da alcune aziende di illuminazione al fine di individuare lo stato dell'arte di tali tecnologie e i principali servizi offerti alla cittadinanza.

2.1 – PHILIPS LIGHTING

Come dichiarato da Philips Lighting, ad oggi, le città consumano il 78% dell'energia globale e producono più del 60% di diossido di carbonio. L'obiettivo è quello di ridurre al minimo il loro impatto sul pianeta e, al fine di creare le "città del domani", l'illuminazione pubblica si impegna a offrire più della semplice illuminazione attraverso l'impiego di sistemi intelligenti e versatili. La luce migliora la sicurezza della città, l'attrattività e il turismo.

In questo contesto, Philips ha sviluppato il software CityTouch il quale permette una significativa riduzione dei consumi energetici e dei costi, ottimizzando i processi di manutenzione e semplificando la rete urbana. Questa piattaforma permette alle città di diventare più vivibili, efficienti e sostenibili. L'illuminazione connessa è una soluzione end-to-end che consente di migliorare il servizio elettrico. Si sviluppa su tre pilastri fondamentali: il software, gli apparecchi di illuminazione e i servizi [14].

- Software – consente di raccogliere e visionare in tempo reale dati dettagliati sull'illuminazione stradale
- Illuminazione – in base alle esigenze è possibile connettere gli apparecchi stradali al sistema CityTouch
- Piattaforma – permette di controllare e osservare lo stato dell'illuminazione attraverso una piattaforma intuitiva, personalizzata e sicura, con accesso personalizzabile per terze parti
- Servizi – gestisce l'intero ciclo di vita dell'illuminazione: dall'input dei dati alla gestione delle risorse [15]

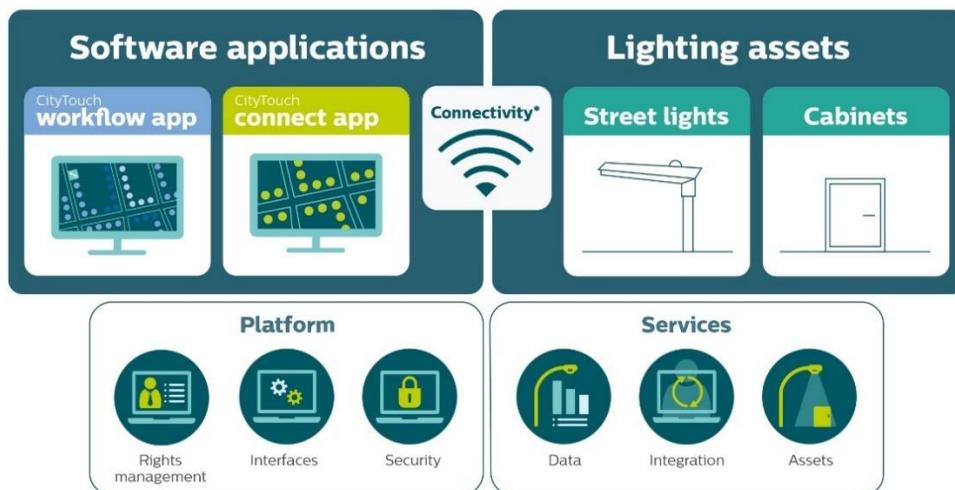


Figura 2.1.1 – Sistema di gestione CityTouch per l'illuminazione della città

Fonte: Philips Lighting [15].

I principali vantaggi del CityTouch sono:

- Migliore abilità decisionale: permette di gestire l'illuminazione, determinare l'uso di energia, controllare il sistema e rilevare i problemi in un unico quadro generale
- Brevi tempistiche di ritorno dell'investimento: l'utilizzo dei LED riduce notevolmente i costi energetici. Combinando i LED con il sistema CityTouch è possibile aumentare il risparmio e rientrare nei costi di investimento in tempi più brevi

- Flessibile con standard aperti: è possibile integrare il sistema a qualsiasi apparecchio di illuminazione, gli apparecchi certificati sono i CityTouch Ready i quali si connettono direttamente con il sistema principale
- Sicuro: supporta sensori, telecamere e dispositivi IoT al fine di sviluppare servizi intelligenti. Grazie ai costanti controlli il sistema risulta essere sempre aggiornato
- Facili aggiornamenti: è possibile applicare questa tecnologia ad apparecchi nuovi o già esistenti al fine di connettere insieme le luci della smart city [16].

Il sistema presenta l'App di connessione CityTouch che permette di gestire e monitorare da remoto gli apparecchi di illuminazione, indicare la presenza di guasti e rilevare i consumi energetici e l'App sul flusso di lavoro CityTouch per analizzare i dati, pianificare la manutenzione e comunicare attraverso uno strumento mobile con i manutentori sul campo, registrando automaticamente le attività svolte.



App di connessione CityTouch



App sul flusso di lavoro CityTouch

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Le principali abilità del sistema sono:



GESTIONE

Ogni singolo lampione è gestito e controllato autonomamente. È possibile aumentare i livelli di luce per migliorare la sicurezza e visibilità o diminuirli per risparmiare e prevenire l'inquinamento luminoso.



MONITORAGGIO

In caso di guasto o interruzione il sistema invia un avviso in modo da poter intervenire in maniera mirata. CityTouch presenta diversi livelli di gravità di errore in modo da ottenere informazioni precise sul problema.



MISURAZIONE

Viene contabilizzata l'energia consumata da ogni singolo lampione, ottenendo anche informazioni sulla locazione in modo da poter valutare in maniera più precisa interventi futuri sul sistema.



PROFILI DI OSCURAMENTO

Attraverso l'interfaccia del sistema è possibile gestire il profilo di dimmerazione per ogni singolo apparecchio, differenziando l'illuminazione nelle aree residenziali rispetto a quelle lavorative ecc.



REATTIVITÀ

Al fine di migliorare la sicurezza dei cittadini, è possibile regolare i livelli di luce in base alle aree della città.



CALENDARIO

L'applicazione CityTouch Connect integra dei calendari che indicano gli orari di alba e tramonto. È possibile personalizzarli con date di eventi e avvenimenti di rilevante importanza per la città.



INFORMAZIONI SULLO STATO

In tempo reale è possibile acquisire informazioni su ogni singolo apparecchio di illuminazione. In caso di guasto o interruzione il sistema invia un messaggio di avviso.



EFFICIENZA

È possibile programmare in maniera efficiente la ricezione di e-mail in modo da essere sempre informati su errori o problemi del sistema.



GESTIONE DEL FLUSSO DI LAVORO

Con l'applicazione di CityTouch Workflow è possibile migliorare la gestione della luce nella città, fornendo informazioni sul tipo di illuminazione. Questo permette una migliore gestione delle riparazioni e migliora l'efficienza dei flussi di lavoro legati all'illuminazione.



PRECISIONE

Attraverso l'applicazione è possibile misurare il consumo di energia di ogni singolo apparecchio o gruppi di apparecchi, strade, distretti o l'intera città.



SEGNALAZIONE

CityTouch monitora il consumo di energia in diversi luoghi e in differenti orari. Questo permette di quantificare i benefici economici legati anche alle nuove tecnologie LED e migliorare le pratiche operative.



IMMEDIATEZZA

Il sistema, attraverso la connessione a internet, prevede continui aggiornamenti al fine di migliorare le prestazioni. Inoltre, prevede tecnici che forniscono assistenza e aiuto in caso di necessità.

TIPOLOGIE DI SISTEMI DI CONTROLLO

In base alle esigenze, CityTouch propone una vasta gamma di sistemi che connettono i singoli apparecchi a un database centrale, al fine di rendere più semplice e immediata la gestione dell'illuminazione pubblica. Le principali opzioni sono:



APPARECCHI CITYTOUCH READY

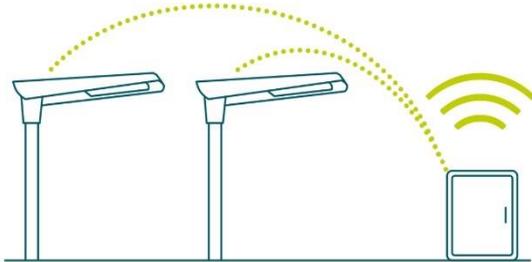
Attraverso l'installazione degli apparecchi e alla connessione a Internet, sarà possibile condividere dati con il database.

KIT CONNETTORE CITY TOUCH

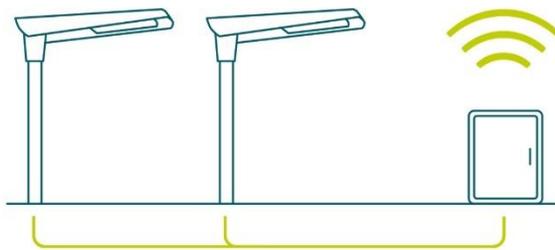


Se gli apparecchi di illuminazione sono già presenti, è possibile posizionare sul palo il Kit connettore, un'unità compatta che funziona con la maggior parte degli apparecchi.

CONNETTIVITÀ DI RETE LOCALE



I lampioni stradali si connettono a un controller attraverso la radiofrequenza wireless, che si connette al software CityTouch tramite Internet.



CONNETTIVITÀ DI GRUPPO BASATA SU CABINET

Attraverso la linea elettrica i lampioni stradali si collegano a un controller che si connette al software CityTouch tramite Internet.

Gli apparecchi CityTouch Ready sono definiti soluzioni plug-and-play, infatti, dopo l'installazione si collegano automaticamente al sistema CityTouch, indicando la loro collocazione e i dati tecnici in modo da poter inviare informazioni operative sul database. È possibile controllare l'illuminazione della città in modo semplice e intuitivo e il seguente sistema è applicabile sia su apparecchi Philips sia di altri produttori [15].

CASO STUDIO

LUOGO: Buenos Aires, Argentina

ANNO: 2013-2015

N° PUNTI LUCE: 91.000 apparecchi

SISTEMA DI CONTROLLO: Philips CityTouch

La costante crescita di popolazione a Buenos Aires, Argentina, stava determinando una continua crescita dei consumi energetici, dei costi, delle emissioni di CO₂ e dell'inquinamento luminoso. Si è quindi intervenuti utilizzando apparecchi a LED a efficienza energetica con il sistema di gestione della luce CityTouch e la piattaforma SAP HANA al fine di rendere la città un posto più sicuro, sostenibile ed efficiente dal punto di vista energetico. La collaborazione con il sistema SAP HANA ha permesso una visione della città più completa, grazie alla raccolta e alla condivisione di dati da diversi dipartimenti della città sull'illuminazione stradale, gestione dei rifiuti e dei semafori. City Touch ha permesso alla città di avere un continuo controllo sull'illuminazione: è possibile monitorare, attivare e gestire ogni singolo punto luce in base alle esigenze dei cittadini. La flessibilità del sistema consente una migliore gestione dei consumi energetici, assicurando costantemente le condizioni di sicurezza per i veicoli e i pedoni nel rispetto delle normative vigenti.

Il progetto è stato suddiviso in tre fasi. Nel 2013 sono stati installati 11.000 punti luce LED nelle strade e vie principali e nel 2014 e 2015 ne sono stati montati 40.000 su strade secondarie e in totale 91.000 punti luce che rappresentano il 75% dell'illuminazione di Buenos Aires. Questo ha consentito, oltre notevoli risparmi sui costi dell'elettricità e sulle emissioni di CO₂ (diminuzione di 23.600 tonnellate), a una riduzione del 50% dei costi operativi e a un miglioramento della qualità di vita per 13 milioni di cittadini [15].

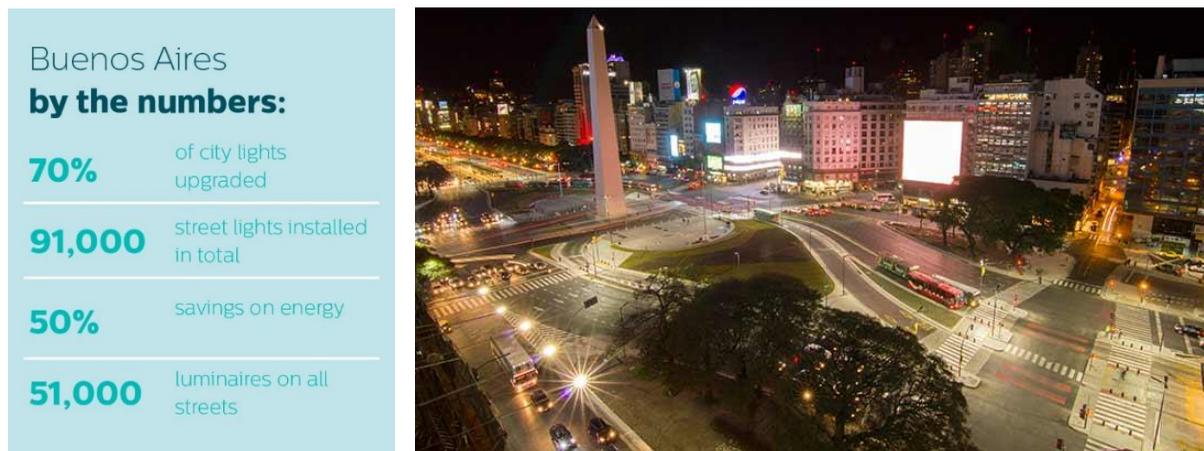


Figura 2.1.2 – Caso studio, Buenos Aires, Argentina

Fonte: Philips Lighting [17].

2.2 – GRUPPO SCHRÉDER

Il Gruppo Schröder ha sviluppato la tecnologia Owlet al fine di attuare il controllo smart dell'illuminazione urbana. Attraverso questo sistema è possibile ridurre i costi legati all'energia fino all'85%, amministrare più efficientemente le spese, gestire adeguatamente la manutenzione e la conduzione degli impianti e aumentare la sicurezza per i cittadini [18].

L'azienda offre differenti livelli di controllo della luce, partendo da soluzioni base fino a soluzioni avanzate.



SOLUZIONI STAND-ALONE

Utilizzate per l'illuminazione smart di base, ogni apparecchio gestito autonomamente presenta un'unità di controllo. È utilizzato principalmente per le aree che presentano limitata attività notturna come parchi, parcheggi e magazzini. Owlet stand-alone integra un orologio astronomico, fotocellule per regolare l'accensione e lo spegnimento dell'apparecchio, sensori di presenza e velocità e il sistema di illuminazione intelligente con Constant Light Output (CLO).



RETI AUTONOME OWLET

Utilizzate per aree che presentano attività non lineare. Gli apparecchi trasmettono informazioni tramite rete wireless chiusa al fine di gestire un profilo dimmer dinamico. In caso di rilevazione di un movimento, il sistema attiva la giusta regolazione al fine di assicurare sicurezza e comfort ai cittadini. È possibile integrare sensori di movimento e velocità, inoltre, ogni apparecchio integra un'unità di controllo e può essere gestito autonomamente. La rete senza fili Schröder Owlet offre efficienza, affidabilità, libertà di incorporare sensori, continuo aggiornamento e ampliamento della rete e accessibilità.



RETI INTEROPERABILI OWLET NIGHTSHIFT

La rete interoperabile permette di monitorare, misurare e gestire il sistema di illuminazione grazie alla combinazione tra tecnologia e un'interfaccia web che controlla costantemente i singoli punti luce. È possibile integrare la rete Owlet Nightshift con qualsiasi tipo di lampada, i dati vengono gestiti ed elaborati per sviluppare analisi energetiche e rilevare guasti. L'interfaccia è intuitiva e il sistema risulta essere flessibile e di facile installazione.



RETI INTEROPERABILI OWLET IOT

Utilizzate per impianti di illuminazione esterna. Owlet IoT è un sistema di telecontrollo che integra la tecnologia con un'interfaccia web semplificata per l'utilizzo. Permette di monitorare anche a distanza gli apparecchi di illuminazione rilevando malfunzionamenti o guasti. È un sistema aperto che permette di interagire con altre piattaforme della smart city al fine di ottenere ulteriori vantaggi operativi [19].

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Attraverso l'Internet of Things (IoT) è possibile rilevare e controllare gli oggetti da remoto, e connetterli tra di loro al fine di migliorare l'efficienza, l'accuratezza e i benefici economici. La comunicazione tra i differenti oggetti permette di sviluppare nuovi servizi utili a migliorare la qualità di vita dei cittadini della smart city.

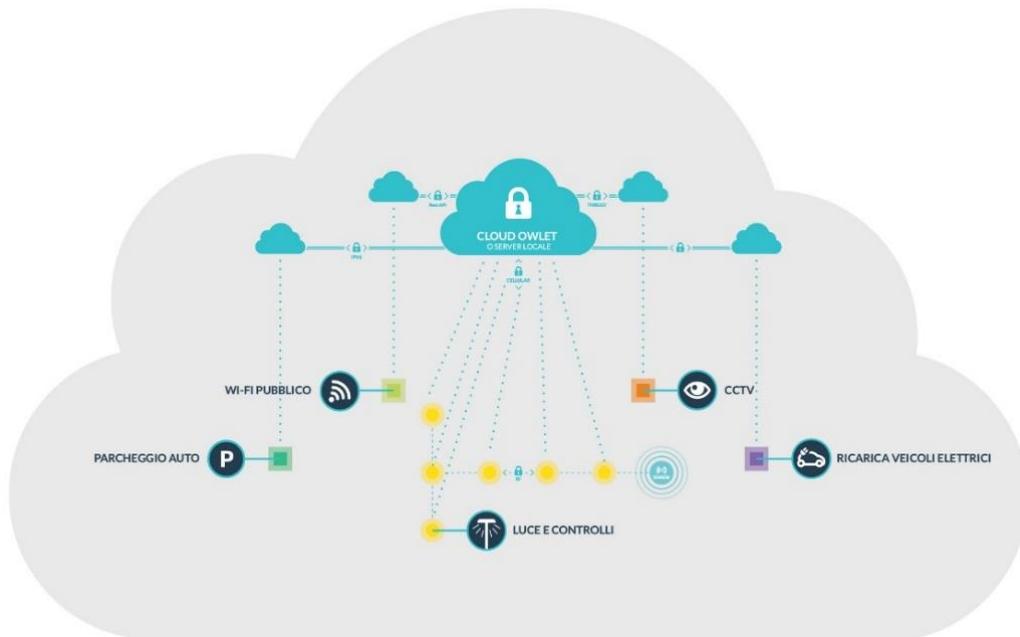


Figura 2.2.1 – Sistema di gestione per l’illuminazione della città

Fonte: Owlet IoT – Gestione urbana di prossima generazione [18].

Il sistema Owlet IoT permette di scambiare dati e collaborare con piattaforme della smart city come sensori per gestire il traffico, sistemi che monitorano l’ambiente e dispositivi di sicurezza. Per connettere i dispositivi a una piattaforma comune, è necessario che questi siano “indirizzabili”, in questo modo si creano un numero infinito di combinazioni che permettono di connettere anche componenti non tradizionali ad una rete o internet.

Le principali caratteristiche del sistema sono:



ARCHITETTURA IBRIDA SMART

Il sistema prevede un impianto di illuminazione adattivo e attraverso il telecontrollo si assicura un set-up efficiente e l’interazione tra la rete locale e i server.



SEMPLICE ATTIVAZIONE

Attraverso l'utilizzo di un'antenna GPS e un sistema di auto-attivazione, Owlet risulta essere una soluzione Plug and Play. I dispositivi di controllo prevedono un set-up autonomo e non è necessario localizzare i singoli apparecchi di illuminazione.



EFFICIENTE GESTIONE DELL'IMPIANTO

Il sistema integra un dispositivo che rileva le caratteristiche dell'apparecchio di illuminazione, inoltre, attraverso il GPS viene fornita la localizzazione. Questo, permette di avere un sistema di gestione delle risorse dinamico.



LOCALIZZAZIONE ISTANTANEA GPS

Grazie alla presenza del GPS non c'è bisogno di registrare, scansionare e mappare manualmente la posizione dell'apparecchio. Questo avviene in maniera automatica e permette di semplificare il processo di attivazione.



PRECISA MISURA DEL CONSUMO ENERGETICO

Il sistema integra un accurato rilevatore di energia. Questo, consente alle amministrazioni di conoscere l'effettivo consumo energetico e di poter registrare i risparmi in maniera semplificata.



SCENARI DI RICADUTA SICURA

Le tecnologie presenti nel sistema assicurano che l'illuminazione si accenda e spenga in completa sicurezza. I comandi sono forniti dal profilo di regolazione e l'orologio astronomico insieme alla fotocellula evitano la possibilità che si verifichi un blackout durante le ore notturne.



APPLICAZIONE INTUITIVA BASATA SU INTERFACCIA WEB

È possibile connettersi tramite qualsiasi dispositivo sul web per poter monitorare e gestire il sistema di illuminazione. L'interfaccia semplificata permette di personalizzare le impostazioni del sistema.



VANTAGGI OPERATIVI

Il sistema consente l'implementazione, l'adattamento e la riproduzione di profili di regolazione e impostazioni driver al fine di semplificare la manutenzione e l'efficienza operativa [18].

TIPOLOGIE DISPOSITIVI DI CONTROLLO

I principali dispositivi di controllo dell'illuminazione Luco sono presentati nella tabella seguente.

Ognuno di essi presenta differenti sistemi di controllo e possono agire sia su reti autonome che interoperabili. Il LuCo P7 CM risulta essere quello più evoluto infatti consente di gestire una dimensione della rete illimitata e dispone di un'attivazione autonoma, questo consente di diminuire i costi relativi al personale specializzato e di diminuire i tempi di intervento. Inoltre, il sistema è in grado di trasmettere autosufficientemente le informazioni dell'apparecchio su un cloud connesso ad operatori che raccolgono le informazioni acquisite e in caso di guasto richiedono interventi immediati.



LUCO-ADP



LUCO-NXP



LUCO P7



LUCO P7 CM

INTEGRAZIONE	All'interno dell'apparecchio	All'interno dell'apparecchio	Connesso a un attacco NEMA 7 pin esterno	Connesso a un attacco NEMA 7 pin esterno
SISTEMA DI CONTROLLO	Software per attivazione in loco	Compatibile con Owlet IoT	Compatibile con Owlet IoT	Progettato per il sistema di gestione urbana Owlet IoT
PROGETTATO PER	Reti locali autonome	Reti interoperabili	Reti interoperabili	Reti interoperabili
DIMENSIONE DELLA RETE	da 2 a 1.000 punti luce	da 2 a 100.000 punti luce	da 2 a 100.000 punti luce	Illimitata
ATTIVAZIONE	Deve essere completata manualmente in loco (apparecchio per apparecchio)	Deve essere completata manualmente in loco (apparecchio per apparecchio)	Modulo GPS integrato per parziale auto-attivazione	Completa auto-attivazione

CARATTERISTICHE	• Constant Light Output (CLO)			
	• Virtual Power Output (VPO) per prevenire la sovrailluminazione	• Virtual Power Output (VPO) per prevenire la sovrailluminazione	• Virtual Power Output (VPO) per prevenire la sovrailluminazione	• Virtual Power Output (VPO) per prevenire la sovrailluminazione
	• Regolazione impostata	• Regolazione impostata	• Regolazione impostata	• Regolazione impostata
	• Luce su richiesta in abbinamento a sensori	• Luce su richiesta in abbinamento a sensori	• Luce su richiesta in abbinamento a sensori	• Luce su richiesta in abbinamento a sensori
		• Modifica da remoto degli scenari di luce e reportistica	• Modifica da remoto degli scenari di luce e reportistica	• Modifica da remoto degli scenari di luce e reportistica
			• Fotocellula integrata	• Fotocellula integrata
			• Orologio astronomico	• Orologio astronomico
				• Rilevazione furto cavi
				• Gestione completa impianto (rilievo di tutte le informazioni sull'apparecchio)
				• Aperto all'integrazione con terze parti (supporto per applicazioni IoT)

Figura 2.2.2 – Soluzioni di controllo Luco

Fonte: Soluzioni di illuminazione nell'era digitale – Schröder [19].

Una delle caratteristiche di controllo del sistema studiato da Schröder è la funzione Bi-Potenza, la quale permette di ridurre la corrente in uscita nelle ore notturne ad un valore inferiore (solitamente al 50%). Questo metodo è presente sia negli apparecchi dotati di lampade a scarica tradizionali sia nei LED. Nel primo caso i risparmi di energia sono limitati, nel secondo caso il consumo di energia è proporzionale alla diminuzione dell'emissione luminosa.



Figura 2.2.3 – Funzione Bi-Potenza

Fonte: Soluzioni di illuminazione nell'era digitale – Schröder [19].

Al fine di bilanciare il decadimento del flusso luminoso e per evitare un'illuminazione eccessiva all'inizio della vita utile dell'installazione, è stato sviluppato il sistema Constant Lighting Output (CLO). In assenza della funzione CLO, si verifica un incremento della potenza nella fase iniziale per pareggiare il futuro decadimento del flusso luminoso.

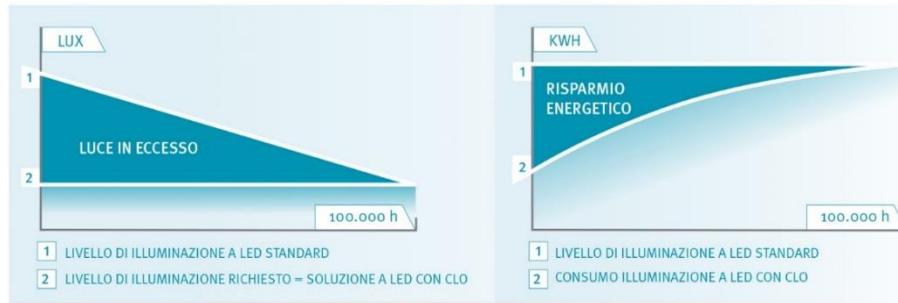


Figura 2.2.4 – Funzione Constant Light Output

Fonte: Soluzioni di illuminazione nell'era digitale – Schröder [19].

Inoltre, è possibile programmare gli alimentatori intelligenti con profili di regolazione (CusDim), combinando intervalli di tempo e regolazioni di flusso (fino a 5 tipologie). Questo permette di ottenere il massimo risparmio energetico nelle ore notturne, rispettando i livelli di illuminazione e di uniformità necessari.

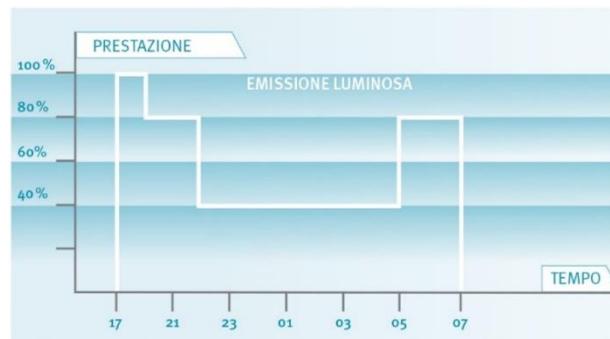


Figura 2.2.5 – Profilo di regolazione personalizzato (CusDim)

Fonte: Soluzioni di illuminazione nell'era digitale – Schröder [19].

Al fine di adeguare il flusso luminoso alle necessità della città, Schréder, ha studiato un sistema in grado di rilevare i livelli di luce naturale, movimenti o velocità per attivare il sistema di illuminazione solo quando è necessario. I sensori di luce diurna consentono agli apparecchi di accendersi solo quando l'illuminazione naturale è insufficiente, garantendo comfort e sicurezza agli utenti. I sensori di movimento vengono predisposti in aree con scarsa attività notturna, in caso di rilevazione di un pedone o un veicolo i sensori aumentano il flusso luminoso. Infine, i sensori di velocità e direzione collaborano in una zona di rilevamento ampia in modo da identificare la direzione e la velocità dell'oggetto in movimento [19].

CASO STUDIO

LUOGO: San José, USA

ANNO: 2011-2022

N° PUNTI LUCE: 62.000 apparecchi

SISTEMA DI CONTROLLO: Owlet, Schréder

La capitale della Silicon Valley, San José in California, al fine di raggiungere l'obiettivo di "Zero Emission Streetlights", si è affidata alle tecnologie Owlet di Schréder. È stato sviluppato un nuovo piano di illuminazione che ha previsto la sostituzione dei punti luce a vapori di sodio con nuovi apparecchi LED. Nel 2011 è stato imposto l'obiettivo di sostituire, entro il 2022, 62.000 punti luce con l'integrazione del sistema di controllo adattivo. Al termine del progetto è prevista una riduzione del consumo energetico del 50%.

Nel 2010 San José ha dovuto provvedere alla sostituzione e riparazione di 13.000 apparecchi, spendendo oltre 6 milioni di dollari per la manutenzione. Con le soluzioni Owlet, la città può misurare, controllare e monitorare l'intero sistema di illuminazione. Questo, ha offerto un migliore senso di sicurezza e benessere dei cittadini, diminuendo allo stesso tempo i consumi di energia e le emissioni di CO₂. Dal 2007 la città ha sviluppato il programma Green Vision finalizzato a ridurre i consumi energetici, diminuire l'inquinamento luminoso per la tutela del cielo notturno. L'obiettivo è quello di ottenere il 100% dell'energia da fonti rinnovabili piantando circa 100.000 alberi. San José sostiene che il miglioramento dell'illuminazione urbana possa portare a numerosi benefici ambientali e sociali [20].

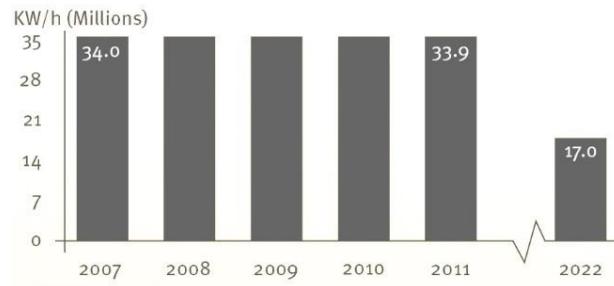


Figura 3.2.6 – Uso dell’energia per i lampioni stradali (riduzione target 50%)

Fonte: Smart control for efficient lighting - Schröder [20].

2.3 – REVERBERI ENETEC

Reverberi Enetec ha sviluppato una gamma di tecnologie evolute al fine di telegestire e ridurre i consumi energetici della smart city. Sono stati studiati e sviluppati prodotti come Opera, Reverberi, Maestro, Pro Sensor e Unico che sono sistemi di gestione punto-punto, regolatori di tensione, strutture di controllo delle sorgenti LED e sistemi di telecontrollo e smart lighting.

L’insieme delle apparecchiature elettroniche collocate nei pressi di un quadro di comando, in grado di raccogliere e registrare dati riguardanti i singoli punti luce, è definito sistema di telegestione. Questo, è composto dal gateway che opera come concentratore, da moduli elettronici denominati nodi, il cui ruolo è trasmettere al gateway le misure relative ai singoli apparecchi e da un PC o server costituito da uno o molteplici canali di comunicazione.

I principali sistemi di comunicazione sono:

- GSM – flessibile e di facile installazione
- RETE ETHERNET/DSL CABLATA – elevata sicurezza e affidabilità ma complessa installazione
- 3G/4G – buona affidabilità e velocità di connessione, semplice installazione ma complicata configurazione
- Altre come Wi-Fi, Radio Frequenza e Onde Convogliate.

Inoltre, Reverberi Enetec ha studiato un sistema di regolazione luminosa che permette di adattare la potenza emessa dalle lampade attraverso il controllo della tensione di alimentazione, nel caso dei regolatori di tensione centralizzati, o della corrente assorbita per gli alimentatori regolabili o

bi-potenza. La potenza assorbita viene ridotta del 20% - 30%, ottenendo quindi una riduzione dei consumi di energia.

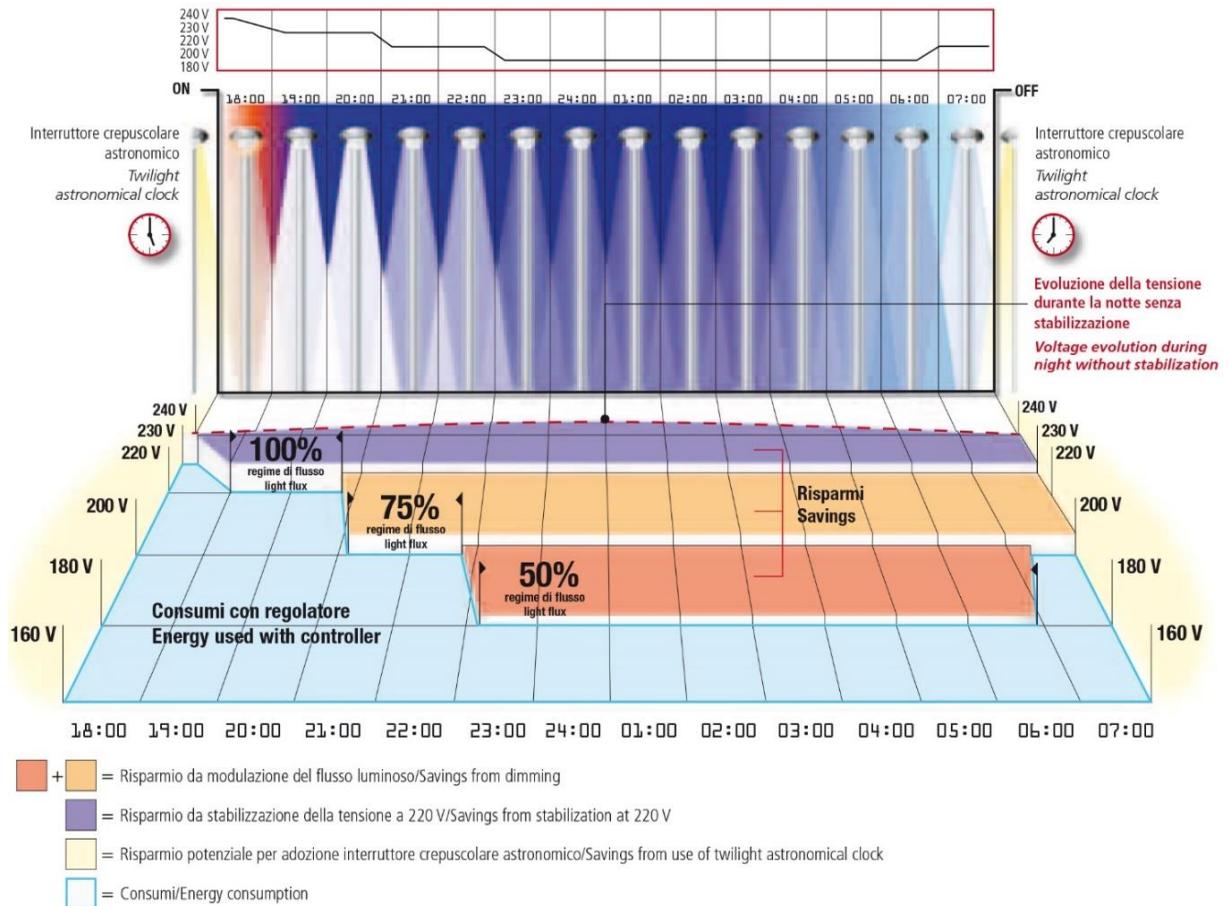


Figura 2.3.1 – Regolatore di flusso

Fonte: Reverberi Enetec [21].

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI TELEGESTIONE OPERA

Reverberi ha sviluppato il sistema di telegestione Opera, attraverso il quale è possibile controllare da remoto gli impianti di illuminazione, consentendo una riduzione dei costi di manutenzione e il miglioramento del servizio.

Opera è un sistema:

COMPLETO - È composto da sistemi modulari (DIM, DIMmy, RAM, IOM, LPM, LPL, LPR, ecc.).

Adattabile ad applicazioni ridotte (singolo impianto) ed estese (gestione di città, province, regioni)

FLESSIBILE - Gli apparecchi modulabili permettono di modificare parametri in base alle necessità in qualsiasi momento. Grazie al supporto di protocolli di comunicazione standard, il dialogo con dispositivi risulta semplificato.

CONFIGURABILE - Ogni soluzione viene progettata su misura in base alle necessità dell'utente.

AFFIDABILE - In caso di assenza di connessione con il database principale, i nodi LPC, LPL, LPR, attivano uno scenario di emergenza per mantenere attiva l'operatività del sistema.

RIDONDATO E DISTRIBUITO - I dispositivi del sistema Opera interagiscono tra di loro e la comunicazione è aperta grazie al protocollo RV3 Open. Il software, il modulo DIM, il gateway LPM e nodi LPL e LPR sono dotati di un'intelligenza propria che permettono di controllare l'impianto di illuminazione in modalità telegestione, adattiva o collaborando con i sensori della smart city [22].

I principali vantaggi del sistema Opera sono:

- I moduli sono componibili in base alle esigenze
- Il software permette di gestire da remoto gli elementi eterogenei
- Il software integra dati e informazioni sullo stato di fatto con dati riguardanti la misurazione, la manutenzione e allarmi
- Grafica semplificata per visualizzare lo stato dell'impianto
- Rapida individuazione degli allarmi grazie all'uso di mappe semplificate
- Predisposizione di un sistema di sicurezza per il controllo degli accessi sul software
- Possibilità di visualizzare gli impianti da app, tablet, smartphone direttamente in campo
- Attraverso l'utilizzo di programmi gestionali è possibile condividere le informazioni
- I dati riguardanti la riparazione e manutenzione possono essere aggiornati nel software da remoto
- Reperibilità dei dati tecnici assicurata
- Il software può pianificare scenografie luminose gestendo manualmente l'accensione e la dimmerazione di ogni lampada o gruppi di lampade [23].

In questo ambito, Reverberi, ha sviluppato il software Maestro e Maestro Pro, una piattaforma integrata adatta a differenti tipi di installazione, da quelle più semplici alle più complesse. Maestro

permette di controllare i regolatori di tensione, i singoli punti luce e le telecamere oltre alla localizzazione degli impianti nell'area e la gestione della manutenzione.

Tramite la gestione di ogni singolo punto luce è possibile raggiungere il massimo del risparmio energetico e ottimizzare le attività di manutenzione, continuando però a regolare singolarmente i parametri di ogni sorgente. Attraverso la rete di telecontrollo e telegestione, è possibile integrare servizi aggiuntivi come videosorveglianza, stazioni meteo, controllo di pannelli a messaggio variabile, e molto altro ancora. Ogni progetto viene studiato su misura in base alle necessità, integrando le tecnologie, anche quelle più tradizionali con prodotti innovativi, efficienti e affidabili. Per quanto riguarda i sensori crepuscolari, Reverberi, ha sviluppato l'Infralux, in grado di individuare la quantità di infrarosso in atmosfera, e il software Astro, il quale rileva il sorgere e il tramontare del sole nell'area in cui viene installato [21].

Reverberi, al fine di rispettare quanto specificato nella norma UNI 11248 e CEN 13201-3, ha sviluppato il sistema ProSensor LTM, il quale permette di rilevare il livello di luminanza del tratto stradale preso in analisi, il flusso del traffico nelle ore notturne e controllare le condizioni meteorologiche che possono influire sul manto stradale.

Il sensore LTM permette di rispettare il valore di luminanza imposto dalle normative senza dover considerare lo stato dell'asfalto, il deterioramento delle lampade e degli apparecchi di illuminazione. Il controllo del flusso luminoso avviene in tempo reale in base alle condizioni di traffico e atmosferiche del tratto di strada preso in considerazione. In questo modo, è possibile ottenere sempre una corretta luminanza della strada, evitando la regolazione dell'illuminazione in base ai dati statistici, come accade con sistemi meno evoluti.

La sonda LTM viene integrata nei sistemi di regolazione Reverberi e Opera, agendo come una periferica del modulo DIM. Questo permette di raggiungere un ulteriore 50% di risparmio energetico oltre alla riduzione dei consumi ottenibili con i tradizionali sistemi di regolazione.

Uno dei ruoli principali della smart city è quello di monitorare i parametri ambientali, la qualità dell'aria, il traffico, l'inquinamento acustico e le vibrazioni, attraverso una rilevazione sensoristica estesa su tutto il territorio. In questo contesto, il sensore LTM è in grado di rilevare questi dati e informazioni, utili per monitorare le condizioni ambientali della città intelligente [24].

CASO STUDIO

LUOGO: Roma, Italia

ANNO: 2015-2022

N° PUNTI LUCE: 200.000 nodi a onde convogliate, 3.000 gateway, 1.000 sensori per rilevazione dati

SISTEMA DI CONTROLLO: Opera

Al fine di migliorare la qualità dell'illuminazione e ridurre i consumi energetici, dal 2015 al 2018 nel quartiere EUR di Roma, sono state sostituite le sorgenti di illuminazione, installando apparecchi LED con telecomando punto-punto, impiegando 200.000 nodi di comunicazione in onde convogliate, 3.000 gateway e analizzatori di quadro. Nel rispetto della Norma UNI 1248 del 2016, Reverberi ha introdotto un sistema di controllo dell'illuminazione adattivo che permette di ridurre i consumi del 30%. Il progetto LIFE-Diademe ha previsto l'installazione di 1.000 sensori per la rilevazione di dati riguardanti il traffico, il rumore, l'inquinamento atmosferico, i dati ambientali e le vibrazioni che permettono di monitorare le condizioni della smart city [23].

Il progetto entro il 2022 mira a:

- ridurre i consumi energetici del 30% e le conseguenti emissioni di CO₂
- diminuire del 30% l'inquinamento luminoso sia dovuto alle emissioni degli apparecchi che alla riflessione della luce sul manto stradale e sugli edifici,
- risparmi energetici di 159 GWh/anno e a 55.850 TEP/anno di CO₂ in meno,
- decremento del 10% dei costi di manutenzione,
- riduzione RAEE (rifiuti di AEE cioè Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche) di 93 t/anno minime e 4,180 t/anno per adozione a livello globale UE entro il 2022,
- riduzione del 30% della spesa pubblica,
- avvicinamento ai "bandi verdi",
- è possibile prevedere gli esiti degli impatti socio-economici e ambientali di LIFE Diademe a livello europeo e globale come integrazione ai risultati in GPP (Green Public Procurement) e nei futuri scenari per la smart city [25].

2.4 – OSRAM

Street Light Control (SLC) è un innovativo sistema di gestione dell'illuminazione esterna, progettato da Osram, al fine di progredire nei temi dell'efficienza energetica e sviluppo sostenibile. Controlla e monitora da singoli a molteplici punti luce, facilitando la riduzione delle emissioni di CO₂ e dell'inquinamento luminoso. Attraverso il software è possibile controllare l'illuminazione e pianificare la manutenzione e la sicurezza stradale in modo efficiente. Street Light Control è compatibile con differenti sistemi di gestione e controllo della smart city e grazie alla flessibilità del software e delle tipologie di comunicazione, è possibile sviluppare soluzioni di illuminazione su misura.

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Il sistema Street Light Control è composto da:

1. SLC SOFTWARE: è l'interfaccia principale per l'utente, permette di gestire da remoto i singoli punti luce facilitando l'amministrazione e la programmazione delle installazioni
2. PROTOCOLLO INTERNET (IP): il software SLC e il gateway SLC comunicano tramite una connessione sicura IP come da GPRS, ethernet o fibra ottica
3. SLC GATEWAY: consente di memorizzare, elaborare e tradurre i comandi di controllo e i sondaggi avviati dal software SLC, inoltre, può essere implementato con ulteriori componenti ausiliari come contatori o sensori
4. POWERLINE: questa comunicazione di rete permette di trasmettere i dati tra il gateway SLC e gli apparecchi
5. REGOLATORE SLC-LUMINAIRE/ CONTROLLER SLC-POLE: grazie agli elementi di controllo è possibile monitorare fino al singolo punto luce, possono essere montati sul palo o sull'apparecchio e inoltre, ogni controller permette di amplificare il segnale.

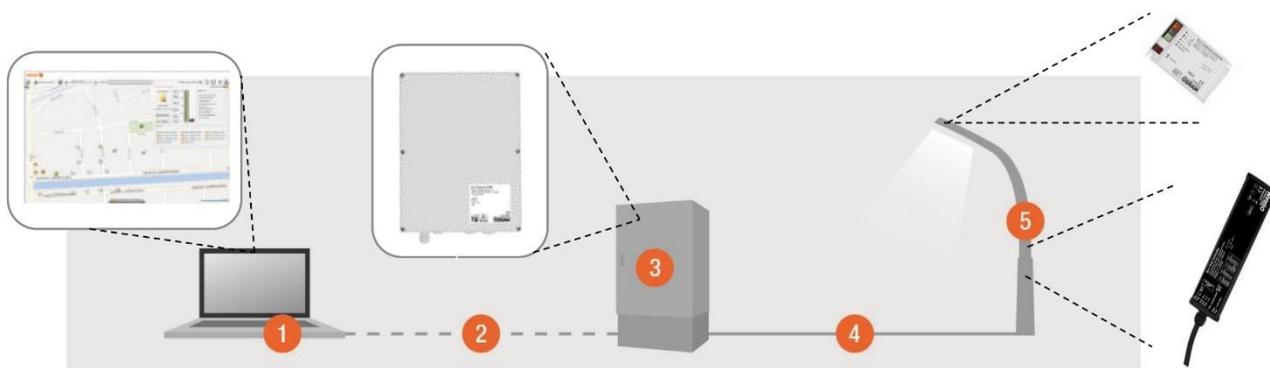


Figura 2.4.1 – Sistema Street Light Control

Fonte: Osram [26].

Il software è composto da un'interfaccia principale, nella quale l'utente può accedere per ricavare informazioni relative all'impianto. È quindi possibile gestire il sistema da una posizione centrale che consente di:

- **CONTROLLARE** – è possibile gestire molteplici apparecchi contemporaneamente o singoli punti luce in base alla necessità, permettendo inoltre di fare eccezioni per gli apparecchi che devono rimanere disattivati durante lavori di costruzione o periodi di vacanza.
- **AMMINISTRARE** – il sistema presenta la possibilità di raggruppare apparecchi di illuminazione in maniera semplice, prevedere con precisione gli interventi di manutenzione e segnalare automaticamente guasti o problematiche.
- **ANALIZZARE** – il software registra automaticamente i dati dei componenti, sviluppando report di analisi come valutazioni energetiche, esportate periodicamente [27].

Inoltre, Osram Street Light Control permette di:

- **RISPARMIARE ENERGIA E RIDURRE I COSTI OPERATIVI** – il sistema consente di ottimizzare l'illuminazione attraverso la gestione di ogni singolo apparecchio, portando ad un risparmio energetico del 50% l'anno. Inoltre, vengono ridotte le emissioni di CO₂, semplificando la gestione della manutenzione e monitorando in maniera efficace gli apparecchi di illuminazione.
- **AUMENTARE LA SICUREZZA** – è fondamentale fare un corretto uso dell'illuminazione per rendere sicure strade, piste e parchi. È necessario mettere in sicurezza l'impianto dalle

condizioni atmosferiche. Attraverso la tecnologia Osram Powerline viene offerta la migliore sicurezza funzionale.

- AUMENTARE LA FLESSIBILITÀ DELL'ILLUMINAZIONE – il sistema consente di adattarsi perfettamente ai cambiamenti della città, modificando le caratteristiche degli apparecchi singolarmente in base alle necessità [28].

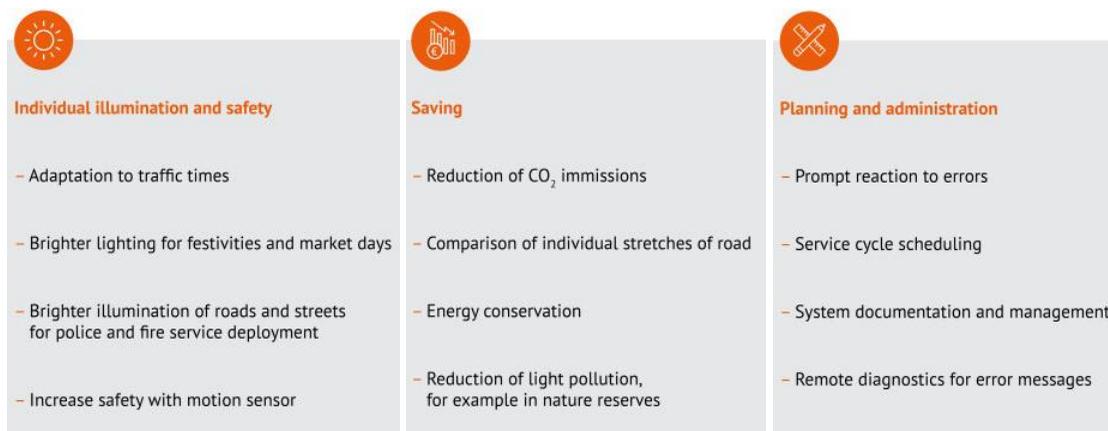


Figura 2.4.2 – Benefici del sistema SLC

Fonte: Osram [29].

Ogni apparecchio è dotato di una targhetta digitale denominata LumIdent. Questa, consente di leggere il codice QR identificativo al fine di identificare l'apparecchio, ricavare informazioni sui parametri, registrare dati, rilevare errori e gestire pezzi di ricambio. Attraverso l'applicazione LumIdent è anche possibile visualizzare le modifiche effettuate durante la vita dei sistemi di illuminazione, inoltre, consente di ridurre i possibili errori, ottimizzare i dati raccolti utilizzando un minor numero di strumenti di rilevazione [30].

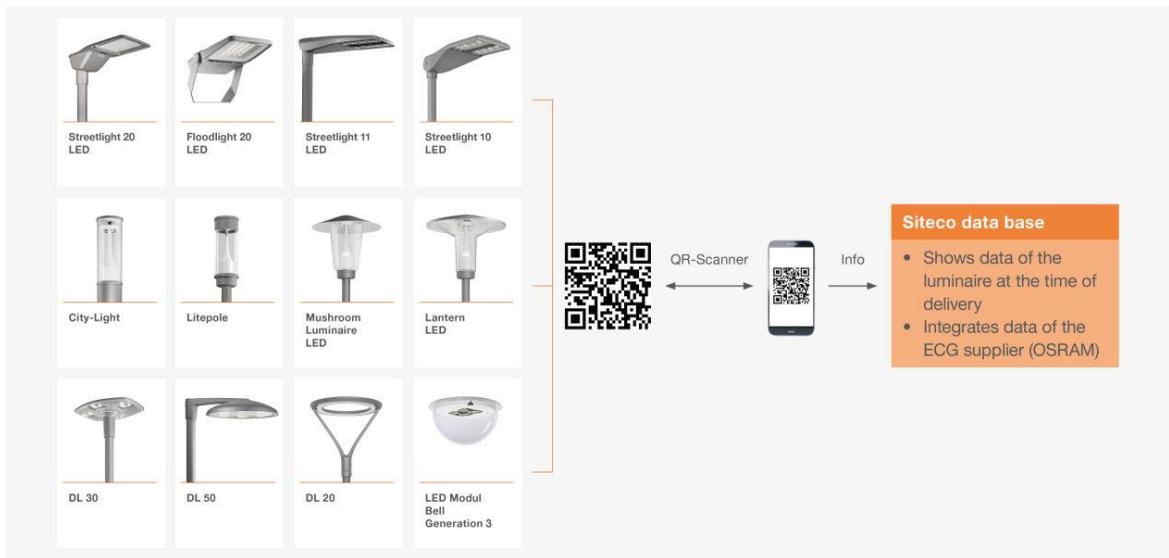


Figura 2.4.3 – Lumident: la targhetta digitale

Fonte: Osram [30].

L'illuminazione Osram offre numerose soluzioni tecnologiche che permettono alla città di avvicinarsi alla smart city, come lo SmartPack, un sistema che permette di offrire molto di più della semplice illuminazione stradale. L'azienda ha sviluppato StreetLight 11, una soluzione adattabile a differenti applicazioni di illuminazione per esterni, fornendo servizi base per la gestione del traffico e delle altre applicazioni smart city. Viene sviluppato con soluzioni personalizzate al fine di raccogliere ed elaborare le informazioni ricavate. Lo SmartPack è dotato di una videocamera integrata che permette di:

- Ridurre il traffico per la ricerca di parcheggi
- Stabilire lo stato libero/occupato
- Riconoscere la durata del parcheggio
- Calcolare l'affluenza d'uso
- Riconoscere i trasgressori di parcheggio
- Monitorare e regolare il flusso di traffico
- Rileva la densità e flusso di traffico
- Riconosce le tempistiche degli ingorghi
- Conta e identifica gli utenti della strada (pedoni, ciclisti, autobus, camion...)

- Indica il percorso corretto agli utenti che hanno bisogno di indicazioni
- Smart Security migliora la sicurezza dei cittadini
- Sistemi di gestione video
- Protezione dei dati [31].



Figura 2.4.4 – StreetLight 11 SmartPack

Fonte: Osram [31].

CASO STUDIO

LUOGO: Guben, Germania

ANNO: 2013

N° PUNTI LUCE: 550 apparecchi Streetlight Premium

SISTEMA DI CONTROLLO: Streetlight Control, Reverberi

Nel 2013, la città di Guben in Brandeburgo, Germania, ha sostituito i precedenti sistemi di illuminazione con tecnologie LED a risparmio energetico. Osram Siteco ha installato circa 550 punti luce Streetlight in versione Premium al fine di ottenere risparmi energetici del 60% rispetto ai consumi precedenti. Gli antecedenti apparecchi di illuminazione, obsoleti e inefficienti, non permettevano di gestire l'illuminazione in base alle necessità: per risparmiare energia alcune sorgenti venivano spente di notte creando zone scarsamente illuminate e pericolose per gli utenti.

Con la nuova soluzione LED, è stato possibile diminuire sia i consumi energetici sia le emissioni di CO₂, migliorando contemporaneamente la qualità della luce e della vita dei cittadini.

Tutti gli apparecchi installati sono interconnessi e dotati di un sistema di gestione intelligente della luce al fine di rispettare le esigenze di ogni singolo tratto stradale. È possibile controllare singolarmente o a gruppo ogni apparecchio in base alle esigenze.

Il progetto di illuminazione varia in base al settore specifico in cui si è intervenuti, ad esempio, nell'ambito industriale, l'illuminazione tiene conto dei cambi di turno degli operatori.

In conclusione, il progetto risulta essere efficiente, altamente personalizzabile e caratterizzato da un'elevata qualità della luce nell'area di intervento, inoltre, l'installazione dei nuovi apparecchi è stata sovvenzionata dal Ministero federale tedesco per l'ambiente, la tutela della natura e la sicurezza nucleare [32].

2.5 – GREENLED INDUSTRY

Greenled Industry favorisce l'innovazione delle città attraverso soluzioni che migliorano la qualità della vita dei cittadini, mantenendo una forte attenzione nei confronti dell'ambiente e sviluppando spazi intelligenti, efficienti e personalizzati. Attraverso l'interazione tra l'illuminazione intelligente e l'IoT, è possibile studiare le potenzialità dell'*"Internet della Luce"*. Il fine non è solo quello di illuminare ma, integrando le tecnologie LED con i sistemi di gestione e controllo della luce, è possibile raggiungere obiettivi più ambiziosi.

Vengono proposti sistemi in grado di controllare dal singolo punto luce a molteplici lampade, la tecnologia wireless mesh permette di trasformare ogni nodo della rete in trasmettitore, ricevitore o ripetitore, rendendo il sistema dinamico, ma mantenendo l'affidabilità e la continuità del servizio. Inoltre, attraverso le onde radio è possibile gestire il flusso luminoso in base alle necessità richieste.

Il Telecontrollo "di linea" permette di rilevare e amministrare le linee di alimentazione che regolano l'accensione e lo spegnimento degli apparecchi attraverso l'installazione del sistema Remote Terminal Unit. Il Telecontrollo "punto-punto" consente di ricavare informazioni sulla singola lampada, ottenendo informazioni e dati al fine di gestire in maniera più efficiente l'impianto di illuminazione [33].

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Le principali funzioni del telecontrollo sono:



Regolazione del flusso luminoso e configurazione di ogni singolo punto luce o di gruppi di lampade realizzabile da remoto.



Funzione di programmazione e definizione dei profili di funzionamento desiderati.



Analisi delle performance dell'impianto, monitoraggio dei consumi energetici e funzioni predittive.



Gestione del sistema mediante software dedicato. Dati accessibili su piattaforma cloud.



Predisposizione per l'integrazione con dispositivi terzi in grado di rilevare dati di contesto e con tecnologie in ambito IoT.

I principali vantaggi del sistema di telecontrollo sono:



Risparmio energetico e sostenibilità ambientale grazie all'integrazione di sistemi di regolazione della luce



Riduzione dei costi di manutenzione con relativi vantaggi sia economici che organizzativi.



Modularità e flessibilità del sistema in grado di adattarsi a differenti scenari in base alle necessità.



Espandibilità e comunicazione del sistema con tecnologie intelligenti.

Il sistema di telecontrollo sviluppato da Greenled Industry è in grado di comunicare e relazionarsi con altre tecnologie della smart city, come Wi-Fi, videosorveglianza, monitoraggio ambientale, ecc. Attraverso il sistema “punto - punto” si utilizza una rete aperta intelligente e interattiva in grado di trasformare gli apparecchi di illuminazione in “pali intelligenti” [33].

CASO STUDIO

LUOGO: Firenze, Italia

ANNO: 2013-2014

N° PUNTI LUCE: 22 apparecchi per Piazza Beccaria e 6 apparecchi per Via del Ponte Sospeso

SISTEMA DI CONTROLLO: /

Durante il festival di Firenze F-LIGHT 2013, il comune e Silfi Spa hanno promosso l'illuminazione tecnologica nei luoghi più suggestivi della città di Firenze. Obiettivo della manifestazione è quello di sostituire le lampade a incandescenza con lampade LED al fine di illuminare con luce bianca contesti con valenza storico-architettonica, minimizzando il consumo energetico e aumentando la visibilità e la sicurezza delle aree d'intervento. La collaborazione di Greenled Industry e Corrled ha portato a due nuovi progetti per Piazza Beccaria e Via del Ponte Sospeso.

Caratteristiche Piazza Beccaria:

- Apparecchi in configurazione torre-faro: n.22 apparecchi: flusso luminoso 14.547 lm, 129 W;
- Alta efficienza luminosa: 113 lm/W;

- Sicurezza e visibilità: Migliori condizioni di visibilità e maggiore sicurezza del traffico veicolare e pedonale.

Caratteristiche Via del Ponte Sospeso:

- Apparecchi Street Lighting: n.6 apparecchi street lighting ad alta efficienza. Flusso luminoso 14.596 lm, Potenza 137W;
- Alta efficienza luminosa: 106 lm/W;
- Sicurezza e visibilità: migliori condizioni di visibilità e maggiore sicurezza del traffico veicolare e pedonale.

Il progetto è terminato nel 2014 ed ha portato a una maggiore resa cromatica e un'illuminazione più uniforme. Grazie all'ottimizzazione della progettazione e ai rendimenti garantiti dai corpi illuminanti Greenled Industry, il risparmio energetico è compreso tra il 40 e il 60% [34].

2.6 – AEC ILLUMINAZIONE

I principali obiettivi delle città del futuro sono il risparmio, la sicurezza e la vivibilità. AEC Illuminazione ha sviluppato differenti soluzioni:



PER IL CITTADINO E LE AMMINISTRAZIONI

AEC Smart System è caratterizzato da una comunicazione aperta che permette di integrare numerosi servizi per i cittadini della smart city (come Smart Parking, Smart Metering, Wi-Fi etc.)



PER IL RISPARMIO ENERGETICO

Attraverso la collaborazione tra gli apparecchi LED e i sensori di movimento, traffico e meteo è possibile fornire l'illuminazione corretta in base alle necessità, diminuendo così i costi energetici e riducendo gli sprechi.



PER UN INVESTIMENTO INTELLIGENTE

Attraverso l'impiego dei sistemi intelligenti per la pubblica illuminazione, è possibile integrare nuovi servizi smart, mantenendo la possibilità di consultare i dati su una piattaforma condivisa e aperta.

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Il sistema AEC Smart System presenta numerosi sensori in grado di monitorare la città intelligente.

SMART LIGHTING

Per quanto concerne la tematica “Smart Lighting”, il sistema AEC Smart System consente di regolare l’illuminazione in maniera efficace e flessibile dai singoli ai molteplici punti luce. Attraverso l’utilizzo di sensori, è possibile ricavare informazioni sulle condizioni della viabilità e regolando di conseguenza l’illuminazione in base alle necessità. Per mezzo dei sensori di movimento, il sistema prevede la programmazione di accensione e spegnimento degli apparecchi in base al passaggio di individui, in modo da ottimizzare i consumi. Inoltre, attraverso la registrazione dei consumi e dei guasti di ogni singolo corpo illuminante, possono essere conteggiate con precisione le ore di accensione, il consumo energetico e la diagnosi degli alimentatori.

SMART PARKING

Il sistema è in grado di rilevare la presenza di parcheggi liberi, informando il cittadino attraverso applicazioni web o app. Questo permette di ridurre le tempistiche per trovare il posto auto.

SMART TRACKING

Attraverso i sistemi sensoristici, è possibile geolocalizzare persone, car/bike sharing e mezzi pubblici. L’utente non è più vincolato a trovare parcheggi in cui lasciare i mezzi di trasporto, ma, per mezzo della rete AEC viene rilevata l’esatta posizione del veicolo al fine di fornire questa informazione all’utente interessato.

SMART ENVIROMENT

Prevede l’integrazione di sensori ambientali e sensori meteo al fine di monitorare la qualità dell’aria o l’inquinamento acustico e per sviluppare soluzioni alternative ai seguenti problemi che si possono verificare nelle città. Inoltre, consentono di raccogliere dati relativi alla temperatura, umidità, velocità e direzione del vento e quantità di acqua piovana. Sono quindi strumenti decisionali per le città del futuro.

SMART METERING

Il sistema è in grado di svolgere da remoto le letture dei contatori gas e acqua, situati vicino agli

impianti di illuminazione. Questo, consente la riduzione dei costi delle risorse umane e un controllo più semplice ed efficace.

SMART INFORMATION

I cittadini sono costantemente informati, in tempo reale, su avvisi relativi a previsioni meteo, qualità dell'aria, viabilità, etc. attraverso pannelli a messaggio variabile. Questi, vengono anche utilizzati per sponsorizzare prodotti, eventi o informazioni turistiche, sincronizzate direttamente sul dispositivo dell'utente.

SMART IRRIGATION

Questa nuova tecnologia consente di controllare da remoto l'accensione e lo spegnimento dell'irrigazione pubblica, impostando anche orari personalizzati e differenti scenari. Al fine di evitare sprechi di acqua, il sistema intelligente prevede che in caso di pioggia l'irrigazione non si attivi.

SMART WASTE MANAGEMENT

Attraverso l'utilizzo di sensori presenti nei cassonetti, è possibile comunicare al sistema il livello di riempimento dei rifiuti, in modo da attivare il servizio di raccolta solo in caso di necessità.

SERVIZI A LARGA BANDA

Ulteriori servizi proposti dal sistema comprendono la copertura Wi-Fi, la videosorveglianza attraverso telecamere che monitorano l'ambiente sia nelle ore diurne che notturne e il diffusore audio che permette di trasmettere avvisi, pubblicità o gestire situazioni di emergenza.

Attraverso l'integrazione dei servizi smart e del sistema di telecontrollo, la gestione dell'illuminazione avviene in modo più semplificato ed efficace. Gli apparecchi di illuminazione dotati di nodi e sensori formano una rete capillare chiamata Wireless Sensor Network (WSN) che permette di attivare i servizi intelligenti. Grazie alla presenza di punti luce estesi su tutto il territorio, è possibile monitorare tutta l'area urbana. Le informazioni raccolte passano attraverso la rete WSN e vengono raccolte nei Gateway GTW, presenti in differenti aree della città, i quali, inviano i dati al server centrale City SmartWay. I Big Data vengono successivamente elaborati da terze parti al fine di stabilire lo stato e gli interventi da attuare nella smart city.

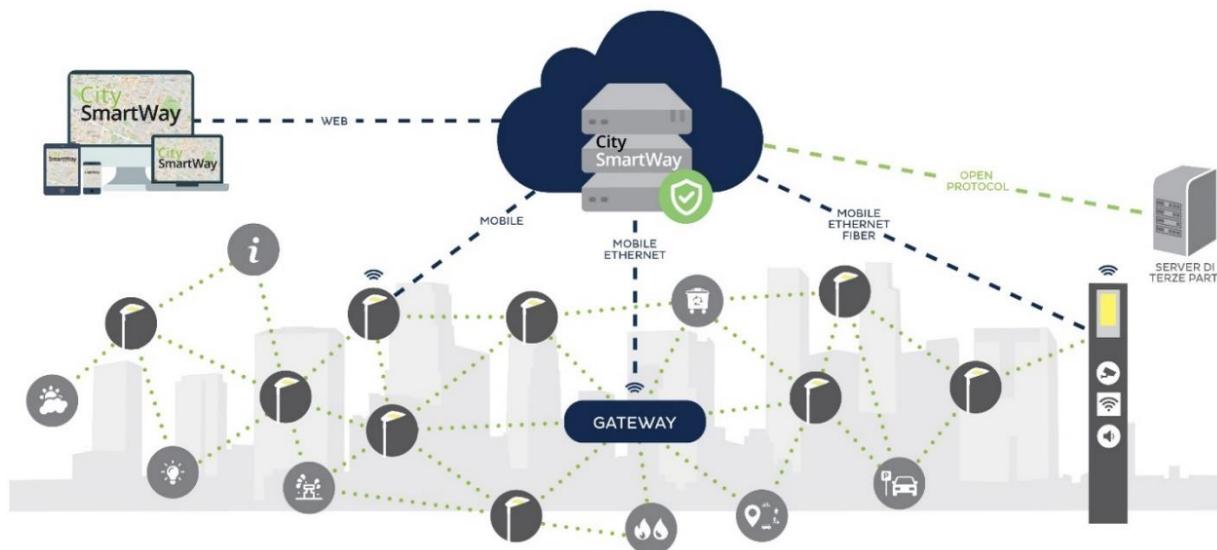


Figura 2.6.1 – Architettura del sistema AEC Smart System

Fonte: AEC Illuminazione [35].

La piattaforma di gestione e controllo City Smart Way consente di svolgere differenti funzioni utili per analizzare e monitorare i comportamenti della smart city.

GESTIONE INFORMAZIONI IMPIANTO

Il software è in grado di raccogliere informazioni attraverso l'impianto di illuminazione e registrare i dati relativi alle caratteristiche del prodotto, ai certificati di conformità, ai manuali tecnici, etc.

GRUPPI E PROFILI DI DIMMERAZIONE

È possibile regolare ogni singolo apparecchio in base alle necessità, variando la dimmerazione o programmando i profili con sequenze personalizzate. L'accensione e spegnimento dell'impianto può seguire gli orari impostati dall'orologio astronomico presente nel sistema o esternamente.

ANALISI DEI DATI E REPORT

I Big Data ricavati vengono analizzati per differenti utilizzi in base ai filtri assegnati (selezione in base al tempo o in base alla localizzazione).

ALLARMI E MANUTENZIONE

Attraverso e-mail o avvisi è possibile ricevere la segnalazione di allarmi in caso di riparazioni o anomalie da effettuare sugli apparecchi. In questo modo, è più semplice organizzare le attività del personale legate alla manutenzione, svolgendo interventi mirati e ottimizzando le tempistiche.

SISTEMA ONLINE H24

L'impianto è costantemente connesso e aggiornato. Attraverso i sensori che rilevano in tempo reale le informazioni, è possibile comunicare tempestivamente informazioni agli utenti.

INTERFACCIA WEB RESPONSIVE

Il software è utilizzabile da qualsiasi dispositivo (PC, smartphone, etc.). L'accesso al database avviene tramite l'inserimento di password che permettono di accedere a differenti aree del sistema.

INTERATTIVITÀ IN TEMPO REALE

Le mappe interattive consentono di rilevare informazioni in tempo reale, come la presenza di guasti o anomalie nella rete di illuminazione.

AGGIORNAMENTO DA REMOTO

Tutti i dispositivi vengono aggiornati da remoto senza dover ricorrere a tecnici specializzati che intervengano in loco. Lo stesso vale anche per i nodi e gateway.

SICUREZZA DEI DATI

I dati raccolti e trasmessi sono protetti da sistemi di cifratura e reti virtuali protette. Inoltre, vengono costantemente salvati attraverso backup.

INSTALLAZIONE SU CLOUD O SERVER

Il software installato su cloud consente al cliente di versare un canone annuale per collegarsi ad un server esterno che gli permetta di usufruire del servizio, il software installato su server, invece, mantiene i dati all'interno della piattaforma aziendale senza commissioni annuali.

Il sistema AEC Smart System prevede quindi la gestione dell'illuminazione in modo adattivo, cioè in base alle reali necessità dell'ambiente. Al fine di diminuire i consumi energetici e allungare la vita utile degli impianti, l'appendice D della norma UNI 11248 indica due differenti soluzioni di

impianti adattivi basati o su flusso orario di traffico (TAI) o su traffico, luminanza/illuminamento e meteo (FAI). Nel primo caso al variare delle condizioni di traffico varia conseguentemente la categoria illuminotecnica. Ogni 10 minuti viene regolata l'illuminazione e in caso di aumento del traffico si aumenta la categoria illuminotecnica e in caso di diminuzione si passa a quella inferiore. Nel secondo caso il sistema FAI si basa anche sulla luminanza/illuminamento e condizioni meteo, tenendo quindi anche conto dell'invecchiamento delle sorgenti e delle reali condizioni delle superfici illuminate.

In conformità con i criteri premianti dei CAM DM 27-9-2017, il sistema FAI prevede una risposta inferiore ai 60 secondi per la dimmerazione dell'illuminazione, in base alla luminanza stradale viene stabilizzato il flusso luminoso e possiede una classe di programmabilità di tipo P1 (4 programmi stagionali, 4 giornalieri con cambio automatico ora solare/legale) [35].

CASO STUDIO

LUOGO: Firenze, Italia

ANNO: 2018

N° PUNTI LUCE: circa 30.000 apparecchi

SISTEMA DI CONTROLLO: AEC Smart System

AEC Illuminazione, a seguito di un primo progetto di illuminazione per Firenze nel 1966, è tornata ad illuminare la città nel 2018. Attraverso l'utilizzo della tecnologia LED, sono stati sostituiti oltre a 30.000 corpi illuminanti per diminuire i consumi energetici derivanti dall'illuminazione pubblica. Gli apparecchi utilizzati appartengono alla serie ITALO e STYLO per l'illuminazione stradale, ARTELYS e ECORAYS per l'arredo urbano di parchi e piazze e GALILEO per la proiezione architettuale.

A Gennaio 2018 sono iniziati i lavori di sostituzione dei precedenti corpi illuminanti caratterizzati da vapori di sodio e mercurio. Grazie alla nuova installazione la città ha ottenuto una riduzione del 40% delle spese energetiche, diminuzione dell'inquinamento luminoso ed emissioni di CO₂.

Attraverso l'applicazione dei nodi di AEC Smart System, presenti in ogni corpo illuminante, si è creata un'efficiente infrastruttura di comunicazione [36].

2.7 – COMLIGHT

Comlight ha sviluppato una delle prime tecnologie di illuminazione adattiva, che permette di controllare la luce quando e dove è necessario, chiamata Motion Sensing Street Lighting System. Il sistema è studiato per rilevare movimenti nell'area pertinente al sensore, in questo modo le luci si attivano per permettere il passaggio di pedoni, ciclisti o auto in sicurezza e allo stesso modo si attenuano quando non vengono individuati movimenti. Il sistema crea "un'onda luminosa" che segue lo spostamento dell'oggetto in movimento permettendo quindi di utilizzare l'energia solo dove è necessario.

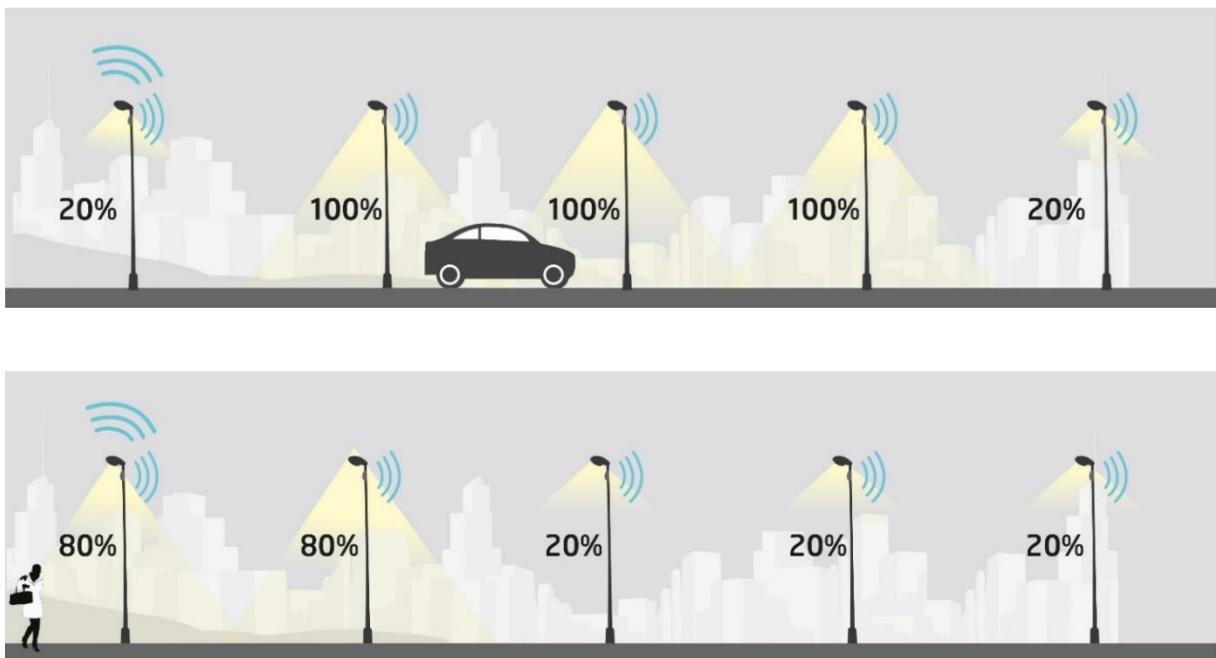


Figura 2.7.1 – Architettura del sistema Motion Sensing Street Lighting System

Fonte: Comlight [37].

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA

Le principali caratteristiche del sistema Motion Street Lighting System sono:

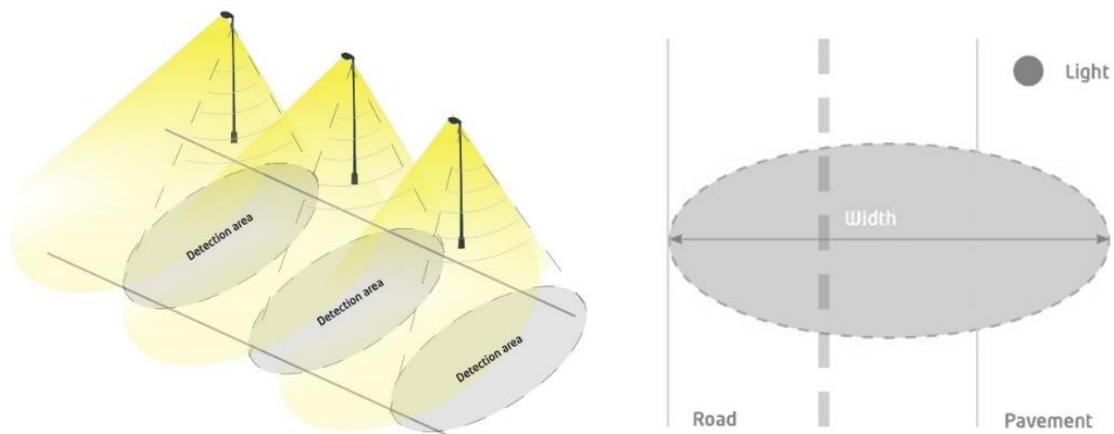
- sistema e software per Motion Detection;
- sistema autonomo;

- distinzione tra oggetti lenti e veloci;
- gli oggetti rilevati devono avere una velocità compresa tra 2 km/h e 200 km/h;
- sistema di cancellazione del rumore adattivo;
- possibilità di collegamento a driver /reattori dimmerabili.

Il sistema è in grado di offrire risparmio energetico per risolvere il problema degli sprechi di energia nell'ambito stradale, in cui le sorgenti rimangono completamente illuminate anche quando non c'è traffico e lo stesso problema si verifica anche nell'ambito delle aree pubbliche. Inoltre, permette di migliorare e aumentare il senso di sicurezza degli utenti, limitando atti di violenza e crimini, più frequenti in zone scarsamente illuminate, infine, gioca un importante ruolo per la sostenibilità ambientale, in particolar modo per il clima e l'ecosistema.

Il rilevatore radar Eagle Eye può operare come sistema stand-alone o con una connessione GPRS Eagle Eye per accedere da remoto alle impostazioni dei parametri. Il GPRS permette di ricavare informazioni sugli orari di funzionamento del sistema, sulle ore in cui l'apparecchio era impostato ad alta o bassa intensità, e sul numero di oggetti rilevati [37].

Il sistema inoltre individua un'area di rilevamento cioè la zona in cui Comlight monitora i movimenti. Questa, dipende dalla dimensione e dalla velocità dell'oggetto in movimento e dall'altezza del punto luce. Esempio di "detection area":



Height of light pole	Typical detection width for PEDESTRIANS	Typical detection width VEHICLE at 40 km/h
4 m	~8 m	~15 m
8 m	~10 m	~18 m
10 m	~12 m	~20 m

Figura 2.7.2 – Esempio di area di rilevamento

Fonte: Comlight [38].

CASO STUDIO

LUOGO: Halden, Norvegia

ANNO: 2018

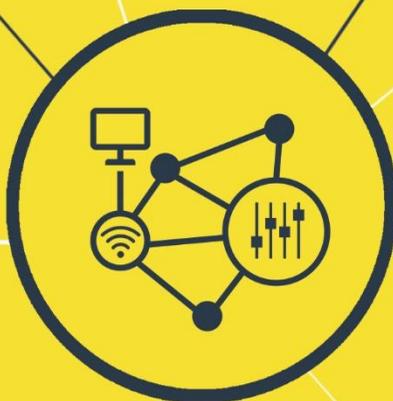
N° PUNTI LUCE: 15 apparecchi

SISTEMA DI CONTROLLO: AEC Italo1

In Norvegia è stato utilizzato il sistema "Motion Sensing Street Lighting" per illuminare parcheggi, parchi, aree residenziali e strade di qualsiasi tipo. Questa nuova tecnologia permette di minimizzare i danni ambientali e ridurre i consumi energetici a un livello sostenibile. Nella città di Halden sono stati installati 15 apparecchi con sistema intelligente in grado di rilevare il passaggio delle persone e illuminare la strada al fine di rispettare la normativa e le esigenze dei cittadini [39].

CAPITOLO 3

LA GESTIONE E IL CONTROLLO DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA



Ad oggi, le amministrazioni comunali pensano sempre più spesso a come ottenere maggiori risparmi economici e benefici ambientali attraverso l'utilizzo di nuove tecnologie in grado di ridurre gli sprechi energetici. Gli studi effettuati hanno portato non solo a sviluppare nuove sorgenti LED più performanti rispetto alle precedenti, ma a studiare e incrementare l'utilizzo di sistemi di gestione e controllo della luce, fondamentali per rispettare i requisiti di sicurezza durante tutte le ore di attivazione dell'impianto e fornire livelli di illuminazione correlati ai flussi di traffico (veicolare, pedonale e ciclabile). Importante osservare che queste tecnologie vengono direttamente integrate sul sistema di illuminazione già presente e quindi non è necessario intervenire con una sostituzione dei punti luce già installati.

A tal proposito, è stata sviluppata la Norma UNI 11248, la quale individua e fornisce le indicazioni per lo sviluppo dell'analisi dei rischi e per l'applicazione degli impianti adattivi TAI (Traffic Adaptive Installation) e FAI (Full Adaptive Installation). Di seguito sono stati riportati i principali passaggi che un progettista deve effettuare al fine di attuare un sistema adattivo su un impianto di illuminazione e inoltre, è stata presentata una metodologia proposta da Enea finalizzata alla misurazione dei flussi di traffico con un modello predittivo, basato sulla raccolta di dati degli indici di flusso rilevati in un arco temporale e con l'utilizzo di telecamere di rilevamento dei veicoli.

3.1 – LA GESTIONE DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

L'illuminazione pubblica è un servizio comunale che permette di rendere un territorio fruibile e sicuro per la cittadinanza. Infatti, sempre più spesso le amministrazioni locali investono in questo ambito al fine di ottenere una diminuzione dell'inquinamento luminoso e una riduzione dei consumi energetici.

Attualmente l'utilizzo delle sorgenti LED ha permesso di gestire gli impianti con una maggiore efficienza e quindi allungando la vita utile delle sorgenti e diminuendo la necessità di manodopera. Inoltre, è fondamentale considerare che queste sorgenti permettono di ottimizzare la qualità della luce e la relativa resa cromatica.

Oggigiorno gli studi sull'illuminazione non si sono limitati ad analizzare e a sviluppare nuove prestazioni per le sorgenti luminose a LED, ma hanno introdotto sul mercato dei sistemi in grado di gestire e controllare il flusso luminoso emesso. Infatti, i precedenti sistemi di illuminazione prevedevano un orario di accensione e uno di spegnimento attraverso un orologio astronomico o

con un sensore crepuscolare e durante le ore notturne la potenza emanata dalla sorgente restava costante durante le ore di funzionamento dell'impianto. Questo ha portato ad un elevato consumo energetico anche nelle ore centrali della notte in cui non era necessario mantenere il flusso luminoso a piena potenza.

Successivamente, analizzando la relazione tra i flussi di traffico e il flusso luminoso, è stato sviluppato un sistema costituito da un profilo pre-programmato e con sensore crepuscolare che permette l'accensione e lo spegnimento solo quando la luce naturale non rispetta il livello di illuminazione necessario per garantire la sicurezza degli utenti. Inoltre, durante le ore centrali della notte, il sistema prevede una riduzione del flusso luminoso poiché si ipotizza una diminuzione dei flussi veicolari. Il sistema pre-programmato, pur considerando il traffico stradale, si basa su ipotesi di riduzione del flusso veicolare e non su dati reali.

Per questo motivo, la nuova sfida lanciata dalle città intelligenti è quella di sviluppare un profilo di illuminazione in grado di adattarsi durante tutte le ore notturne ai flussi veicolari. Questo consente di rispettare, durante tutte le ore di funzionamento dell'impianto, le norme sulla sicurezza e sulle prestazioni di illuminazione stradale.

In questo contesto, gestire l'illuminazione non significa solo regolare la potenza della sorgente e modificare gli orari di accensione e spegnimento, ma l'illuminazione intelligente punta a gestire da remoto gli impianti. Questo consente di far dialogare tra loro i punti luce, grazie ai sistemi di interconnessione e alla rete dell'Internet of Things e di poter intervenire assegnando comandi o visualizzando guasti di ogni singolo lampione oppure di macro-gruppi.

Il telecontrollo e la telegestione consentono di ottimizzare i costi di manutenzione, migliorare il servizio di illuminazione, gestire e raccogliere dati da remoto attraverso un cloud che mette in relazione i lampioni stradali con i server e inoltre consente di contenere l'inquinamento luminoso e ambientale allungando la vita utile delle sorgenti. Inoltre, è importante sottolineare che questi sensori e telecamere vengono integrati all'interno del sistema di illuminazione già presente e quindi non è necessario sostituire o modificare i punti luce.

3.2 – LA NORMATIVA TECNICA PER LA PROGETTAZIONE E GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE STRADALE

Il panorama normativo per la progettazione illuminotecnica si basa su alcune normative utili a definire i principali approcci progettuali che un progettista deve adottare per sviluppare un impianto di illuminazione conforme ai nuovi requisiti normativi.

Nel seguente lavoro di tesi, le principali norme prese in considerazione sono state:

- Norma UNI 11248:2016: “Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche”;
- Norma UNI EN 13201-2: “Illuminazione stradale- Parte 2: Requisiti prestazionali”;
- Norma UNI/TS 11726: “Progettazione illuminotecnica degli attraversamenti pedonali nelle strade con traffico motorizzato”.

Per quanto riguarda la Norma UNI 13201, questa è suddivisa in cinque parti che trattano di:

- EN 13201-1 (sostituita dalla UNI 11248 in ambito europeo);
- EN 13201-2: Requisiti illuminotecnici;
- EN 13201-3: Metodi di calcolo;
- EN 13201-4: Metodi di misura;
- EN 13201-5: Efficienza energetica.

In particolare, è stata presa in considerazione la Norma UNI EN 13201-2, la quale definisce le categorie illuminotecniche per l’illuminazione stradale attraverso i requisiti prestazionali. Le categorie illuminotecniche M si occupano del traffico motorizzato, C delle zone di conflitto, P delle aree pedonali e piste ciclabili. Sono presenti dei requisiti aggiuntivi come le categorie SC per il riconoscimento facciale ed EV per l’individuazione delle superfici verticali. Inoltre, la norma analizza le esigenze visive degli utenti e gli aspetti ambientali [40].

Invece, al fine di studiare l’illuminazione degli attraversamenti pedonali delle strade con traffico motorizzato, appartenenti al campo di applicazione della UNI 11248, è stata applicata la Norma UNI/TS 11726 [41].

A tal proposito, per individuare le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza degli utenti, la visibilità e lo smaltimento del traffico in relazione alla loro attinenza con l’illuminazione stradale, è stata applicata la Norma UNI 11248.

Con la presente norma, è possibile definire una metodologia progettuale da adottare al fine di individuare, partendo da dati associati al tipo di strada, la procedura per determinare le categorie illuminotecniche adeguate.

Le categorie di progetto e di esercizio vengono definite attraverso un procedimento sottrattivo caratterizzato da un'analisi dei rischi che consente di valutare i parametri di influenza. È compito del progettista individuare:

- la categoria illuminotecnica di ingresso, che dipende dal tipo di strada che caratterizza l'area di studio,
- la categoria illuminotecnica di progetto che deriva dai parametri di influenza costanti nel lungo periodo e specifica i requisiti illuminotecnici da valutare per il dimensionamento dell'impianto,
- la categoria illuminotecnica di esercizio che indica le condizioni operative di funzionamento dell'impianto e le condizioni operative previste dal progettista le quali possono variare in base ai parametri di influenza.

La norma individua tre differenti tipologie di impianto:

- impianto non regolato in cui viene impiegata la categoria di progetto coincidente a quella di esercizio,
- impianto a regolazione predefinita nel quale viene effettuata una valutazione statistica del flusso di traffico in un dato momento per determinare la categoria di esercizio,
- impianto adattivo in cui vengono definite le condizioni di illuminazione in seguito ad un campionamento dei parametri di influenza variabili nel tempo come i flussi di traffico, la tipologia di traffico e le condizioni atmosferiche.

Un impianto di illuminazione, inoltre, può disporre della funzionalità CLO (Constant Light Output) che consente di compensare la perdita di emissione luminosa dovuta all'invecchiamento delle sorgenti rendendo costante il flusso delle stesse e della funzionalità CP (Constant Performance) che garantisce il mantenimento delle prestazioni della categoria illuminotecnica di esercizio nonostante il decadimento delle sorgenti, le variazioni del manto stradale, l'insudiciamento delle sorgenti, ecc. Inoltre, fatta eccezione per casi particolari di risparmio energetico, l'impianto non può essere sovradimensionato più del 35% per le categorie illuminotecniche di tipo M e del 25% per le altre categorie.

La norma fornisce quindi i principali passaggi da svolgere per individuare le categorie illuminotecniche:

- determinare la categoria illuminotecnica di ingresso suddividendo la strada in zone di studio con condizioni omogenee, identificando il tipo di strada e individuando la categoria illuminotecnica di ingresso attraverso il prospetto 1;
- definire la categoria illuminotecnica di progetto attraverso la valutazione dei parametri di influenza indicati nel prospetto 2 della norma e ulteriori parametri costanti nel lungo periodo indentificati dal progettista;
- infine, è possibile determinare una o più categorie di esercizio specificando le condizioni dei parametri di influenza che permettono all'impianto di avere un corretto funzionamento oppure è possibile impiegare un sistema adattivo con funzionalità CP al fine di contenere i consumi energetici e l'inquinamento luminoso.

Come specificato dalla norma, il primo approccio che un progettista deve attuare in un progetto illuminotecnico è quello di suddividere la zona di studio in aree omogenee, infatti, è necessario considerare marciapiedi, attraversamenti pedonali e piste ciclabili separatamente rispetto alla carreggiata al fine di determinare la categoria illuminotecnica di ingresso, di progetto e di esercizio.

La classificazione stradale viene comunicata dal committente o proprietario della strada e quindi non è compito del progettista, che, in caso di non corrispondenza alle esigenze illuminotecniche, può attribuire una differente classificazione a fini illuminotecnici.

Il primo passaggio consiste nell'individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso che dipende dal tipo di strada e deve essere sottoposta all'analisi dei rischi. Quest'ultima, permette di individuare la categoria di progetto in base ai parametri di influenza costanti nel lungo periodo, i quali hanno singolarmente il valore di un declassamento. Importante osservare che il valore massimo di decremento della categoria di progetto partendo da quella di ingresso è pari a due categorie. Invece, applicando alla categoria di progetto i parametri variabili nel tempo in modo periodico o casuale, è possibile ottenere la/le categoria/e di esercizio. Nel caso in cui il flusso di traffico sia inferiore del 50% rispetto alla portata di servizio, è possibile attuare un decremento di una categoria illuminotecnica, mentre, se il flusso di traffico è inferiore al 25% la norma consente di declassare fino a due categorie illuminotecniche la categoria di esercizio.

Qualora si sia attuato un declassamento di due categorie tra quella di ingresso e quella di esercizio, allora la categoria di esercizio potrà subire il decremento di una sola categoria. Mentre, se il primo declassamento prevede una sola riduzione di categoria, allora il secondo declassamento potrà ridursi fino a due categorie illuminotecniche.

Nel caso di impianto adattivi denominati FAI (Full Adaptive Installation) è possibile attribuire un'ulteriore riduzione di categoria nel caso di flussi di traffico inferiori al 12,5% rispetto al flusso di traffico di progetto.

In seguito a questa analisi il progettista redige una sintesi conclusiva nella quale esplicita le categorie di ingresso, progetto ed esercizio da applicare sull'impianto esistente, rispettando costantemente le norme relative alla sicurezza degli utenti.

La norma riporta alcune raccomandazioni da attuare in caso di situazioni particolari, ad esempio, è necessario non creare aree in cui sia presente una differenza superiore a due categoria illuminotecniche, in questo caso sarà necessario creare un'illuminazione con valori intermedi in modo da non creare contrasti luminosi che potrebbero interferire sulla visuale dell'utente. Inoltre, in corrispondenza di svincoli o incroci, è possibile utilizzare una categoria illuminotecnica aggiuntiva che facilita la visione delle superfici verticali. Invece, in caso di interazioni tra differenti aree di studio (come strade, parcheggi, marciapiedi, etc.), la norma riporta un prospetto che compara le differenti categorie illuminotecniche.

In caso di intersezioni e rotatorie, è necessario applicare la categoria illuminotecnica C che rappresenta le zone di conflitto e i requisiti sull'abbagliamento della Norma UNI EN 13201-2:2016. Inoltre, la categoria di ingresso deve essere superiore di una classe illuminotecnica rispetto alla maggiore delle strade di accesso o dei rami di approccio.

3.3 – REALIZZAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE ADATTIVA SECONDO LA NORMA UNI 11248:2016

I requisiti generali sui sistemi adattivi con impianto TAI (Traffic Adaptive Installation) e FAI (Full Adaptive Installation), sono riportati all'interno dell'Appendice D della Norma UNI 11248:2016.

Per progettare un sistema di illuminazione adattivo, è necessario campionare il flusso del traffico per tutto il tempo di accensione dell'impianto di illuminazione e successivamente, considerare il

valore massimo del flusso in ogni corsia servita dall'impianto. I sistemi adattivi, anche in caso di guasto del sistema di regolazione, devono rispettare i requisiti delle categorie illuminotecniche di progetto, garantendo le condizioni di sicurezza degli utenti.

Gli impianti di illuminazione TAI (Traffic Adaptive Installation) si basano sul campionamento del flusso orario di traffico finalizzati alla determinazione della categoria illuminotecnica di esercizio. Il flusso orario si ottiene considerando un periodo di conteggio di 10 minuti e moltiplicando quest'ultimo per sei in modo da ottenere un campionamento su base oraria. La Norma UNI 11248, specifica che la variazione del flusso luminoso in incremento può avvenire istantaneamente, ma, al fine di evitare il disturbo dell'utente con ripetuti cambiamenti di categoria illuminotecnica dipendente dai flussi di traffico, è stato impostato un intervallo di 10 minuti in cui si ipotizza la permanenza del flusso di traffico ammesso dalla categoria illuminotecnica in esercizio. Invece, per ridurre la categoria illuminotecnica, è necessario effettuare due campionamenti che dimostrano la riduzione di flusso. Attraverso il diagramma di flusso tratto dall'appendice D della normativa, è possibile individuare la variazione della categoria illuminotecnica secondo la metodologia sopra esposta.

Gli impianti di illuminazione FAI (Full Adaptive Installation) sono caratterizzati da un campionamento costante del flusso di traffico, delle condizioni meteorologiche e della luminanza del manto stradale nel caso di categorie illuminotecniche M o l'illuminamento nel caso di categorie C e P.

Per determinare il flusso di traffico è necessario fare un conteggio per 1 minuto dei veicoli, pedoni o ciclisti (il tempo può variare a seconda dei casi presi in analisi), successivamente occorre moltiplicare il conteggio per 60 per ottenere un flusso orario del traffico e sviluppare una media aritmetica per i primi 10 campioni e ripetere l'operazione per determinare il valore medio del flusso orario di traffico. Quest'ultimo determina la riduzione continua del valore di luminanza media o illuminamento medio ottenuti dall'inserimento della categoria illuminotecnica di progetto (flusso orario pari al 100%) e la categoria d'esercizio stabilita dall'analisi dei rischi.

La Norma UNI 11248 specifica che nel caso di un flusso orario maggiore del 100% e per le categorie illuminotecniche M, dato che questa indicazione non consentirebbe ai veicoli di avere una velocità maggiore di quella consentita e data la loro densità, il calcolo della luminanza stradale non risulterebbe significativo ed è quindi consentito ridurre di una categoria illuminotecnica quella di progetto per ottenere la categoria di esercizio. Invece, se il flusso orario di traffico è inferiore alla

categoria illuminotecnica di esercizio presunta (il 50% corrisponde a una riduzione, 25% a due riduzioni e 12,5% a tre riduzioni), si deve adottare l'ultima categoria di esercizio.

Nel caso in cui tre campionamenti del flusso di traffico indichino un valore maggiore del 20% rispetto alla media delle misure precedentemente calcolate, il sistema deve incrementare il valore di luminanza/illuminamento in relazione alla categoria di esercizio correlata [42].

Come riportato nel testo di Paolo Di Lecce e Andrea Mancinelli, gli impianti TAI permettono di dimmerare l'illuminazione attraverso degli step a gradini, e con la media mobile ogni 10 minuti, non è condizionata da situazione di traffico specifiche come la presenza di un semaforo sull'asse stradale, mentre con gli impianti FAI i flussi di traffico sono rilevati ogni minuto e nel caso di flusso di traffico maggiore del 100% è comunque possibile scendere di una categoria illuminotecnica. Di seguito vengono riportati due grafici che illustrano il funzionamento della TAI e della FAI [43].

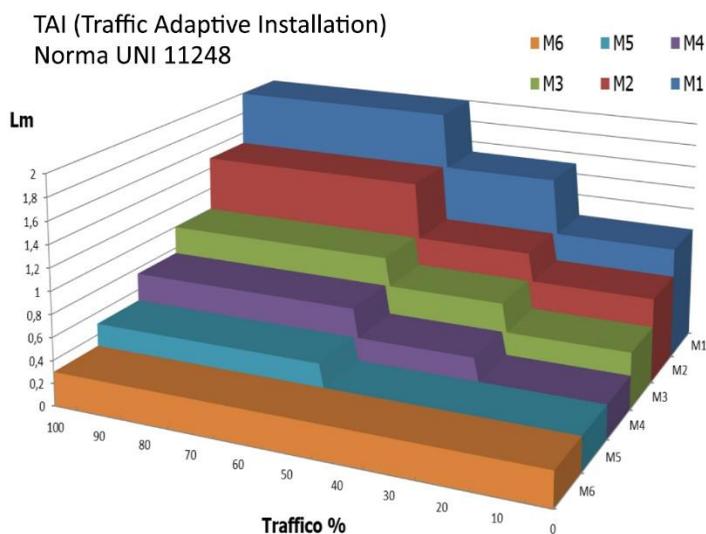


Figura 3.3.1 – Diagramma degli impianti a regolazione TAI

Fonte: "Outdoor Adaptive Lighting in the new UNI 11248 Italian Standard and Result of Experience" [43].

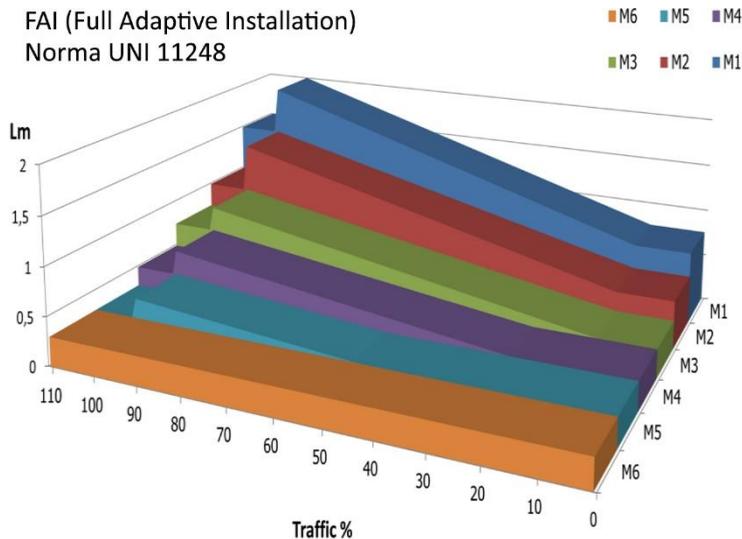


Figura 3.3.2 – Diagramma degli impianti a regolazione FAI

Fonte: “Outdoor Adaptive Lighting in the new UNI 11248 Italian Standard and Result of Experience” [43].

Il flusso luminoso viene regolato costantemente al fine di assicurare la continua corrispondenza tra la luminanza o illuminamento campionati sul manto stradale e i valori previsti dal progetto.

Il sistema è in grado di bilanciare le variazioni di luminanza e illuminamento dovute da:

- decadimento del flusso luminoso, invecchiamento delle ottiche o sporcizia che si deposita sull'apparecchio;
- variazione del valore di riflessione del manto stradale;
- variazione delle condizioni di alimentazione delle sorgenti;
- variazioni delle condizioni atmosferiche e ambientali che condizionano il corretto funzionamento dell'impianto di illuminazione.

È necessario prendere in considerazione la variazione di questi fattori all'interno del progetto che permettono la corretta efficienza dell'impianto nel tempo. Inoltre, la valutazione delle condizioni meteo deve essere oggetto di studio del progettista all'interno dell'analisi dei rischi, al fine di impostare una corretta regolazione da applicare in caso di condizioni meteo avverse (quali strada

bagnata, nebbia, neve) e stabilire se imporre variazioni con innalzamento del flusso luminoso, riduzione o nessuna alterazione.

In conclusione, la regolazione del flusso luminoso emesso dagli apparecchi di illuminazione può essere di tipo:

- puntuale se i risultati del campionamento sono applicabili su aree limitate, come zone di studio direttamente monitorate;
- estensiva se i risultati possono essere applicati ad aree più complesse rispetto a quelle del campionamento.

In caso di regolazione estensiva, il progetto deve considerare l'installazione di sistemi di misura nelle zone più rappresentative e critiche ai fini della corretta scelta delle categorie illuminotecniche di esercizio, gli impianti non campionati devono comunque essere monitorati con pari o superiore categoria illuminotecnica di progetto, infine, è necessario considerare le peggiori condizioni che si possono verificare nell'area di studio [42].

3.4 – L'ILLUMINAZIONE ADATTIVA E MODELLI PREDITTIVI NEL CONTESTO DELLE SMART CITIES

A proposito di applicazione del sistema adattivo e rilevazione dei flussi di traffico nelle città del futuro, Enea nel documento "Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street", dichiara che i consumi di energia relativi all'illuminazione pubblica, occupano un peso notevole all'interno del bilancio globale delle spese energetiche, inoltre, il dibattito sull'efficienza e sull'inquinamento luminoso è diventato oggetto di raccomandazioni e normative nazionali ed internazionali. In questo ambito, si sono sviluppate nuove tecnologie che mirano a superare i limiti di quelle passate e a sviluppare un'illuminazione adattiva basata sul concetto di "energy on demand". L'elemento principale è il "palo smart", capace di integrare servizi intelligenti della smart city nell'illuminazione pubblica, come il sistema di monitoraggio e rilevamento del traffico in grado di fornire informazioni sui flussi veicolari e pedonali [44]. Questa tecnologia, oltre a fornire luce, consente di accedere alla rete pubblica urbana, rilevare l'inquinamento atmosferico, ha funzione di telecamera, Wi-Fi, Hot-Spot, ricarica dei veicoli elettrici e molto altro ancora. Principalmente la telecamera permette di acquisire numerose informazioni in modo da

determinare in maniera accurata l'energia necessaria in relazione ai flussi veicolari e pedonali. Il sistema di illuminazione, quindi, non si limita solo più a fornire luce, ma fornisce:

- videosorveglianza;
- infomobilità;
- rilevamento di inquinamento acustico e ambientale;
- servizi informativi per turisti;
- gestione dei parcheggi;
- coordinazione delle flotte di mezzi pubblici;
- servizio di connessione wireless.

Il servizio di videosorveglianza autonoma consente ai comuni di ottenere un importante risparmio rispetto all'acquisizione dello stesso servizio attivo 24 ore su 24. Inoltre, la tecnologia a onde convogliate consente di abbattere i costi di connessione e ottenere una copertura completa [45].

L'illuminazione adattiva permette di gestire in maniera personalizzata la luce e risparmiare energia, grazie all'eliminazione degli sprechi nelle ore notturne e alla diminuzione degli interventi di manutenzione. Fornisce informazioni per la gestione degli apparecchi, monitorando la resa dei componenti installati e l'efficacia dell'intervento di manutenzione, garantisce contemporaneamente maggiore sicurezza per gli utenti, con un'elevata qualità della luce e una maggiore attenzione per l'ambiente.

Come dichiarato da Enea, tali tecnologie comportano un investimento iniziale più elevato, rispetto ai sistemi utilizzati precedentemente, ma consentirebbe un'ulteriore riduzione dei costi legati all'energia dal 10% al 40% circa, in base alle tecnologie utilizzate.

L'obiettivo è quello di monitorare l'ambiente circostante attraverso l'utilizzo di sensori installati sui pali intelligenti. Il processo è composto da una prima fase in cui vengono acquisiti i dati raccolti dai sensori, relativi ad una determinata area. Questi vengono trasmessi ai server centrali i quali li elaborano e forniscono misure relative ai flussi veicolari e pedonali. I risultati ottenuti consentono di aggiornare il valore predittivo della domanda di illuminazione. Tale sistema fornisce informazioni sulla richiesta nell'immediato futuro e trasmette questa indicazione ad un sistema di controllo che raccoglie anche avvisi riguardanti le variabili ambientali e analisi strumentali. Le analisi individuano possibili situazioni anomale usufruendo delle informazioni sullo stato del traffico rilevate e quelle previste dal modello. È quindi necessario conoscere il flusso di traffico, le

condizioni atmosferiche e le caratteristiche della lampada per individuare la potenza corretta da utilizzare nelle sorgenti degli apparecchi.

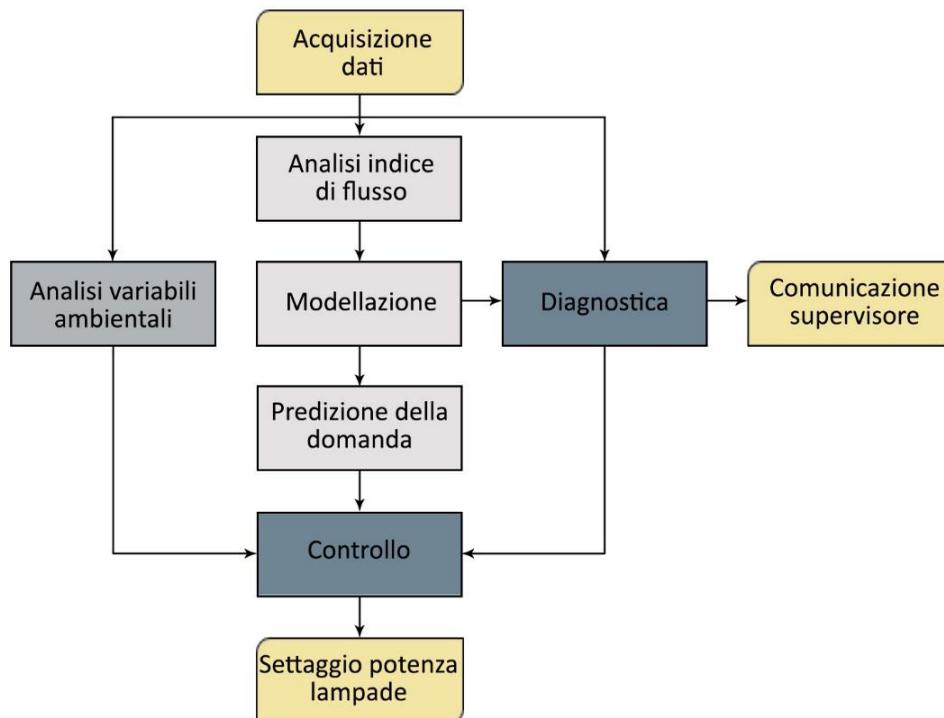


Figura 3.4.1 – Diagramma di flusso del sistema di controllo dell'illuminazione pubblica.

Fonte: Enea [44].

Il modello predittivo si basa sulla raccolta di dati degli indici di flusso rilevati nell'arco di una settimana e nell'arco di alcune ore. Offre quindi una predizione a lungo termine e una a breve termine. Un rilevatore di situazioni anomale raccoglie i dati relativi all'indice di flusso del traffico rilevato e quello previsto dal modello a lungo termine, se si verifica un differimento notevole, ha inizio la fase di diagnostica. È possibile che questa alterazione sia provocata da un malfunzionamento dello strumento e viene inoltrato un avviso di guasto o causata da un'incongruenza tra gli indici di flusso e, in questo caso, si ricorre all'analisi del flusso a breve termine. Nel caso in cui non si verificano differenziazioni rilevanti, viene preso come modello di riferimento quello a lungo termine.

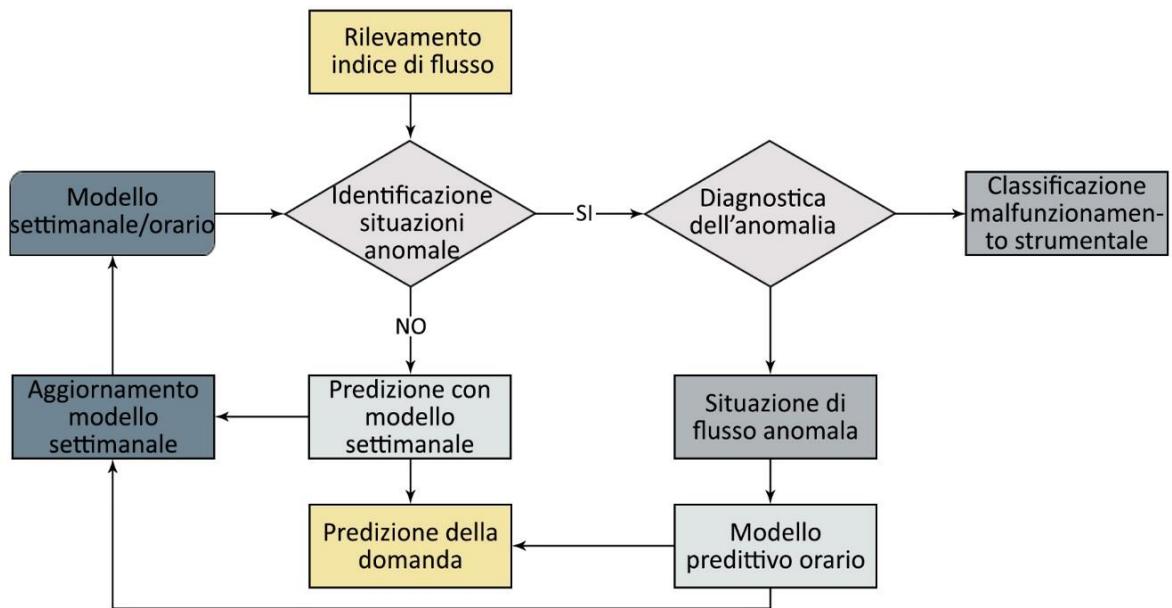


Figura 3.4.2 – Diagramma del modello predittivo del flusso di traffico.

Fonte: Enea [44].

Come descritto precedentemente, il sistema prevede l'installazione di telecamere che monitorano il flusso di traffico e in seguito, viene elaborato un segnale proporzionale ai movimenti pedonali e veicolari individuati. La rilevazione dei dati può essere disturbata dall'individuazione di ombre, questo può essere limitato attraverso l'utilizzo di un filtro, ma potrebbe portare alla mancata identificazione di piccoli oggetti in movimento in lontananza. Inoltre, è necessario considerare la notevole quantità di dati e immagini che vengono raccolti e devono poi essere elaborati, quindi è necessario considerare il tempo di formulazione delle informazioni e lo spazio di memoria utile [44].

CAPITOLO 4

CASO STUDIO: SAVIGLIANO



Al fine di perseguire l'obiettivo finale di applicazione e valutazione energetica dei sistemi di gestione e controllo dell'illuminazione pubblica, è stato individuato come caso studio la città di Savigliano, Comune all'interno del quale nel 2018, la società Esco Ardea Energia e l'azienda di illuminazione Schröder, hanno avviato un progetto finalizzato al rilevamento dei flussi di traffico e all'applicazione di un sistema FAI.

A tal fine, è stata sviluppata un'analisi territoriale della città e successivamente sono stati individuati tre differenti tratti stradali con caratteristiche difformi in base alla loro complessità viaria e alla densità abitativa, al fine di individuare la zona all'interno del quale applicare il sistema adattivo TAI. Attraverso l'adozione di una prima metodologia più teorica basata su ipotesi di flussi di traffico ad alta e a bassa intensità, è stato individuato un intervallo relativo ai consumi energetici ed economici ottenibili dall'applicazione del sistema adattivo rispetto al sistema pre-programmato. Successivamente, attraverso l'impiego del sistema TAI sono stati calcolati i consumi reali ricavati da due differenti profili di flussi di traffico, al fine di individuare il risparmio o l'aumento dei consumi ottenibili dall'adozione del sistema adattivo.

4.1 – INQUADRAMENTO E ANALISI TERRITORIALE DI SAVIGLIANO

La città di Savigliano è stata individuata come significativo caso studio finalizzato all'applicazione di un sistema adattivo, poiché nel 2018 è stato avviato un progetto dalla società di Energy service company (Esco) Ardea Energia e dall'azienda di illuminazione Schröder, finalizzato al rilevamento dei flussi veicolari e all'applicazione di un sistema FAI. All'interno di tale progetto sono intervenuti differenti attori come il Politecnico di Torino e l'Energy Center che hanno permesso di studiare la progettazione e la produzione di sensori in grado di rilevare i flussi veicolari, qualità dell'aria, rumori ambientali e inoltre di raccogliere dati sui passaggi di veicoli attraverso telecamere ed effettuare misure sulla luminanza del manto stradale.

Al fine di svolgere nel seguente lavoro di tesi un'analisi dei rischi secondo la Norma UNI 11248 e studiare l'applicazione di un sistema TAI, è stata sviluppata un'analisi dell'assetto urbanistico e, attraverso la sovrapposizione del frazionamento territoriale e la classificazione stradale, è stato individuato un nuovo layout che rappresenta la densità abitativa. Infatti, come riportato nelle planimetrie seguenti, l'area centrale che include anche il centro storico, è costituita da un edificato

molto fitto rispetto alle zone residenziali più periferiche che presentano insediamenti abitativi più diffusi sul territorio.

Questa differenza dell'edificato permette di suddividere in sottozone il tessuto residenziale e le classificazioni stradali in modo da sviluppare e individuare differenti soluzioni finalizzate all'applicazione di un sistema di illuminazione adattivo.

Essendo questo sistema strettamente dipendente dai flussi veicolari, è stato sviluppato anche un layout utile a indicare la velocità dei flussi di traffico e le strade maggiormente frequentate. Questo è stato possibile attraverso lo sviluppo di un'indagine su Google Maps e ha permesso di capire e individuare i principali assi viari che percorrono la città.

Analizzando la città di Savigliano è possibile osservare che questo Comune ha fatto della sua posizione geografica l'elemento di forza per il suo sviluppo industriale e residenziale. È percorsa da alcune importanti strade provinciali: da nord a sud dalla SP 20 e da est a ovest dalla SP 662. Queste, consentono spostamenti rapidi e immediati e collegano il centro abitato a Torino, Saluzzo, Alba e Cuneo.

Attraverso l'analisi del Piano Urbano del Traffico (PUT) e il Piano Regolatore Generale Comunale (P.R.G.C.) sono state svolte analisi e classificazioni su:

- frazionamento del territorio in base alla destinazione d'uso;
- classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica;
- suddivisione del tessuto residenziale in base alla densità dell'edificato;
- suddivisione degli impianti di illuminazione all'interno dei software Owlet e Olet IoT;
- rilevazione dei flussi di traffico.

Queste analisi permettono di studiare le principali caratteristiche urbanistiche della città.

Di seguito sono state riportate le analisi territoriali sviluppate singolarmente.

- Frazionamento del territorio in base alla destinazione d'uso.

Attraverso l'analisi delle cartografie del Piano Regolatore Generale del comune di Savigliano e il testo "Savigliano: un piano regolatore per l'illuminazione comunale" di Sara Ferrero e Serena Grosso, è stato suddiviso il territorio in aree omogenee, al fine di individuare le principali funzioni presenti nella zona e la loro localizzazione all'interno della città. L'area del centro storico si colloca in posizione centrale ed è circondata da un'area prettamente residenziale, mentre nella zona più periferica si collocano i settori a destinazione produttiva e terziaria.

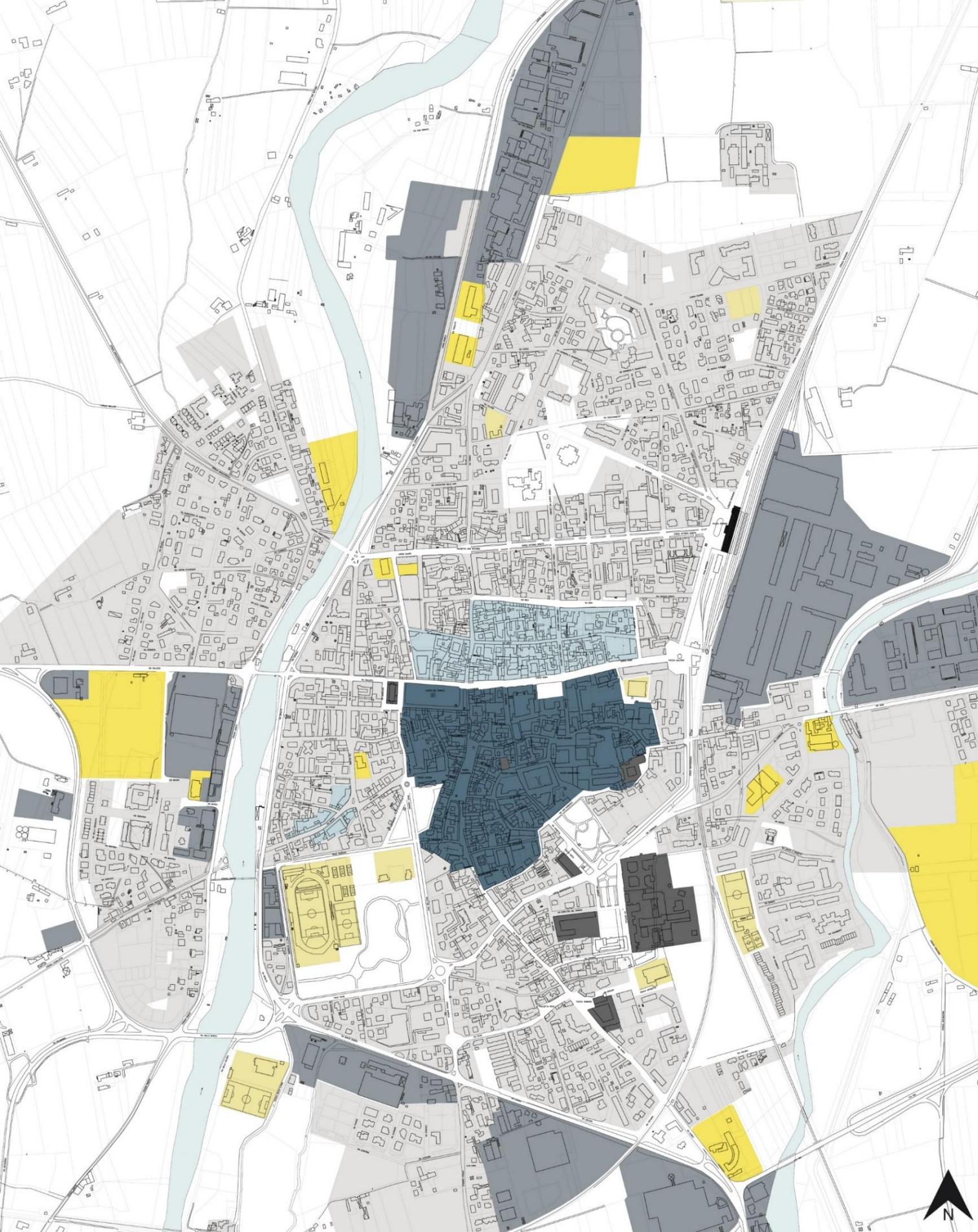
Fonti della cartografia:

- *Piano Regolatore Generale, Comune di Savigliano.*

- *Sara Ferrero e Serena Grosso "Savigliano: un piano regolatore per l'illuminazione comunale", 2010, relatrice Chiara Aghemo.*

Le principali aree presenti nel territorio sono:

- Area industriale
- Area residenziale
- Area commerciale
- Area con impianti sportivi
- Area con servizi pubblici
- Centro storico
- Edificato antico non appartenente al centro storico
- Verde pubblico
- Stazione ferroviaria



- Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica.

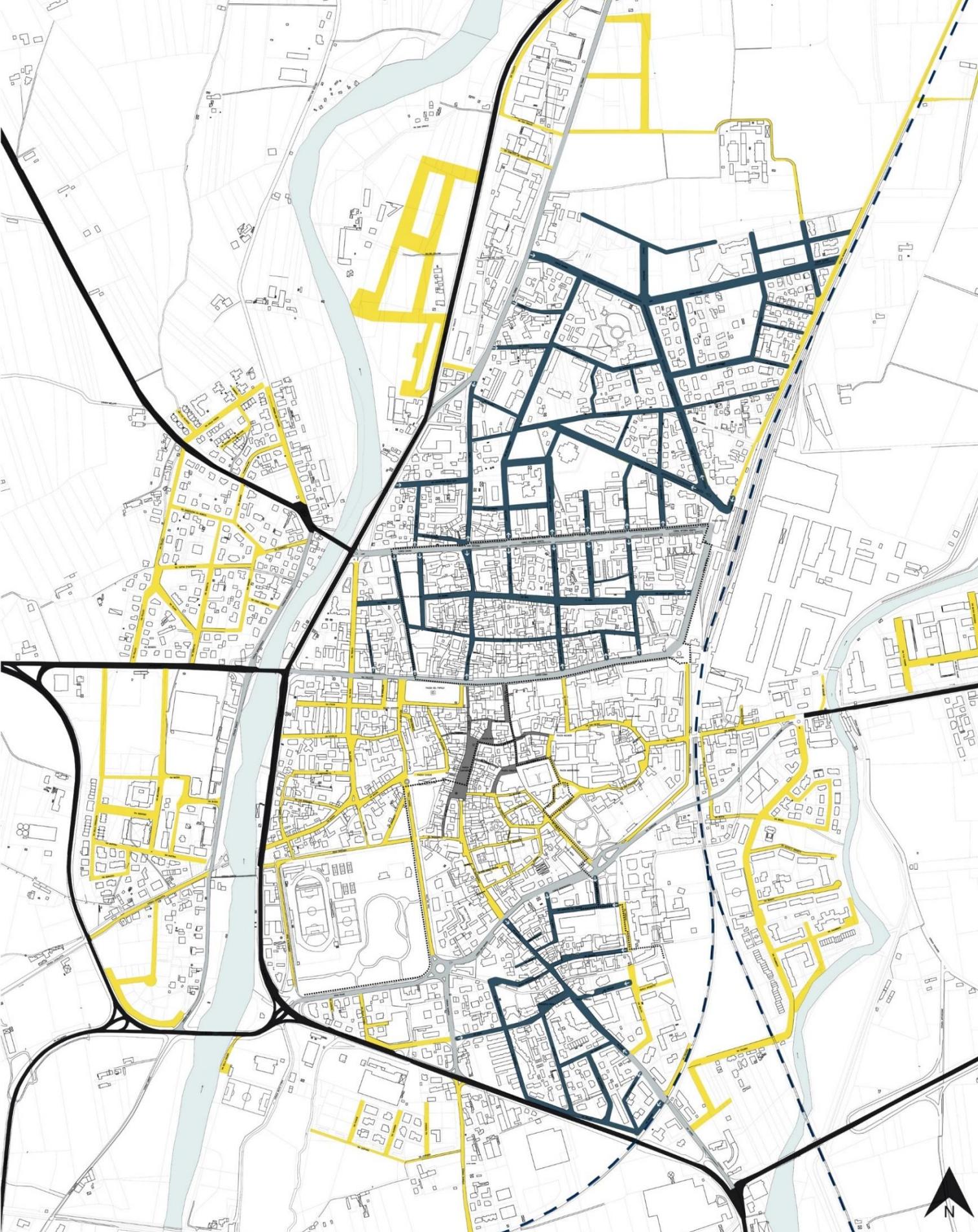
Sono stati individuati e classificati gli assi viari che percorrono la città. Savigliano è attraversata da strade provinciali che permettono spostamenti rapidi ed efficienti sul territorio quali: la strada per Torino a nord, la strada per Saluzzo ad ovest, la strada per Alba ad est e la strada per Cuneo a sud. Sono presenti differenti percorsi ciclabili e aree pedonali principalmente nella zona centrale della città che collegano alla stazione e alle più importanti aree di attrazione come parchi e piazze. Sono quindi state analizzate le principali tipologie di assi viari e in base alla normativa e attribuite le relative categorie illuminotecniche, al fine di analizzare in maniera specifica il sistema di illuminazione della città.

Fonti della cartografia:

- *Piano Urbano del Traffico, Comune di Savigliano.*
- *“Classificazione illuminotecnica delle strade di Savigliano e analisi dei rischi secondo norma UNI 11248” Studio Tecnico Panuzzo [46].*
- *Sara Ferrero e Serena Grosso “Savigliano: un piano regolatore per l’illuminazione comunale”, 2010, relatrice Chiara Aghemo.*
- *“Zone 30 Comune di Savigliano” Regione Piemonte.*

Le principali strade presenti nel territorio sono:

- Strada extraurbana secondaria (tipo C, categoria illuminotecnica M3/M2)
- Strada urbana di quartiere (tipo E, categoria illuminotecnica M3)
- Strada locale urbana (tipo F, categoria illuminotecnica M4)
- Strada locale urbana: centri storici, isole ambientali, zone 30 (tipo F, categoria illuminotecnica C3/P1)
- Zona pedonale o ZTL
- Pista ciclabile (tipo F bis, categoria illuminotecnica P2)
- Ferrovia
- ⇒ Porte di ingresso Zone 30

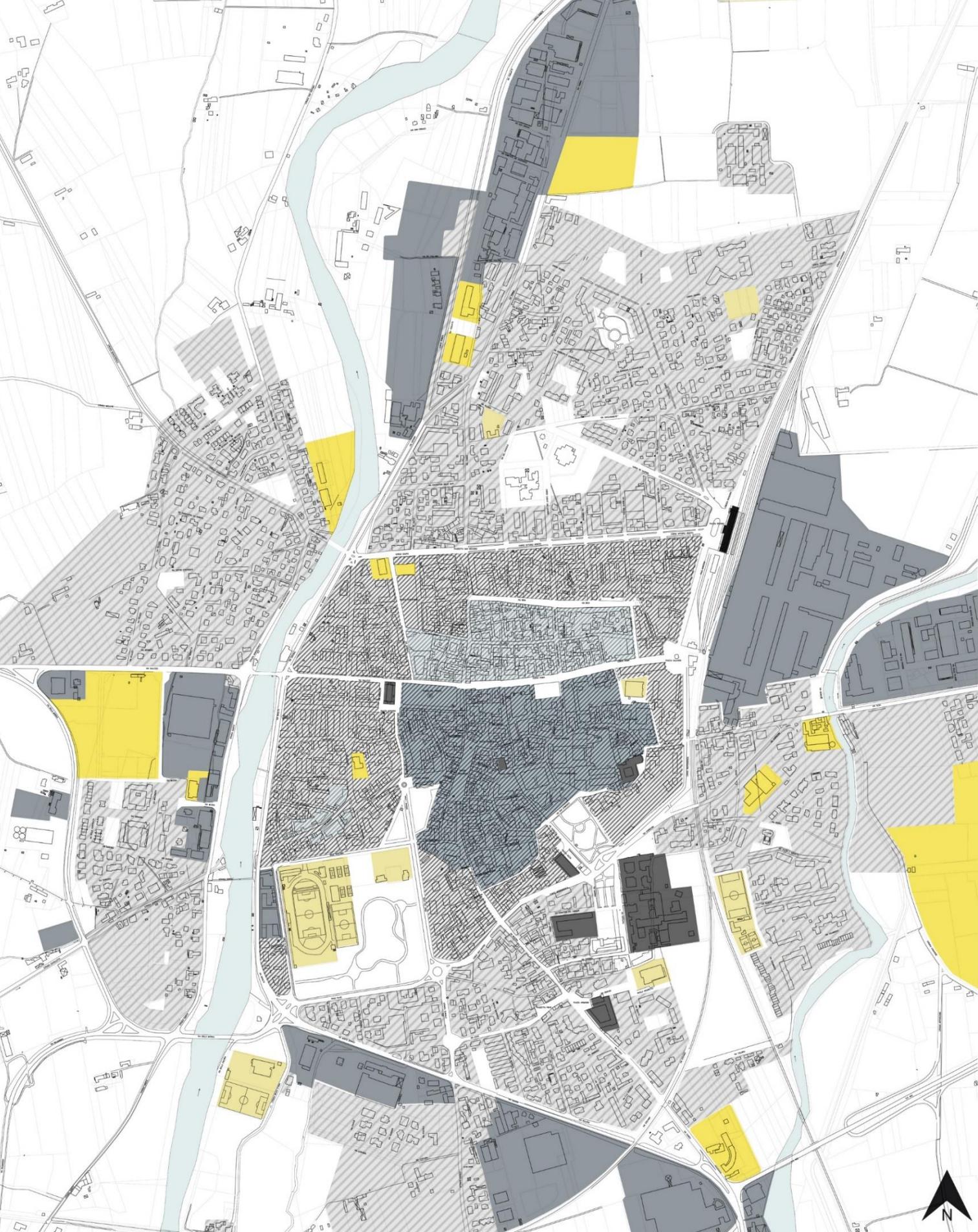


- Suddivisione del tessuto residenziale in base alla densità dell'edificato.

L'area residenziale del comune di Savigliano è stata suddivisa in base alla densità del tessuto urbano sovrapponendo il layout del frazionamento del territorio in base alla destinazione d'uso con il layout della classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica, in modo da determinare delle sottocategorie. Questo consente di sviluppare successivamente un'analisi dei rischi utilizzando come campione un tratto stradale significativo dell'area a cui appartiene e individuare se nella seguente area è possibile sviluppare un sistema di illuminazione adattivo.

Le principali aree presenti nel territorio sono:

-  Area industriale
-  Area residenziale a bassa densità abitativa
-  Area residenziale ad alta densità abitativa
-  Area commerciale
-  Area con impianti sportivi
-  Area con servizi pubblici
-  Area cimiteriale
-  Centro storico ad elevata densità abitativa
-  Edificato antico non appartenente al centro storico ad elevata densità abitativa
-  Verde pubblico
-  Stazione ferroviaria



- Suddivisione degli impianti di illuminazione all'interno dei software Owlet e Olet IoT.

Schröder nel 2011 ha svolto un piano di riqualificazione dell'illuminazione pubblica del Comune di Savigliano. Sono stati installati apparecchi LED telegestiti al fine di ottenere risparmi energetici e diminuzione delle emissioni di CO₂. Attraverso un precedente rilievo riportato nel testo "Savigliano: un piano regolatore per l'illuminazione comunale" di Sara Ferrero e Serena Grosso, è stata individuata la localizzazione dei precedenti punti luce e confrontata con quella indicata dalla piattaforma Owlet e Owlet IoT di Schröder. Questi sono stati suddivisi con differenti colori in base al gruppo di appartenenza sul software. Ogni gruppo di apparecchi è collegato ad un concentratore SeCo che permette di raccogliere i dati e inviarli al programma e consultarli tramite computer o smartphone.

Fonti della cartografia:

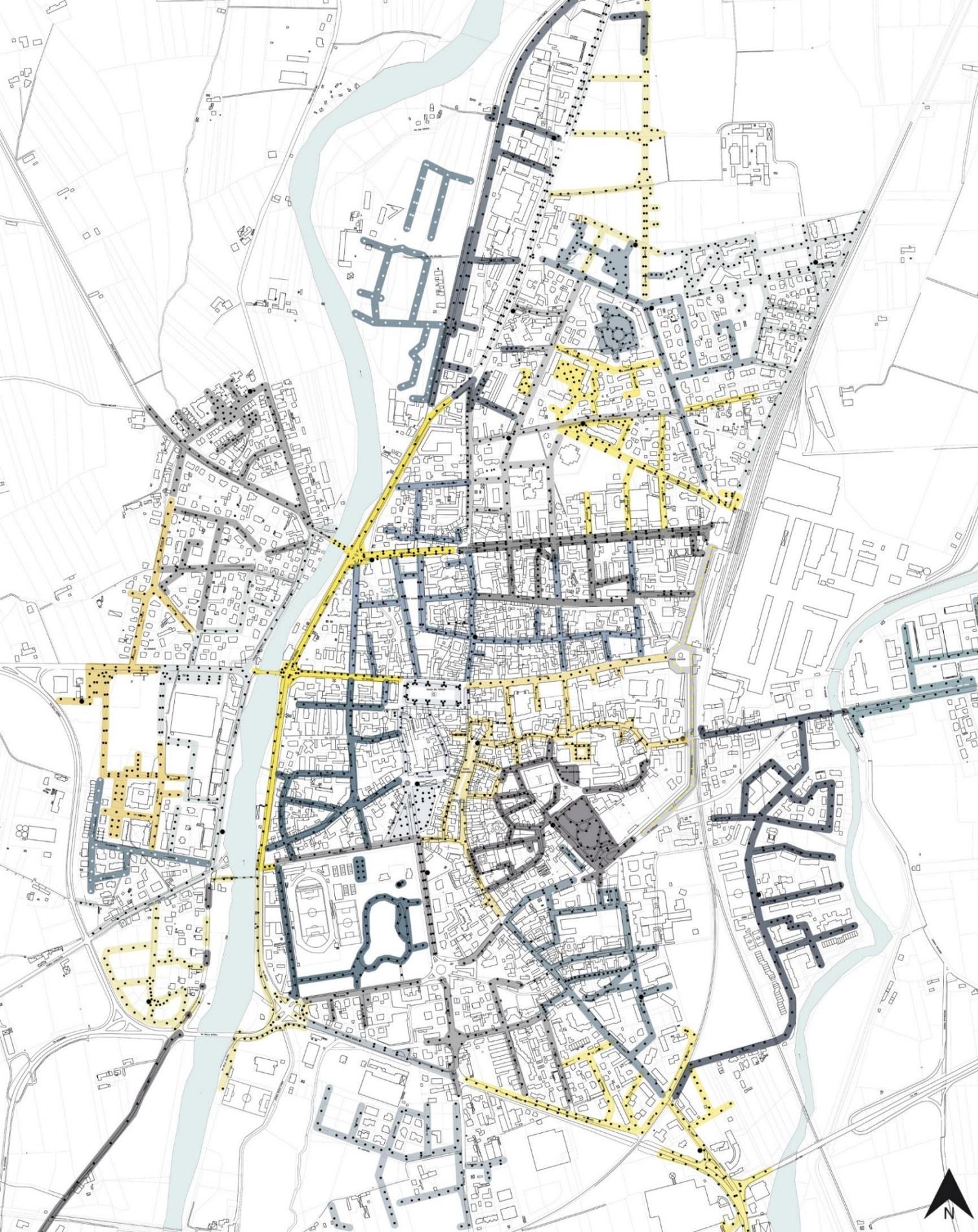
- *Piattaforma Owlet e Owlet IoT, Schröder.*

- *Sara Ferrero e Serena Grosso "Savigliano: un piano regolatore per l'illuminazione comunale", 2010, relatrice Chiara Aghemo.*

I principali punti luce presenti nel territorio sono:

-  Punti luce gestiti dal sistema Owlet IoT
-  Punti luce gestiti dal sistema Owlet
-  Sistema SeCo
-  Punti luce non gestiti dal sistema Owlet

I differenti colori presenti alla base dei punti luce indicano il gruppo a cui appartengono gli apparecchi sulla piattaforma Owlet di Schröder.



- Rilevazione dei flussi di traffico.

Al fine di raccogliere maggiori informazioni sui flussi di veicoli che percorrono la città di Savigliano, è stato interrogato il sistema Google Maps in differenti orari della giornata. I tratti monitorati e maggiormente trafficati si verificano all'interno delle strade provinciali SP 20, SP 662, SP 7, SP 156. I cambiamenti circolazione presi in analisi sono stati quelli delle ore 17.00, 18.00, 19.00 e 22.00. In particolar modo, la strada che presenta il flusso di traffico più elevato nei differenti orari della giornata è la SP 20 e alle ore 18.00, in particolare, il tratto di Via Bisalta è caratterizzato da uno scorrimento veicolare molto lento.

Fonte della cartografia:

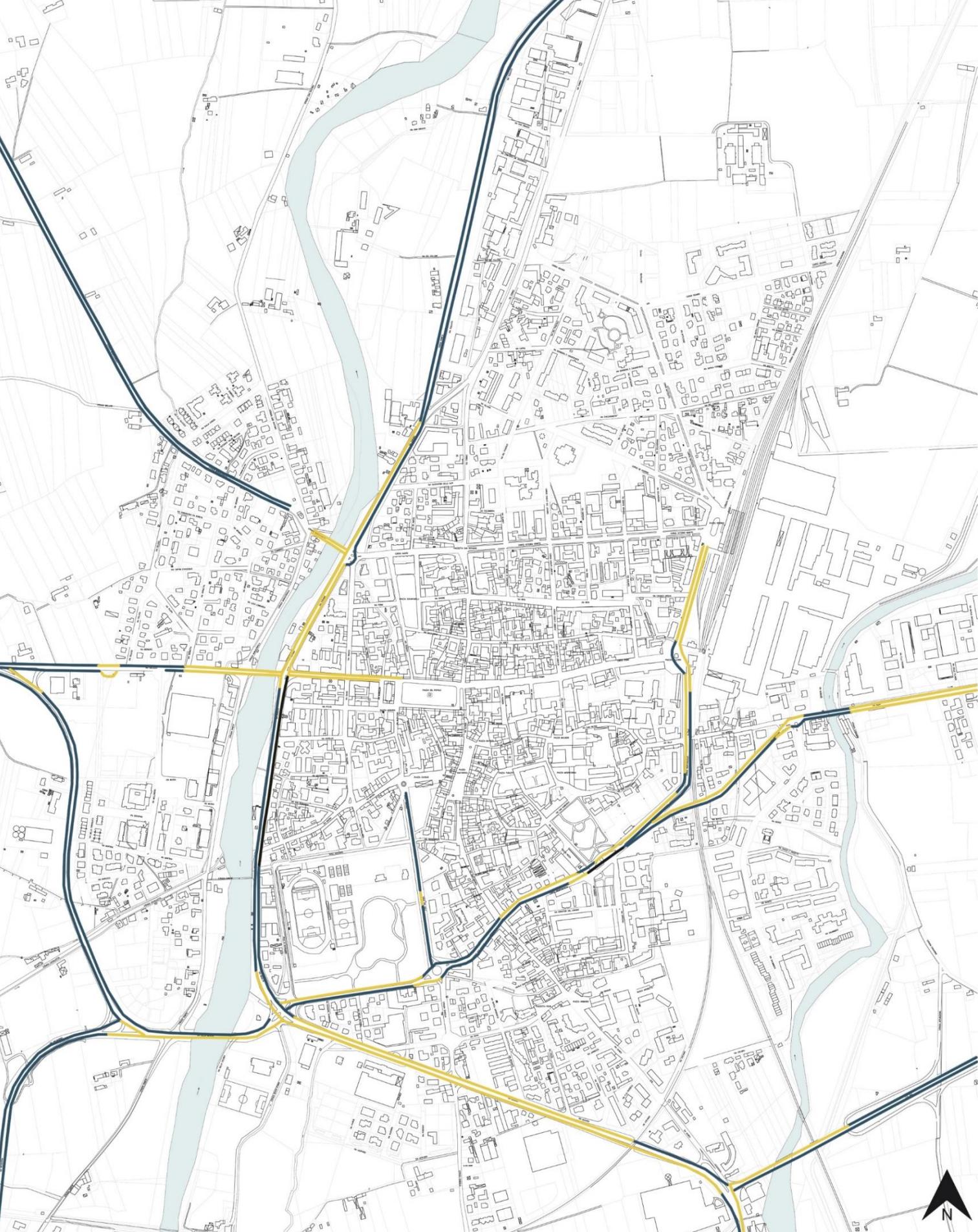
-Google Maps, traffico in tempo reale della città di Savigliano.

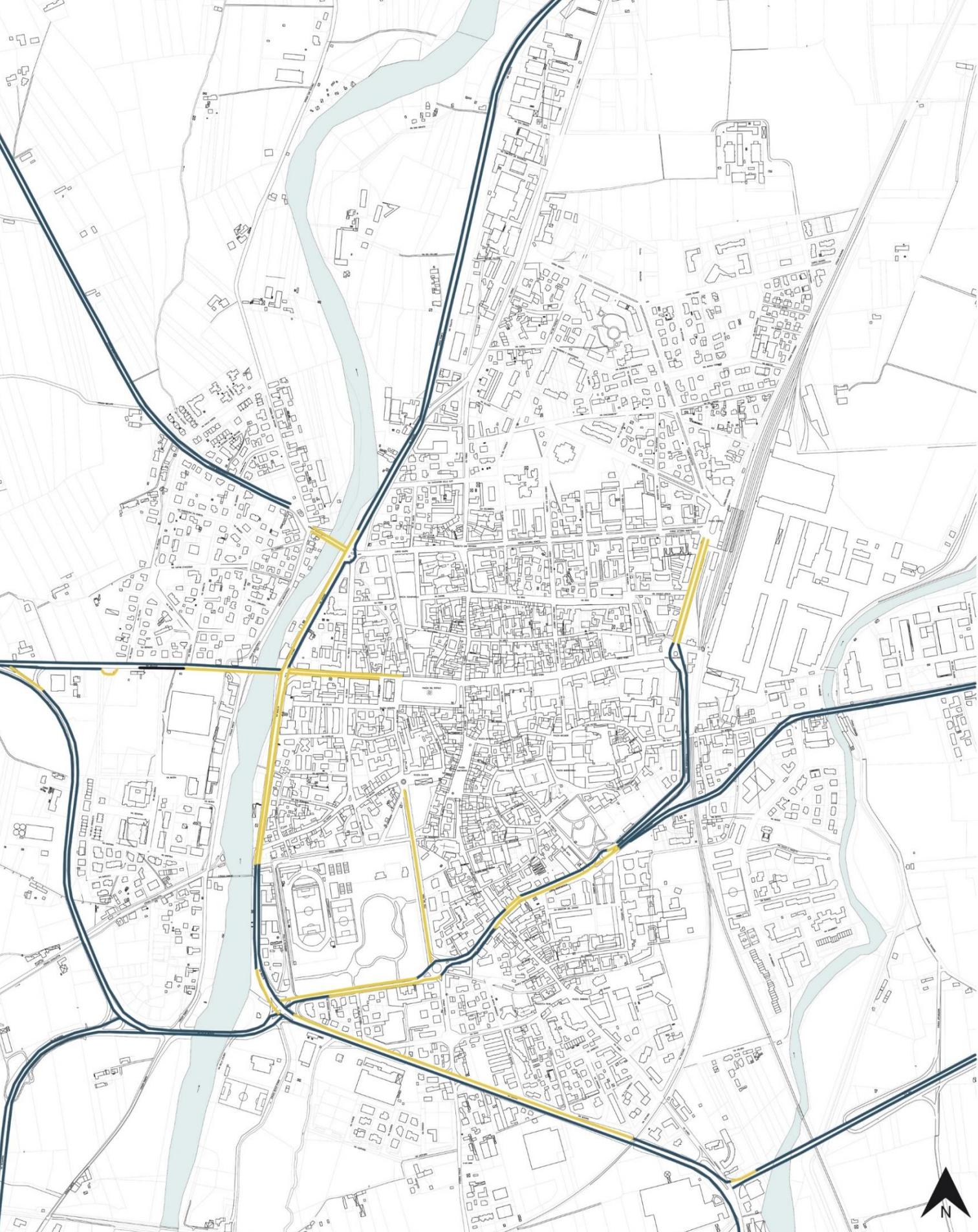
Velocità del flusso di traffico:

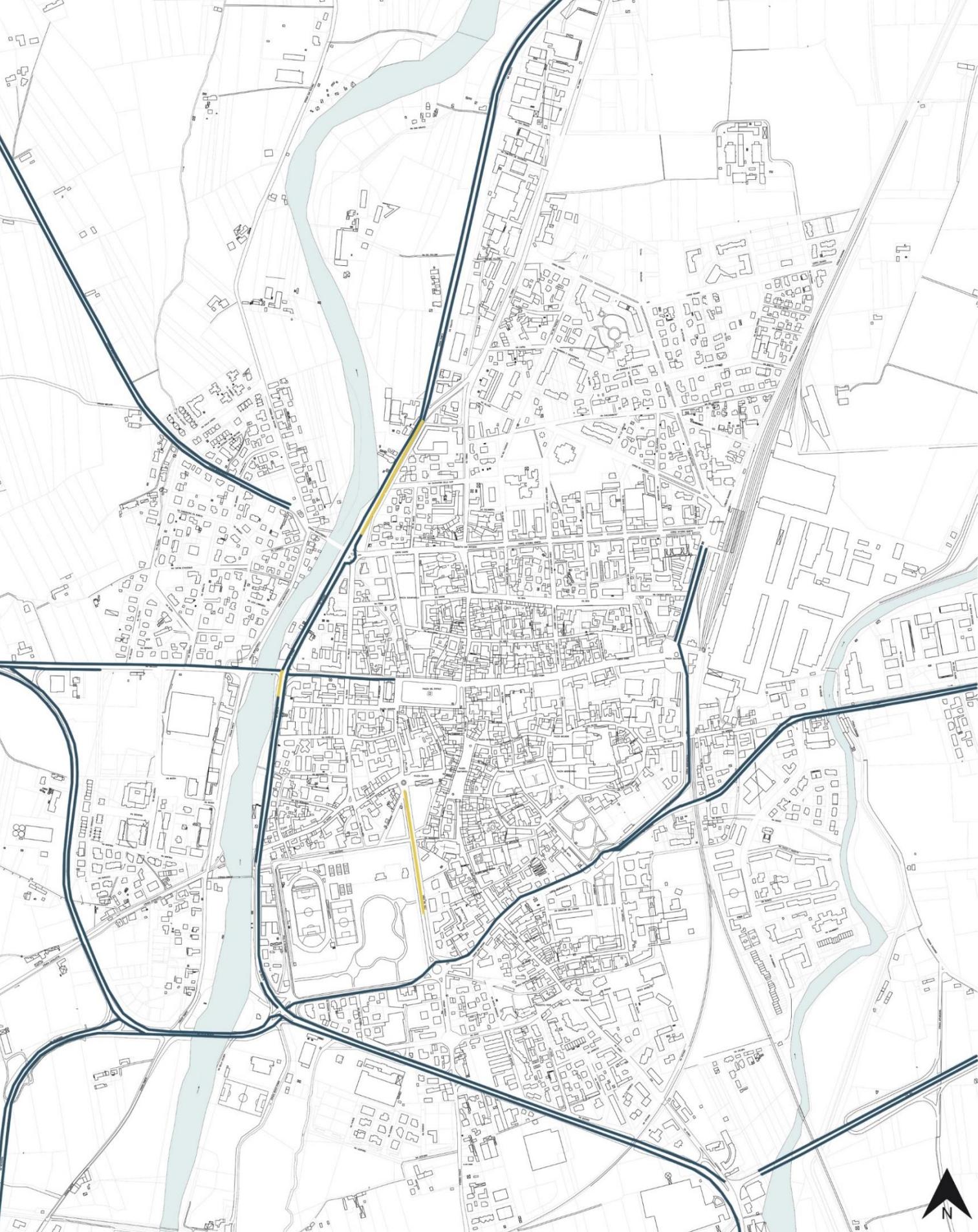
-  Veloce
-  Medio
-  Lento

I flussi di traffico presi in considerazione si riferiscono al traffico tipico del lunedì durante le ore 17.00, 18.00, 19.00 e 22.00 (riportati nel seguente ordine nelle pagine successive).









4.2 – SITUAZIONE ATTUALE IN AMBITO ILLUMINOTECNICO

Nel 2011 il Comune di Savigliano, a causa degli ingenti costi di gestione e dell'elevato impatto ambientale causato dall'impianto di illuminazione a tecnologia tradizionale, si è affidato all'azienda di illuminazione Schröder al fine di tracciare un piano di riqualificazione che prevedesse la sostituzione degli impianti a scarica con nuove tecnologie LED. Come dichiarato da Schröder, questi nuovi sistemi hanno comportato un aumento della sicurezza nei luoghi pubblici, la diminuzione delle spese energetiche e delle emissioni di anidride carbonica. La società EGEA è stata incaricata da dall'azienda di illuminazione di portare a termine l'intervento di miglioramento che ha previsto l'utilizzo di differenti tipologie di apparecchi per diversi ambiti urbani, dotati di sistema di telecontrollo Owlet. Nello specifico, i tratti stradali principali e secondari sono stati illuminati con armature Ampera, mentre, per parchi e zone pedonali sono stati utilizzati gli apparecchi Isla LED. Le lanterne modello Valentino LED illuminano il centro storico e solo in alcune zone specifiche sono stati impiegati gli apparecchi Teceo.

Attualmente, l'impianto di illuminazione presenta sei differenti profili di regolazione, che variano in base ai giorni festivi e feriali, al fine di differenziare l'illuminazione delle strade, aree pedonali, zone industriali, aree residenziali, rotatorie e piazze. Attraverso questo primo intervento di riqualificazione i costi dell'energia sono stati ridotti del 42% e grazie all'utilizzo del sistema di telecontrollo Owlet, è stato raggiunto un risparmio complessivo del 56%, con una conseguente diminuzione delle emissioni di CO₂ di 97 tonnellate all'anno e conseguente abbassamento dell'inquinamento luminoso attraverso l'utilizzo di ottiche cut-off. Grazie all'esito positivo e ai notevoli vantaggi ottenuti in seguito all'intervento di miglioramento, negli anni successivi, sono stati coinvolti la quasi totalità degli impianti di pubblica illuminazione del Comune [47].



Figure 4.2 – Risparmi ottenuti in seguito all'intervento di riqualificazione nel 2011.

Fonte: Schröder [47].

4.2.1 – IL SISTEMA DI TELEGESTIONE WIRELESS ATTUALE

Il sistema di telegestione permette di controllare, monitorare, rilevare i consumi e gestire l'illuminazione stradale. È basato su software con protocollo aperto e comporta numerosi benefici finalizzati al risparmio energetico, riduzione delle emissioni di gas effetto serra, aumento della sicurezza dell'illuminazione stradale e riduzione dei costi relativi alla manutenzione. Ogni punto luce può essere acceso o spento e regolato di intensità in ogni momento della giornata, le informazioni relative al consumo di energia, alle condizioni operative e ai guasti, vengono raccolte in un database che indica la data di acquisizione e la localizzazione dell'apparecchio.

La maggior parte dei punti luce presenti nel comune sono gestiti dal sistema Owlet Nightshift e solo una minor parte è coordinata dal sistema Owlet IoT. In seguito, vengono riportate le principali caratteristiche e vantaggi delle seguenti piattaforme sviluppate da Schröder.

RETE INTEROPERABILE OWLET NIGHTSHIFT

I principali vantaggi del sistema di controllo remoto Owlet Nightshift sono [48]:

- Veloce recupero dell'investimento
- Ottimizzazione dello schema di illuminazione
- Flessibilità
- Gestione del risparmio
- Risparmio energetico del 85%
- Conformità normativa
- Facile installazione
- Rete affidabile
- Facile interfaccia d'utilizzo.

Il sistema permette quindi di regolare il giusto livello di illuminamento stradale ed è costituito da:

- unità centrale, modello SeCo
- modulo di telegestione e dimmerazione modello Luco NXP (Luco PD se esterno all'apparecchio)
- portale Web per il Centro di Controllo [49].

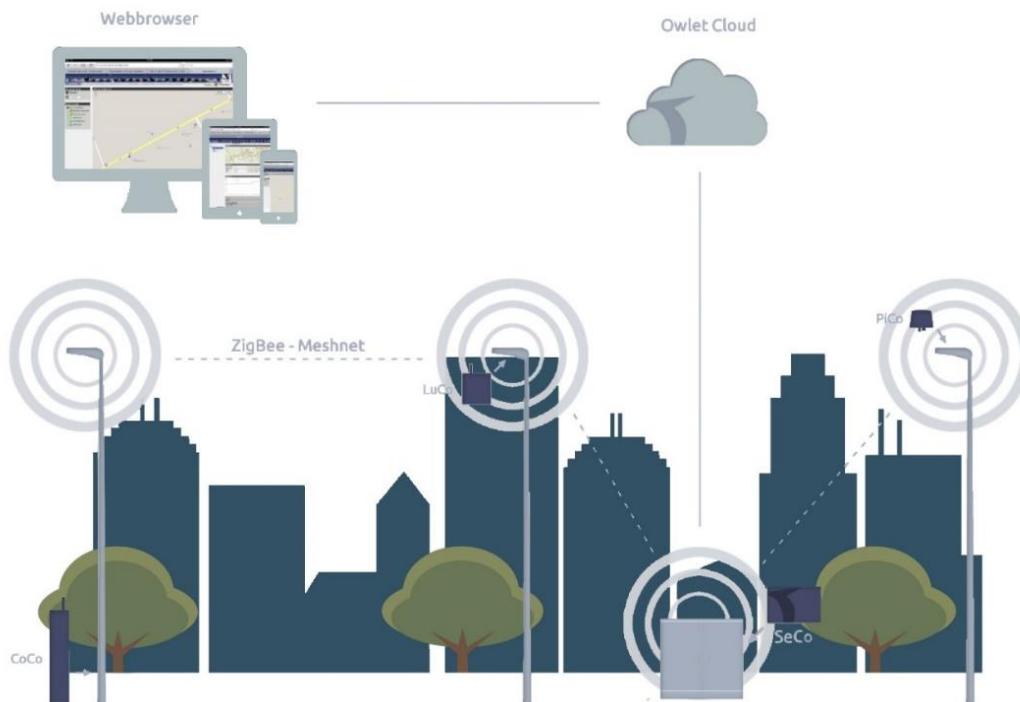


Figura 4.2.1.1 – Struttura del sistema Owlet Nightshift

Fonte: Schéder [49].

CONCENTRATORE DI SEGMENTO SeCo



Figura 4.2.1.2 – Dispositivo SeCo di Schröder

Fonte: Schéder [49].

Questo strumento permette di comunicare con i punti luce e consente la condivisione dei dati raccolti con la piattaforma del software. Utilizza un protocollo di comunicazione aperto ZigBee che sfrutta collegamenti wireless, grazie all'affidabilità e alla sicurezza che offre, gestisce gli impianti di illuminazione in modo semplice ed efficiente. Ogni apparecchio comunica e re-invia informazioni al dispositivo successivo entro un raggio di 100 metri attraverso un'antenna standard di 6mW o di 10 mW in caso di distanze maggiori. Il concentratore di segmento viene collocato all'interno di un quadro IP o anche all'esterno grazie al suo grado di protezione IP66 [49].

CONTROLLORE APPARECCHIO LUMINOSO LUCO



Figura 4.2.1.3 – Dispositivi LuCo di Schröder

Fonte: Schröder [49].

I controllori LuCo, disponibili in differenti configurazioni, permettono l'accensione, la regolazione e il rilevamento dei guasti dei singoli apparecchi. Ogni interruttore del controllore è in grado di commutare 1000 W in 230 V. Tutti i prodotti comunicano attraverso la piattaforma ZigBee, inoltre monitorano e registrano il valore di corrente assorbita, la tensione di alimentazione e il fattore di potenza. All'interno è presente un orologio astronomico che assicura l'accensione e lo spegnimento all'alba e al tramonto [49].

SISTEMA WEB DI SUPERVISIONE



Figura 4.2.1.4 – Piattaforma Owlet di Schredér

Fonte: Schéder [49].

Il sistema comunica con il Web-server attraverso la rete internet e la sicurezza dei dati è assicurata da una Virtual Private Network (VPN). Attraverso l'utilizzo di password è possibile accedere all'interno del sistema, i canali di comunicazione utilizzati sono le reti ADSL, GPRS, 3G, Wi-Fi Comunali, etc. L'applicazione permette di domandare, configurare, salvare e visualizzare i valori operativi dell'impianto di illuminazione. I dati acquisiti vengono riuniti e organizzati in un database MySQL al fine di renderli consultabili per lunghi periodi di tempo e sviluppare statistiche riguardanti i consumi, manutenzione, analisi di vita, gestione guasti etc. [49].

RETE INTEROPERABILE OWLET IOT

Il sistema di gestione urbana Owlet IoT è basato su standard aperti e consente di interagire con le piattaforme della smart city al fine condividere e raccogliere dati attraverso l'Internet of Things (IoT). Questa tecnologia permette di rilevare e controllare da remoto gli oggetti per creare maggiori benefici economici ed efficienza energetica attraverso l'utilizzo di sensori in grado di gestire il traffico, sistemi che monitorano l'ambiente e dispositivi di sicurezza. Condizione necessaria per i dispositivi dotati di IoT, è la possibilità di essere indirizzabili, questo consente di creare illimitate combinazioni per connettere oggetti comuni alla rete.

È costituito da un'antenna GPS integrata e da un processo di auto-attivazione che permette di registrare autonomamente la localizzazione degli apparecchi. Risulta essere una soluzione Plug and Play a tutti e consente di non richiedere il supporto del concentratore di segmento SeCo e interventi da parte di installatori. Inoltre, il nodo LuCo dispone di un sistema in grado di rilevare le caratteristiche dell'apparecchio.

I principali vantaggi del sistema Owlet IoT sono [50]:

- Architettura smart ibrida
- Semplice attivazione
- Gestione efficiente
- Localizzazione istantanea GPS
- Misurazione precisa del consumo energetico
- Risparmio fino al 85%
- Rispondenza alla normativa
- Rete affidabile
- Interfaccia intuitiva su base web
- Pronto per la Smart City.

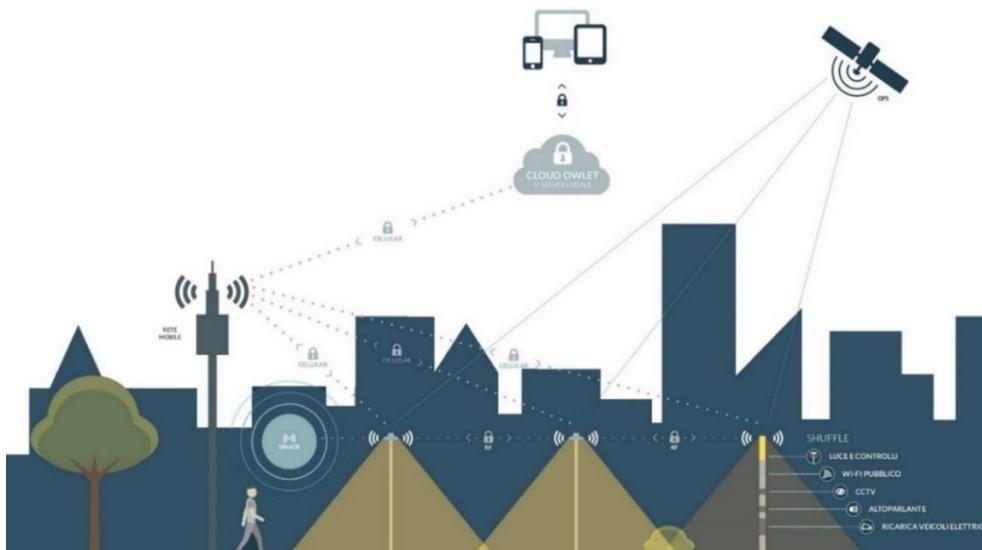


Figura 4.2.1.5 – Struttura del sistema Owlet IoT

Fonte: Schéder [18].

L'interfaccia del sistema è semplice e intuitiva, attraverso l'accesso con credenziali e password è possibile accedere all'applicazione tramite computer, smartphone o tablet. Per mezzo di codici e password è assicurata la sicurezza informatica e il sistema è protetto da qualsiasi intrusione esterna.

La localizzazione degli apparecchi viene indicata su una mappa di OpenStreetMaps con differenti colori e forme in base allo stato di attività o inattività delle sorgenti luminose. Inoltre, i report riguardanti l'installazione e il monitoraggio sono pianificati in base alle esigenze dell'utente.

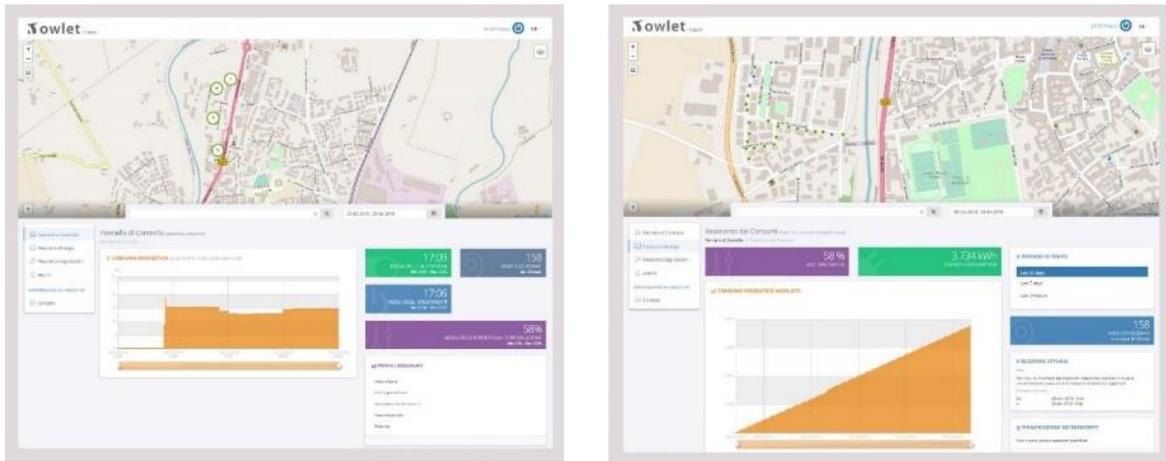


Figura 4.2.1.6 – Piattaforma Owlet IoT di Schredér

Fonte: Schéder [49].

4.3 – INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI STUDIO

In seguito all'analisi dei sistemi di telegestione e telecontrollo forniti dall'azienda Schröder e presenti attualmente nell'impianto di illuminazione della città di Savigliano, è stato necessario individuare differenti tratti stradali all'interno dei quali sviluppare l'analisi dei rischi indicata dalla Norma UNI 11248 "Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche".

A tal fine, è stata sviluppata precedentemente un'analisi territoriale che ha permesso di individuare due differenti principi insediativi: uno ad alta densità abitativa e uno a bassa densità caratterizzato da abitazioni più sparse nel territorio. Questo ha permesso di determinare come primo ambito la strada provinciale SP20, tratto stradale all'interno del quale si sta attualmente svolgendo il progetto avviato dalla società Ardea Energia e dall'azienda Schröder, come secondo ambito Via Duccio Galimberti, caratterizzata da una bassa densità abitativa e come terza analisi, Corso Caduti per la Libertà, tratto stradale collocato nella parte più centrale del Comune con un'alta densità del territorio edificato.

Per ogni caso studio è stata effettuata un'analisi dell'impianto di illuminazione esistente e individuate le principali criticità, intese come disturbi visivi, durante le ore notturne. Questa prima indagine ha permesso di suddividere i tratti stradali in zone omogenee (area carrabile, area pedonale, marciapiedi, attraversamenti pedonali, rotatorie e incroci, etc.) e di sviluppare successivamente l'analisi dei rischi, individuando i parametri di influenza costanti nel lungo periodo, fondamentali nella definizione della categoria illuminotecnica di progetto.

Invece, per quanto riguarda l'individuazione della categoria di esercizio, non avendo a disposizione i flussi di traffico notturni di ogni tratto stradale, sono state assunte alcune condizioni di traffico di riferimento per stimare i possibili costi energetici ed economici conseguenti ai volumi di traffico rilevati.

Inoltre, son state svolte delle ipotesi di progetto nel caso di applicazione del sistema adattivo TAI e infine, elaborato uno schema riassuntivo sui parametri di influenza che determinano il declassamento delle categorie illuminotecniche e sui flussi luminosi dell'area presa in analisi.

STATO DI FATTO STRADA PROVINCIALE SP 20



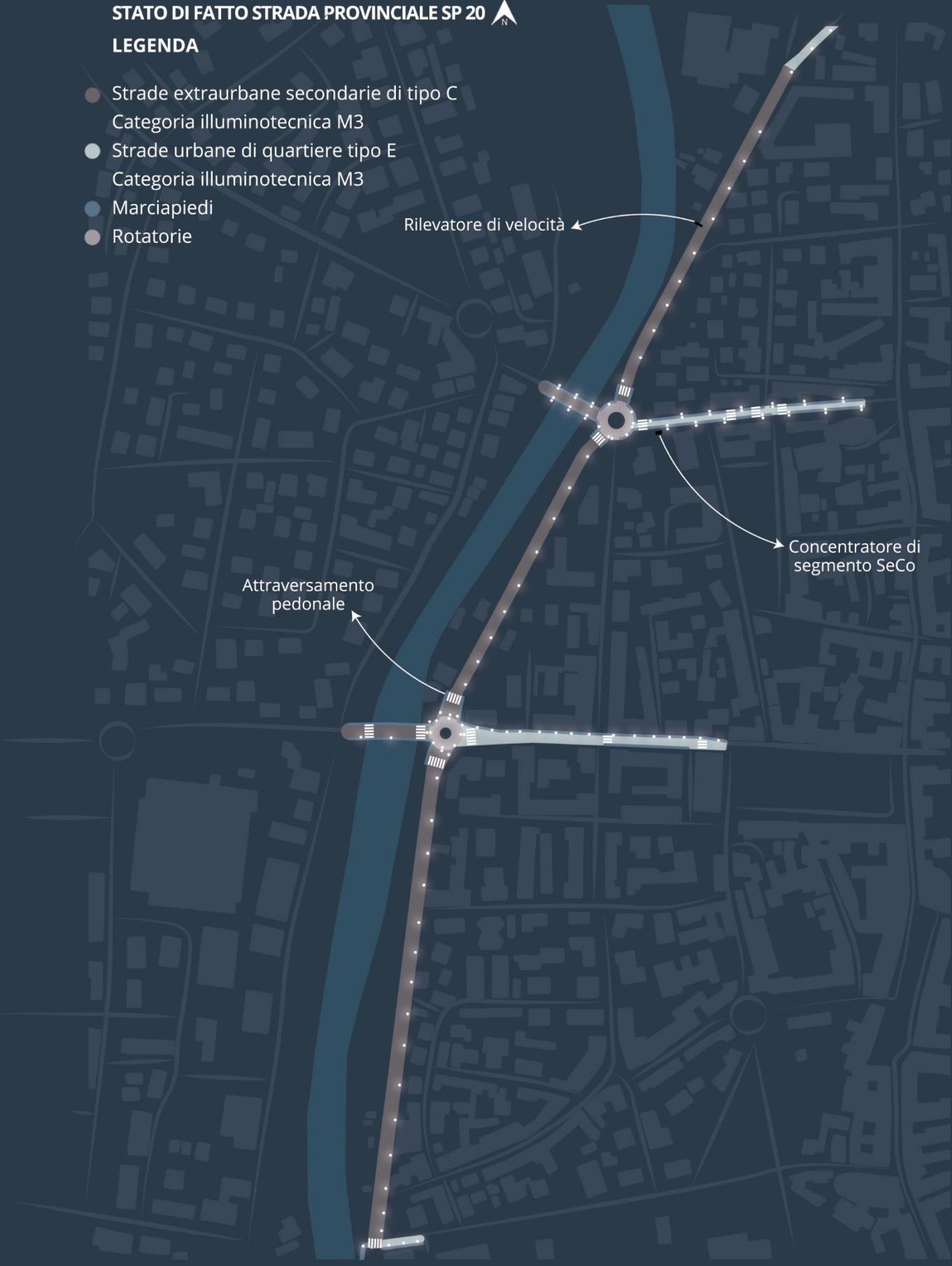
LEGENDA

- Strade extraurbane secondarie di tipo C
Categoria illuminotecnica M3
- Strade urbane di quartiere tipo E
Categoria illuminotecnica M3
- Marciapiedi
- Rotatorie

Rilevatore di velocità

Concentratore di
segmento SeCo

Attraversamento
pedonale



4.3.1 – STRADA PROVINCIALE SP 20

La Strada Provinciale SP 20 che passa per Savigliano, nel 2011 è stata sottoposta ad un intervento di riqualificazione riguardante la sua illuminazione. Attualmente l'area denominata "Corso Nazario Sauro" all'interno della piattaforma Owlet Nightshift è costituita da 121 dispositivi dimmerabili LED e un dispositivo concentratore di segmento SeCo. Il seguente tratto stradale appartiene alle strade extraurbane di tipo C con relativa categoria illuminotecnica M3

L'attuale impianto di illuminazione è caratterizzato da una gestione centralizzata, la quale consente di inviare a tutti gli apparecchi un segnale contenente le stesse informazioni. Il seguente sistema risulta conveniente poiché permette un uso economico delle infrastrutture esistenti e permette di riprogrammare da remoto singolarmente o a gruppi gli apparecchi di illuminazione.

Questa gestione consente di dimmerare l'illuminazione stradale sulla base dei dati ipotizzati di traffico orari, nel rispetto delle norme vigenti. Inoltre, al fine di fornire delle prestazioni illuminotecniche costanti durante la vita utile degli apparecchi, l'impianto di illuminazione è dotato del sistema di autoregolazione Constant Lumen Output, il quale contrasta nel tempo il decadimento del flusso luminoso dei LED.

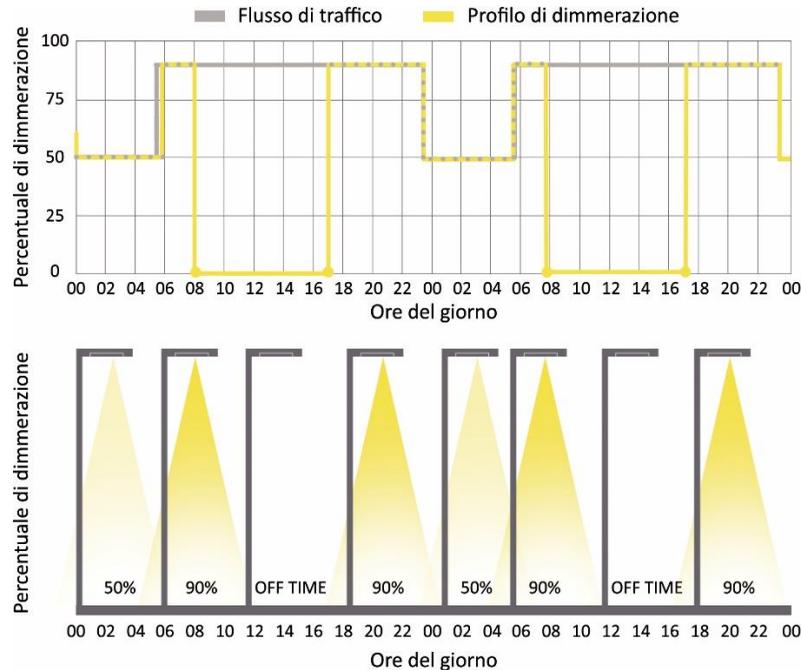


Figura 4.3.1.1 – Profilo di Regolazione Luminoso di una giornata tipo SP20, Savigliano

Fonte: Piattaforma Owlet Nightshift.

CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE

In tutta l'area sono stati utilizzati apparecchi di illuminazione Ampera di Schröder, tranne in via Guido Gozzano in cui sono stati utilizzati armature Isla a LED nell'area pedonale.

Per quanto riguarda la gamma Ampera taglia Midi, sono state utilizzate differenti taglie di apparecchi che offrono la massima flessibilità in base alle necessità dei centri urbani. Nel rettilineo stradale della SP20 sono presenti sorgenti da 99W, mentre per i marciapiedi e percorsi pedonali da 70W.

Gli apparecchi Isla sono stati collocati in corrispondenza di un percorso pedonale e hanno una potenza di 53W. Data la loro esposizione agli ambienti esterni, hanno un grado di protezione agli agenti atmosferici con IP66.

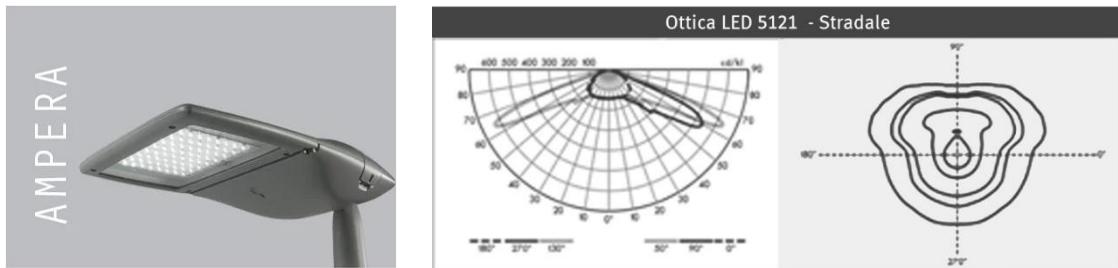


Figura 4.3.1.2 – Caratteristiche fotometriche apparecchio Ampera

Fonte: Schröder [51].

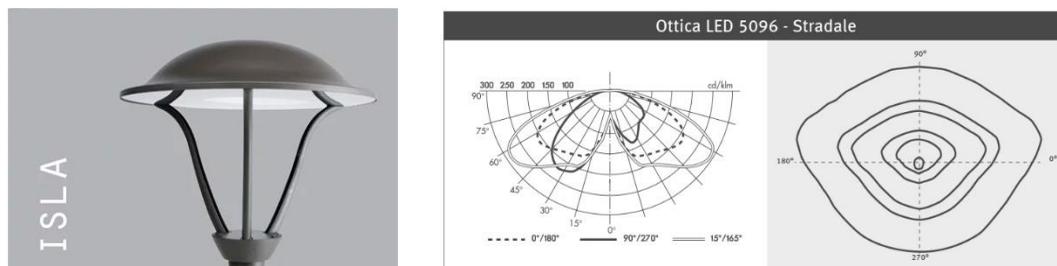


Figura 4.3.1.3 – Caratteristiche fotometriche apparecchio Isla

Fonte: Schröder [52].

4.3.1.1 – STATO DI FATTO

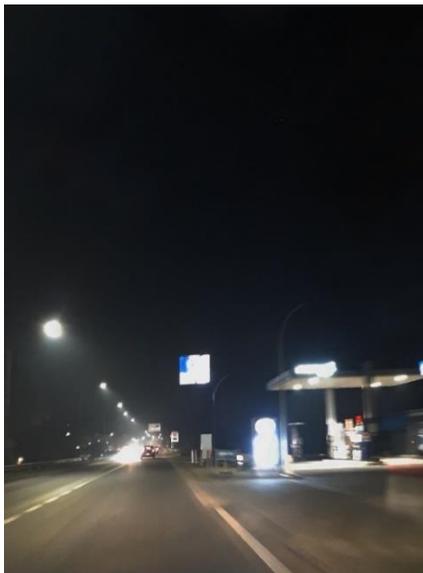
Via Cervino e Via Bisalta ricoprono un tratto della strada provinciale SP 20 e sono classificabili come strade extraurbane secondarie di tipo C (da Norma UNI 11248:2016) caratterizzate da un rilevatore di velocità che impone il limite dei 50 Km/h. Sono costituite da una carreggiata indipendente e una corsia per senso di marcia, non sono presenti piste ciclabili, ma solo attraversamenti pedonali e marciapiedi principalmente in corrispondenza delle due rotatorie.

Attraverso il sopralluogo è stata messa in evidenza la differente percezione della strada durante le ore diurne rispetto a quelle notturne. L'illuminazione a LED restituisce un'ottima resa cromatica e un buon livello di luminanza della strada. Nelle ore serali sono presenti alcuni disturbi visivi provocati dalle insegne luminose delle attività ai margini della strada e dalla presenza di un distributore di benzina illuminato con numerose sorgenti di luce.

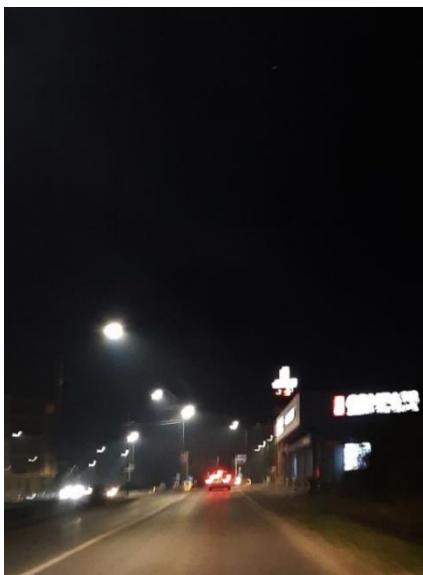
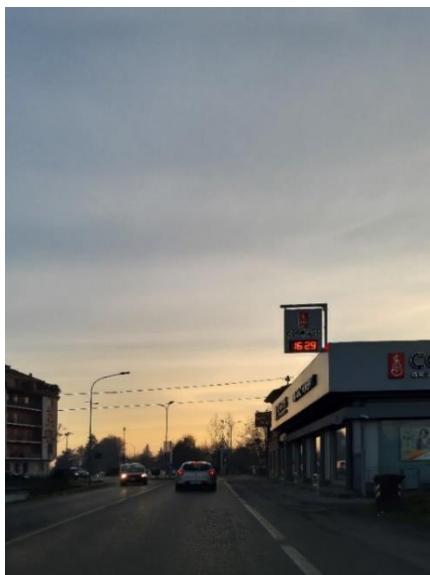
Vista dalla rotatoria di Via Nazario Sauro – Strada Monasterolo – Via Cervino



Vista del distributore di benzina che provoca disturbo luminoso nelle ore notturne



Vista della rotonda di Via Saluzzo - Via Cervino con disturbo luminoso provocato dalle insegne



4.3.1.2 – ANALISI DEI RISCHI

La delimitazione della zona di studio è stata definita facendo riferimento alla suddivisione delle aree presenti sulla piattaforma Owlet di Schröder, in questo caso, la superficie di interesse risulta essere la zona denominata “Corso Nazario Sauro” la quale include al suo interno la strada provinciale SP20.

Quest’ultima risulta essere una strada a traffico veicolare non costituita da corsie di emergenza adiacenti, ma, in corrispondenza delle rotonde, sono presenti marciapiedi e attraversamenti pedonali. Suddividendo l’area in zone omogenee, incroci e svincoli sono stati considerati come un’unica zona di studio separata rispetto alle rotonde, alla carreggiata della strada provinciale e agli attraversamenti pedonali considerati insieme ai marciapiedi, ma nei casi ritenuti più pericolosi per gli utenti è stata svolta un’analisi specifica.

Il rettilineo della SP 20, comprendente Via Cervino, un tratto di Via Bisalta e gli attraversamenti sul fiume di Strada Monasterolo e Via Saluzzo sono stati quindi classificati secondo il prospetto 1 della Norma UNI 11248 “Illuminazione stradale- Selezione delle categorie illuminotecniche”, come strade extraurbane secondarie di tipo C con relativa categoria illuminotecnica M3.

Tabella 1 - Categoria illuminotecnica di ingresso della strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	LOCALITA'	LIMITE DI VELOCITA' (Km/h)	PORTATA DI SERVIZIO DA DM.5/11/2001 (veicoli corsia/h)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI
Tratto della Strada Provinciale SP20	Savigliano	50	600	M3

Di seguito viene riportato una parte del prospetto C.1 della Norma 11248 nel quale sono presentate le tipologie di strade, le loro principali caratteristiche e la portata massima di servizio per corsia.

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	N° Minimo Carreggiate indipendenti	N° Minimo di Corsie per senso di marcia	N° di sensi di marcia	Portata max. di servizio per corsia (veicoli/ora)	Ulteriori requisiti minimi, caratteristiche e chiarimenti
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	1	1	2	600	Strade tipo provinciali, regionali e statali Con banchine laterali transitabili
	Strade extraurbane secondarie	1	1	2		
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	1	1	2		

Figura 4.3.1.2.1 – Classificazione stradale

Fonte: Estratto del Prospetto C.1 della Norma UNI 11248:2016 [42].

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di ingresso
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2) ¹⁾	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
1) Secondo il Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 N° 6792 ^[10] . 2) Per le strade di servizio delle strade urbane di scorrimento, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile con questa (prospetto 6). 3) Vedere punto 6.3. 4) Secondo la legge 1 agosto 2003 N° 214 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 2003 N° 151, recante modifiche e integrazioni al codice della strada".			

Figura 4.3.1.2.2– Classificazione delle strade e individuazione della categoria illuminotecnica

Fonte: Estratto del Prospetto 1 della Norma UNI 11248:2016 [42].

La categoria illuminotecnica di ingresso individuata deve essere sottoposta all'analisi dei rischi attraverso la valutazione dei parametri di influenza. L'obiettivo è quello di determinare la categoria che garantisca la massima efficienza dell'impianto di illuminazione, la sicurezza degli utenti e che consenta una riduzione dei costi energetici, di manutenzione, gestione e installazione nel rispetto dell'inquinamento luminoso e dell'impatto ambientale.

L'analisi dei parametri di influenza consiste in una valutazione delle caratteristiche ambientali che possono portare ad assegnare una differente categoria di progetto. È possibile differenziare parametri costanti nel lungo periodo che determinano la categoria illuminotecnica di progetto e sono presentati nel Prospetto 2 della normativa e parametri di influenza variabili nel tempo che indicano le categorie illuminotecniche di esercizio, ricavate da quella di progetto, e sono esposti nel Prospetto 3.

prospetto 2 **Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai più comuni parametri di influenza costanti nel lungo periodo**

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto ^{1) 2)}	1
Segnaletica cospicua ³⁾ nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1
1) In modo non esaustivo sono zone di conflitto gli svincoli, le intersezioni a raso, gli attraversamenti pedonali, i flussi di traffico di tipologie diverse. 2) È compito del progettista definire il limite di bassa densità. 3) Riferimenti in CIE 137 ^[5] .	

Figura 4.3.1.2.3 – Parametri di influenza nel lungo periodo

Fonte: Prospetto 2 della Norma UNI 11248:2016 [42].

prospetto 3 **Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di progetto in relazione ai più comuni parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale**

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

Figura 4.3.1.2.4 – Parametri di influenza variabili nel tempo

Fonte: Prospetto 3 della Norma UNI 11248:2016 [42].

A ogni parametro di influenza è associato un valore di riduzione compreso tra 0 e il valore indicato nel prospetto 2 e 3, inoltre, il progettista può individuare ulteriori parametri a cui è attribuito un valore di riduzione compreso tra 0 e 1. Sommando il valore della riduzione di tutti i parametri di influenza costanti nel lungo periodo, si ottiene la categoria illuminotecnica di progetto: il valore ottenuto, rappresenta l'incremento da apportare alla categoria di ingresso per ottenere quella di progetto. Allo stesso modo, prendendo in considerazione i parametri variabili nel tempo, si ottengono una o più categorie illuminotecniche di esercizio [42].

Prendendo in analisi la **strada provinciale SP 20**, nello specifico il tratto che comprende Via Cervino e un tratto di Via Bisalta, al fine di individuare la classe illuminotecnica di progetto, sono stati considerati i parametri di influenza presentati nella normativa. Analizzando i singoli parametri, grazie al sopralluogo effettuato, possiamo osservare che:

- la complessità del campo visivo è presente in maniera elevata a causa delle segnaletiche luminose e dell'illuminazione degli edifici adibiti ad attività commerciali lungo il tratto stradale, questo comporta il possibile fastidio e disturbo visivo dell'utente;
- sono presenti numerose zone di conflitto caratterizzate dalle due rotonde, uno svincolo e degli incroci perpendicolari all'asse viario principale, che consentono l'immissione di differenti flussi di traffico motorizzato;
- la segnaletica stradale in corrispondenza delle zone conflittuali non è particolarmente attrattiva per l'utente della strada, in particolar modo, in corrispondenza di tratti in cui sono osservabili disturbi visivi più evidenti, potrebbe non essere individuata e interpretata correttamente;
- non sono presenti segnaletiche stradali attive, fatta eccezione per il tratto iniziale di Via Cervino, in cui è stato installato un dissuasore di velocità attivo, ma durante il sopralluogo è stato osservato il suo mancato funzionamento;
- infine, nel tratto stradale preso in analisi non è stato considerato il pericolo di aggressione poiché lungo un asse viario risulta impossibile il verificarsi di questo parametro.

I parametri di influenza costanti nel lungo periodo, riportati nella Norma UNI 11248, sono stati così classificati:

Tabella 2 - Riduzione di categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSITA' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIONE
Tratto della SP20	NO	NO	NO	NO	N.V.
	0	0	0	0	N.V.

Considerando i valori di riduzione dei singoli parametri di influenza, non si ottiene alcuna diminuzione di categoria illuminotecnica partendo dalla categoria di ingresso, inoltre, come specificato dalla normativa, gli attraversamenti pedonali, le rotatorie, gli svincoli, gli incroci e i marciapiedi sono stati considerati come zone di studio a parte.

Sono stati comunque considerati ulteriori parametri di influenza costanti nel lungo periodo tra cui l'indice di resa dei colori delle sorgenti LED presenti nel tratto stradale con $R_a > 80$ con tonalità bianco calda e $R_a > 70$ con tonalità bianco neutra e il rapporto S/P pari a 2,1 per le sorgenti LED. Verificando che queste condizioni risultino appropriate per ogni categoria di esercizio e considerando l'invecchiamento e l'uniformità, da normativa è possibile attribuire un valore massimo di riduzione della categoria illuminotecnica pari a 1. Questo ulteriore parametro preso in considerazione non risulta essere particolarmente significativo al fine di declassare di una categoria illuminotecnica la categoria di ingresso.

La categoria di progetto, individuando le prestazioni dell'impianto di illuminazione, deve valutare le possibili variazioni del parametro preso in considerazione, tenere conto del fattore di manutenzione e di ulteriori coefficienti che potrebbero essere considerati in futuro e analizzare la portata di servizio massima della strada. In seguito all'analisi dei rischi, non essendoci parametri di influenza che consentono la riduzione di classe, la categoria illuminotecnica di ingresso M3 (che da Norma UNI 13201-2 "Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali", corrisponde a

una luminanza del manto stradale pari a 1,00 cd / m²) rimane la stessa anche per la categoria di progetto.

prospetto 1 **Categorie Illuminotecniche M**

Categoria	Luminanza del manto stradale della carreggiata in condizioni di manto stradale asciutto e bagnato			Abbagliamento debilitante	Illuminazione di contiguità	
	Asciutto		Bagnato	Asciutto	Asciutto	
	\bar{L} [minima mantenuta] cd × m ²	U_o [minima]	$U_l^{a)}$ [minima]	$U_{ow}^{b)}$ [minima]	$f_{T1}^{c)}$ [massima] %	$P_{E1}^{d)}$ [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

a) L'uniformità longitudinale (U_l) fornisce una misura della regolarità dello schema ripetuto di zone luminose e zone buie sul manto stradale e, in quanto tale, è pertinente soltanto alle condizioni visive su tratti di strada lunghi e ininterrotti, e pertanto dovrebbe essere applicata soltanto in tali circostanze. I valori indicati nella colonna sono quelli minimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia possono essere modificati allorché si determinano, mediante analisi, circostanze specifiche relative alla configurazione o all'uso della strada oppure quando sono pertinenti specifici requisiti nazionali.

b) Questo è l'unico criterio in condizioni di strada bagnata. Esso può essere applicato in aggiunta ai criteri in condizioni di manto stradale asciutto in conformità agli specifici requisiti nazionali. I valori indicati nella colonna possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

c) I valori indicati nella colonna f_{T1} sono quelli massimi raccomandati per la specifica categoria illuminotecnica, tuttavia, possono essere modificati laddove siano pertinenti specifici requisiti nazionali.

d) Questo criterio può essere applicato solo quando non vi sono aree di traffico con requisiti illuminotecnici propri adiacenti alla carreggiata. I valori indicati sono in via provvisoria e possono essere modificati quando sono specificati gli specifici requisiti nazionali o i requisiti dei singoli schemi. Tali valori possono essere maggiori o minori di quelli indicati, tuttavia si dovrebbe aver cura di garantire che venga fornito un illuminamento adeguato delle zone.

Figura 4.3.1.2.5 – Luminanza del manto stradale per le categorie illuminotecniche M

Fonte: Prospetto 1 della Norma UNI 13201-2 [40].

Tabella 4 - Categoria illuminotecnica di progetto per la strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Tratto della Strada Provinciale SP20	M3	2	M3

I parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale possono essere valutati attraverso procedimenti statistici, indicazioni del committente o per mezzo di misurazioni che permettono di stabilire i flussi orari di traffico rispetto alla portata di servizio.

La riduzione di categoria dei parametri variabili è illustrata nel prospetto 3 della Norma UNI 11248: per flussi orari di traffico inferiori al 50% o maggiori del 100% rispetto alla portata di servizio è possibile declassare la categoria di progetto di un livello per ottenere la categoria di esercizio, mentre, per flussi di traffico stabilmente minori del 25%, si può diminuire di due classi illuminotecniche la categoria di progetto.

Se si intende analizzare le possibili ulteriori riduzioni di categorie illuminotecniche, considerando i parametri di influenza variabili nel tempo relativi ai flussi di traffico veicolare, per ottenere la categoria o le categorie di esercizio è necessario fare riferimento a misurazioni reali effettuate in campo.

Tabella 5 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Tratto della Strada Provinciale SP20	M3	M3	Da misurare

Per quanto riguarda l'illuminazione delle **intersezioni stradali**, la Norma UNI 11248 indica l'applicazione della categoria illuminotecnica C, con integrazione dei requisiti sull'abbagliamento dell'appendice C della UNI EN 13201-2:2016.

Considerando l'area di studio presa in analisi, è possibile identificare una **rotatoria** che collega Via Cervino – Corso Nazario Sauro – Strada Monasterolo – Via Trento e una seconda rotatoria nella quale confluiscono Via Cervino – Via Saluzzo. Inoltre, sono presenti **intersezioni** che collegano Via Novellis – Via Bisalta, Via Macra – Via Bisalta, Viale Guido Gozzano – Via Bisalta e uno **svincolo** tra Via Cervino – Corso Romita. Queste, sono collocate in un'area urbana e la maggiore categoria d'ingresso dei rami di approccio e delle strade di accesso risulta essere la M3.

Tabella 6 - Categoria illuminotecnica zona adiacente alle rotatorie, incroci e svincoli

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/ EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA ZONA ADIACENTE/CONTIGUA
Rotatoria Via Cervino - Corso Sauro - Strada Monasterolo - Via Trento	Rotatoria	Urbana	M3
Rotatoria Via Cervino - Via Saluzzo	Rotatoria	Urbana	M3
Via Novellis – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	M3
Via Macra – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	M3
Viale Guido Gozzano – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	M3
Via Cervino - Corso Romita	Svincolo	Urbana	M3

La categoria illuminotecnica di ingresso deve essere di un livello superiore rispetto alla categoria dei rami di approccio e delle strade di accesso illuminate che convergono nella rotatoria, quindi, prendendo in considerazione la categoria illuminotecnica di ingresso M3, ricavata in precedenza, e considerando un coefficiente medio di luminanza dell'asfalto (Classe C2) con Q_0 pari a 0,07, facendo riferimento al prospetto 6 della normativa, risulta che la categoria illuminotecnica da adottare è la C2. Inoltre, nel rispetto della normativa, in presenza di zone contigue o adiacenti, si deve evitare una differenza maggiore di due categorie illuminotecniche comparabili.

Comparazione di categorie illuminotecniche

Categoria illuminotecnica comparabile						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4
Nota Per il valore di Q_0 vedere punto 13 e l'appendice D.						

Figura 4.3.1.2.6 – Comparazione categorie illuminotecniche

Fonte: Prospetto 6 della Norma UNI 11248:2016 [42].

Considerando che gli incroci e svincoli presi in analisi non risultano essere caratterizzati da elevati flussi di traffico, data la loro secondaria importanza e non avendo un'illuminazione adibita, manterranno una classe illuminotecnica comparabile alla M3 della strada principale e quindi la categoria di ingresso è la C3.

Tabella 7 - Categoria illuminotecnica per rotatorie, incroci e svincoli

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO
Rotatoria Via Cervino - Corso Sauro - Strada Monasterolo - Via Trento	Rotatoria	Urbana	C2
Rotatoria Via Cervino - Via Saluzzo	Rotatoria	Urbana	C2
Via Novellis – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	C3
Via Macra – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	C3

Viale Guido Gozzano – Via Bisalta	Incrocio	Urbana	C3
Via Cervino - Corso Romita	Svincolo	Urbana	C3

Gli incroci e svincoli presi in analisi dovranno quindi adottare una categoria illuminotecnica di ingresso C3 e le rotatorie una categoria C2. Dato che anche in queste intersezioni sarà adottato il sistema adattivo, nel caso di declassamento di una o due categorie illuminotecniche per l'attivazione della categoria di progetto o di esercizio per la SP20, le rotatorie, gli incroci e gli svincoli seguiranno lo stesso grado di declassamento dell'illuminazione della strada principale. In questo caso, non essendoci riduzioni di categoria tra quella di ingresso e quella di progetto, le rotatorie adotteranno una categoria illuminotecnica di progetto C2 pari a 20,0 lx di illuminamento e per gli incroci e svincoli una categoria C3 con un illuminamento di 15,0 lx.

Tabella 8 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Rotatoria Via Cervino - Corso Sauro - Strada Monasterolo - Via Trento	Rotatoria	C2	C2	Da misurare
Rotatoria Via Cervino - Via Saluzzo	Rotatoria	C2	C2	Da misurare
Via Novellis – Via Bisalta	Incrocio	C3	C3	Da misurare
Via Macra – Via Bisalta	Incrocio	C3	C3	Da misurare

Viale Guido Gozzano – Via Bisalta	Incrocio	C3	C3	Da misurare
Via Cervino - Corso Romita	Svincolo	C3	C3	Da misurare

Nel caso dello svincolo la normativa indica l'utilizzo di una categoria illuminotecnica addizionale per l'illuminazione sul piano verticale, alla categoria di progetto individuata in precedenza si deve aggiungere la categoria presentata nel prospetto 7 della Norma UNI 11248 ottenendo una categoria per l'illuminamento verticale EV5.

prospetto 7

Categorie illuminotecniche addizionali

Categoria illuminotecnica										
Categoria illuminotecnica individuata	C0	C1	C2	C3	C4	C5	-	-	-	
	-	-	-	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Categoria illuminotecnica addizionale	-	EV3	EV4	EV5	-	-	-	-	-	

Figura 4.3.1.2.7 – Categorie illuminotecniche addizionali

Fonte: Prospetto 7 della Norma UNI 11248:2016 [42].

Prendendo in analisi i **marciapiedi** e **gli attraversamenti pedonali** come specifiche aree di studio, la normativa indica l'applicazione del prospetto 6 alla categoria illuminotecnica di ingresso della strada adiacente e lo svolgimento dell'analisi dei rischi al fine di individuare un possibile declassamento della zona di studio. Nell'area di studio gli attraversamenti pedonali si collocano principalmente in prossimità delle rotatorie e i marciapiedi nelle vie perpendicolari alla strada SP 20, sempre facenti parti del raggruppamento di Owlet. La presenza di pedoni è considerata rilevante poiché queste strade collegano al centro storico di Savigliano e sono particolarmente frequentate dai cittadini. Avendo in precedenza individuato la categoria illuminotecnica M3 della strada adiacente ai marciapiedi e prendendo in considerazione il prospetto 6 della normativa, è

possibile ottenere la categoria illuminotecnica di ingresso P1. Ai fini di un declassamento è necessario sviluppare un'analisi dei rischi sulla zona di studio.

prospetto 6 **Comparazione di categorie illuminotecniche**

Categoria illuminotecnica comparabile						
Condizione	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3	C4	C5	C5	C5
			P1	P2	P3	P4
Nota Per il valore di Q_0 vedere punto 10 e l'appendice D.						

Figura 4.3.1.2.8 – Comparazione categorie illuminotecniche

Fonte: Prospetto 6 della Norma UNI 11248:2016 [42].

Analizzando i parametri di influenza costanti nel lungo periodo esaminati durante il sopralluogo, è possibile osservare che:

- è presente un'elevata complessità del campo visivo a causa dei disturbi luminosi principalmente provocati dalle luci dei veicoli che circolano a lato dei marciapiedi;
- sono presenti numerose zone di conflitto come incroci che interrompono il percorso pedonale;
- la segnaletica verticale non è particolarmente visibile e non sono presenti ostacoli come dossi che segnalano in maniera più evidente la presenza di attraversamenti pedonali;
- non sono presenti segnaletiche attive che aiutano l'utente a individuare rischi o pericoli;
- l'area non risulta pericolosa dal punto di vista delle aggressioni poiché i percorsi pedonali in molti tratti presentano un'illuminazione adibita che aumenta la sicurezza dell'utente.

Tabella 9 - Riduzione di categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSIT A' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIO NE
Marciapiedi e attraversamenti pedonali	NO 0	NO 0	NO 0	NO 0	SI 1

Dall'analisi dei rischi, è possibile osservare una riduzione di una categoria illuminotecnica rispetto alla categoria di ingresso. Considerando che per la categoria di progetto della strada provinciale non è stata declassata la categoria di ingresso, nonostante la possibile riduzione ottenibile dall'indice generale di resa dei colori e il rapporto S/P, in questo caso la riduzione porterebbe ad adottare una classe illuminotecnica P2 (pari a 10,0 lx di illuminamento orizzontale) assicurando allo stesso modo la sicurezza degli utenti. L'illuminazione degli attraversamenti pedonali segue l'illuminazione adattiva della strada principale, mentre i **marciapiedi** e **le piste ciclabili** che presentano un'illuminazione adibita seguiranno il declassamento individuato dall'analisi dei rischi.

Tabella 10 - Categoria illuminotecnica di progetto per percorsi pedonali

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Marciapiedi e piste ciclabili	P1	2	P2

Tabella 11 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Marciapiedi e piste ciclabili	P1	P2	Da misurare

Nel caso in cui venga prevista un'illuminazione specifica per gli **attraversamenti pedonali**, è necessario fare riferimento alla specifica tecnica UNI/TS 11726:2018 "Progettazione illuminotecnica degli attraversamenti pedonali nelle strade con traffico motorizzato" che fornisce linee guida e prescrizioni utili al progettista per assicurare la sicurezza dei pedoni e una buona visibilità per il guidatore. Compito del progettista è quello di:

- individuare la zona di attesa, l'area di attraversamento pedonale e la zona di presa in carico rispetto all'illuminazione della strada;
- far risaltare la presenza del pedone sia quando si trova nella zona di attesa sia durante l'attraversamento;
- stabilire condizioni di visibilità della strada per il pedone indicando la presenza di malformazioni del manto stradale, presenza di veicoli e di altri pedoni.

Avendo già determinato la categoria illuminotecnica della strada, al fine di raggiungere gli obiettivi precedentemente elencati, la norma UNI/TS 11726 indica la necessità di:

- stabilire le dimensioni dell'area di studio;
- individuare la categoria illuminotecnica per il tratto pedonale;
- definire se implementare con segnaletica cospicua l'attraversamento pedonale;
- valutare se azionare sistemi di illuminazione a richiesta [41].

La zona di studio che comprende l'attraversamento pedonale è composta dalla zona di attraversamento stessa e da una parte del marciapiede. È definita zona di attraversamento l'area delimitata dall'ampiezza delle strisce pedonali e dalla larghezza della carreggiata, la zona di attesa invece ha una larghezza pari a 1 metro e lunghezza pari all'ampiezza delle strisce pedonali. Infine, la zona di presa in carico ha larghezza pari a 2 metri e lunghezza pari all'ampiezza delle strisce pedonali.

La Norma UNI/TS 11726 identifica la procedura progettuale da adottare per l'illuminazione dell'attraversamento pedonale:

- determinare la categoria illuminotecnica per assicurare al pedone l'attraversamento della strada in condizioni di sicurezza e al guidatore per fornire l'illuminazione necessaria per identificare la presenza del pedone;
- valutare gli indicatori delle prestazioni energetiche dell'impianto di illuminazione ricavati dalla UNI 13201-5.

Nel caso di strada illuminata la normativa indica l'adozione della categoria illuminotecnica per l'attraversamento pedonale secondo il prospetto 1 riportato in seguito. Considerando la categoria illuminotecnica di progetto M3 della strada principale SP20, l'attraversamento pedonale seguirà la categoria EV2.

prospetto 1 **Categoria illuminotecnica della zona di studio per l'attraversamento pedonale rispetto alla categoria illuminotecnica selezionata per la strada**

Categoria illuminotecnica	
Strada	Zona di studio per l'attraversamento pedonale
M1	---
M2	EV1
M3	EV2
M4	EV2
M5	EV3
M6	EV3

Figura 4.3.1.2.9 – Categoria illuminotecnica per l'attraversamento pedonale.

Fonte: Prospetto 1 della Norma UNI/TS 11726:2018 [41].

Al fine di rendere visibile l'attraversamento pedonale all'automobilista, la norma UNI/TS 11726 prescrive la presenza di una segnaletica cospicua con segnali transilluminati (classe minima L2 secondo la norma UNI EN 12899-1) e con segnali lampeggianti (classe minima L8M o L2H secondo la norma UNI EN 12352).

Inoltre, è possibile richiedere l'incremento dell'illuminazione nel momento in cui è presente il pedone che deve attraversare la strada. In questo caso il sistema aumenta l'illuminazione di almeno una categoria illuminotecnica per migliorare la sicurezza e la visibilità dell'attraversamento pedonale. Se il livello corrisponde alla categoria EV1 l'incremento sarà del 50%. È necessario che l'impianto raggiunga l'illuminazione richiesta in massimo 3 secondi e successivamente al passaggio del pedone possa ritornare allo stato di sicurezza in massimo 30 secondi.

Dato il flusso di traffico che caratterizza la strada provinciale SP 20 e la scarsa visibilità degli attraversamenti pedonali causata dalle insegne luminose circostanti che disturbano la visibilità dell'utente, sarebbe utile installare un impianto di illuminazione specifico con sistema di illuminazione su richiesta in corrispondenza dei quattro attraversamenti pedonali situati in prossimità delle rotatorie di Via Cervino. Essendo il tratto stradale caratterizzato da un'illuminazione adattiva, è necessario regolare l'illuminazione degli attraversamenti pedonali in relazione ai flussi di traffico della strada principale (seguendo quindi il prospetto 1 della Norma UNI/TS 11726) al fine di evitare eccessivi contrasti di luminanza.

Come evidenziato in precedenza, la categoria illuminotecnica di ingresso della strada principale M3 consentirà di utilizzare una categoria EV2 in corrispondenza dell'attraversamento pedonale e nel caso in cui la categoria di ingresso M3, attraverso il sistema adattivo, dovesse scendere di una o due classi, l'illuminazione delle zebre pedonali seguirà il prospetto 1 della Norma UNI/TS 11726 per ottenere la relativa categoria illuminotecnica in base al flusso di traffico della strada principale. Questo sistema di illuminazione adibita per gli attraversamenti pedonali è già presente nell'incrocio tra Viale Guido Gozzano e la SP20 e permette al guidatore di riconoscere e vedere con maggiore facilità il pedone che attraversa la strada.

Tabella 12 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DELLA STRADA PRINCIPALE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Attraversamenti pedonali SP 20	M3	EV2	Da misurare

4.3.1.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO

Prendendo in considerazione le disposizioni fornite dalla Norma UNI 11248:2016 e la loro applicazione nell'area di studio analizzata, pur non avendo disponibili i dati sui flussi orari di traffico del tratto stradale, è possibile sviluppare alcune considerazioni riguardanti le problematiche e le strategie in cui il progettista può incorrere nello sviluppo di un sistema di illuminazione adattivo.

Obiettivo del sistema di illuminazione adattivo TAI è quello di regolare il flusso luminoso emesso da una sorgente in relazione al campionamento del flusso orario del traffico al fine di ridurre i consumi energetici, aumentare la sicurezza degli utenti e fornire un'illuminazione adeguata durante le ore notturne. Come dichiarato da P. Di Lecce, A. Mazzocchi, and G. Rossi, dati relativi al traffico e all'attenuazione spesso sono basati su analisi statistiche, ma, essendo la sicurezza dipendente dal volume di traffico, significa che le statistiche e la sicurezza sono strettamente correlate [43]. Quindi, al fine di raccogliere dati più precisi, vengono installate delle telecamere che rilevano i flussi di traffico e trasmettono le informazioni ad un database che le elabora e trasforma i dati in flusso luminoso che la sorgente deve emettere al fine di rispettare la normativa e la sicurezza degli utenti.

Dal momento che non sarebbe possibile installare telecamere di rilevazione del flusso di traffico per ogni tratto stradale, la normativa suggerisce di differenziare il territorio in zone omogenee, infatti, il tratto preso in analisi della strada provinciale SP 20 è stato suddiviso in:

- rettilineo stradale con categoria illuminotecnica M;
- rotonde, incroci e svincoli con categoria illuminotecnica C;
- attraversamenti pedonali e marciapiedi con categoria P.

Al fine di ottenere un profilo di traffico utile e interessante per il rilevamento dei dati sul traffico, la scelta migliore sarebbe quella di installare una telecamera in una zona centrale rispetto al rettilineo della SP 20 che risulta essere un tratto stradale di maggiore importanza rispetto alle strade secondarie che convergono perpendicolarmente. Ottenendo un profilo di traffico rilevato per un intervallo di tempo di 10 minuti, è viene associato a questo un profilo di illuminazione con la relativa dimmerazione.

In questa fase è possibile ottenere differenti risultati che portano a differenti scelte progettuali:

- se il flusso orario di traffico ottenuto corrisponde alla portata di servizio viene mantenuta la classe illuminotecnica di progetto uguale alla classe di esercizio;
- se il flusso orario di traffico ottenuto è $< 50\%$ o $> 100\%$ rispetto alla portata di esercizio viene ridotta la categoria illuminotecnica di progetto di una classe;
- se il flusso orario di traffico ottenuto è $< 25\%$ rispetto alla portata di esercizio viene ridotta la categoria illuminotecnica di progetto di due classi.

Dato che i flussi di traffico variano continuamente, al fine di non produrre disturbi visivi all'utente, la norma ha impostato una permanenza della categoria illuminotecnica di 10 minuti a partire dalla sua variazione.

Dal momento che gli incroci e gli svincoli non sono caratterizzati da un'illuminazione riservata, per non creare eccessivi cambiamenti di illuminazione nel medesimo tratto stradale, questi seguiranno la categoria illuminotecnica comparabile a quella della strada principale. In presenza di rotatorie, come indicato nella normativa, verrà applicata una categoria illuminotecnica di una classe superiore rispetto a quella dei rami di approccio, prendendo però come riferimento la categoria C. I marciapiedi in corrispondenza delle rotatorie e gli attraversamenti pedonali seguono la categoria P e sono trattati come specifiche zone di studio. In alcune zone i marciapiedi godono di un'illuminazione riservata, ma analizzando quanto ottenuto dall'analisi dei rischi, questi possono subire il declassamento di una categoria illuminotecnica rispetto alla categoria di ingresso. La Norma UNI 11248 indica per gli attraversamenti pedonali collocati in un'area con flussi di traffico ingenti, l'integrazione di un'illuminazione adibita con impianto separato e con una segnaletica adeguata al fine di migliorare la percezione e la sicurezza degli utenti.

ANALISI DEI RISCHI: STRADA PROVINCIALE SP20

Applicazione della Norma UNI 11248 e UNI/TS 11726

-  Complessità del campo visivo normale
-  Assenza o bassa densità di zone di conflitto
-  Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali
-  Segnaletica stradale attiva
-  Assenza di pericolo di aggressione
-  Parametro di influenza presente

ILLUMINAZIONE DELLE PISTE CICLABILI E MARCIAPIEDI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **P1**
Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **P2**
Illuminamento: **10,0 lx**

ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A ROTATORIA

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C2**
Illuminamento: **20,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **C2**
Illuminamento: **20,0 lx**

ILLUMINAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI

Norma UNI/TS 11726
Categoria illuminotecnica di ingresso: **EV2**
Illuminamento: **30,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **EV2**
Illuminamento: **30,0 lx**

ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI LINEARI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C3**
Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **C3**
Illuminamento: **15,0 lx**

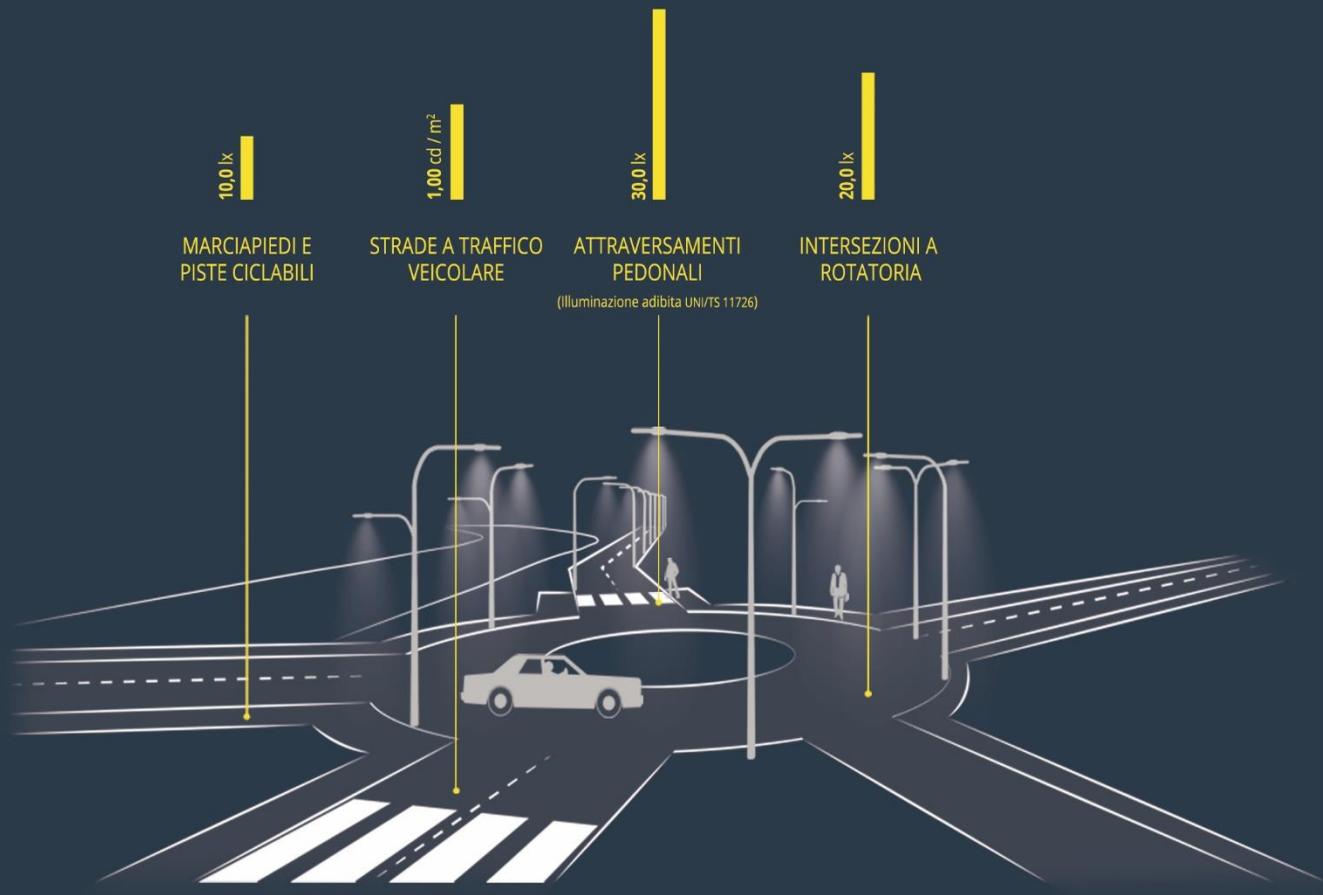
ILLUMINAZIONE DELLE STRADE A TRAFFICO VEICOLARE

Categoria illuminotecnica di ingresso: **M3**
Luminanza: **1,00 cd / m²**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **M3**
Luminanza: **1,00 cd / m²**



Dall'analisi dei rischi risulta che il **SISTEMA ADATTIVO** è applicabile nelle strade provinciali del comune di Savigliano.



STATO DI FATTO VIA DUCCIO GALIMBERTI



LEGENDA

- Strade locali urbane di tipo F
Categoria illuminotecnica M4
- Strade extraurbane secondarie tipo C
Categoria illuminotecnica M3
- Area verde e piazzale adibito a parcheggio
Categoria illuminotecnica comparabile P2
- Marciapiedi
- Rotatorie

Attraversamento
pedonale con
rallentatore di velocità

Attraversamento
pedonale

Concentratore di
segmento SeCo



4.3.2 – VIA DUCCIO GALIMBERTI

Durante la riqualificazione del 2011 dell'impianto di illuminazione del Comune di Savigliano, sono stati sostituiti anche gli apparecchi dell'area denominata "Via Duccio Galimberti" all'interno del sistema web Owllet Nightshift. Quest'area appartiene alla tipologia di tessuto residenziale con una densità dell'edificato inferiore a quella del centro storico in cui gli edifici sono molto ravvicinati l'uno all'altro. Attualmente in questa zona sono presenti 130 dispositivi dimmerabili e un concentratore di segmento SeCo. Tutte le armature sono regolate con lo stesso profilo di dimmerazione utilizzato in Via Cervino e Via Bisalta, fatta eccezione per gli apparecchi situati nella rotonda di Via Corridoni – Via Galimberti – Via Moreno – SP 662 i quali hanno un periodo di accensione nelle ore notturne che è compreso tra le ore 18.00 e le 8.00 e un periodo di spegnimento nelle ore diurne cioè dalle ore 8.00 alle ore 18.00. Anche questi dispositivi sono caratterizzati dal sistema Constant Light Output che permette di utilizzare una corrente operativa inferiore all'inizio della sua vita utile per compensare il futuro decadimento del flusso luminoso del LED.

CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE

L'illuminazione delle strade principali e secondarie è affidata alle armature Ampera di Schröder (dispositivi precedentemente presentati) con dispositivi da 139W per le strade principali e da 51W o 70W in corrispondenza delle strade secondarie dell'area adibita a parcheggio.

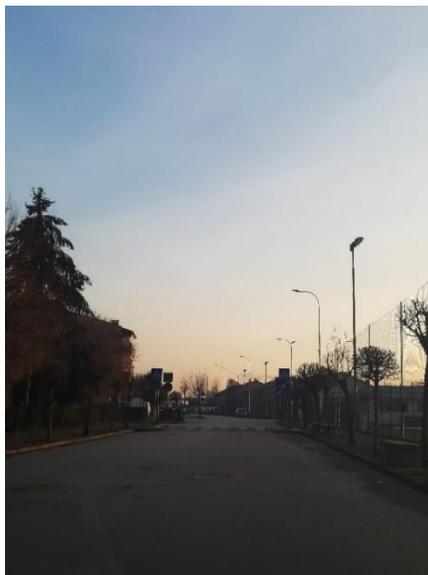
Le aree pedonali e giardini sono stati installati apparecchi Isla LED da 28W, adatti all'illuminazione di parchi, piazze, quartieri residenziali e aree di parcheggio. Data la loro esposizione ad ambienti esterni, presentano un grado di protezione IP66.

4.3.2.1 – STATO DI FATTO

La strada urbana di quartiere Via Galimberti a Savigliano si colloca in un'area periferica del comune. Attraversa un quartiere principalmente residenziale caratterizzato da un asse viario principale (Via Galimberti) composto da una carreggiata e una corsia per senso di marcia e da strade locali urbane che lo intersecano perpendicolarmente. Lungo l'asse principale sono presenti attraversamenti pedonali e rallentatori di velocità che consentono di mantenere un andamento costante lungo il tratto. Su entrambe i lati della strada sono stati disposti marciapiedi e posteggi

per le auto. Non sono presenti rilevanti disturbi luminosi ai lati di Via Galimberty, fatta eccezione per l'autolavaggio collocato all'incrocio con Via Agostino Botta che nelle ore notturne è caratterizzato da un'illuminazione particolarmente evidente e il campo da calcio che in caso di utilizzo, potrebbe provocare interferenze luminose rispetto all'illuminazione stradale.

Vista di Via Galimberty in corrispondenza del campo da calcio (attualmente non illuminato)



Vista del viale interno di Via Galimberty



Vista dell'illuminazione dell'autolavaggio all'incrocio tra Via Agostino Botta e Via Galimberti



4.3.2.2 – ANALISI DEI RISCHI

La superficie di analisi è stata definita facendo riferimento alla suddivisione degli impianti di illuminazione presenti sulla piattaforma web Owlet Nightshift di Schröder. L'area di studio è denominata "Via Duccio Galimberti" ed al suo interno, oltre alla suddetta via, include strade che la intersecano perpendicolarmente come Via Monte Bianco, Via Sacco e Vanzetti, Via Agostino Botta, Via Don Nicola Benso, Via Moreno e un tratto della SP 662.

Via Galimberti è una strada a traffico veicolare che si colloca in un'area prettamente residenziale della città di Savigliano, è caratterizzata da marciapiedi che la affiancano lungo tutto il suo percorso, da attraversamenti pedonali e da rallentatori di velocità. Nella parte terminale, all'incrocio con la SP 662, Via Moreno e Via Filippo Corridoni si colloca una rotatoria, che verrà considerata come una zona di studio separata oltre agli incroci e svincoli. Suddividendo l'area in zone omogenee la strada principale (Via Galimberti) sarà analizzata con criteri differenti rispetto ai marciapiedi, agli attraversamenti pedonali, all'area verde e alla piazza adibita a parcheggio.

Secondo il prospetto 1 della Norma UNI 11248:2016, Via Galimberti è classificabile come strada locale urbana di tipo F con relativa categoria illuminotecnica M4.

Tabella 13 - Categoria illuminotecnica di ingresso della strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	LOCALITA'	LIMITE DI VELOCITA' (Km/h)	PORTATA DI SERVIZIO DA DM.5/11/2001 (veicoli corsia/h)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI
Via Galimberti	Savigliano	50	800	M4

La categoria illuminotecnica di ingresso deve quindi essere sottoposta all'analisi dei rischi al fine di individuare la categoria di progetto e la/le categoria/e di esercizio. Analizzando i parametri di influenza costanti nel lungo periodo dell'**asse stradale** possiamo osservare che:

- non è presente una elevata complessità del campo visivo poiché non sono riscontrabili significative attività commerciali con insegne luminose che disturbano il fruitore fatta eccezione per un autolavaggio illuminato nelle ore notturne e un campo sportivo che in caso di utilizzo, l'illuminazione potrebbe distrarre l'utente;
- le principali zone di conflitto sono gli incroci in corrispondenza delle strade perpendicolari che attraversano Via Galimberti, la rotonda che interseca Via Moreno – Via Galimberti – SP662, lo svincolo in Via Galimberti e gli attraversamenti pedonali con rallentatori di velocità;
- la segnaletica in corrispondenza delle zone conflittuali è ben evidente e la sua luminanza rispetto allo sfondo genera un contrasto che rende il segnale stradale ben visibile e inoltre sono presenti dossi in corrispondenza degli attraversamenti pedonali che ne sottolineano la loro presenza;
- non sono presenti segnaletiche stradali attive;
- non è stato valutato il pericolo di aggressione per le strade a traffico veicolare poiché questo parametro non può verificarsi lungo gli assi viari con traffico motorizzato.

Di seguito è stata riportata la tabella contenente i parametri di influenza costanti nel lungo periodo riportati dalla Norma UNI 11248.

Tabella 14 - Riduzione della categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSITA' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIONE
Via Galimberti	SI	NO	SI	NO	N.V.
	-1	0	-1	0	N.V.

Sommando i valori di riduzione dei singoli parametri è possibile ottenere una diminuzione di due categorie illuminotecniche. Come specificato dalla normativa, per i marciapiedi, attraversamenti e aree pedonali, la rotatoria, lo svincolo e gli incroci sono state sviluppate delle analisi specifiche.

Secondo quanto riportato in normativa, ulteriori parametri di influenza costanti nel lungo periodo sono l'indice di resa dei colori che nelle sorgenti LED Ampera e Isla ha un valore di $R_a > 80$ con tonalità bianco calda e $R_a > 70$ con tonalità bianco neutra. Inoltre, il rapporto S/P nelle sorgenti LED è pari a 2,1. Questi ulteriori fattori non sono stati considerati così influenti da declassare di un'ulteriore classe la categoria di ingresso.

Prendendo in considerazione quanto analizzato, la norma consente di declassare di due livelli la categoria illuminotecnica di ingresso al fine di ottenere quella di progetto, questo perché il tratto stradale non presenta un'elevata complessità del campo visivo, pericoli di aggressione e segnaletiche orizzontali e verticali deteriorate o non ben visibili all'utente.

Considerando la norma UNI 13201-2, alla categoria di ingresso M4 corrisponde una luminanza del manto stradale pari a $0,75 \text{ cd} / \text{m}^2$ e declassando di due categorie illuminotecniche la categoria di ingresso si ottiene una categoria di progetto M6 con luminanza pari a $0,30 \text{ cd} / \text{m}^2$.

Tabella 15 - Categoria illuminotecnica di progetto per la strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Via Galimberti	M4	2	M6

Al fine di definire la/le categoria/e di esercizio è necessario avere a disposizione campionamenti reali del flusso di traffico del tratto stradale in modo da poter valutare le possibili ulteriori riduzioni di categoria illuminotecnica, ma in questo caso ottenendo una categoria illuminotecnica di progetto pari alla M6, la norma non prevede ulteriori categorie inferiori da applicare per la categoria di esercizio. Quindi, non sarebbe opportuno applicare un sistema adattivo nel seguente tratto stradale poiché non si otterrebbero ulteriori risparmi energetici attraverso il campionamento dei flussi di traffico.

Tabella 16 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Via Galimberti	M4	M6	M6

Analizzando l'illuminazione delle **intersezioni stradali**, la normativa indica l'applicazione delle categorie illuminotecniche C. Considerando l'area di studio presa in analisi, è possibile individuare una **rotatoria** che collega Via Moreno – Via Galimberti – SP 662 – Via Filippo Corridoni e **incroci** di strade che confluiscono in Via Galimberti. La maggiore categoria di ingresso dei rami di approccio della rotatoria è quella proveniente dalla strada provinciale SP 662, la quale, avendo caratteristiche simili alla SP 20 analizzata in precedenza, è possibile considerare una categoria

illuminotecnica di progetto M3. Invece, la maggiore categoria delle strade di accesso degli incroci è la M4.

Tabella 17 - Categoria illuminotecnica zona adiacente alle rotatorie, incroci e svincoli

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA ZONA ADIACENTE/CONTIGUA
Rotatoria Via Moreno – SP 662 – Via Galimberti – Via Corridoni	Rotatoria	Urbana	M3
Via Galimberti – Via Galimberti	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Monte Bianco	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Sacco e Vanzetti	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Botta	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	Urbana	M4
Via Galimberti – Via Galimberti	Svincolo	Urbana	M4

Secondo quanto riportato nella normativa, la categoria illuminotecnica di ingresso deve essere di una classe superiore rispetto alla categoria dei rami di approccio e delle strade di accesso. Considerando un coefficiente medio di luminanza dell'asfalto con Q_0 pari a 0,07 ed effettuando una comparazione delle categorie illuminotecniche otteniamo la categoria comparabile C2 per la rotatoria e C3 per gli incroci e svincoli. Considerando però che gli incroci e gli svincoli presi in

analisi, data la loro marginalità rispetto al centro di Savigliano, non sono caratterizzati da importanti flussi di traffico nelle ore serali e non avendo un'illuminazione adibita, si potrebbe mantenere la classe illuminotecnica comparabile alla M4 cioè la C4 presente in Via Galimberti.

Tabella 18 - Categoria illuminotecnica per rotatorie, incroci e svincoli

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO
Rotatoria Via Moreno – SP 662 – Via Galimberti – Via Corridoni	Rotatoria	Urbana	C2
Via Galimberti – Via Galimberti	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Monte Bianco	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Sacco e Vanzetti	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Botta	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	Urbana	C4
Via Galimberti – Via Galimberti	Svincolo	Urbana	C4

Prendendo in considerazione la Norma UNI 11248, la categoria illuminotecnica della rotatoria deve essere di una classe superiore rispetto al ramo di approccio con la categoria illuminotecnica più elevata, cioè la SP662 e quindi, al fine di definire la categoria illuminotecnica di progetto, è necessario sviluppare un'analisi dei rischi della strada provinciale SP662. La Norma UNI 11248

richiede di rispettare il divieto di applicare categorie illuminotecniche in zone contigue o adiacenti con una differenza maggiore di due classi, nel caso in cui questo avvenisse, è necessario utilizzare un'illuminazione adibita con una categoria illuminotecnica intermedia tra quella delle zone adiacenti.

Invece, gli incroci e gli svincoli seguiranno il declassamento dell'illuminazione adattiva di Via Galimberti al fine di non creare un impianto di illuminazione adibito per queste intersezioni e di non sviluppare numerose aree con categorie illuminotecniche differenti.

Da Norma UNI 13201-2 gli incroci e lo svincolo presenteranno una categoria C5 (equivalente a 7,5 lx di illuminamento), non ulteriormente declassabile per l'individuazione della categoria di esercizio.

Tabella 19 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Rotatoria Via Moreno – SP 662 – Via Galimberti – Via Corridoni	Rotatoria	C2	Da misurare	Da misurare
Via Galimberti – Via Galimberti	Incrocio	C4	C5	C5
Via Galimberti – Via Monte Bianco	Incrocio	C4	C5	C5
Via Galimberti – Via Sacco e Vanzetti	Incrocio	C4	C5	C5
Via Galimberti – Via Botta	Incrocio	C4	C5	C5

Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	C4	C5	C5
Via Galimberti – Via Don Nicola Benso	Incrocio	C4	C5	C5
Via Galimberti – Via Galimberti	Svincolo	C4	C5	C5

In presenza dello **svincolo** la Norma UNI 11248 indica l'aggiunta di una categoria illuminotecnica aggiuntiva ricavabile tramite il seguente prospetto. Avendo individuato la categoria di ingresso C4, non è necessario aggiungere alcuna categoria illuminotecnica aggiuntiva.

prospetto 7

Categorie illuminotecniche aggiuntive

Categoria illuminotecnica										
Categoria illuminotecnica individuata	C0	C1	C2	C3	C4	C5	-	-	-	
	-	-	-	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Categoria illuminotecnica aggiuntiva	-	EV3	EV4	EV5	-	-	-	-	-	

Figura 4.3.2.2 – Categorie illuminotecniche aggiuntive

Fonte: Prospetto 7 della Norma UNI 11248:2016 [42].

Analizzando **l'area verde** e **la piazza** adibita a parcheggio, è possibile ricavare la categoria illuminotecnica P2 dal prospetto 6 della Norma UNI 11248. Queste zone vengono considerate come specifiche aree di studio e al fine di individuare un ulteriore declassamento è necessario sviluppare un'analisi dei rischi. Prendendo in considerazione i parametri di influenza costanti nel lungo periodo possiamo osservare che:

- non è evidente una particolare complessità del campo visivo fatta eccezione per la segnaletica luminosa del supermercato adiacente all'area del parcheggio collocata ad un'altezza superiore che non disturba il campo visivo dell'utente;

- non sono presenti zone di conflitto;
- la segnaletica stradale orizzontale è sufficientemente visibile per i pedoni e quella verticale presenta una buona luminanza rispetto allo sfondo del contesto;
- non sono presenti segnaletiche stradali attive;
- infine, le aree pedonali non presentano condizioni pericolose per le aggressioni.

Tabella 20 - Riduzione della categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSITA' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIONE
Piazzale e area verde Via Galimberti	SI	NO	SI	NO	SI
	-1	0	-1	0	-1

Sommando il valore dei parametri di influenza si ottiene una riduzione di tre categorie illuminotecniche, ma secondo la normativa il massimo delle riduzioni rispetto alla categoria di ingresso è di due classi. Considerando che nelle ore notturne Via Galimberti non presenta un elevato flusso di utenti nel parcheggio e nell'area verde, è possibile declassare la categoria di ingresso P2 con relativo illuminamento paria a 10,0 lx, alla categoria di progetto P4 con illuminamento minimo di 5,00 lx.

Tabella 21 - Categoria illuminotecnica di progetto per piazzale e area verde

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Piazzale e area verde Via Galimberti	P2	2	P4

Nel caso in cui si volesse individuare la categoria di esercizio, sarebbe necessario campionare i flussi pedonali al fine di declassare ulteriormente la categoria illuminotecnica di progetto.

Tabella 22 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Piazzale e area verde Via Galimberti	P2	P4	Da misurare

In seguito al sopralluogo, si è osservato che in quest'area nelle ore notturne la presenza di pedoni nei **marciapiedi** e negli **attraversamenti pedonali** è ritenuta irrilevante, quindi, secondo la Norma UNI 11248 è sufficiente adottare i requisiti previsti dalla strada adiacente. Inoltre, i percorsi pedonali sono collocati sui due lati della strada e le sorgenti luminose sono presenti solo su un lato di questa e non sono caratterizzati da un'illuminazione specifica. Considerando la tipologia di strada e, in seguito al sopralluogo, lo scarso flusso veicoli nelle ore notturne, non è necessario utilizzare un'illuminazione specifica e su richiesta in corrispondenza degli attraversamenti pedonali come indicato dalla UNI/TS 11726. Quindi, secondo la Norma UNI 13201-2, la categoria illuminotecnica di progetto corrisponde a una P4 con un valore di 5,00 lx di illuminamento orizzontale.

Tabella 23 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio adottati per Via Galimberti

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Marciapiedi e attraversamenti pedonali	P2	P4	Da misurare

4.3.2.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO

Considerata l'area presa in analisi dal raggruppamento Owllet denominata "Via Duccio Galimberti" è possibile osservare che l'impianto di illuminazione comprende strade locali urbane e itinerari pedonali. Queste differenti tipologie di strada richiedono differenti requisiti illuminotecnici, infatti l'area è stata suddivisa in differenti zone omogenee:

- rettilineo stradale (strada locale urbana) con categoria illuminotecnica M;
- rotonda con categoria illuminotecnica C;
- incroci e svincoli con categoria illuminotecnica C;
- marciapiedi e attraversamenti pedonali con categoria P;
- area verde e piazza con categoria P.

Attraverso l'applicazione dell'analisi dei rischi contenuta nella Norma UNI 11248 è possibile sviluppare alcune considerazioni. Nel caso in cui il progettista decidesse di adottare il declassamento di due categorie illuminotecniche ottenute dai parametri di influenza costanti nel lungo periodo, il sistema di illuminazione adattivo non sarebbe utile al fine di calcolare ulteriori declassamenti per la categoria di esercizio poiché la norma non prevede categorie di progetto inferiori a quella individuata. Invece, nel caso in cui il progettista nonostante i parametri di influenza ricavati dall'analisi dei rischi, decidesse di declassare di un solo livello la categoria di ingresso, sarebbe possibile applicare il sistema adattivo e individuare la categoria di esercizio in base ai flussi di traffico. Ipotizzando questi due differenti scenari sarebbe interessante individuare in quale dei due casi si otterrebbe un risparmio energetico maggiore e quindi quale sarebbe l'ipotesi ottimale da applicare nel Comune di Savigliano.

Infatti, considerando i valori ottenuti dall'analisi dei rischi, il tratto stradale presenta una categoria illuminotecnica di progetto M6, che risulta essere la categoria più bassa fornita dalla Norma UNI 11248 e quindi con un sistema TAI o FAI non sarebbe possibile declassarla ulteriormente. Nel caso in cui il progettista, per ragioni legate alla sicurezza e alla qualità visiva dell'utente, decidesse di declassare la categoria illuminotecnica M4 di ingresso di un solo livello ottenendo una categoria di progetto M5, attraverso il sistema TAI e FAI sarebbe possibile declassare di un ulteriore categoria illuminotecnica l'illuminazione di Via Galimberti nelle ore notturne ottenendo una categoria di esercizio non inferiore alla classe M6.

Prendendo in considerazione quanto analizzato, il tratto stradale manterrà l'impianto di illuminazione esistente e gli incroci e svincoli, non essendo caratterizzati da un'illuminazione specifica, potranno seguire il profilo di regolazione impostato per la strada principale Via Galimberti, la rotatoria, invece, sarà caratterizzata da un'illuminazione con categoria illuminotecnica superiore di una classe rispetto alla strada SP 662 poiché questa risulta essere il ramo di approccio con categoria illuminotecnica più elevata. Per quanto riguarda gli attraversamenti pedonali e i marciapiedi per i pedoni, questi seguiranno l'illuminazione della strada principale e non è necessario sviluppare un'illuminazione adibita e su richiesta per gli attraversamenti pedonali dato lo scarso flusso di traffico veicolare e pedonale nelle ore notturne e la scarsa presenza di disturbi visivi che possono disturbare il campo visivo del guidatore. L'area verde e la zona riservata a parcheggio presenteranno un profilo di dimmerazione specifico e potranno essere regolati con un impianto adattivo e subire il declassamento delle categorie illuminotecniche individuate dall'analisi dei rischi.

ANALISI DEI RISCHI: VIA DUCCIO GALIMBERTI



Applicazione della Norma UNI 11248

- Complessità del campo visivo normale
- Assenza o bassa densità di zone di conflitto
- Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali
- Segnaletica stradale attiva
- Assenza di pericolo di aggressione
- Parametro di influenza presente

ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A ROTATORIA

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C2**

Illuminamento: **20,0 lx**

Al fine di individuare la categoria illuminotecnica di progetto è necessario sviluppare un'analisi dei rischi del ramo di approccio con la categoria illuminotecnica più elevata, cioè la SP662.

ILLUMINAZIONE DEI MARCIAPIEDI E ATTRAVERSAMENTI PEDONALI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **P2**

Illuminamento: **10,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **P4**

Illuminamento: **5,00 lx**

ILLUMINAZIONE DEL PIAZZALE E AREA VERDE

Categoria illuminotecnica di ingresso: **P2**

Illuminamento: **10,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **P4**

Illuminamento: **5,00 lx**

ILLUMINAZIONE DELLE STRADE A TRAFFICO VEICOLARE

Categoria illuminotecnica di ingresso: **M4**

Luminanza: **0,75 cd / m²**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **M6**

Luminanza: **0,30 cd / m²**

ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI LINEARI STRADALI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C4**

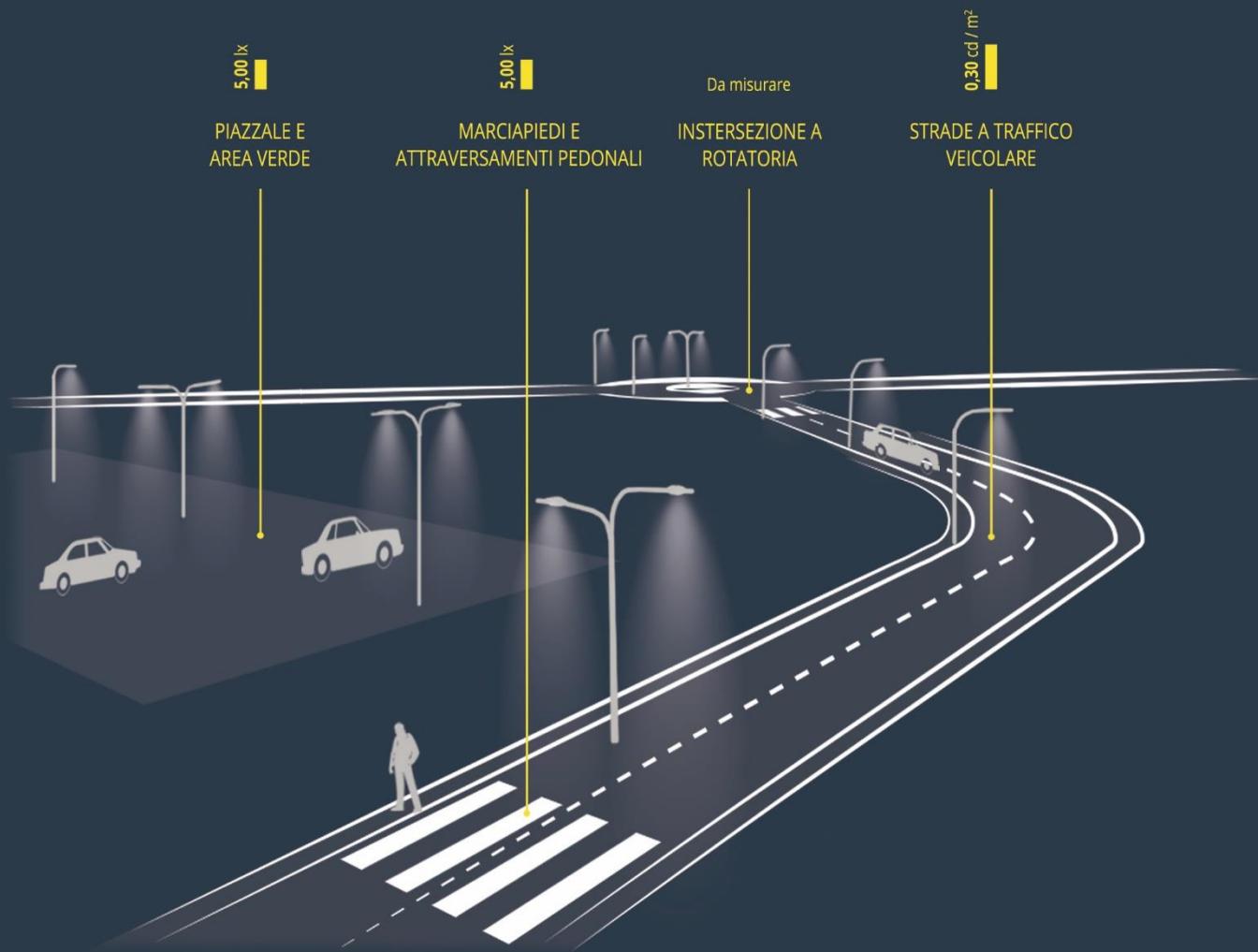
Illuminamento: **10,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **C5**

Illuminamento: **7,50 lx**



Dall'analisi dei rischi risulta che il **SISTEMA ADATTIVO** non è applicabile nel tessuto residenziale a bassa densità.

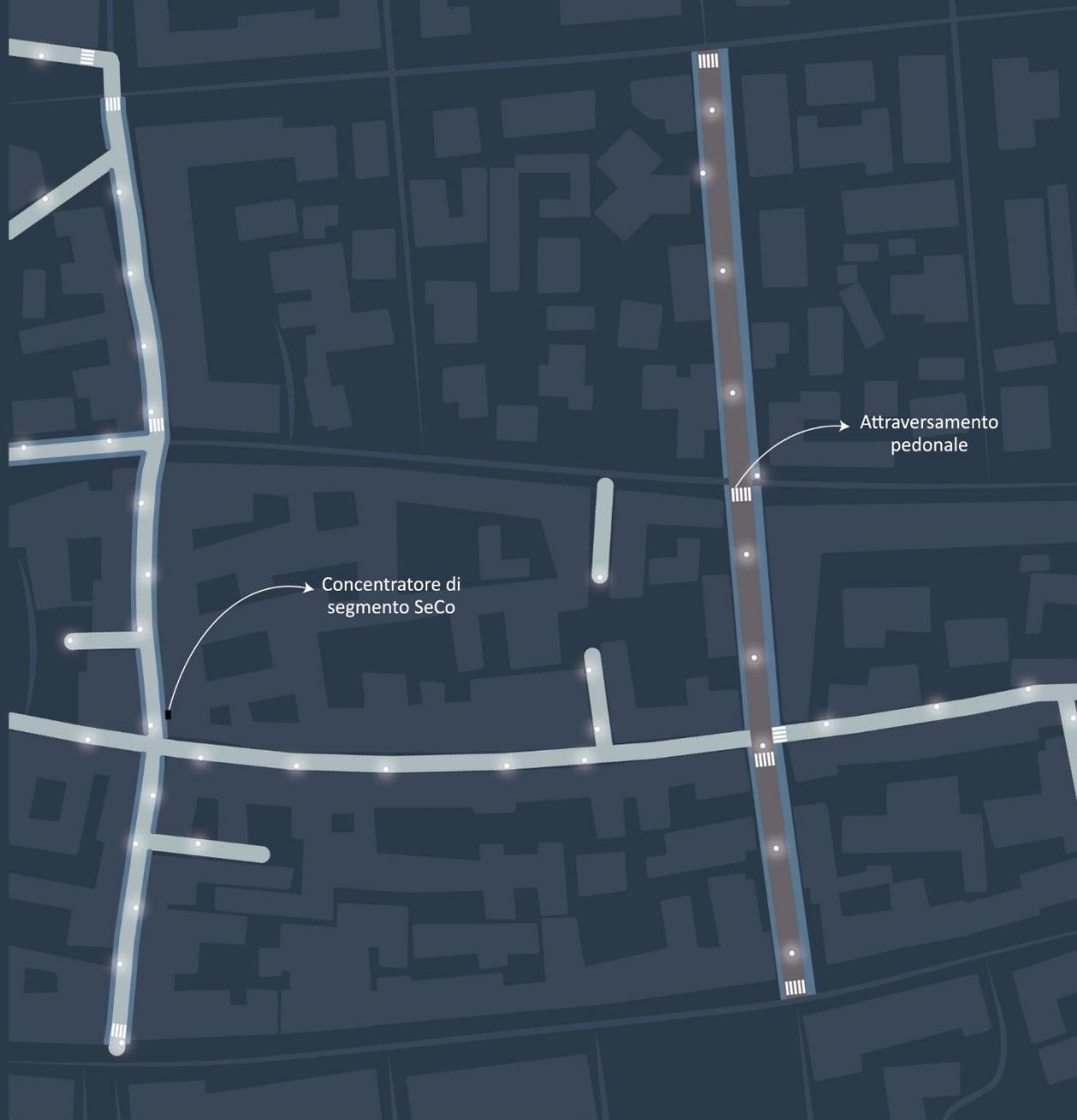


STATO DI FATTO CORSO CADUTI PER LA LIBERTA'



LEGENDA

- Strada locale urbana: centri storici, isole ambientali, zone 30 tipo F
Categoria illuminotecnica C3/P1
- Strada locale urbana: centri storici, isole ambientali, zone 30 tipo F
Categoria illuminotecnica C3/P1
- Marciapiedi



4.3.3 – CORSO CADUTI PER LA LIBERTÀ

Corso Caduti per la Libertà appartiene alla macro-area “Via Aires” all’interno della piattaforma Owllet Nightshift, alla quale sono connessi 133 dispositivi dimmerabili LED e un dispositivo concentratore di segmento SeCo. Quest’area appartiene alla tipologia di tessuto residenziale ad alta densità abitativa e si colloca nella parte centrale dell’edificato di Savigliano.

CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE

L’illuminazione di Corso Caduti per la Libertà è costituita da apparecchi a tesata Dexo di Schröder da 99W e due lampioni Ampera da 70W ai lati dei percorsi pedonali. Entrambi gli apparecchi, essendo collocati in aree esterne, presentano un grado di protezione agli agenti atmosferici con IP66.

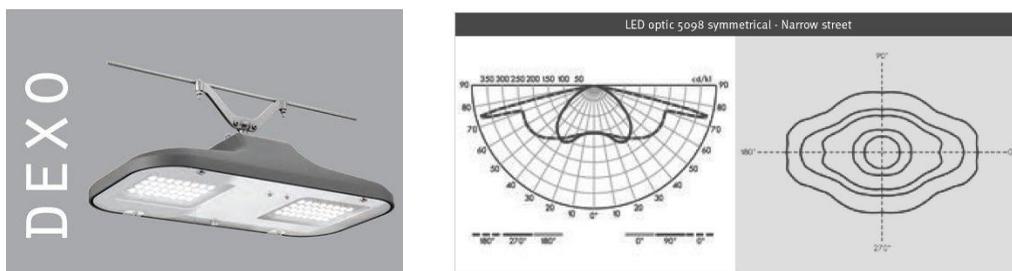


Figura 4.3.3 – Caratteristiche fotometriche apparecchio Dexo

Fonte: Schröder [53].

4.3.3.1 – STATO DI FATTO

Secondo la Norma UNI 11248, Corso Caduti per la Libertà è una strada locale urbana appartenente a centri storici, isole ambientali, zone 30 di tipo F. È caratterizzato da un’unica corsia a senso unico, affiancata da parcheggi, pista ciclabile e pedonale. Il limite di percorrenza è di 30 km/h poiché si colloca all’interno delle “zone 30” del comune di Savigliano.

In corrispondenza degli incroci con Via Biga e Via Ayres sono presenti degli attraversamenti pedonali e ciclabili, gli apparecchi di illuminazione a tesata permettono di avere una buona

illuminazione uniforme su tutto il corso, inoltre, sono presenti due lampioni che incrementano l'illuminazione stradale.

Nelle ore notturne non sono presenti particolari disturbi luminosi visivi che distraggono il conducente e attraverso l'illuminazione a LED viene mantenuta un'ottima resa cromatica e un buon livello di luminanza della strada.

L'asse stradale preso in analisi è molto frequentato da pedoni e ciclisti poiché collega direttamente al centro storico, inoltre sono presenti alcune attività commerciali ai piani terra degli edifici frequentati solo nelle ore diurne.

Vista della pista ciclabile e pedonale e degli incroci che intersecano Corso Caduti per la Libertà



4.3.3.2 – ANALISI DEI RISCHI

L'area di studio presa in analisi appartiene al macro-gruppo "Via Ayres" presente sulla piattaforma Owlet di Schröder. Corso Caduti per la Libertà risulta essere una strada locale urbana a traffico veicolare a senso unico con limite di velocità dei 30 Km/h poiché rientra all'interno di una delle Zone 30 all'interno del Comune di Savigliano.

Suddividendo l'area in zone omogenee è possibile osservare la presenza di due percorsi pedonali, uno allo stesso livello del percorso ciclabile, sopraelevati rispetto all'asse stradale e l'altro sul lato opposto. Inoltre, è presente un rallentatore di velocità in corrispondenza di Corso Vittorio Veneto e due intersezioni caratterizzate da incroci con Via Biga e Via Ayres, in corrispondenza dei quali si trovano gli attraversamenti pedonali.

Il **tratto stradale** è classificato dalla Norma UNI 11248 come strada locale urbana di tipo F: centri storici, isole ambientali e zone 30 con categoria illuminotecnica di ingresso C3/P1.

Tabella 24 - Categoria illuminotecnica di ingresso della strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	LIMITE DI VELOCITA' (Km/h)	PORTATA DI SERVIZIO DA DM.5/11/2001 (veicoli corsia/h)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI
Corso Caduti per la Libertà	30	800	C3

Al fine di svolgere una corretta analisi dei rischi richiesta dalla Norma UNI 11248, è necessario individuare la categoria illuminotecnica di progetto e la/le categoria/e illuminotecnica di esercizio partendo da quella di ingresso. Attraverso i parametri di influenza costanti nel lungo periodo è possibile ottenere delle riduzioni che permettono di declassare la categoria illuminotecnica di ingresso ottenendo quella di progetto.

Analizzando i parametri costanti nel lungo periodo illustrati nella Norma UNI 11248, è possibile osservare che Corso Caduti per la Libertà è caratterizzato da:

- complessità del campo visivo normale poiché non sono presenti evidenti disturbi che possono distrarre l'utente;
- sono presenti delle zone di conflitto, infatti il Corso è attraversato da due incroci in cui si intersecano flussi di traffico veicolari e pedonali e inoltre all'inizio del corso è presente un dosso;
- nelle zone conflittuali la segnaletica orizzontale è evidente e permette di riconoscere il passaggio pedonale e ciclabile anche grazie alla presenza della una segnaletica verticale,

inoltre il dosso è evidenziato anche da strisce gialle che sottolineano la presenza di un attraversamento pedonale;

- non è presente la segnaletica stradale attiva;
- non è stato considerato il parametro relativo al pericolo di aggressione poiché non si può verificare nelle strade a traffico veicolare.

I parametri costanti nel lungo periodo sono stati classificati secondo la seguente tabella:

Tabella 25 - Riduzione di categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSITA' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIONE
Corso Caduti per la Libertà	SI	NO	SI	NO	N.V.
	-1	0	-1	0	N.V.

Considerando i valori di riduzione dei parametri di influenza, si ottiene un declassamento di due categorie illuminotecniche, cioè il massimo della riduzione prevista dalla Norma UNI 11248. Inoltre, analizzando ulteriori parametri di influenza costanti nel lungo periodo, come l'indice di resa dei colori della sorgente LED presente negli apparecchi Dexo e Ampéra con Ra > 80 con tonalità bianco calda e Ra > 70 con tonalità bianco neutra e il rapporto S/P pari a 2,1, sarebbe possibile ridurre di un'ulteriore classe la categoria di ingresso. Fermo restando che la norma non prevede un declassamento superiore a due categorie illuminotecniche al fine di individuare la categoria di progetto, questo parametro non è stato considerato sufficientemente rilevante da far declassare la categoria illuminotecnica di ingresso di un livello.

Analizzando la morfologia della strada (non sono presenti curve ed è un asse viario a senso unico), la bassa densità di zone di conflitto, lo scarso flusso veicolare presente nelle ore notturne e l'assenza di disturbi visivi circostanti, la norma consente il declassamento di due classi partendo

dalla categoria illuminotecnica di ingresso C3 (corrispondente a 15,0 lx secondo la Norma 13201-2) alla categoria di progetto C5 (pari a 7,5 lx di illuminamento).

Tabella 26 - Categoria illuminotecnica di progetto per la strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Corso Caduti per la Libertà	C3	2	C5

Al fine di individuare i parametri di influenza variabili nel tempo, è necessario rilevare i flussi di traffico attraverso procedimenti statistici o misurazioni dirette. In questo caso, la Norma UNI 11248 non fornisce categorie illuminotecniche inferiori alla C5 e quindi non sarebbe possibile declassare ulteriormente la categoria di progetto per ottenere quella di esercizio.

Tabella 27 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Corso Caduti per la Libertà	C3	C5	C5

La Norma UNI 11248 prescrive per l'illuminazione delle **intersezioni stradali** l'applicazione della categoria illuminotecnica C, integrata con i requisiti sull'abbagliamento dell'appendice C della Norma UNI 13201-2:2016. Analizzando Corso caduti per la Libertà è possibile osservare un incrocio con Via A.Biga e uno con Via P. Ayres e la maggiore categoria d'ingresso delle strade di accesso è la C3.

Tabella 28 - Categoria illuminotecnica zona adiacente agli incroci

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA ZONA ADIACENTE/CONTIGUA
Via Ayres – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	Urbana	C3
Via Biga – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	Urbana	C3

Considerando che, secondo la Norma UNI 11248, la categoria illuminotecnica di ingresso deve essere di un livello superiore rispetto a quella maggiore prevista per le strade di accesso, utilizzando la categoria di ingresso della C3 e considerando un coefficiente medio di luminanza dell'asfalto (Classe C2) con Q_0 pari a 0,07, attraverso il prospetto 6 della normativa si ottiene una categoria di ingresso C2 da adottare per le intersezioni. Gli incroci presi in analisi non presentano un'illuminazione specifica e non essendo caratterizzati da ingenti flussi di traffico, (inoltre entrambe le strade dell'incrocio sono a senso unico) manterranno una categoria illuminotecnica di ingresso C3 pari a quella di Corso Caduti per la Libertà.

Tabella 29 - Categoria illuminotecnica per gli incroci

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	ZONA (URBANA/EXTRAURBANA)	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO
Via Ayres – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	Urbana	C3
Via Biga – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	Urbana	C3

Nel caso in cui sarebbe conveniente utilizzare un sistema adattivo, il declassamento di categoria illuminotecnica degli incroci, seguirà quello del corso principale già analizzato in precedenza. Quindi, verrà applicata una categoria di progetto C5 pari a 7,5 lx di illuminamento minimo e non sarà necessario individuare la categoria di esercizio poiché la norma non prevede classi inferiori alla C5.

Tabella 30 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME	AMBITO DI APPLICAZIONE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Via Ayres – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	C3	C5	C5
Via Biga – Corso Caduti per la Libertà	Incrocio	C3	C5	C5

Analizzando i **marciapiedi, la pista ciclabile e gli attraversamenti pedonali** è possibile individuare la categoria illuminotecnica di ingresso attraverso il prospetto 6 della Norma UNI 11248, conoscendo la categoria di ingresso della strada adiacente ed effettuando l'analisi dei rischi. Questo procedimento permette di definire il possibile declassamento della zona di studio.

Gli attraversamenti pedonali presenti in Corso Caduti per la Libertà si collocano in corrispondenza degli incroci, mentre, la pista ciclabile percorre tutta la strada affiancata da un percorso pedonale adiacente a quest'ultima e un marciapiede sul lato opposto della carreggiata. Data la presenza di alcune attività commerciali ai piani terra degli edifici e grazie al collegamento diretto con il centro storico della città, le piste ciclabili e pedonali risultano molto frequentate dai cittadini.

Avendo individuato in precedenza la categoria illuminotecnica C3 di ingresso, del tratto veicolare adiacente al percorso pedonale e ciclabile, è possibile ottenere tramite il prospetto 6 della norma la categoria illuminotecnica di ingresso P1.

Analizzando i parametri di influenza costanti nel lungo periodo possiamo osservare che:

- non è rilevabile una complessità del campo visivo elevata poiché le attività commerciali presenti lungo il corso non presentano disturbi luminosi durante le ore notturne;
- il tratto stradale presenta delle zone di conflitto in cui si intersecano tipologie di utenti differenti;
- la segnaletica stradale è ancora riconoscibile e non eccessivamente degradata e sono presenti cartelli stradali ben visibili che indicano la presenza di un percorso pedonale e ciclabile;
- non sono presenti segnaletiche stradali attive;
- l'area non presenta rischi relativi al pericolo di aggressione.

Tabella 31 - Riduzione di categoria illuminotecnica in funzione dei parametri di influenza costanti

NOME STRADA	COMPLESSITA' CAMPO VISIVO NORMALE	ASSENZA O BASSA DENSITA' DI ZONE DI CONFLITTO	SEGNALETICA COSPICUA NELLE ZONE CONFLITTUALI	SEGNALETICA STRADALE ATTIVA	ASSENZA DI PERICOLO DI AGGRESSIONE
Marciapiedi, attraversamenti pedonali e pista ciclabile	SI -1	NO 0	SI -1	NO 0	SI -1

Attraverso l'analisi dei rischi si può ottenere una riduzione di tre categorie illuminotecniche, più una ulteriore per l'indice generale di resa dei colori e il rapporto S/P. Fermo restando che la norma consente di scendere al massimo di due livelli, la categoria illuminotecnica di ingresso P1 diventerebbe una categoria di progetto P3 caratterizzata da 7,5 lx di illuminamento minimo mantenuto orizzontale. Considerando che la pista ciclabile e pedonale non presentano un'illuminazione specifica, queste seguiranno l'illuminazione già definita per il tratto veicolare.

Tabella 32 - Categoria illuminotecnica di progetto per la strada a traffico motorizzato

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI	MAX RIDUZIONE DI CATEGORIE PREVISTE	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO
Marciapiedi, attraversamenti pedonali e pista ciclabile	P1	2	P3

Tabella 33 - Categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio

NOME STRADA	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO	CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI ESERCIZIO
Marciapiedi, attraversamenti pedonali e pista ciclabile	P1	P3	Da misurare

La norma UNI/TS 11726 fornisce indicazioni per la progettazione illuminotecnica degli impianti per l'attraversamento pedonale. Data la morfologia del tratto stradale di Corso Caduti per la Libertà composta da una sola corsia a unico senso di marcia e la velocità di percorrenza pari a 30 Km/h, non è doveroso predisporre un'illuminazione specifica per gli attraversamenti pedonali.

4.3.3.3 – APPLICAZIONE DEL CONTROLLO ADATTIVO

Analizzando Corso Caduti per la Libertà, è possibile sviluppare alcune considerazioni riguardanti l'applicazione di un sistema adattivo nella seguente area di studio, pur non avendo dati relativi ai flussi orari di traffico.

Come indicato della Norma UNI 11248 il tratto stradale è stato suddiviso in zone omogenee:

- rettilineo stradale con categoria illuminotecnica C;
- incroci con categoria illuminotecnica C;
- attraversamenti pedonali, marciapiedi e pista ciclabile con categoria illuminotecnica P.

Dato che gli attraversamenti pedonali, gli incroci, i marciapiedi e la pista ciclabile non presentano un'illuminazione specifica, seguiranno l'illuminazione definita per il rettilineo stradale. Inoltre, considerando che Corso Caduti per la Libertà, in seguito all'analisi dei rischi, presenta una categoria illuminotecnica di progetto C5, non sarebbe utile sviluppare un'analisi sui flussi di traffico per individuare la categoria o le categorie di esercizio poiché la Norma UNI 11248 non prevede categorie illuminotecniche inferiori alla C5.

Queste considerazioni consentono quindi di affermare che sarebbe preferibile mantenere un profilo di regolazione preimpostato dato che Corso Caduti per la Libertà non presenta elevati flussi di traffico nelle ore notturne data la sua collocazione in un'area ad elevata densità abitativa del comune di Savigliano. Inoltre, sviluppare un sistema adattivo in quest'area significherebbe sostenere un elevato costo di investimento quando sarebbe maggiormente conveniente mantenere una regolazione predefinita già impostata attualmente nella città.



Applicazione della Norma UNI 11248

- Complessità del campo visivo normale
- Assenza o bassa densità di zone di conflitto
- Segnaletica cospicua nelle zone conflittuali
- Segnaletica stradale attiva
- Assenza di pericolo di aggressione
- Parametro di influenza presente

ILLUMINAZIONE DELLE PISTE CICLABILI E MARCIAPIEDI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **P1**

Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **P3**

Illuminamento: **7,50 lx**

ILLUMINAZIONE DELLE STRADE A TRAFFICO VEICOLARE

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C3**

Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **C5**

Illuminamento: **7,50 lx**

ILLUMINAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **P1**

Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **P3**

Illuminamento: **7,50 lx**

ILLUMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI LINEARI STRADALI

Categoria illuminotecnica di ingresso: **C3**

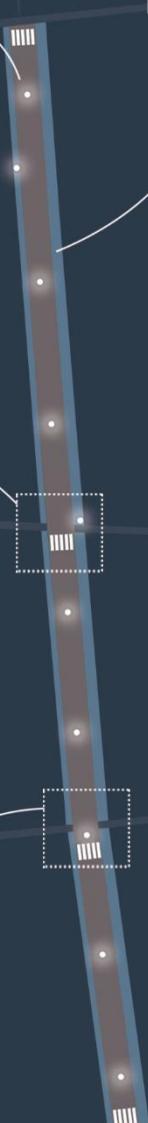
Illuminamento: **15,0 lx**

Analisi dei rischi - Parametri costanti nel lungo periodo



Categoria illuminotecnica di progetto: **C5**

Illuminamento: **7,50 lx**



7,50 lx

STRADE A TRAFFICO
VEICOLARE

7,50 lx

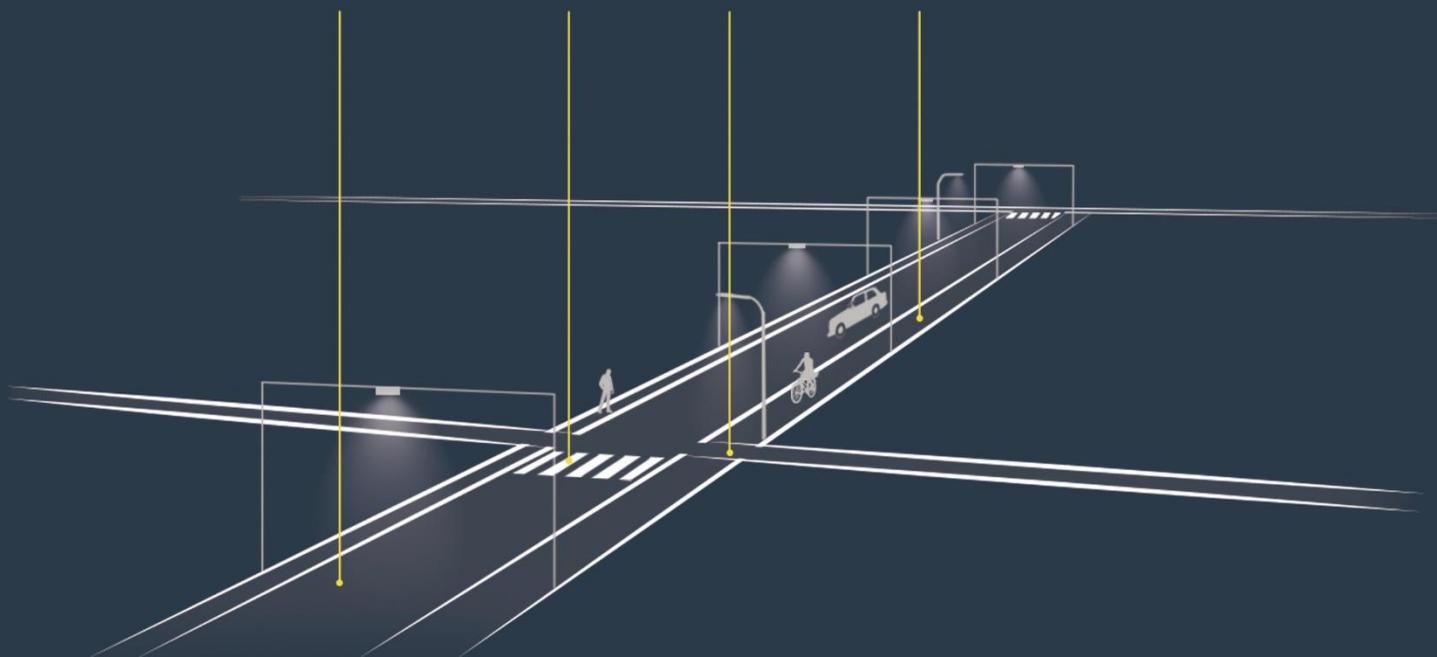
ATTRAVERSAMENTI
PEDONALI

7,50 lx

INTERSEZIONI
STRADALI

7,50 lx

PISTE CICLABILI E
MARCIAPIEDI



Dall'analisi dei rischi risulta che il
SISTEMA ADATTIVO
non è applicabile nel tessuto
residenziale ad alta densità.



4.4- CONFRONTO TRA DIVERSI SISTEMI DI GESTIONE E CONTROLLO

Al fine di stimare i consumi energetici degli impianti di Savigliano, sono stati comparati tre differenti profili di illuminazione che variano in base alla potenza assorbita: sistema a piena potenza, sistema pre-programmato (attualmente esistente) e sistema adattivo (in fase di studio).

Attraverso la piattaforma Owlet di Schröder sono stati determinati gli orari di accensione e spegnimento dell'impianto (dalle 18.00 alle 6.00 circa) ed è stata calcolata una media di ore di accensione delle sorgenti nel periodo invernale ed estivo pari a 4200 ore all'anno.

L'apparecchio di illuminazione preso in considerazione appartiene alla gamma Ampera di Schröder, caratterizzato da una sorgente a LED con una potenza elettrica di 99 W ma realmente utilizzata di 91,6 W poiché sono dotate di sistema CLO (Constant Lumen Output) che permette di bilanciare il decadimento del flusso luminoso durante la vita utile dell'apparecchio.

SISTEMA A PIENA POTENZA

Attraverso il sistema a piena potenza, le sorgenti si attivano ad un certo orario preimpostato della sera e mantengono una potenza elettrica costante durante le ore notturne per poi disattivarsi verso le ore del mattino. In questo caso non avviene alcun tipo di dimmerazione e i consumi sono stati calcolati considerando l'utilizzo di una potenza al 90% per 4200 h all'anno.



Figura 4.4.1 – Profilo luminoso di un sistema a piena potenza

Tabella 34 – Consumi energetici di un sistema a piena potenza

LED 99 W - PROFILO PIENA POTENZA			
N° ore		4200	
LED 99W	cat.progetto	91,6	W
Ore Annue	ore al giorno	12	h
	ore all'anno	4200	h
Consumo piena potenza		384720	Wh
Consumo totale LED		384720	Wh 384,72 kWh

SISTEMA PRE-PROGRAMMATO

Il sistema pre-programmato, attualmente già presente nell'illuminazione pubblica del Comune di Savigliano, permette di dimmerare l'illuminazione nelle ore centrali della notte (fino al 40%-50% della potenza elettrica), nelle quali si ipotizza una diminuzione del flusso di traffico. Il funzionamento di tale sistema è osservabile dalla piattaforma Owlet di Schröder, attraverso la quale è possibile controllare i guasti, inviare comandi o variare impostazioni a più punti luce contemporaneamente. Questa diminuzione di potenza nelle ore notturne consente di ottenere importanti risparmi economici rispetto al sistema a piena potenza. Infatti, solo per circa 5,5 ore della notte viene utilizzata una potenza elettrica paria al 90% della potenza totale dell'apparecchio, mentre per circa 6,5 ore la potenza scende fino al 50%. Importante è evidenziare che la diminuzione del flusso di traffico nelle ore notturne viene ipotizzata ma non sempre questo dato corrisponde alla situazione reale.

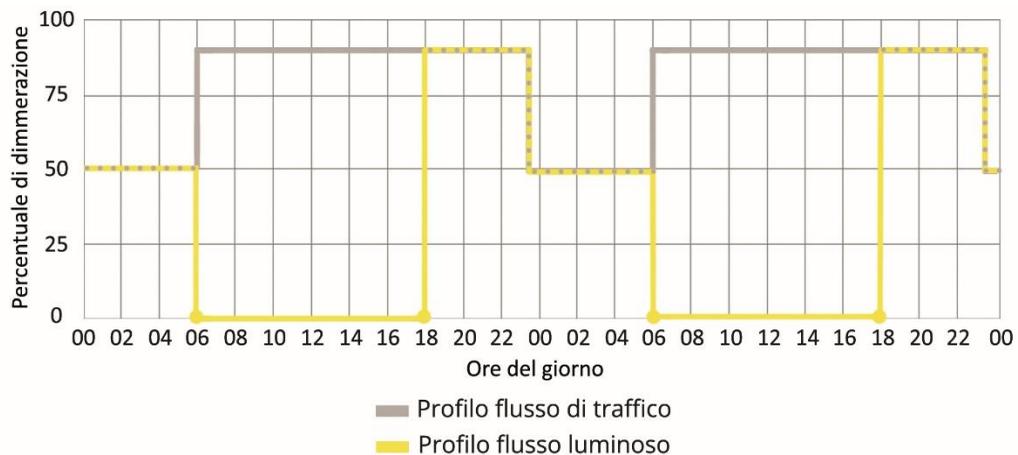


Figura 4.4.2 – Profilo luminoso di un sistema a regolazione pre-programmata.

Tabella 35 – Consumi energetici di un sistema pre-programmato

LED 99 W - PROFILO PRE-PROGRAMMATO					
N° ore			4200		
LED 99W	cat.progetto		91,6	W	
	cat.esercizio		45,8	W	
Orario accensione (media)	90%		5,5	h	
	50%		6,5	h	
Ore Annue	ore al giorno		12	h	
	cat.progetto		1925	h	
	cat.esercizio		2275	h	
Consumo cat.progetto			176330	Wh	
Consumo cat. Esercizio			104195	Wh	
Consumo totale LED			280525	Wh	280,53 kWh

SISTEMA ADATTIVO

Attraverso l'utilizzo di un sistema adattivo, invece, è possibile adattare l'illuminazione in base ai flussi di traffico rilevati sul tratto stradale preso in analisi. Questo consente di ottenere un'illuminazione che rispetta sempre le necessità degli utenti e, in caso di guasto al sistema di regolazione, vengono riportate le condizioni di illuminazione alla categoria di progetto per garantire in qualsiasi situazione i requisiti di sicurezza.

Al fine di calcolare i consumi energetici è necessario avere a disposizione un rilevamento dei flussi di traffico, ma non avendo tali rilevazioni riguardanti la SP 20 di Savigliano, attraverso alcune ipotesi è stato individuato un range entro il quale si collocano i consumi. Come riportato da A.Santarsiero nel testo "Sistemi adattivi per impianti di illuminazione pubblica: analisi della ciclopedonale del Lungargine Scaricatore", la seguente metodologia analizza l'assorbimento dell'impianto in base al numero di passaggi rilevati: zero passaggi è il regime più basso (50% della potenza elettrica) nel quale non vengono rilevate transizioni di veicoli e la potenza resta costante dall'accensione allo spegnimento degli impianti, mentre nel caso full passaggi si ipotizza un continuo rilevamento di veicoli tali da mantenere l'impianto al 90% della potenza elettrica assorbita.

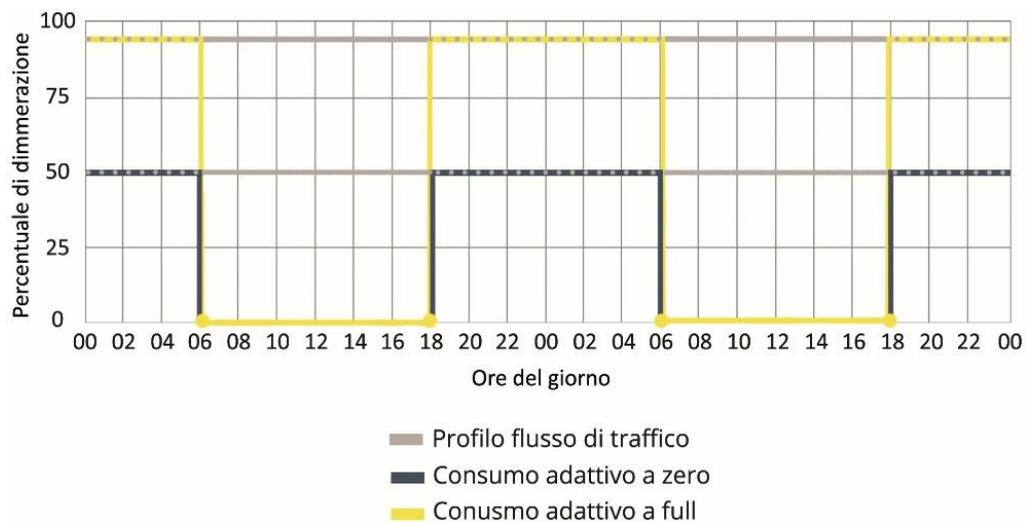


Figura 4.4.3 – Profilo luminoso di un sistema adattivo

Tabella 36 – Consumi energetici di un sistema adattivo

LED 99 W - PROFILO ADATTIVO				
N° ore impianto attivo		4200	h	all'anno
N° rilevazioni traffico	ogni 10 min	6	all' ora	
LED 99W	cat.progetto	91,6	W	
	cat.esercizio	45,8	W	
Orario accensione (media)	90%	12	h	
	50%	12	h	
Ore Annue	ore al giorno	12	h	
	cat.progetto	4200	h	
	cat.esercizio	4200	h	
Consumo cat.progetto		384720	Wh	
Consumo cat. Esercizio		192360	Wh	
Incremento di energia		45,8	Wh	
Passaggi max al giorno		72		
Giorni annui		365		
Passaggi max annui		26280		
Consumo adattivo con zero passaggi		192360	192,36	kWh
Consumo adattivo con full passaggi		384720	384,72	kWh

Successivamente, sono stati confrontati i valori ottenuti dal sistema adattivo rispetto al sistema pre-programmato: nel primo caso i consumi si attestano attorno a un range di 192,36 kWh (zero passaggi) e 384,72 kWh (full passaggi), mentre, nel secondo caso il consumo è pari a 280,53 kWh. È interessante osservare come l'assorbimento di energia del sistema pre-programmato si collochi all'interno del range del sistema adattivo e quindi quest'ultimo non risulta essere sempre conveniente. Questo fattore è direttamente correlato al numero di passaggi e quindi al flusso di traffico della strada poiché a ogni passaggio corrisponde ad un incremento di energia e quindi ad un aumento dei consumi.

Dal seguente grafico è interessante osservare che, in corrispondenza del punto di pareggio tra i due sistemi pari al 44%, il sistema adattivo non risulta essere più conveniente. Questo sottolinea il fatto che quest'ultimo sistema permette di avere risparmi energetici in corrispondenza di assi viari non eccessivamente trafficati e più periferici rispetto al centro cittadino in modo da diminuire le rilevazioni dei veicoli e risulta comunque un sistema molto efficiente poiché consente di regolare costantemente l'illuminazione in base al flusso di traffico e quindi di assicurare durante tutte le ore di accensione dell'impianto le condizioni di sicurezza e di illuminazione per gli utenti [54].

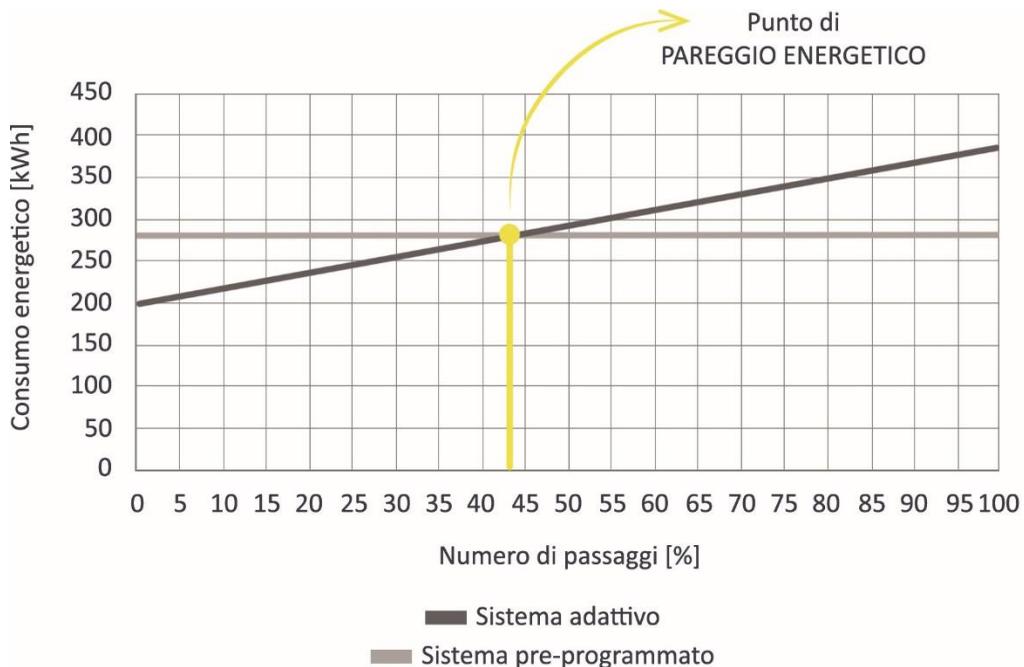


Figura 4.4.4 – Confronto tra sistema pre-programmato e sistema adattivo e individuazione del punto di pareggio energetico.

ANALISI ECONOMICA

Al fine di analizzare i consumi in termini economici, è stato individuato il costo dell'energia elettrica riportato dall'Eurostat relativo al secondo semestre del 2018, comprensivo di tasse, pari a 0,1662 €/kWh. È stato quindi possibile osservare che il sistema a piena potenza risulta essere il più dispendioso in termini economici ed energetici, ottenendo infatti un costo all'anno per lampione con sorgente a LED da 99W di 63,94 €, mentre, con l'utilizzo di un sistema pre-programmato, già attualmente in uso a Savigliano, si può raggiungere un risparmio del 27% rispetto alla precedente metodologia con un costo per lampione all'anno di 46,62 €.

Come spiegato in precedenza, invece, i costi del sistema adattivo dipendono strettamente dal flusso di traffico veicolare e infatti si può ottenere un risparmio del 31% rispetto al sistema pre-programmato (pari a 31,97 € per lampione) oppure un incremento dei costi fino al 37% che corrisponde a 63,94 € per lampione e quindi lo stesso costo del precedente sistema a piena potenza.

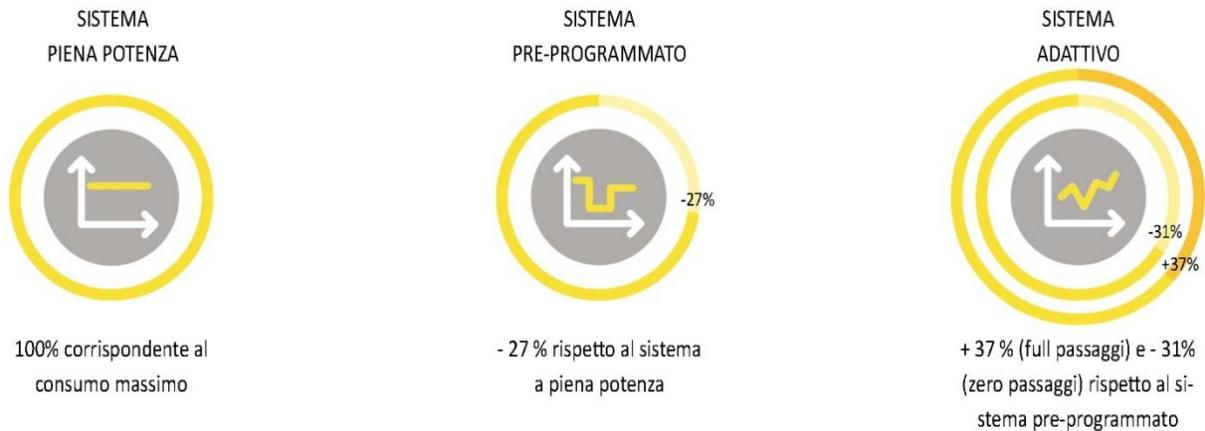


Figura 4.4.5 – Risparmi ottenibili dal sistema a piena potenza, sistema pre-programmato e sistema adattivo.

Di seguito è stato rappresentato il grafico che mette in relazione i costi economici ottenibili dal sistema a piena potenza (il più dispendioso) il sistema a regolazione pre-programmata e il sistema adattivo. La convenienza di questi ultimi due dipende dal flusso di traffico e dal numero di passaggi rilevati, infatti, per questo motivo i costi del sistema adattivo sono stati differenziati in base al caso "full passaggi" re "zero passaggi".

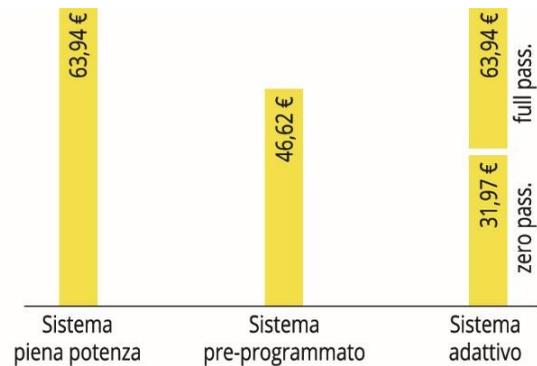


Figura 4.4.6 – Consumi energetici confronto tra sistema a piena potenza, pre-programmato e adattivo

4.5 – CONFRONTO DEL SISTEMA ADATTIVO IN DIVERSE CONDIZIONI DI TRAFFICO

Al fine di sperimentare l'applicazione del sistema TAI (Traffic Adaptive Installation), sono stati individuati due differenti flussi di traffico rilevati su strade urbane di quartiere di tipo E, entrambe con un limite di velocità di 50 Km/h e una portata massima di servizio pari a 800 veicoli/h.

Come riportato dalla Norma UNI 11248, gli impianti TAI sono impianti adattivi che permettono di gestire l'illuminazione attraverso il campionamento del flusso orario di traffico, questo significa monitorare il passaggio dei veicoli attraverso alcune telecamere e sviluppare un conteggio del campione ogni 10 minuti (nel caso di veicoli), moltiplicandolo successivamente per 6 al fine di ottenere il campione in base oraria.

Per costruire un profilo luminoso coerente con il flusso di traffico analizzato, è necessario rispettare alcune indicazioni fornite dalla norma. Ad ogni periodo di conteggio corrisponde una variazione di categoria illuminotecnica, inoltre, è possibile ridurre la categoria illuminotecnica solo se per due campioni consecutivi viene rilevata una riduzione di flusso di traffico, mentre, è possibile incrementare la categoria illuminotecnica se il flusso di traffico è in aumento sin dal primo campionamento.

FLUSSO DI TRAFFICO AD ALTA INTENSITA' – APPLICAZIONE DELLA TAI E INDIVIDUAZIONE DEL PROFILO LUMINOSO

Il primo flusso di traffico preso in analisi, come specificato in precedenza, appartiene a una strada urbana di quartiere di tipo E, ed è stato rilevato dalle 18.00 alle 6.00 di un sabato sera del 22-23

settembre 2018. È possibile osservare come l'andamento del flusso di veicoli abbia un incremento di traffico sia nella parte iniziale della sera che in quella centrale, questo avviene perché il conteggio è stato effettuato durante un sabato sera e il seguente corso risulta essere particolarmente trafficato anche nell'ora centrale della notte. In seguito alla rilevazione del flusso di traffico, è stata effettuata una somma dei veicoli transitanti ogni 10 minuti. Dato che il seguente corso è composto da 4 corsie (due per senso di marcia), come indicato dalla norma, la corsia che determina il profilo di illuminazione è quella con il numero maggiore di veicoli rilevati. Di seguito viene riportato uno schema del funzionamento di tale approccio.

Tabella 37 – Rilevamento veicoli e individuazione della corsia con flusso di traffico maggiore

Ora	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Somma 1	Somma 2	Somma 3	Somma 4
21:30:00	12	8	6	8	73	51	54	<u>74</u>
	9	5	7	10				
	6	7	9	8				
	7	4	2	4				
	2	0	7	7				
	11	8	1	5				
	6	3	12	12				
	11	7	1	8				
	6	8	2	5				
	3	1	7	7				
21:40:00	6	6	0	5	<u>74</u>	50	42	73
	1	1	5	7				
	12	9	6	5				
	3	1	6	14				
	10	7	4	9				
	7	4	2	6				
	10	2	6	9				
	10	9	3	3				
	4	3	6	10				
	11	8	4	5				

In seguito, è stata trasformata la somma dei veicoli rilevati in base oraria e individuata la percentuale di traffico proporzionale alla portata massima di servizio di 800 veicoli/h. Questo ha permesso di sviluppare un profilo luminoso adattivo: in corrispondenza del flusso di traffico maggiore del 50% della portata massima, il profilo luminoso resterà al 100% della sua potenza, se il flusso di traffico è tra il 50% e il 25% il profilo luminoso scende di una categoria illuminotecnica e infine, se il flusso di traffico è inferiore al 25% si può dimmerare fino a due categorie illuminotecniche. Nel campionamento preso in analisi è stata individuata dalla Norma UNI 11248 una categoria illuminotecnica di ingresso M3, mantenuta anche per la categoria di progetto, in caso di flusso di traffico inferiore al 50% è quindi possibile declassare di una categoria illuminotecnica la categoria di progetto ottenendo quindi una M4 e in caso di flusso di traffico inferiore al 25% la norma prevede il declassamento di due categorie illuminotecniche raggiungendo quindi una M5.

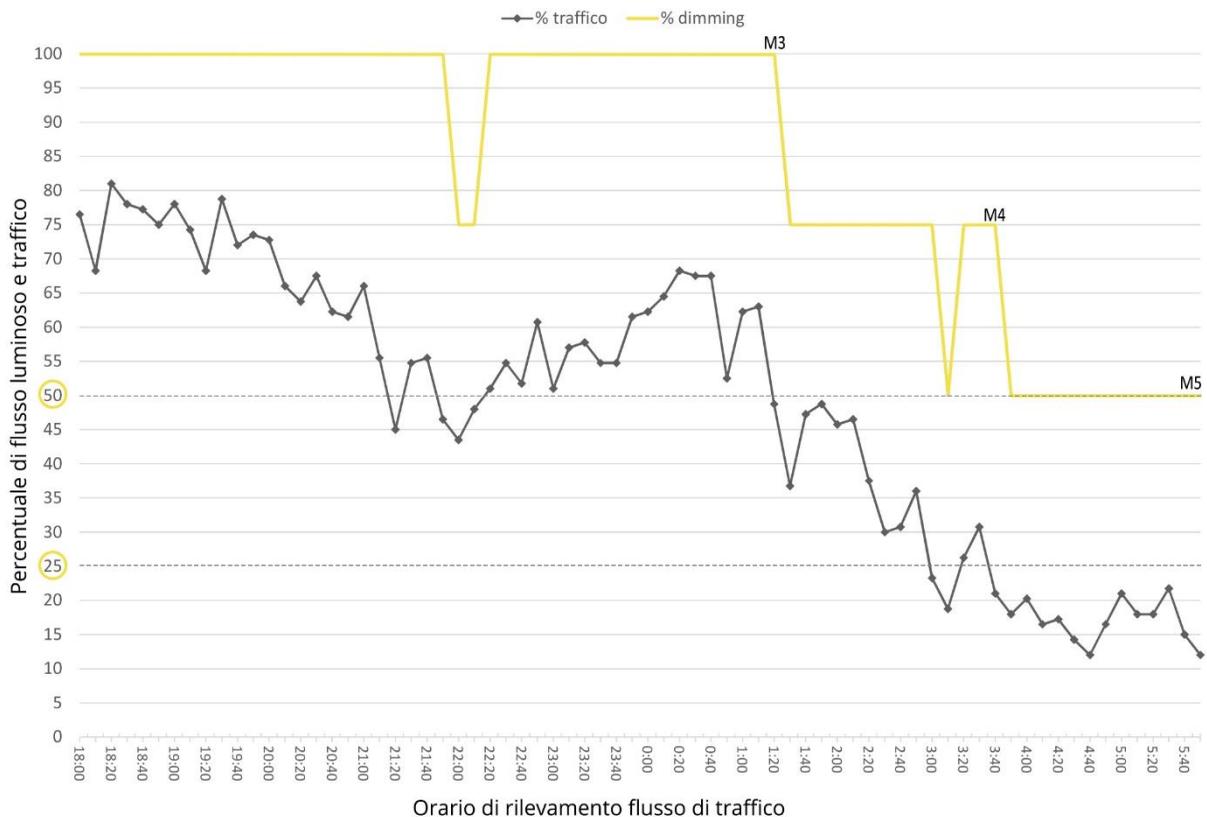


Figura 4.5.1 – Flusso di traffico ad alta intensità - Applicazione della TAI e individuazione del profilo luminoso

Al fine di calcolare i consumi energetici, per individuare i risparmi ottenibili con il sistema adattivo, sono state calcolate le ore di accensione dell'impianto in base alla potenza applicata, determinata dalla categoria illuminotecnica in funzione (M3 = 91,6 W, M4 = 68,7 W, M5 = 45,8 W). Ipotizzando di monitorare durante tutti i giorni dell'anno un flusso di traffico notturno come quello precedentemente riportato nel grafico, è possibile ottenere un consumo energetico di 339,19 kWh/anno per lampione. Paragonando questo valore alla metodologia applicata precedentemente è possibile osservare che il consumo energetico si collocherebbe oltre al valore del pareggio energetico e quindi sarebbe economicamente conveniente utilizzare un sistema pre-programmato, ma è comunque necessario considerare che un sistema adattivo è in grado di fornire durante tutte le ore notturne il corretto livello di illuminazione e di sicurezza in relazione al flusso di traffico della strada presa in analisi.

Tabella 38 – Consumi energetici per lampione all'anno – Flusso di traffico ad alta intensità

CONSUMI

LED da	W	ore	n° ore	Wh/gg	tot Wh/gg	tot kWh/ gg	tot kWh/ anno	media somma passaggi veicoli
potenza		18,00-21,55						
100%	91,6	22,15-1,25	7,07	647,61				
potenza		21,55-22,15						
75%	68,7	1,25-3,05	2,49	171,06	929,28	0,93	339,19	65,2 veicoli/10 min.
potenza		3,05-3,15						
50%	45,8	3,45-6,00	2,41	110,61				

FLUSSO DI TRAFFICO A BASSA INTENSITA' - APPLICAZIONE DELLA TAI E INDIVIDUAZIONE DEL PROFILO LUMINOSO

Come riportato in precedenza, anche il secondo campionamento è caratterizzato da una strada urbana di quartiere di tipo E, ma con un flusso veicolare molto inferiore rispetto al precedente. L'orario di analisi si è svolto dalle 18.00 alle 6.00 del 14-15 febbraio 2019, corrispondente a un

giovedì sera. Analizzando i dati raccolti dalla telecamera posta in corrispondenza dell'area di analisi, sono stati individuati i campioni di traffico rilevati ogni 10 minuti della corsia con il flusso veicolare maggiore e successivamente sono stati trasformati in base oraria. Attraverso una proporzione che si basa sulla portata di servizio massima indicata dalla Norma UNI 11248 di 800 veicoli/h, è stata individuata la percentuale di traffico e la relativa percentuale di dimmerazione del profilo luminoso. Attraverso l'applicazione della Norma UNI 11248, è stata determinata la categoria di ingresso del tratto stradale, corrispondente alle M3 che rimane invariata anche in quella di progetto, invece, nel caso di flusso di traffico inferiore al 50% rispetto alla portata di servizio, è possibile declassare di una categoria illuminotecnica la categoria di progetto ottenendo quindi una M4 e con flussi di traffico inferiori al 25% si raggiunge un declassamento di due categorie corrispondente alla M5.

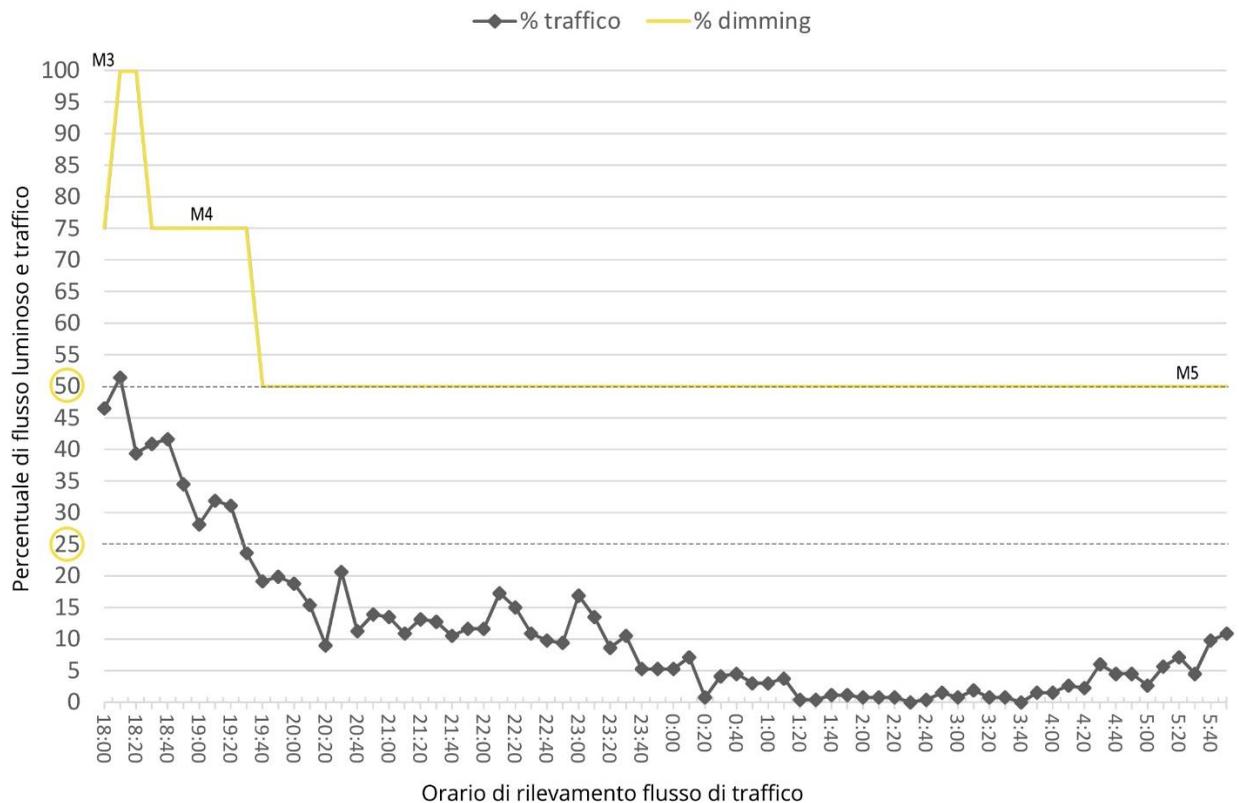


Figura 4.5.2 – Flusso di traffico a bassa intensità - Applicazione della TAI e individuazione del profilo luminoso

Anche in questo caso sono stati studiati i consumi energetici ottenibili da un sistema di illuminazione adattivo. La potenza al 100% corrisponde alla classe illuminotecnica M3 con 91,6 W, la potenza al 75% alla classe M4 corrispondente a 68,7 W e la potenza al 50% alla categoria M5 con 45,8 W. In base alla potenza elettrica moltiplicata per le ore di funzionamento si ottiene un consumo energetico per lampione all'anno pari a 216,31 kWh/anno. Questo calcolo considera che il profilo di traffico e il relativo profilo di illuminazione rimangano invariati durante tutti i giorni dell'anno, ipotesi irrealistica ma utile per valutare i consumi energetici in un tratto veicolare con scarsi flussi di traffico. Paragonando i consumi ottenuti da tale flusso di traffico alla metodologia precedentemente adottata, è possibile osservare che in questo caso risulta molto più conveniente l'adozione di un sistema adattivo rispetto al pre-programmato, questo perché permette di dimmerare al minimo il livello di illuminazione durante le ore notturne in cui i flussi di traffico sono ridotti.

Tabella 39 – Consumi energetici per lampione all'anno – Flusso di traffico a bassa intensità

CONSUMI

LED da	W	ore	n° ore	Wh/gg	tot Wh/gg	tot kWh/ gg	tot kWh/ anno	media somma passaggi veicoli
91,6 W								
<hr/>								
potenza								
100%	91,6	18,05-18,25	0,33	30,23				
<hr/>								
potenza		18,00-18,05						
75%	68,7	18,25-19,35	1,243	85,39	592,63	0,59	216,31	14,99 veicoli/10 min.
<hr/>								
potenza								
50%	45,8	19,35-6,00	10,415	477,007				

4.6 – CONSIDERAZIONI FINALI

In conclusione, è possibile osservare che attraverso un'attenta indagine territoriale, viaria, impiantistica e veicolare della città di Savigliano, è stato possibile sviluppare un'analisi dei rischi secondo la Norma UNI 11248, volta a determinare le categorie illuminotecniche di ingresso, progetto ed esercizio e il loro possibile declassamento, al fine di individuare i livelli di illuminazione in caso di applicazione del sistema adattivo. Il risultato dell'analisi ha permesso di determinare la fattibilità dell'intervento solo in caso di applicazione di tale sistema sul rettilineo della SP 20 e quindi su assi viari con un significativo flusso di traffico.

In caso di applicazione di tale sistema sulle strade provinciali che attraversano Savigliano, è necessario individuare due differenti metodologie di intervento indicate dalla Norma UNI 11248: utilizzando una tecnica di regolazione più puntuale parzializzando l'impianto di illuminazione in base alle differenti caratteristiche dei singoli tratti stradali oppure applicando un approccio estensivo cioè generalizzando l'intervento e adottando l'analisi dei rischi riferita alla situazione più critica. In tal caso, il sistema adattivo sarebbe applicabile a 4,9 Km di strade provinciali appartenenti al Comune con limite di velocità dei 50 km/h, mentre le restanti strade sono caratterizzate da una velocità di percorrenza dei 70 km/h e non rientrano all'interno della piattaforma Owllet di Schröder e quindi del Comune.

A tal proposito è stata sviluppata un'analisi dei consumi energetici con il sistema a piena potenza, il sistema pre-programmato e il sistema adattivo. Non avendo a disposizione flussi di traffico reali del seguente tratto stradale, è stato individuato un range all'interno del quale si collocano i consumi del sistema adattivo. Questo ha permesso di riconoscere un punto di pareggio energetico all'interno del quale risulta conveniente applicare il sistema adattivo e, oltre al quale risulta essere economicamente favorevole il sistema pre-programmato.

Al fine di applicare il sistema TAI (Traffic Adaptive Installation) sono stati presi in considerazione due campioni di rilevamenti veicolari durante le ore notturne con flussi di traffico molto difforni. Su di essi è stato individuato il profilo luminoso ottenuto dal declassamento delle categorie illuminotecniche di esercizio e calcolato il relativo consumo energetico.

I risultati ottenuti sono stati paragonati all'analisi effettuata precedentemente e questo ha permesso di osservare come, nel caso di un flusso di traffico molto elevato, i consumi energetici si collocano oltre il punto di pareggio energetico e quindi il sistema adattivo non sarebbe economicamente conveniente, mentre, nel caso di flussi di traffico modesti, il sistema permette di ottenere significativi risparmi rispetto al pre-programmato.

Di seguito è stato riportato il grafico che mette in correlazione la prima metodologia più “teorica” utilizzata per ipotizzare i consumi e la seconda metodologia più “pratica” basata su campioni di flusso di traffico reali.

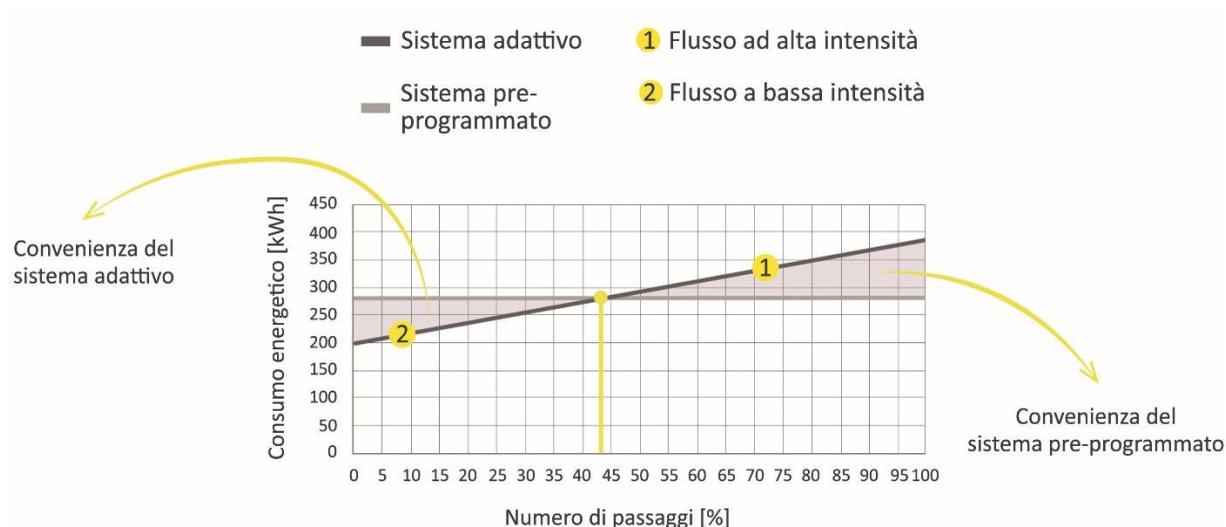


Figura 4.6 – Individuazione dei consumi dei campioni di traffico rispetto al punto di pareggio energetico

Infine, è fondamentale considerare che la convenienza dell’applicazione di un sistema adattivo non si basa unicamente sul risparmio economico ed energetico, ma è utile considerare anche la sua capacità di perseguire gli obiettivi della smart city attraverso lo sviluppo di un sistema di illuminazione in grado di fornire sempre il giusto livello di luminosità e illuminamento agli utenti durante tutte le ore notturne.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI



5 – CONCLUSIONI

Come presentato nel lavoro di tesi, il principale obiettivo delle smart cities è quello di coordinare e integrare tecnologie al fine di migliorare servizi, e creare nuove opportunità nell'interesse della comunità.

In questo contesto, al fine di individuare un'infrastruttura in grado di ospitare le nuove tecnologie proposte dalla città del futuro e di sviluppare nuovi servizi utili per la cittadinanza, è stata messa in luce l'importanza della rete del servizio pubblico di illuminazione. Infatti, nell'ottica di perseguire l'intento di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di CO₂, si è sviluppato il concetto di *smart street* ovvero strade intelligenti, interconnesse e sostenibili, in grado di gestire gli impianti di illuminazione pubblica da remoto. I punti luce diventano quindi nodi di un'ampia rete capillare in cui convergono informazioni relative alla manutenzione degli stessi, alla qualità dell'aria, ai flussi di traffico, alla raccolta di rifiuti e molto altro ancora.

È significativo osservare il duplice ruolo che attualmente caratterizza l'illuminazione pubblica. Pur mantenendo la funzione principale di fornire luce, rispettando i nuovi principi di gestione e controllo sviluppati dalla smart city, negli ultimi anni, sta assumendo un ruolo strumentale e quindi viene utilizzato l'impianto di illuminazione come punto elettrificato su cui applicare sensori e telecamere per l'acquisizione dei big data.

Al fine di conseguire gli obiettivi delle città del futuro, nell'ambito dell'efficientamento energetico in particolare nel settore dell'illuminazione pubblica, numerose aziende si sono mobilitate nello sviluppo di nuove tecnologie che permettono di gestire l'illuminazione pubblica in base alle reali necessità. Questo consente di ottimizzare i consumi energetici e le emissioni di CO₂, aumentare il senso di sicurezza degli utenti e di integrare numerosi servizi proposti dalla smart city, migliorando la qualità di vita dei cittadini.

Perseguendo l'obiettivo finale di applicazione di un sistema di illuminazione adattivo e studio dei relativi risparmi energetici ed economici, è stato individuato come caso studio la città di Savigliano. Le analisi territoriali, viarie e impiantistiche, hanno portato a sviluppare un'analisi dei rischi richiesta dalla Norma UNI 11248, individuando l'applicazione del sistema adattivo in corrispondenza della strada provinciale SP20. Inoltre, sono stati calcolati i consumi paragonando una prima metodologia più tradizionale che utilizza il profilo di illuminazione a piena potenza, una seconda con profilo pre-programmato, già attualmente in uso nel Comune e infine una terza metodologia attraverso l'applicazione del sistema adattivo.

In seguito, l'individuazione di due profili di traffico caratterizzati da differente intensità di flusso veicolare, ha permesso di applicare il sistema TAI e individuare il profilo luminoso correlato al flusso di traffico.

Confrontando i consumi ottenuti dalla prima metodologia, caratterizzata da un approccio più "teorico" con la seconda metodologia basata su un criterio più "pratico", è stato possibile osservare la convenienza economica del sistema adattivo in caso di tratti stradali non caratterizzati da elevati flussi di traffico. In queste analisi è necessario osservare che, oltre a valutare unicamente la convenienza economica del sistema adattivo rispetto al sistema pre-programmato, è importante considerare la capacità di un impianto adattivo di fornire un'illuminazione che rispetti i requisiti di sicurezza degli utenti, in relazione ai flussi veicolari durante tutte le ore di funzionamento e la sua predisposizione nel perseguire gli obiettivi della smart city.

In conclusione, in seguito alle analisi effettuate, è possibile individuare alcune future applicazioni che permettono di migliorare e implementare con nuovi servizi l'illuminazione pubblica della città di Savigliano.

Nell'ambito dell'illuminazione, intesa come infrastruttura in grado di fornire luce agli utenti, e quindi con accezione più "funzionale", è possibile ipotizzare l'implementazione dei sistemi di gestione e controllo attraverso l'applicazione della TAI, già precedentemente analizzata e della FAI, ulteriore scenario, in grado di migliorare e perfezionare il controllo dell'illuminazione. Invece, nell'ambito dell'illuminazione, intesa nel suo ruolo più "strumentale", è possibile implementare l'utilizzo di sensori finalizzati a monitorare, comunicare, avvisare, controllare e sviluppare i nuovi servizi della smart city.

Giunta al termine del seguente lavoro di tesi, vorrei spendere alcune parole per coloro che hanno reso significativo questo intenso percorso universitario.

Desidero ringraziare sentitamente la gentile docente Anna Pellegrino, grazie alla sua esperienza e disponibilità ha accresciuto il mio interesse verso l'ambito dell'illuminotecnica e ha rappresentato un significativo supporto durante l'intero percorso di elaborazione della tesi.

Un sincero ringraziamento lo devo ai correlatori Gabriele Piccablotto e Rossella Taraglio, con i quali ho intrapreso il mio primo approccio al mondo dell'illuminazione e con le loro preziose competenze hanno raffigurato un fondamentale e costante sostegno durante gli ultimi anni universitari.

Ringrazio la mia famiglia. I miei genitori, esempio e ispirazione per il mio futuro e significativo supporto in ogni traguardo della vita e mia sorella, mio esatto opposto, ma mio costante punto di riferimento.

Alle amiche di sempre, Giorgia e Silvia, le mie grandi sostenitrici e pilastri fondamentali con le quali mi auguro di condividere tutti i più grandi obiettivi che la vita ci riserva.

Infine, ma di non secondaria importanza, ringrazio di cuore la mia speciale Archifamily con la quale ho vissuto intensamente questi divertenti, impegnativi, spensierati e disagiati anni dell'università.

In particolare, (mi hanno obbligato!) devo ringraziare Gavril per essere stato un costante punto di confronto e di ispirazione, incoraggiandomi a intraprendere importanti scelte di vita, Daniele, complice e compagno di risate, di conversazioni infinite e delle più grandi confessioni degli ultimi tempi e Marina, che pur non essendosi mai presentata in università, grazie alla sua spensieratezza e serenità abbiamo condiviso grandi momenti di puro divertimento e felicità.

Grazie a tutti. In particolare, coloro con i quali ho condiviso nuove conoscenze ed esperienze durante questi importanti anni della mia vita.

- [1] M. der S. Wien, "Smart city," *What is a smart city?*, 2017.
- [2] F. Ferrero, A. Pacifici, and A. Vesco, "Smart City: Tecnologie, Architetture e Servizi," *Mondo Digit.*, vol. 13, no. 52, 2014.
- [3] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014.
- [4] Lighting Manufacturer, "Intelligent Street Lighting with Internet of Things (IoT) Connectivity." [Online]. Available: <https://www.manufacturer.lighting/info/83/>. [Accessed: 10-Jul-2018].
- [5] H. Verhaar, "In che modo l'illuminazione intelligente influirà sulla città del futuro?," *newcities.org*. [Online]. Available: <https://newcities.org/how-will-smart-lighting-impact-the-future-city/>. [Accessed: 18-Jul-2018].
- [6] R. Carli, M. Dotoli, and E. Cianci, "An optimization tool for energy efficiency of street lighting systems in smart cities," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 14460–14464, 2017.
- [7] Enea, "Smart Grid," no. September 2013, pp. 24–29, 2017.
- [8] ENEA, "Lumière & Public Energy Living Lab," pp. 1–11.
- [9] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, "I Criteri Ambientali Minimi." [Online]. Available: <http://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi>. [Accessed: 09-Sep-2018].
- [10] G. Leonardi *et al.*, "Sviluppo della architettura e tecnologie di Smart lighting e funzionalità del palo intelligente."
- [11] M. Sambati, "L'efficientamento energetico nell'illuminazione pubblica." [Online]. Available: <http://cetri-tires.org/press/2013/lefficienza-energetica-nellilluminazione-pubblica/>. [Accessed: 01-Sep-2018].
- [12] Enea, "Cos'è Lumière." [Online]. Available: http://progettolumiere.enea.it/?page_id=26097. [Accessed: 05-Jul-2019].
- [13] Enea, "Cos'è PELL." [Online]. Available: http://progettolumiere.enea.it/?page_id=26101. [Accessed: 05-Jul-2019].
- [14] Philips Lighting, "Future-focused The growth of the city," 1, vol. 1, p. 7, 2016.
- [15] W. E. Burgess, "The Growth of the City," *Urban Sociol. Read.*, pp. 73–82, 2005.
- [16] Philips Lighting, "CityTouch." [Online]. Available: <http://www.lighting.philips.it/sistemi/sistemi-di-illuminazione/citytouch>. [Accessed: 15-Sep-2018].
- [17] B. Aires, "Pioneering scalable connected lighting," p. 2017, 2017.
- [18] Schröder, "Soddisfa oggi le esigenze di domani," 2016.
- [19] Schröder, "Soluzioni di illuminazione nell'era digitale."
- [20] Schröder, "Smart control for efficient lighting," 2013.
- [21] Reverberi Enetec, "Regolatori di flusso luminoso e sistemi di telegestione."
- [22] Reverberi Enetec, "Opera Lighting."

- [23] Reverberi Enetec, "Sistemi di telegestione e sensori intelligenti per lo smart lighting e la smart city Indice per capitoli Reverberi Enetec."
- [24] Reverberi Enetec, "ProSensor LTM Sensore di misura luminanza , traffico , condimeteo."
- [25] Reverberi, "Life-Diademe." [Online]. Available: <https://www.diademe.it/>. [Accessed: 17-Aug-2018].
- [26] Osram, "Outdoor Systems Street Light Control Light Management Systems Outdoor Street Light Control System," 2014.
- [27] Osram, "Street Light Control : Innovative Light Control."
- [28] Osram, "No TitleStreet Light Control: innovativo sistema di gestione della luce per aree esterne." [Online]. Available: <https://www.osram.it/ls/prodotti-e-servizi/novita-sui-prodotti/slc.jsp>. [Accessed: 22-Sep-2018].
- [29] Osram, "Illuminazione stradale intelligente per città e aziende." [Online]. Available: <https://www.osram.com/ls/lightmanagement-and-controls/outdoor/index.jsp>. [Accessed: 22-Sep-2018].
- [30] Osram, "LumIdent: la targhetta digitale." [Online]. Available: <https://www.osram.com/ls/lightmanagement-and-controls/data-management/index.jsp>. [Accessed: 22-Sep-2018].
- [31] Osram, "Il futuro delle città e comunità intelligenti." [Online]. Available: <https://www.osram.com/ls/lightmanagement-and-controls/urban-lighting/index.jsp>. [Accessed: 22-Sep-2018].
- [32] Osram, "Light according to needs for Guben." [Online]. Available: <https://www.siteco.com/en/application/references/street-urban/project/1035.html>. [Accessed: 25-Nov-2018].
- [33] Greenled Industry, "Sistemi per il controllo intelligente dell ' illuminazione E se la luce fosse la chiave per un futuro intelligente e sostenibile ? Greenled Industry offre diversi."
- [34] Greenled Industry, "Firenze si accende e risparmia energia con le soluzioni Greenled Industry." [Online]. Available: <http://www.greenledindustry.com/index.php/project/firenze-si-accende-e-risparmia-energia-con-le-soluzioni-greenled-industry/>. [Accessed: 25-Nov-2018].
- [35] AEC Illuminazione, "Smart system," 2018.
- [36] AEC Illuminazione, "Most important AEC projects around the world."
- [37] Comlight, "Illuminazione stradale brevettata Motion Sensing." [Online]. Available: <https://www.comlight.no/solution/>. [Accessed: 29-Sep-2018].
- [38] Comlight, "Motion Sensing Street Lighting."
- [39] Comlight, "Halden – Norway." [Online]. Available: <https://www.comlight.no/project/halden-norway/>. [Accessed: 26-Nov-2018].
- [40] UNI Ente Italiano di Normazione, "UNI EN 13201-2:2016. Illuminazione stradale - Parte 2: Requisiti prestazionali," 2016.
- [41] UNI Ente Italiano di Normazione, "UNI TS 11726: 2018. Progettazione illuminotecnica degli attraversamenti pedonali nelle strade con traffico motorizzato," 2018.

- [42] UNI Ente Italiano di Normazione, "Norma UNI 11248:2016. Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche," 2016.
- [43] P. Di Lecce, A. Mazzocchi, and G. Rossi, "Outdoor Adaptive Lighting in the new UNI 11248 Italian Standard and Result of Experience," pp. 59–65, 2017.
- [44] M. Annunziato, F. Bucci, C. Meloni, F. Moretti, and S. Pizzuti, "Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della 'Smart Street,'" 2011.
- [45] F. Moretti, M. Annunziato, and S. Panzieri, "Sviluppo di un sistema di controllo integrato ed adattivo per l' illuminazione pubblica," 2010.
- [46] S. Panuzzo and A. Panuzzo, "Classificazione illuminotecnica delle strade di Savigliano e analisi dei rischi secondo Norma UNI 11248," 2014.
- [47] Schröder, "Paino di riqualificazione dell'illuminazione pubblica di Savigliano." [Online]. Available: <https://www.schreder.com/it-it/progetti/savigliano-public-lighting-renovation-plan>. [Accessed: 17-Dec-2018].
- [48] Schröder, "Rete interoperabile Owlet Nightshift." [Online]. Available: <https://www.schreder.com/it-it/aboutus/schreder-owlet-remote-management/interoperable-network>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [49] Schröder, "Architettura del sistema di telecontrollo punto-punto wireless."
- [50] Schröder, "Rete interoperabile Owlet IoT." [Online]. Available: <https://www.schreder.com/it-it/aboutus/schreder-owlet-remote-management/owlet-iot>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [51] Schröder, "Ampera- Tecnologia LED ed esperienza unite per un ritorno di investimento ottimizzato." [Online]. Available: <https://www.schreder.com/it-it/prodotti/ampera/>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [52] Schröder, "Isla LED- Soluzione LED leggera ed elegante, ovunque in città." [Online]. Available: <https://www.schreder.com/it-it/prodotti/islaled/>. [Accessed: 29-Dec-2018].
- [53] Schröder, "Dexo," 2014.
- [54] A. Santarsiero, "Sistemi adattivi per impianti di illuminazione pubblica : analisi della ciclopedonale del Lungargine Scaricatore," pp. 1–82, 2019.

