



Ricerca di Sistema elettrico

Studio sulla sostenibilità economica di
soluzioni di smart adaptive lighting e di
smart street service e sui modelli di
business che possono abilitarne l'adozione

D. Chiaroni, V. Chiesa, S. Franzò, F. Frattini, O. Gregori



STUDIO SULLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DI SOLUZIONI DI SMART ADAPTIVE LIGHTING E DI SMART STREET SERVICE E SUI MODELLI DI BUSINESS CHE POSSONO ABILITARNE L'ADOZIONE

D. Chiaroni, V. Chiesa, S. Franzò, F. Frattini (Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Gestionale), O. Gregori (ENEA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: D.6 Sviluppo di un modello integrato di smart district urbano

Obiettivo: c. Controllo e valutazione delle infrastrutture pubbliche energivore

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Studio sulla sostenibilità economica di soluzioni smart adaptive lighting e di smart street services e sui modelli di business che possono abilitarne l'adozione"

Responsabile scientifico ENEA: Osea Gregori

Responsabile scientifico: Davide Chiaroni, Vittorio Chiesa, Federico Frattini

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	8
2.1 GLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI PUBBLICA ILLUMINAZIONE IN OTTICA SMART ADAPTIVE LIGHTING E SMART STREET SERVICE	8
2.1.1 <i>Descrizione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting</i>	8
2.1.1.1 Descrizione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting	8
2.1.1.2 Impianto "Traffic Adaptive Installation" + sistema di telegestione	11
2.1.1.3 Impianto "Full Adaptive Installation" + sistema di telegestione.....	12
2.1.2 <i>Descrizione sintetica degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart street service</i>	14
2.1.2.1 "Public Energy Living Lab" (PELL)	16
2.1.2.2 Monitoraggio del traffico	17
2.1.2.3 Impianto di Smart Parking.....	19
2.1.2.4 Impianto di "Monitoraggio ambientale"	21
2.1.2.5 Impianto di "Telesorveglianza"	23
2.1.2.6 Totem e pannelli informativi	25
2.1.2.7 Stazioni di ricarica	26
2.1.2.6 Connettività Wifi	27
2.2 I MODELLI DI BUSINESS PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA DI PUBBLICA ILLUMINAZIONE IN OTTICA SMART ADAPTIVE LIGHTING E SMART STREET SERVICE	28
2.2.1 <i>Il modello Self-made</i>	28
2.2.2 <i>Il modello ESCo</i>	29
2.2.3 <i>Il modello Consip</i>	29
2.3 IL MODELLO DI SIMULAZIONE	31
2.3.1 <i>Il modello di simulazione - modalità di finanziamento "autofinanziamento"</i>	31
2.3.2 <i>Il modello di simulazione - Altre modalità di finanziamento</i>	36
3 CONCLUSIONI.....	43
4 APPENDICE I: LISTA DELLE IMPRESE INTERVISTATE	47
5 APPENDICE II: QUESTIONARIO	48
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	49
7 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	51
8 IL GRUPPO DI LAVORO	52

Sommario

Il presente documento riporta i risultati dell'attività di ricerca condotta nell'ambito del programma di ricerca denominato "Studio sulla sostenibilità economica di soluzioni Smart Adaptive Lighting e di Smart Street Services e sui modelli di business che possono abilitarne l'adozione". Il programma di ricerca prevede l'elaborazione di modelli per la valutazione economico-finanziaria di interventi di riqualificazione di tipo smart adaptive lighting e smart street services nonché l'identificazione dei modelli di business che consentano la gestione e la valorizzazione dei servizi smart abilitabili su di una infrastruttura di Pubblica Illuminazione.

Lo studio prende le mosse dalla definizione dei concetti di "smart adaptive lighting" e di "smart street services" e la loro relativa caratterizzazione, al fine di definire in maniera puntuale l'oggetto delle fasi successive, relative alla creazione di modelli di simulazione sviluppati ad hoc per l'analisi tecnico-economica delle soluzioni Smart Adaptive Lighting e di Smart Street Services identificate nella fase iniziale del programma di ricerca.

In secondo luogo, sono analizzati i modelli di business per la realizzazione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street services, con particolare enfasi sul ruolo dei diversi attori coinvolti nell'ambito di tali interventi e sulle modalità di finanziamento utilizzate.

In terzo luogo, sono presentati e descritti i modelli di simulazione per la valutazione economico-finanziaria di interventi di riqualificazione di tipo smart adaptive lighting e smart street services, realizzati su fogli di calcolo MS Excel. In particolare, tali modelli di simulazione permettono il calcolo di una serie di indicatori di sostenibilità economica, ossia il Net Present Value (NPV), il Pay-Back Time (PBT) e l'Internal Rate of Return (IRR). Tali modelli consentono inoltre di effettuare analisi di sensitività su ciascuno dei parametri che influenza gli indicatori di sostenibilità economica, oltre che di visualizzare i risultati di tali analisi in forma grafica e tabellare.

1 Introduzione

L'obiettivo di questo studio consiste nella realizzazione di un **modello per la valutazione tecnico-economica di interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica "smart adaptive lighting" e "smart street services"**.

Con il termine **"smart adaptive lighting"** si intende una **"illuminazione con variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento in relazione al flusso orario di traffico, condizioni meteo o altri parametri"** (UNI 11248:2016¹).

All'interno del presente studio, gli **interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting sono declinati in tre diverse tipologie:**

1. **Impianto "a regolazione predefinita"**, ossia una "illuminazione a regolazione che opera secondo delle valutazioni a priori esplicitate dal progettista nella valutazione dei rischi"², **abbinato ad un sistema di telegestione;**
2. **Impianto "Traffic Adaptive Installation" (TAI)**, ossia una "illuminazione a regolazione nella quale le variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento sono attuate con continuità in base alle reali condizioni del flusso orario del traffico"³, **abbinato ad un sistema di telegestione;**
3. **Impianto "Full Adaptive Installation" (FAI)**, ossia una "illuminazione a regolazione nella quale le variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento sono attuate con continuità in base alle reali condizioni del flusso orario del traffico, la luminanza del manto stradale o l'illuminamento e le condizioni metereologiche"⁴, **abbinato ad un sistema di telegestione.**

Con il termine **"smart street services"** si intendono tutti quei servizi a valore aggiunto che possono essere abilitati intervenendo su un'infrastruttura di Pubblica illuminazione.

All'interno del presente studio, gli **interventi di riqualificazione in ottica smart street services sono declinati in otto diverse tipologie:**

1. **"Public Energy Living Lab" (PELL)**, ossia la piattaforma informatica ENEA finalizzata alla raccolta ed organizzazione dei dati monitorati relativi agli impianti di illuminazione pubblica presenti sul territorio nazionale, nonché alla diagnostica e riqualificazione degli stessi, considerata propedeutica ad ogni altro tipo di intervento SAL o SSS";
2. **Monitoraggio del traffico**, ossia sistemi di controllo del flusso di traffico che possono essere dotati di funzioni "base" (conteggio veicoli, conteggio pedoni, conteggio flusso del traffico) e/o di funzioni più complesse (velocità media di percorrenza, tempo medio di percorrenza, predizione del flusso veicolare e conteggi per classe veicolare);
3. **Smart parking**, ossia sistemi di assistenza al parcheggio che possono essere dotati di funzioni "base" (monitoraggio aree di parcheggio dedicate, monitoraggio strade e segnalazione di

¹ Si fa riferimento alla definizione di "illuminazione a regolazione" presente all'interno della UNI 11248:2016.

² Si fa riferimento alla definizione di "illuminazione a regolazione predefinita" presente all'interno della UNI 11248:2016.

³ Si fa riferimento alla definizione di "illuminazione a regolazione in tempo reale" presente all'interno della UNI 11248:2016, di cui la presente definizione rappresenta una specifica declinazione.

⁴ Si fa riferimento alla definizione di "illuminazione a regolazione in tempo reale" presente all'interno della UNI 11248:2016, di cui la presente definizione rappresenta una specifica declinazione.

- disponibilità stalli tramite App) e più complesse (rilevazione automatica e conteggio delle aree di sosta libere, tempo medio di sosta, mapping e monitoring delle aree di sosta, individuazione dei flussi di ingresso e uscita, riconoscimento targhe, servizi di prenotazione/pagamento parcheggio);
4. **Monitoraggio ambientale**, ossia sistemi di rilevamento dei parametri ambientali che nella versione “base” sono riferiti a qualità dell’aria “standard” (CO, CO₂, NO₂, O₃, PM2.5, PM10, SO₂), meteo, inquinamento acustico, mentre nella versione più avanzata sono riferiti a radiazione ultravioletta, altri parametri di qualità dell’aria (C₆H₆, CH₄, H₂S, NH₃, VOC, PM1), concentrazione dei pollini e rilevazione onde sismiche;
 5. **Telesorveglianza**, ossia sistemi di rilevamento di situazioni critiche che si possono verificare in strada (incidenti, congestioni, allagamenti, incendi, etc.), infrazioni che generano intralcio al traffico (sensi vietati, sosta vietata, corsie preferenziali) ed accesso ad aree sensibili. In caso di particolari criticità, il sistema deve essere in grado di trasmettere anche immagini istantanee e flussi video (anche attraverso un’adeguata infrastruttura di trasmissione dei dati);
 6. **Totem e pannelli informativi**, ossia dispositivi multimediali installati in punti strategici della città al fine di fornire informazioni di varia natura ai cittadini, accedere a servizi di emergenza e segnalare acusticamente situazioni di pericolo;
 7. **Stazioni di ricarica**, ossia stazioni che permettono la ricarica di biciclette elettriche, pc e cellulari;
 8. **Connettività Wifi**, ossia creazione di hot spot Wifi pubblici che garantiscano un accesso semplice ed immediato degli utenti alla rete Internet.

In secondo luogo, il presente studio intende individuare ed analizzare diversi modelli di business per la diffusione di questi servizi e di valutarne la sostenibilità economica ed ambientale.

Dal punto di vista metodologico, è stato predisposto un **modello di simulazione**, basato su foglio MS Excel, funzionale all’**analisi tecnico-economica degli interventi di riqualificazione dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service** sopra descritti. In particolare, tale modello di simulazione permette il calcolo (e la relativa rappresentazione grafica, ove rilevante) dei seguenti **indicatori di sostenibilità economica**:

- **Net Present Value (NPV)**, che indica il beneficio netto atteso associato all’investimento;
- **Pay-Back Time (PBT)**, che indica il tempo di ritorno dell’investimento;
- **Internal Rate of Return (IRR)**, che indica il tasso interno di rendimento dell’investimento.

Il foglio di calcolo consente inoltre di realizzare un’**analisi di sensitività sulle principali variabili che caratterizzano le diverse tipologie di investimento** e che hanno quindi un impatto sulla sostenibilità economica delle stesse, quali ad esempio i diversi costi d’investimento (CAPEX) ed operativi (OPEX) associati all’investimento e le diverse tipologie di beneficio associate all’investimento stesso.

Per quanto riguarda i dati di input necessari all’analisi, essi sono in primis ricavati da report e banche dati cui il Politecnico di Milano ha accesso e che ha customizzato nel tempo e da altre banche dati ad accesso pubblico. Tali dati sono integrati e corroborati mediante interviste dirette ad operatori del settore e key informant e mediante informazioni fornite da ENEA relativamente ai contesti territoriali con i quali ENEA ha avuto e/o ha in essere un contratto di assistenza alla data di realizzazione del presente studio. Per quanto concerne le interviste, effettuate in modalità telefonica, si veda l’Appendice 1 per la lista delle imprese intervistate e l’Appendice 2 per lo strumento di raccolta dati (questionario) che è stato costruito ad hoc e

successivamente somministrato alle imprese intervistate. Le suddette interviste hanno coinvolto manager di prima linea delle imprese illustrate in Appendice 1, attivi principalmente nell'area tecnica, commerciale e business development.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 *Gli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service*

All'interno di questa sezione sono presentati gli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service.

2.1.1 *Descrizione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting*

Gli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting sono caratterizzati da (si veda Figura 1):

- diverse modalità di controllo nel tempo della luminanza o dell'illuminamento (introdotte nel Capitolo 1);
- presenza di un sistema di telegestione.

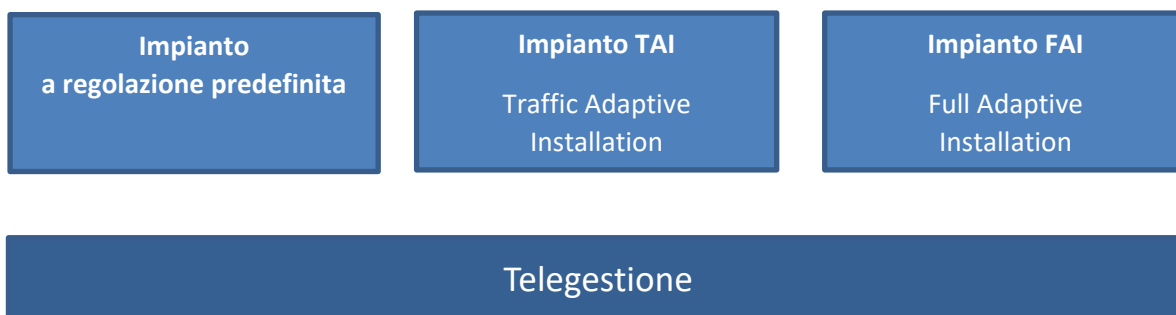


Figura 1. Gli elementi costitutivi degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting oggetto d'analisi

La combinazione delle diverse modalità controllo nel tempo della luminanza o dell'illuminamento e della presenza di un sistema di telegestione dà luogo a tre diverse tipologie di intervento, di cui si fornisce una descrizione sintetica all'interno delle sezioni successive.

2.1.1.1 *Descrizione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting*

Un impianto a regolazione predefinita è un impianto in cui l'illuminazione viene regolata (in termini di luminanza o illuminamento) secondo delle valutazioni del traffico esplicitate a priori dal progettista durante la fase progettuale di valutazione dei rischi. In particolare, la valutazione del traffico è prevista come valutazione statistica del flusso orario del traffico. Da ciò deriva la necessità di un aggiornamento periodico di tali valutazioni statistiche, per far fronte ad eventuali cambiamenti rilevanti del flusso stesso nel tempo.

La Figura 2 mostra un esempio di variazione percentuale del flusso luminoso su base oraria in funzione della variazione del flusso orario del traffico nel periodo invernale.

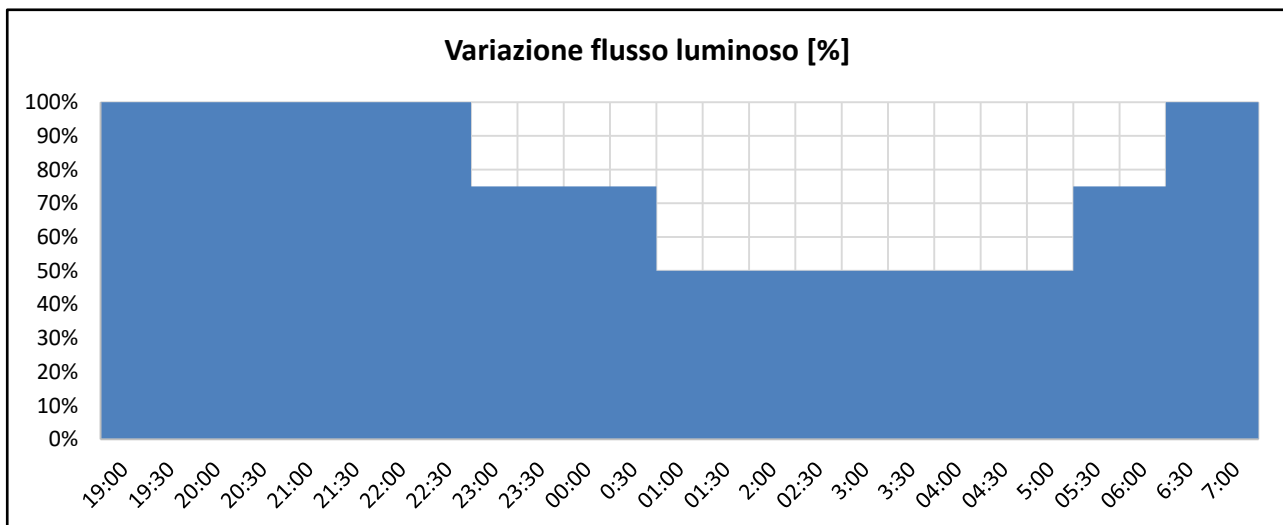


Figura 2. Esempio di variazione percentuale del flusso luminoso su base oraria in funzione della variazione del flusso orario del traffico (Fonte: rielaborazione da ASSIL).

Al fine di integrare un impianto a regolazione predefinita ad un sistema di Pubblica Illuminazione, ossia al fine di abilitare la suddetta regolazione, è necessario un sistema di telegestione, che può assumere diverse configurazioni (sistema “punto-punto” o “ad isola”). Con particolare riferimento al sistema di telegestione “punto-punto”, che permette di gestire ciascun singolo punto luce che costituisce l’infrastruttura di Pubblica Illuminazione, esso è composto dai seguenti elementi (si veda Figura 3):

- regolatore di flusso luminoso: dispositivo hardware che riceve ed attua il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico) ed invia al gateway informazioni sullo stato di funzionamento del punto luce (relative ad esempio al consumo energetico, ad eventuali guasti, etc.);
- gateway: dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, con particolare riferimento alla raccolta dei dati relativi allo stato di funzionamento provenienti dai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce e dei comandi di dimmerizzazione ricevuti dal software di gestione ed inviati ai regolatori di flusso luminoso;
- software di gestione: sistema software che permette di regolare l’esercizio dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione su base oraria e segnalare eventuali guasti al fine di ottimizzare la manutenzione dell’infrastruttura stessa. Come specificato in precedenza, nel caso di un impianto a regolazione predefinita, la regolazione su base oraria viene definita a priori dal progettista in base alla valutazione statistica del traffico.

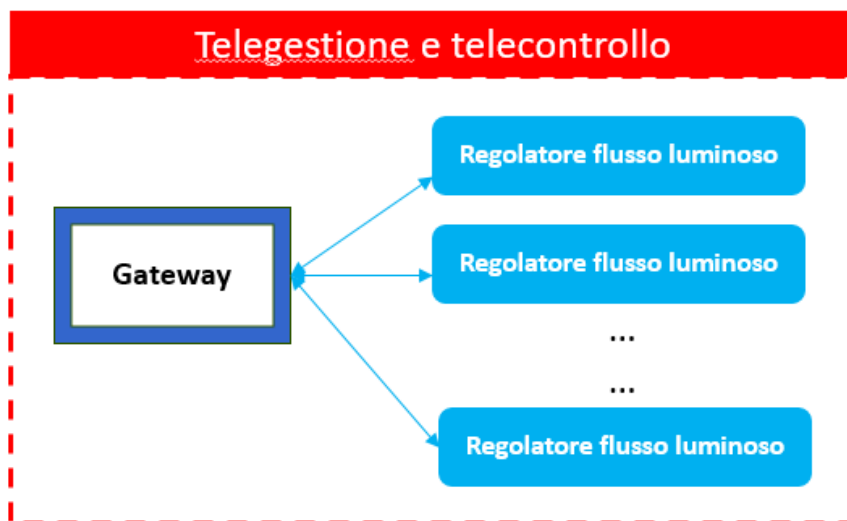


Figura 3. Schematizzazione semplificata dell'intervento "Impianto a regolazione predefinita + sistema di telegestione"

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono il sistema di telegestione "punto-punto", il regolatore di flusso luminoso sul punto luce può comunicare con il gateway tramite onde convogliate o onde radio. Le onde convogliate trasmettono i dati sfruttando la rete elettrica come supporto fisico per la trasmissione. Questo tipo di trasmissione si realizza sovrapponendo al trasporto di corrente elettrica, che sia continua o alternata, un segnale a frequenza più elevata che viene modulato in base all'informazione da trasmettere. Le onde radio, invece, sono onde elettromagnetiche la cui frequenza è inferiore a quella della luce visibile ed hanno il vantaggio di non aver bisogno di cavi per essere trasmesse. La quasi totalità degli operatori intervistati si aspetta un sempre maggior utilizzo delle onde radio per questo tipo di applicazione, per le quali è sufficiente l'utilizzo di una banda stretta, con una velocità di trasmissione dei dati che arriva fino ai 250 kbs. Ciò anche in virtù del fatto che un sistema di telegestione ad onde radio può rappresentare una buona base per l'erogazione di "servizi smart" abilitati dall'illuminazione pubblica, nella misura in cui è possibile sfruttare la rete creata dalla telegestione per integrare diversi tipi di sensori.

La comunicazione tra software di gestione e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell'economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

Per quanto concerne invece i risparmi energetici conseguibili grazie alla realizzazione di un impianto a regolazione predefinita abbinato alla telegestione, si stima che essi possano variare da un minimo di 15% ad un massimo di 30%, con un valore medio stimabile nell'ordine del 20% del consumo di energia elettrica ante intervento. Inoltre, si stima che si possano conseguire una significativa riduzione del costo di manutenzione associato all'infrastruttura di Pubblica Illuminazione, nell'ordine del 5-10% del costo ante intervento (ivi compresi gli extra-costi di manutenzione associati all'infrastruttura di telecontrollo, che risultano di entità modesta).

2.1.1.2 Impianto “Traffic Adaptive Installation” + sistema di telegestione

Un impianto “Traffic Adaptive Installation” (TAI) è un **impianto di tipo adattivo, ossia un impianto in cui le variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell’illuminamento sono attuate con continuità in base alle reali condizioni del flusso orario del traffico.**

Ai sensi della norma UNI 11248:2016, tale flusso orario si determina trasformando in base oraria il conteggio per un periodo di 10 minuti (cosiddetto “periodo di conteggio”) dei veicoli e/o pedoni e/o velocipedi, a seconda della specifica esigenza. Per ogni periodo di conteggio, si può applicare la variazione di una categoria illuminotecnica: se la variazione è in “riduzione”, sono necessari 2 campionamenti consecutivi che richiedano la riduzione della categoria affinché tale riduzione sia effettuata, mentre se la variazione è “in aumento” è sufficiente un campionamento affinché tale riduzione sia effettuata.

Il dispositivo tecnologico principale abilitante un impianto TAI è rappresentato dal sensore di monitoraggio del traffico. I sensori di monitoraggio del traffico utilizzabili afferiscono a diverse tipologie: in generale, si può fare una macro distinzione tra sensori di monitoraggio traffico standard e telecamere smart.

I sensori di monitoraggio standard si suddividono, a seconda della tipologia di flusso di traffico monitorato, in: sensori di rilevamento veicoli e sensori di rilevamento pedoni e velocipedi⁵.

I sensori di rilevamento veicoli sfruttano diverse tecnologie alternative, quali ultrasuoni, infrarossi o radar. Le funzionalità di questi sensori sono pressoché le medesime, ossia relative al conteggio dei veicoli ed alla classificazione veicolare. I sensori di rilevamento pedoni o velocipedi, i quali vengono tipicamente utilizzati in aree pedonali e piste ciclabili, sfruttano tecnologie ad infrarossi. Le funzionalità di questi sensori si limitano al conteggio di pedoni e velocipedi.

Le telecamere smart sono dispositivi elettronici per l’acquisizione di immagini bidimensionali in sequenza, a velocità di cattura prefissata, che presentano un software a bordo per la rielaborazione delle immagini raccolte. Ciò permette di trasmettere al gateway unicamente metadati, ovvero dati già processati, facendo sì che non sia necessaria la comunicazione in banda larga, caratterizzata da costi d’investimento (CAPEX) ed operativi (OPEX) maggiori rispetto alla banda stretta, in virtù degli interventi tipicamente necessari. In altre parole, la telecamera smart può sfruttare, alla stregua dei sensori di monitoraggio “standard”, la rete di trasmissione dati già creata per la comunicazione tra gli elementi costitutivi del sistema di telegestione.

Le suddette telecamere permettono il rilevamento dei flussi di veicoli, pedoni e/o velocipedi, con particolare riferimento al loro conteggio, rilevamento della loro velocità media, del tempo medio di percorrenza e della classificazione veicolare. Possono avere molte altre applicazioni, quali ad esempio il rilevamento di veicoli fermi sulla carreggiata, incidenti, ingorghi e veicoli in contro mano.

Al fine di integrare un impianto TAI ad un sistema di Pubblica Illuminazione, ossia al fine di abilitare la suddetta regolazione, **è necessario un sistema di telegestione**, che può assumere le medesime configurazioni descritte nel Paragrafo 2.1. La Figura 4 mostra una schematizzazione semplificata dell’intervento “TAI + sistema di telegestione”, ipotizzando che quest’ultimo assuma una configurazione punto-punto. La principale differenza rispetto al sistema di telegestione illustrato nel Paragrafo 2.1 risiede nella maggior complessità del software, il quale, grazie ad appositi algoritmi, permette di integrare le informazioni relative alla situazione del traffico (provenienti dal sensore di monitoraggio del traffico) ed utilizzarne per la regolazione adattiva dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione.

⁵ Esistono inoltre sensori che integrano le funzioni di rilevazione contemporanea di molteplici tipologie di flussi, i quali tuttavia scontano dei prezzi di mercato notevolmente maggiori rispetto ai sensori in grado di monitorare singole tipologie di flusso.

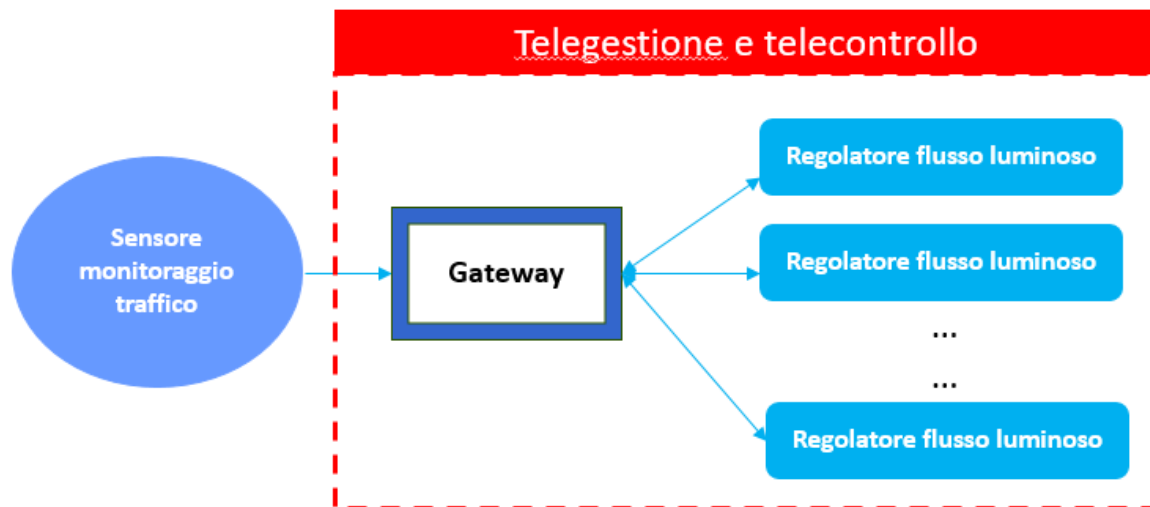


Figura 4: Schematizzazione semplificata dell'intervento "TAI + sistema di telegestione"

È possibile una configurazione alternativa rispetto a quella illustrata in Figura 4, in cui il sensore di monitoraggio del traffico invia direttamente i dati alla piattaforma Cloud, che si interpone al sistema di telegestione. In questo caso è necessario un ulteriore software di prelievo dei dati.

Per quanto concerne invece i risparmi energetici conseguibili grazie alla realizzazione di un impianto TAI abbinato alla telegestione, si stima che essi possano variare da un minimo di 30% ad un massimo di 60%, con un valore medio stimabile nell'ordine del 40% del consumo di energia elettrica ante intervento. Inoltre, si stima che si possano conseguire una significativa riduzione del costo di manutenzione associato all'infrastruttura di Pubblica Illuminazione, nell'ordine del 5-10% del costo ante intervento (ivi compresi gli extra-costi di manutenzione associati all'infrastruttura di telecontrollo e dell'impianto TAI, che risultano di entità modesta)⁶.

2.1.1.3 Impianto "Full Adaptive Installation" + sistema di telegestione

Un impianto "Full Adaptive Installation" (FAI) è un **impianto di tipo adattivo in cui le variazioni controllate nel tempo della luminanza o dell'illuminamento sono attuate con continuità in base alle reali condizioni di diversi parametri di influenza, ossia il flusso orario del traffico, la luminanza o l'illuminamento del manto stradale e le condizioni metereologiche.**

Ai sensi della norma UNI 11248:2016, il flusso orario si determina mediante la seguente procedura:

- i. conteggio per 1 minuto, dei veicoli, dei pedoni e/o dei cicli (a seconda dei casi);
- ii. calcolo del campione ottenuto moltiplicando il conteggio per 60 al fine di ottenere il flusso orario di traffico;
- iii. calcolo della media aritmetica per i primi 10 campioni;
- iv. a seguire, ripetere per ogni minuto la misura del conteggio (punto i.), calcolare il campione (punto ii.), scartare il primo campione e aggiungere l'ultimo campione per determinare sempre su dieci campioni il valore medio del flusso orario del traffico (media mobile).

⁶ La stima di tali risparmi deriva da interviste dirette con i principali operatori del settore (con particolare riferimento a fornitori di tecnologia ed ESCo). Si rimanda all'Appendice I per l'elenco delle imprese intervistate.

Il valore della media mobile determina continuamente la riduzione della luminanza/ illuminamento medio corrispondente, ottenuto come interpolazione lineare tra la categoria illuminotecnica di progetto (quella in cui il flusso del traffico è pari al 100%) e l'ultima categoria di esercizio permessa, stabilita durante la valutazione dei rischi.

Con l'illuminazione adattiva di tipo FAI è possibile ridurre la categoria illuminotecnica di esercizio fino a 3 categorie. In particolare, si riduce di una categoria quando il flusso del traffico è stabilmente minore del 50%, di due categorie quando il flusso del traffico è stabilmente minore al 25% e di tre categorie se il flusso del traffico è minore del 12,5%. Se, dopo tre campioni consecutivi, il valore della media mobile è maggiore del valore calcolato al punto iv., il sistema deve riportare al valore di luminanza/illuminamento medio corrispondente ottenuto mediante l'interpolazione lineare tra la categoria illuminotecnica di progetto (quella in cui il flusso del traffico è pari al 100%) e l'ultima categoria di esercizio individuata.

Le condizioni di funzionamento dell'impianto di illuminazione al variare delle condizioni meteo (ad esempio, strada bagnata, nebbia, neve) rientrano nella valutazione dei rischi effettuata dal progettista, il quale stabilisce la regolazione dell'impianto, in termini di variazione della/e categoria/e illuminotecnica/he al variare delle specifiche condizioni meteo.

Un impianto di tipo FAI deve inoltre garantire che la luminanza o l'illuminamento, campionati sul manto stradale, risultino sempre corrispondenti ai valori di progetto. È infatti essenziale assicurarsi sul corretto funzionamento degli apparati, anche in virtù di fattori quali il decadimento del flusso luminoso generato dalle sorgenti luminose e le condizioni atmosferiche ambientali che incidono direttamente sul funzionamento dell'impianto di illuminazione, specialmente quando si va verso le categorie illuminotecniche più basse permesse dalla norma, al fine di garantire la sicurezza degli utenti.

Il dispositivo tecnologico principale abilitante un impianto FAI è rappresentato dal sensore di monitoraggio del traffico "avanzato". Esso consente di misurare i tre parametri d'influenza considerati (flusso orario del traffico, la luminanza o l'illuminamento del manto stradale e le condizioni meteorologiche) mediante il medesimo dispositivo. Il suddetto sensore presenta il software di gestione dei dati a bordo, per cui può trasmettere i dati in banda stretta al sistema di telecontrollo.

Al fine di integrare un impianto FAI ad un sistema di Pubblica Illuminazione, ossia al fine di abilitare la suddetta regolazione, è **necessario un sistema di telegestione**, che può assumere le medesime configurazioni descritte nel Paragrafo 2.2. (al netto di un'ulteriore complessità lato-software). La Figura 5 mostra una schematizzazione semplificata dell'intervento "FAI + sistema di telegestione", assumendo che quest'ultimo assuma una configurazione punto-punto.

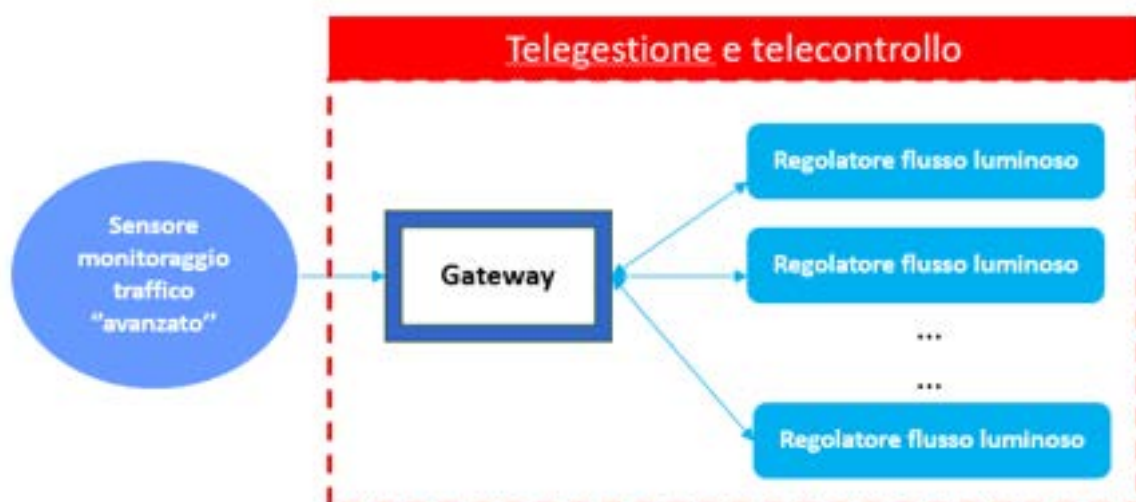


Figura 5: Schematizzazione semplificata dell'intervento "FAI + sistema di telegestione"

È possibile una configurazione alternativa rispetto a quella illustrata in Figura 5, in cui il sensore di monitoraggio del traffico invia direttamente i dati alla piattaforma Cloud, che si interpone al sistema di telegestione. In questo caso è necessario un ulteriore software di prelievo dei dati.

Per quanto concerne invece i risparmi energetici conseguibili grazie alla realizzazione di un impianto TAI abbinato alla telegestione, **si stima che essi possano variare da un minimo di 40% ad un massimo di 70%, con un valore medio stimabile nell'ordine del 50% del consumo di energia elettrica ante intervento**⁷. Il risparmio energetico addizionale ottenibile rispetto all'impianto TAI deriva dal fatto che la norma UNI 11248:2016, nel caso di sistema FAI, consente ridurre fino ad un massimo di 3 categorie illuminotecniche (mentre per un sistema TAI la riduzione è limitata ad una categoria illuminotecnica). Inoltre, il controllo della luminanza può aumentare il risparmio energetico conseguibile perché, in sua assenza, si tende tipicamente a "sovradimensionarla" per motivi di sicurezza. Infine, **si stima che si possa conseguire una significativa riduzione del costo di manutenzione associato all'infrastruttura di Pubblica Illuminazione, nell'ordine del 5-10% del costo ante intervento** (ivi compresi gli extra-costi di manutenzione associati all'infrastruttura di telecontrollo e dell'impianto FAI, che risultano di entità modesta)⁸.

2.1.2 Descrizione sintetica degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart street service

Gli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart street services sono caratterizzati da (si veda Figura 1):

- **utilizzo di diverse tipologie di sensori;**
- **utilizzo di diversi sistemi di trasmissione** (rete wireless o sistema di trasmissione dati a banda larga), sulla base delle peculiarità che caratterizzano ciascuno smart street service e la relativa architettura tecnologica.

Rimandando alla sezione successiva per la descrizione sintetica delle diverse tipologie di sensori, le Figure 6, 7 e 8 mostrano rispettivamente gli smart street service che usano tipicamente una rete wireless come sistema di trasmissione, quelli che viceversa sfruttano la banda larga e quelli che invece non ricadono nelle due categorie precedenti.

⁷ È altresì da sottolineare che i dati di risparmio energetico conseguibile sono molto variabili, essendo gli stessi influenzati dai parametri decisionali impostati dal progettista/gestore del sistema. Ad esempio, nel caso di condizioni meteo avverse, si potrebbe prevedere un significativo incremento del flusso luminoso (per incrementare la sicurezza di coloro i quali utilizzano la strada) con conseguente incremento dei consumi energetici.

⁸ La stima di tali risparmi deriva da interviste dirette con i principali operatori del settore (con particolare riferimento a fornitori di tecnologia ed ESCo). Si rimanda all'Appendice I per l'elenco delle imprese intervistate.

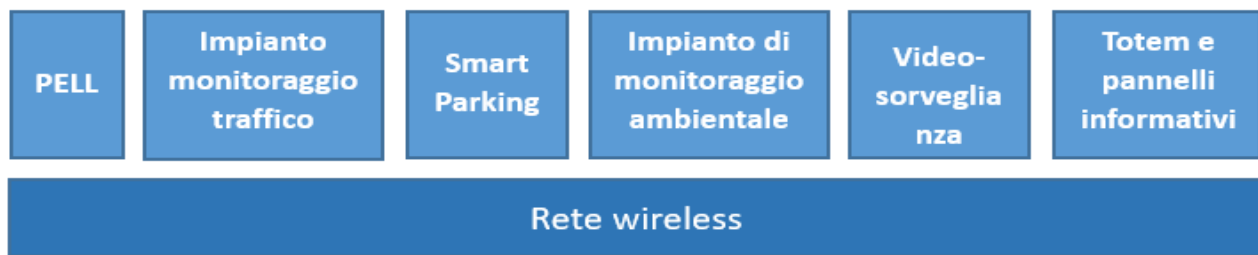


Figura 6: Gli smart street services che sfruttano tipicamente un sistema di trasmissione dati wireless

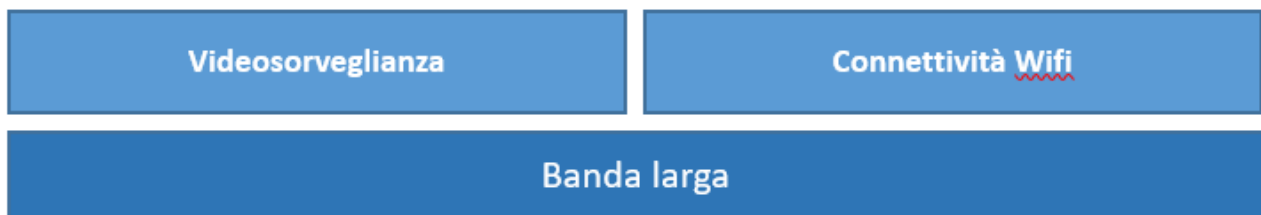


Figura 7: Gli smart street services che sfruttano tipicamente un sistema di trasmissione dati a banda larga.

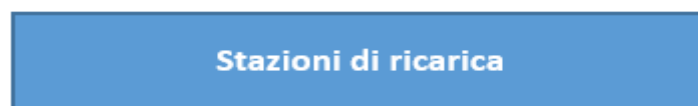


Figura 8: Gli altri smart street services.

Per ciascuno degli interventi di riqualificazione in ottica smart street services oggetto d’analisi, sono inoltre illustrati i benefici derivanti da suddetti interventi, i quali ricadono in una o più delle tre categorie che possono contribuire ad uno sviluppo sostenibile:

- **Benefici di natura “economica”**, relativi alla capacità dell’investimento di generare reddito e lavoro per la popolazione e di agire sui livelli di crescita economica del territorio.
- **Benefici di natura “sociale”**, relativi alla capacità dell’investimento di garantire condizioni di benessere umano (sicurezza, salute, istruzione, democrazia, partecipazione, giustizia) equamente distribuite per classi e genere.
- **Benefici di natura “ambientale”**, relativi alla capacità dell’investimento di mantenere qualità e riproducibilità delle risorse naturali.

Tali benefici, come mostrato dalla definizione stessa, non riguardano esclusivamente i soggetti coinvolti in maniera diretta nella realizzazione dell’intervento di riqualificazione dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione, ma anche altri stakeholder del progetto quali i cittadini e la collettività in senso più ampio. Il modello di simulazione (illustrato nel Capitolo 4) permette la quantificazione economica di alcuni benefici (ossia espressi in termini monetari). Per altri benefici, indicati tra parentesi all’interno della sezione dedicata a ciascuno smart street service), la relativa valorizzazione può avvenire solo a posteriori, ossia una volta identificati i dettagli degli interventi di riqualificazione dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart street service e dell’area presso cui insistono gli interventi stessi. Pertanto, tali benefici saranno esclusi dal modello di simulazione illustrato nel Capitolo 4.

2.1.2.1 “Public Energy Living Lab” (PELL)

Il “Public Energy Living Lab” (PELL) è costituito da una piattaforma informatica che, mediante la raccolta di dati sulle caratteristiche ed il funzionamento di un’infrastruttura di Pubblica Illuminazione, consente di ottenere informazioni sul suo status e su eventuali opportunità di riqualificazione. Il PELL non si configura pertanto come uno smart street service in senso stretto, tuttavia è stato incluso nell’analisi in quanto può rappresentare un importante fattore abilitante per la diffusione degli interventi di riqualificazione dell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart street service.

La struttura del PELL risponde ad una logica di digitalizzazione delle infrastrutture pubbliche energivore che mira a trasformarle in reti intelligenti attraverso la digitalizzazione delle informazioni, il monitoraggio continuo, la elaborazione in tempo reale degli input relativi ai consumi e prestazioni, la redistribuzione aperta delle informazioni aggregate e quindi la creazione di un canale di collegamento diretto tra amministratori e amministrati.

La Piattaforma PELL presenta una scheda di censimento da condividere con tutti gli operatori, al fine di mettere a punto un sistema di rilevamento dati degli impianti puntuale, standardizzato e strategico per la valutazione di:

- Stato dell’arte dell’impianto;
- Attuale livello e potenzialità di innovazione tecnologica;
- Stima dei costi di riqualificazione e realistici dei tempi di rientro degli investimenti per Comune e/o finanziatore;
- Possibili risparmi energetici conseguibili a seguito delle soluzioni tecnologiche identificate.

La Figura 9 mostra l’architettura generale del PELL. In particolare, gli *End Users* del PELL sono coloro che hanno necessità o interesse a conoscere lo stato degli impianti energivori presenti sul territorio (Amministratori, stakeholders, Municipalità e cittadini) attraverso una elaborazione aggregata delle informazioni, che si differenzia in base alla tipologia di utente finale (l’Amministrazione Pubblica ed il Gestore sono gli unici a visualizzare le informazioni dettagliate relativamente ai propri impianti).

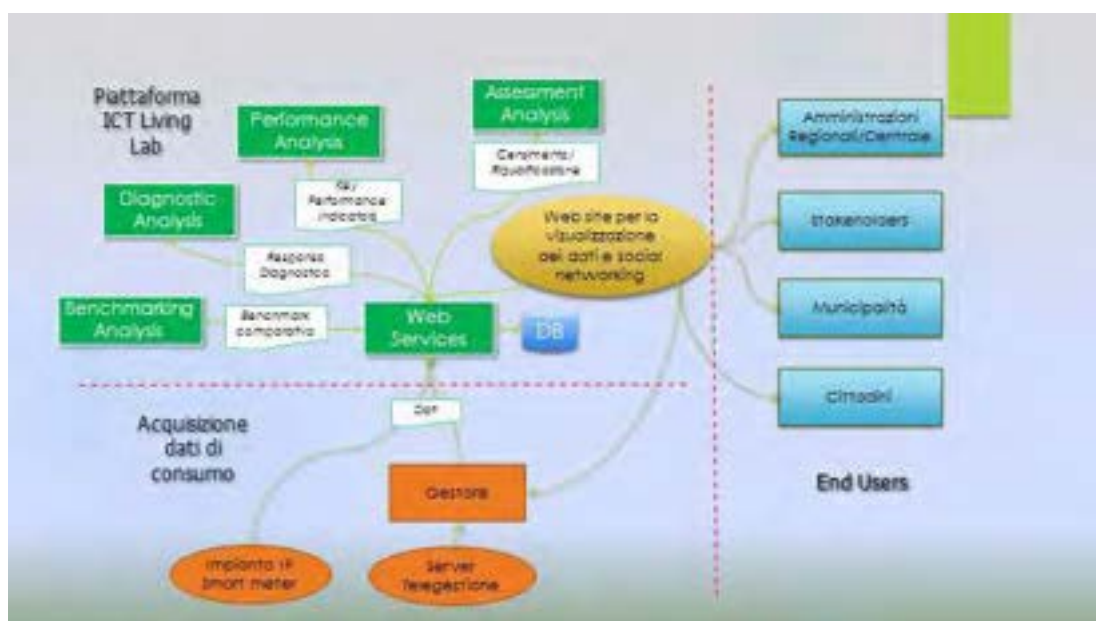


Figura 9: L’architettura generale del PELL

L'iter di adesione al PELL è il seguente:

- Censimento degli Impianti di Illuminazione Pubblica: redazione del censimento dei punti luminosi utilizzando la scheda censimento secondo lo standard "PELL" organizzato in differenti sezioni necessarie alla identificazione di tutti i dati utili, ad avere un quadro conoscitivo completo di un impianto esistente o di una nuova installazione.
- La compilazione delle schede censimento consentiranno la determinazione di *Key Performance Index (KPI)* statici di progetto per valutare gli impianti di Pubblica Illuminazione.
- Installazione di smart meters nei quadri elettrici degli impianti.
- Interventi di adeguamento tecnologico: realizzazione di web service per consentire alla piattaforma PELL l'acquisizione automatica dei dati di quadro elettrico secondo il formato open definito.
 - I dati elettrici ed energetici acquisiti con gli smart meters consentiranno la determinazione di *KPI* dinamici di misura, il monitoraggio dell'impianto ed il suo funzionamento (sezioni prestazione, diagnostica e benchmarking della piattaforma)

I benefici che caratterizzano l'intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato "Public Energy Living Lab" sono indiretti, ossia legati alle opportunità di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione che emergono dall'utilizzo del PELL (pertanto non saranno considerati all'interno delle successive analisi economiche, anche in virtù della natura estremamente *site specific* che li caratterizza). Per quanto concerne invece i costi di implementazione del PELL da parte dei Comuni, essi fanno riferimento a diverse tipologie:

- Costi di installazione degli smart meter sui quadri elettrici, stimabili nell'ordine di 1.000 €/meter.
- Costi per la compilazione della scheda censimento PELL, stimabili nell'ordine di 10-12 €/punto luce.
- Costi il servizio di gestione dati, operatori, software, stimabili nell'ordine di 500 €/anno.

2.1.2.2 Monitoraggio del traffico

Un impianto di monitoraggio traffico è finalizzato al **miglioramento della mobilità di individui e merci**, attraverso una conoscenza dettagliata delle condizioni stradali, sulla base di grandezze quali il numero di veicoli/pedoni, il flusso veicolare, la velocità media di percorrenza, la presenza di veicoli in controsenso o fermi sulla carreggiata.

Il servizio di monitoraggio traffico può assumere diverse configurazioni sulla base delle funzioni garantite dall'impianto di monitoraggio realizzato. In particolare, si distingue tra:

- impianto "**base**", le cui funzioni erogate sono: rilevazione automatica e conteggio veicoli, rilevazione automatica e conteggio pedoni, classificazione automatica dei flussi veicolari;
- impianto "**avanzato**", le cui funzioni erogate (ulteriori rispetto all'impianto "base") sono: calcolo della velocità media di percorrenza della tratta, tempo medio di percorrenza della tratta, conteggi per classe veicolare, rilevazioni automatiche di sosta/fermata vietata, inversione di marcia, direzione di marcia errata, invasione di carreggiata, incidente stradale, veicolo fermo, incendio e fumo.

Tale impianto, sia nella configurazione "base" che "avanzata", è generalmente composto dai seguenti elementi:

- **sensore monitoraggio del traffico:** dispositivo hardware che sfrutta tecnologie alternative per la rilevazione delle grandezze oggetto di interesse (funzionali al monitoraggio del traffico);

- **regolatore di flusso luminoso** (nodo di rete wireless): dispositivo hardware che, oltre a ricevere ed attuare il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico), crea una rete di connessione ad onde radio dei vari sensori e comunica con il gateway centrale;
- **gateway**: dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati (relativi ai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce e ai sensori controllo del traffico) che l'invio dei dati al centro di controllo;
- **centro di controllo**: può essere, in questo caso, una stazione di polizia o un centro elaborazione dati che, mediante un sistema software, permette l'elaborazione dei dati provenienti dai sensori di monitoraggio traffico e, in caso di necessità, l'attivazione dell'intervento delle Forze dell'Ordine.



Figura 10: Schematizzazione semplificata dell'impianto di "Monitoraggio del traffico" + sistema di trasmissione wireless creato dal sistema di telegestione integrato nell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione

Per quanto riguarda il sensore monitoraggio del traffico, negli impianti di monitoraggio del traffico "base" si utilizza tipicamente un **sensore monitoraggio del traffico "standard"**, ossia un dispositivo hardware che sfrutta tecnologie alternative quali ultrasuoni, infrarossi o radar, le cui funzionalità sono pressoché le medesime, ossia relative al conteggio dei veicoli ed alla classificazione veicolare. I sensori di rilevamento pedoni o velocipedi, i quali vengono tipicamente utilizzati in aree pedonali e piste ciclabili, sfruttano tecnologie ad infrarossi le cui funzionalità si limitano al conteggio di pedoni e velocipedi;

Negli impianti di monitoraggio del traffico "avanzati", si utilizza tipicamente una **telecamera smart**, ossia un dispositivo hardware elettronico per l'acquisizione di immagini bidimensionali in sequenza, a velocità di cattura prefissata, che presenta un software a bordo per la rielaborazione delle immagini. Tali immagini permettono il rilevamento dei flussi di veicoli, pedoni e/o velocipedi, con particolare riferimento al loro conteggio, rilevamento della loro velocità media, del tempo medio di percorrenza e della classificazione veicolare. Possono avere molte altre applicazioni, quali ad esempio il rilevamento di veicoli fermi sulla carreggiata, incidenti, ingorghi e veicoli in contro mano.

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono l'impianto di monitoraggio del traffico, il regolatore di flusso luminoso sul punto luce si comporta da nodo della rete wireless che può dunque raccogliere le informazioni inviate da sensori di traffico (wireless) e comunicarle al gateway tramite onde radio. Le onde radio, sono onde elettromagnetiche la cui frequenza è inferiore a quella della luce visibile ed hanno il vantaggio di non aver bisogno di cavi per essere trasmesse.

La comunicazione tra centro di controllo e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell'economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda

da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

La Tabella 1 riporta i benefici che caratterizzano l'intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato "Monitoraggio del traffico", suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 1: Benefici che caratterizzano l'intervento "Monitoraggio del traffico"

Categoria di beneficio	Benefici	
	Impianto "base"	Impianto "avanzato"
Benefici di natura "economica"	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione • (riduzione consumi energetici - carburante, dovute ad ottimizzazione gestione traffico veicolare) • (Introiti per il Comune da individuazione infrazioni)
Benefici di natura "sociale"		<ul style="list-style-type: none"> • (miglioramento della sicurezza degli utenti della strada, dovuto a riduzione infrazioni) • (miglioramento gestione emergenze)
Benefici di natura "ambientale"		<ul style="list-style-type: none"> • (riduzione emissioni inquinanti, dovute ad ottimizzazione gestione traffico veicolare)

2.1.2.3 Impianto di Smart Parking

Un impianto di "Smart Parking" è un **impianto in grado di fornire informazioni in tempo reale sullo stato dei parcheggi all'interno di una determinata area**. Il servizio di Smart Parking può assumere diverse configurazioni sulla base delle funzioni garantite dall'impianto realizzato. In particolare, si distingue tra:

- impianto "base", le cui funzioni erogate sono: monitoraggio aree di parcheggio dedicate e segnalazione di disponibilità posti;
- impianto "avanzato", le cui funzioni erogate (ulteriori rispetto all'impianto "base") sono: rilevazione automatica e conteggio delle aree di sosta libere, stima tempo medio di sosta, mapping e monitoring delle aree di sosta, individuazione dei flussi di ingresso e uscita, riconoscimento targhe, servizi di prenotazione/pagamento parcheggio.

Vi sono diverse configurazioni possibili per i sistemi di Smart Parking, in questo report si è scelto di privilegiare la soluzione che prevede l'integrazione con un sistema di telegestione.

La configurazione tipica di tale impianto vede la presenza dei seguenti elementi:

- **sensore rilevamento veicoli:** dispositivo hardware che sfrutta tecnologie alternative per la rilevazione delle grandezze oggetto di interesse (funzionali allo Smart Parking);
- **regolatore di flusso luminoso (nodo di rete wireless):** dispositivo hardware che oltre a ricevere ed attuare il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico), crea una rete di connessione ad onde radio per i sensori che rilevano l'occupazione degli stalli e comunica con il gateway centrale ed eventualmente col parchimetro;
- **gateway:** dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati (relativi ai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce e ai sensori di rilevamento veicoli) che l'invio dei dati al software di gestione;
- **parchimetro:** dispositivo hardware finalizzato al pagamento dell'occupazione; può essere eventualmente sostituito o integrato in un app finalizzata, oltre al pagamento della sosta, a fornire informazioni circa le disponibilità di posti d'auto;
- **server centrale:** centro di elaborazione dati provenienti dai sensori di rilevamento veicoli mediante il sistema software.

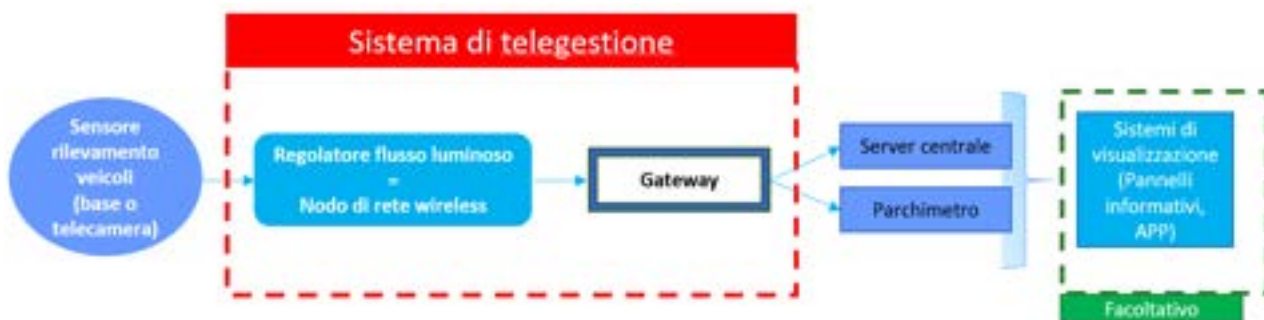


Figura 11: Schematizzazione semplificata dell'impianto di "Smart Parking" + sistema di trasmissione wireless creato dal sistema di telegestione integrato nell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione

Per quanto riguarda il sensore di rilevamento veicoli, negli impianti di Smart Parking "base" si utilizza tipicamente un **sensore rilevamento veicoli (a basso consumo) "base"**, ossia un dispositivo hardware di dimensioni ridotte che può essere posizionato sopra o sotto il manto stradale e che tramite tecnologie di vario tipo (rilevazione della luce ambientale incidente, rilevazione di IR, misura variazione del campo magnetico o più tecnologie integrate) è in grado di fornire informazioni circa l'occupazione dello stallò.

Negli impianti di Smart Parking "avanzati", si utilizza tipicamente una **telecamera smart**, ossia un dispositivo hardware che rileva l'occupazione dello stallò tramite algoritmi di riconoscimento delle immagini per elaborare scene (o targhe).

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono l'impianto di smart parking, il regolatore di flusso luminoso sul punto luce si comporta da nodo della rete wireless che può dunque raccogliere le informazioni inviate da sensori di rilevamento veicoli (wireless) e comunicarle al gateway.

La comunicazione tra software di gestione e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell'economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda

da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

La Tabella 2 riporta i benefici che caratterizzano l'intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato Smart Parking, suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 2: Benefici che caratterizzano l'intervento Smart Parking

Categoria di beneficio	Benefici	
	Impianto "base"	Impianto "avanzato"
Benefici di natura "economica"	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione; 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione • (introiti per il Comune/gestore parcheggio o servizio da miglioramento gestione parcheggi) • (Riduzione consumi energetici - carburanti)
Benefici di natura "sociale"		
Benefici di natura "ambientale"		<ul style="list-style-type: none"> • (Riduzione delle emissioni di CO₂ - carburanti)

2.1.2.4 Impianto di "Monitoraggio ambientale"

Un impianto di "**Monitoraggio ambientale**" integrato nell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione serve per gestire l'impatto che particolari condizioni meteo o di concentrazione di inquinanti o di utilizzo delle infrastrutture potrebbero avere sulle prestazioni delle infrastrutture stesse e sui cittadini (valutazione dei rischi, danni, produttività di impianti rinnovabili diffusi, stima delle emissioni, problematiche connesse alla sicurezza, rischi sanitari, visibilità, presenza di fumo ed incendi, ingorghi, presenza di folle, etc.). Il monitoraggio ambientale diventa importante e in alcuni casi obbligatorio in prossimità di realtà a rischio ambientale, zone industriali, inceneritori, discariche, zone ad elevato traffico motorizzato, rischi di frane ed esondazioni, etc.

Tale impianto è generalmente composto dai seguenti elementi:

- **sensore monitoraggio ambientale:** dispositivo hardware che sfrutta tecnologie alternative, al fine di misurare: la qualità dell'aria (presenza di inquinanti come: CO, CO₂, NO₂, O₃, PM2.5, PM10, SO₂), le condizioni meteo (temperatura, umidità, velocità e direzione vento, radiazione solare, pioggia). Possono altresì essere effettuate ulteriori rilevazioni, relative ad esempio all'inquinamento acustico

ed alla rilevazione delle onde sismiche, per le quali tuttavia non sono state identificate imprese produttrici di dispositivi di misura in una numerosità significativa;

- **regolatore di flusso luminoso** (nodo di rete wireless): dispositivo hardware che oltre a ricevere ed attuare il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico), crea una rete di connessione ad onde radio dei vari sensori e comunica con il gateway centrale;
- **gateway**: dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati (relativi ai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce e ai sensori di monitoraggio ambientale) che l'invio dei dati al software di gestione;
- **centro di controllo**: centro di elaborazione dei dati provenienti dai sensori di monitoraggio ambientale tramite il **sistema software**.



Figura 12: Schematizzazione semplificata dell'impianto di "Monitoraggio ambientale" + sistema di trasmissione wireless creato dal sistema di telegestione integrato nell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono l'impianto di monitoraggio ambientale, il regolatore di flusso luminoso sul punto luce si comporta da nodo della rete wireless che può dunque raccogliere le informazioni inviate dai sensori di monitoraggio ambientale (wireless) e comunicarle al gateway.

La comunicazione tra il centro di controllo (software di gestione) e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell'economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

La Tabella 3 riporta i benefici che caratterizzano l'intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato "Monitoraggio ambientale", suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 3: Benefici che caratterizzano l'intervento "Monitoraggio ambientale"

Categoria di beneficio	Benefici
Benefici di natura "economica"	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione; • (Riduzione consumi energetici - energia+carburanti)
Benefici di natura "sociale"	<ul style="list-style-type: none"> • (miglioramento della salute degli abitanti, dovuto a riduzione emissioni inquinanti) • (miglioramento della sicurezza degli abitanti, dovuto a riduzione emissioni inquinanti)
Benefici di natura "ambientale"	<ul style="list-style-type: none"> • (Riduzione delle emissioni inquinanti da consumi energetici - energia+carburanti)

2.1.2.5 Impianto di "Telesorveglianza"

Un impianto di telesorveglianza è un impianto cui è affidato il compito di rilevare situazioni critiche che si possono verificare in strada (quali incidenti, congestioni, allagamenti, incendi, etc.), infrazioni che generano intralcio al traffico (sensi vietati, sosta vietata, corsie preferenziali) ed accesso ad aree sensibili. In caso di particolari criticità, il sistema deve essere in grado di trasmettere anche immagini istantanee e flussi video. Tale impianto può assumere due diverse configurazioni, in virtù delle specifiche esigenze del contesto presso cui tale servizio è erogato.

La prima configurazione, che si caratterizza primariamente per l'utilizzo di una telecamera smart per l'acquisizione di immagini, si adotta tipicamente nei casi in cui non è necessario la realizzazione di un flusso video continuo. In particolare, l'impianto è composto dai seguenti elementi:

- **telecamera smart:** dispositivo hardware elettronico per l'acquisizione di immagini bidimensionali in sequenza, a velocità di cattura prefissata, che presenta un software a bordo per la rielaborazione delle immagini. Tramite l'installazione di opportuni pacchetti software a bordo, è possibile rilevare eventuali situazioni critiche, quali ad esempio la presenza di veicoli fermi sulla carreggiata, incidenti, veicoli in contro mano, incendi, ecc. La telecamera smart comprende al suo interno una scheda di memoria che permette di recuperare immagini e flussi video qualora la situazione lo richieda, purché entro breve tempo in quanto i dati in memoria vengono sovrascritti ad intervalli brevi (nell'ordine di qualche giorno);
- **regolatore di flusso luminoso** (nodo di rete wireless): dispositivo hardware che oltre a ricevere ed attuare il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico), crea una rete di connessione ad onde radio dei vari sensori e comunica con il gateway centrale;
- **gateway:** dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati (relativi ai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce e ai sensori di monitoraggio ambientale) che l'invio dei dati al software di gestione;

- centro di controllo:** il centro di controllo può essere in questo caso una stazione di polizia o un centro elaborazione dati che tramite il **sistema software** permette l’elaborazione dei dati provenienti dai sensori di monitoraggio traffico ed eventualmente l’intervento delle Forze dell’Ordine in caso di criticità.



Figura 13: Schematizzazione semplificata dell’impianto di “Telesorveglianza” + sistema di trasmissione wireless creato dal sistema di telegestione integrato nell’infrastruttura di Pubblica Illuminazione

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono l’impianto di telesorveglianza, il regolatore di flusso luminoso sul punto luce si comporta da nodo della rete wireless che può dunque raccogliere le informazioni inviate dalla telecamera smart e comunicarle al gateway.

La comunicazione tra il centro di controllo (software di gestione) e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell’economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

La seconda configurazione, che si caratterizza primariamente per l’utilizzo di una telecamera standard per l’acquisizione di immagini, si adotta tipicamente nei casi in cui è necessario la realizzazione di un flusso video continuo. In questo caso, è necessaria la presenza di un sistema di trasmissione a banda larga (es. la fibra ottica) che presenta tuttavia CAPEX e OPEX più elevati.

La Tabella 4 riporta i benefici che caratterizzano l’intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato “Telesorveglianza”, suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 4: Benefici che caratterizzano l’intervento “Telesorveglianza”

Categoria di beneficio	Benefici
Benefici di natura “economica”	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d’affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione • (Introiti per il Comune da individuazione infrazioni)
Benefici di natura “sociale”	<ul style="list-style-type: none"> • (miglioramento della sicurezza degli abitanti, dovuto a riduzione crimini) • (miglioramento gestione emergenze)
Benefici di natura “ambientale”	

2.1.2.6 Totem e pannelli informativi

I Totem e pannelli informativi sono dispositivi multimediali installabili in punti strategici della città per fornire informazioni di varia natura ai cittadini, accedere a servizi di emergenza e segnalare acusticamente situazioni di pericolo. I pannelli informativi sono generalmente utilizzati come terminale video per trasmettere informazioni di vario genere: disponibilità di parcheggio, situazione del traffico, attività del Comune, etc. Tali pannelli informativi possono dunque essere integrati ad altri impianti (es. monitoraggio traffico, Smart Parking, impianti ambientali) oppure possono essere connessi ad un centro di controllo che invia i messaggi da trasmettere.

Il caso più semplice di impianto a pannelli informativi (in una configurazione *stand alone*, non collegato ad altri smart street service) è composto dai seguenti elementi:

- **Pannello informativo a messaggio variabile/Totem:** dispositivo hardware solitamente utilizzato come terminale video per visualizzare informazioni di vario genere relative ad esempio ad informazioni turistiche o ad attività del Comune, etc. Rispetto al pannello informativo, il Totem permette un certo livello di interazione con il fruitore delle informazioni veicolate attraverso il Totem stesso;
- **regolatore di flusso luminoso (nodo di rete wireless):** dispositivo hardware che oltre a ricevere ed attuare il comando di dimmerizzazione della sorgente luminosa dal gateway (tipicamente posizionato sul quadro elettrico), crea una rete di connessione ad onde radio dei vari sensori e comunica con il gateway centrale;
- **gateway:** dispositivo hardware che svolge le funzioni di collettore ed indirizzatore dei segnali, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati relativi ai regolatori di flusso luminoso posizionati sui punti luce che l'invio del messaggio da trasmettere al pannello a messaggio variabile;
- **centro di controllo:** centro elaborazione dati che tramite il **sistema software** permette l'invio dei messaggi che intende trasmettere sul pannello a messaggio variabile.



Figura 14: Schematizzazione semplificata dell'impianto di "Pannelli informativi a messaggio variabile/Totem" + sistema di trasmissione wireless creato dal sistema di telegestione integrato nell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione

Per quanto riguarda la trasmissione di dati e comandi tra i diversi elementi che costituiscono l'impianto con pannelli informativi a messaggio variabile/Totem, la comunicazione tra il centro di controllo (software di gestione) e gateway può avvenire secondo diverse modalità, quali ad esempio via cavo, wireless o rete mobile. Tipicamente si usa la telefonia mobile (il gateway è dotato di una SIM card) in virtù dell'economicità della soluzione, sebbene sia da sottolineare il fatto che la scelta dipenda da considerazioni di natura sia tecnica che economica, anche legate alla presenza o meno di infrastrutture di comunicazione (ad esempio, la fibra ottica).

La trasmissione dei dati tra gateway, regolatore di flusso luminoso sul punto luce e pannello a messaggio variabile, avviene mediante la rete wireless creata grazie al regolatore di flusso che funge da nodo di tale rete.

I Totem interattivi da esterno necessitano di un sistema di trasmissione dati a banda larga a causa della grande quantità di dati trasmessa. Il sistema di trasmissione tipicamente utilizzato è la fibra ottica, specie se questa è già presente in città; in questo caso è necessario unicamente sostenere il costo per l’allacciamento alla fibra e siglare un contratto per usufruire della fibra.

La Tabella 5 riporta i benefici che caratterizzano l’intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato “Totem e pannelli informativi”, suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 5: Stazioni di ricarica

Categoria di beneficio	Benefici
Benefici di natura “economica”	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d’affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione; • (introiti per Comune/gestori siti di interesse da attività turistica) • (introiti per Comune/gestore servizio da vendita spazi pubblicitari)
Benefici di natura “sociale”	<ul style="list-style-type: none"> • (miglioramento della sicurezza degli abitanti)
Benefici di natura “ambientale”	

2.1.2.7 Stazioni di ricarica

Le stazioni di ricarica permettono la ricarica di dispositivi elettrici quali biciclette, pc e cellulari.

La stazione di ricarica cellulari può essere installata in luoghi quali piazze, parcheggi e fermate del bus al fine di permettere agli utenti di caricare rapidamente i propri smartphone in caso di necessità.

La stazione di ricarica per biciclette elettriche si rivolge principalmente ai turisti, oltre che ai cittadini residenti, come mezzo di mobilità alternativo ai mezzi tradizionali.

Attualmente esistono diverse soluzioni sul mercato, sia per stazioni di ricarica di pc e cellulari che di biciclette elettriche che propongono l’integrazione di pannelli solari sul tetto di tali stazioni.

La struttura di una stazione di ricarica si differenzia in maniera sostanziale dalle configurazioni viste in precedenza, in quanto richiede una connessione alla rete elettrica.

La Tabella 6 riporta i benefici che caratterizzano l’intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato “Stazioni di ricarica”, suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 6: Benefici che caratterizzano l'intervento "Stazioni di ricarica"

Categoria di beneficio	Benefici
Benefici di natura "economica"	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione • (Riduzione consumi energetici - carburante)
Benefici di natura "sociale"	
Benefici di natura "ambientale"	<ul style="list-style-type: none"> • (Riduzione delle emissioni di CO₂ – carburante)

2.1.2.6 Connettività Wifi

La connettività Wifi prevede la creazione di hot spot Wifi pubblici che garantiscano un accesso semplice ed immediato degli utenti alla rete internet. Le caratteristiche che tale rete deve possedere sono l'accessibilità, ossia questa deve essere accessibile e facilmente fruibile dagli utenti, e scalabilità, sia in termini di dati da trasportare che di copertura. Una tematica di rilievo circa la connettività Wifi è la cyber security; ossia tale rete deve garantire un alto livello di protezione dei dati, impedendo intrusioni indesiderate nella rete.

Per rendere possibile la connettività Wifi è necessario predisporre una serie di hotspot (nell'ordine di uno ogni 100 metri) al fine di espandere il segnale. La trasmissione dei dati avviene in banda larga, possibilmente tramite fibra ottica se già presente, altrimenti è necessario installarla sostenendo dei costi d'investimento e gestione ingenti.

La Tabella 7 riporta i benefici che caratterizzano l'intervento di riqualificazione in ottica smart street service denominato "Connettività Wifi", suddivisi tra le tre categorie sopracitate.

Tabella 7: Benefici che caratterizzano l'intervento "Connettività Wifi"

Categoria di beneficio	Benefici
Benefici di natura "economica"	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti • Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione; • (introiti per Comune/gestori siti di interesse da attività turistica) • (Introiti per il Comune/gestore servizio da vendita servizio e pubblicità)
Benefici di natura "sociale"	
Benefici di natura "ambientale"	

2.2 I modelli di business per la realizzazione di interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service

All'interno di questa sezione sono presentati i modelli di business per la realizzazione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street services.

Le tecnologie abilitanti gli smart adaptive lighting e gli smart street service (si veda Capitolo 2) rappresentano uno dei **building block fondamentali alla base della realizzazione di una Smart City** (in generale) e di **un'infrastruttura di smart lighting** (in particolare). Gli altri elementi costitutivi fondamentali analizzati in questo studio sono:

- Gli **attori coinvolti**;
- Le **modalità di finanziamento utilizzate**.

L'articolazione dei suddetti building block fondamentali dà luogo a diversi possibili business model per la realizzazione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service. All'interno del presente studio ci si focalizza su tre business model "paradigmatici", denominati rispettivamente "Self-made", "ESCO" e "Consip", le cui caratteristiche salienti sono dettagliate nel seguito.

2.2.1 Il modello Self-made

La Figura 15 mostra l'articolazione degli attori coinvolti nell'ambito del modello "Self-made", nell'ambito del quale **il Comune**, in analogia a quanto accade per qualsiasi altra tipologia di appalto per infrastrutture, **si rivolge** (se non ha, come nella maggior parte dei casi, competenze interne adeguate) **a studi di progettazione, ingegneria, architettura, come principale interlocutore per la definizione del progetto d'investimento**, i quali tipicamente si occupano dei rilievi necessari alla definizione dello stato dell'arte delle infrastrutture su cui intervenire.



Figura 15: Gli attori coinvolti nel modello "Self-made". (Fonte: Rielaborazione da Energy&Strategy, 2016)

Successivamente, si procede mediante bandi alla selezione dei fornitori per la messa in opera di quanto previsto. **Le formule contrattuali non sono basate sulla condivisione dei benefici economici tra i soggetti coinvolti (Energy Performance Contract - EPC)**. Per quanto concerne la modalità di finanziamento dell'investimento, **il Comune contribuisce al finanziamento del progetto in misura pari a x, essendo la restante parte del costo complessivo del progetto (pari a 1-x) finanziata mediante capitale proveniente da istituti di finanziamento**.

2.2.2 Il modello ESCo

La Figura 16 mostra l'articolazione degli attori coinvolti nell'ambito del **modello "ESCo"**, nell'ambito del quale il Comune promotore del progetto indice una **gara, definendo i confini e gli ambiti di intervento**.



Figura 16: Gli attori coinvolti nel modello "ESCo". (Fonte: Rielaborazione da Energy&Strategy, 2016)

La **ESCo** si occupa dell'**analisi preliminare dello stato attuale dell'infrastruttura**. A valle di ciò, la ESCo tipicamente indice una **gara di selezione per identificare i provider tecnologici**, occupandosi inoltre del **coordinamento e della gestione dei rapporti e delle relazioni con i diversi attori presenti in fase di realizzazione dell'intervento**. In taluni casi, la ESCo si occupa anche della produzione e fornitura di alcune tecnologie "smart" (come indicato dalla freccia in Figura).

Le formule contrattuali possono o meno essere basate sulla condivisione dei benefici economici tra i soggetti coinvolti (Energy Performance Contract - EPC). Per quanto concerne la modalità di finanziamento dell'investimento, ve ne possono essere diverse, a seconda del ruolo ricoperto dai soggetti coinvolti (ossia la ESCo, il Comune e gli istituti di credito). In particolare, nella modalità di finanziamento denominata **"Project Financing/FTT"⁹**, la ESCo contribuisce al finanziamento del progetto in misura pari a y, essendo la restante parte del costo complessivo del progetto (pari a 1-y) finanziata mediante capitale proveniente da Istituti di finanziamento. In questo caso, il Comune non contribuisce al finanziamento dell'iniziativa.

In secondo luogo, nella modalità di finanziamento denominata **"PPP¹⁰/FTT"**, il Comune contribuisce al finanziamento del progetto in misura pari a z, essendo la restante parte del costo complessivo del progetto (pari a 1-z) finanziata mediante capitale proveniente da ESCo e/o Istituti di finanziamento. In particolare, se, oltre alla ESCo, si ha il coinvolgimento di un istituto di finanziamento, l'iniziativa si configura come Finanziamento Tramite Terzi (FTT).

2.2.3 Il modello Consip

Una variante al modello "Project Financing/FTT" è rappresentata dal modello **"Consip"** (si veda Figura 17).



Figura 17: Gli attori coinvolti nel modello "Consip" (Fonte: Rielaborazione da Energy&Strategy, 2016)

⁹ Finanziamento Tramite Terzi (FTT)

¹⁰ Partenariato Pubblico Privato (PPP)

La differenza principale tra il “modello” Consip e Project Financing risiede nella durata tipica dell’iniziativa, tipicamente pari a 9 anni nel caso Consip e 15 anni nel caso Project Financing. Se $y < 100\%$, ossia se l’Istituto di finanziamento partecipa al finanziamento del progetto, l’iniziativa si configura come Finanziamento Tramite Terzi (FTT). In tali circostanze, il Comune non contribuisce al finanziamento del progetto.

La Tabella 8 riepiloga i principali soggetti che possono essere coinvolti per il finanziamento degli interventi di riqualificazione di un’infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service ed il rispettivo ruolo all’interno delle diverse modalità di finanziamento oggetto d’analisi.

Tabella 8: Le modalità di finanziamento degli interventi di riqualificazione di un’infrastruttura di Pubblica Illuminazione oggetto d’analisi

MODALITÀ DI FINANZIAMENTO	ATTORI COINVOLTI		
	Comune	ESCo	Istituti di finanziamento
Autofinanziamento	$x \leq 100\%$	-	$1 - x$
Project Financing / FTT	-	$y \leq 100\%$	$1 - y$
PPP / FTT	$z \leq 30\%$	$1 - z$	
Consip / FTT	-	$y \leq 100\%$	$1 - y$

La Tabella 9 mette a confronto le modalità di finanziamento analizzate rispetto a 9 diverse aree tematiche di influenza che ne influenzano la possibilità di utilizzo da parte dei Comuni, mettendone così in evidenza i relativi vantaggi e svantaggi.

Tabella 9: Confronto tra le modalità di finanziamento degli interventi di riqualificazione di un’infrastruttura di Pubblica Illuminazione oggetto d’analisi (Fonte: CRIET & ENEA, 2016)

Aree tematiche	Finanziamento diretto	PPP	FTT	Consip
Competenze necessarie	++++	+++	++	+
Superamento dei vincoli di bilancio	-	++++	++++	++
Disponibilità di risorse per l’investimento	++++	++	+	+
Complessità svolgimento attività prodromiche	++++	++++	++	++
Complessità della gestione procedure di gara	++++	++	+	+
Complessità nella fase d’esecuzione dei lavori	++++	++	+	+
Libertà nelle scelte del Comune	++++	+++	++	+
Grado di ripartizione dei rischi	-	++	+++	+++
Crescita delle competenze del Comune	++++	+++	++	+

Tra le variabili che possono influenzare la scelta della modalità di finanziamento da parte dei Comuni, un primo importante aspetto riguarda il grado di competenze di cui l’amministrazione comunale deve disporre per poter governare al meglio lo strumento finanziario prescelto per l’esecuzione degli interventi di riqualificazione di un’infrastruttura di Pubblica Illuminazione. Competenze che sono richieste sia per la gestione delle attività direttamente correlate con le operazioni di finanziamento, ma anche per attività legate alla gestione delle procedure di gara ed alla realizzazione del progetto stesso, quali la previsione delle risorse che dovranno essere messe a disposizione dell’operazione, dei tempi di esecuzione dei lavori e di quelli di rientro dell’investimento. Un’altra variabile che può influenzare fortemente la scelta della modalità di finanziamento da parte dei Comuni riguarda la disponibilità di risorse finanziarie necessarie per

realizzare l'investimento, fortemente legata al contributo offerto dalle diverse forme di finanziamento al superamento dei vincoli di bilancio che gravano sui Comuni¹¹.

2.3 Il modello di simulazione

All'interno di questa sezione è presentato il modello per la valutazione tecnico-economica degli interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service oggetto d'analisi.

In particolare, gli interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione sono declinati sulla base di diverse modalità di finanziamento di tali interventi illustrate nel Capitolo 3, ossia: "autofinanziamento" (da parte del Comune), Consip, Project Financing e Partenariato Pubblico Privato (PPP), cui corrispondono i quattro modelli di simulazione in formato MS Excel sviluppati *ad hoc*¹².

Al fine di agevolare l'utilizzo del modello di simulazione, all'interno dello stesso sono riportati i prezzi medi di riferimento di ciascun CAPEX ed OPEX, emersi sia da interviste con i maggiori operatori del settore che dall'analisi di progetti realizzati ed in fase di realizzazione. L'utente del modello di simulazione sarà libero di modificare tali prezzi in base ai valori puntuali specifici riferiti al progetto che si intende valutare.

Nelle sezioni successive si riportano i dettagli relativi all'impostazione ed utilizzo del modello di simulazione, con riferimento al modello di finanziamento denominato "autofinanziamento" ed (in forma aggregata) alle altre modalità di finanziamento (essendo essi realizzati secondo logiche tra loro affini).

Il modello di simulazione permette di valutare la bontà del progetto d'investimento, da un punto di vista sia economico che socio-ambientale, assumendo diverse prospettive: la prospettiva del Comune, nel caso di progetto finanziato mediante "autofinanziamento", e la prospettiva del soggetto investitore (diverso dal Comune, tipicamente coincidente con una ESCo, nel caso delle altre modalità di finanziamento).

2.3.1 Il modello di simulazione - modalità di finanziamento "autofinanziamento"

Il modello di simulazione per interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service, nel caso in cui la modalità di finanziamento sia l'autofinanziamento (*in toto* od in parte dal Comune), è impostato come dettagliato nel seguito:

1. **Dimensionamento dell'intervento "smart adaptive lighting + telegestione"**, che viene effettuato impostando i seguenti valori (si veda Figura 18):
 - a. **la lunghezza complessiva (in metri) delle strade oggetto dell'intervento di riqualificazione, suddivise per tipologia, che permette di determinare il numero di punti luce oggetto dell'intervento;**
 - b. **il numero medio di punti luce connessi ad un quadro elettrico, che permette di determinare il numero di quadri elettrici oggetto dell'intervento.** Se tale valore non dovesse essere noto, il modello di simulazione considera automaticamente il valore medio di 80 lampioni per quadro elettrico¹³.

¹¹ Si rimanda a CRIET & ENEA, 2016) per una trattazione esaustiva del tema.

¹² Il Finanziamento Tramite Terzi (FTT) si configura come un sottoinsieme di Partenariato Pubblico Privato, Project Financing e Consip, nel caso in cui essi prevedano un ruolo attivo da parte di istituti di finanziamento.

¹³ Valore medio stimato sulla base dell'analisi di un campione di 50 progetti di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione, in cui il suddetto rapporto varia da un minimo di circa 30 ad un massimo di oltre 120 lampioni per quadro elettrico.

- c. Il **numero di incroci** presenti in ciascuna strada. Tale dato è richiesto in quanto tipicamente si prevede di installare (almeno) un sensore di monitoraggio del traffico per ciascun incrocio. Nel caso in cui si impostasse un numero di sensori – passaggio “d” - inferiore al numero di incroci, il modello restituirebbe un messaggio di *warning*, consentendo in ogni caso di procedere con le successive elaborazioni;
- d. Il **numero di sensori**, distinti per categoria TAI o FAI (ad esempio, infrarossi/radar/presenza, telecamera smart, sensore advanced), che si intende installare. Qualora si intenda installare delle telecamere smart è necessario selezionare tramite un menù a tendina i pacchetti software che si intendono installare su tali telecamere per tener conto di eventuali variazioni di prezzo tra i software.

Tipologia di strada	Categoria II	lunghezza complessiva strada oggetto d'intervento per tipologia [m]	lunghezza strada oggetto d'intervento per tipologia [m]	intersezioni strada oggetto d'intervento per tipologia [n]	Consumo energetico specifico (kWh/m2/anno)	#incroci	#nodi punti luce a quadro	#effettivi punti luce a quadro	#lampioni classica	#quadrati classico
Strada 1	M5		6		0,3		00	0	0	0
Strada 2			7		1,1		00	0	0	0
Strada 3	M4		00		1,1		00	0	0	0
Strada 4			7		1,5		00	0	0	0
Strada 5			8		1,5		00	0	0	0
Strada 6	M3		00		1,5		00	0	0	0
Strada 7			13		1,5		00	0	0	0
Strada 8	M2		00		2,45		00	0	0	0
Strada 9	M1		11		2,4		00	0	0	0
Strada 10	M2		4		2,43		00	0	0	0
Strada 11	M0				2,4		00	0	0	0
Strada 12	M2				2,45		00	0	0	0
Strada 13	M0				1,5		00	0	0	0
Strada 14	M4				1,1		00	0	0	0
Strada 15	M5				0,3		00	0	0	0
TOTALE		0					0	0	0	0

Smart Adaptive Lighting	NP	È presente un impianto a regolazione profonda?	si	Costo di controllo	si	Costo di controllo	
Smart Adaptive Lighting	T A I	Numero minimo di sensori installati	Il numero minimo di sensori installati dovrebbe essere almeno pari al numero di incroci			È possibile avere un impianto TAI	
		Sensore traffico standard					
		Telecamera smart - 1 pacchetto software					
		Telecamera smart - 2 pacchetti software					
		Telecamere smart - 3 pacchetti software					
	FAI	Sensore advanced	Il numero minimo di sensori installati dovrebbe essere almeno pari al numero di incroci				È possibile avere un impianto FAI
		TOTALE - NP					
		TOTALE - TAI					
		TOTALE - FAI					
		TOTALE					

Figura 18: Screenshot del foglio di calcolo relativo al dimensionamento dell'intervento “smart adaptive lighting + telegestione”

- 2. **Dimensionamento dell'intervento smart street service**, che viene effettuato impostando il **numero di sensori**, distinti per categoria, **che si intende installare** (si veda Figura 19), dichiarando se si intende implementare il PELL selezionando “si” o “no” su un apposito menù a tendina. È altresì necessario dichiarare se è già presente un impianto di telegestione cui verranno aggiunti gli smart street service e, in caso di risposta affermativa, si chiede di inserire il costo annuale del software di telegestione (valore che verrà utilizzato in seguito – si veda passaggio “4b”).

Smart Street Service	Sistemi di monitoraggio del traffico	Sistemi di monitoraggio del traffico		Numero sensori	Numero sensori	Costo sensori
		PELL	Numero sensori			
Smart Street Service	A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB AC AD AE AF AG AH AI AJ AK AL AM AN AO AP AQ AR AS AT AU AV AW AX AY AZ BA BB BC BD BE BF BG BH BI BJ BK BL BM BN BO BP BQ BR BS BT BU BV BW BX BY BZ CA CB CC CD CE CF CG CH CI CJ CK CL CM CN CO CP CQ CR CS CT CU CV CW CX CY CZ DA DB DC DD DE DF DG DH DI DJ DK DL DM DN DO DP DQ DR DS DT DU DV DW DX DY DZ EA EB EC ED EE EF EG EH EI EJ EK EL EM EN EO EP EQ ER ES ET EU EV EW EX EY EZ FA FB FC FD FE FF FG FH FI FJ FK FL FM FN FO FP FQ FR FS FT FU FV FW FX FY FZ GA GB GC GD GE GF GG GH GI GJ GK GL GM GN GO GP GQ GR GS GT GU GV GW GX GY GZ HA HB HC HD HE HF HG HH HI HJ HK HL HM HN HO HP HQ HR HS HT HU HV HW HX HY HZ IA IB IC ID IE IF IG IH II IJ IK IL IM IN IO IP IQ IR IS IT IU IV IW IX IY IZ JA JB JC JD JE JF JG JH JI JJ JK JL JM JN JO JP JQ JR JS JT JU JV JW JX JY JZ KA KB KC KD KE KF KG KH KI KJ KL KM KN KO KP KQ KR KS KT KU KV KW KX KY KZ LA LB LC LD LE LF LG LH LI LJ LK LL LM LN LO LP LQ LR LS LT LU LV LW LX LY LZ MA MB MC MD ME MF MG MH MI MJ MK ML MN MO MP MQ MR MS MT MU MV MW MX MY MZ NA NB NC ND NE NF NG NH NI NJ NK NL NM NO NP NQ NR NS NT NU NV NW NX NY NZ OA OB OC OD OE OF OG OH OI OJ OK OL OM ON OO OP OQ OR OS OT OU OV OW OX OY OZ PA PB PC PD PE PF PG PH PI PJ PK PL PM PN PO PP PQ PR PS PT PU PV PW PX PY PZ QA QB QC QD QE QF QG QH QI QJ QK QL QM QN QO QP QQ QR QS QT QU QV QW QX QY QZ RA RB RC RD RE RF RG RH RI RJ RK RL RM RN RO RP RQ RR RS RT RU RV RW RX RY RZ SA SB SC SD SE SF SG SH SI SJ SK SL SM SN SO SP SQ SR SS ST SU SV SW SX SY SZ TA TB TC TD TE TF TG TH TI TJ TK TL TM TN TO TP TQ TR TS TT TU TV TW TX TY TZ UA UB UC UD UE UF UG UH UI UJ UK UL UM UN UO UP UQ UR US UT UU UV UW UX UY UZ VA VB VC VD VE VF VG VH VI VJ VK VL VM VN VO VP VQ VR VS VT VU VV VW VX VY VZ WA WB WC WD WE WF WG WH WI WJ WK WL WM WN WO WP WQ WR WS WT WU WV WW WX WY WZ XA XB XC XD XE XF XG XH XI XJ XK XL XM XN XO XP XQ XR XS XT XU XV XW XX XY XZ YA YB YC YD YE YF YG YH YI YJ YK YL YM YN YO YP YQ YR YS YT YU YV YW YX YZ ZA ZB ZC ZD ZE ZF ZG ZH ZI ZJ ZK ZL ZM ZN ZO ZP ZQ ZR ZS ZT ZU ZV ZW ZX ZY ZZ					

Figura 19: Screenshot del foglio di calcolo relativo al dimensionamento dell'intervento smart street services

- 3. **Stima dei costi di investimento (CAPEX)**, che includono i costi d’acquisto dei sistemi hardware e software che caratterizzano gli interventi e la relativa installazione, con riferimento a:
 - a. $Costo_{regolatori\ punti\ luce} = Costo_{Regolatore\ punto\ luce} * Numero_{punti\ luce}$
 - b. $Costo_{gateway\ nel\ quadro} = Costo_{gateway\ nel\ quadro} * Numero_{quadri\ elettrici}$

- c. $Costo_{\text{sensori monitoraggio traffico-TAI}} = Costo_{\text{sensore standard-TAI}} * Numero_{\text{sensori standard}} + Costo_{\text{telecamera smart}} * Numero_{\text{telecamere smart-TAI}}$
- d. $Costo_{\text{sensori advanced}} = Costo_{\text{sensore advanced}} * Numero_{\text{sensori advanced}}$
- e. $Costo_{\text{smart meter (PELL)}} = Costo_{\text{smart meter}} * Numero_{\text{quadri elettrici}}$
- f. $Costo_{\text{sensori monitoraggio traffico-SSS}} = Costo_{\text{sensore standard-SSS}} * Numero_{\text{sensori "standard"}} + Costo_{\text{telecamera smart-monitoraggio traffico}} * Numero_{\text{telecamere smart}}$
- g. $Costo_{\text{sensori parcheggi}} = Costo_{\text{sensore magnetico wireless}} * Numero_{\text{sensori magnetici wireless}} + Costo_{\text{telecamera smart (parcheggi)}} * Numero_{\text{telecamere smart (parcheggi)}}$
- h. $Costo_{\text{parcometri}} = Costo_{\text{parcometro}} * Numero_{\text{parcometri}}$
- i. $Costo_{\text{sensori ambientali}} = Costo_{\text{sensori standard}} * Numero_{\text{sensori standard}} + Costo_{\text{centralina meteo}} * Numero_{\text{centraline meteo}} + Costo_{\text{sensori advanced}} * Numero_{\text{sensori advanced}}$
- j. $Costo_{\text{pannelli a messaggio variabile}} = Costo_{\text{pannello a messaggio variabile}} * Numero_{\text{pannelli a messaggio variabile}}$
- k. $Costo_{\text{totem esterni}} = Costo_{\text{totem esterni}} * Numero_{\text{totem esterni}}$
- l. $Costo_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}} = Costo_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}} * Numero_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}}$
- m. $Costo_{\text{sensori videosorveglianza}} = Costo_{\text{telecamera smart}} * Numero_{\text{telecamere smart- videosorveglianza}} + Costo_{\text{telecamera standard}} * Numero_{\text{telecamere standard- videosorveglianza}}$
- n. $Costo_{\text{hotspot}} = Costo_{\text{hotspot}} * Numero_{\text{hotspot}}$
- o. $Costo_{\text{stazioni di ricarica bici}} = Costo_{\text{stazioni di ricarica bici}} * Numero_{\text{stazioni di ricarica bici}}$
- p. $Costo_{\text{censimento (PELL)}} = Costo_{\text{compilazione censimento PELL}} * Numero_{\text{punti luce}}$
- q. $Costo_{\text{Licenza software-telecamera smart-TAI}} = Costo_{\text{pacchetto software1}} * Numero_{\text{telecamere smart 1 pacchetto software-TAI}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}}) * Numero_{\text{telecamere smart 2 pacchetti software-TAI}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}} + Costo_{\text{pacchetto software3}}) * Numero_{\text{telecamere smart 3 pacchetti software-TAI}}$
- r. $Costo_{\text{Licenza software-telecamera smart-SSS}} = Costo_{\text{pacchetto software1}} * Numero_{\text{telecamere smart 1 pacchetto software (monitoraggio traffico)}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}}) * Numero_{\text{telecamere smart 2 pacchetti software (monitoraggio traffico)}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}} + Costo_{\text{pacchetto software3}}) * Numero_{\text{telecamere smart 3 pacchetti software (monitoraggio traffico)}} + Costo_{\text{pacchetto software-parcheggi}} * Numero_{\text{telecamere smart (parcheggi)}} + Costo_{\text{pacchetto software-sicurezza}} * Numero_{\text{telecamere smart (videosorveglianza)}}$

- s. $Costo_{software\ prelievo\ dati} = 10.000\ euro$ Costo presente solo qualora i dati vengano inviati prima alla piattaforma Cloud (riservato agli interventi di riqualificazione in ottica smart adaptive lighting)
- t. $Costo_{installazione} = Costo_{installazione\ a\ punto\ luce} * (Numero_{punti\ luce} + Numero_{sensori\ monitoraggio\ traffico\ TAI} + Numero_{sensori\ advanced}) + \sum_{i=1}^{15} (Costo_{installazione\ sensore\ SSS_i} * Numero_{sensori\ SSS_i})^{14}$
- u. *Eventuali extra costi (es: progettazione, opere civili, messa a norma impianti)*

4. **Stima dei costi operativi (OPEX)**, che includono i costi operativi associati ai sistemi hardware e software che caratterizzano gli interventi nel corso della loro vita utile, con riferimento a:

- a. **Costi di trasmissione dei dati:** canone annuo per la trasmissione dei dati relativi al sistema di telecontrollo e gli smart street service in banda larga¹⁵. Il costo di trasmissione dei dati del sistema di telecontrollo è stato stimato considerando la presenza di un punto di accesso alla rete cellulare (in GPRS) per ogni gateway presente sui quadri. In altri termini, è stato considerato un costo medio di trasmissione per singolo gateway, stimato pari a 100 €/gateway, moltiplicato poi per il numero di gateway installati. Qualora fossero presenti sensori che necessitano della banda larga, si considera un costo di trasmissione dei dati pari a 50.000 euro indipendentemente dalla quantità di sensori presenti (valore definito in prima approssimazione, essendo fortemente dipendente dallo specifico progetto analizzato);
- b. **Costo del software:** canone annuo per la licenza d'uso del software di gestione del sistema di telegestione, degli impianti TAI o FAI e degli impianti smart street service, comprensivo di interventi di manutenzione ed eventuali aggiornamenti degli algoritmi. Tale costo è stato stimato pari a 4 €/punto luce (con riferimento ad applicazioni riguardanti un numero di punti luce elevato, nell'ordine delle migliaia).¹⁶ L'utilizzo di sensori "standard" nell'ambito dell'impianto TAI determina un costo aggiuntivo per il canone annuo per la licenza d'uso nell'ordine del 10%. Viceversa, l'utilizzo di telecamere smart nell'ambito dell'impianto TAI determina tipicamente un costo aggiuntivo iniziale (CAPEX) per la licenza d'uso dei pacchetti aggiuntivi del software (annoverato al punto 2 tra i costi d'investimento - CAPEX). L'utilizzo di sensori advanced nell'ambito dell'impianto FAI determina un costo aggiuntivo per il canone annuo per la licenza d'uso nell'ordine del 20%. Qualora negli impianti TAI o FAI si decidesse di inviare i dati ad una piattaforma Cloud, è necessario considerare il costo del canone annuale di tale piattaforma software da inserire manualmente nel foglio MS

¹⁴ In prima approssimazione, è ragionevole ipotizzare che il costo di installazione per i sensori necessari per il controllo adattivo sia il medesimo e pari al costo di installazione di un singolo punto luce. Il modello consente comunque di inserire dei valori di costo di installazione specifici per ciascuna tipologia di sensore, qualora rilevante.

¹⁵ Si ricorda che gli smart street service che funzionano in banda stretta sfruttano il sistema di trasmissione dei dati del telecontrollo.

¹⁶ Questo tipo di offerta è tipica di imprese che forniscono anche il servizio di elaborazione dei dati in cloud, report e statistiche. Una modalità di acquisto alternativa, che prevede il pagamento di un'unica fee iniziale, risulta ad oggi poco diffusa e ritenuta meno interessante dai soggetti intervistati.

Excel¹⁷. Per gli smart street service¹⁸, sia in banda stretta che in banda larga, è stato considerato un costo aggiuntivo del canone annuo per la licenza software nell'ordine del:

- 10% qualora venga implementata una tipologia di sensore;
- 20% qualora vengano implementati due tipologie di sensori;
- 30% qualora vengano implementati tre o più tipologie di sensori.¹⁹

5. **Stima dei benefici associati all'investimento**, con riferimento a:

- Variazione costi di manutenzione:** variazione dei costi annui di manutenzione dovuta alla migliore programmazione dell'attività manutentiva ottenibile grazie al telecontrollo, stimabili sulla base della variazione percentuale rispetto ai costi di manutenzione ante intervento. Nel caso in cui sia in essere un contratto di manutenzione a canone fisso annuale, tale variazione dei costi non risulterebbe differenziale ai fini della valutazione economica, pertanto il relativo flusso di cassa sarebbe nullo. All'eventuale risparmio legato alla manutenzione, sono sottratti i costi di manutenzione dovuti agli smart street service, generati in particolare da telecamera standard e hotspot (si ipotizza che la manutenzione per gli altri smart street service sia trascurabile); in entrambi i casi, i costi annuali di manutenzione sono stimati pari al 10% del CAPEX relativo ai sensori considerati;
- Variazione costi per l'energia elettrica:** variazione dei consumi annui di energia elettrica (e del relativo costo) dovuta al telecontrollo ed alla gestione adattiva, stimabili sulla base della variazione percentuale rispetto ai consumi di energia elettrica ante intervento. In particolare, i consumi ante intervento sono stati calcolati utilizzando i valori condivisi da ENEA per il consumo al m² illuminato all'anno (per ciascuna tipologia di strada), mentre i consumi post intervento sono stimati sulla base del risparmio percentuale mediamente ottenibile grazie all'impianto a regolazione predefinita, all'impianto TAI o all'impianto FAI, a seconda della tipologia di impianto adattivo implementata. Il prezzo medio dell'energia elettrica è fissato pari a 0,14 €/kWh. L'installazione di smart street service comporta un consumo trascurabile di energia elettrica e nessun risparmio quantificabile in termini di energia elettrica.
- Benefici ambientali:** variazione delle emissioni di CO₂ legata alla variazione dei consumi di energia elettrica (dovuta al telecontrollo ed alla gestione adattiva). Al fine di calcolare questo beneficio, il risparmio di energia elettrica, espresso in kWh, è stato convertito in kg di CO₂ risparmiati²⁰, moltiplicati per il prezzo medio nell'anno 2017 del valore della CO₂ nell'ambito del meccanismo EU-ETS²¹. Il foglio di calcolo permette di scegliere se considerare o meno il beneficio ambientale all'interno del Business Plan.
- Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti:** volume d'affari generato dall'installazione delle componenti hardware abilitanti il progetto. Questo beneficio è pari

¹⁷ Il CAPEX relativo al software di prelievo dati, stimato pari a 10.000 euro, viene inserito automaticamente rispondendo in maniera affermativa alla domanda "I dati vengono inviati prima alla piattaforma cloud?" situata nella sezione "Trasmissione dati" del foglio Excel.

¹⁸ Escluso il PELL che richiede invece un costo del software pari a 500 euro l'anno.

¹⁹ L'aumento del canone annuale del software è a discrezione della software-house che fornisce il servizio; non vi sono particolari criticità di natura tecnica legate all'implementazione degli algoritmi per l'integrazione di diversi sensori (tra cui sensori "standard" di monitoraggio del traffico), pertanto l'aumento del costo annuale del software dipende *in primis* dalla strategia commerciale della software-house.

²⁰ Il valore del rapporto di conversione è pari a 0,385 kg di CO₂/kWh_{el} come indicato dal PAEE 2014

²¹ Fonte: SendeCO2

al valore dell'investimento depurato del costo di installazione dei componenti. Sono altresì trascurati gli eventuali extra-costi, di cui non è nota a priori la relativa natura.

- e. **Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione:** valore economico generato dalle nuove occupazioni legate alla produzione dei dispositivi hardware e software del progetto ed a quelle necessarie per realizzare le attività di installazione e manutenzione degli interventi. Al fine di calcolare la ricaduta occupazionale associata alle soluzioni tecnologiche è stato considerato il CAPEX generato dai dispositivi hardware e software a cui è stato sommato il valore del canone della piattaforma software riferito al primo anno²², moltiplicati per un fattore di Unità Lavorative Annue (ULA/milioni di euro di volume d'affari) pari a 3,5²³ moltiplicato per salario medio per ULA, stimato pari a 25.000 euro l'anno (Fonte: ISTAT). Al fine di calcolare la ricaduta occupazionale associata all'installazione/manutenzione delle soluzioni tecnologiche sono stati considerati i costi di installazione, di censimento del PELL e di manutenzione riferiti unicamente al primo anno di funzionamento dell'impianto, al netto di eventuali risparmi di manutenzione qualora fosse installato un impianto di Smart Adaptive Lighting, moltiplicati per un fattore di ULA/milioni di euro pari a 5,7²⁴ moltiplicati per il salario per ULA, anche in questo caso stimato pari a 25.000 euro l'anno.

6. **Stima della sostenibilità economica dell'investimento (PBT, NPV ed IRR)**, sulla base dei cash flow precedentemente stimati e dei seguenti parametri finanziari (necessari per la stima del costo medio ponderato del capitale – WACC²⁵), calcolato come media pesata del costo del capitale proprio (del Comune) e del capitale di terzi, secondo la seguente formula:

$$WACC = \frac{\text{Capitale di terzi}}{\text{Investimento totale}} * Costo_{\text{capitale di terzi}} + \frac{\text{Capitale del Comune}}{\text{Investimento totale}} * Costo_{\text{capitale Comune}}$$

In conclusione, il modello fornisce inoltre una stima dell'aumento della disponibilità di cassa del Comune derivanti dall'intervento "smart adaptive lighting + telegestione" (con particolare riferimento alle tre tipologie di beneficio elencate nel passaggio "5"), che possono essere reinvestite in smart street service, qualora questi non vengano visti come generatori di benefici di natura economica, bensì di benefici "intangibili" (es. benefici d'immagine) a beneficio del Comune stesso e dei cittadini. Il modello mostra il risparmio complessivo generato dalle tre tipologie di risparmio, opportunamente attualizzato. Inoltre, si fornisce una stima dei benefici di natura economico-socio-ambientale associata agli smart street service, con riferimento a quei benefici che possono essere monetizzati a priori (ossia in assenza di informazioni precise sullo specifico progetto, sebbene in prima approssimazione)

2.3.2 Il modello di simulazione - Altre modalità di finanziamento

²² Il valore del canone della piattaforma software viene considerato solo per il primo anno di funzionamento dell'impianto nell'ipotesi che la ricaduta occupazione del software non si ripeta ogni anno.

²³ Valore stimato come media del rapporto tra ULA e volume d'affari delle imprese che afferiscono ai codici ATECO relativi alla produzione dei dispositivi hardware e software oggetto del presente studio.

²⁴ Valore stimato come media del rapporto tra ULA e volume d'affari delle imprese che afferiscono ai codici ATECO relativi all'installazione e manutenzione dei dispositivi hardware e software oggetto del presente studio.

²⁵ Weighted Average Cost of Capital

Il modello di simulazione per interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service, nel caso in cui la modalità di finanziamento sia diversa dall'autofinanziamento da parte del Comune, è impostato come di seguito:

6. **Dimensionamento dell'intervento "smart adaptive lighting + telegestione"**, che viene effettuato impostando i seguenti valori (si veda Figura 18):
 - a. **la lunghezza complessiva** (in metri) **delle strade oggetto dell'intervento di riqualificazione**, suddivise per **tipologia**, che **permette di determinare il numero di punti luce oggetto dell'intervento**;
 - b. **il numero medio di punti luce connessi ad un quadro elettrico**, che **permette di determinare il numero di quadri elettrici oggetto dell'intervento**. Se tale valore non dovesse essere noto, il modello di simulazione considera automaticamente il valore medio di 80 lampioni per quadro elettrico²⁶.
 - c. **Il numero di incroci** presenti in ciascuna strada. Tale dato è richiesto in quanto tipicamente si prevede di installare (almeno) un sensore di monitoraggio del traffico per ciascun incrocio. Nel caso in cui si impostasse un numero di sensori – passaggio "d" - inferiore al numero di incroci, il modello restituirebbe un messaggio di *warning*, consentendo in ogni caso di procedere con le successive elaborazioni;
 - d. **Il numero di sensori**, distinti per categoria TAI o FAI (ad esempio, infrarossi/radar/presenza, telecamera smart, sensore advanced), che si intende installare. Qualora si intenda installare delle telecamere smart è necessario selezionare tramite un menù a tendina i pacchetti software che si intendono installare su tali telecamere per tener conto di eventuali variazioni di prezzo tra i software.

7. **Dimensionamento dell'intervento smart street service**, che viene effettuato impostando **il numero di sensori**, distinti per categoria, che si intende installare (si veda Figura 19), dichiarando se si intende implementare il PELL selezionando "si" o "no" su un apposito menù a tendina. È altresì necessario dichiarare se è già presente un impianto di telegestione cui verranno aggiunti gli smart street service e, in caso di risposta affermativa, si chiede di inserire il costo annuale del software di telegestione (valore che verrà utilizzato in seguito – si veda passaggio "4b").

3. **Stima dei costi di investimento (CAPEX)**, che includono i costi d'acquisto dei sistemi hardware e software che caratterizzano l'intervento e la relativa installazione, con riferimento a:
 - a. $Costo_{regolatori\ punti\ luce} = Costo_{Regolatore\ punto\ luce} * Numero_{punti\ luce}$
 - b. $Costo_{gateway\ nel\ quadro} = Costo_{gateway\ nel\ quadro} * Numero_{quadri\ elettrici}$
 - c. $Costo_{sensori\ monitoraggio\ traffico-TAI} = Costo_{sensore\ standard - TAI} * Numero_{sensori\ standard} + Costo_{telecamera\ smart} * Numero_{telecamere\ smart-TAI}$
 - d. $Costo_{sensori\ advanced} = Costo_{sensore\ advanced} * Numero_{sensori\ advanced}$
 - e. $Costo_{smart\ meter\ (PELL)} = Costo_{smart\ meter} * Numero_{quadri\ elettrici}$

²⁶ Valore medio stimato sulla base dell'analisi di un campione di 50 progetti di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione, in cui il suddetto rapporto varia da un minimo di circa 30 ad un massimo di oltre 120 lampioni per quadro elettrico.

- f. $Costo_{\text{sensori monitoraggio traffico-SSS}} = Costo_{\text{sensore standard-SSS}} * Numero_{\text{sensori standard}} + Costo_{\text{telecamera smart-monitoraggio traffico}} * Numero_{\text{telecamere smart}}$
- g. $Costo_{\text{sensori parcheggi}} = Costo_{\text{sensore magnetico wireless}} * Numero_{\text{sensori magnetici wireless}} + Costo_{\text{telecamera smart (parcheggi)}} * Numero_{\text{telecamera smart (parcheggi)}}$
- h. $Costo_{\text{parcometri}} = Costo_{\text{parcometro}} * Numero_{\text{parcometri}}$
- i. $Costo_{\text{sensori ambientali}} = Costo_{\text{sensori standard}} * Numero_{\text{sensori standard}} + Costo_{\text{centralina meteo}} * Numero_{\text{centraline meteo}} + Costo_{\text{sensori advanced}} * Numero_{\text{sensori advanced}}$
- j. $Costo_{\text{pannelli a messaggio variabile}} = Costo_{\text{pannello a messaggio variabile}} * Numero_{\text{pannelli a messaggio variabile}}$
- k. $Costo_{\text{totem esterni}} = Costo_{\text{totem esterni}} * Numero_{\text{totem esterni}}$
- l. $Costo_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}} = Costo_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}} * Numero_{\text{stazioni di ricarica pc o cellulari}}$
- m. $Costo_{\text{sensori videosorveglianza}} = Costo_{\text{telecamera smart}} * Numero_{\text{telecamere smart- videosorveglianza}} + Costo_{\text{telecamera standard}} * Numero_{\text{telecamere standard- videosorveglianza}}$
- n. $Costo_{\text{hotspot}} = Costo_{\text{hotspot}} * Numero_{\text{hotspot}}$
- o. $Costo_{\text{stazioni di ricarica bici}} = Costo_{\text{stazioni di ricarica bici}} * Numero_{\text{stazioni di ricarica bici}}$
- p. $Costo_{\text{censimento (PELL)}} = Costo_{\text{compilazione censimento PELL}} * Numero_{\text{punti luce}}$
- q. $Costo_{\text{Licenza software-telecamera smart-TAI}} = Costo_{\text{pacchetto software1}} * Numero_{\text{telecamere smart 1pacchetto software-TAI}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}}) * Numero_{\text{telecamere smart 2 pacchetti software-TAI}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}} + Costo_{\text{pacchetto software3}}) * Numero_{\text{telecamere smart 3 pacchetti software-TAI}}$
- r. $Costo_{\text{Licenza software-telecamera smart-SSS}} = Costo_{\text{pacchetto software1}} * Numero_{\text{telecamere smart 1pacchetto software (monitoraggio traffico)}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}}) * Numero_{\text{telecamere smart 2 pacchetti software (monitoraggio traffico)}} + (Costo_{\text{pacchetto software1}} + Costo_{\text{pacchetto software2}} + Costo_{\text{pacchetto software3}}) * Numero_{\text{telecamere smart 3 pacchetti software (monitoraggio traffico)}} + Costo_{\text{pacchetto software-parcheggi}} * Numero_{\text{telecamere smart (parcheggi)}} + Costo_{\text{pacchetto software-sicurezza}} * Numero_{\text{telecamere smart (videosorveglianza)}}$
- s. $Costo_{\text{software prelievo dati}} = 10.000 \text{ euro}$ Costo presente solo qualora i dati vengano inviati prima alla piattaforma Cloud (riservato agli interventi di riqualificazione in ottica smart adaptive lighting)
- t. $Costo_{\text{installazione}} = Costo_{\text{installazione a punto luce}} *$

$$\left(\text{Numero}_{\text{punti luce}} + \text{Numero}_{\text{sensori monitoraggio traffico TAI}} + \text{Numero}_{\text{sensori advanced}} \right) + \sum_{i=1}^{15} (\text{Costo}_{\text{installazione sensore SSS}_i} * \text{Numero}_{\text{sensori SSS}_i})^{27}$$

u. *Eventuali extra costi (es: progettazione, opere civili, messa a norma impianti)*

4. **Stima dei costi operativi (OPEX)**, che includono i costi operativi associati ai sistemi hardware e software che caratterizzano l'intervento nel corso della loro vita utile, con riferimento a:

- a. **Costi di trasmissione dei dati:** canone annuo per la trasmissione dei dati relativi al sistema di telecontrollo e gli smart street service in banda larga²⁸. Il costo di trasmissione dei dati del sistema di telecontrollo è stato stimato considerando la presenza di un punto di accesso alla rete cellulare (in GPRS) per ogni gateway presente sui quadri. In altri termini, è stato considerato un costo medio di trasmissione per singolo gateway, stimato pari a 100 €/gateway, moltiplicato poi per il numero di gateway installati. Qualora fossero presenti sensori che necessitano la banda larga, si considera un costo di trasmissione dei dati pari a 50.000 euro indipendentemente dalla quantità di sensori presenti (valore definito in prima approssimazione, essendo fortemente dipendente dallo specifico progetto analizzato);
- b. **Costo del software:** canone annuo per la licenza d'uso del software di gestione del sistema di telegestione, degli impianti TAI o FAI e degli impianti smart street service, comprensivo di interventi di manutenzione ed eventuali aggiornamenti degli algoritmi. Tale costo è stato stimato pari a 4 €/punto luce (con riferimento ad applicazioni riguardanti un numero di punti luce elevato, nell'ordine delle migliaia).²⁹ L'utilizzo di sensori "standard" nell'ambito dell'impianto TAI determina un costo aggiuntivo per il canone annuo per la licenza d'uso nell'ordine del 10%. Viceversa, l'utilizzo di telecamere smart nell'ambito dell'impianto TAI determina tipicamente un costo aggiuntivo iniziale (CAPEX) per la licenza d'uso dei pacchetti aggiuntivi del software (annoverato al punto 2 tra i costi d'investimento - CAPEX). L'utilizzo di sensori advanced nell'ambito dell'impianto FAI determina un costo aggiuntivo per il canone annuo per la licenza d'uso nell'ordine del 20%. Qualora negli impianti TAI o FAI si decidesse di inviare i dati ad una piattaforma Cloud, è necessario considerare il costo del canone annuale di tale piattaforma software da inserire manualmente nel foglio MS Excel³⁰. Per gli smart street service³¹, sia in banda stretta che in banda larga, è stato considerato un costo aggiuntivo del canone annuo per la licenza software nell'ordine del:
 - 10% qualora venga implementato una tipologia di sensore;
 - 20% qualora vengano implementati due tipologie di sensori;

²⁷ In prima approssimazione, è ragionevole ipotizzare che il costo di installazione per i sensori necessari per il controllo adattivo sia il medesimo e pari al costo di installazione di un singolo punto luce. Il modello consente comunque di inserire dei valori di costo di installazione specifici per ciascuna tipologia di sensore, qualora rilevante.

²⁸ Si ricorda che gli smart street service che funzionano in banda stretta sfruttano il sistema di trasmissione dei dati del telecontrollo.

²⁹ Questo tipo di offerta è tipica di imprese che forniscono anche il servizio di elaborazione dei dati in cloud, report e statistiche. Una modalità di acquisto alternativa, che prevede il pagamento di un'unica fee iniziale, risulta ad oggi poco diffusa e ritenuta meno interessante dai soggetti intervistati.

³⁰ Il CAPEX relativo al software di prelievo dati, stimato pari a 10.000 euro, viene inserito automaticamente rispondendo in maniera affermativa alla domanda "I dati vengono inviati prima alla piattaforma cloud?" situata nella sezione "Trasmissione dati" del foglio Excel.

³¹ Escluso il PELL che richiede invece un costo del software pari a 500 euro l'anno.

- 30% qualora vengano implementati tre o più tipologie di sensori.³²
- c. **Costi di manutenzione:** costi annuali di manutenzione dovuti agli smart street service, generati in particolare da telecamera standard e hotspot (si ipotizza che la manutenzione per gli altri smart street service sia trascurabile). In entrambi i casi, i costi annuali di manutenzione sono stimati pari al 10% del CAPEX relativo ai sensori considerati.
5. **Stima del flusso di cassa in ingresso**, con riferimento al “canone” annuo che il soggetto che realizza e finanzia (*in toto* od *in parte*) gli interventi riceve dal Comune in virtù della realizzazione dello stesso. In particolare, il modello permette *in primis* di stimare il valore del canone annuo “minimo” (mediante ricerca obiettivo), che rappresenta il valore di flusso di cassa in ingresso per il soggetto investitore necessario affinché i costi (CAPEX ed OPEX) lungo la vita utile dell’investimento attualizzati (comprensivi della marginalità³³ del soggetto investitore sul CAPEX), siano pari alla somma dei canoni annui attualizzati. In secondo luogo, a partire da tale valore minimo di riferimento, è possibile impostare il canone annuo che il soggetto investitore può/intende effettivamente richiedere per realizzare l’investimento.
6. **Stima delle imposte**, con riferimento all’ammontare delle imposte che il soggetto investitore (impresa) deve sostenere a seguito della realizzazione degli interventi³⁴. In particolare l’ammortamento è stato considerato considerando come vita fiscale degli asset l’intero orizzonte temporale di riferimento del progetto, mentre il valore delle imposte è stato stimato moltiplicando il valore dell’imponibile per l’aliquota fiscale considerata pari al 40%.
7. **Stima della sostenibilità economica dell’investimento (PBT, NPV ed IRR)**, sulla base dei cash flow precedentemente stimati e dei seguenti parametri finanziari (necessari per la stima del costo medio ponderato del capitale – WACC, calcolato come media pesata del costo del capitale proprio (del soggetto investitore), del capitale del Comune³⁵ e del capitale di terzi, secondo la seguente formula:

$$WACC = \frac{\text{Capitale di terzi}}{\text{Investimento totale}} * \text{Costo}_{\text{capitale di terzi}} + \frac{\text{Capitale del soggetto investitore}}{\text{Investimento totale}} * \text{Costo}_{\text{capitale del soggetto investitore}} + \frac{\text{Capitale del Comune}}{\text{Investimento totale}} * \text{Costo}_{\text{capitale Comune}}$$

Le **modalità di finanziamento** considerate in questa sezione **si differenziano per:**

- a. **La durata del contratto:** considerata pari a 9 anni nel caso Consip ed a 15 anni negli altri casi;

³² L’aumento del canone annuale del software è a discrezione della software-house che fornisce il servizio; non vi sono difficoltà di implementazione degli algoritmi per l’integrazione di diversi sensori (tra cui sensori “standard” di monitoraggio del traffico) per cui l’aumento del costo annuale del software dipende unicamente dalla strategia commerciale della software-house.

³³ Il valore della marginalità del soggetto investitore (con particolare riferimento alle ESCo) è un valore medio, stimato considerando un campione di 58 ESCo operanti nella Pubblica Illuminazione.

³⁴ Variazione dell’utile ante imposta dovuto alla variazione dei ricavi e dei costi, oltre che dall’ammortamento relativo agli asset oggetto dell’intervento (cosiddetto “effetto scudo fiscale”).

³⁵ Il capitale del Comune si considera unicamente nel caso di Partenariato Pubblico Privato (nei limiti imposti dalle normative nazionali e comunitarie a riguardo); nelle altre modalità di finanziamento questo è nullo.

- b. **Il valore iniziale dell'investimento:** considerato pari al 100% nei casi Consip e Project Financing; mentre nel caso del PPP non si considera il capitale fornito dal Comune.

Il modello di simulazione consente altresì di stimare i benefici associati all'investimento per il Comune, che si concretizzeranno alla fine della vita utile dell'investimento, con riferimento a:

- a. **Variazione costi di manutenzione:** variazione dei costi annui di manutenzione dovuta alla migliore programmazione dell'attività manutentiva ottenibile grazie al telecontrollo, stimabili sulla base della variazione percentuale rispetto ai costi di manutenzione ante intervento;
- b. **Variazione costi per l'energia elettrica:** variazione dei consumi annui di energia elettrica (e del relativo costo) dovuta al telecontrollo, stimabili sulla base della variazione percentuale rispetto ai consumi di energia elettrica ante intervento. In particolare, i consumi ante intervento sono stati calcolati utilizzando i valori condivisi da ENEA per il consumo al m² illuminato all'anno (per ciascuna tipologia di strada), mentre i consumi post intervento sono stimati sulla base del risparmio percentuale mediamente ottenibile grazie all'impianto a regolazione predefinita. Il prezzo medio dell'energia elettrica è fissato pari a 0,14 €/kWh.
- c. **Valorizzazione dei benefici ambientali:** variazione delle emissioni di CO₂ legata alla variazione dei consumi di energia elettrica (dovuta al telecontrollo ed alla gestione adattiva). Al fine di calcolare questo beneficio, il risparmio di energia elettrica, espresso in kWh, è stato convertito in kg di CO₂ risparmiati³⁶, moltiplicati per il prezzo medio nell'anno 2017 del valore della CO₂ nell'ambito del meccanismo EU-ETS³⁷. Il foglio di calcolo permette di scegliere se considerare o meno il beneficio ambientale all'interno del Business Plan.
- d. **Volume d'affari associato alle soluzioni tecnologiche abilitanti:** volume d'affari generato dall'installazione delle componenti hardware abilitanti il progetto. Questo beneficio è pari al valore dell'investimento depurato del costo di installazione dei componenti. Sono altresì trascurati gli eventuali extra-costi, di cui non è nota a priori la relativa natura.
- e. **Ricadute occupazionali associate alle soluzioni tecnologiche abilitanti ed alla loro installazione/manutenzione:** valore economico generato dalle nuove occupazioni legate alla produzione dei dispositivi hardware e software del progetto ed a quelle necessarie per realizzare le attività di installazione e manutenzione degli interventi. Al fine di calcolare la ricaduta occupazionale associata alle soluzioni tecnologiche è stato considerato il CAPEX generato dai dispositivi hardware e software a cui è stato sommato il valore del canone della piattaforma software riferito al primo anno³⁸, moltiplicati per un fattore di Unità Lavorative Annue (ULA/milioni di euro di volume d'affari) pari a 3,5³⁹ moltiplicato per salario medio per ULA, stimato pari a 25.000 euro l'anno (Fonte: ISTAT). Al fine di calcolare la ricaduta occupazionale associata all'installazione/manutenzione delle soluzioni tecnologiche sono stati considerati i costi di installazione, di censimento del PELL e di manutenzione riferiti unicamente al primo anno di funzionamento dell'impianto, al netto di eventuali risparmi di manutenzione qualora fosse installato un impianto di Smart Adaptive Lighting, moltiplicati per un fattore di ULA/milioni di euro

³⁶ Il valore del rapporto di conversione è pari a 0,385 kg di CO₂/kWh_{el} come indicato dal PAEE 2014

³⁷ Fonte: SendCO2

³⁸ Il valore del canone della piattaforma software viene considerato solo per il primo anno di funzionamento dell'impianto nell'ipotesi che la ricaduta occupazionale del software non si ripeta ogni anno.

³⁹ Valore stimato come media del rapporto tra ULA e volume d'affari delle imprese che afferiscono ai codici ATECO relativi alla produzione dei dispositivi hardware e software oggetto del presente studio.

pari a 5,7⁴⁰ moltiplicati per il salario per ULA, anche in questo caso stimato pari a 25.000 euro l'anno.

In conclusione, il modello fornisce inoltre una stima dell'aumento della disponibilità di cassa del Comune derivanti dall'intervento "smart adaptive lighting + telegestione" (con particolare riferimento alle tre tipologie di beneficio elencate nel passaggio "5"), che possono essere reinvestite in smart street service, qualora questi non vengano visti come generatori di benefici di natura economica, bensì di benefici "intangibili" (es. benefici d'immagine) a beneficio del Comune stesso e dei cittadini. Il modello mostra il risparmio complessivo generato dalle tre tipologie di risparmio, opportunamente attualizzato. Inoltre, si fornisce una stima dei benefici di natura economico-socio-ambientale associata agli smart street service, con riferimento a quei benefici che possono essere monetizzati *a priori* (ossia in assenza di informazioni precise sullo specifico progetto, sebbene in prima approssimazione).

⁴⁰ Valore stimato come media del rapporto tra ULA e volume d'affari delle imprese che afferiscono ai codici ATECO relativi all'installazione e manutenzione dei dispositivi hardware e software oggetto del presente studio.

3 Conclusioni

Le attività condotte nell'ambito del presente programma di ricerca hanno permesso di definire in maniera puntuale gli interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica "smart adaptive lighting" e "smart street services" e di inquadrarli dal punto di vista delle configurazioni tecnologiche di riferimento attraverso cui tali interventi possono essere realizzati.

Successivamente, all'interno dello studio sono stati analizzati i modelli di business per la realizzazione degli interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street services, con particolare enfasi sul ruolo dei diversi attori coinvolti nell'ambito di tali interventi e sulle modalità di finanziamento utilizzate, discutendone per ciascuno i principali vantaggi e criticità.

In terzo luogo, sono stati realizzati una serie di modelli per la valutazione tecnico-economica di interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica "smart adaptive lighting" e "smart street service". Per ciascuna delle modalità di finanziamento di tali interventi che caratterizzano i modelli di business analizzati, ossia "autofinanziamento" (da parte del Comune, in toto od in parte), Consip, Project Financing, Finanziamento Tramite Terzi (FTT) e Partenariato Pubblico Privato (PPP), è stato realizzato un modello di simulazione ad hoc, che consente inoltre di effettuare un'analisi di sensitività sulle diverse variabili che caratterizzano l'investimento.

In sintesi, si riporta nel seguito il dettaglio delle tecnologie abilitanti che caratterizzano le tre tipologie di interventi di riqualificazione dell'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica smart adaptive lighting e smart street service oggetto d'analisi, dei relativi costi associati e dei risparmi conseguibili.

La Tabella 10 riporta le informazioni relative all'impianto a regolazione predefinita abbinato ad un sistema di telegestione "punto-punto" (riferiti alla configurazione tecnologica maggiormente diffusa).

Tabella 10: Quadro sinottico delle tecnologie abilitanti un impianto a regolazione predefinita abbinato ad un sistema di telegestione "punto-punto", dei relativi costi associati e dei risparmi conseguibili

Tecnologie abilitanti		Costi (CAPEX ed OPEX)	Risparmi conseguibili	
		Costo acquisto ed installazione	Risparmio energia elettrica	Risparmio manutenzione
Hardware	Regolatore di flusso luminoso	95 €/u	15-30% costo ante intervento (medio 20%)	5-10% costo ante intervento
	Gateway	250 €/u		
Software di gestione	-	4 €/u*anno		
Sistema di trasmissione e dati	-	100 €/anno*gateway		

La Tabella 11 riporta le informazioni relative all'impianto "Traffic Adaptive Installation" abbinato ad un sistema di telegestione "punto-punto" (riferiti alla configurazione tecnologica maggiormente diffusa).

Tabella 11: Quadro sinottico delle tecnologie abilitanti un impianto “Traffic Adaptive Installation” abbinato ad un sistema di telegestione “punto-punto”, dei relativi costi associati e dei risparmi conseguibili

Tecnologie abilitanti		Costi (CAPEX ed OPEX)	Risparmi conseguibili	
		Costo acquisto ed installazione	Risparmio energia elettrica	Risparmio manutenzione
Hardware	Regolatore di flusso luminoso	95 €/u	30-60% costo ante intervento (medio 40%)	5-10% costo ante intervento
	Gateway	250 €/u		
	Sensore monitoraggio traffico standard	390 €/u		
	Telecamera a smart	1.040 €/u		
Software di gestione	-	sensore di monitoraggio del traffico standard: 4,4 €/anno* #regolatori di flusso luminoso telecamera smart: #pacchetti software * 500 €/pacchetto software		
Sistema di trasmissione e dati	-	100 €/anno*gateway		

La Tabella 12 riporta il dettaglio delle informazioni relative all’impianto “Full Adaptive Installation” abbinato ad un sistema di telegestione “punto-punto” (riferiti alla configurazione tecnologica maggiormente diffusa).

Tabella 12: Quadro sinottico delle tecnologie abilitanti un impianto “Full Adaptive Installation” abbinato ad un sistema di telegestione “punto-punto”, dei relativi costi associati e dei risparmi conseguibili

Tecnologie abilitanti		Costi (CAPEX ed OPEX)	Risparmi conseguibili	
		Costo acquisto ed installazione	Risparmio energia elettrica	Risparmio manutenzione
Hardware	Regolatore di flusso luminoso	95 €/u	40-70% costo ante intervento (medio 50%)	5-10% costo ante intervento
	Gateway	250 €/u		
	Sensore monitoraggio traffico advanced	5.040 €/u		
Software di gestione	-	sensore di monitoraggio del traffico advanced: 4,8 €/anno* #regolatori di flusso luminoso		
Sistema di trasmissione e dati	-	100 €/anno*gateway		

La Tabella 13 riporta il dettaglio delle informazioni relative agli impianti smart street service⁴¹.

Tabella 13: Quadro sinottico delle tecnologie abilitanti gli smart street service e dei relativi costi associati

Tecnologie abilitanti			Costi (CAPEX ed OPEX)
			Costo acquisto ed installazione
Hardware	Telecontrollo	Regolatore di flusso luminoso	95 €/u
		Gateway	250 €/u
	PELL	Smart meter	1.000 €/u
	Monitoraggio traffico	Sensore monitoraggio traffico standard	390 €/u
		Telecamera smart	1.040 €/u
	Smart Parking	Sensore magnetico wireless	250 €/u
		Telecamera smart	1.040 €/u
		Parcometro	9.000 €/u
	Monitoraggio ambientale	Sensore standard	290 €/u
		Centralino meteo	1.540 €/u
	Totem e pannelli a messaggio variabile	Pannello da esterni	10.000 €/u
		Totem da esterni	22.000 €/u
	Stazioni di ricarica	Pc o cellulari	14.000 €/u
		Bici	17.000 €/u
	Videosorveglianza	Telecamera smart	1.040 €/u
		Telecamera standard	7.500 €/u
	Connettività Wifi	Hotspot	4.700 €/u
Software di gestione	-	<ul style="list-style-type: none"> 1 tipologia di sensore abilitante uno SSS: 4,4 	

⁴¹ Per il dettaglio sui benefici derivanti dagli smart street service, si veda Capitolo 2.2

		<p>€/anno* #regolatori di flusso luminoso⁴²</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 tipologie di sensori abilitanti SSS: 4,8 €/anno* #regolatori di flusso luminoso⁴³ • 3 o più tipologie di sensori abilitanti SSS: 5,2 €/anno* #regolatori di flusso luminoso⁴⁴ <p>telecamera smart: #pacchetti software * 500 €/pacchetto software</p>
Sistema di trasmissione dati	-	<ul style="list-style-type: none"> • Banda stretta: 100 €/anno * gateway⁴⁵ • Banda larga: 50.000 euro/anno

Lo studio condotto lascia spazio per possibili ulteriori sviluppi della ricerca sul tema. In primo luogo, un possibile sviluppo dell'attività riguarda l'applicazione del modello di valutazione tecnico-economica di interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica "smart adaptive lighting" e "smart street service" a casi reali di realizzazione di tali interventi, al fine di testarne il funzionamento "sul campo". Un secondo filone di ricerca potrebbe riguardare la quantificazione del potenziale di mercato in Italia degli interventi di riqualificazione di un'infrastruttura di Pubblica Illuminazione in ottica "smart adaptive lighting" e "smart street service" e la stima delle ricadute di natura economica, sociale ed ambientale sottese a diversi possibili scenari di diffusione attesa di tali interventi.

⁴² Questi valori sono validi quando l'impianto di telegestione è installato unitamente agli smart street service implementati; qualora l'impianto di telegestione sia già presente si considera un costo aggiuntivo del canone annuo per la licenza software nell'ordine del 10%

⁴³ Questi valori sono validi quando l'impianto di telegestione è installato unitamente agli smart street service implementati; qualora l'impianto di telegestione sia già presente si considera un costo aggiuntivo del canone annuo per la licenza software nell'ordine del 20%

⁴⁴ Questi valori sono validi quando l'impianto di telegestione è installato unitamente agli smart street service implementati; qualora l'impianto di telegestione sia già presente si considera un costo aggiuntivo del canone annuo per la licenza software nell'ordine del 30%

⁴⁵ Questo costo si considera unicamente se l'impianto di telegestione è installato unitamente agli smart street service

4 Appendice I: Lista delle imprese intervistate

Acea
Algorab
Axis Communications
Cisco Systems
Citelum
Cogiatech
Comark
Digital lighting
Enel
Enerqos
Gemmo
Innowatio - Yousave
Luminibus
Menowatt-GE
Milano4you
Osram
Philips
Reverberi
Schreder
Smart-I
Tecnosens
Valtellina
VeSTA
Zumbotel

5 Appendice II: Questionario

I temi trattati con i soggetti intervistati per la sezione dedicata agli interventi di Smart Adaptive Lighting + sistema di Telegestione sono stati:

- Identificazione delle configurazioni alternative dell'intervento
- Identificazione delle voci di costo (CAPEX, OPEX, installazione, etc.)
- Quantificazione delle voci di costo in base ad opportune proxy (ad esempio, €/unità, €/punto luce)
- Identificazione dei benefici attesi
- Quantificazione dei benefici attesi
- Informazioni su progetti realizzati e in fase di realizzazione

I temi trattati con i soggetti intervistati per la sezione dedicata agli interventi di Smart Street Service sono stati:

- Identificazione delle configurazioni alternative dell'intervento
- Identificazione delle voci di costo (CAPEX, OPEX, installazione, etc.)
- Quantificazione delle voci di costo in base ad opportune proxy (es. €/unità, €/punto luce)
- Identificazione dei benefici attesi
- Quantificazione dei benefici attesi
- Informazioni su progetti realizzati e in fase di realizzazione

6 Riferimenti bibliografici

M. Annunziato, F. Bucci, C. Meloni, F. Moretti, S. Pizzuti "Sviluppo sistemi intelligenti per la gestione della Smart Street", Report RdS/2011/198

M. Annunziato, P. Clerici Maestosi, S. Pizzuti, "Città sostenibili e smart cities: partecipazione a network nazionali ed internazionali", Report RdS/2012/284

M. Annunziato, C. Honorati Consonni, F. De Lia, S. Fumagalli, G. Giuliani, N. Gozo, G. Leonardi, C. Meloni, D. Santino, A. Scognamiglio, V. Albonico, G. Bianchi, F. Bucci, F. Peverelli, G. Secco, N. Sperotto, C. Birtolo, E. Corti, R. Lanciano, S. Mascia, C. Ferrari, A. Pascucci, G. Maraviglia, C. Banchetti, S. Conti, S. Aprea, B. Rizzuti, M.R. Longo, R. Clementoni, A. Rocchi, V. Menghini, M.R. Nuzzo, A. Pizzuti, C. Antonaci, A. Battistini, L. Cellucci, L. Monti, F. Gugliermetti, F. Bisegna, A. Di Gregorio, R. Chierici, C. Gallerini, V. Vangelista, P. Giannarelli, G. Belardi, F. Ciabatti, D. Poli, L. Perni, "LINEE GUIDA: I fondamentali per una gestione efficiente degli impianti di pubblica illuminazione", Report RdS/2012/278 Rev.1

L. Anthopoulos, P. Fitsilis, "Understanding Smart City Business Models: A comparison", 16th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT2014), IEEE, 2014.

C. T. Barba, M. Á. Mateos, P. R. Soto, A. M. Mezher and M. A. Igartua, "Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights," 2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Alcalá de Henares, 2012, pp. 902-907.

J. Bélissent, "Getting Clever About Smart Cities: New Opportunities Require New Business Model", Forrester Research, Inc., November 2, 2010

M. Castro, A. J. Jara and A. F. G. Skarmeta, "Smart Lighting Solutions for Smart Cities", 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Barcelona, 2013, pp. 1374-1379.

X. Chen, E. Santos-Neto, M. Ripeau, "Crousourcing for on-street smart parking", Energy Procedia, Volume 111, 2017, Pages 790-799.

CRIET and ENEA, "Rapporto di ricerca per l'identificazione e valutazione di business models implementabili negli interventi di riqualificazione degli impianti di illuminazione pubblica", Report RdS/PAR2015/003

R. Díaz-Díaz, L. Muñoz, D. Pérez-González, "Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander", Future Generation Computer Systems, Volume 76, 2017, Pages 198-214.

S. Djahel, R. Doolan, G. M. Muntean and J. Murphy, "A Communications-Oriented Perspective on Traffic Management Systems for Smart Cities: Challenges and Innovative Approaches," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 125-151, Firstquarter 2015

P. Elejoste, I. Angulo, A. Perallos, A. Chertudi, I.J.G. Zuazola, A. Moreno, L. Azpilicueta, J.J. Astrain, F. Falcone and J. Villadangos, "An Easy to Deploy Street Light Control System Based on Wireless Communication and LED Technology", *Sensors*. 2013; 13(5):6492-6523.

ENERGY & STRATEGY GROUP (2015) Smart City Report

ENERGY & STRATEGY GROUP (2016) Efficient & Smart Lighting Report

G. S. Khekare and A. V. Sakhare, "A smart city framework for intelligent traffic system using VANET," 2013 International Multi-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s), Kottayam, 2013, pp. 302-305.

V. Kostakos, T. Ojala and T. Juntunen, "Traffic in the Smart City: Exploring City-Wide Sensing for Traffic Control Center Augmentation," in IEEE Internet Computing, vol. 17, no. 6, pp. 22-29, Nov.-Dec. 2013.

F. Marino, F. Leccese, S. Pizzuti, "Adaptive Street Lighting Predictive Control", Energy Procedia, Volume 111, 2017, Pages 790-799, ISSN 1876-6102

M.G. Messina, G. Valenti, F. Carapellucci, G. Fusco, C. Colombaroni, A. Gemma, G. Ciccarelli, S. Lo Sardo, "Sistema di monitoraggio e previsione della mobilità veicolare per l'integrazione tra la rete della illuminazione pubblica e la rete della mobilità", Report RdS/2011/330

F. Moretti, M. Annunziato, S. Panzieri "Sviluppo di un sistema di controllo integrato ed adattivo per l'illuminazione pubblica", Report RdS/2010/248

R. Müllner and A. Riener, "An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system", International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 7 Issue: 2, 2011, pp.147-161,

T. Novak, K. Pollhammer, H. Zeilinger and S. Schaaf, "Intelligent streetlight management in a smart city", Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), Barcelona, 2014, pp. 1-8.

S. Pizzuti, M. Annunziato, F. Bucci, F. Moretti, "Illuminazione pubblica adattiva: modellistica dei sistemi intelligenti", Report RdS/2011/324

P. Rizwan, K. Suresh and M. R. Babu, "Real-time smart traffic management system for smart cities by using Internet of Things and big data," 2016 International Conference on Emerging Technological Trends (ICETT), Kollam, 2016, pp. 1-7.

G. Shahzad, H. Yang, A. W. Ahmad and C. Lee, "Energy-Efficient Intelligent Street Lighting System Using Traffic-Adaptive Control", in IEEE Sensors Journal, vol. 16, no. 13, pp. 5397-5405, July1, 2016.

UNI 11248:2016 "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche"

N. Walravens and P. Ballon, "Platform business models for smart cities: from control and value to governance and public value," in IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 6, pp. 72-79, June 2013.

N. Walravens, "Qualitative indicators for smart city business models: The case of mobile services and applications, Telecommunications Policy", Volume 39, Issue 3, 2015, Pages 218-240.

A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014.

7 Abbreviazioni ed acronimi

CAPEX: Capital Expenditure

FAI: Full Adaptive Installation

FTT: Finanziamento Tramite Terzi

IRR: Internal Rate of Return

NPV: Net Present Value

OPEX: Operational Expenditure

PBT: Pay-Back Time

PELL: Public Energy Living Lab

PPP: Partenariato Pubblico Privato

TAI: Traffic Adaptive Installation

WACC: Weighted Average Cost of Capital

8 Il gruppo di lavoro

Davide Chiaroni è Professore Associato presso il Politecnico di Milano, ove è docente di Strategy and Marketing nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Gestionale. Presso il MIP Graduate School of Business del Politecnico di Milano è Direttore della Divisione Corporate Education e Membro del Comitato di Gestione. È stato inoltre Direttore della Management Academy del MIP, la Business School del Politecnico di Milano, e dell'international Full Time MBA del MIP, la Business School del Politecnico di Milano. E' Vice-Direttore, presso il Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano, dell'Energy & Strategy Group, osservatorio permanente sul settore dell'energia.

Vittorio Chiesa è Professore Ordinario presso il Politecnico di Milano, ove è docente di Strategy and Marketing e di Energy and Sustainability Management nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Gestionale. Presso il MIP Graduate School of Business del Politecnico di Milano coordina l'area Strategia Tecnologica ed è direttore dell'Executive Master in Energy Management. E' Direttore, presso il Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano, dell'Energy & Strategy Group, osservatorio permanente sul settore dell'energia. In base alle pubblicazioni, è stato indicato tra i Top 60 World's Innovation Management Scholars in un'analisi relativa al periodo 1991-2010.

Simone Franzò è Ricercatore a tempo determinato presso il Politecnico di Milano, ove è docente di Energy Management Lab nell'ambito del corso di laurea specialistica in Ingegneria Gestionale. È membro della Core Faculty della School of Management del Politecnico di Milano, dove insegna nell'ambito di corsi specialistici, MBA ed Executive MBA (presso il MIP Politecnico di Milano – Graduate School of Business) ed altri master erogati dal Politecnico di Milano. È Senior Consultant e Project Manager presso l'Energy & Strategy Group del Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano. È stato Project Manager presso Energy & Strategy Group per le attività legate al settore Efficienza Energetica, Smart Grid e Sostenibilità Ambientale.

Federico Frattini è Professore Ordinario presso il Politecnico di Milano, ove è docente di Impresa e Decisioni Strategiche nell'ambito del corso di laurea in Ingegneria Gestionale. È Honorary Researcher presso la Lancaster University Management School. Presso il MIP Graduate School of Business del Politecnico di Milano è Direttore dei Programmi MBA ed Executive MBA e della Divisione ICT & Digital Learning. E' Vice-Direttore, presso il Dipartimento di Ingegneria Gestionale del Politecnico di Milano, dell'Energy & Strategy Group, osservatorio permanente sul settore dell'energia. È Membro del Comitato di Gestione del MIP, la Business School del Politecnico di Milano. È stato nominato nel 2013 tra i primi 50 studiosi al mondo sui temi della gestione della tecnologia e dell'innovazione.