



## Ricerca di Sistema elettrico

# Sviluppo della architettura e tecnologie di Smart lighting e funzionalità del palo intelligente

G. Leonardi, S. Pizzuti, S. Fumagalli, A. Antonelli,  
L. Blaso, F. Marino, F. Pieroni, S. Romano

## SVILUPPO DELLA ARCHITETTURA E TECNOLOGIE DI SMART LIGHTING E FUNZIONALITÀ DEL PALO INTELLIGENTE

G. Leonardi, S. Pizzuti, S. Fumagalli, A. Antonelli, L. Blaso, , F. Pieroni, S.Romano (ENEA)  
F. Marino (Università Roma Tre)

Settembre 2016

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2015

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

Progetto: Innovazione tecnologica, funzionale e gestionale nell'illuminazione pubblica ed in ambienti confinati

Tema di Ricerca: Illuminazione

Obiettivo: Smart street

Responsabile del Progetto: Nicoletta Gozo, ENEA

## Indice

<b>SOMMARIO</b> .....	4
<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>2 DEFINIZIONE DI PALO INTELLIGENTE</b> .....	6
<b>3 ARCHITETTURA DI PALI E SENSORI INTELLIGENTI</b> .....	8
<b>3.1 ANALISI DELLA GESTIONE DEI DATI, PROTOCOLLI DI TRASMISSIONE VULNERABILITÀ NEGLI SCENARI DI SMART STREET (UNI ROMA TRE, RDS/PAR 2015/009)</b> .....	8
3.1.1 <i>Big data e smart street</i> .....	8
TECNOLOGIE PER LA GESTIONE DEI BIG DATA .....	8
SCENARIO SMART STREET .....	9
3.1.2 <i>Cyber Security in uno scenario Smart Street</i> .....	10
POWER LINE COMMUNICATION .....	10
SCENARIO SMART STREET .....	11
3.1.3 <i>I protocolli di comunicazione degli smart street</i> .....	11
UN PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE STANDARD .....	11
SCENARIO SMART STREET .....	12
<b>3.2 ALGORITMI DI TIPO ‘MODEL PREDICTIVE CONTROL’</b> .....	14
3.2.1 <i>Studio di modelli predittivi</i> .....	14
3.2.2 <i>Definizione dell’algoritmo di dimmerazione dinamica e valutazione del risparmio energetico potenziale</i> .....	19
<b>4 SVILUPPO PROTOTIPALE DI SMART STREET</b> .....	21
<b>4.1 IL CASE STUDY CR ENEA CASACCIA</b> .....	21
4.1.1 <i>Impianto di illuminazione</i> .....	22
4.1.2 <i>Impianto di telegestione e sensori Smart-eye</i> .....	24
<b>4.2 IL CASE STUDY CR ENEA ISPRA G. LEONARDI, A. ANTONELLI</b> .....	27
<b>4.3 USE CASE SMART-STREET</b> .....	28
4.3.1 <i>Caso d’uso "Acquisizione da Smart Eye"</i> .....	29
4.3.2 <i>Caso d’uso "Acquisizione da Smart Meter"</i> .....	31
4.3.3 <i>Caso d’uso "Attuazione Gestione Energetica da Bridge "</i> .....	33
4.3.4 <i>Diagramma UML totale (Smart Eye)</i> .....	35
<b>4.4 USE CASE SMART STREET PLATFORM - SMART DISTRICT PLATFORM</b> .....	35
4.4.1 <i>Caso d’uso "Pubblicazione Dati per Smart District Platform"</i> .....	36
4.4.2 <i>Caso d’uso "Recupero Dati da Smart District Platform "</i> .....	38
<b>5 ANALISI DEGLI STANDARD E MODELLI DI ILLUMINAZIONE G. LEONARDI, S. FUMAGALLI</b> .....	40
<b>6 LA SMART STREET E SVILUPPI FUTURI G. LEONARDI, S. PIZZUTI, S. FUMAGALLI</b> .....	41
<b>7 CONCLUSIONI</b> .....	41
<b>8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	41
<b>9 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI</b> .....	41

## Sommario

Questo rapporto tecnico si riferisce all'Accordo di Programma tra Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA, nell'ambito della Ricerca di Sistema, il cui obiettivo è il miglioramento del sistema elettrico nazionale, sia in termini di nuove tecnologie sia di efficienza energetica.

Il rapporto si inquadra nell'Area "Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica", nell'ambito del PAR 2015-2016

Il documento tecnico descrive l'attività di ricerca svolta relativa allo "Sviluppo della architettura e tecnologie di Smart lighting e funzionalità del palo intelligente". In particolare, questa annualità si è incentrata su :

- ✓ Definizione di "Palo intelligente". Da semplice sostegno a sistema multi-sensore per il monitoraggio ambientale, gestione del flusso luminoso, rilevamento flusso di traffico veicolare/pedonale
- ✓ Analisi delle principali problematiche relative alla innovazione tecnologica, funzionale e gestionale di scenari smart street in particolare:
  - Gestione di Big Data
  - Piattaforme e protocolli di comunicazione
  - Cyber Security.
- ✓ Per ciascuno di questi aspetti è stato fatto un inquadramento generale del problema, un'analisi dei principali aspetti metodologici e tecnologici e sono state proposte soluzioni nello specifico scenario della Smart Street installata nello "Smart Village Casaccia".
- ✓ Analisi e sviluppo algoritmi di tipo "model predictive control". E' stato valutato l'impatto sul risparmio energetico dovuto all'applicazione di un algoritmo di regolazione dinamica su un impianto di illuminazione stradale.
- ✓ Realizzazione modello prototipale di strada intelligente (Smart Street in "Smart Village Casaccia") Il progetto di smart street ha previsto l'installazione di telecontrolli punto-punto ad onde convogliate, telecamere Smart-Eye per analisi scena/sicurezza, hot spot wifi.
- ✓ Attività sperimentale presso i Laboratori ENEA Ispra. E' stato acquisito sensore/telecamera customizzata dal produttore su indicazioni ENEA. Re-ingegnerizzazione kernel Linux per accesso ai moduli aggiuntivi USB, I2C, SPI, GPIO, disponibili come interfacce hw (Obiettivo:sviluppo di un sistema multi-sensore).
- ✓ Definizione dei Casi d'Uso di un'installazione Smart Street con lo scopo di descrivere il ciclo di gestione dei dati per ogni contesto applicativo verticale della Ricerca di Sistema elettrico (Smart Street è uno di questi contesti)
- ✓ Partecipazione a gruppi di lavoro UNI e CEI. In particolare è stata redatta la norma UNI 11630:2016 "Luce e illuminazione - Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico". Sono state fatte analisi e proposte per la revisione della UNI 10819:1999 "Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso.

## 1 Introduzione

La "Smart Street" è un sistema integrato in cui l'infrastruttura di illuminazione pubblica (apparecchio, palo, linea elettrica....) è la tecnologia abilitante per altre funzioni, non solo in supporto alla gestione della stessa illuminazione. Questo permette lo sviluppo di un sistema più ampio di osservazione e controllo del territorio e la fornitura di un insieme di servizi al cittadino, all'amministrazione, al gestore dell'impianto, alla comunità. Lo sviluppo di servizi, relativi al traffico e alla mobilità urbana, alle condizioni climatiche, all'inquinamento, ai flussi pedonali e l'interazione tra più smart streets sono la base delle cosiddette Smart Cities.

L'attività di questa prima annualità si è focalizzata soprattutto sullo **"Sviluppo della architettura e tecnologie di smart lighting e funzionalità del palo intelligente"**, partendo dalle esperienze fatte e dalle conoscenze già acquisite e in particolare comprendendo le seguenti attività parallele finalizzate allo sviluppo di un'architettura smart street e di tecnologie e funzionalità del "palo intelligente".

I punti della ricerca possono essere così riassunti:

- Definizione delle funzioni del "palo intelligente" ed interazioni con altre strutture ad esso connesse . Sviluppo degli algoritmi per il controllo adattivo e per l'utilizzo delle funzioni. Progettazione di un sistema prototipale integrato in grado di far evolvere il palo in "palo intelligente" che oltre alla regolazione e gestione del flusso luminoso, sia anche di supporto per la pianificazione del traffico veicolare, il controllo (cioè la attivazione di funzioni in base alle rilevazioni) di parametri meteorologici ed ambientali, la diagnostica della scena urbana (criticità, danni); la progettazione parte da prodotti già esistenti per farli evolvere con nuove capacità sensoristiche integrate e logiche.
- Progettazione di una architettura di pali e sensori intelligenti, sistemi di trasmissione dati, sistemi di telegestione operanti in modalità aperta (Internet of Things); analisi e definizione degli standard; analisi dei servizi integrabili nella illuminazione pubblica. Tale architettura è la base della "Smart Street". Sviluppo di algoritmi di tipo 'model predictive control' che, sulla base di un modello predittivo della domanda energetica (flussi di traffico), fornisce, secondo orizzonti temporali che possono variare dall'ora alla settimana, il grado di dimmerazione del flusso luminoso in funzione del declassamento stradale consentito dalla normativa.
- Analisi della vulnerabilità del sistema smart street nella sua interezza (guasti tecnologici, attacchi informatici ed eventi naturali); individuazione dei requisiti per migliorarne la sicurezza agli eventi avversi, inclusi gli attacchi informatici del sistema prototipale integrato.
- Sviluppo prototipale di una smart street nel CR ENEA Casaccia. In parallelo alla attività di progettazione del punto precedente si inizierà anche la realizzazione di un sistema prototipale di smart street. Presso il CR ENEA Casaccia è già stata realizzata un'implementazione di questa attraverso un viale pedonale illuminato con tecnologia led e controllato mediante un sistema di telegestione che fornisce un profilo di dimmerazione statico. Lo sviluppo di questo consisterà nella progettazione ed implementazione prototipale di un viale con passaggio di veicoli e persone, sempre interno al CR Casaccia, in cui cominciare ad applicare e validare alcuni dei punti sopra descritti (palo intelligente, smart lighting).
- Infine, si cominceranno ad esaminare possibili applicazioni urbane di smart street con pali intelligenti multifunzionali e sistemi di smart lighting.

Il secondo punto dell'attività riguarda **"Analisi degli standard e modelli di illuminazione"**. Questa attività ha comportato la partecipazione a comitati normatori del settore illuminotecnico per definire un framework di standardizzazione e normativa per lo smart lighting e la illuminazione adattiva.

Era previsto inoltre lo sviluppo di un modello per la quantificazione della luce dispersa verso l'alto. Secondo molte leggi regionali, bisogna quantificare la luce emessa verso l'alto dagli apparecchi di illuminazione. Questo è relativamente semplice nel caso in cui l'apparecchio sia orientato per illuminare il piano stradale, ma è di difficile valutazione dove l'apparecchio illumina altre superfici (ad esempio facciate di edifici). Lo

studio si è spostato a livello normativi e ad inizio 2016, si è riavviato il gruppo UNI/CT 023/GL 08 "Inquinamento luminoso", anche su richiesta dell'ENEA, con lo scopo di lavorare sulla norma UNI 10819:1999. E dato che rispetto a quell'anno (1999), sono state emesse molte leggi regionali e il quadro a livello nazionale è poco chiaro, si è deciso nei primi incontri del gruppo di lavoro di concentrarsi sull'identificare e definire univocamente i parametri legati all'inquinamento luminoso e identificare, e se del caso sviluppare, i metodi di calcolo necessari per valutare i suddetti parametri.

Nella seguente tabella sono riportati i due sotto-obiettivi dell'attività con l'impegno speso in ore da ENEA per ciascuno di essi.

Attività	Ore
Sviluppo della architettura e tecnologie di smart lighting e funzionalità del palo intelligente	1793
Analisi degli standard i e i modelli di illuminazione	1306
<b>Totale</b>	<b>3099</b>

## 2 Definizione di palo intelligente

La funzione originaria del palo per l'illuminazione stradale è quella di sostenere l'apparecchio o gli apparecchi di illuminazione.

In una città di medie dimensioni sono presenti migliaia di pali per l'illuminazione pubblica. In Italia sono stimati almeno 9 milioni di pali per l'illuminazione di cui 7 milioni di proprietà dei comuni. La rete elettrica di illuminazione pubblica si estende su 270.000 km. Un'infrastruttura che va dai grandi centri urbani al più piccolo villaggio in mezzo alle montagne.

Con la telegestione degli impianti di illuminazione attraverso il sistema apparecchio, palo e rete elettrica è stato possibile: ricevere allarmi e misure elettriche,

comandare accensione e spegnimento, regolare a distanza il flusso luminoso centralizzato o puntuale, pianificare al meglio la manutenzione attraverso la diagnostica remota. La tecnologia utilizzata è quella delle onde radio o delle onde convogliate.

La regolazione del flusso luminoso viene fatta in base all'ora e a dati statistici dei volumi di traffico della strada. Ottenendo risparmi energetici/economici anche del 30%.



Figura 2 la rete di illuminazione pubblica in una grande città



Figura 1 Palo come sostegno

Con l'avvento dell'illuminazione adattiva il palo è diventato anche supporto per il sensore di traffico, misuratore di luminanza e di condizioni meteo. Parametri necessari per ottimizzare il consumo elettrico e garantire comunque la massima sicurezza, in breve "illuminazione adattiva ad anello chiuso".

Adaptive lighting (CEN 13201): Variazioni controllate nel tempo della luminanza e

dell'illuminamento in relazione al volume di traffico, orari, condizioni meteo o altri parametri.

Il "palo intelligente" svolge il ruolo fondamentale in quanto sistema multi-sensore per il monitoraggio ambientale, gestione del flusso luminoso, rilevamento flusso di traffico veicolare/pedonale. Tra i vari sensori la telecamera permette di rilevare in maniera non invasiva i flussi di traffico e la luminanza stradale. Opportuni modelli basati sull'elaborazione di immagini e video permettono di ipotizzare modelli previsionali di traffico con cadenze temporali orarie, giornaliere, mensili, annuali, ecc. Il sistema di controllo regola il flusso luminoso in base alle condizioni di traffico, condizioni ambientali e luminanza stradale. L'obiettivo è quello di minimizzare l'energia utilizzata per l'illuminazione pubblica garantendo le prestazioni illuminotecniche imposte dalla legge vigente e raccomandate dalle norme tecniche.

L'illuminazione adattiva può garantire le condizioni di sicurezza con il minimo consumo. La conoscenza in tempo reale dei livelli di traffico permette di stabilire quando regolare i livelli di luminanza o di illuminamento riducendo i consumi, la conoscenza delle condizioni meteo permette di garantire la sicurezza in ogni situazione. La regolazione in tempo reale rispetto ad una regolazione basata su dati statistici (tabelle orarie) porta a risparmi anche del 25%.

La svolta smart

Partendo dalla pubblica illuminazione si vuole ampliare i servizi offerti al cittadino che non riguardano solo l'illuminazione:

Condizioni meteo, analisi ambientali, situazione traffico, situazioni critiche (incidenti, allerte meteo, emergenze, ecc.), video sorveglianza, situazione parcheggi, internet access point,...

La proposta smart ha bisogno di una banda di comunicazione larga. Deve supportare oltre ai sensori di traffico, lighting, meteo, ecc. anche i servizi di video sorveglianza, internet access, comunicazioni in real time.



**Figura 3 l'idea del palo smart**

Le tecnologie impiegate per moltiplicare i servizi offerti degli impianti di illuminazione sono molteplici ma nella gran parte dei casi si tratta di un mix di tecnologie ciascuna con potenzialità e vantaggi propri che permettono di raggiungere le migliori performance in base alle caratteristiche e alle necessità della zona.

Tecnologie integrate e associate anche a piattaforme internet of things, sensing e big data. I lampioni intelligenti diventeranno sempre di più un'ottima base per la raccolta di dati relativi al traffico e alla mobilità urbana, alle condizioni climatiche e all'inquinamento, ai flussi pedonali, ai servizi di video sorveglianza e altro ancora.

La molteplicità di tecnologie impiegate, di protocolli utilizzati, di piattaforme e sistemi distribuiti fa sì che siano presenti elevati punti di accesso al sistema informatico e quindi ai dati acquisiti ed elaborati. Lo

studio delle vulnerabilità informatiche e la ricerca di strategie per la protezione di tali sistemi non deve essere trascurato al fine della protezione di dati anche molto sensibili.

### 3 Architettura di pali e sensori intelligenti

#### 3.1 *Analisi della gestione dei dati, protocolli di trasmissione vulnerabilità negli scenari di smart street (Uni Roma Tre, RdS/PAR 2015/009)*

Qui sono affrontate tre importanti problematiche relative alla innovazione tecnologica, funzionale e gestionale della illuminazione pubblica e degli ambienti confinati:

- **i big data**, ovvero la definizione dei meccanismi di gestione e analisi di grandi quantità di dati di carattere energetico provenienti dai sistemi di illuminazione pubblica,
- **la cyber security**, ovvero lo studio delle possibili vulnerabilità dei sistemi di illuminazione pubblica in ambito urbano e
- **i protocolli di comunicazione**, ovvero l'analisi dei meccanismi standard per la trasmissione di informazioni riguardanti l'illuminazione pubblica.

Per il resoconto completo si rimanda al documento RdS/PAR 2015/009, di seguito si riporta una sintesi del lavoro svolto.

##### 3.1.1 Big data e smart street

L'obiettivo finale di questo task consiste nel progetto e nella sperimentazione di una piattaforma informatica flessibile e scalabile in grado di raccogliere, gestire e analizzare dati di grandi dimensioni provenienti da diverse tipologie di sistemi sensoriali installati presso l'ENEA. Lo scenario di riferimento sarà quello dei dati provenienti da una rete di illuminazione pubblica di strade ma si intende delineare un approccio che abbia validità generale e che sia quindi applicabile anche alla raccolta e l'analisi di dati provenienti da sensori installati in contesti diversi, per esempio in edifici o in altre infrastrutture.

Il sistema deve garantire il supporto alla diagnostica avanzata degli smart street e alla definizione di strategie di controllo e ottimizzazione della illuminazione pubblica. L'applicazione è inquadrabile nell'ambito dei cosiddetti "big data per l'IoT" perché i dati arrivano dai sensori in flussi, sono raccolti in maniera incrementale, possono raggiungere dimensioni considerevoli e richiedono attività di monitoraggio e analisi che coinvolgono grandi porzioni dei dati memorizzati.

##### *Tecnologie per la gestione dei big data*

Si parla di "big data" quando i dati da gestire superano le capacità di memorizzazione, gestione e analisi tipiche dei tradizionali sistemi per le basi di dati. Le caratteristiche generali di questi enormi magazzini di dati vengono spesso descritte secondo tre dimensioni, dette le tre "v" dei big data : (1) Volume: dimensione dei dati da gestire misurata non solo in termini assoluti, ma anche in termini di andamento di crescita e di requisiti di prestazioni per la loro elaborazione; (2) Varietà: tipologia dei dati e delle sorgenti; nella maggior parte dei casi si tratta di dati semi-strutturati o destrutturati per i quali tipicamente non esiste uno schema; (3) Velocità: rapidità con la quale i dati arrivano e devono essere elaborati; alcune applicazioni consentono la elaborazione batch, ma in molti casi bisogna operare il real-time e non sono rari casi in cui i dati viaggiano in flussi (stream) che vanno elaborati alla velocità nella quale arrivano.

A causa di queste caratteristiche, nell'ambito della gestione di big data si stanno recentemente diffondendo delle soluzioni tecnologiche alternative a quelle tradizionali che: (a) si adattano meglio a contesti applicativi come quello delle smart street, (b) garantiscono prestazioni migliori, (c) consentono la scalabilità delle applicazioni su grandi moli di dati che crescono rapidamente e (iv) sono in grado di bilanciare i requisiti di latenza, throughput e tolleranza ai guasti. È difficile a tale riguardo definire architetture di riferimento

precise a causa delle innumerevoli soluzioni che sono state proposte. È però possibile individuare alcune soluzioni di carattere generale che, anche se non costituiscono soluzioni imprescindibili, sono molto comuni nelle applicazioni reali.

Innanzitutto i dati vengono distribuiti e replicati su cluster di computer per garantire la scalabilità delle applicazioni e per aumentare la tolleranza ai guasti e la disponibilità dei dati. La tecnologia di base che si è ormai affermata come standard di riferimento è quella di Apache Hadoop, un framework open-source per l'elaborazione distribuita basato sul file-system HDFS.

Inoltre, i dati vengono memorizzati in formati semi o de-strutturati di cui non è in genere disponibile lo schema. In molti casi si fa uso per questo di un semplice file system distribuito, come HDFS. In alternativa, si usano sistemi NoSQL che poggiano su HDFS e offrono alle applicazioni metodi di più alto livello per l'accesso ai dati descritti in formati elementari, per esempio mediante semplici coppie chiave-valore.

Tipicamente, le operazioni richieste dall'analisi dei dati vengono seguite in parallelo in un ambiente distribuito. Si può usare allo scopo il paradigma di programmazione MapReduce, che è nativo in Hadoop, sebbene recentemente si stanno affermando dei framework per l'elaborazione distribuita più efficienti ed evoluti rispetto a MapReduce. In particolare, Apache Spark è tutt'oggi uno standard di riferimento.

Infine, le risorse hardware e software vengono virtualizzate adottando il paradigma del cloud-computing. Sul mercato esiste un'ampia disponibilità di offerte in questo ambito provenienti da aziende leader nel settore, come Amazon e Microsoft. I modelli di servizio offerti possono essere diversi, andando dall'Infrastructure as a Service (IaaS), nella quale solo l'infrastruttura è virtualizzata, al Software as a Service (SaaS), nel quale si virtualizza anche il software, che risiede e opera sul cloud.

### *Scenario smart street*

Tenendo conto delle caratteristiche dell'applicazione di riferimento nella quale sono necessarie sia attività di monitoraggio dei dati in real-time, sia l'analisi di dati raccolti in ampi intervalli temporali per comprendere andamenti e criticità una possibile soluzione tecnologica a supporto della raccolta e l'analisi dei dati generati da smart street è la cosiddetta architettura "lambda". Come illustrato in Figura 5, questa architettura è dotata delle seguenti componenti principali:

- Un **data-broker layer** in grado di acquisire e gestire code di stream di dati generati in tempo reale da sistemi di sensoristica remota e rifornire con questi dati diversi sistemi di elaborazione. Per questa componente si fa tipicamente uso di un message broker per big data come Apache Kafka.
- Un **batch layer** per la memorizzazione incrementale dei dati grezzi in modalità "append-only" e per le analisi su intervalli temporali ampi. Per questo livello si fa uso tipicamente di file system distribuiti quali HDFS e di strumenti di elaborazione distribuita per Hadoop come MapReduce, Spark, Hive e Pig.
- Un **real-time layer** per l'analisi dei flussi di dati in tempo reale su intervalli temporali brevi e recenti. Le tecnologie utilizzate per questa componente includono sistemi di stream processing quali Flink, Storm e Spark Streaming.
- Un **servicing layer** che memorizza in maniera persistente i risultati generati dal batch layer e dallo speed layer sotto forma di viste materializzate. Per questa componente si fa in genere uso di strumenti di database management NoSQL come HBase, MongoDB e Cassandra.

Oltre a questo, è necessario individuare un processo di migrazione di dati, viste e interrogazioni definite sul sistema preesistente nella nuova piattaforma. Per questa sistema è possibile utilizzare applicativi ad-hoc come Sqoop che è in grado di trasferire dati e da un sistema relazionale ad Hadoop e popolare tabelle di Hive e HBase.

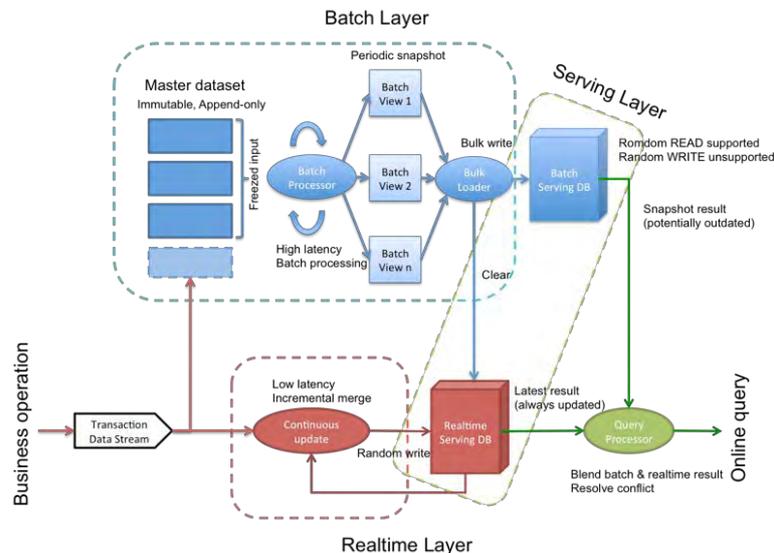


Figura 5 Architettura gestione BIG Data

### 3.1.2 Cyber Security in uno scenario Smart Street

L'obiettivo di questa attività è di considerare uno scenario realistico di Smart Street, con specifico riferimento ai sistemi distribuiti di monitoraggio e controllo dell'illuminazione pubblica, ai loro dispositivi centrali e periferici, alle linee ed ai protocolli di comunicazione tra questi. Verrà fornito uno studio dello stato dell'arte in termini di letteratura scientifica sulle possibili vulnerabilità cyber dei sistemi in analisi. Considerando che si tratta di sistemi distribuiti con una quantità elevata di punti di accesso, verranno confrontati diversi tipi di protocolli di comunicazione, al fine di comprendere quali siano le principali vulnerabilità informatiche. Inoltre saranno studiati alcuni possibili attacchi informatici a tali sistemi e le relative strategie iniziali per la loro protezione. Verranno fornite le basi per eventuali studi sperimentali analizzando l'evoluzione tecnologica degli strumenti di telegestione inerenti gli scenari di Smart Street.

#### Power Line Communication

La tecnologia Power Line Communication (PLC) permette di distribuire in maniera congiunta energia elettrica e dati, sfruttando come unico canale la rete elettrica installata in qualsiasi realtà urbana ed industriale. Il segnale che trasporta le informazioni viene trasmesso utilizzando una frequenza differente, dipendente dal tipo di tecnologia implementata, rispetto a quella della infrastruttura elettrica (50/60 Hz). Questo sistema di comunicazione ad onde convogliate viene utilizzato sia in domotica, Home Area Network (HAN), sia in ambito industriale, integrandosi nelle architetture di trasmissione dati delle Smart Grid.

Identificando lo scenario realistico di Smart Street in esame come particolarizzazione di un'architettura più ampia di Smart Grid, e al fine di proporre soluzioni di sicurezza cyber per scenari innovativi di Smart Street, risulta necessario analizzare l'evoluzione tecnologica della tecnologia PLC e analizzarne i vari protocolli e le relative vulnerabilità, investigando sulle possibili implementazioni di sicurezza cyber.

È possibile evidenziare tre classi di tecnologie PLC che si sono evolute nel tempo: (1) Ultra Narrow Band (UNB): operante a velocità di scambio dati molto bassa (<100 bps) all'interno dello spettro delle Ultra Low Frequency (ULF, 0.3-3 kHz) o Super Low Frequency (SLF, 30-300 Hz). Nonostante si tratti di soluzioni proprietarie, la UNB è stata utilizzata largamente negli ultimi decenni; (2) Narrowband (NB): tecnologia che opera all'interno delle bande VLF/LF/MF (3 – 500 kHz) e che racchiude al suo interno due sottocategorie: la Low Data Rate (LDR), con velocità di trasmissione di pochi kbps, e la High Data Rate (HDR), dove la velocità di trasmissione può raggiungere i 500 kbps; (3) Broadband (BB): opera nello spettro delle HF/VHF (1.8-250 MHz) e permette di raggiungere velocità di trasmissione nell'ordine delle migliaia di Mbps.

Alle classi tecnologiche descritte vengono associati protocolli specifici per ogni banda di frequenza utilizzata. PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution) rappresenta uno dei più conosciuti e consolidati standard non-proprietari per PLC a livello industriale. Esso viene utilizzato in tutto il mondo per

applicazioni di misurazione avanzata, monitoraggio e controllo in ambienti Smart Grid. L'obiettivo principale di questo standard è di stabilire una linea portante tra differenti fornitori di servizi e differenti sistemi industriali su larga scala, al fine di uniformare l'utilizzo di queste tecnologie. Le specifiche PRIME supportano molteplici protocolli esistenti, tra cui IPv4 e IPv6, permettendo utilizzi incrociati dei classici servizi di rete associati ad ambienti di monitoraggio e controllo su PLC. Altri protocolli PLC che possono essere utilizzati sono il G3-PLC ed HomePlug Green PHY.

Con riferimento ad un sistema che sfrutta PLC come tecnologia di comunicazione, i requisiti di sicurezza generali delle informazioni scambiate possono essere definiti considerando tre fondamentali proprietà che devono essere garantite ai dati trasmessi: riservatezza, integrità, autenticazione.

La riservatezza dei dati può essere garantita sfruttando meccanismi di anti manomissione degli estremi della comunicazione e configurando una topologia di rete precisa al fine di evitare possibili intromissioni non autorizzate lungo il canale di trasmissione. Per quanto riguarda l'integrità dei dati, un meccanismo di verifica può essere implementato considerando ad esempio un digest che, associato ad ogni messaggio tramite una funzione di hash, valida il contenuto dello stesso. In caso di manomissione, relativa anche ad un singolo bit del messaggio, l'analisi del digest dovrebbe fornire un'allerta sulla compromessa integrità dei dati scambiati. L'autenticazione deve essere fornita sfruttando meccanismi di crittografia al fine di fornire una sicura comunicazione tra gli attori attendibili.

### *Scenario Smart Street*

Con riferimento allo scenario particolare di Smart Street in esame, è possibile avviare un'attività di analisi di sicurezza dei dati di controllo e monitoraggio gestiti attraverso la tecnologia PLC implementata in tale contesto. Infatti, oltre alle vulnerabilità fisiche di comunicazione esistenti nella tecnologia PLC, quali ad esempio problemi di rumore sul segnale creato da superficiali collegamenti sulla rete elettrica, è necessario analizzare le potenziali criticità e vulnerabilità cyber delle implementazioni in ambito Smart Street. A tal fine, verranno valutate le esistenti vulnerabilità documentate in letteratura e da un confronto con le esistenti infrastrutture dello scenario di Smart Street in esame verranno considerate le possibili scelte progettuali in ottica di sicurezza informatica. Verrà verificata la possibilità di implementare strumenti di sicurezza cyber, come ad esempio Intrusion Detection Systems (IDSs) specifici, per analizzare il traffico di rete del sistema e verificare possibili minacce informatiche. Dal confronto scientifico che verrà effettuato sarà possibile valutare le migliori soluzioni implementative per l'ambiente Smart Street.

Le linee guida che sono state delineate rappresentano un punto di partenza per l'analisi delle possibili implementazioni di sicurezza informatica riguardanti sistemi di comunicazione che sfruttano la tecnologia PLC. Allo stesso modo, un'analisi delle contromisure in caso di minacce rilevate rappresenta un importante argomento di ricerca scientifica da approfondire.

### **3.1.3 I protocolli di comunicazione degli smart street**

#### *Un protocollo di comunicazione standard*

Il paradigma definito dalle specifiche TALQ permette la creazione di una infrastruttura basata su enti logici in grado di coordinare un sistema di illuminazione esterno (OLN – Outside Lighting Network) composto da attuatori e sensori identificati come unità logiche (LU – Logic Unit) tramite un sistema centralizzato (CMS – Central Management System). Le specifiche forniscono tutti gli strumenti necessari per la configurazione, il controllo e la gestione degli eventi relativi a un sistema di illuminazione remoto di larghe dimensioni. Lo studio di queste specifiche è stato necessario nell'ottica dell'implementazione di un sistema centralizzato per il controllo intelligente di una rete di illuminazione stradale. Il sistema sfrutta una codifica XML e un trasporto tramite protocollo HTTP (HyperText Transfer Protocol) per supportare la messaggistica necessaria al controllo e al *sensing* remoto. Lo studio del protocollo si è articolato in una analisi della architettura implementata dallo stesso. L'intero sistema è basato su un paradigma di tipo Client-Server. Il ruolo del server è ricoperto dall'entità di controllo centrale, denominata nel protocollo come Central Management System. Questa unità ha lo scopo di fornire uno strato di Application Protocol con il quale possa interfacciarsi un utente umano, la gestione ad alto livello degli eventi e lo scheduling delle attività. Il

protocollo TALQ permette un accesso avanzato ai dati raccolti dai sensori remoti, e per questo motivo, all'interno del CMS, è possibile includere ulteriori algoritmi che gestiscano i dati raccolti tramite protocollo TALQ per ulteriori analisi e azioni di controllo. Il ruolo del client è ricoperto da una entità di connessione verso i dispositivi finali denominata TALQ Bridge. Questa unità ha lo scopo di gestire le comunicazioni a basso livello tra il CMS e i dispositivi terminali, che possono essere sia sensori sia attuatori. La connessione tra il CMS e il TALQ Bridge, e le connessioni tra il TALQ Bridge e le unità terminali (denominate Logic Unit o LU) è supportata da uno strato fisico che non è definito all'interno dello standard. Per questo motivo, sono stati considerati all'interno di questo studio diversi strati fisici e protocolli di comunicazione adatti alle diverse esigenze che possono nascere nella comunicazione in ambienti complessi come quello dell'illuminazione stradale. L'ultimo elemento della catena implementata dalla architettura TALQ sono le LU. Ogni unità logica può essere associata ad uno o più dispositivi fisici di tipo sensore o attuatore. Al fine di caratterizzare le potenziali applicazioni tecnologiche supportate dalle specifiche TALQ in termini di dispositivi fisici compatibili, sono stati studiati gli elementi più importanti considerati nella messaggistica tra le LU e il TALQ Bridge. È stato verificato che le specifiche permettono un monitoraggio di grandezze fisiche di estremo interesse per una gestione *smart* del processo di illuminazione. Parametri come assorbimento di potenza, tensione, corrente, fattore di potenza, e tempo di operatività sono implementati nelle strutture XML di immagazzinamento dati. Le stesse grandezze sono riconosciute all'interno degli algoritmi di riconoscimento e gestione degli eventi implementati ad alto livello all'interno del CMS. Il protocollo prevede, per le suddette grandezze, un sistema avanzato di data-logging. Per verificare l'effettiva compatibilità del protocollo TALQ con le specifiche realizzative richieste dal progetto in esame, è stato effettuato uno studio delle principali funzionalità implementate all'interno del sistema di gestione CMS. Particolare attenzione è stata posta in questo studio nei riguardi del servizio relativo al controllo degli attuatori preposti all'illuminazione (Lighting Control). Questo servizio permette di impostare il livello di illuminazione dei vari attuatori secondo diverse metodologie. È possibile, dal CMS, impostare in maniera diretta il livello di illuminazione (Override) o sfruttare dei sistemi complessi basati su programmi (Scheduling) associati a particolari trigger. Le specifiche TALQ definiscono questi trigger su un insieme di eventi, intesi come la concomitanza di differenti tipologie di segnali provenienti dalle LU di tipo sensore. L'implementazione di una gerarchia di eventi per la gestione di malfunzionamenti, comportamenti anomali ed emergenze funzionali è di primaria importanza per un sistema critico come quello dell'illuminazione stradale. Complessivamente, dallo studio fatto è emerso che la flessibilità offerta dalle specifiche TALQ permette il completo interfacciamento tra algoritmi di gestione intelligente del consumo energetico e sistemi di illuminazione realizzati ad-hoc.

### Scenario Smart Street

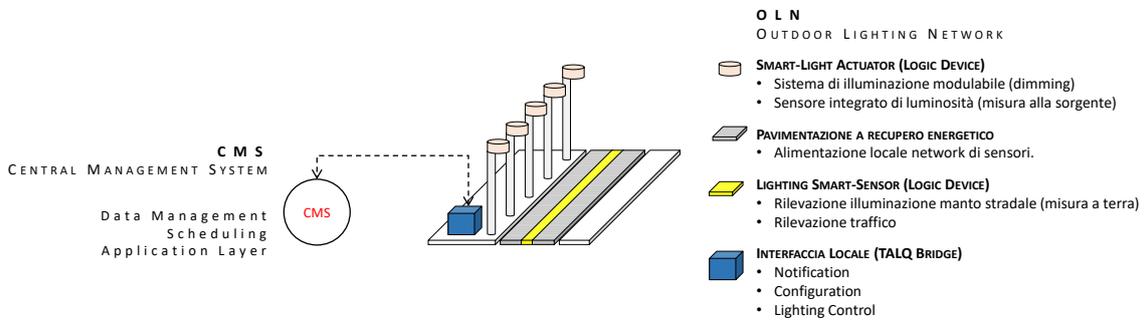
Segue la breve descrizione di un caso di studio possibile per l'implementazione di un sistema di gestione intelligente della illuminazione stradale basata su architettura TALQ. Il sistema è rappresentato in Fig. 2.

Il sistema OLN è rappresentativo di una sezione di area stradale illuminata da dispositivi verticali. Gli attuatori principali preposti all'illuminazione sono realizzati con lampade ad intensità luminosa regolabile, dotati di sistemi di misura per potenza assorbita (individuale), inquinamento armonico in corrente (aggregato), fattore di potenza (aggregato), livello di luminosità (individuale). Un ulteriore sensore centralizzato di corrente e tensione è presente per la rilevazione locale del fattore di potenza e del livello di inquinamento armonico introdotto dai sistemi di illuminazione. Questo ultimo parametro tiene sotto controllo possibili problemi introdotti da carichi non lineari quali sono i sistemi di illuminazione a LED ad intensità regolabile. A livello di manto stradale sono inclusi dei sensori fotoelettrici per la rilevazione del livello di luminosità a terra, e dei sensori di tipo magnetico per la stima del traffico. L'alimentazione di questi sensori è demandata ad un sistema di *energy harvesting* implementato nel manto stradale stesso, per il recupero di energia elettrica dalle vibrazioni dei veicoli in passaggio. Le reti dei sensori a terra, degli attuatori luminosi e dei relativi sensori, sono connesse a delle centraline distribuite che svolgono il ruolo di TALQ Bridge. L'insieme delle centraline è connesso tramite rete wireless al CMS, il quale elabora le informazioni di consumo ed inquinamento energetico, di traffico automobilistico, di illuminazione e di condizioni atmosferiche, per determinare in tempo reale la configurazione ottimale per l'illuminazione

locale. In caso di mancanza di comunicazione tra CMS e TALQ Bridge, le centraline dispongono di un programma elementare di funzionamento autonomo di tipo *day&night*.

## Smart-Lighting Manto Stradale

APPLICAZIONE ARCHITETTURA TALQ



**Figura 6** Caso di studio per illuminazione smart del manto stradale.

### 3.2 Algoritmi di tipo ‘model predictive control’

In questa attività sono stati sviluppati degli algoritmi di tipo ‘model predictive control’ che, sulla base di un modello predittivo della domanda energetica (flussi di traffico), forniscono il grado di dimmerazione del flusso luminoso in funzione del declassamento stradale consentito dalla normativa.

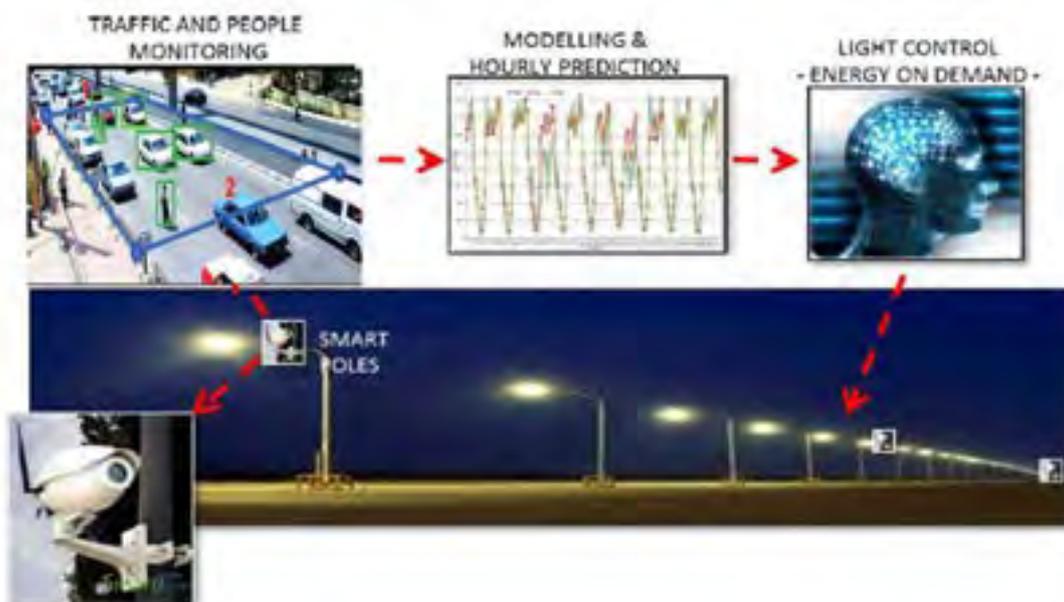


Figura 7 Principio dello smart lighting in una smart street

In particolare, sono state dapprima studiate varie tecniche di modellazione predittiva, successivamente è stato sviluppato l’algoritmo che, sulla base di tali previsioni e in base alle normative EN13201-2 (che definisce le categorie illuminotecniche di riferimento delle aree urbane attraverso le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione) ed UNI11248:2007 (che definisce la classificazione delle strade e la corrispondente individuazione della categoria illuminotecnica di riferimento), regola dinamicamente il flusso luminoso.

#### 3.2.1 Studio di modelli predittivi

La prima attività ha previsto lo studio di modelli predittivi di traffico veicolare sulla base dei quali attuare strategie di dimming per un’efficiente gestione dell’illuminazione pubblica. Ovviamente la regolazione non può essere effettuata in tempo reale: pertanto si necessita di avere a disposizione a priori un profilo completo per ogni fascia oraria del giorno considerato che possa essere correttamente attuato.

In particolare sono stati analizzati ed implementati metodi di tipo statistico, regressivo e neurale, calcolando il MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) al fine di constatarne la accuratezza nella determinazione della previsione di traffico veicolare.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| * 100$$

Le sperimentazioni riportate di seguito sono state effettuate su un medesimo data set sperimentale di circa 6400 campioni orari di flussi e tali dati sono stati partizionati il 75% per il training (circa 4800 record) dei modelli ed il restante 25% per il test (circa 1600 record).

*Metodo 1: Previsione della settimana successiva considerando i giorni del mese precedente.*

La scelta iniziale ha considerato la media dei veicoli transitanti per fascia oraria per tutti i giorni del mese precedente. Il modello utilizzato è stato, dunque, il medesimo per predire ogni giorno della prima settimana di successiva: il MAPE calcolato è del 10.79%, un valore relativamente alto, dovuto al fatto che l'user behaviour è variabile se si è in presenza di giorni diversi e feriali/festivi.

*Metodo 2: Previsione della settimana successiva considerando i giorni del mese precedente tramite modello regressivo.*

Il modello regressivo in forma matriciale, realizzato in Matlab, ha determinato un MAPE del 9.65%.

*Metodo 3: Previsione della settimana successiva considerando i giorni del mese precedente tramite modello ARMAX.*

Il modello ARMAX (modello autoregressivo a media mobile), funzione presa dal System Identification Tool di Matlab ha determinato un MAPE del 8.83%.

*Metodo 4: Previsione della settimana successiva considerando i giorni del mese precedente tramite modello NAIVE.*

Il modello NAIF prevede che data la serie di campioni acquisiti, per ciascuno di essi, al tempo  $t$ , è calcolato  $x(t-e) = x(t)$  con  $e$  che va aumentando: si ha ovvero una traslazione della serie modello che viene raffrontata con quella reale. Poiché all'aumentare di  $e$ , e quindi ad una traslazione maggiore corrisponde una di novembre, ha determinato un MAPE minimo del 12.08%, corrispondente al caso  $x(t-1) = x(t)$ .

*Metodo 5: Stima tramite modello neurale considerando i giorni del mese precedente.*

L'applicazione del modello neurale ha visto preliminarmente un'analisi su un intervallo più esteso al fine di avere un miglior training della rete circa il numero di *input node* e *hidden node* ottimale: fissato il valore di *hidden node* = 10, sono state effettuate elaborazioni su un numero di input che di volta in volta ha assunto valori di 2,4,6,8,10,12,16,20,24. E' emerso che tramite l'ensemble, ossia effettuando la media delle 5 computazioni di reti neurali, il risultato migliore in termini di errore medio ed errore massimo è 12 input e complessità della rete.

Number of input	MAPE	Max error
2	4,27%	71,26%
4	4,20%	71,49%
6	3,93%	71,58%
8	3,68%	71,68%
10	3,44%	70,18%
12	3,05%	71,74%
16	2,97%	68,45%
20	2,83%	49,51%
24	2,85%	49,19%

**Tabella 0.1 – BEM neurale : best input node (training).**

Number of input	MAPE	Max error
2	7,97%	49,64%
4	8,07%	49,83%
6	7,12%	47,49%
8	6,60%	54,04%
10	6,13%	44,77%
12	5,67%	42,51%
16	5,52%	43,40%

20	5,40%	43,03%
24	5,25%	41,76%

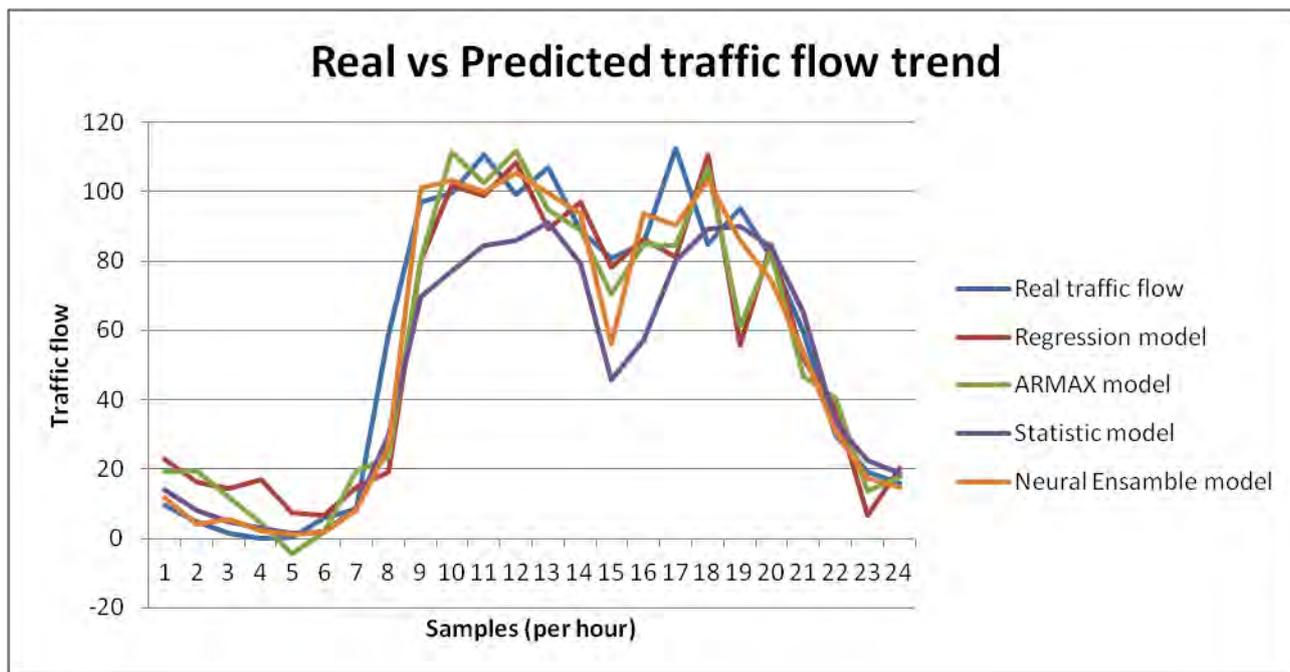
**Tabella 0.2 – BEM neurale : best input node (testing).**

Una successiva analisi ha riguardato quale fosse il miglior orizzonte temporale per la predizione: come si può ben comprendere, minore è l'estensione temporale, migliore sarà il risultato in termini di accuratezza, come si evince dalla tabella sottostante.

Salto campione	MAPE	Errore_max
1	5,67%	43,39%
2	7,18%	56,45%
3	7,59%	67,67%
4	7,89%	72,14%
5	7,91%	76,71%
6	8,19%	75,00%

**Tabella 0.3 – accuratezza del modello BEM in funzione della distanza del campione da predire.**

Di seguito si riporta graficamente la comparazione tra i flussi di traffico orario reale e predetti con i suddetti metodi.



**Figura 8 Confronto tra flussi di traffico reale e predetti**

Statistical	Regressive	ARMAX	NAIVE	BEM
10,79%	9,65%	8,83%	12,08%	5,25%

**Tabella 0.4 – Confronto prestazioni modelli predittivi**

In conseguenza al ragionamento prima esposto inerente il metodo statistico, che prendeva in considerazione il traffico transitante in tutto il mese di novembre, si è voluto entrare più in dettaglio, effettuando analisi che discernessero tra loro i singoli giorni e li dividessero in feriali/festivi, al fine di migliorare l'accuratezza della predizione.

*Metodo 1: Previsione dei singoli giorni della settimana successiva considerando i rispettivi e medesimi giorni del mese precedente.*

Il metodo adottato ha calcolato la media dei rispettivi giorni nel mese precedente per il calcolo del medesimo giorno della settimana successiva, nel caso di giorni feriali e festivi: ad esempio per predire il lunedì della prima settimana di dicembre è stata effettuata la media dei lunedì di novembre, per la predizione del sabato della prima settimana di dicembre è stata effettuata la media dei sabato di novembre, e così via per gli altri giorni.

I MAPE ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tale criterio si rivela molto efficace se ci sia un comportamento pressochè costante nei giorni considerati, ma nel caso di eventi particolari come chiusure di strade, violenti eventi atmosferici, feste patronali o sagre, la situazione di traffico cittadino risulta fortemente variabile andando ad inficiare in negativo la predizione (si veda lunedì, che presenta un MAPE del 7,53% di contro a mercoledì, in cui il MAPE è del 3,92%) (fig.9).

Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Media
7,53%	6,22%	3,92%	3,62%	5,31%	5.32%

**Tabella 0.5 MAPE - Media singoli giorni (feriali)**



**Figura 9 Andamento errore di predizione giorni festivi**

Di seguito sono riportati i risultati calcolati per i singoli giorni festivi.

Sabato	Domenica	Media
4,25%	3,26%	3.75%

**Tabella 0.6 MAPE singoli giorni (festivi)**



Figura 10 - Andamento errore di predizione giorni feriali

*Metodo 2: Previsione dei giorni feriali della settimana successiva considerando i giorni feriali del mese precedente.*

Constatata pertanto l'incertezza nel considerare singoli giorni e, di conseguenza, per ovviare a tale situazione si è deciso di prendere in analisi la media dei veicoli transitanti per fascia oraria per tutti i giorni feriali del mese precedente al fine di predire i rispettivi giorni feriali della prima settimana successiva: pertanto, ogni giorno feriale avrà il medesimo modello.

Il MAPE calcolato è del 5,29%, un valore discretamente buono: il modello è stato scelto per l'implementazione della predizione statistica dei giorni feriali.

*Metodo 3: Previsione dei giorni festivi della settimana successiva considerando i giorni festivi del mese precedente.*

Analogamente al modello per i giorni feriali, è stato elaborato un modello che calcola la media dei veicoli transitanti per fascia oraria per tutti i giorni festivi del mese precedente al fine di predire i rispettivi giorni festivi della prima settimana del mese successivo. (Ogni giorno festivo avrà il medesimo modello). Come si può vedere dalla tabella (tab.8), il MAPE è maggiore rispetto al caso dei feriali, ma ciò che si andrà a considerare per stimare la bontà della predizione è la media delle 2 medie, feriali e festivi, rispettivamente. Il MAPE calcolato è del 7,32%, un valore maggiore rispetto al caso in cui si considerano i giorni feriali/festivi, anche se per tale applicazione si può ritenere accettabile.

MAPE giorni feriali	MAPE giorni festivi
5.29%	7,32%

Tabella 0.7 – confronto modelli feriali e festivi

Al termine di tale analisi, un'attenta riflessione ha portato a considerare in modo dinamico 4 settimane come input (e non più l'intero mese precedente) per prevedere la successiva al fine di uniformare ed omogeneizzare il numero di feriali/festivi considerati durante l'esecuzione ricorsiva dell'algoritmo, e la successiva implementazione.

### 3.2.2 Definizione dell'algoritmo di dimmerazione dinamica e valutazione del risparmio energetico potenziale

Definito ed implementato il modello predittivo della domanda, si è passato alla valutazione del risparmio energetico derivante dall'attuazione di tale strategia.

E' opportuno e necessario fare un excursus in materia di illuminotecnica: la normativa UNI11248:2007 definisce, per mezzo di requisiti fotometrici, le classi illuminotecniche di riferimento delle aree urbane ed individua le prestazioni illuminotecniche degli impianti di illuminazione atte a contribuire, per quanto di pertinenza, alla sicurezza degli utenti delle strade soddisfacendone le esigenze di visione. Tale normativa prende in considerazione anche la possibilità di effettuare declassamenti di categoria in conseguenza all'*analisi dei rischi* (presenza di intersezioni a raso / dispositivi di rallentamento condizioni conflittuali, prossimità di attraversamenti pedonali) ma anche all'ambiente visivo circostante e al flusso veicolare: e quest'ultimo è l'aspetto su cui si è posta attenzione e sul quale si è basata l'analisi dei consumi energetici teorici e stimati.

Come caso studio è stata considerata una strada classificata come strada urbana di quartiere (ME3c), che ha come portata nominale 800 veicoli equivalenti orari: come si evince dalla tabella seguente, estratta dalla normativa UNI EN 13201-2 la luminanza media (minima mantenuta) della superficie stradale in condizioni asciutte della carreggiata presenta un valore di 1.0 cd/m<sup>2</sup> ed è il principale parametro che si dovrà considerare.

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	$\bar{L}$ in cd/m <sup>2</sup> [minimum maintained]	$U_0$ [minimum]	$U_1$ [minimum]	$T_l$ in % <sup>2</sup> [maximum]	$SF^{20}$ [minimum]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	no requirement

Tabella 0.8 Parametri illuminotecnici per classi di strade ME.

prospetto A.7 **Determinazione della categoria illuminotecnica per le strade urbane di quartiere e interquartiere**

Parametri illuminotecnici			Categoria illuminotecnica
Dispositivi rallentatori	Flusso di traffico	Zona di conflitto	
Assenti	<25%	Assente	ME5
		Presente	ME4b
	<50%	Assente	ME4b
		Presente	ME3c
	≤100%	Assente	ME3c
		Presente	ME2
Nel pressi dei dispositivi	<25%	Assente	ME4b
		Presente	ME3c
	<50%	Assente	ME3c
		Presente	ME2
	≤100%	Assente	ME2
		Presente	ME1

**Tabella 0.9 Categoria illuminotecnica vs flusso veicolare per strade urbane di quartiere**

In più, data l’assenza di dispositivi rallentatori e di zone di conflitto, ed in conseguenza ad una riduzione, rispettivamente, del 50% e 25% del flusso veicolare nominale, si avrà un declassamento della categoria illuminotecnica di un livello (*ME4b*) e 2 livelli (*ME5*), cui corrispondono valori di luminanza pari a 0.75 cd/m<sup>2</sup> e 0.5 cd/m<sup>2</sup>, come riscontrabile dalla tabella seguente (Prospetto A.7).

Tuttavia in alcune circostanze può accadere che la previsione di traffico rientri in una fascia diversa rispetto a quella corrispondente al flusso di traffico reale, all’interno dello stesso intervallo orario (caso che si verifica soprattutto in relazione alla transizione giorno/notte in cui si ha un progressivo decremento di veicoli transitanti): e se risulta accettabile (anche se si utilizzerebbe una potenza superiore a quella necessaria, pur garantendo i limiti normativi) che

$$\text{Fascia di declassamento (Previsione)} > \text{Fascia di declassamento (Reale)}$$

non si può dire altrettanto nel caso in cui

$$\text{Fascia di declassamento (Previsione)} < \text{Fascia di declassamento (Reale)}$$

Prima di applicare i profili di dimming, i tecnici dovranno accertare e garantire che la previsione dei veicoli per il mese corrente, confrontati con i relativi dati reali, siano coerenti con tale aspetto: in caso contrario, si dovrà provvedere all’adeguamento della fascia di declassamento a quella prevista per i corrispondenti dati reali. Ad ogni modo qualsiasi azione correttiva dei parametri e delle percentuali di riduzione della potenza dovranno essere, in ultimo, oggetto di approvazione da parte dell’amministrazione locale.

In tal senso, dal punto di vista implementativo, si è deciso di considerare le soglie dei veicoli di per il declassamento variate, in modo conservativo, di un ± ε, che dopo una serie di test è stato fissato pari a 10%, che riduce al minimo tale situazione poiché il doppio dell’errore commesso dal modello predittivo.

I consumi energetici giornalieri, facendo uso o meno di azioni di riduzione della potenza installata degli apparecchi in funzione di variabili esterne, si otterrebbero secondo la seguente formula:

$$\text{Consumo giornaliero [kWh]} = \text{Potenza installata [kW]} * \text{ore funzionamento [h]}$$

Quindi per il singolo corpo illuminante si avrebbe la situazione di seguito riportata:

Consumo energetico(No Dimmering)= 113 W \*14h=1,582 kWh

Consumo energetico(Dimmering)= 113 W \*4h + 100 W \*1h+ 67 W \*9h=1,15 kWh

con un risparmio energetico pari a

Risparmio energetico = Cons(No Dimmering) – Cons(Dimmering)= 0,42 kWh

Considerando il tratto stradale rettilineo, senza rilevanti immissioni dalle vie laterali residenziali laterali, su cui insistono 18 apparecchi, si avrebbe un risparmio energetico totale pari a

Risparmio energetico=0,42 kWh\*18=7,56 kWh

Nell’arco dei 6 mesi durante il quale l’algoritmo ha calcolato i profili di dimming, si riportano nella tabella di seguito i saving energetici teorici che si otterrebbero per ogni mese, per le 18 lampade in questione, evidenziando in modo indicativo i tempi di accensione/spengimento dell’impianto. E’ d’uopo specificare che i risparmi per i mesi primaverili risulteranno inferiori agli altri per il passaggio all’ora legale e per il cambiamento del sunrise e sunset time. Il costo dell’energia è stato ripreso dal sito dell’ENEL e fissato pari a 0.17 €/kWh. Per i risparmi di CO<sub>2</sub> si considera un valore di 382 g/kWh.

Risultati						
	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio
Accensione impianto	17	17	17	18 / 19	19	20
Spegnimento impianto	8	8	7	7	7	6
Ore di funzionamento	465	465	392	400	360	290
Consumo energetico (No Dimming) [kWh]	945.81	945.81	797.328	813.6	732.24	589.86
Consumo energetico (Dimming) [kWh]	684.054	678.366	565.092	563.49	503.91	400.356
Saving energetici [kWh]	261.756	267.444	232.236	250.11	228.33	189.504
Saving energetici [%]	27,67%	28,27%	29,13%	30,74%	31,18%	32,12%
Savings CO <sub>2</sub> [kg]	100	102.2	88.7	95.6	87.2	72.4

Tabella 0.10: Sintesi saving energetici potenziali.

## 4 Sviluppo prototipale di smart street

### 4.1 Il Case Study CR ENEA Casaccia

Tale attività si presenta come la prosecuzione di attività nell’ambito dello ‘Smart Village Casaccia’ realizzato nel precedente triennio (RdS/PAR2014/023) nell’area: Razionalizzazione e risparmio nell’uso dell’energia elettrica - progetto C1: Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi - obiettivo B : Gestione di reti di edifici e “Smart Village”. Con questa attività si intende ampliare le funzioni dello Smart Village aggiungendo alla gestione di reti di smart building anche quello delle strade interne attraverso l’implementazione di una smart street prototipale nell’arco del triennio in cui testare e sviluppare tecnologie per fornire servizi integrati di valore aggiunto, a cominciare da quello di una illuminazione

efficiente ed adattiva (cfr par. 3.2 Algoritmi di tipo ‘model predictive control’), da implementare successivamente in contesti urbani reali.

In tale scenario, presso il Centro Ricerche Enea della, grazie ad un accordo di collaborazione siglato tra ENEA e UVAX Italia Srl, è stato realizzato un dimostrativo sperimentale in corrispondenza dell’impianto di illuminazione del viale principale antistante la mensa e le aree limitrofe. La sperimentazione congiunta interessa lo sviluppo di metodologie innovative, aperte ed interoperabili per la gestione dello Smart Lighting e dei servizi aggiuntivi. Grazie all’impiego della tecnologia PLC a banda larga, è stato realizzato di un sistema innovativo che integra diverse funzionalità: illuminazione a led ad alta efficienza, controllo adattivo, telegestione del singolo punto luce e servizi aggiuntivi. La soluzione è in grado di assicurare risparmio energetico e al tempo stesso garantire il comfort e la sicurezza per gli utenti, grazie alla regolazione della tensione di alimentazione delle lampade in funzione delle reali necessità dedotte dai sensori di conteggio veicoli e persone. Inoltre grazie alla definizione e sviluppo di protocolli aperti di comunicazione il sistema sarà in grado di permettere l’integrazione rapida di sensoristica di terze parti sui pali intelligenti al fine di sfruttare il sistema di trasporto del dato. L’installazione di sensori innovativi, gli SmartEye, consentirà di fornire ulteriori servizi: videosorveglianza, monitoraggio dei flussi di traffico, delle condizioni meteo, dell’inquinamento acustico, mentre il singolo palo potrà essere abilitato ad ospitare alcune funzioni come stazioni di ricarica elettrica, pannelli informativi, hot spot wifi.

L’obiettivo è quello di testare in un caso reale un sistema di connessioni innovativi in grado di fornire nuovi servizi, trasferire in tempo reale dati relativi ai consumi di un impianto di illuminazione ad un sistema centrale di supervisione, organizzarli e renderli coerenti e comparabili tramite lo sviluppo di Key Performance Indicators.

#### 4.1.1 Impianto di illuminazione

Il viale è costituito da una strada larga 6 metri per una lunghezza di circa 1 Km, esso è adibito sia al traffico veicolare che pedonale, mentre la velocità consentita in tutto il Centro di Ricerca è di 30 Km/h.

L’impianto di illuminazione preesistente era costituito da apparecchi con lampade ai vapori di mercurio da 125 W, mentre nella realizzazione del nuovo impianto sono stati scelti apparecchi di illuminazione a led di ultima generazione e con elevate prestazioni già disponibili sul mercato ed è stata mantenuta la posizione degli apparecchi originali.

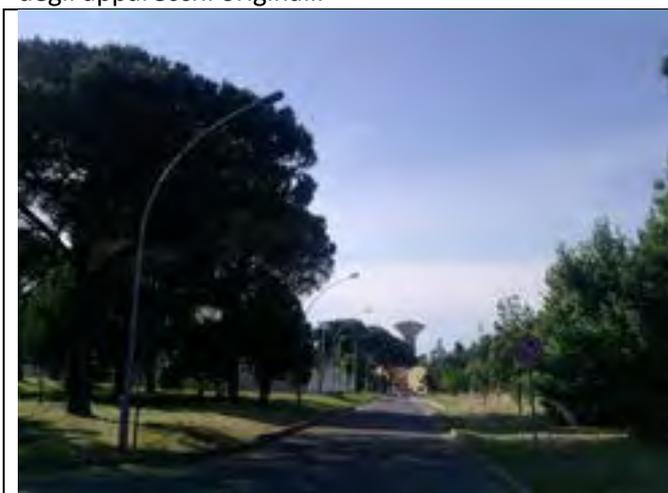


Figura 11

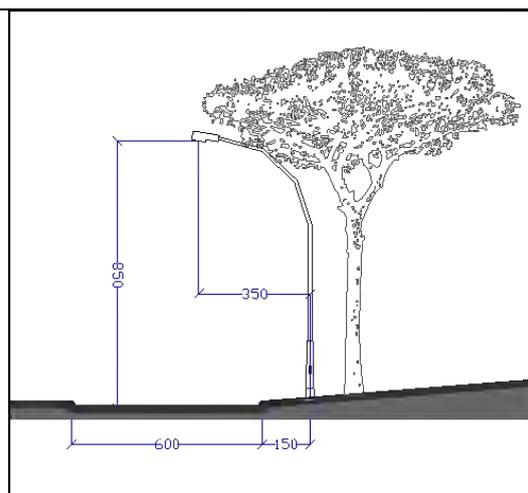


Figura 12

Secondo la norma UNI 11248, il viale è stato classificato di tipo F: strada locale extraurbana con limite di velocità 30km/h, Categoria illuminotecnica di progetto la CE4/S2, prevedendo in esercizio di scendere alle categorie CE5/S3 e S4.

Categoria	illuminamento orizzontale
-----------	---------------------------

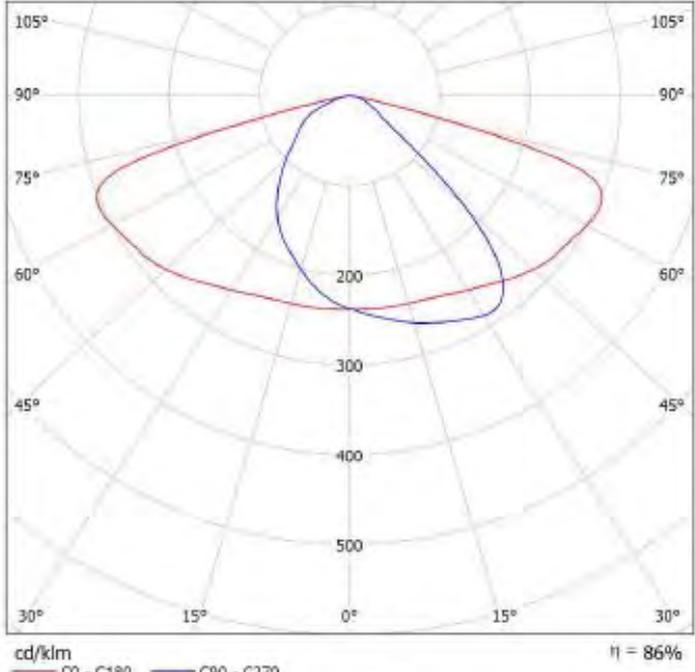
	$E_{\text{medio}} * \text{min.mantenuto}[\text{lx}]$	$E_{\text{min}} \text{ mantenuto}[\text{lx}]$
<b>S1</b>	15	5
<b>S2</b>	10	3
<b>S3</b>	7,5	1,5
<b>S4</b>	5	1
<b>S5</b>	3	0,6
<b>S6</b>	2	0,6
<b>S7</b>	prestazione non determinata	prestazione non determinata

NOTA: \*(per ottenere l'uniformita'  $E_{\text{medio}} < 1,5 E_{\text{min}}$  indicato per la categoria)

**Tabella 4.1 - Categorie illuminotecniche serie S (norma EN 13201-2:2003)**

La fase progettuale è stata condotta in collaborazione con l'azienda fornitrice dei corpi illuminanti i punti luce sostituiti sono stati 20 afferenti a due cabine elettriche distinte.

Si riportano di seguito le specifiche tecniche degli apparecchi installati:

Descrizione	Curve fotometriche
 <p>Tipo SCHREDER AMPERA MIDI /5138/48 LEDS 500 mA NW</p> <p>Flusso luminoso (lampada) 8322 lm</p> <p>Flusso luminoso (lampadine) 9648 lm</p> <p>Potenza 58 W</p>	 <p><b>Figura 13 Specifiche tecniche apparecchi installati</b></p>

Le verifiche illuminotecniche condotte in fase progettuale hanno portato ai seguenti risultati:

	Apparecchi	Potenza lampada	Categoria illuminotecnica*	$E_{\text{min}}$ (lx)	$E_{\text{med}}$ (lx)	$U_{\text{min/med}}$ (%)
Categoria di progetto	SCHREDER AMPERA MIDI /5138/48 LEDS 500 mA	58W	CE4/S2	5	13	40

	NW					
Categoria di esercizio 1	SCHREDER AMPERA MIDI /5138/48 LEDS 500 mA NW	36W	CE5/S4	3	8	40
Categoria di esercizio 2	SCHREDER AMPERA MIDI /5138/48 LEDS 500 mA NW	26W	S4	2	6	

Tabella 4.2 verifiche illuminotecniche

### 4.1.2 Impianto di telegestione e sensori Smart-eye

Mentre per quanto riguarda il sistema di telegestione, fornito dall’azienda UVAX, ha interessato tutti i punti luce alimentati dalle due cabine, in particolare sono stati installati 76 nodi e 2 concentratori presso le cabina 3 e 9. Contemporaneamente sono stati predisposti i nodi per ospitare i sensori ottici Smart-eye in corrispondenza di tre punti luce, mentre un quarto punto luce è stato predisposto come Hotspot wifi, la figura che segue illustra il progetto dell’intervento.



Figura 14 Planimetria area di installazione

In questa annualità è stato installato il punto PL2 e nelle figure seguenti viene riportato il sensore installato su palo e la porzione di strada che questo analizza.



Figura 15 sensore Smart-Eye (PL2)



Figura 16 Smart-Street sperimentale (PL2)

Inoltre, è stato installato il sistema PLC afferente alla cabina 9 ed in essa sono stati installati i concentratori per la raccolta dati (vedi figura seguente).

La tecnologia installata per il controllo dei lampioni LED è quella ad onde convogliate a 10Mbit , per la gestione del flusso luminoso su lampade a LED. Il sistema ad “onde convogliate” (PLC o Power-Line Communication) è un sistema per la trasmissione di dati attraverso la rete elettrica. Offre una flessibilità totale nella gestione degli impianti d’illuminazione: gli orari di accensione e spegnimento possono essere modificati a piacimento, anche per ogni singolo punto luce. Questi sistemi consentono di valutare a distanza i feedback provenienti dai componenti degli apparecchi (ore di funzionamento, parametri elettrici, etc.). Inoltre, sul punto luce è sempre presente tensione ed è quindi possibile installare dispositivi dedicati (es. telecamere, sensori, ecc.) per ottenere servizi aggiuntivi in ambito urbano ed extraurbano. Gli apparecchi si servono di un driver elettronico regolabile (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) al quale è affiancato un modulo di controllo che ha il compito di dialogare direttamente con il driver sia per ricevere informazioni sullo stato e sul funzionamento dello stesso sia per regolare la corrente di alimentazione e quindi l’intensità di flusso luminoso dell’apparecchio. In questo modo il risparmio

energetico può essere spinto ai massimi livelli, mantenendo la possibilità di modificare istantaneamente le regolazioni e permettendo un consistente risparmio nella fase di manutenzione degli impianti.



Figura 17 PLC installato in cabina per collegamento cabina-lampioni



Figura 18 Array di LED da 70 watt del lampione installato nel viale.



Figura 19 PLC NODE UVAX

## 4.2 Il Case Study CR ENEA Ispra

Una seconda attività sperimentale è iniziata presso i Laboratori ENEA Ispra e riguarda lo sviluppo di un sistema multi-sensore per il monitoraggio ambientale, gestione del flusso luminoso, rilevamento flusso di traffico veicolare/pedonale funzionale ad applicazioni di smart street. E' stato acquistato un sensore/telecamera per il monitoraggio della scena, customizzato dalla ditta fornitrice in modalità open che verrà sottoposto a prove in laboratorio e in campo. Lo scopo è quello di implementare il sensore/telecamera con altre funzioni e integrarlo con altri sensori (ambientali, acustici, fotometrici,..)

Sono stati avviati contatti con altra ditta produttrice di sensori/telecamere per il traffico al fine di testare altre tecnologie disponibili sul mercato.

Scopo ultimo delle attività sperimentale è la progettazione di un sistema prototipale integrato in grado di far evolvere il palo in "palo intelligente" che oltre alla regolazione e gestione del flusso luminoso, sia anche di supporto per la pianificazione e il controllo del traffico veicolare attraverso l'attivazione di funzioni in base alle rilevazioni di parametri meteorologici ed ambientali, e per la diagnostica della scena urbana (criticità, danni); la progettazione parte da prodotti già esistenti per farli evolvere con nuove capacità sensoristiche integrate e logiche.

La customizzazione del sensore/telecamera ha comportato modifiche e integrazioni del prodotto standard sia hardware che software:

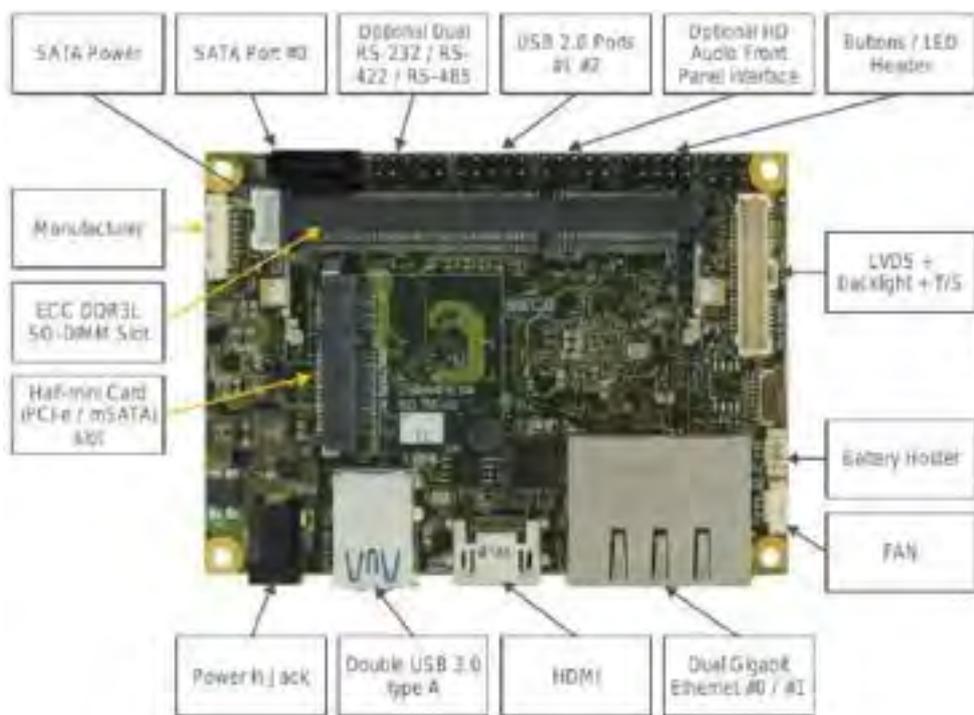


Figura 20 Interfacce scheda sensore. Fonte Smart-I S.r.l

### INTERFACCE HW

- Re-ingegnerizzazione kernel Linux per accesso ai moduli aggiuntivi USB, I2C, SPI, GPIO, disponibili come interfacce hw

### INTERFACCE SW

- Configurazione del sistema per accesso SSH tramite interfaccia Ethernet e Wi-Fi
- Progettazione e sviluppo di un componente software wifimanager per: ricerca, connessione e gestione di reti wifi third party diverse da quelle predefinite SmartEye

- Progettazione e sviluppo di un componente software per l'accesso ai dati provenienti da camera USB 2.0 di classe V4L2 che consenta l'acquisizione di frame contemporaneamente all'analisi video analytics predefinita in SmartEye
- Progettazione e sviluppo di un componente software per il controllo dello stato del sensore, per il cambio di modalità operativa del sensore, per il salvataggio di log di sistema/errore, per la trasmissione di suddetti dati di log in remoto.

### 4.3 Use Case Smart-Street

Allo scopo di individuare e descrivere il ciclo di gestione dei dati per ogni contesto applicativo verticale della Ricerca di Sistema elettrico (Smart Street è uno di questi verticali) è stato avviato un sub-task apposito che consentisse di utilizzare lo stesso approccio e lo stesso insieme di convenzioni per definire i relativi Casi d'Uso. Tale attività è stata realizzata da ENEA nel task D7a e i dettagli, relativi alla classificazione e alle convenzioni utilizzate, sono esposti in maniera completa nel report “Le specifiche della smart platform del distretto” (RdS/PAR2015/014, par.1.4 e 1.5)

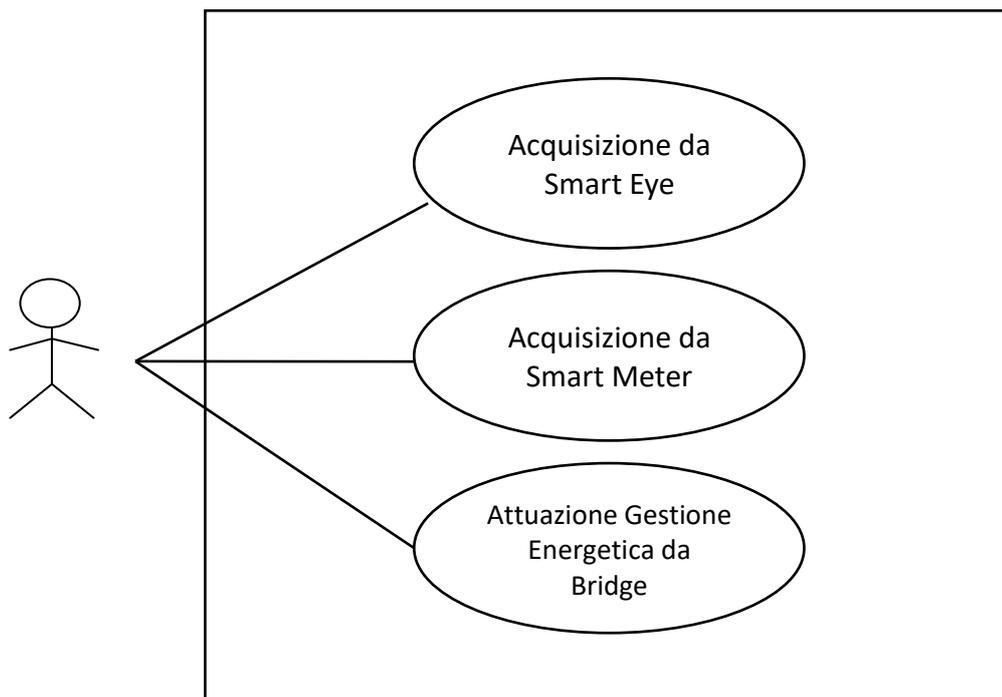
I Casi d'Uso D5b.1 presentati in questo capitolo sono relativi al flusso dati gestito con tecnologia Smart Eye e Smart Meter.

ID	Nome Caso d'Uso	Ambito Specifico	Contesto Applicativo	Area di Gestione
D5b.1.1	Acquisizione da Smart Eye	Smart Eye	Smart Street	Area Campo
D5b.1.2	Acquisizione da Smart Meter	Smart Eye	Smart Street	Area Campo
D5b.1.3	Attuazione Gestione Energetica da Bridge	Smart Eye	Smart Street	Area Campo

Sono presentati 3 casi d'uso, relativi al task D5B “Smart Street” in cui viene utilizzato il sensore ottico Smart Eye e l'acquisitore Smart Meter:

1. caso d'uso "**Acquisizione da Smart Eye**": descrizione del flusso dati dal sensore ottico Smart Eye alla Piattaforma ICT per l'acquisizione dati sul traffico e l'ambiente;
2. caso d'uso "**Acquisizione da Smart Meter**": descrizione del flusso dati dallo Smart Meter del quadro elettrico alla Piattaforma SMART STREET per l'acquisizione dati consumi elettrici;
3. caso d'uso "**Attuazione Gestione Energetica da Bridge**": descrizione dell'attuazione della gestione energetica presso il sistema di telecontrollo elettrico.

Questa suddivisione è stata fatta per consentire una descrizione in diverse parti, parti che nel contesto applicativo reale possono essere implementate autonomamente.



### 4.3.1 Caso d'uso "Acquisizione da Smart Eye"

#### Descrizione

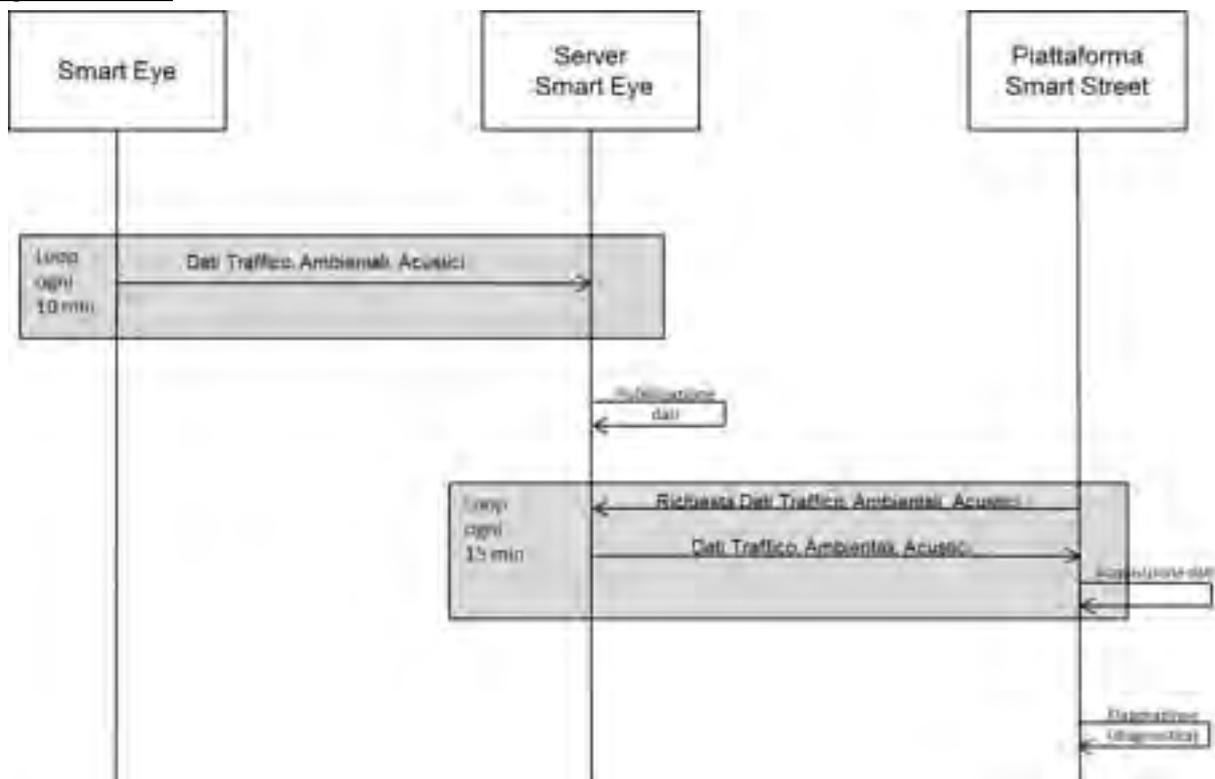
ID	Nome Caso d'uso
D5b.1.1	Acquisizione da Smart Eye
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
Acquisizione dei dati relativi al traffico (auto, bus, pedoni) per intervallo temporale.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
<p>Flusso dati relativi al monitoraggio del traffico tramite l'uso del sensore Smart Eye (che viene usualmente applicato sui pali dell'illuminazione pubblica). I dati vengono inviati al Server dedicato e qui vengono immagazzinati e resi disponibili per il recupero tramite chiamata a web service.</p> <p>La Piattaforma Smart Street di acquisizione dati utilizza il web service per recuperare i dati in oggetto, li immagazzina nel proprio database di acquisizione e</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- avvia logiche di monitoraggio e diagnostica su tali dati;</li> <li>- attua logiche di attuazione della gestione energetica.</li> </ul> <p>La gestione energetica in questione prevede la regolazione dell'intensità luminosa dell'illuminazione sulla strada in base al flusso del traffico rilevato e alla normativa europea che stabilisce regole precise sull'argomento.</p>	

Attore	Descrizione
Smart Eye	SmartEye è un sistema integrato, intelligente e distribuito di sensori ottici che restituisce in tempo reale la misura digitalizzata relativa alla mobilità: monitoraggio del traffico veicolare, la videosorveglianza automatica, il riconoscimento di situazioni anomale, come incidenti stradali e incendi.
Server Smart Eye	Sistema di raccolta informazioni da tutti gli smart eye, storage delle informazioni e pubblicazione tramite web service.

Piattaforma Smart Street	Sistema di recupero e storage dei dati per successiva elaborazione a scopi di diagnostica e monitoraggio.
--------------------------	---

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Dati Traffico	Municipality	Smart Street Utility	Piattaforma Smart Street	Smart District	Smart District Platform

Diagramma UML



Sequenza delle attività

N .	Quando si attiva l'attività ?	Attività	Descrizione attività	Prodotto re Informazione	Ricevit ore informazione	Informaz ione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)
1	Loop (10 min)	Da Smart Eye a Server	Lo <i>Smart Eye</i> raccoglie i dati relativi a mobilità, ambiente e acustica, effettua una prima elaborazione e invia ogni 10 minuti i dati al <i>Server Smart Eye</i> che li riceve, li immagazzina e li	Smart Eye	Server Smart Eye	Misura Mobilità, Misura Ambiente, Misura Acustica	Ritardo <20 s

			pubblica tramite un web service.				
2	Loop (15 min)	Acquisizione Dati	La <i>Piattaforma Smart Street</i> recupera ogni 15 minuti i dati invocando un web service sul <i>Server Smart Eye</i>	Server Smart Eye	Piattaforma Smart Street	Misura Mobility Misura Ambiente Misura Acustica	Ritardo <20 s
3	Evento "Elaborazione" (ogni settimana)	Elaborazione Dati	La <i>Piattaforma Smart Street</i> elabora i dati disponibili per effettuare azioni di monitoraggio e diagnostica.	Piattaforma Smart Street	Piattaforma Smart Street	Misura Mobility Misura Ambiente Misura Acustica	---

#### 4.3.2 Caso d'uso "Acquisizione da Smart Meter"

##### Descrizione

Il seguente caso d'uso è la descrizione del flusso dei dati che vengono trasmessi dallo Smart Meter Quadro Elettrico (che viene usualmente applicato presso un quadro elettrico dell'illuminazione pubblica) alla Piattaforma Smart Street per l'acquisizione dati sul traffico attraverso un Bridge.

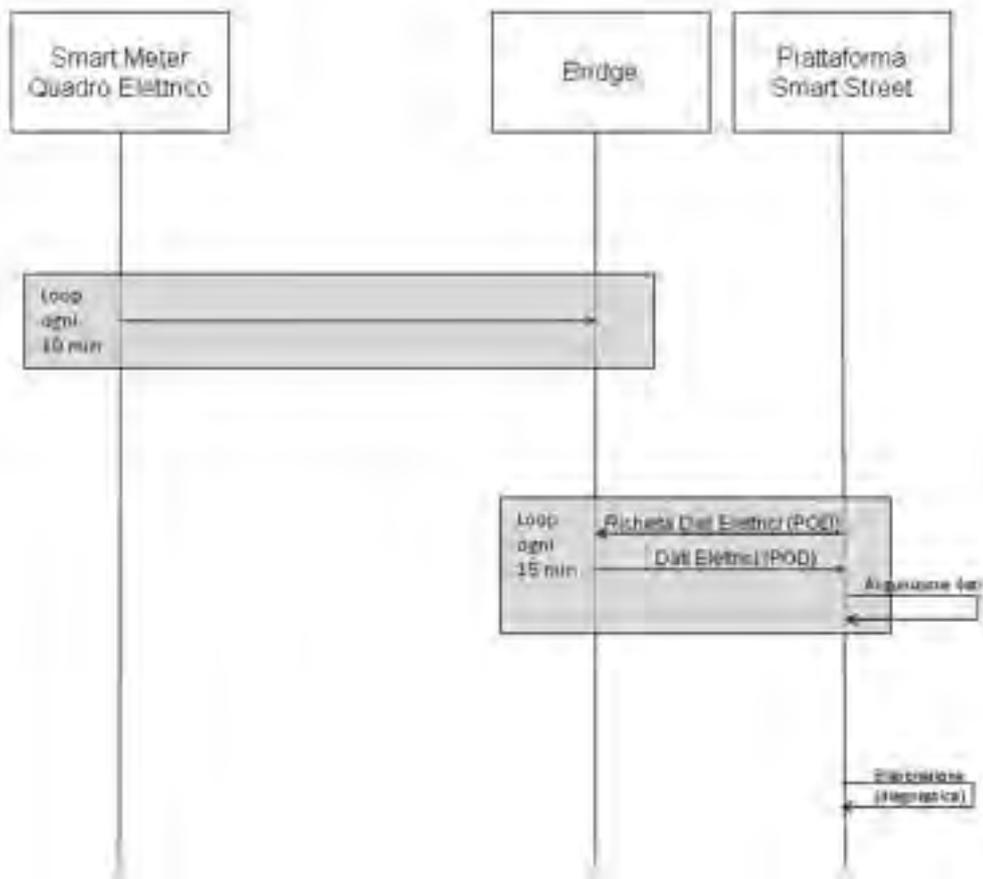
ID	Nome Caso d'uso
D5b.1.2	Acquisizione da Smart Meter
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
Monitoraggio dei consumi elettrici per la gestione energetica dell'illuminazione pubblica.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
<p>Il caso d'uso descrive il flusso dei dati relativi ai consumi elettrici dell'illuminazione pubblica. Tali dati vengono inviati dallo Smart Meter Quadro Elettrico (che viene usualmente applicato presso un quadro elettrico dell'illuminazione pubblica) al Bridge e qui vengono resi disponibili per il recupero tramite chiamata a web service.</p> <p>La Piattaforma Smart Street di acquisizione dati utilizza il web service per recuperare i dati in oggetto, li immagazzina nel proprio database di acquisizione e avvia logiche di monitoraggio e diagnostica su tali dati.</p>	

Attore	Descrizione
Smart Meter Quadro Elettrico	Tecnologia impiegata per raccogliere e inviare periodicamente i dati di consumo elettrico a un centro di storage o smistamento di tali dati (p.es. Bridge).
Bridge	Sistema di raccolta dati sul consumo elettrico e pubblicazione tramite web service.
Piattaforma Smart Street	Sistema di recupero e storage dei dati per successiva elaborazione a scopi di diagnostica e monitoraggio.

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore (i) fuori dalla specifica	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area

				area di gestione	di gestione
Dati Elettrici (POD)	Municipality	Smart Street Utility	Piattaforma a Smart Street	Smart District	Smart District Platform

Diagramma UML



Sequenza delle attività

N.	Quando si attiva l'attività ?	Attività	Descrizione attività	Prodotto Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)
1	Loop (10 min)	Da Smart Meter Quadro Elettrico a Bridge	Lo <i>Smart Meter Quadro Elettrico</i> raccoglie i dati relativi ai consumi elettrici, effettua una prima elaborazione e invia ogni 10 minuti dati al <i>Bridge</i> che li riceve e li immagazzina.	Smart Meter Quadro Elettrico	Bridge	POD	Ritardo <20 s
2	Loop (15 min)	Acquisizione Dati	La <i>Piattaforma Smart Street</i> recupera ogni 15	Bridge	Piattaforma Smart	Misura Mobility Misura	Ritardo <20 s

			minuti i dati invocando un web service sul <i>Bridge</i>		Street	Ambiente e Misura Acustica	
3	Evento "Elaborazione" (ogni settimana)	Elaborazione Dati	La <i>Piattaforma Smart Street</i> elabora i dati disponibili per effettuare azioni di monitoraggio e diagnostica.	Piattaforma Smart Street	Piattaforma Smart Street	Misura Mobilità, Misura Ambiente e Misura Acustica	---

### 4.3.3 Caso d'uso " Attuazione Gestione Energetica da Bridge "

#### Descrizione

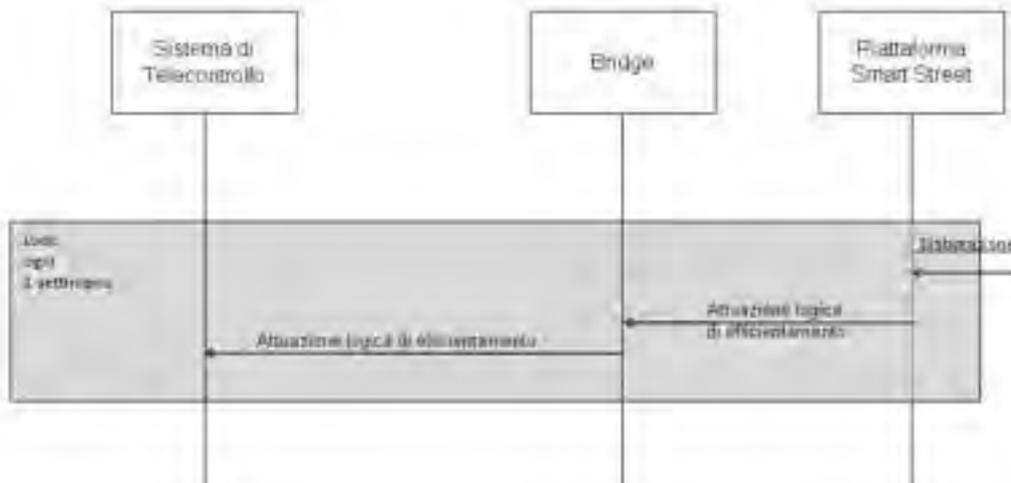
ID	Nome Caso d'uso
D5b.1.3	Attuazione Gestione Energetica da Bridge
Obiettivo (max 3 righe)	
Attuazione della gestione energetica dell'illuminazione pubblica.	
Descrizione (max 10 righe)	
<p>La Piattaforma Smart Street, dopo aver elaborato i dati integrati relativi a traffico, ambiente e consumi elettrici, attua le logiche di gestione energetica invocando un web service implementato sul Bridge. A sua volta il Bridge eseguirà il comando presso il sistema di telecontrollo.</p> <p>Il terzo caso d'uso è quindi fase finale seguendo questa successione:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. flusso di dati che vengono trasmessi dal sensore ottico Smart Eye al Server dedicato e poi alla Piattaforma Smart Street per l'acquisizione;</li> <li>2. flusso di dati che vengono trasmessi dallo Smart Meter Quadro Elettrico al Bridge e poi alla Piattaforma Smart Street per l'acquisizione;</li> <li>3. elaborazione dati integrati e attuazione di una Logica Smart per la gestione energetica tramite sistema di telecontrollo.</li> </ol>	

Attore	Descrizione
Bridge	Sistema di raccolta dati sul consumo elettrico e pubblicazione tramite web service.
Piattaforma Smart Street	Sistema di recupero e storage dei dati, sia da Server Smart Eye che da Bridge, per successiva elaborazione e attuazione di logiche smart di la gestione energetica.
Sistema di Telecontrollo	Sistema di attuazione logiche di la gestione energetica sull'illuminazione pubblica.

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore (i) fuori dalla specifica area di gestione	Sistemi destinatari fuori dalla specifica area di gestione
Comando di Attuazione per Bridge	Smart Street Utility	Smart Street Utility	Bridge	Smart District	Smart District Platform
Comando di Attuazione per	Smart Street Utility	Smart Street Utility	Sistema di Telecontrollo	Smart District	Smart District Platform

Sistema di Telecontrollo					
--------------------------	--	--	--	--	--

Diagramma UML

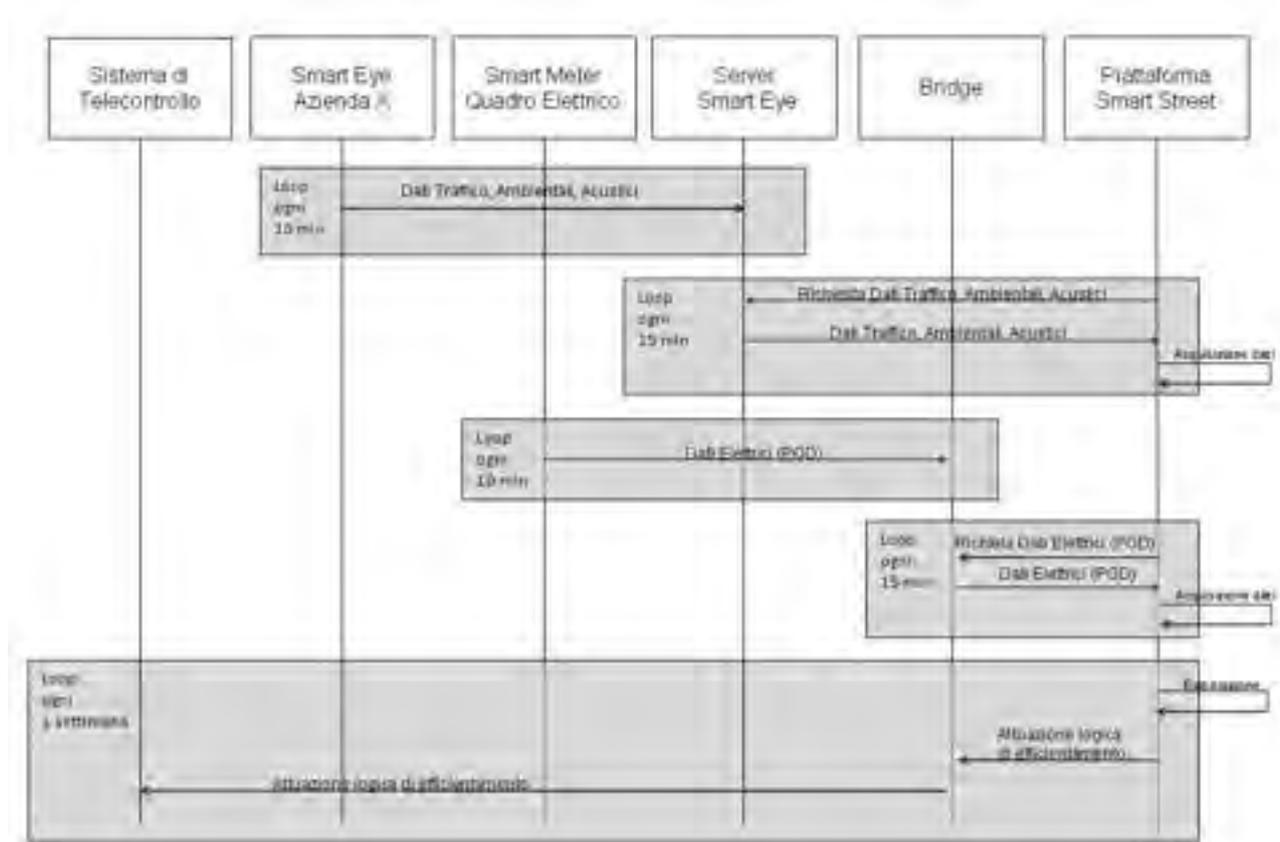


Sequenza delle attività

N .	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)
1	Loop (ogni settimana)	Elaborazione Dati e Richieste di Attuazione	La <i>Piattaforma Smart Street</i> una volta alla settimana elabora i dati integrati relativi a mobilità, ambiente e consumi elettrici, definisce Logica Smart e invoca l'attuazione della Logica Smart invocando un web service sul <i>Bridge</i>	Piattaforma Smart Street	Bridge	Logica Smart di gestione energetica	Ritardo <20 s
2	Loop (ogni settimana)	Attuazione Logica Smart di Gestione Energetica	Il Bridge una volta ricevuto il comando di attuazione Logica Smart di gestione energetica, attua il comando presso il Sistema di Telecontrollo dell'illuminazione pubblica	Bridge	Sistema di Telecontrollo	Logica Smart di gestione energetica	Ritardo <20 s

#### 4.3.4 Diagramma UML totale (Smart Eye)

La seguente figura, allo scopo di fornire una view completa, presenta i precedenti 3 casi d'uso in un unico diagramma di sequenza



#### 4.4 Use Case Smart Street Platform - Smart District Platform

Di seguito vengono riportati i casi d'uso descrittivi la comunicazione tra Smart Street Platform e Smart District Platform. La Smart Street Platform è relativa al contesto applicativo "Smart Street" (task D5b) e utilizza la tecnologia Smart Eye con Bridge. La Smart District Platform è la piattaforma ICT di distretto (task D7a).

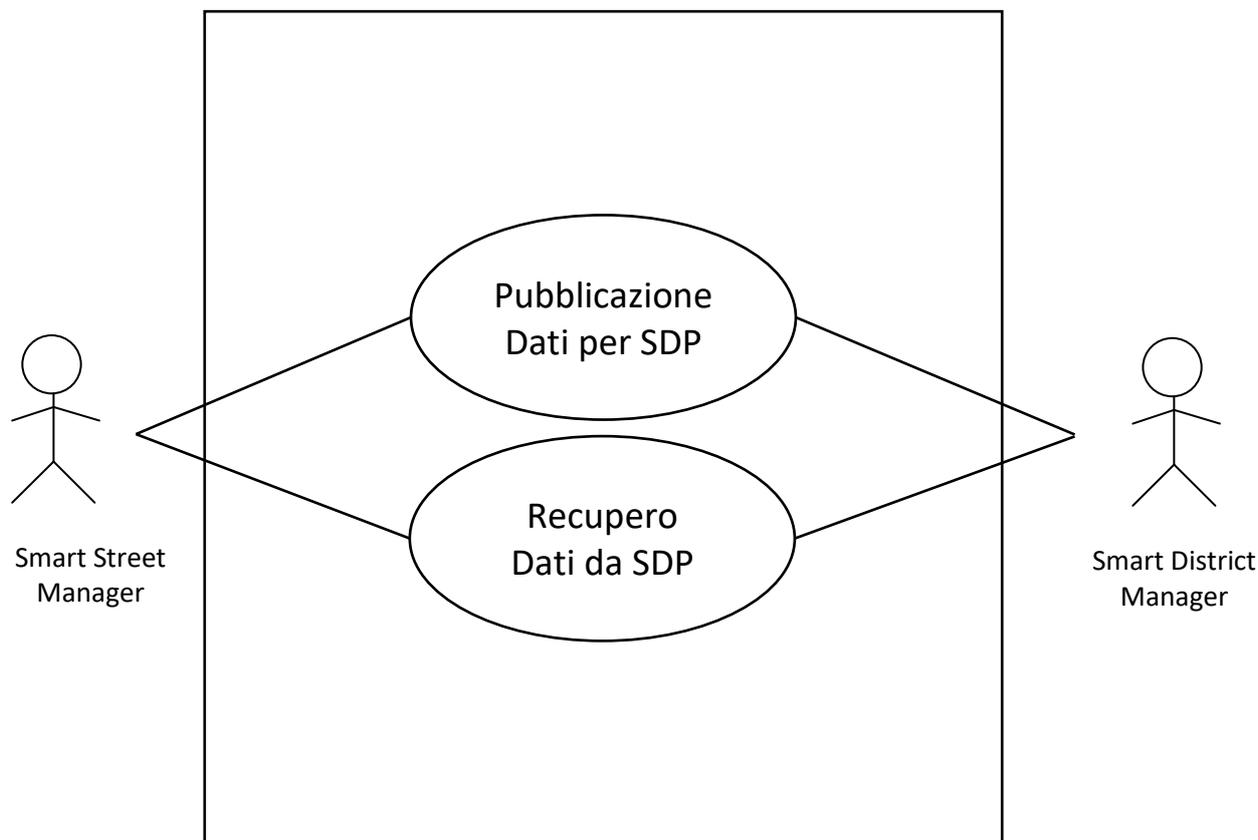
Sono qui descritti i casi d'uso relativi alla comunicazione tra piattaforma Smart Street e la Piattaforma ICT di distretto (Smart District Platform, SDP, relativa al task D7a) che si occupa di gestire lo scambio di dati (aggregati e non) tra diversi contesti applicativi verticali.

L'Area di Gestione (si veda per approfondimento report "Le specifiche della piattaforma del distretto", RdS/PAR2015/014, par.1.3). è quindi quella relativa al dialogo con la "Smart District Platform".

ID	Nome Caso d'Uso	Ambito Specifico	Contesto Applicativo	Area di Gestione
D5b.2.1	Pubblicazione Dati per SDP	Smart Eye	Smart Street	Smart District Platform
D5b.2.2	Recupero Dati da SDP	Smart Eye	Smart Street	Smart District Platform

I Casi d'Uso presentati in questo capitolo presentano le interazioni tra la piattaforma Smart Street (task D5b) e la Smart District Platform (task D7a) e si concretizzano fondamentalmente in due azioni di dialogo nelle due direzioni:

1. caso d'uso **"Pubblicazione Dati per Smart District Platform"** in cui la piattaforma Smart Street pubblica Dati (aggregati e non) per la Smart District Platform (SDP) e
2. caso d'uso **"Recupero Dati da Smart District Platform"** in cui i Dati (aggregati e non) vengono pubblicati dalla SDP e recuperati dalla piattaforma Smart Street.



#### 4.4.1 Caso d'uso "Pubblicazione Dati per Smart District Platform"

Descrizione

Il seguente caso d'uso è la descrizione del flusso dati che vengono trasmessi dalla piattaforma Smart Street alla Smart District ICT Platform.

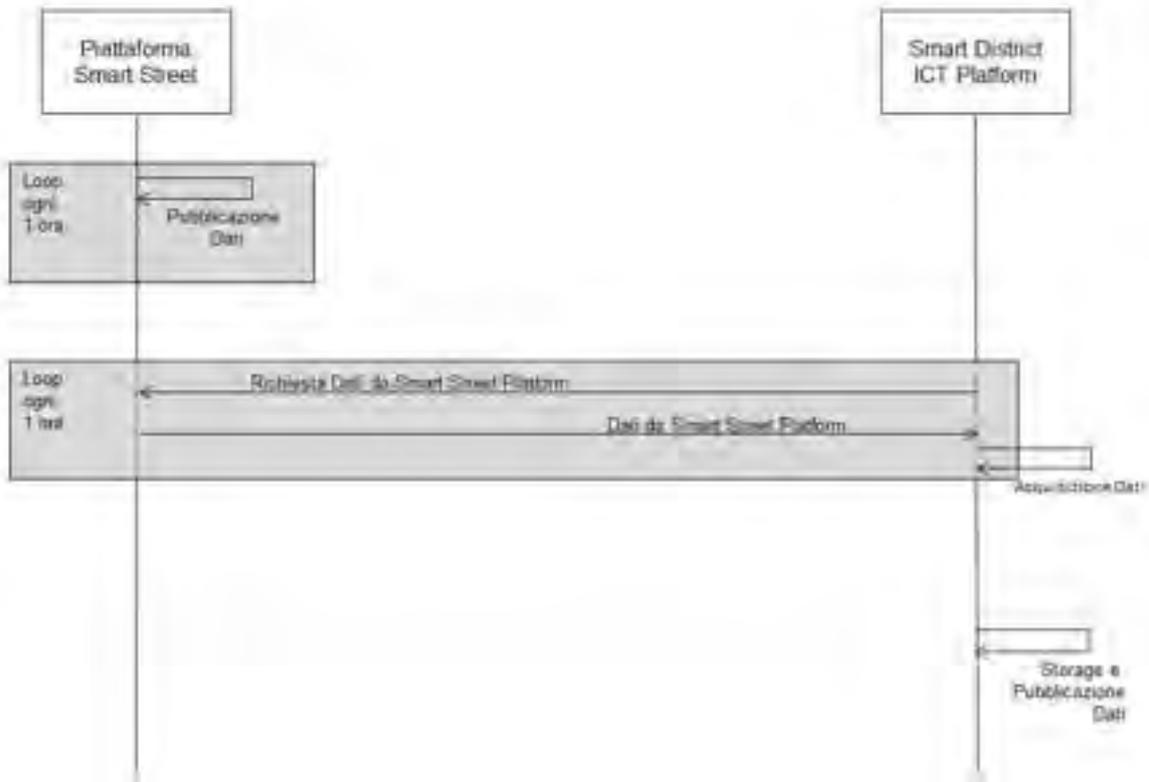
ID	Nome Caso d'uso
D5b.2.1	Pubblicazione Dati per Smart District Platform
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
Pubblicazione Dati (aggregati e non) da parte della piattaforma Smart Street per la Smart District ICT Platform che li acquisirà.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
Il caso d'uso descrive la pubblicazione da parte della Piattaforma Smart Street di alcuni dati, aggregati e	

non, che saranno recuperati e immagazzinati nella piattaforma ICT del distretto (Smart District Platform) e saranno così resi pubblici a tutti i contesti applicativi verticali che vorranno usufruirne in linea con l'architettura di massima definita per la Smart District Platform (D7a).

Attore	Descrizione
Smart Street Platform	Sistema di recupero e storage dei dati, sia da Server Smart Eye che da Bridge, per successiva elaborazione e attuazione di logiche smart di la gestione energetica.
Smart District ICT Platform	Piattaforma ICT di distretto.

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione
Dati (aggregati e non)	Public	Public	Smart District Platform	Ogni Contesto Applicativo verticale

Diagramma UML



**Sequenza delle attività**

N	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)
1	Loop (1 ora)	Pubblicazione Dati	La Piattaforma Smart Street pubblica uno o più Dati (aggregati e non)	Piattaforma Smart Street	Piattaforma Smart Street	Dati (aggregati e non)	---
2	Loop (1 ora)	Acquisizione Dati	La Piattaforma Smart District Platform interroga la piattaforma Smart Street per acquisire i Dati (aggregati e non) pubblicati.	Piattaforma Smart Street	Smart District ICT Platform	Dati (aggregati e non)	---
3	Loop (1 ora)	Pubblicazione Dati per lo Smart District	La Piattaforma Smart District Platform immagazzina i Dati (aggregati e non) e li rende pubblici per tutti gli altri Contesti Applicativi che ne vogliono usufruire.	Smart District ICT Platform	Smart District ICT Platform	Dati (aggregati e non)	---

**4.4.2 Caso d'uso " Recupero Dati da Smart District Platform "**

Descrizione

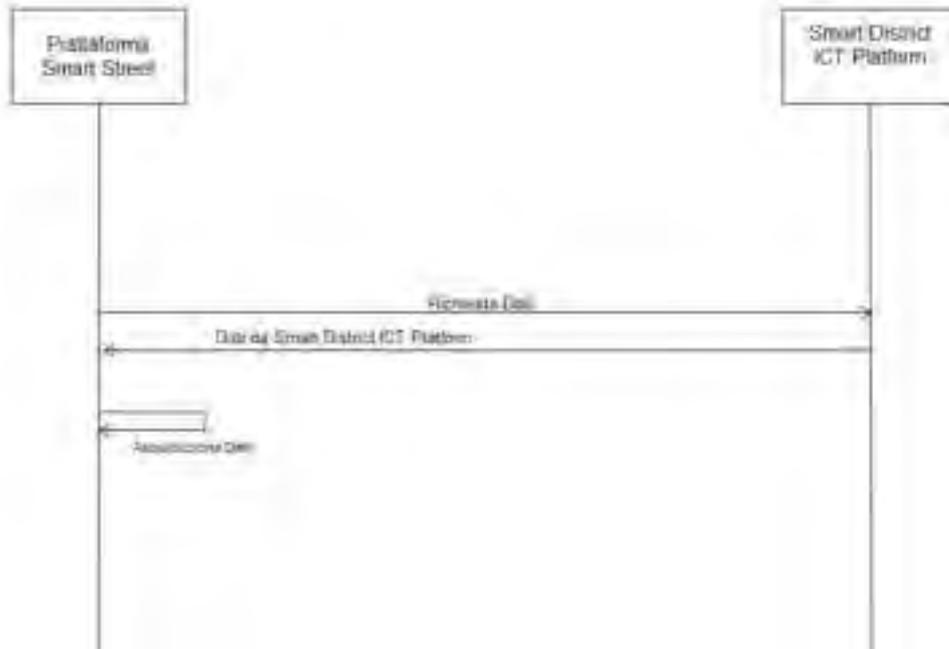
Il seguente caso d'uso è la descrizione del flusso dati che vengono trasmessi dalla Smart District ICT Platform alla piattaforma Smart Street.

ID	Nome Caso d'uso
D5b.2.2	Recupero Dati da SDP
<b>Obiettivo (max 3 righe)</b>	
Recupero Dati (aggregati e non) da parte della piattaforma Smart Street verso la Smart District ICT Platform (Smart Platform) che li ha pubblicati.	
<b>Descrizione (max 10 righe)</b>	
Il caso d'uso descrive il recupero di alcuni Dati (aggregati e non) che potranno essere immagazzinati nella piattaforma ICT dello Smart District e saranno pubblici a tutti i contesti applicativi verticali che vorranno usufruirne in linea con l'architettura di massima definita per la Smart Platform (D7A).	

Attore	Descrizione
Smart Street Platform	Sistema di recupero e storage dei dati, sia da Server Smart Eye che da Bridge, per successiva elaborazione e attuazione di logiche smart di la gestione energetica.
Smart District ICT Platform	Piattaforma ICT di distretto.

Informazione	Owner	Utilizzatore	Sistemi destinatari	Utilizzatore(i) fuori dalla specifica area di gestione
Dati (aggregati e non)	Public	Smart District	Smart District ICT Platform	Ogni Contesto Applicativo verticale

### Diagramma UML



### Sequenza delle attività

N.	Quando si attiva l'attività?	Attività	Descrizione attività	Produttore Informazione	Ricevitore informazione	Informazione scambiata	Requisiti scambio informazione (#)
1	On Demand	Recupero Dati	La Piattaforma Smart Street richiede, quando necessario, Dati (aggregati e non), dalla Smart District ICT Platform.	Smart District ICT Platform	Smart Street Platform	Dati (aggregati e non)	---

## 5 Analisi degli standard e modelli di illuminazione

L'ENEA è componente di gruppi di lavoro inerenti all'illuminazione artificiale sia per esterni che per interni. In particolare

UNI/CT 023: Luce illuminazione

UNI/CT 023/GL01: "Termini generali e criteri di qualità. Definizioni"

UNI/CT 023/GL 02: "Illuminazione degli ambienti di lavoro e dei locali scolastici"

UNI/CT 023/GL 05: "Illuminazione stradale (misto Luce e illuminazione/Costruzioni stradali ed opere civili delle infrastrutture)"

UNI/CT 023/GL 06: "Illuminazione gallerie"

UNI/CT 023/GL 07: "Fotometria e colorimetria"

UNI/CT 023/GL 08: "Inquinamento luminoso"

UNI/CT 023/GL 10: "Risparmio energetico negli edifici"

UNI/CT 023/GL 11: "Luce diurna"

UNI/CT 023/GL 12: "Il progetto illuminotecnico"

UNI/CT 023/GL 13: "Prestazioni fotometriche"

all'interno di ciascun gruppo l'ENEA ha dato il proprio contributo a proposte, revisioni e stesura di norme e raccomandazioni tecniche nei relativi campi di competenza.

Nella attuale annualità è stata redatta la norma UNI 11630:2016 "Luce e illuminazione - Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico" dove l'ENEA ha contribuito attivamente alla sua stesura nell'ambito di applicazione agli impianti di illuminazione stradale.

E' andato in inchiesta Pubblica Finale il progetto Rev 11248 "Illuminazione stradale-Selezione delle categorie illuminotecniche" redatto dal gruppo di lavoro GL 05.

Sono stati dati contributi alla redazione della norma prEN 13032-5 "Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires - Part 5: Presentation of data for luminaires used for road lighting".

E' stata presentata la proposta di norma EN 13201-6:2016 "Road lighting-Part 6: Calculation of utilisation" a livello europeo CEN/TC 169.

E' stato dato parere positivo a due proposte di ricerca in ambito EMPIR: *Pavement Surface Characterisation for Smart and Efficient Road Lighting* e *Metrology for improved energy efficiency of smart lighting*.

Si è lavorato alla revisione della norma UNI 11095 "Illuminazione delle gallerie stradali"

A livello europeo è proseguito lo studio preparatorio sugli "smart appliances", di cui fa parte anche lo "smart lighting". Allo stato attuale si stanno considerando le potenzialità di risparmio energetico legato allo shift temporale dei carichi, cosa che risulta non fattibile per l'illuminazione, pubblica o in interni.

Sempre a livello europeo e in ambito normativo (CEN), sono state esaminate varie proposte per definire in modo univoco concetti generali come "smart lighting" e altri concetti / prodotti più specifici legati all'argomento.

Nel PAR2015 era stato previsto lo Sviluppo di un modello per la quantificazione della luce dispersa verso l'alto, per il problema del cosiddetto "inquinamento luminoso" legato anche alle leggi regionali. Era prevista la modellazione del fenomeno fisico e la proposta di un metodo di calcolo, da testare su software di simulazione disponibili sul mercato.

A inizio 2016, si è riavviato il gruppo UNI/CT 023/GL 08 "Inquinamento luminoso", con lo scopo di lavorare sulla norma UNI 10819:1999.

Rispetto a quell'anno, sono state emesse molte leggi regionali e il quadro a livello nazionale è poco chiaro.

Si è deciso nei primi incontri di concentrarsi sull'identificare e definire univocamente i parametri legati all'inquinamento luminoso e identificare, e se del caso sviluppare, i metodi di calcolo necessari per valutare i suddetti parametri.

Questo per poter dare adeguati strumenti tecnici a supporto della legislazione.

L'attività iniziale si è quindi spostata all'interno dell'UNI e, necessariamente, la modellazione del fenomeno fisico non viene più svolta in modo autonomo durante questa annualità: si è infatti preferito lavorare a un livello già più vicino alle applicazioni reali.

## 6 La Smart Street e sviluppi futuri

### Secondo anno:

- Realizzazione prototipale e sperimentazione delle tecnologie sviluppate all'interno di contesti controllati (smart village Casaccia/Ispra). Analisi dei risultati sperimentali;
- progetto finale ed approvvigionamento delle apparecchiature per la sperimentazione urbana;
- interfacciamento dei sistemi sviluppati con la piattaforma ICT prevista in D7.1.
- validazione metodo di calcolo per luce dispersa verso l'alto con test di laboratorio su scala ridotta.

## 7 Conclusioni

In questo documento è descritta l'attività di ricerca svolta relativa allo "Sviluppo della architettura e tecnologie di Smart lighting e funzionalità del palo intelligente". Innanzitutto sono stati analizzati aspetti importanti relativi all'innovazione tecnologica, funzionale e gestionale di tecnologie smart street. Sono stati studiati algoritmi di tipo "model predictive control". Sono stati realizzati casi studio di smart street sia nel Centro Ricerche ENEA Casaccia che presso i Laboratori ENEA Ispra. E' proseguita la collaborazione con enti normatori (UNI,CEI) nel settore dell'illuminazione.

## 8 Riferimenti bibliografici

1. F. Riganti Fulginei, S. Panzieri, R. Torlone, D. Firmani, F. Pascucci, G. Bernieri "Analisi della gestione dei dati, protocolli di trasmissione e vulnerabilità negli scenari di smart street" (Uni Roma Tre, RdS/PAR 2015/009)
2. P. Clerici Maestosi, C. Meloni, F. Romanello, F. Pieroni, S. Pizzuti, S. Romano, M. Chinnici, A. Quintiliani, G. Vicoli "Gestione integrata di uno Smart Village : risultati sperimentali in una rete di edifici e progettazione di aspetti prototipali orientati alla gestione di smart district" (RdS/PAR2014/023)
3. "Le specifiche della smart platform del distretto" (RdS/PAR2015/014, par.1.4 e 1.5)
4. "Le specifiche della piattaforma del distretto", RdS/PAR2015/014, par.1.3)

## 9 Abbreviazioni ed acronimi

ARMAX	Autoregressive-moving average with exogenous terms
BEM	Basic Ensemble Method
CEN	European Committee for Standardization
LED	Light Emitting Diode
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione
RdS	Ricerca di Sistema
HDFS	Hadoop Distributed File System

PLC	Power-Line Communication
UML	Unified Modeling Language
ICT	Information and Communications Technology
USB	Universal Serial Bus
SSH	Secure SHell, shell sicura