



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

## Sviluppo di un sistema di controllo integrato ed adattivo per l'illuminazione pubblica

*F. Moretti, M. Annunziato, S. Panzieri*

SVILUPPO DI UN SISTEMA DI CONTROLLO INTEGRATO ED ADATTIVO PER L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

Fabio Moretti - Università degli Studi "Roma Tre", Dipartimento di Informatica e Automazione  
Mauro Annunziato, Stefano Panzieri - ENEA

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi Finali

Tema: Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Tema: Simonetta Fumagalli, ENEA

# Indice

<b>Riferimenti</b>	<b>1</b>
<b>1 Il quadro attuale dell’illuminazione pubblica</b>	<b>3</b>
1.1 Le tecnologie attuali . . . . .	4
1.1.1 Sistemi di controllo accensione - spegnimento . . . . .	4
1.1.2 Sistemi di stabilizzazione e regolazione . . . . .	5
1.1.3 Il telecontrollo . . . . .	5
1.1.4 I sistemi punto-punto . . . . .	7
1.1.5 I limiti delle tecnologie attuali . . . . .	7
<b>2 Il sistema di controllo e le prospettive di sviluppo</b>	<b>8</b>
2.1 Le prospettive di sviluppo e la roadmap verso la Smart city .	8
2.2 Gli obiettivi della ricerca ENEA . . . . .	9
2.3 La sensoristica ed il palo intelligente . . . . .	10
<b>3 Il progetto ENEA per un sistema di controllo avanzato</b>	<b>11</b>
3.1 Schema del sistema di controllo . . . . .	11
<b>4 Il sistema di misura dell’indice di flusso del traffico</b>	<b>14</b>
4.1 Processo di analisi . . . . .	14
4.2 Problematiche riscontrate . . . . .	18
<b>Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>20</b>

## Riferimenti

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

Il rapporto si inquadra nell’Area degli Usi Finali, e si riferisce al Tema di Ricerca 5.4.3.2 (Componenti ed Impianti Innovativi) che nel piano di realizzazione annuale 2007 (PAR 2007), per quanto riguarda le attività dell’ENEA, è stato dedicato alle “Tecnologie per il risparmio energetico nell’illuminazione pubblica”.

La ricerca si focalizza sullo sviluppo di tecnologie di sistema per l’aumento dell’efficienza energetica nel settore dell’illuminazione pubblica, in termini di progettazione assistita, integrazione innovativa, gestione intelligente di un intero distretto (paese, quartieri urbani, strutture del terziario...) e prevede la realizzazione di un impianto sperimentale per situazioni complesse e ripetibili ed una attività di trasferimento tecnologico e diffusione verso stakeholders del settore.

Tale attività è articolata in diverse linee di ricerca ed in particolare

1. Sviluppo software per progettazione illuminotecnica assistita mirata all’efficienza energetica
2. Ricerca sperimentale su prodotti innovativi, sviluppo di sistema di controllo intelligente, test di laboratorio su prototipi
3. Realizzazione sperimentale pilota di illuminazione efficiente in una situazione applicativa complessa, ricerca sperimentale su prodotti innovativi
4. Trasferimento tecnologico e diffusione verso realtà territoriali ed ESCO
5. Attività prenormativa e normativa

In particolare il punto 2 prevede una attività di ricerca sperimentale per migliorare le prestazioni di dispositivi innovativi ed in particolare sulla tematica del controllo intelligente ed una attività di testing di funzionalità e misure secondo normativa su prototipi di dispositivi innovativi (apparecchi di illuminazione, sistemi di controllo...) presso laboratori ENEA.

Il presente rapporto si riferisce in particolare allo sviluppo di un sistema di controllo intelligente che superi il concetto della semplice regolazione di flusso (alimentazione ridotta della linea elettrica durante le ore notturne per risparmiare energia) ma possa adattarsi punto punto alle condizioni di fruizione di un intero distretto (es: paese, quartiere urbano, distretto servizi/industriale) in modo da massimizzare il risparmio energetico ed aderendo alla strategia di consumare energia soltanto nella misura in cui l'energia è effettivamente richiesta. Tale miglioramento richiede in particolare un salto di qualità nella parte di intelligenza sia per l'estrazione di informazioni avanzate da sensori a basso costo, sia per predire la domanda di utilizzo, sia per ottimizzare il consumo energetico. La ricerca si è articolata su due direttrici: lo sviluppo di un progetto dell'intero sistema e lo sviluppo di uno smart sensor basato sulle tecnologie della visione in grado di estrarre, a costi molto bassi, una notevole molteplicità di informazioni.

La ricerca è stata frutto di una fattiva collaborazione tra ENEA ed Università degli studi "Roma Tre" (Dipartimento di Ingegneria Informatica e dell'Automazione).

# Capitolo 1

## Il quadro attuale dell’illuminazione pubblica

Il Piano d’Azione per l’Efficienza energetica varato dall’Italia in luglio 2007 stabilisce che uno dei settori primari su cui agire per l’incremento della efficienza energetica è l’illuminazione pubblica (risparmio potenziale al 2016: 1290 Gwh; consumo attuale: 6 Twh su un consumo totale di energia di circa 300 Twh). Inoltre molti studi mostrano come già diverse tecnologie consolidate permettono un ritorno dell’investimento in tempi brevi cosa che garantisce un importante volano applicativo. Tale volano è però frenato dalla mancanza di un approccio di sistema capace di integrare le tecnologie consolidate (lampada ad alta efficienza, regolatori di flusso, semafori a led) con tecnologie innovative (lampade e sistemi led; regolatori di flusso a controllo remoto e continuo; sistemi intelligenti con retroazione basata su sensoristica ambientale di luce, traffico e presenze; tunnel ad illuminazione intelligente; oggetti luminosi di arredo urbano quali panchine e lampade a led di design innovativo). Tale approccio permetterebbe infatti di controllare e regolare in modalità adattiva (cioè erogare energia luminosa in relazione alle reali necessità locali e temporali) interi paesi o quartieri o arterie stradali o distretti terziari (es: centri commerciali, centri di ricerca, centri ospedalieri) abbattendo il consumo di una percentuale che va dal 20% al 50% in relazione ai singoli casi e con tempi di ritorno degli investimenti molto accessibili.

## 1.1 Le tecnologie attuali

In questo paragrafo verranno sinteticamente illustrate le tecnologie attualmente utilizzate<sup>1</sup>.

Gli impianti di illuminazione pubblica ed esterna sono caratterizzati da una grande quantità di punti nevralgici sparsi su tutto il territorio, per i quali è necessario controllare costantemente il funzionamento ed effettuare la manutenzione. In particolare nelle aree urbane gli impianti di illuminazione pubblica hanno una grande estensione ed una diffusione capillare, un numero molto elevato di quadri elettrici di alimentazione e soprattutto di punti luminosi.

### 1.1.1 Sistemi di controllo accensione - spegnimento

L'impianto di illuminazione è comandato attraverso quadri di elettrici di distribuzione dove sono presenti gli interruttori di protezione delle linee elettriche, il contatore di energia e un dispositivo di comando che regola l'accensione e lo spegnimento. Di questo ultimo dispositivo di controllo ne esistono varie tipologie con differenti prestazioni e costi.

**Timer:** si tratta di un semplice dispositivo che accende e spegne ad orari costanti gli impianti. Questa soluzione, molto economica, ha un inconveniente importante: bisogna modificare almeno settimanalmente gli orari di accensione e spegnimento per tenere conto delle variazioni delle stagioni.

**Interruttore crepuscolare :** composto da una sonda di misura dell'intensità luminosa, posta esternamente all'armadio e da un regolatore di livello luminoso che pilota la soglia di accensione e spegnimento. E' il dispositivo più economico, più usato e più soggetto a malfunzionamenti dell'impianto a causa della sporcizia che frequentemente si deposita sulla sonda, inibendone il corretto funzionamento.

**Interruttore astronomico:** in funzione delle coordinate di longitudine e di latitudine del dispositivo calcola le ore in cui sorge e tramonta il sole, comandando automaticamente l'accensione e lo spegnimento.

---

<sup>1</sup>Per un approfondimento si consiglia di visitare il sito web <http://ambiente.comune.forli.fc.it/p/energia/risparmio-energetico/illuminazione-pubblica/> (da cui è tratto parte del materiale in questa sezione) che fornisce una ampia fotografia dello stato attuale delle tecnologie consolidate nei vari settori della efficienza energetica tra cui anche quello della illuminazione pubblica.

### **1.1.2 Sistemi di stabilizzazione e regolazione**

Nel settore di illuminazione stradale sono stati sempre sperimentati sistemi per ridurre il consumo nelle ore di minor traffico. Il più diffuso è stato lo spegnimento alternato delle lampade "Tutta notte" e "Metà notte", che ha il grande inconveniente di illuminare in modo discontinuo lo spazio con una uniformità decisamente pericolosa. Grazie alla sempre più elevata affidabilità delle apparecchiature elettroniche, questo problema è stato oggi risolto con l'introduzione dei regolatori di flusso nei quadri di distribuzione. Queste apparecchiature forniscono all'impianto una corretta ed ottimale alimentazione con il vantaggio di dimezzare i costi di gestione.

Principali vantaggi:

- Riduzione dei consumi energetici del 30% grazie alla riduzione del flusso luminoso nelle ore notturne.
- Elevata sicurezza degli utenti: non esistono zone d'ombra e l'illuminamento è uniforme.
- Consistente riduzione degli oneri di manutenzione: la stabilizzazione e la regolazione della tensione aumenta di gran lunga la durata delle lampade (10% di sovratensione provoca un calo nella vita media delle lampade fino un 50% e un sovraconsumo del 20%).
- Facilità di penetrazione nel mercato: possibilità di inserimento anche nei quadri preesistenti, indipendentemente dalle lampade alimentate.
- Riduzione dell'inquinamento luminoso grazie alla riduzione di luminosità del manto stradale.

### **1.1.3 Il telecontrollo**

Il telecontrollo è un sistema ideato per la gestione degli impianti di illuminazione e riesce a far coniugare risparmi economici con sicurezza e continuità di servizio. Il principale vantaggio offerto è il controllo degli impianti in tempo reale e il miglioramento delle condizioni di manutenzione (segnalazione in tempo reale dei malfunzionamenti). Il telecontrollo consente in realtà di ottenere:

- eliminazione degli inutili costi dovuti alla ricerca dei guasti;
- trasparenza e contenimento dei costi di esercizio e di gestione magazzino;



- razionalizzazione automatica del servizio in funzione della domanda stagionale;
- segnalazione in tempo reale dei disservizi sugli impianti;
- possibilità di rapidi interventi per ripristinare le condizioni di normalità;
- programmazione degli interventi di manutenzione straordinaria e preventiva;
- ottimizzazione delle risorse umane e delle squadre di pronto intervento.

Il sistema è realizzato utilizzando tre parti fondamentali:

1. **Quadri intelligenti:** nei quadri di alimentazione standard vengono installati dei moduli aggiuntivi (modulo di risparmio energetico, moduli di misura, moduli di comando, moduli intelligenti di telegestione) che consentono di trasmettere e ricevere i principali parametri elettrici ed attuare accensione o spegnimento all'ora prestabilita, vigilando sul corretto funzionamento dell'impianto.
2. **Il sistema di comunicazione:** interfaccia la centrale operativa alle unità periferiche attraverso una rete:
  - telefonica: richiede una linea esterna (costosa da installare e con un costo fisso di canone).
  - GSM o GPRS: telefonia mobile di seconda generazione (economica e facile da installare).
  - radio: occorrono frequenze esclusive (più costosi ma non hanno costi di comunicazione). In città medio/grandi necessitano a volte di ripetitori.
  - in cavo: fibra ottica o coassiali ad uso esclusivo (eccessivamente costosa).
3. **La centrale operativa:** costituita da un PC, con un software per supervisione, connesso ad una rete di comunicazione.

Esistono sul mercato configurazioni dalla massima semplicità a sistemi di telegestione con controlli più complessi, elaborazione di allarme e guasti, controllo energetico, gestione di risparmio energetico con regolatore di flusso, gestione di controllo punto a punto di luce, controllo dinamico di luminosità fino a cartografia integrata.

### **1.1.4 I sistemi punto-punto**

Il sistema punto-punto è un insieme di apparecchiature elettroniche per il monitoraggio, la programmazione e il comando delle singole lampade. Il sistema si basa sulla tecnologia delle onde convogliate che consente una comunicazione digitale tra il modulo installato sul singolo punto luce (posto nel pozzetto, nella morsettiera o nel corpo illuminante stesso) e il modulo di gestione, posto all'interno del quadro di comando. I dati digitali sono modulati sulla tensione di rete e quindi non sono necessarie condutture aggiuntive nell'impianto. Con questo sistema è possibile monitorare e controllare i parametri elettrici delle singole lampade, individuando eventuali anomalie ed allarmi, accendere, spegnere, ridurre al minimo il consumo o regolare l'intensità delle singole lampade utilizzando comandi manuali o automatici (profili e scenografie). Le informazioni elettriche del singolo punto vengono trasmesse e memorizzate periodicamente nel modulo di gestione del quadro di comando. Il software di gestione preleva le misurazioni e genera le anomalie e gli allarmi in base ai criteri personalizzabili. E' possibile dunque telegestire da una centrale il singolo punto luce, garantendo una gestione intelligente dell'illuminazione.

### **1.1.5 I limiti delle tecnologie attuali**

La maggior parte delle tecnologie citate si configurano come sistemi rigidi e non adattabili a parte il caso della telegestione ed in particolare dei sistemi punto-punto i quali rappresentano il primo passo per la realizzazione di un sistema integrato.

Negli approcci attuali i cicli di controlli sono di tipo aperto, ossia il sistema di gestione non è mai (o lo è raramente nei casi più avanzati) connesso a sistemi di rilevamento delle condizioni ambientali e di fruizione delle zone da illuminare. Ciò significa che la strategia di controllo è definita a priori a prescindere dal fatto se la reale utenza sia più o meno vicina al profilo di utenza stimata o se la prestazione di illuminazione richiesta sia effettivamente assicurata (non sottodimensionata e non sovradimensionata).

## Capitolo 2

# Il sistema di controllo e le prospettive di sviluppo

### 2.1 Le prospettive di sviluppo e la roadmap verso la Smart city

I limiti della tecnologia attuale evidenziati precedentemente (cfr. §1.1.5) hanno stimolato interessanti iniziative per incrementare l’efficienza della rete di illuminazione pubblica dal punto di vista del risparmio energetico. Le migliorie applicabili per l’efficientamento dell’illuminazione pubblica sono molteplici (prima fra tutte l’uso della tecnologia di illuminazione a LED), ma la focalizzazione viene incentrata sull’introduzione di un sistema di controllo intelligente che gestisca in maniera razionale, autonoma ed adattiva le esigenze di illuminazione nel territorio.

Il sistema di controllo può essere attuato attraverso l’uso di sistemi di misura in tempo reale della “domanda” ed attraverso l’utilizzo di un sistema di ottimizzazione. Potendo dotarsi di una capacità di modellazione e predizione della evoluzione a breve della domanda stessa sarebbe oltremodo possibile sviluppare un sistema adattivo che evolve in contemporanea alla domanda e generando informazioni sulla domanda stessa di energia.

Disporre di tale tecnologie a livello di sistema, porterebbe ad un aumento dei costi trascurabile (i sensori necessari sono a basso costo e l’“intelligenza” ha costi trascurabili nella replicazione) ma ad un significativo incremento del risparmio energetico (ulteriore 20 %) con la diretta conseguenza che il tempo di ritorno dell’investimento sarebbe molto breve e sarebbero migliorate l’efficienza energetica dell’impianto e la garanzia della prestazione.

Inoltre una prospettiva ben più significativa potrebbe aprirsi con l’adozione delle tecnologie PLC (Power Line Communication) a banda larga. Si trat-

ta di dispositivi, di recente sviluppo, che consentono di far viaggiare sulle linee elettriche contenuti digitali a banda larga (fino a 9 immagini di telecamere in tempo reale su una sola linea). Attraverso questa tecnologia, il cui payback si aggira intorno ai 5 anni nel caso della illuminazione pubblica (controllo punto-punto) è possibile agganciare una ampia serie di sensori che possono andare dalla misura della qualità dell’aria, alla videosorveglianza, dalla comunicazione wifi o cellulare alla comunicazione su display, dal monitoraggio dei consumi energetici di edifici pubblici al monitoraggio del traffico. Questo permetterebbe l’aggregazione sulla linea della illuminazione di molti “smart services” con la conseguenza di abbattere i costi e moltiplicare le prestazioni. Questa tematica, identificata sotto la keyword “smart city” rappresenta uno dei maggiori punti di approdo delle nuove tecnologie della illuminazione pubblica.

## **2.2 Gli obiettivi della ricerca ENEA**

Lo studio cui si riferisce questo rapporto ha due obiettivi principali.

Il primo obiettivo è quello di identificare una strategia ed una conseguente architettura per un sistema di telegestione adattiva ed integrato per gestione del “sistema-illuminazione” di una realtà territoriale complessa (un Comune, un Distretto...) con capacità di diagnostica e monitoraggio ed adattamento per pilotare il sistema in funzione del grado di fruizione degli impianti, delle condizioni climatiche e del grado di funzionalità degli impianti stessi.

Il secondo obiettivo è quello dello sviluppo di un sistema sensoriale “trasversale”, basato sulla visione, in grado di estrarre molte informazioni (quantificazione del passaggio/presenza di persone e veicoli, luce ambientale, situazioni anomale) a costi molto competitivi. Tale sistema sostituisce il componente base per alimentare i sistemi di predizione del profilo di utenza a breve e lungo termine, verificare il raggiungimento delle prestazioni e controreazionare i sistemi di controllo.

In prospettiva, nella prosecuzione dell’attività, tali tecnologie verranno integrate con altri sensori (es: della qualità dell’aria) e sviluppato un sistema che controlla una sottorete (smart street o smart square) e successivamente un insieme di sottoreti (rete urbana).

## 2.3 La sensoristica ed il palo intelligente

Una ruolo fondamentale del progetto è svolto dal palo “intelligente”, un prodotto innovativo che non oltre ad essere fonte di illuminazione è una porta di accesso alla rete pubblica urbana, un rilevatore di inquinamento atmosferico, una telecamera, un Hot-Spot Wi-Fi, un caricabatterie per veicoli elettrici e potenzialmente molto altro ancora.

Per il raggiungimento degli obiettivi prefissati il punto di partenza su cui lavorare è senza dubbio la telecamera, che offre una notevole quantità di informazioni che possono essere estratte. Infatti ai fini della determinazione della quantità di energia richiesta è necessaria una conoscenza approfondita sul flusso veicolare e pedonale, acquisita con il monitoraggio tramite i pali. La gestione autonoma ed adattiva dell’illuminazione è il primo passo verso uno sfruttamento a 360 gradi delle potenzialità che tale apparecchiatura può offrire:

- Videosorveglianza;
- Infomobilità;
- Rilevamento di inquinamento acustico e ambientale;
- Servizi informativi per turisti;
- Gestione dei parcheggi;
- Gestione delle flotte di mezzi pubblici.
- Servizio di connessione wireless.

La videosorveglianza autonoma in termini di identificazione di anomalie quali congestione del traffico, incidenti o rapine è un aspetto interessante in quanto difficilmente un Comune ha i fondi e la necessità sostenere un servizio di videosorveglianza con personale attivo 24 ore su 24.

La funzione di Hot-Spot Wi-Fi consente di utilizzare outdoor i dispositivi dotati di accesso a Internet wireless (telefonini, palmari, laptop), sfruttando la tecnologia ad onde convogliate. Attualmente una connessione outdoor viene offerta dagli operatori telefonici con tecnologia GSM o UMTS, ed ha costi superiori alle tariffe Internet offerte indoor. Utilizzare la tecnologia ad onde convogliate offerta dai pali intelligenti consente un abbattimento dei costi di connessione e una copertura completa.

## Capitolo 3

# Il progetto ENEA per un sistema di controllo avanzato

### 3.1 Schema del sistema di controllo

La figura 3.1 mostra il diagramma di flusso del sistema di controllo dell’illuminazione pubblica. L’obiettivo è quello di sfruttare la sensoristica a basso costo installata su pali intelligenti, per estrarre informazioni utili sull’ambiente circostante.

La prima fase prevede l’acquisizione dei dati provenienti dai sensori dei pali intelligenti situati in una particolare area (una strada od una piazza) e vengono poi trasmessi da questi ad alcuni server centrali. I server elaborano i dati ricevuti e forniscono valori indicanti l’entità del flusso (veicolare e pedonale) rilevata. Tali valori vengono utilizzati per costruire ed aggiornare un modello predittivo della “domanda” di illuminazione. I dettagli della struttura del modello predittivo sono mostrati nella figura 3.2.

Il modello genera la predizione della domanda nell’immediato futuro e fornisce tale informazione ad un sistema di controllo, cui convoglieranno anche le informazioni provenienti dalle variabili ambientali e dalla diagnostica strumentale. La diagnostica individua eventuali situazioni anomale sfruttando le informazioni sullo stato corrente del traffico rilevato e quelle predette dal modello.

Al fine di determinare la potenza da immettere alle lampade dei lampioni è necessario conoscere oltre al potenziale flusso di traffico anche le condizioni atmosferiche e le condizioni della lampada stessa (una lampada usurata richiede una maggiore potenza per avere una determinata luminanza).

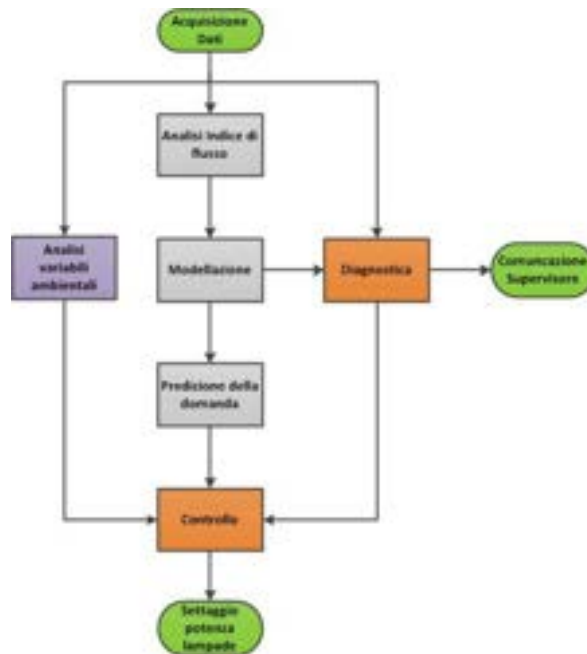


Figura 3.1: Diagramma di flusso del sistema di controllo dell'illuminazione pubblica

La figura 3.2 mostra il diagramma del modello predittivo e della fase di diagnostica. Il modello predittivo è addestrato utilizzando due tipi di dataset, uno basato sugli indici di flusso rilevato nell'arco di una settimana ed uno basato sugli indici rilevati nell'arco di alcune ore. Il modello fornisce quindi una previsione a lungo termine ed una a breve termine.

L'indice di flusso del traffico rilevato e quello previsto dal modello a lungo termine vengono inviati ad un rilevatore di situazioni anomale, se lo scostamento tra gli indici supera una determinata soglia viene avviato il processo di diagnostica. Se la situazione anomala deriva da un malfunzionamento strumentale (ad esempio improvviso calo della luminanza rilevata dovuto al malfunzionamento della lampadina) viene inviata una segnalazione di guasto. Se la situazione anomala deriva da un'incongruenza tra indici di flusso allora viene utilizzata la previsione a breve termine. Si presuppone che la situazione di traffico anomala sia dovuta ad eventi straordinari (manifestazioni, concerti, eventi sportivi...) quindi basarsi su indici di traffico rilevati in situazioni normali potrebbe comportare previsioni fuorvianti.

Se invece non viene rilevata eccessiva discrepanza tra l'indice rilevato e quello previsto la previsione di base sul modello a lungo termine. L'indice

rilevato viene utilizzato in ogni caso per aggiornare il modello.

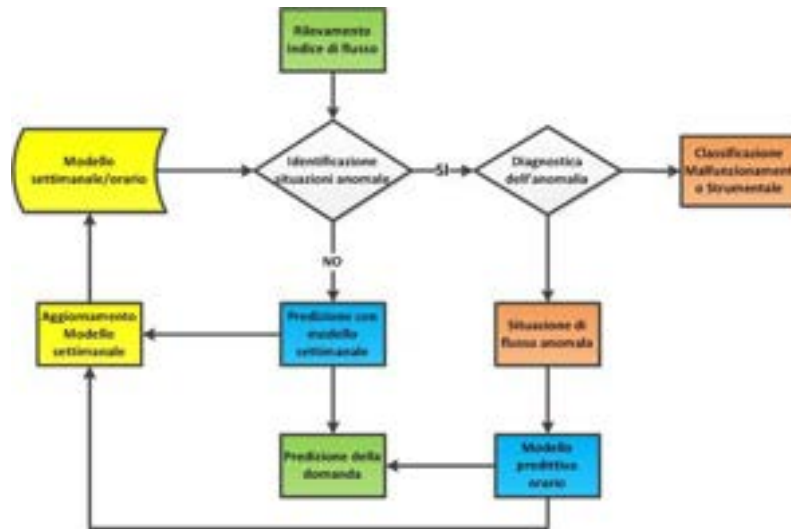


Figura 3.2: Diagramma del modello predittivo del flusso di traffico



## Capitolo 4

# Il sistema di misura dell’indice di flusso del traffico

Il sistema di elaborazione dell’indice di misura del traffico è la fase iniziale del processo di controllo avanzato descritto precedentemente (cfr. §??). Tale sistema analizza il flusso video proveniente dalle telecamere installate sui lampioni intelligenti ed elabora un segnale di uscita proporzionale all’attività rilevata (traffico veicolare e pedonale). Nell’ottica dello sfruttamento della sensoristica dei pali (cfr. §2.3) è possibile estrarre una quantità elevata di informazioni dalle telecamere. L’indice del flusso di traffico è un parametro molto significativo: focalizzato in determinate zone di interesse dell’immagine permette il conteggio dei veicoli o dei pedoni, o il calcolo della velocità media di un veicolo. I dettagli di come viene calcolato l’indice di flusso sono discussi nel prossimo paragrafo.

### 4.1 Processo di analisi

La figura 4.1 mostra il diagramma di flusso del processo. Nello step iniziale del processo viene acquisito il primo frame, che viene utilizzato per estrarre informazioni (risoluzione, numero di canali, tipi di dato della matrice dell’immagine) per la creazione delle immagini di supporto. Ad ogni ciclo viene acquisito un nuovo frame su cui vengono eseguite diverse procedure. Tali operazioni sono processate in maniera totalmente trasparente sia sul frame intero sia se vengono impostati dei target.

L’estrazione del background consiste nel memorizzare le componenti di ogni pixel (generalmente RGB) in un istogramma tridimensionale contenente il numero di occorrenze in cui compare una determinata terna di valori, ad ogni frame acquisito viene aggiornato ogni istogramma di cias-

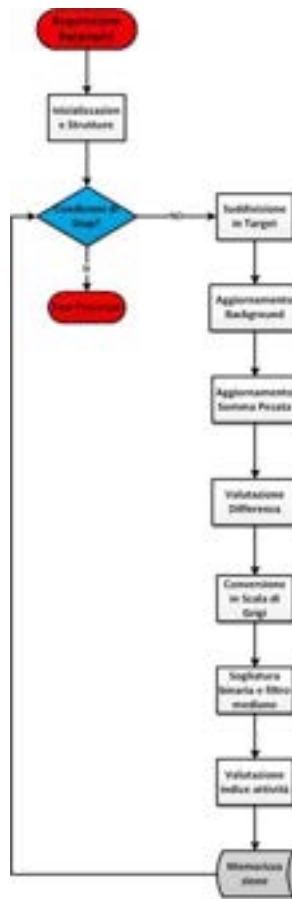


Figura 4.1: Diagramma di flusso

cun pixel, il valore massimo dell’istogramma finale rappresenterà la terna di valori che compare più frequentemente per quel determinato pixel.

La somma pesata è ottenuta con la formula:

$$sum = (\alpha)frame_t + (1 - \alpha)frame_{t-1} \quad \text{con } 0 \leq \alpha \leq 1$$

In questo modo il peso dato ai frame passati diminuisce man mano che vengono acquisiti nuovi frame.

La conversione in scala di grigi e la successiva sogliatura binaria consentono di risaltare solo le componenti in movimento della fonte video. La conversione è stata implementata seguendo tre metodologie differenti: la media, il valore massimo o la distanza euclidea tra le tre componenti. Tale conversione viene applicata alla differenza assoluta tra il frame corrente e la somma pesata dei frame. La sogliatura binaria viene effettuata sull’immagine in scala di grigi, se la differenza non supera un certo valore il pixel

viene considerato spento, quindi non vi è stato movimento, ed il suo valore viene portato a 0, altrimenti viene acceso ed il suo valore viene portato al valore massimo (255 nella scala di grigi). Per limitare il rumore viene applicato un filtro mediano, in cui il valore di un pixel viene sostituito con il valore della media tra il pixel stesso ed i suoi  $N \times N$  vicini. La figura 4.2 mostra un frame di una ripresa video dall'alto di una strada di Napoli, la figura 4.3 mostra il risultato dell'elaborazione precedentemente descritta.



Figura 4.2: Frame in formato RGB



Figura 4.3: Frame elaborato

Il valore dell'indice di flusso viene calcolato dividendo il valore medio dei pixel dell'immagine per il loro valore massimo ( $2^8$ ) e viene mostrato direttamente sull'immagine. Tale valore è quindi normalizzato tra 0 e 1 e successivamente salvato in memoria. Il ciclo viene ripetuto per un numero prestabilito di frames o fino al termine del flusso video.

La figura 4.4 mostra due target applicati allo stesso flusso video mostrato precedentemente, uno applicato in alto, all'inizio della carreggiata, ed uno in basso. Il grafico della figura 4.5 mostra degli indici di flusso dei due target.



Figura 4.4: Posizionamento dei target sul video

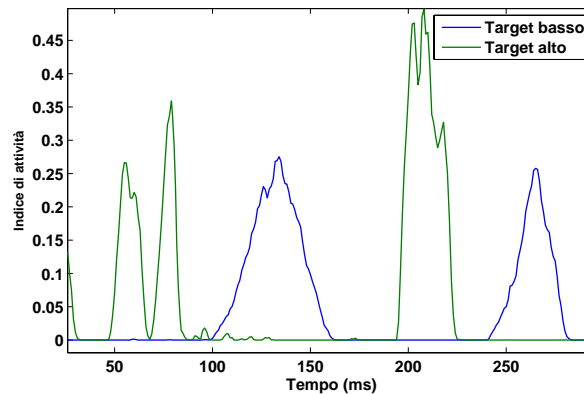


Figura 4.5: Indice di flusso di due target a confronto

Tale grafico mostra gli aspetti positivi e negativi finora riscontrati: il target alto visualizza il passaggio di una singola macchina con due picchi mentre il target basso visualizza correttamente un solo picco. Il comportamento anomalo sul primo target è dovuto alla velocità ridotta con cui il veicolo attraversa il target, per cui per qualche millisecondo non viene riscontrata differenza con i frame precedenti e quindi non viene riscontrato il movimento. La velocità più sostenuta con cui il veicolo attraversa il secondo target non solleva questo problema. Il secondo veicolo viene invece rilevato correttamente. Il comportamento anomalo dei due picchi può essere risolto confrontando il risultato della differenza con i frame precedenti con il background acquisito, ed è uno degli obiettivi prefissati per l'immediato futuro.

## 4.2 Problematiche riscontrate

Un problema che risulta immediatamente evidente è quello delle ombre, che risultano anch'esse dopo l'elaborazione dell'immagine binarizzata. Un filtro mediano con un valore  $N$  sufficientemente grande può limitare questo effetto, ma il rischio è di perdere gli oggetti piccoli in movimento (generalmente pedoni in lontananza).

Il tempo di computazione è un'altra problematica importante di cui tener conto, in quanto lavorare con le immagini implica elaborare notevoli quantità di dati. La conversione in scala di grigi mediante la distanza euclidea fornisce un risultato migliore rispetto alle altre tecniche ma appesantisce notevolmente l'elaborazione, l'aggiornamento del background richiede l'estrazione del massimo di migliaia di array, quindi un aggiornamento troppo frequente può bloccare il processo.

Un ulteriore problema riguarda lo spazio di allocazione di memoria: allocare array di dimensioni elevate per ogni pixel può richiedere enormi spazi di memoria, per cui è stato optato per istogrammi mono o bidimensionali, in quanto la complessità del problema cresce in maniera esponenziale rispetto alla dimensionalità dell'istogramma. Anziché prendere i valori RGB dei pixel, viene effettuata a monte una conversione in Hue e Value per gli istogrammi bidimensionali, o solamente il Value per gli istogrammi monodimensionali.

La figura 4.6 mostra il risultato ottenuto utilizzando istogrammi monodimensionali e quindi una conversione dei frame RGB in Value, la riduzione della dimensionalità degli istogrammi consente di acquisire le informazioni sul background in tempo reale.



Figura 4.6: Background finale in scala di grigi

L'immagine presenta alcune imperfezioni ma mostra in maniera chiara e netta solo gli oggetti fissi dell'ambiente. Inoltre l'aggiornamento continuo consente di evitare il problema di oggetti parzialmente in movimento

(macchine in movimento e successivamente parcheggiate, oggetti fissi che vengono spostati in altri punti , come i cassonetti per i rifiuti).

## Conclusioni e sviluppi futuri

Nell’ottica della riduzione dei consumi dell’energia elettrica abbiamo posto la nostra attenzione sull’illuminazione pubblica. Il quadro sullo stato attuale dell’illuminazione pubblica in termini di tecnologie e strumentazione è risultato incoraggiante, sebbene sia ancora deficitaria l’implementazione sistematica in grande scala. Il tempo di ritorno economico è infatti direttamente proporzionale all’implementazione massiccia di strumentazione sugli apparati di illuminazione pubblica. Inoltre lo sfruttamento delle onde convogliate consente una gestione centralizzata delle informazioni e dell’elaborazione dati senza nessun costo aggiuntivo in termini di cablaggio e una possibilità computazionale molto elevata (difficilmente raggiungibile elaborando i dati in loco).

La lacuna che ENEA vuole colmare con questo progetto è quella del sistema di controllo di tale strumentazione, ovvero l’implementazione di un sistema di controllo automatico ed adattivo in grado di gestire autonomamente e distintamente ogni palo della luce.

Lo stato attuale del sistema permette di estrarre un indice di flusso del traffico. Tale indice consente di estrarre informazioni molto importanti sullo stato corrente del traffico in un area di interesse, quali il numero di veicoli transitati, la valutazione del background e l’identificazione degli oggetti in movimento. Successivamente sono stati mostrati i limiti ancora presenti in tale processo (segnale di uscita rumoroso, difficoltà di gestione di situazioni critiche...) e come potrebbero essere risolti.

In prospettiva il processo potrebbe essere migliorato introducendo un riconoscimento adattivo dei contorni degli oggetti in movimento e risalire così al tipo di oggetto in movimento (camion, moto, automobile, persona..).

Oltre all’obiettivo primario è stato evidenziato anche come tale progetto comporti alcuni vantaggi trasversali come la possibilità di fornire servizi di infomobilità o di informazioni turistiche.

In conclusione riteniamo che l’introduzione di un sistema di controllo autonomo ed adattivo, a fronte di costi iniziali non elevati, possa portare ad un incremento significativo del risparmio energetico sulla scala dell’intero

distretto urbano.