



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA

CORSO DI LAUREA IN INFORMATICA E TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DEL
SOFTWARE

TESI DI LAUREA IN

MODELLI E METODI PER LA SICUREZZA DELLE APPLICAZIONI

SMART LIGHTING

SOFTWARE DI SIMULAZIONE DI SISTEMI DI
ILLUMINAZIONE STRADALE INTELLIGENTI

Relatore:

Chiar.mo Prof. Donato Impedovo

Laureando:

Pier Luigi Laviano

Anno Accademico 2017-2018

INTRODUZIONE	5
LA QUESTIONE AMBIENTALE.....	5
IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE.....	5
STATO DELL'ARTE	7
LAMPADE.....	7
<i>Lampade a Vapore di Sodio</i>	7
<i>LED</i>	7
VANTAGGI NELL'UTILIZZO DEI LED	8
COMPONENTI E SENSORI	10
<i>Arduino UNO</i>	10
<i>Raspberry Pi</i>	10
<i>STMicroelectronics STM32F051R8</i>	10
<i>Sensore PIR (Passive InfraRed)</i>	10
<i>Sensore LDR (fotoresistore)</i>	10
<i>Sensore Piezoelettrico</i>	10
<i>Sensore ad ultrasuoni</i>	11
<i>Sensore di Temperatura</i>	11
<i>Pannello fotovoltaico</i>	11
<i>Sensore di gas</i>	11
<i>ZigBee</i>	11
SISTEMI DI ILLUMINAZIONE STRADALE ESISTENTI	13
EFFICIENT CONTROL ALGORITHM FOR A SMART SOLAR STREETLIGHT	14
<i>Caratteristiche</i>	14
<i>Algoritmo</i>	15
<i>Pro e Contro</i>	16
INTELLIGENT STREET LIGHTS	17
<i>Caratteristiche</i>	17
<i>Algoritmo</i>	18
<i>Pro e Contro</i>	18
AUTOMATION OF STREET LIGHT FOR SMART CITY	19
<i>Caratteristiche</i>	19
<i>Algoritmo</i>	20
<i>Pro e Contro</i>	21
SURVEY ON ENERGY EFFICIENT SMART STREET LIGHT SYSTEM	22
<i>Caratteristiche</i>	22
<i>Algoritmo</i>	22
<i>Pro e Contro</i>	23
INTELLIGENT STREET LIGHT SYSTEM IN CONTEXT OF SMART GRID	24
<i>Caratteristiche</i>	24
<i>Algoritmo</i>	25
<i>Pro e Contro</i>	25
AUTOMATIC STREET LIGHT CONTROL SYSTEM USING WIRELESS SENSOR NETWORKS	27
<i>Caratteristiche</i>	27
<i>Algoritmo</i>	27

<i>Pro e Contro</i>	28
ANALISI DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE	29
SMART LIGHTING	31
CARATTERISTICHE	31
CLASSI IN DETTAGLIO	32
DESCRIZIONE DELLE CLASSI.....	35
ALGORITMI	37
SIMULAZIONE	42
ANALISI SIMULAZIONE.....	43
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	45
RIFERIMENTI	46

Introduzione

La questione ambientale

Con l'intensificarsi della crisi energetica mondiale tutti i paesi sono alla costante ricerca di una soluzione per risolvere questo problema. Un modo è cercare nuove fonti energetiche e trarre vantaggio dalle energie rinnovabili; un altro è sfruttare le nuove tecnologie di risparmio energetico per ridurre i consumi elettrici e migliorarne l'efficienza d'utilizzo.

Il software di simulazione

Questa tesi nasce con l'intento di sviluppare un software simulativo di sistemi di illuminazione stradale, in cui è possibile ricreare il proprio sistema configurandolo con specifici componenti e sensori, per valutarne i costi e l'eventuale risparmio energetico che si intende garantire.

A supporto del software sono stati sviluppati algoritmi decisionali che governano i sensori per poter ottenere il risparmio energetico, dando la possibilità di acquisire i dati dal traffico stradale e gestire l'intensità luminosa delle lampade che si è scelto di installare nel sistema. Il software tiene conto di fattori fisici ed ambientali come la velocità delle automobili che circolano, i relativi tempi di frenata, la densità del flusso del traffico o i coefficienti di attrito del terreno in diverse condizioni atmosferiche.

La simulazione principale è stata eseguita utilizzando le caratteristiche della tangenziale di Napoli, che si estende per circa 20 km, testando alcune combinazioni di lampade, sensori e condizioni ambientali.

Il software sviluppato, quindi, si propone di restituire risultati attendibili garantendo una buona flessibilità grazie alla possibilità di configurare il sistema a proprio piacimento ed eventualmente personalizzando il comportamento di ogni componente installato.

Nel seguente capitolo sono illustrate le caratteristiche e le differenze tra le principali tipologie di lampade che vengono utilizzate nei sistemi di illuminazione stradale, con i relativi vantaggi e svantaggi, e sono descritte le componenti e i sensori maggiormente utilizzati in sistemi di illuminazione intelligenti.

Inoltre, vengono analizzati alcuni sistemi di illuminazione esistenti e ne vengono valutati i vantaggi e gli svantaggi in rapporto al risparmio energetico che apportano.

Nell'ultimo capitolo è descritto il software di simulazione Smart Lighting sviluppato a sostegno di questa tesi, con la documentazione riguardo le classi modellate e gli algoritmi utilizzati; è mostrata, infine, l'analisi di una simulazione effettuata.

Stato dell'Arte

Lampade

Lampade a Vapore di Sodio

La lampada a vapore di sodio è un tipo di lampada “a scarica”, basata sull’emissione luminosa mediante la ionizzazione di un gas. Rispetto alla precedente tecnologia, costituita da lampade ai vapori di sodio a bassa pressione, quelle ad alta pressione garantiscono una migliore distinzione dei colori mantenendo buoni livelli di risparmio energetico. La luce prodotta da queste lampade è di colore bianco tendente al giallo, caratteristica che le rende maggiormente adatte ad applicazioni in cui non è di fondamentale importanza la resa dei colori, ma si cerca di ottenere un buon risparmio energetico. Questo tipo di lampada è una soluzione ideale per l’illuminazione stradale o di ampi spazi aperti (giardini, piazze, monumenti) poiché abbina una discreta resa cromatica ad un’ottima efficienza luminosa.

I lampioni che utilizzano questo tipo di lampade sono dotati di un riflettore che direziona la luce emanata dalle lampade (in maniera omnidirezionale) in punti specifici, in questo caso sulla strada. Tuttavia, gran parte della luce viene assorbita dal riflettore, dalle lampade stesse o si disperde verso l’alto causando il fenomeno dell’inquinamento luminoso.

Attualmente i lampioni stradali sono costantemente operativi a causa di una inadeguata gestione della regolazione dell’intensità e per motivi legati alla sicurezza degli utenti delle strade; gli aspetti negativi sono un inutile consumo di energia, una minore durata della vita delle lampade e un alto inquinamento luminoso.

LED

Una lampada LED è un dispositivo di illuminazione basato sull’utilizzo di diodi ad emissione luminosa; rappresenta un’evoluzione dell’illuminazione, in cui la generazione della luce è ottenuta mediante semiconduttori e non tramite l’utilizzo di filamenti o di gas.

I LED emettono una luce fredda, non sotto il punto di vista del colore (che può spaziare entro un’ampia gamma cromatica) ma della temperatura, grazie alla loro capacità di convertire quasi interamente l’energia spesa per alimentarli in fonte luminosa, evitando di dissipare energia sotto forma di calore.

Attualmente è la tecnologia principalmente utilizzata in sistemi di illuminazione stradale grazie ai vantaggi che offre rispetto ad altre tecnologie di illuminazione concorrenti in termini di efficienza, durata e funzionalità. Un altro aspetto importante delle lampade LED è l'ottima resa cromatica, vale a dire la capacità di una fonte luminosa di riprodurre in maniera fedele e corretta i colori degli oggetti che illumina. Questa caratteristica rende preferibile l'utilizzo di LED in sistemi d'illuminazione stradale, piuttosto che di lampade tradizionali, poiché facilita e rende più immediato il riconoscimento di oggetti, e quindi degli ostacoli, da parte dei pedoni e dei conducenti di veicoli.

Con l'utilizzo delle tecnologie LED nei sistemi di illuminazione stradale si raggiunge fino all'80% di risparmio energetico netto su un intero impianto, dovuto alla minima, se non assente, necessità di manutenzione, alla maggiore durata delle lampade e ad una migliore gestione tecnologica del risparmio energetico, nonostante una importante spesa iniziale per la sistemazione dell'impianto.

La durata della vita delle lampade LED è circa 50 volte superiore alla durata media delle altre lampade; una lampada LED, infatti, si considera al termine della sua vita al raggiungimento di un decadimento del flusso emesso pari al 30%, e non al completo spegnimento.

La maggior parte dei lampioni LED utilizzati è provvista di una lente sul pannello che consente di generare un motivo luminoso rettangolare e di direzionarlo correttamente sui punti di interesse.

Vantaggi nell'utilizzo dei LED

I vantaggi legati all'utilizzo di lampade LED rispetto alle tradizionali ai vapori di sodio per l'illuminazione pubblica sono numerosi. In primo luogo, la tecnologia LED ha un forte impatto sul risparmio energetico garantito dal loro utilizzo, dovuto principalmente dalla lunga durata di vita di una sorgente di questo tipo: una lampada LED, infatti, ha una aspettativa di vita maggiore delle lampade concorrenti, raggiungendo anche le cinquantamila ore di piena attività.

Una misura utilizzata per la valutazione delle sorgenti luminose è l'Indice di Resa Cromatica, che ne descrive la capacità di restituire in maniera fedele i colori di un oggetto che illumina. L'IRC può variare da 0 a 100, dove 0 è la resa minima e 100

la massima, paragonabile alla luce esterna naturale. Per una lampada LED questo indice può raggiungere valori anche superiori a 90, garantendo un'ottima fedeltà cromatica rispetto alle tradizionali lampade, in cui questo indice si attesta su valori più bassi, anche tra 20 e 80.

Una fonte di luce elettrica è un dispositivo che trasforma l'energia elettrica (misurata in Watts) in radiazioni elettromagnetiche visibili, la luce (misurata in Lumens). Il tasso di conversione dell'energia elettrica assorbita dalla lampada in luce visibile è chiamato efficienza luminosa ed è misurato in $\frac{lumen}{watt}$. Per le lampade LED questo rapporto è molto alto ed è dovuto al processo di trasformazione più pulito dell'energia elettrica in luce, che si traduce in una riduzione del calore dissipato e in un notevole guadagno in termini di risparmio energetico.

Le lampade LED hanno una aspettativa di vita maggiore rispetto alle tradizionali lampade ai vapori di sodio; al contrario di queste ultime, infatti, non tendono a spegnersi improvvisamente una volta esaurita la loro vita utile, ma diminuiscono lentamente il loro flusso iniziale fino ad esaurirsi.

Tipo di Lampada	Wattaggio	Efficacia Luminosa	Durata della Vita
Vapori di Sodio ad Alta Pressione	216 W	50-150 $\frac{lm}{W}$	15.000 ore
Vapori di Sodio a Bassa Pressione	180 W	100-190 $\frac{lm}{W}$	15.000 ore
LED	15 W	70-160 $\frac{lm}{W}$	50.000 ore

Componenti e Sensori

Arduino UNO

Arduino UNO è una scheda basata su un microcontrollore ATmega328P. Ha 14 pin digitali di input/output e 6 input analogici. La scheda possiede una SRAM (Static Random Access Memory) di 2 kb, EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) di 1 kb, connessione USB e una CPU con frequenza di 16 MHz.

Raspberry Pi

Il Raspberry Pi è un single-board computer, progettato per ospitare sistemi operativi basati su kernel Linux. Il SoC su cui è basato è il Broadcom BCM2837B0, possiede una CPU quad-core con frequenza di 1.4 GHz e una SDRAM da 1 Gb.

STMicroelectronics STM32F051R8

Microcontrollore che incorpora un processore ARM Cortex M0, che opera ad una frequenza di 48 MHz; possiede memorie integrate fino a 64 Kb ed una vasta gamma di periferiche collegabili.

Sensore PIR (Passive InfraRed)

Il sensore PIR è un sensore elettronico che rileva i movimenti sfruttando la differenza di raggi infrarossi che percepisce. È passivo perché può esclusivamente rilevare l'energia sprigionata dagli altri oggetti, senza poterne emettere. Solitamente ha un raggio di rilevamento di circa 10 metri.

Sensore LDR (fotoresistore)

Il sensore LDR (Light Dependent Resistor) è un componente elettronico la cui resistenza diminuisce con l'aumentare dell'intensità luminosa che lo colpisce. In questi sistemi misura l'intensità luminosa per l'identificazione del giorno e della notte.

Sensore Piezoelettrico

I sensori piezoelettrici sono in grado di trasformare l'energia elettrica in energia meccanica, e viceversa. Solitamente nei sistemi di illuminazione intelligenti

questi sensori sono sepolti sotto l'asfalto e rilevano i movimenti dei veicoli e dei pedoni, ottenendo informazioni utili come pressione, accelerazione e temperatura, e inviano segnali elettrici al microcontrollore che si occupa della gestione dell'illuminazione.

Sensore ad ultrasuoni

Come indica il nome, il sensore ad ultrasuoni misura la distanza usando onde ultrasoniche. Questo sensore emette un'onda ultrasonica e riceve l'onda riflessa dall'obiettivo: la distanza da esso viene calcolata misurando il tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione dell'onda.

Sensore di Temperatura

Può essere installato sul controllore per fornire informazioni riguardo la temperatura interna delle lampade, per evitare che superi determinate soglie di sicurezza entro le quali devono lavorare. Le informazioni vengono inviate al coordinatore.

Pannello fotovoltaico

Il pannello fotovoltaico è un dispositivo che consente la conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica sfruttando l'effetto fotovoltaico. Tipicamente è impiegato come generatore di corrente.

Sensore di gas

Il sensore di gas è un dispositivo che rileva la presenza di determinati tipi di gas presenti in un ambiente; generalmente è utilizzato come sistema di sicurezza per rilevare le emissioni di gas dannosi.

ZigBee

ZigBee è un protocollo di rete di comunicazioni ad alto livello, utile alla creazione di reti WPAN (Wireless Personal Area Network), con piccole radio digitali a bassa potenza che garantiscono un basso consumo energetico. Nei sistemi in esame è utilizzato per garantire lo smistamento dei comandi ai lampioni corretti. Esistono tre tipologie di dispositivo ZigBee:

ZigBee Coordinator: è la radice di una rete ZigBee, e in ogni rete può essercene soltanto uno; può operare da ponte tra più reti ZigBee. È il dispositivo che si occupa di inizializzare la rete e memorizza le informazioni su tutti i dispositivi presenti nella rete; agisce, inoltre, da deposito delle chiavi di sicurezza.

ZigBee Router: agisce come router intermedio ricevendo i dati dai dispositivi, e passandoli ad altri. Fisicamente non c'è alcuna differenza tra un Coordinator ed un Router, poiché di fatto una volta inizializzata la rete diventano dispositivi identici.

ZigBee End Device: può dialogare soltanto con il nodo padre (che esso sia un Coordinator o un Router) e non può trasmettere dati ad altri dispositivi. Richiede il minor quantitativo di memoria e perciò è il più economico tra i dispositivi.

Sistemi di illuminazione stradale esistenti

Sono stati analizzati vari sistemi di illuminazione già esistenti, alcuni dei quali attualmente in uso, che utilizzano diverse schede microcontrollori per eseguire gli algoritmi intelligenti alla base del funzionamento dei sistemi stessi.

Controllore/Scheda	Riferimenti Sistemi	Algoritmo presente
Arduino UNO	[6]	NO
ATMega128	[2]	SI
PIC16f877a	[3]	SI
Raspberry Pi	[4], [6]	NO, NO
STMicroelectronics STM32F051R8	[1]	SI

Efficient Control Algorithm for a Smart Solar Streetlight

Caratteristiche

Sistema realizzato con un controllore STMicroelectronics STM32F051R8 basato su architettura ARM Cortex M0 in quanto, tra le varie caratteristiche, offre la funzione di Real Time Clock: grazie ad essa è possibile ottenere una continua rilevazione dell'orario per poter stabilire correttamente quando accendere o spegnere i lampioni, in base ad un algoritmo che utilizza il tempo astronomico.

Vengono utilizzate lampade LED, alimentate tramite pannello solare e batteria; l'energia elettrica prodotta dal pannello solare ricarica la batteria, che è effettivamente la fonte energetica del sistema. Nel sistema è presente un driver LED con DHC (Dynamic Headroom Control), molto utilizzato nell'illuminazione stradale per massimizzarne l'efficienza generale: lo fa regolando dinamicamente la tensione in uscita dalla batteria, offrendo anche la funzionalità della Pulse-Width Modulation: la PWM permette la regolazione dinamica della luminosità delle lampade. Per scopi manutentivi sono installati anche una tastiera e due display, per mostrare l'orario corrente, la tensione della batteria e altri dati informativi.

Il costo annuale dell'energia consumata è calcolato prendendo in considerazione il numero di lampioni (N), il numero giornaliero di ore di funzionamento dei lampioni (H), il Wattaggio (Ω) e il costo in KWh dell'elettricità (K), tramite la formula:

$$X = \frac{N * H * \Omega * K * 365}{1.000}$$

A seconda del tipo di lampade utilizzate per l'illuminazione, e supponendo una strada costituita da 1.000 lampioni, sono emersi i seguenti costi:

Lampada	Wattaggio medio	Efficienza luminosa	Ore di vita della lampada	Costo annuale dell'energia
Vapori di Mercurio ad Alta Presione	239 W	35-65 lm/W	5.000 ore	105.990,50 \$
Vapori di Sodio ad Alta Pressione	216 W	50-150 lm/W	15.000 ore	95.790,60 \$
Vapori di Sodio a Bassa Pressione	180 W	100-190 lm/W	15.000 ore	79.825,50 \$
LED	15 W	70-160 lm/W	50.000 ore	6.652,10 \$

Algoritmo

L'algoritmo è responsabile di tre funzioni principali: controllare autonomamente le lampade per accenderle/spegnerle al tramonto e all'alba, dimmerare le luci la notte tra le 23.30 e le 4.30 e monitorare la tensione della batteria.

Per calcolare correttamente gli orari di alba e tramonto fa uso di algoritmi basati sul RTC, combinato con le coordinate geografiche del lampione (fissate preventivamente per ogni lampione). La prima fase dell'algoritmo è quella di inizializzazione, che avviene appena il sistema viene avviato la prima volta.

Il Real Time Clock offre la funzionalità di "sveglia", per generare delle interruzioni ogni qualvolta l'orario corrente corrisponda a quello impostato in precedenza. Possono essere configurati due allarmi, A e B: il controller preleva la data e l'ora dai registri del RTC, determina l'orario del successivo evento (solare) e ne imposta l'allarme; il secondo serve per impostare l'orario in cui far partire il dimmeraggio (in questo caso le 23). Dopo questa configurazione, il controller entra in una modalità di riposo da cui può risvegliarsi quando è generata una interruzione.

Quando il controllore si risveglia parte il gestore delle interruzioni: grazie a due flag può capire per quale dei due allarmi è stato risvegliato, esegue le operazioni e termina il gestore delle interruzioni, tornando al flusso principale dell'algoritmo.

Il flusso principale è dove avvengono le operazioni di monitoraggio della batteria, l'accensione/spegnimento delle lampade e la configurazione degli allarmi.

Sono utilizzati quattro flag per definire lo stato del controller come sole, dimmeraggio, alba e tramonto. I flag di sole e dimmeraggio sono stati trattati in precedenza, mentre gli altri due servono per stabilire quale evento ha generato l'interruzione, e di conseguenza spegnere o accendere i lampioni. Quando viene impostato l'allarme per il tramonto, il controllore stabilisce se utilizzare la batteria o la rete elettrica principale, in base allo stato di carica della batteria; viceversa, dopo l'alba, entra in uno stato di riposo per risparmiare batteria.

Pro e Contro

Mediante un lampione è operativo 15 ore al giorno, circa 5.475 ore all'anno; con l'utilizzo dell'algoritmo per determinare alba e tramonto descritto dal sistema, le ore di attività di un lampione calano anche fino a 4.400. Inoltre, con l'implementazione del dimmeraggio della luminosità durante le ore notturne, è stato calcolato che i lampioni funzionano a pieno regime solo per 3.800 ore circa, ottenendo un buon risparmio del 30% delle ore di funzionamento.

L'utilizzo dell'energia solare per alimentare il sistema, senza passare alla rete elettrica principale, assicura un ottimo impatto ambientale originando un risparmio del 100% sul consumo energetico, azzerando così le emissioni di CO₂.

Il sistema, tuttavia, soffre di errori computazionali nel calcolo degli orari di alba e tramonto in casi di condizioni meteorologiche avverse.

Intelligent Street Lights

Caratteristiche

Questo sistema permette di ridurre le emissioni di CO₂ e lo spreco energetico adattando l'intensità luminosa alle condizioni meteorologiche e alla densità del traffico; ciò è realizzato tramite una serie di sensori.

Vengono utilizzati sensori PIR (Passive InfraRed) posti ai lati della carreggiata per rilevare il movimento dei veicoli; la comunicazione tra essi avviene tramite collegamento cablo per ridurre i costi d'impianto. Sul PIR è impostato un valore che specifica che il dispositivo si trova in uno stato di quiete, "normale"; se un veicolo entra nel raggio di rilevamento del PIR avverrà una variazione di temperatura, che cambierà il suo stato.

Il microcontrollore utilizzato è un ATmega128. Esso effettua un controllo sul valore generato dal PIR, lo elabora e invia ai lampioni corrispondenti i segnali per regolarne l'accensione/spegnimento ed eventualmente gestirne l'intensità luminosa, mediante tecniche di modulazione di larghezza degli impulsi. È presente un interruttore crepuscolare per automatizzare l'accensione e lo spegnimento nelle fasi di buio e luce.

Algoritmo

L'unità di rilevamento comunica i dati relativi alla densità del traffico:

- Se viene rilevato il movimento
 - Aumenta al massimo l'intensità di luminosità
- Altrimenti
 - Imposta l'intensità della luminosità a $\frac{1}{4}$

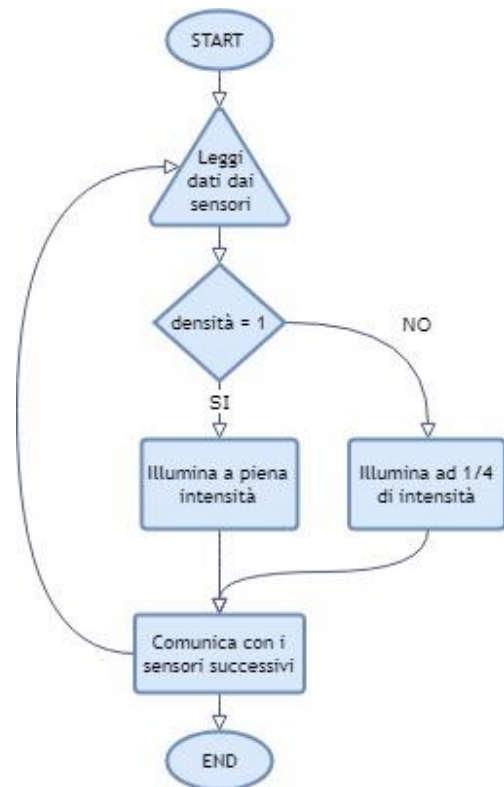
Passa il controllo all'unità di rilevamento successiva

I sensori, infrarossi e PIR, sono posizionati su entrambi i lati della carreggiata; essi restituiscono un output digitale da 0V a 5.0V, in base al rilevamento effettuato. Questi valori sono elaborati dal microcontrollore ATmega128, che è programmato per rilevare la densità del traffico e gestire l'intensità del sistema di illuminazione. I lampioni vengono accesi e spenti automaticamente tramite l'utilizzo di fotoresistori, che fungono da interruttore crepuscolare.

Il microcontrollore lavora in comune per tutte le unità di rilevamento, ma agisce singolarmente su ogni lampione per ottenere una maggiore precisione. Il controllo dinamico dell'intensità luminosa è ottenuto mediante la modulazione della larghezza degli impulsi (Pulse-Width Modulation), ed è adattabile sia alle lampade LED che ai vapori di sodio.

Pro e Contro

Gli autori non hanno rilasciato alcuna informazione riguardo le simulazioni effettuate e sui reali vantaggi che il sistema può apportare ad un sistema di illuminazione già esistente. Risulta, tuttavia, che possa ridurre lo spreco di energia elettrica nelle ore di non utilizzo.



Automation of Street Light for Smart City

Caratteristiche

In questo sistema il rilevamento dei veicoli avviene tramite la misurazione dell'intensità luminosa dei fanali dei veicoli stessi.

Il sistema viene avviato automaticamente quando la luce esterna scende sotto un determinato livello, e viene utilizzato il modulo di dimmeraggio per controllare la luminosità delle luci della strada. Inizialmente tutti i lampioni sono programmati per illuminare ad una intensità media del 20%: ogni lampada è progettata indipendentemente dalle altre, così che possa prendere proprie decisioni sull'attivazione delle luci.

Successivamente viene inizializzato il modulo PWM. La tecnica del PWM (Pulse-Width Modulation) è largamente utilizzata in applicazioni in cui c'è necessità di regolare la tensione, in questo caso da 1.0V a 5.0V.

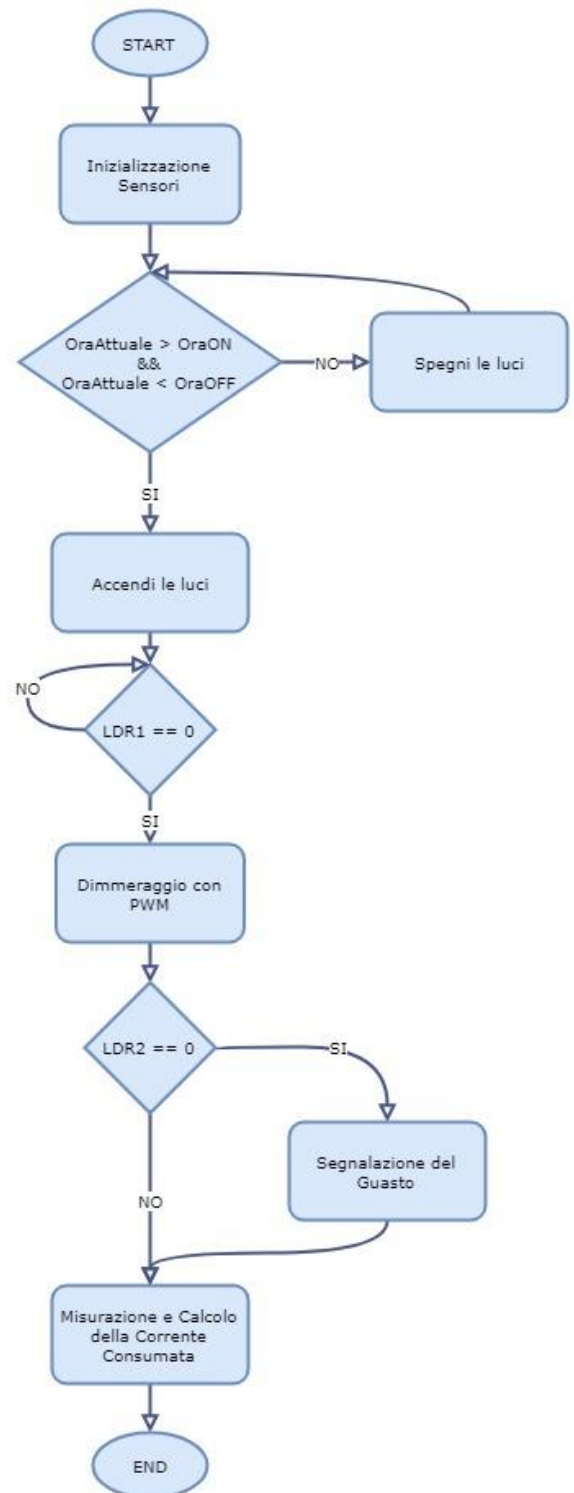
Ogni lampione è installato con due sensori LDR, uno alla base del lampione e l'altro sulla lampada. Il primo sensore LDR controlla lo stato della strada per rilevare movimenti dei veicoli e gestire la regolazione dell'illuminazione del lampione; inizialmente cattura le informazioni e le invia al microcontrollore, che si occuperà di elaborarle e comunicare al lampione in che modo deve regolare la luminosità. Il secondo sensore, invece, è piazzato sulla lampada per controllarne lo stato e assicurarsi il funzionamento. Se viene rilevato un guasto, viene inviata automaticamente una segnalazione ad un numero telefonico preimpostato, tramite SMS, con l'ausilio del modulo GSM collegato al circuito; il messaggio viene ricevuto dal centro operativo che si occuperà di smistarlo ai tecnici per la riparazione o la sostituzione.

Algoritmo

In questo sistema la gestione luminosa di un lampione specifico dipende dall'intensità luminosa che viene rilevata dal sensore LDR installato sul lampione stesso.

Il sistema controlla inizialmente se l'orario attuale rientra nel range degli orari di funzionamento del sistema; se la condizione è verificata vengono accese le luci all'intensità base. Successivamente:

- Mentre il sistema è in funzione
 - Se il sensore LDR posto alla base di ogni lampione rileva un veicolo in arrivo
 - Aumenta l'intensità luminosa della lampada al 100%
 - Altrimenti
 - Imposta l'intensità luminosa di base
 - Se il sensore LDR posto sulla lampada rileva un malfunzionamento
 - Viene inviata la segnalazione del guasto all'unità di controllo
 - Vengono rilevate le informazioni riguardo il consumo energetico



Pro e Contro

Il sistema risulta efficiente in termini di installazione ed estensione, e facilita il rilevamento dei guasti con i conseguenti lavori di riparazione o manutentivi.

Inoltre, il sistema dimostra di essere molto utile nelle infrastrutture cittadine, riducendo l'utilizzo dell'energia elettrica convenzionale; dopo un mese di operatività, è stato confermato un risparmio energetico del 48%.

Tuttavia, dal momento che in questo sistema le rilevazioni sono effettuate da un sensore LDR, possono essere acquisiti soltanto i veicoli con i fanali accesi; nonostante questo elimini il rilevamento accidentale di animali o movimenti degli alberi, rende il sistema meno efficiente quando deve rilevare la presenza di pedoni o persone in bicicletta.

Survey on Energy Efficient Smart Street Light System

Caratteristiche

Il sistema di illuminazione proposto è una applicazione hardware che per risparmiare energia e consumi energetici utilizza come input del sistema il video della strada in cui è installato: viene rilevato il movimento di veicoli e pedoni per accendere un blocco di lampioni davanti ad essi, e di conseguenza spegnere le luci dei lampioni superati. È utilizzato un dispositivo di acquisizione video (una fotocamera o telecamera) per catturare un'istantanea della strada; in seguito viene elaborata per decidere automaticamente come agire sulla gestione luminosa dei lampioni. Il controllore utilizzato è un Raspberry Pi in quanto, rispetto ai requisiti di altri sistemi analizzati, c'è necessità di più memoria; inoltre, dà la possibilità di collegare moduli esterni tramite opportune porte.

Sono utilizzate metodologie di comparazione Object Level Frame per rilevare le automobili e gli esseri umani e per poterli distinguere per il corretto funzionamento del sistema.

I dispositivi connessi al controllore sono sensori LDR, sensori di temperatura, di rilevamento gas ed un pulsante per la segnalazione manuale di guasti da parte degli utenti della strada, oltre al modulo per il riconoscimento degli utenti della strada ed un modem dati per controllare lo stato dei sensori.

Algoritmo

In questo sistema i lampioni sono suddivisi in blocchi; viene piazzata una telecamera sul primo lampione di ogni serie, che cattura l'immagine in tempo reale della strada e viene processata tramite il controllore: se viene rilevato un veicolo o un essere umano, si accende il lampione più vicino al soggetto e quelli in coda si spengono. Successivamente viene inviato un messaggio al lampione successivo, contenente la modalità di accensione che dovrà rispettare.

Per l'implementazione sono necessari i seguenti step: **cattura del video, elaborazione del fotogramma, determinazione dello stato del lampione, attivazione dell'array di sensori, modulo di comunicazione wireless.**

1. Una telecamera installata sul primo lampione cattura l'immagine del traffico;

2. Dopo aver catturato il video, viene trasmesso al microcontrollore per l'elaborazione:
 - a. Viene suddiviso il video in frame
 - b. I frame sono convertiti da RGB a scala di grigi
 - c. Viene eseguita la binarizzazione
 - d. Si determinano le coordinate
 - e. Si individua l'area dell'oggetto
3. Tramite la misurazione delle coordinate, è possibile stabilire l'area dell'oggetto: se è maggiore dell'area prestabilita, la luce desiderata si accenderà;
4. Sono presenti un sensore di temperatura, sensore di gas e fotoresistori, con un determinato valore di soglia: se viene superato uno di questi valori, viene inviato un messaggio all'autorità competente.
5. Viene utilizzato un modulo per la comunicazione wireless per permettere la comunicazione tra lampioni. In questo modo un lampione potrà sollecitare il successivo di accendersi, senza necessità cablaggi costosi.

Pro e Contro

Il sistema proposto offre il principale vantaggio del risparmio energetico. Presenta una progettazione semplice ed efficace ed utilizza componenti tecnologicamente avanzati per raggiungere lo scopo per il quale è ideato. Necessita di una rilevante spesa iniziale ma permette di ridurre drasticamente i costi per la manutenzione.

Intelligent Street Light System in Context of Smart Grid

Caratteristiche

L'obiettivo principale degli autori è lo sviluppo di un sistema di illuminazione estremamente efficiente dal punto di vista energetico; per ottenere questo risultato propongono una originale architettura per il sistema, che necessita dei seguenti requisiti: un centro di commutazione ridefinito, lampioni stradali con più sensori (sensori ottici, di velocità e movimento, di visibilità), lampade LED a basso consumo energetico, controllo della luminosità, pali dotati di pannello solare, una Smart Grid con database, classificazione delle aree di interesse e algoritmi decisionali intelligenti. Per la modellizzazione e simulazione vengono definiti vari parametri:

Parametro Descrizione

V	Voltaggio di ogni lampada
V_d	Voltaggio dimmerato
T_{min}	Tempo minimo di accensione
T_{max}	Tempo massimo di accensione
S⁰	Spento
S¹	Acceso
P	Numero di lampioni
F	Rilevamento del traffico (0/1)
H_f	Alta frequenza di traffico/pedoni
L_f	Bassa frequenza di traffico/pedoni
A	Traffico veloce
B	Traffico lento
ΣW	Consumo energetico totale

e le seguenti formule:

$$W_1 = \alpha H_f, W_2 = \beta H_f$$

$$W_3 = \alpha L_f, W_4 = \beta L_f$$

$$\sum W = \alpha H_f + \beta H_f + \alpha L_f + \beta L_f$$

$\sum W$ mostra il consumo energetico totale del sistema considerando diverse velocità di traffico e diverse frequenze di traffico di auto e pedoni.

Algoritmo

Quando vengono accese le luci, il sensore controlla il tempo atmosferico e, basandosi sulle condizioni di visibilità, regola la luminosità delle lampade LED. Durante l'orario di punta del traffico le luci restano accese; in seguito, i lampioni intelligenti cambiano le loro funzionalità.

Innanzitutto, avviene la rilevazione del traffico: se è assente, il centro di commutazione viene intimato di spegnere le luci nella zona non trafficata; il centro di commutazione di ogni area comunica con la rete intelligente e la aggiorna con i dati relativi al consumo energetico.

Ogni qualvolta un pedone o un veicolo viene rilevato da un lampione intelligente, ne viene rilevato il movimento e la luce viene accesa; è verificata la velocità del traffico per determinare se si tratta di un veicolo o di un passante, e in base all'area in cui è rilevato (area residenziale o su una autostrada) viene presa la decisione sul modo in cui gestire l'illuminazione.

Nelle aree residenziali vengono accesi tutti i lampioni fino ad una distanza di 100 metri, mentre su una autostrada fino a circa 300 metri; inoltre, vengono regolati i tempi minimi e massimi di accensione considerando la frequenza, alta o bassa, del traffico.

Pro e Contro

L'aspetto positivo di questo sistema, oltre al monitoraggio e alla gestione automatizzata dell'illuminazione stradale, è l'utilizzo intelligente che fa dell'energia elettrica, imparando costantemente quali sono le aree a cui può essere ridotto il fabbisogno energetico e, quindi, limitare le emissioni di CO₂.

Essendo in grado di rilevare sia veicoli che pedoni, il sistema è adattabile a diverse aree di traffico, dalla zona residenziale alla strada extraurbana.

I risultati del sistema sono stati calcolati soltanto in una area ristretta lunga 1 km, e l'elevato numero di sensori e componenti ne complica l'implementazione e rischia di apportare svantaggi allo stesso sistema (ad esempio con rilevazioni sbagliate).

Automatic Street Light Control System using Wireless Sensor Networks

Caratteristiche

Il sistema di illuminazione proposto presenta una implementazione basata su una rete di sensori wireless (Wireless Sensor Network), in cui i lampioni costituiscono i nodi della rete stessa. I sensori presenti su ogni lampione (e quindi connessi ad ogni nodo) raccolgono informazioni riguardanti le condizioni del traffico, la corrente utilizzata o la variazione tra il giorno e la notte, e le trasmettono alla stazione base centrale costituita dal single-board computer Raspberry Pi 3, utilizzato come web server per monitorare lo stato del sistema.

Ogni lampione è fornito di una scheda Arduino UNO come microcontrollore, al quale sono collegati un sensore PIR, un pulsante d'emergenza (per la segnalazione manuale dei guasti), un sensore LDR per l'identificazione del giorno e della notte, un ricetrasmittitore nRF24L01, un sensore ultrasonico, relè, lampade LED e un pannello solare come fonte energetica; la stazione base centrale, invece, consiste in una scheda Raspberry Pi come processore, un ricetrasmittitore nRF24L01 ed un modulo GSM. I ricetrasmittitori sono necessari per trasmettere dai nodi alla stazione base le informazioni sui sensori e sullo stato delle luci, e per ricevere i comandi dalla stazione base ai nodi stessi sull'attivazione delle luci.

Gli output dei sensori vengono inviati ad una pagina web, dalla quale è possibile monitorare lo stato di ogni nodo: in questa pagina vengono mostrate informazioni sui sensori quali lo stato dei PIR, la distanza degli oggetti rilevati misurata con il sensore ultrasonico, lo stato del pulsante d'emergenza e dei sensori LDR, e la corrente assorbita da ogni nodo. È inoltre possibile agire sullo stato delle luci, accendendole e spegnendole in modo manuale.

Algoritmo

Il sistema viene avviato in tre condizioni differenti.

1. Quando un sensore PIR posto sul lampione rileva un essere umano oppure un veicolo in movimento, si accende la luce LED.
2. Quando un sensore ultrasonico rileva un oggetto distante, viene acceso il lampione corrispondente alla posizione in cui si trova l'oggetto.

3. Quando viene premuto il pulsante d'emergenza, nel caso in cui sia necessario un intervento di manutenzione.

Pro e Contro

Il sistema proposto è adattabile a più condizioni di traffico e quindi riesce a garantire un buon risparmio energetico. Inoltre, fornisce un utile pannello di controllo dal quale è possibile agire sullo stato dei lampioni e monitorare le informazioni che rilevano.

D'altronde comporta una notevole spesa iniziale dovuta all'elevato numero di sensori e componenti necessari per il funzionamento.

Analisi dei Sistemi di Illuminazione

Dall'analisi dei sistemi illuminazione esistenti è emerso che l'elevato numero di sensori può portare gravi criticità; tali possono essere dovute alla errata integrazione dei sensori stessi: in un sistema che analizza il traffico a partire dalla registrazione video in tempo reale della strada e che utilizza un sensore ultrasonico per calcolare la distanza dell'oggetto rilevato, ad esempio, può essere controproducente utilizzare un sensore PIR per rilevare il passaggio di veicoli o pedoni in quanto potrebbe effettuare rilevazioni non necessarie al sistema (ad esempio animali che transitano sulla strada). Un altro motivo per disprezzare l'utilizzo di troppi sensori e componenti, se il sistema non è ben progettato, è il costo necessario per realizzare di fatto il sistema.

Generalmente, però, tutti i sistemi riescono a garantire buoni vantaggi in termini di risparmio energetico, sia grazie all'utilizzo di componenti ecologiche (quali possono essere le lampade LED), sia con il supporto di buoni algoritmi decisionali (intelligenti e non) che permettono di automatizzare l'accensione e lo spegnimento delle luci stradali, implementando anche funzionalità di dimmeraggio, quando possibile, per risultare ancora più efficienti.

Sistema	Riferimento	Pro	Contro
Efficient Control Algorithm for a Smart Solar Streetlight	[1]	Risparmio del 30% circa sulle ore di funzionamento dei lampioni; risparmio del 100% sull'utilizzo dell'energia elettrica	Rischio di errori computazionali nel calcolo di alba e tramonto dovuti a condizioni meteorologiche avverse
Intelligent Street Lights	[2]	Risparmio energetico nelle ore di non utilizzo	Scarsa sperimentazione
Automation of Street Light for Smart City	[3]	Facile implementazione e buona estendibilità; facilita la manutenzione; garantisce un buon risparmio energetico	Possono essere rilevati soltanto veicoli con i fanali accesi, rendendo impossibile la rilevazione di pedoni o persone in bicicletta
Survey on Energy Efficient Smart Street Light System	[4]	Offre un buon risparmio energetico; riduce i costi per la manutenzione; buona progettazione	Alti costi iniziali
Intelligent Street Light System in Context of Smart Grid	[5]	Destina ad ogni area in cui è installato la giusta quantità di energia elettrica; adattabile a diverse aree	Elevato numero di sensori; poca sperimentazione
Automatic Street Light Control System using Wireless Sensor Networks	[6]	Adattabile a varie condizioni di traffico; buona gestione del risparmio energetico; buona gestione del sistema tramite pannello di controllo	Alti costi iniziali dovuti all'elevato numero di sensori necessari

Smart Lighting

Caratteristiche

Smart Lighting è un software di simulazione di sistemi di illuminazione stradale intelligenti.

A partire dalla definizione delle caratteristiche di un determinato tratto stradale, quali la lunghezza, il numero di lampioni installati, la distanza che intercorre tra di essi e il numero di automobili che transitano, è possibile stabilire il contesto della simulazione; è possibile, inoltre, personalizzare ogni lampione stradale aggiungendo ad esso componenti (che possono essere sensori, fonti energetiche, lampade) che hanno i loro comportamenti e i loro attributi.

Effettuando la simulazione, quindi, Smart Lighting restituisce informazioni circa il consumo energetico che il sistema comporta, con i rispettivi costi secondo le ore di funzionamento del sistema.

Diagramma delle classi

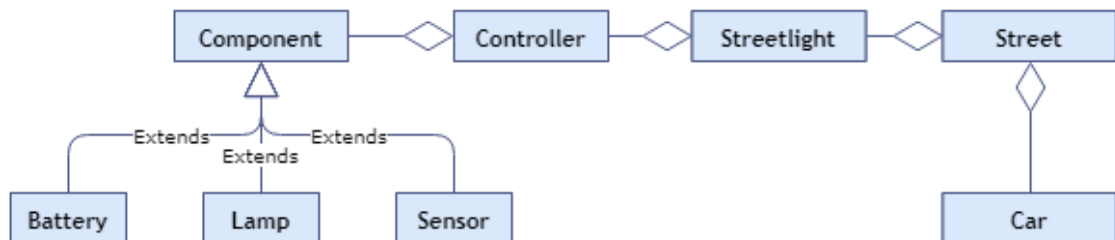


Figura 1 - Diagramma delle classi

Classi in dettaglio

Component
- attached: boolean - controller: Controller - position: int
+ setController(controller:Controller) + getController(): Controller

Figura 2 - Classe Component

Battery
- name: String - watt: int
+ setWatt(watt:int) + getWatt(): int

Figura 3 - Classe Battery

Lamp
- type: LAMP_TYPE - watt: int - intensity: int
+ setWatt(watt:int) + getWatt(): int + setIntensity(intensity:int) + getIntensity(): int

Figura 4 - Classe Lamp

Sensor
<ul style="list-style-type: none"> - type: SENSOR_TYPE - minThreshold: int - maxThreshold: int - detected: boolean
<ul style="list-style-type: none"> + detect()

5 - Classe Sensor

Controller
<ul style="list-style-type: none"> - name: String - components: Component[] - lamp: Lamp - battery: Battery - attached: boolean - streetlight: Streetlight
<ul style="list-style-type: none"> + setLamp(lamp: Lamp) + getLamp(): Lamp + setBattery(battery: Battery) + getBattery(): Battery + setStreetlight(sl: Streetlight) + getStreetlight(): Streetlight + setComponents(components: Component[]) + getComponents(): Component[] + dimLamp(intensity: int)

6 - Classe Controller

Car
<ul style="list-style-type: none"> - deceleration: double - speed: int - position: int - street: Street - running: boolean
<ul style="list-style-type: none"> + setStreet(street: Street) + getStreet(): Street + getSpeed(): int + run()

7 - Classe Car

Streetlight
<ul style="list-style-type: none"> - controller: Controller - attached: boolean - street: Street - position: int
<ul style="list-style-type: none"> + setController(controller: Controller) + getController(): Controller + setStreet(street: Street) + getStreet(): Street + turnOnLamp()

8 - Classe Streetlight

Street
<ul style="list-style-type: none"> + frictionCoeff: double + operative_hours: int - name: String - streetlights: Streetlight[] - cars: Car[] - sensors: Sensor[] - totalConsumption: double
<ul style="list-style-type: none"> + setStreetlights(streetlights: Streetlight[]) + getStreetlights(): Streetlight[] + setCars(car: Car[]) + getCars(): Car[] + setSensors(sensors: Sensor[]) + getSensors(): Sensor[] + findStreetlightByPosition(pos: int): Streetlight + findCarByPosition(pos: int): Car - getTotalWatts(): int + run()

9 - Classe Street

Descrizione delle classi

La classe Component specifica le informazioni generali di un componente, quali la sua posizione lungo la strada e il controllore a cui è collegato; un componente può essere una batteria, una lampada o un sensore.

La classe Battery permette di specificare il nome ed il wattaggio della batteria che alimenta il controllore; Lamp modella il comportamento di una lampada, che è caratterizzata da un tipo (LED, Vapori di Sodio ad Alta Pressione, Vapori di Sodio a Bassa Pressione), dai watt e dall'intensità luminosa che produce; la classe Sensor, infine, descrive il sensore da collegare al controllore presente su ogni lampione. Il sensore è generato a partire dal suo tipo (che può essere PIR o LDR) e dalle soglie di funzionamento: ad esempio nel caso del sensore PIR le soglie corrispondono ai gradi di rilevamento del sensore stesso, mentre per il fotoreistore (LDR) indicano il valore minimo dal quale effettuare la rilevazione. Nella classe Sensor è presente il metodo principale del sistema che si occupa del rilevamento dei sensori, per permettere l'accensione dei lampioni secondo determinati criteri. Le classi Battery, Lamp e Sensor estendono la classe Component, ereditandone i comportamenti e gli attributi.

Controller è la classe che permette di definire il controllore da utilizzare per ogni lampione del sistema, specificando il modello ed allegandogli tutti i componenti da collegare: sarà poi il sistema a stabilire il tipo di componente e "collocarlo" nel posto giusto. Ogni controllore contiene il riferimento al lampione a cui è collegato e di cui, quindi, gestisce l'illuminazione. Questa classe è responsabile del dimmeraggio delle lampade LED, la principale funzione utilizzata dai sensori ed indispensabile per ottenere il risparmio energetico.

La classe Streetlight è responsabile della creazione del lampione: viene generato specificando la posizione che occuperà all'interno della strada ed il controllore ad esso associato, che si occuperà della gestione luminosa e dei sensori.

Ogni macchina è modellata dalla classe Car, che le genera a partire dalla velocità e dalla posizione iniziale; qui sono presenti anche dati relativi alla lunghezza del fascio luminoso dei fanali dell'automobile (per permettere il rilevamento da parte di determinati sensori), o alla distanza in metri che percorre in un secondo. Questa classe è responsabile del movimento di ogni auto tramite un metodo che, ogni volta che compiono il movimento, a partire dalla velocità dell'auto la pone nella giusta

posizione all'interno della strada, memorizzando anche le informazioni riguardo l'intensità luminosa emessa dai fanali.

Infine, la classe Street è la classe principale del sistema software dal momento che permette la creazione della strada effettiva, in cui sono installati i lampioni e su cui circolano le automobili. La strada viene definita a partire dalla lunghezza e dal numero di lampioni che si intende installare. Per ogni strada è possibile stabilire il numero di ore in cui il sistema di illuminazione dev'essere operativo, che sarà il tempo massimo entro cui è effettuata la simulazione del sistema stesso; inoltre, ogni volta che viene definita una strada è possibile specificarne le condizioni dell'asfalto per determinare il coefficiente d'attrito che sarà presente tra il manto stradale e gli pneumatici dell'automobile per influenzare lo spazio di frenata che necessiterà ogni auto, dato fondamentale per determinare il criterio di accensione dei lampioni presenti nel sistema. Da ogni strada è possibile ottenere il riferimento dei lampioni presenti (con tutte le relative informazioni) o anche di un singolo lampione conoscendo il suo identificativo, e quindi dei controllori con tutti i componenti ad esso associati; generata la strada, le vengono associate le automobili che, essendo generate in posizioni casuali, inizialmente potrebbero trovarsi in posizioni precedenti al punto iniziale della strada: il software separa queste automobili da quelle che si trovano già nella strada per facilitarne la complessità computazionale generale.

In questa classe è presente l'algoritmo responsabile del ripetuto avvio della rilevazione da parte dei sensori, del movimento delle automobili e del calcolo dei consumi totali del sistema, indicando, al termine della simulazione, il risparmio energetico che è possibile raggiungere con l'architettura definita nella fase di configurazione.

Algoritmi

Per supportare il risparmio energetico, lo scopo dello sviluppo della tesi, sono stati implementati algoritmi decisionali ai sensori per poter gestire in maniera ottimale il consumo energetico e sfruttare al massimo le tecnologie attualmente disponibili, come il dimmeraggio delle lampade LED o i pannelli fotovoltaici.

Nel flusso principale del software avviene la configurazione delle caratteristiche stradali, ottenendo in input dall'utente il numero di lampioni e la distanza tra di essi (generando in automatico la lunghezza del tratto stradale da considerare); una volta creata la strada bisogna specificare il numero di automobili che la utilizzeranno, le cui posizioni sono generate casualmente, ed il tempo di funzionamento del sistema di illuminazione, che tipicamente va dalle 10 alle 15 ore. È possibile, inoltre, impostare il numero di ore in cui si presume che la densità del flusso di automobili che transitano sulla strada sia inferiore.

Successivamente va specificato il numero ed il tipo di controllori da collegare ad ogni lampione, a cui associare lampade, fonti energetiche e sensori; ogni lampada è generata impostandone il tipo e l'intensità luminosa iniziale, e per ogni sensore generato è possibile impostare le soglie di funzionamento per stabilire, ad esempio, da quale distanza deve essere rilevato il passaggio di un'automobile o i gradi di rilevamento del sensore stesso.

È possibile personalizzare le condizioni atmosferiche scegliendo tra clima sereno, piovoso o nivale, per determinare il coefficiente d'attrito che si crea tra gli pneumatici delle automobili e l'asfalto, che influenzerà il tempo di frenata utile a stabilire il criterio di accensione dei lampioni.

Terminata la configurazione, viene avviato il sistema secondo le modalità previste dal suo ideatore.

Quando comincia la simulazione viene generato casualmente il flusso del traffico prendendo in considerazione i parametri impostati nella fase iniziale di configurazione della strada e delle automobili, e quest'ultime vengono suddivise tra quelle presenti e non presenti sulla strada in quel determinato istante; quando un'auto muovendosi entra all'interno della strada, verrà eliminata dall'insieme delle auto non presenti ed aggiunta a quello delle auto presenti in strada, così da poter essere rappresentata. Analogamente quando un'auto presente sulla strada percorre uno spazio tale da farle oltrepassare la lunghezza della strada, verrà eliminata dal sistema

e quindi non sarà più presa in considerazione nelle rilevazioni successive. Ogni secondo è eseguita la rilevazione da parte dei sensori per determinare se avviene o meno il passaggio di una automobile, e quindi per stabilire il criterio con cui accendere il lampione corrispondente e, eventualmente, i lampioni successivi.

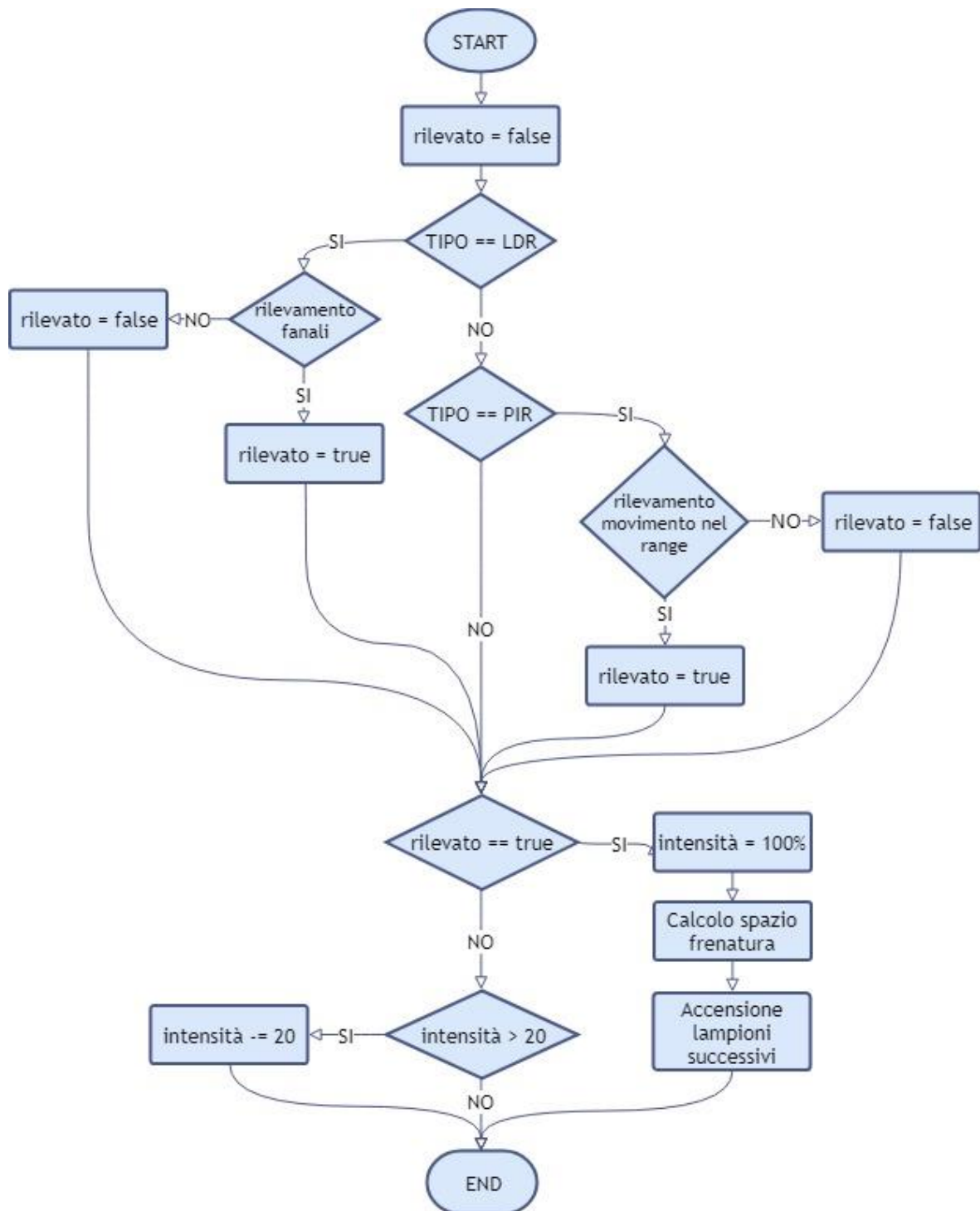


Figura 10 - Algoritmo del rilevamento del sensore

Il software riconosce il tipo di sensore che sta effettuando la rilevazione, e di conseguenza utilizza un algoritmo differente per ogni tipo di sensore per determinare l'esito della rilevazione stessa. Ad esempio, nel caso in cui si tratti di un sensore PIR, controlla se nel raggio di azione del sensore stesso (impostato dall'utente nella fase iniziale di configurazione) è presente una automobile; se si tratta di un sensore LDR, invece, verifica se nella posizione in cui si trova il sensore è presente una intensità luminosa che deriva dai fanali di una automobile e che, quindi, ne determina l'immediato passaggio.

Se il rilevamento restituisce esito positivo, il software esegue il calcolo per determinare quanti lampioni, successivi a quello il cui sensore ha effettuato la rilevazione, dovranno essere accesi con intensità massima; viene eseguita questa operazione per una questione di sicurezza, per garantire al conducente del veicolo che circola una buona e profonda visibilità della strada, così da poter evitare ostacoli presenti lungo il percorso o regolare la velocità in base al flusso di automobili che lo precede.

Per determinare il numero di lampioni da accendere vengono presi in considerazione una distanza di sicurezza, cioè la distanza che l'auto che ha attivato il sensore percorrerà nei successivi 5 secondi, e lo spazio di frenatura della stessa auto, che è lo spazio percorso dal veicolo dal momento in cui inizia l'azione frenante fino al suo totale arresto.

Lo spazio di sicurezza è ottenuto come prodotto tra la velocità dell'auto (in m/s) ed i secondi da considerare (cinque); lo spazio di frenata del veicolo è misurato a partire dalla velocità dell'automobile, l'attrito esistente tra l'asfalto e gli pneumatici (variabile in base alle condizioni atmosferiche impostate nella fase iniziale di configurazione) e la decelerazione del veicolo in frenata:

$$\begin{aligned} \text{Spazio di sicurezza} &= v * 5s \\ \text{Spazio di frenata} &= \frac{v^2}{2 * u * a} \end{aligned}$$

dove u , il coefficiente d'attrito, è una costante che vale 0,05 se l'asfalto è ricoperto di ghiaccio, 0,4 se è piovoso e 0,8 in normali condizioni climatiche.

Quindi si ottiene lo spazio totale da illuminare come somma dello Spazio di sicurezza e lo Spazio di frenata, e dividendo questo spazio per la distanza che

intercorre tra i lampioni, si determina il numero di lampioni da attivare alla massima intensità.

Altrimenti, se la rilevazione del sensore ha restituito un esito negativo (e quindi non ha rilevato la presenza di una automobile nelle vicinanze), l'intensità della lampada non viene portata al valore di default, ma viene diminuita del 20% dell'intensità massima, ottenendo un duplice scopo: infatti se sulla strada è presente una automobile non ancora rilevata da un sensore, il conducente può ugualmente godere di una buona intensità luminosa (che gli sarà sufficiente a raggiungere il lampione più prossimo, il cui sensore ne rileverà la presenza e quindi ne aumenterà al massimo l'intensità della lampada), e allo stesso modo se sulla strada non è presente alcuna altra automobile, la diminuzione dell'intensità delle lampade permette di ottenere risparmio energetico.

In ogni step della simulazione il software verifica se l'orario corrente rientra nella fascia oraria specificata dall'utente in cui l'intensità del traffico è minore: in caso positivo viene diminuita la densità delle automobili che possono transitare sulla strada ogni momento, per simulare un flusso minore di automobili presente in strada; altrimenti la densità resta quella di default del sistema.

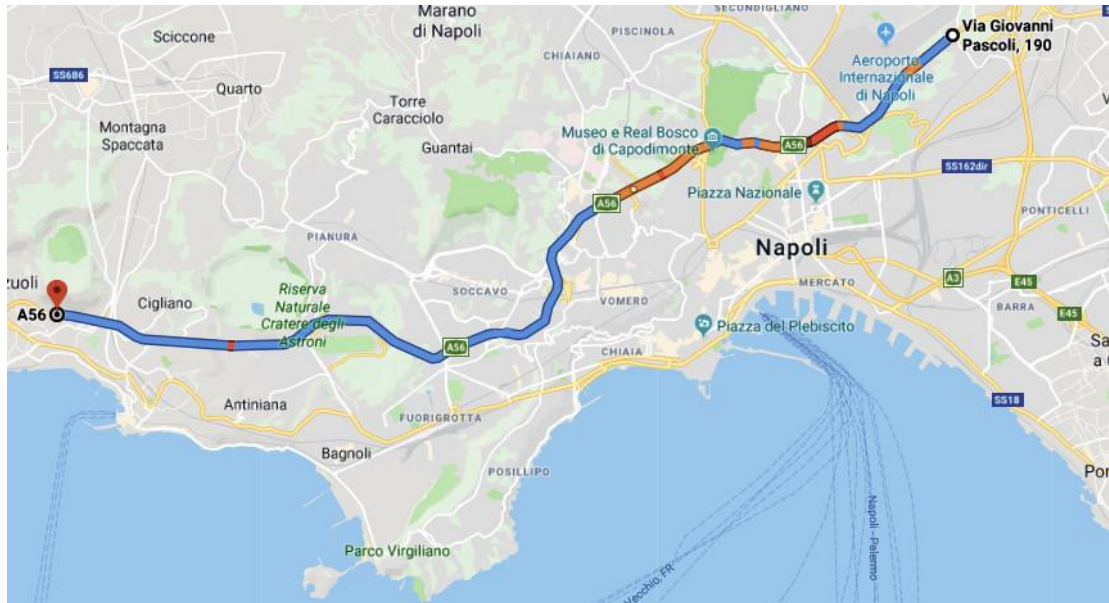
Al termine di ogni rilevazione viene calcolato il consumo del sistema come sommatoria della potenza (in watt) di ogni lampada.

La simulazione termina quando non sono presenti auto né tra quelle che devono ancora transitare in strada né tra quelle presenti in strada, e quando il tempo di attività del sistema supera il tempo totale di funzionamento stabilito dal creatore del sistema nella fase di configurazione iniziale.

Terminata la simulazione, dividendo il consumo totale per 3.600 si ottiene il consumo in Wattora, e poi per 1.000 per ottenere i corrispondenti kWh; successivamente viene calcolato il costo dell'esecuzione della simulazione moltiplicando il consumo ottenuto per il costo dell'elettricità (pari a ~0,15€).

Simulazione

È stata eseguita una simulazione utilizzando come modello stradale la tangenziale di Napoli, l'autostrada A56.



Questo tratto di strada ha una lunghezza complessiva di 20,2 km con i lampioni stradali posizionati a circa 35 metri di distanza l'uno dall'altro secondo una disposizione assiale; una disposizione di questo tipo è indicata per strade a doppia carreggiata con uno spartitraffico centrale, in quanto con tale sistema è possibile dimezzare il numero di pali da installare.

Per questa simulazione si ipotizza che il clima sia sereno e che il sistema resti in funzione per 11 ore, con una fascia oraria di quattro ore in cui il traffico diminuisce, con conseguente calo delle auto che transitano nella strada; durante le ore di funzionamento del sistema vengono fatte circolare circa 30.000 automobili nel sistema, facendole partire in tempi diversi e con velocità differenti.

Ogni lampione è stato configurato utilizzando un controllore Arduino UNO da collegare ad esso; al controllore, poi, sono state aggiunte una batteria per alimentarlo, una lampada di tipo LED da 150W ed un sensore di tipo LDR, da posizionare alla base del lampione, configurato in modo tale da poter essere utilizzato per catturare la luce emessa dai fanali delle automobili che circolano sulla strada. Vengono quindi inseriti tutti i vari parametri nel software per poter generare l'istanza della strada con al suo interno tutti i lampioni e l'insieme di tutte le automobili, che daranno vita alla simulazione del sistema.

All'avvio del sistema tutte le lampade sono configurate per operare ad una intensità del 100% e, in base agli algoritmi precedentemente descritti, ne viene cambiata l'intensità secondo il flusso di traffico che attraversa il sistema.

Analisi simulazione

Al termine della simulazione sono emersi i seguenti risultati:

Simulazione sistema

Strada	Tangenziale di Napoli
Clima	Sereno
Lunghezza	20,2 km
Traffico	3.186 auto [7]
Durata	11 ore
Numero lampioni	577
Distanza lampioni	35 metri
Controllore	Arduino UNO
Sensore	Sensore LDR alla base del lampione
Criterio accensione	Algoritmo in Figura 10
Consumo energetico	825 kWh
Costo energia	0,15 €/kWh

Costo totale simulazione 123,75 €

Il software ha simulato una esecuzione di 11 ore del sistema di illuminazione stradale generato dall'utente e, tramite gli algoritmi descritti in precedenza, ha prodotto risultati riguardo il risparmio energetico; nello specifico ha elaborato il

passaggio di 31.386 auto, calcolando un consumo totale di 825 kWh, pari a circa 123€.

La stessa simulazione effettuata con tutte le lampade illuminate alla massima intensità, e quindi senza l'algoritmo per illuminarle in base al traffico presente in strada, ha portato un consumo di 182€: pertanto, l'esecuzione della simulazione ha permesso di stimare un risparmio energetico del 32% rispetto all'utilizzo di un sistema di illuminazione stradale standard, in cui non vengono utilizzati sensori con algoritmi decisionali sull'accensione delle lampade.

Conclusioni e sviluppi futuri

In questo lavoro di tesi è stato sviluppato il software Smart Lighting per simulare sistemi di illuminazione stradale, che utilizzano controllori e sensori per ottenere un risparmio energetico nell'utilizzo del sistema.

La simulazione effettuata utilizzando come modello stradale la tangenziale di Napoli, la autostrada A56, ha mostrato come l'utilizzo di sistemi stradali dotati di sensori con algoritmi decisionali può realmente apportare un risparmio energetico oltre che un buon impatto ambientale positivo; dal momento che si evita l'utilizzo di dispositivi inquinanti, come le lampade ai Vapori di Sodio, si agevola l'utilizzo di tecnologie di risparmio energetico (come il dimmeraggio delle lampade LED) e si azzerano i fenomeni negativi di inquinamento luminoso, presenti nei sistemi di illuminazione tradizionale.

Il software è stato ideato per essere il più flessibile possibile per poter permettere un'ampia personalizzazione dei componenti e dei sensori che è possibile utilizzare nei sistemi; potrà essere possibile, inoltre, decidere l'algoritmo da utilizzare per ogni tipologia di sensore per condizionare il criterio di accensione dei lampioni, per poter valutare con maggiore precisione e maggiore possibilità di scelta le analisi derivanti dalle simulazioni.

Riferimenti

- [1] A. Jain e C. Nagarajan, «Efficient Control Algorithm for a Smart Solar Street Light,» in *Proceedings - NGMAST 2015: The 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, 2016.
- [2] Y. Jagadeesh, S. Akilesh, S. Karthik e Prasanth, «Intelligent Street Lights,» *Procedia Technology*, 2015.
- [3] M. Revathy, S. Ramya, R. Sathiyavathi, B. Bharathi e V. M. Anu, «Automation of street light for smart city,» in *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2017*, 2018.
- [4] S. S. Badgelwar e H. M. Pande, «Survey on energy efficient smart street light system,» in *Proceedings of the International Conference on IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud, I-SMAC 2017*, 2017.
- [5] H. B. Khalil, N. Abas e S. Rauf, «Intelligent street light system in context of smart grid,» in *8th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies, ICCCNT 2017*, 2017.
- [6] D. Sunehra e S. Rajasri, «Automatic street light control system using wireless sensor networks; Automatic street light control system using wireless sensor networks,» 2017.
- [7] «<http://www.asr-lombardia.it/ASR/regioni-italiane/trasporti/veicoli-traffico-incidenti-patenti/tavole/14032/2016/>,» [Online].

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutte le persone che mi hanno sostenuto e mi sono state d'aiuto durante questo percorso di tesi e tutto il percorso universitario.

Anzitutto il professor Donato Impedovo, relatore di questa tesi, grazie al quale ho avuto la possibilità di elaborare questo lavoro e per la sincerità e cordialità dimostratemi in questi ultimi mesi.

I miei amici di sempre che, nonostante tutto, hanno deciso di restarmi sempre accanto.

La mia famiglia, in particolar modo i miei genitori, per avermi dato sempre piena libertà ed aver assecondato tutte le mie scelte, dandomi la possibilità di potermi esprimere appieno e di poter imparare dai miei stessi sbagli; mia sorella Morena per ogni singolo momento, sorriso e litigata che solo lei sa regalarmi; mia sorella Ornella per avermi dato la possibilità di saper scrivere precocemente una tesi di laurea.

Alessia, per avermi dato la forza e la spinta necessarie a finire questo lavoro di tesi, e per tutto ciò che sta portando nella mia vita.

Zio Sergio, che mi ha guidato durante tutto il percorso e che mi sarà sempre accanto.