

# Experimental Validation of an Innovative Algorithm for Smart Lighting in Energy-Efficient Museums

F. Viani, A. Polo, P. Garofalo, N. Anselmi, M. Salucci, and E. Giarola

## Abstract

Nowadays, museum managers are particularly interested in the smart control of the lighting system of the building, in order to improve as much as possible the quality of the exhibitions and - more in general - the overall experience of the visitors. Moreover, smart lighting in modern museums is a valuable solution for achieving energy efficiency and power saving. Within this context, this work is aimed at studying and developing an innovative methodology for the smart control of lights in a museum environment. The basic idea is that *(i)* distributed sensors measure the light conditions near the artworks and *(ii)* a centralized control unit processes this information and sets the proper dimmer profile of the smart lamps in real-time, in order to obtain the desired lighting conditions. In order to validate the proposed algorithm, an experimental validation in a real environment is carried out and the obtained results are discussed.

## 1 Notazione

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
$T/\tau$	Tempo	[secondi]
I	Intensità luminosa	[lux]
P	Potenza	[Watt]
d	Distanza Sorgente-Luxmetro	[metri]
L	Livello dimmeraggio lampade (Dimming Level)	[unità arbitraria]

## 2 Controllo adattativo della luminosità

Il controllo dell'illuminazione a distanza è una metodologia molto diffusa attualmente, questo perchè grazie all'utilizzo di tecnologie come reti WiFi si possono controllare tranquillamente lampadine e altri dispositivi senza dover intervenire fisicamente con temporizzatori o ad esempio con regolatori di luminosità o di colore. Queste tecniche appunto riscontrano notevole successo in ambiti di tipo espositivo quali musei o mostre, infatti in questi luoghi è fondamentale saper sfruttare ogni piccolo punto messo a disposizione cercando però di non intralciare le opere esposte, riducendo così al minimo la visione di oggetti che non fanno parte dell'esposizione; nel caso che io usi un controllo con rete WiFi e smart bulbs minimizzerei la visibilità viste le ristrette dimensioni del modulo WiFi.

Si risparmia inoltre anche dal punto di vista economico infatti le lampadine sono dotate di LED che diminuiscono i consumi energetici e migliorano la brillantezza della luce.

Oltre a questo ovviamente si implementano tale tecniche quando si vogliono risaltare aspetti visivi come determinate caratteristiche dell'oggetto modificando colore e intensità in funzione del tempo o, come adottato da alcuni musei un' illuminazione fissa costante. Utilizzando le lampadine RGB+W si ha a disposizione una potenza espositiva di 9 Watt, che sembra relativamente poca ma rapportata ad una lampadina standard alogena ha un'esposizione pari a 60 Watt con una migliore efficienza nella brillantezza e maggior risparmio energetico.

Come intensità luminosa descritta in lux una lampada arriva anche a valori di 60-70 Lux così che possano essere utilizzate appunto in questo settore, la temperatura colore invece non molto alta adatta perciò soprattutto per esposizioni più scure o relazionate alla luce solare esterna, essa si aggira su un range di 2700/3200 K per colore e 3000 K circa invece per la sola tonalità di bianco.

L'utilizzo di questo tipo di tecnologie in ambiti museali si basa su regole imposte dalla tipologia di opera da esporre, si devono perciò seguire una serie d'istruzioni appunto sull'intensità luminosa, temperatura colore e distanza posizionamento. Per organizzare al meglio la luminosità dell'ambiente bisogna innanzitutto cercare di sfruttare la luce naturale con intelligenza infatti questa risalta l'oggetto e ovviamente contribuisce al risparmio energetico limitando l'utilizzo di energia artificiale.

A supporto arrivano queste lampadine che nel caso in cui la luce esterna non arrivi o sia limitata posso intervenire con quella artificiale, se necessario riducendone l'utilizzo adattandole a un rilevatore di intensità luminosa che fornisce quindi i valori minimi necessari.

Ad utilizzare questa tecnica di unione tra luce naturale e artificiale è stato ad esempio il Technisches Museum di Vienna che ha integrato le vetrate per far passare molta luce con un serie di faretto LED da pochi Watt con un'intensità di luce di 40-50 Lux e con temperature colore abbastanza fredde variabili nel tempo , attuabile perciò anche con le lampadine Easybulb, e ottenendo un 70% di risparmio rispetto all'impiego di lampadine tradizionali ad illuminazione fissa; in questo caso l'esposizione è relativa a vecchi reperti tecnologici. Un altro museo che utilizza LED è quello di Prato (Museo del Tessuto) dove i valori massimi sopportati si aggirano sui 50 Lux per i tessuti, in questo caso è stato sfruttata solo luce artificiale per non rovinare le opere. Anche "la camera turca" una mostra in Germania che racchiude tesori ottomani, prevede che vengano usati LED dimmerabili con

valori di intensità luminosa molto bassi di 25 Lux per la camera buia e permette ai tessuti di mantenersi intatti (vi sono infatti esposte non solo armi ma anche vestiti tradizionali), invece per la colorazione circa 3000K colore comunque attuabile da dispositivi utilizzati nel progetto.

Lo studio temporale dell'illuminazione in un museo è molto importante in quanto ci permette di capire come adattare l'ambiente circostante alle opere, infatti se le lampadine sono sempre spente e l'oggetto ha bisogno di una quantità di Lux molto bassa, vuol dire che la luce naturale è troppo elevata e l'opera deve essere spostata per rallentarne il deterioramento. Ci sono inoltre opere che sono fotosensibili dove l'illuminazione deve essere minima e fornita solo artificialmente (utilizzando anche apposite vetrine che permettono di non surriscaldare l'opera), bisogna inoltre che il tempo di esposizione sia limitato al solo periodo di apertura del museo, quindi spegnendo il sistema alla notte.

A seconda della tipologia di opera è utile tenere in considerazione un numero settimanale/mensile/annuale dei valori assunti dall'illuminazione per poter verificare costantemente se l'oggetto è sempre sottoposto a condizioni ottimali.

Secondo "l'Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei del 2001", i valori dell'illuminazione che devono essere presi in considerazione sono divisi in quattro categorie come mostrato in Tab. 1.

Fotosensibilità		Lux
<b>1 - Molto bassa</b>	<b>Reperti e manufatti relativamente instabili alla luce:</b> metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, reperti fossili.	<b>300</b> o superiore
<b>2 - Media</b>	<b>Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce</b> pitture ad olio ed a tempera verniciate, affreschi, corno, ossa, avorio, legno.	<b>150</b>
<b>3 - Alta</b>	<b>Reperti e manufatti sensibili alla luce:</b> tessili, costumi, arazzi, tappeti, tappezzeria; acquerelli, pastelli, stampe libri, cuoio tinto, pitture e tempere non verniciate, pittura a guazzo, pitture realizzate con tecniche miste o "moderne" con materiali instabili, disegni a pennarello, piume, pelli e reperti botanici, materiali etnografici di storia naturale di origine organica o tinti con prodotti vegetali, carta, pergamena, legni bagnati.	<b>50</b>
<b>4 - Molto alta</b>	<b>Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce:</b> sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche.	<b>50</b>

Table 1: Categorie fotosensibilità in Lux.

Il campo di misurazione dell'illuminazione Totale va da 0,1 fino a 90.000 Lux con un accuratezza di +/- 3% come dettato dalla legge UNI 10829 Luglio 1999.

Ovviamente questi non sono gli unici problemi da tenere in considerazione infatti a seconda dell'ambiente devono essere gestiti diversi fattori quali posizionamento o rumore. Nel caso in cui non si vogliono rovinare delle sculture le lampadine solitamente sono collocate in alto vedi appunto nel museo Austriaco sopra e in quello di Prato o nel caso in cui si presenti il problema del riflesso si inclinano i faretti come adottato nel caso del

Boijmans Van Beuningen (museo di Rotterdam). Non sempre il riflesso è un problema, infatti se l'illuminazione diretta può danneggiare l'opera basta appunto utilizzare quella riflessa prodotta da vetri o specchi. In quasi tutti i musei quando il controllo avviene a distanza il posizionamento di moduli WiFi o avviene all'interno di strutture guidanti o sono disposti comunque in punti dove non vi è esposizione in quanto il livello di potenza raggiunto permette che essi siano abbastanza distanti dalle stesse lampade. Ci sono poi mostre in cui non si vuole creare nessun rumore e con l'impiego di queste lampade si può appunto ovviare al problema dato che sono silenziose (diversamente dai neon ad esempio) e non richiedono nemmeno un'apparecchiatura di raffreddamento o ventilazione in quanto non scaldano molto neanche con un utilizzo continuo.

Il controllo a distanza non avviene sempre tramite PC ma solitamente vengono utilizzati dei telecomandi da remoto, che svolgono ovviamente la stessa funzionalità e prevedono la portabilità. Non sempre si hanno cambiamenti continui dell'illuminazione o del colore ma devono essere perciò predefiniti, si possono infatti creare diverse funzioni con prefissate modalità, in molti casi si possono avere anche più configurazioni standard che devono essere ripetute nel tempo.

## 3 Procedure di controllo del sistema Mi-Light

Il controllo a distanza di dispositivi è molto importante soprattutto in luoghi dove non è possibile intervenire direttamente sul campo tra i quali appunto i musei. Il sistema garantisce che si possano creare già dei temi predefiniti da utilizzare o prevede comunque di poter gestire aspetti in funzione del tempo tra cui luminosità o colore avvantaggiando lo spettatore, e in caso di opere delicate, prevenendo la deteriorazione regolandone appunto l'intensità. Ogni tipologia di controllo da remoto presenta diverse caratteristiche e regole che devono essere seguite per il regolare svolgimento delle funzionalità dei dispositivi. Con questo progetto si vuole intervenire sfruttando la caratteristica principale del collegamento WiFi tra lampadine e modulo, questo crea vantaggi nel controllo visto che si può avere accesso anche tramite un dispositivo quale cellulare o PC e nell'ambito espositivo non presenta oggetti visibili o di ostacolo per il pubblico in quanto sia lampadine che modulo WiFi possono essere posizionate ovunque.

### 3.1 Controllo remoto delle lampade dimmerabili

Il sistema per il controllo remoto delle lampadine prevede l'utilizzo di un WiFi controller chiamato "Easybulb WiFi box", lampadine "Easybulb RGB+W" e un dispositivo per il controllo a distanza come un PC o uno smartphone. La gestione avviene solo tramite passaggio alla rete WiFi del dispositivo Easybulb WiFi box.

Per prima cosa avviene la connessione tra PC e box; il controller appare come una normale rete WiFi perciò rilevabile dal computer con il nome "easybulb", si effettua la connessione senza dover digitare nessuna password.

Una volta connessi e dopo aver inserito le lampadine, il computer tramite linguaggio di programmazione (nel nostro caso Java) può comunicare con le lampadine attraverso il box WiFi. Si possono controllare molti aspetti delle lampadine come luminosità, colore o addirittura si possono utilizzare sequenze preimpostate di variazione di colore.

### 3.2 Framework del dispositivo WiFi Mi-light

Per comunicare con il dispositivo WiFi è necessario utilizzare l'astrazione software "socket" ossia invio dati tramite porta.

Per poter dialogare con il box in questione si deve associare (nella dichiarazione socket) il suo indirizzo ip, (se non modificato pari a 10.10.100.254) e bisogna dichiarare il numero di porta (se non modificato pari a 8899); la comunicazione avviene solo tramite pacchetti UDP.

Nel caso Java uso istruzioni:

`InetAddress.getByName("10.10.100.254")` per indirizzo ip e per la porta si dichiara nell'invio pacchetto `DataGramPacket(pacchetto, lunghezza pacchetto, 8899)`. Una volta associato l'indirizzo ip non è necessario ripeterlo ad ogni invio ma solo se si chiude la connessione socket tra i vari dispositivi.

Utilizzando diversi tool non sono stati rintracciati pacchetti inviati tra box e lampadine questo significa che la comunicazione o avviene tramite codifica di pacchetti non riconosciuta o tramite RF (radio frequency) (più

probabile visto che si può utilizzare anche un telecomando per controllare le lampadine direttamente senza modulo WiFi).

Il modulo WiFi invia dati alle lampadine ma non invia nessun pacchetto di conferma ricezione o di errore dato, inoltre non riconosce se una data lampada necessita di un comando o se è in grado di riceverlo.

Da un punto di vista il software facilita l'uso delle lampadine in quanto l'invio dei comandi a più dispositivi è gestito direttamente dal modulo WiFi, però essendo limitato alla sola ricezione rispetto al PC non permette una intuitiva interfaccia PC-lampadina.

Il box può essere settato cambiando parametri come indirizzo ip (può essere associato a una rete domestica o esterna), protocolli per invio dati etc.; per accedere a queste funzioni collegarsi alla rete del dispositivo e aprire il browser andando all'indirizzo 10.10.100.254 (corrispondente all'ip del dispositivo) e una volta avuto accesso digitare: Nome Utente: admin e Password: admin.

### 3.3 Configurazione dinamica dei profili di luminosità e colore

I comandi da inviare nel controllo delle smart lamps sono basati sul protocollo UDP, dunque devono essere espresse utilizzando due byte e il tipo di dato passato deve essere byte (nel nostro caso o utilizziamo interi convertiti in byte o hex rappresentati in binario).

Il primo byte che si invia descrive una serie di comandi (elencati sotto) e il secondo invece è standard e definito come (0x00 se espresso in hexadecimal(byte) o 0 in int(byte), per moduli precedenti alla versione attuale del nostro box WiFi (4.0) si deve procedere aggiungendo un terzo pacchetto sempre di default rappresentato da 0x55. Possono essere creati inoltre fino a 4 gruppi di lampadine, per comunicare con loro cambiano alcuni codici essendo specifici o in altri casi quali luminosità o colore si procede associando l'invio di due byte corrispondenti all'accensione delle lampadine indicando perciò quale gruppo deve ricevere il comando creato.

Per prima cosa per il funzionamento della lampadina deve avvenire la sincronizzazione di essa con il modulo WiFi, per sincronizzare bisogna:

- assicurarsi che la lampadina sia collegata;
- spegnerla;
- accenderla;
- immediatamente procedere con invio pacchetti Sync Bulb Group X;

Sync Bulb Group 1: primo pacchetto (0x45,0x00), secondo pacchetto (0xC5,0x00)

Sync Bulb Group 2: primo pacchetto (0x47,0x00), secondo pacchetto (0xC7,0x00)

Sync Bulb Group 3: primo pacchetto (0x49,0x00), secondo pacchetto (0xC9,0x00)

Sync Bulb Group 4: primo pacchetto (0x4B,0x00), secondo pacchetto (0xCB,0x00)

- se lampeggia è connessa a quel gruppo sennò si deve riprovare.

Per dissociare lampadina da un determinato gruppo:

- assicurarsi che la lampadina sia collegata;
- spegnerla;
- accenderla;
- immediatamente procedere con invio pacchetti Sync Bulb Group X;

Sync Bulb Group 1: primo pacchetto (0x45,0x00), secondo pacchetto (0xC5,0x00)

Sync Bulb Group 2: primo pacchetto (0x47,0x00), secondo pacchetto (0xC7,0x00)

Sync Bulb Group 3: primo pacchetto (0x49,0x00), secondo pacchetto (0xC9,0x00)

Sync Bulb Group 4: primo pacchetto (0x4B,0x00), secondo pacchetto (0xCB,0x00)

Accensione lampadine da remoto:

All LED On : pacchetto (0x42,0x00)

Group 1 All On: pacchetto (0x45,0x00)

Group 2 All On: pacchetto (0x47,0x00)

Group 3 All On: pacchetto (0x49,0x00)

Group 4 All On: pacchetto (0x4B,0x00)

Spegnimento lampadine da remoto:

All LED Off : pacchetto (0x41,0x00)

Group 1 All Off: pacchetto (0x46,0x00)

Group 2 All Off: pacchetto (0x48,0x00)

Group 3 All Off: pacchetto (0x4A,0x00)

Group 4 All Off: pacchetto (0x4C,0x00)

Per la modalità disco (sequenza di colori alternati preimpostata) inviare:

Group X All On: corrispondente al gruppo da controllare; poi:

Disco Mode: pacchetto (0x4D,0x00)

Disco Speed Slower: pacchetto (0x43,0x00)

Disco Speed Faster: pacchetto (0x44,0x00)

NB se si vuole lanciare una diversa configurazione disco basta inviare nuovamente il pacchetto Disco Mode .

Per definire la luminosità di un lampadina inviare:

Group X All On: corrispondente al gruppo da controllare; poi:



Brightness: pacchetto (0x4E,0xXX); il valore del secondo byte varia da 0x02 luminosità minima a 0x1B massima.

Per variare il colore invece bisogna inviare:

Group X All On: corrispondente al gruppo da controllare; poi:

Colour: pacchetto (0x40,0xXX); il valore del secondo byte varia da 0x00 a 0xFF ossia assume 255 colori.

Il colore bianco invece ha un' impostazione diversa essendo lampadine RGB+W, infatti il bianco è separato.

Colour White Group All: primo pacchetto (0x42,0x00), secondo pacchetto (0xC2,0x00)

Colour White Group 1: primo pacchetto (0x45,0x00), secondo pacchetto (0xC5,0x00)

Colour White Group 2: primo pacchetto (0x47,0x00), secondo pacchetto (0xC7,0x00)

Colour White Group 3: primo pacchetto (0x49,0x00), secondo pacchetto (0xC9,0x00)

Colour White Group 4: primo pacchetto (0x4B,0x00), secondo pacchetto (0xCB,0x00)

Tutti i comandi visti finora possono essere impartiti anche in maniera sequenziale sempre però inviandoli come pacchetti separati in modo tale che siano riconosciuti dalla lampade. Perchè siano maggiormente visibili, se necessario, variazioni di luminosità o colore conviene sempre specificare tramite apposite funzioni un valore di tempo prefissato per l'invio del pacchetto successivo perchè se non specificato la comunicazione è molto rapida non permette perciò la visualizzazione dei primi parametri inviati e si sofferma sull'ultimo impartito. La variazione può essere multipla, può avvenire perciò non solo su una caratteristica o un'altra ma anche assieme e come si nota può essere applicata anche a singoli o più gruppi differenti o anche a tutti basta solo specificarlo nell'invio dei comandi.

Per quanto riguarda la gestione multipla da più dispositivi (PC, smartphone) una volta che la lampadina viene sincronizzata a distanza da uno è visibile dagli altri come appartenente al gruppo selezionato e gestibile perciò con i comandi relativi a quel gruppo specifico, per cambiare basta dissociarla e riassociarla.

## 4 Misure di luminosità con sensore Luxmetro

Il Luxmetro utilizzato nel progetto, per l'acquisizione dei valori di intensità luminosa, necessita di un telefono con tecnologia Bluetooth, WiFi e che possieda il sistema operativo Android (in quanto l'applicazione di acquisizione BleSensorTag-debug.apk è stata sviluppata su questo sistema). Il Luxmetro riceve i dati dai sensori e li invia tramite Bluetooth all'applicazione del Cellulare; per salvare i dati deve essere associato l'indirizzo ip del dispositivo scrivendolo sul file server.cfg del telefono (nella cartella Eledia precedentemente creata), e si deve comunicare tramite una ServerSocket (associato appunto all'indirizzo ip e ad una porta determinata sul momento). Per l'acquisizione dei dati si deve connettere il cellulare a Bluetooth e rete WiFi, installare/buildare applicazione, accendere Luxmetro e lanciare applicazione (selezionando al suo interno il Luxmetro utilizzato); per non interrompere la simulazione non si deve spegnere/bloccare il telefono o chiudere l'applicazione. I dati passati sono Data/Ora acquisizione e valori dei Lux ricevuti.

## 5 Algoritmo di controllo della luminosità

L'algoritmo prevede la valutazione in tempo reale dell'illuminazione associata ad un determinato oggetto. Per gestire il museo si ha una suddivisione in gruppi di lampadine ognuno corrispondenti ad una zona in particolare ( come visto prima i gruppi sono al massimo quattro, limitazione del modulo WiFi).

Per l'acquisizione dei dati si sfrutta l'algoritmo del Luxmetro che tramite i sensori mi determina i valori di Lux basati sul totale della luce presente (compresa quella dell'ambiente). Vengono poi passati tramite Bluetooth all'applicazione del cellulare e tramite rete WiFi al PC . Per poter utilizzare sia il modulo WiFi easybulb che il Luxmetro proposto si deve associare la rete "easybulb" con un'altra rete WiFi ed inoltre si deve connettere PC e cellulare a questa rete (per lo scambio dei dato bisogna tenere in considerazione i nuovi indirizzi ip da associare a modulo WiFi Box, cambiandolo alla pagina 10.10.100.254 del Browser, e del PC che deve aprire la connessione ServerSocket). I dati relativi invece a Gruppo sfruttato, valore Lux richiesto e Colore lampade scelto devono essere inseriti dall'utente quando richiesto da algoritmo (per scelta Colore sono stati presi in considerazione colori principali). L'algoritmo una volta ricevuto il valore di Lux inserito calcola due soglie di intensità corrispondenti al -3%, +3%, in modo tale che il dispositivo non continui a cambiare stato (acceso-spento) ma rimanga in una condizione stabile.

Per quanto riguarda il valore di intensità passato alle lampade (non potendo associare scala intensità lampadine con effettivi valori Lux espressi da lampadina) viene preso un iniziale valore randomico (2-27 limite EasyBulb) e poi a seconda del valore ricevuto dal Luxmetro si fa un confronto; viene tenuto costante nell'intervallo interno tra le due soglie mentre se superiore si prova a ridurre (diminuendo parametro del secondo pacchetto passato, vedi paragrafo 2 brightness.). Se inferiore va alzato il livello intensità ad ogni ciclo (aumento di un valore intero) tenendo in considerazione valore massimo possibile ossia 27 (limite lampadine EasyBulb).

I dati interessati dalla simulazione vengono salvati in 3 distinti file.txt

- "data" \_dati.txt

Qui vengono salvati i dati inseriti dall'utente inizialmente, ossia Gruppo (1-4) a cui si fa riferimento, Lux voluti (0.1-90000) , Colore delle lampade interessate e l'ora di scrittura di questi (per tener traccia di tutte le variazioni). Si usa nella fase di confronto tra Lux reali e quelli voluti e si fa riferimento per inviare i pacchetti al Gruppo scelto.

- "data" \_livellolamp.txt

In questo file si salva il valore del livello intensità lampade passato inizialmente (utile per i confronti della soglia) e i successivi valori assunti. Viene aggiunta anche l'ora per tenere traccia dei cambiamenti.

- "data" \_LogNode.txt

Qui vengono salvati i valori di intensità luminosa e l'ora di acquisizione. Il file nell'algoritmo viene sfruttato principalmente per il variare dei Lux ad ogni ciclo temporale (stabilito a priori).

In ambito museale l'acquisizione del valore di intensità dovrebbe essere fatto in archi temporali ampi, nella simulazione invece il campionamento viene effettuato in intervalli di un secondo (dovuto dall'applicazione installata).

## 5.1 Logica di funzionamento dell'algoritmo

Viene descritto il funzionamento dell'algoritmo prendendo in considerazione la parte principale riguardante la variazione di luminosità prodotta dalle lampade per assecondare le richieste dell'utente.

La procedura di esecuzione dell'algoritmo (Fig. 1) prevede i seguenti passi:

- Installare BleSensorTag-debug.apk sul Cellulare;
- Creare cartella Eledia sul Cellulare;
- Unire rete WiFi "easybulb" ad un'altra rete WiFi (come definito precedentemente);
- Connettere PC e Cellulare alla rete WiFi utilizzata;
- Controllare nuovi indirizzi ip PC, Gateway easybulb;
- Scrivere sul file server.cfg (inserito precedentemente nella cartella Eledia) l'ip del PC;
- Aggiornare Algoritmo con ip attuale del modulo WiFi box;
- Lanciare ./Sensor.sh da PC;
- Lanciare Applicazione Cellulare installata (non Spegnere/Bloccare Schermo del Cellulare o chiudere applicazione durante la simulazione).

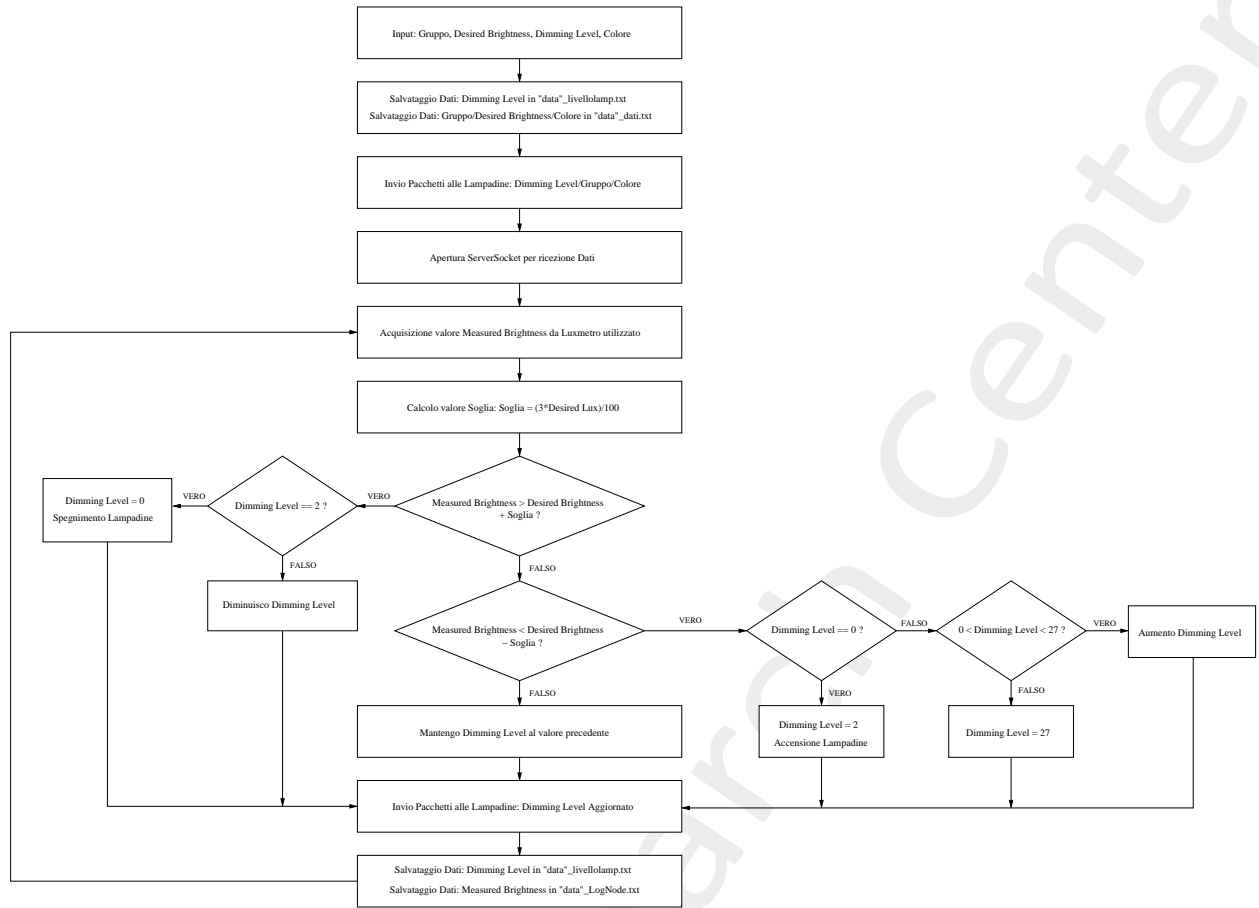


Figure 1: Schema di funzionamento dell'algoritmo.

## 5.2 Simulazioni di controllo luminosità

Le simulazioni delle sezioni 5.2.1 / 5.2.2 sono state effettuate nella giornata del 10-05-2016 / 20-05-2016 in una stanza con luci spente ma con vetrate che hanno permesso il passaggio della luce naturale esterna, mentre le simulazioni della sezione 5.2.3 sono state effettuate il 20-05-2016 in una stanza priva di luce naturale e variando quella prodotta artificialmente dalle Lampadine.

I valori della luminosità acquisita dipendono da diversi fattori, infatti nelle simulazioni presentate si tiene conto del valore iniziale di L, d e dei valori di Lux richiesti.

### 5.2.1 Simulazione con Luce Naturale Esterna e Dimming Level iniziale costante

Si prendono in considerazione tre casi di simulazione Lux Basso/Medio/Alto tenendo costante il valore iniziale di Dimming Level a 11 e variando la distanza tra Lampadina e Luxmetro.

**Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 15 cm**

Parametro	Valore
Desired Brightness 1	1350.0 Lux
Desired Brightness 2	1000.0 Lux
Lux Massimo	1424.0 Lux
Lux Minimo	757.1 Lux

Table 2: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 15 cm.

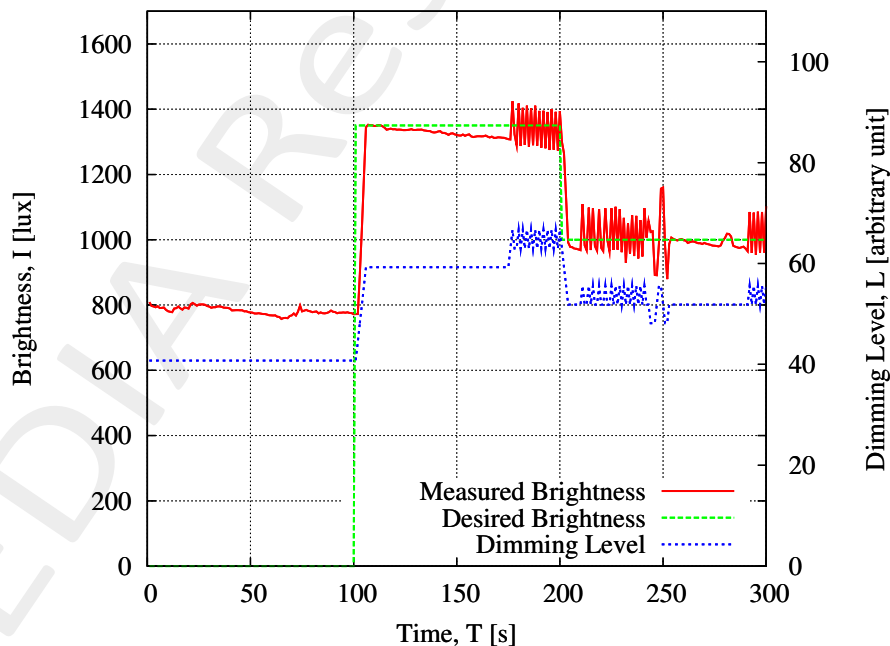


Figure 2: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 15 cm).

- Per la simulazione in esame si è preso in considerazione un valore di luminosità elevata per tutte e due le soglie richieste. Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato L per poter evidenziare

il Background.

- Per il primo valore di Desired Brightness l'algoritmo corregge immediatamente il valore della luminosità ambientale riportandola in pochi secondi nelle soglie richieste. Rimane interna ai valori desiderati per quasi tutta la prima parte della simulazione solo alla fine si devono correggere dei piccoli cambiamenti di luminosità dati dall'ambiente esterno, una piccola variazione di L a Lux così elevati comporta una grande variazione di luminosità.
- Appena viene richiesta la seconda soglia di luminosità l'algoritmo interviene abbassando il Dimming Level portando la luminosità nei confini desiderati. A causa della variazione di luminosità ambientale e del cambiamento di L il programma deve gestire un'alternanza di acquisizioni sopra e sotto le soglie volute. Poi mantenendo costante L la luminosità rimane nei limiti voluti, solo alla fine della simulazione si ha una breve alternanza di I e variando il Dimming Level si tenta di correggerla.

Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 30 cm

Parametro	Valore
Desired Brightness 1	480.0 Lux
Desired Brightness 2	630.0 Lux
Lux Massimo	658.2 Lux
Lux Minimo	267.7 Lux

Table 3: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 30 cm.

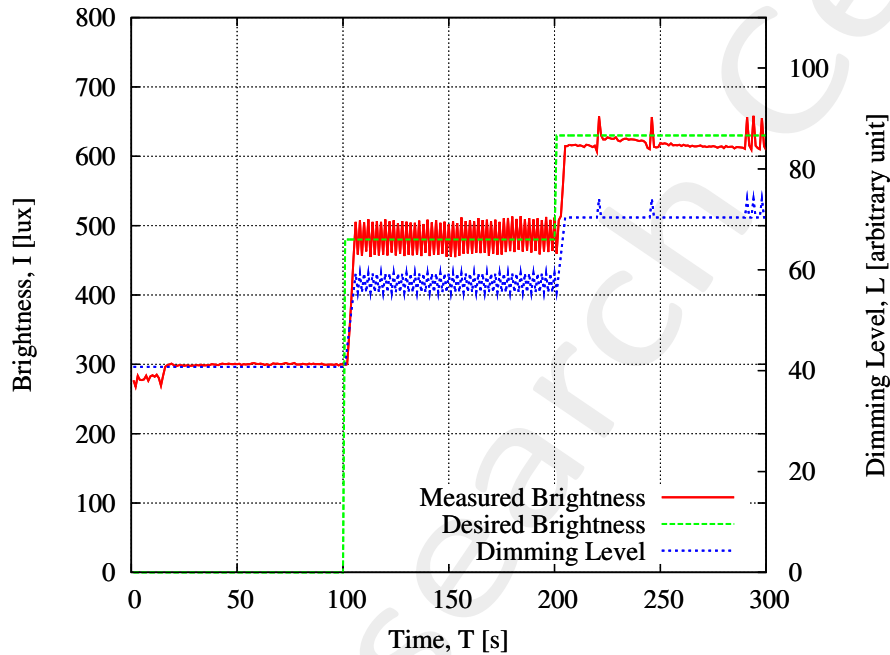


Figure 3: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 30 cm).

- Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato il Dimming Level per poter evidenziare il BackGround.
- Per il primo valore di Desired Brightness la luminosità viene controllata con la variazione di Dimming Level, dopo poche acquisizioni I viene portata vicina ai valori voluti. L'algoritmo cerca di tenere la luminosità nelle soglie desiderate ma la variazione del Dimming Level provoca un aumento o diminuzione della luminosità rispetto ai limiti richiesti.
- Nella parte della simulazione che considera il secondo valore di Desired Brightness si nota che con una variazione iniziale del dimmeraggio delle lampadine la luminosità è subito portata nei confini voluti e mantenuta tale per tutto il resto delle acquisizioni, solo per pochi valori la luminosità risulta maggiore/minore delle soglie ma è subito compensata con la variazione di L.



Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 60 cm

Parametro	Valore
Desired Brightness_1	140.0 Lux
Desired Brightness_2	65.0 Lux
Lux Massimo	144.3 Lux
Lux Minimo	64.9 Lux

Table 4: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 60 cm.

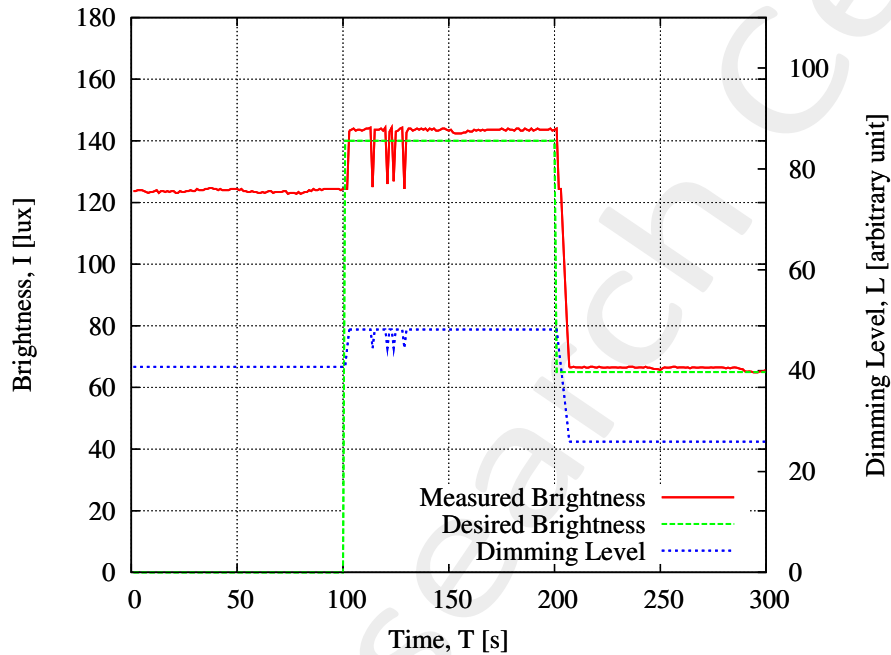


Figure 4: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 60 cm).

- Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato L per poter evidenziare il Background.
- Per la prima parte con Desired Brightness\_1 si nota come un piccolo aumento di L porti i valori acquisiti all'interno dei limiti richiesti rimanendo tali per tutta la simulazione; ci sono solo alcuni valori in cui la luminosità risulta di poco maggiore/minore a quella voluta e si cerca di correggerla variando L. Alla fine I viene stabilizzata all'interno dei limiti desiderati.
- Per la seconda parte della simulazione si varia il Dimming Level per abbassare la luminosità riportandola nelle soglie desiderate dopo poche acquisizioni e vi rimane fino alla fine del Test.

### 5.2.2 Simulazione con Luce Naturale Esterna e Distanza Lampadina-Luxmetro/Dimming Level costanti

Si prendono in considerazione tre simulazioni con valori di luminosità di decine/centinaia/migliaia di Lux tenendo costante la distanza tra Lampadina e Luxmetro a 25 cm e il valore iniziale di Dimming Level a 10.

#### Simulazione con Bassa Luminosità richiesta (decine/poche centinaia di Lux)

Parametro	Valore
Desired Brightness_1	140.5 Lux
Desired Brightness_2	98.8 Lux
Lux Massimo	564.8 Lux
Lux Minimo	59.3 Lux

Table 5: Parametri simulazione con bassa luminosità.

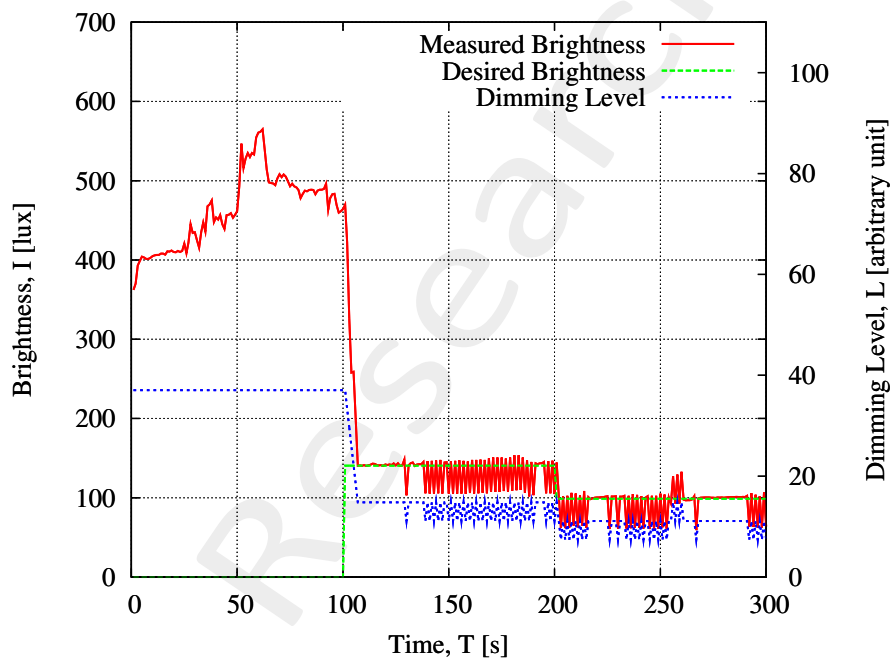


Figure 5: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (bassa luminosità).

- Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato il livello di intensità luminosa per poter evidenziare il Background. Si nota che  $I$  ambientale è molto variabile nell'arco di acquisizione temporale anche mantenendo costante il Dimming Level.
- All'inizio della simulazione con la prima soglia desiderata notiamo come la variazione di  $L$  provoca un grande cambio di Luminosità che viene portata all'interno delle soglie entro pochi valori acquisiti e poi mantenuta tale per una buona parte della simulazione. L'alternanza di valori presentatasi è dovuta alla variazione del Dimming Level per poter correggere un breve aumento iniziale; con una minima modifica di  $L$ , con valori così bassi di luminosità, è facile finire fuori Soglia.

- Anche per la seconda parte della simulazione con `Desired Brightness_2` l'algoritmo prova a correggere le piccole variazioni di luminosità cambiando il Dimming Level ma come detto precedentemente una minima variazione con questi Lux richiesti porta I al di sotto o sopra le soglie volute.

### Simulazione con Media Luminosità richiesta (centinaia di Lux)

Parametro	Valore
Desired Brightness_1	460.0 Lux
Desired Brightness_2	690.0 Lux
Lux Massimo	741.8 Lux
Lux Minimo	254.1 Lux

Table 6: Parametri simulazione con media luminosità.

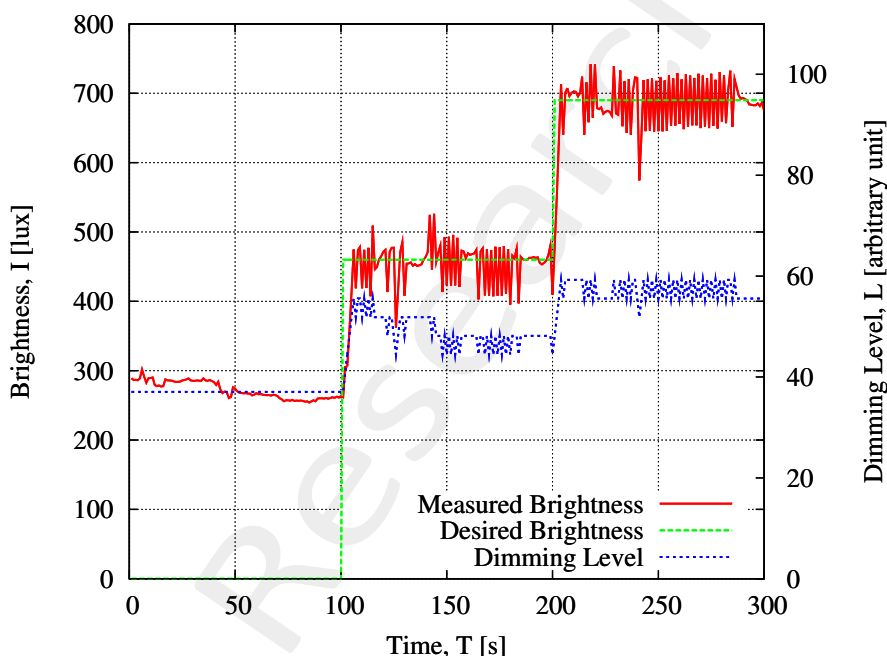


Figure 6: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (media luminosità).

- Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato il livello di intensità luminosa per poter evidenziare il Background.
- Si nota come per la prima parte della simulazione l'algoritmo deve aumentare L per avvicinare la luminosità ai 460.0 Lux richiesti poi una volta raggiunti deve alternare il Dimming Level per poter riportare I nei valori voluti.
- Per la soglia invece posta a 690.0 Lux si nota che l'algoritmo deve correggere l'iniziale luminosità inferiore alla soglia minima (dovuta a quella precedentemente richiesta) aumentando L; una volta raggiunta vengono compiute piccole modifiche di Dimming Level per compensare le variazioni di luminosità. Nonostante i

valori acquisiti risultino minori o maggiori alle soglie sono comunque molto vicini a quelli desiderati e si cerca di portarli subito nei confini voluti.

ELEDIA Research Center

## Simulazione con Alta Luminosità richiesta (centinaia/migliaia di Lux)

Parametro	Valore
Desired Brightness 1	1150.5 Lux
Desired Brightness 2	1400.0 Lux
Lux Massimo	1521.9 Lux
Lux Minimo	429.6 Lux

Table 7: Parametri simulazione con alta luminosità.

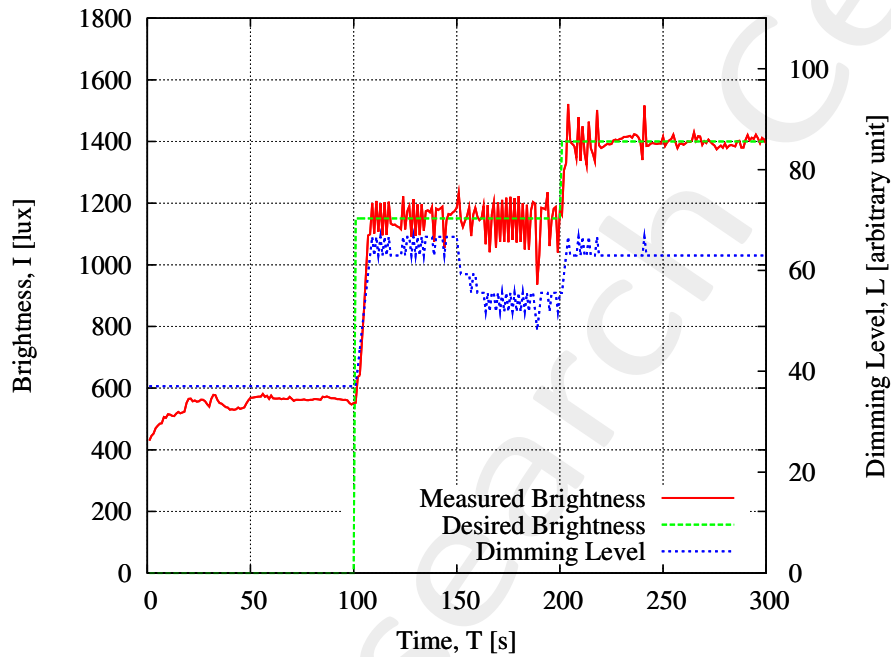


Figure 7: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (alta luminosità).

- Per i primi 100 valori di luminosità registrata non viene modificato il Dimming Level per poter evidenziare il BackGround. Sono state scelte due Soglie di luminosità molto alte per vedere la risposta dell'algoritmo con queste condizioni iniziali.
- Si nota come per la prima parte della simulazione con 1150.5 Lux si aumenta L per poter portare la luminosità ai valori richiesti, in poche acquisizioni si riesce a rientrare nelle soglie desiderate, con piccole variazioni del Dimming Level si contiene la luminosità vicino ai limiti richiesti.
- Nella parte finale del grafico notiamo come l'algoritmo deve intervenire inizialmente per aumentare la luminosità e portarla a 1400 Lux, per un breve intervallo si modifica L per contenere i valori nei limiti voluti, poi rimane costante il Dimming Level e si mantiene invariata anche Measured Brightness.

### 5.2.3 Simulazioni con Variazione Luce Artificiale Esterna e Dimming Level iniziale costante

La stanza utilizzata per queste simulazioni è priva di finestre e sono state chiuse le porte (escludendo quindi la luce Naturale) perciò influisce soltanto quella artificiale prodotta da un'accensione delle lampadine presenti.

Simulazioni effettuate variando la Distanza Lampadina/Luxmetro e tenendo costante il Dimming Level iniziale a 8.

Per questi Test sono stati presi in considerazione 200 campioni di luminosità , un'unica Desired Brightness iniziale e ogni 50 secondi vengono accese o spente le lampadine della stanza.

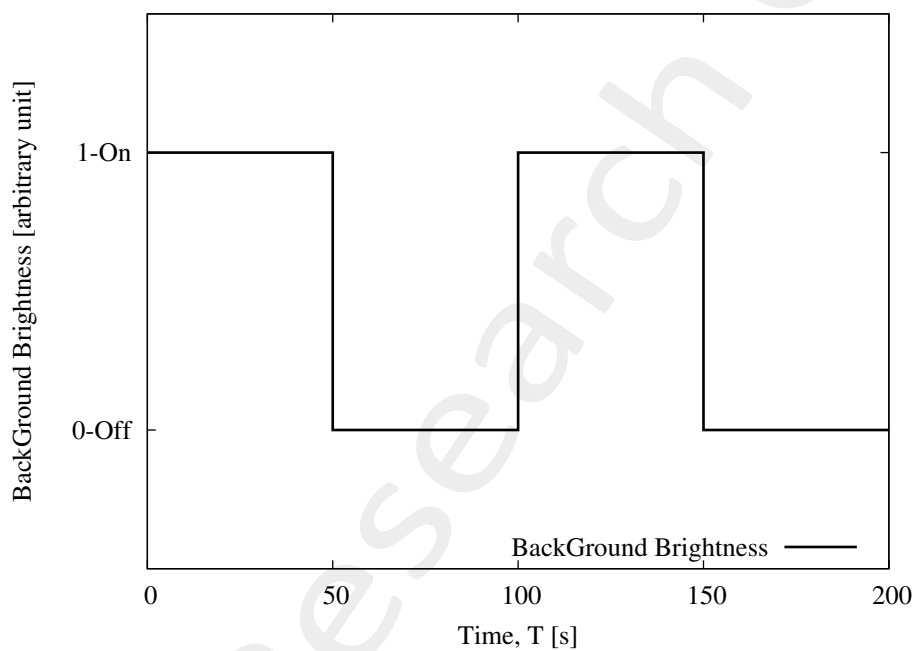


Figure 8: Variazione temporale della luce artificiale esterna.

### Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 15cm

Parametro	Valore
Desired Brightness	840.0 Lux
Lux Massimo	1019.2 Lux
Lux Minimo	662.1 Lux

Table 8: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 15 cm.

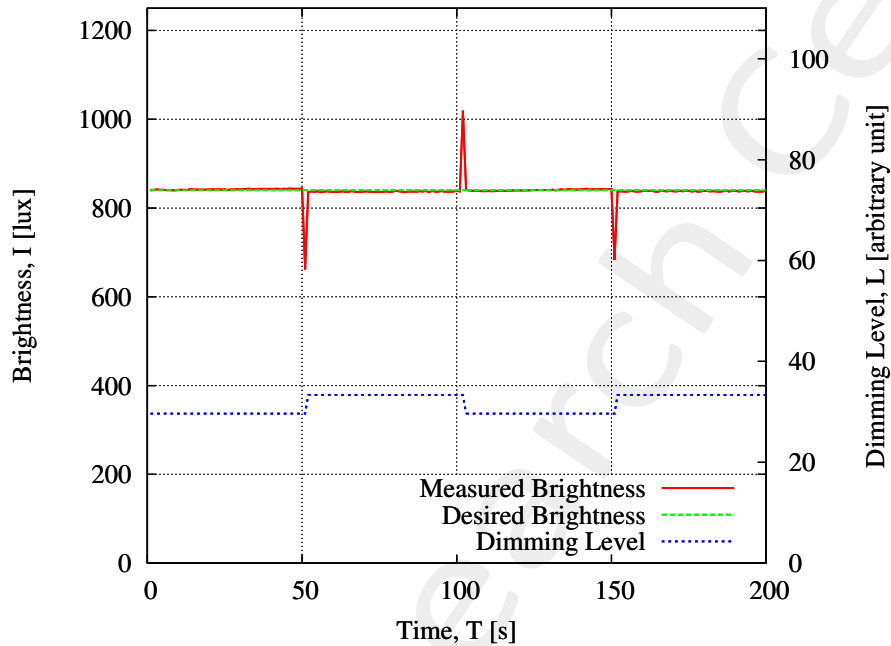


Figure 9: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 15 cm).

- I valori acquisiti sono molto vicini a quelli desiderati per tutta la durata della simulazione presentando qualche picco dovuta alla variazione della luce esterna.
- Si nota come la variazione di luminosità dovuta all'accensione/spegnimento delle luci della stanza viene riportata nei valori desiderati dopo poche acquisizioni e mantenuta tale per tutta la durata della simulazione.

Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 30cm

Parametro	Valore
Desired Brightness	400.0 Lux
Lux Massimo	600.6 Lux
Lux Minimo	183.1 Lux

Table 9: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 30 cm.

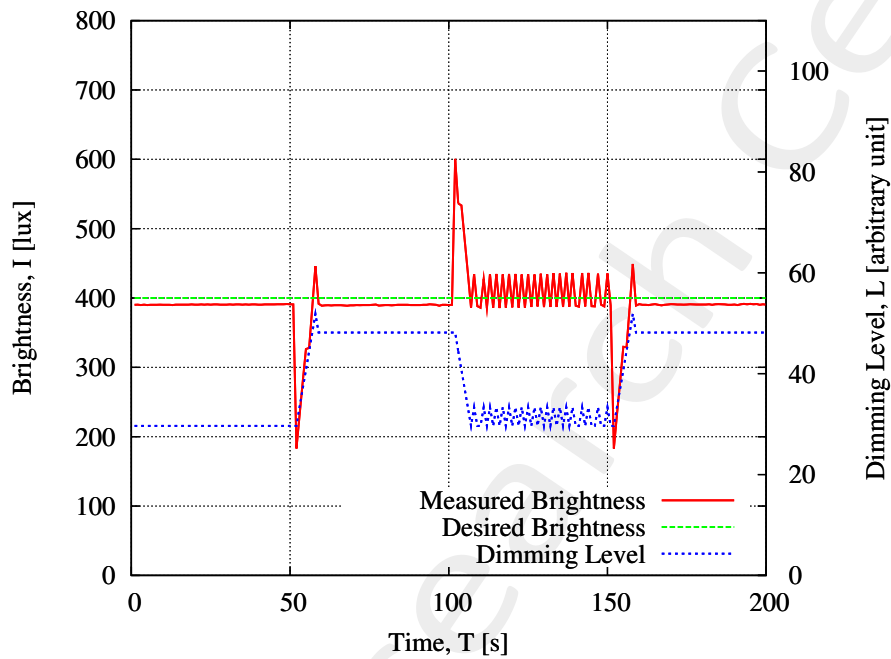


Figure 10: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 30 cm).

- Durante la prima parte della simulazione con le luci accese la luminosità riscontrata rientra nelle soglie desiderate mantenendo costante il Dimming Level iniziale. Dopo 50 acquisizioni vengono spente le luci e si nota come la luminosità ricevuta subisce una variazione di circa 200 Lux poi corretta e riportata nelle soglie desiderate. Alla successiva accensione delle lampadine la luminosità aumenta di centinaia di Lux e il programma prova a riportarla nelle Soglie desiderate; la variazione del Dimming Level fa convergere la Measured Brightness a valori accettabili anche se leggermente superiori/inferiori ai limiti voluti. Nell'ultima parte invece la diminuzione iniziale di I viene corretta e riportata nelle soglie dopo pochi passaggi e mantenuta tale fino all'ultima acquisizione.



Simulazione con Distanza Lampadina/Luxmetro = 60cm

Parametro	Valore
Desired Brightness	180.0 Lux
Lux Massimo	309.1 Lux
Lux Minimo	58.5 Lux

Table 10: Parametri simulazione con distanza lampada/luxmetro 60 cm.

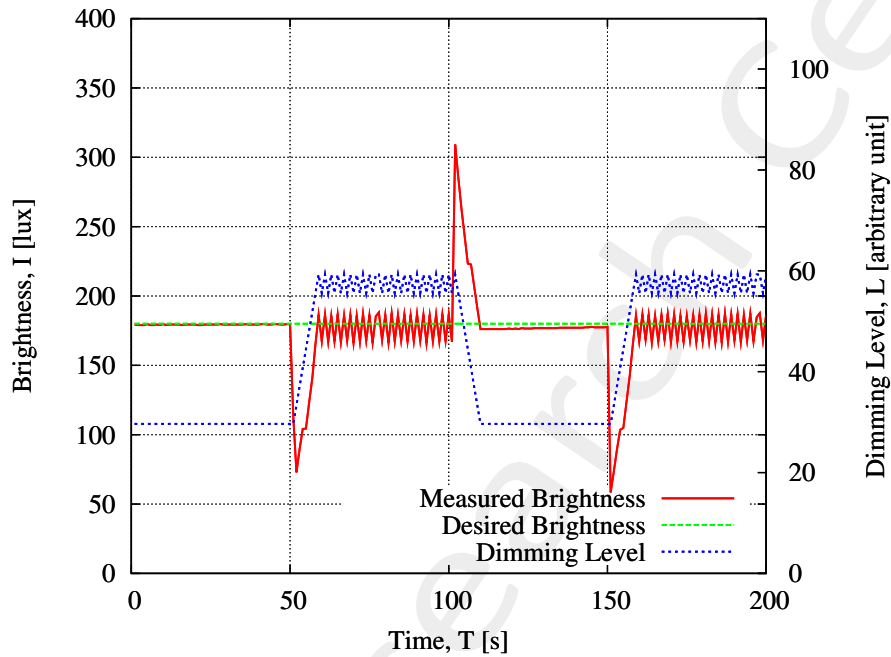


Figure 11: Andamento luminosità e dimming level in funzione del tempo (distanza 60 cm).

- La prima parte della simulazione in cui le luci della stanza sono accese la luminosità rimane più o meno costante e dentro alle soglie desiderate. Allo spegnimento delle lampadine I subisce una diminuzione di qualche centinaia di Lux e con un aumento di L si cerca di riportarla a valori accettabili; la luminosità rimane vicina ai limiti voluti anche se leggermente superiore/inferiore. Con l'accensione delle luci si produce un aumento di Measured Brightness ma subito corretta con una diminuzione di L e portata nelle soglie volute. Come nel caso precedente in assenza di luci esterne la luminosità riscontrata inizialmente è minore alla soglia minima ma viene condotta a valori accettabili grazie a un aumento di L.

## References

- [1] F. Viani, P. Rocca, G. Oliveri, and A. Massa, "Pervasive remote sensing through WSNs," in *Proc. Eur. Conf. Antennas Propag. (EUCAP)*, Prague, Czech Republic, Mar. 2012, pp. 49-50.
- [2] F. Viani, P. Rocca, M. Benedetti, G. Oliveri, and A. Massa, "Electromagnetic passive localization and tracking of moving targets in a WSN-infrastructured environment," *Inverse Probl.*, vol. 26, pp. 1-15, May 2010.
- [3] F. Viani, P. Rocca, G. Oliveri, and A. Massa, "Electromagnetic tracking of transceiver-free targets in wireless networked environments," in *Proc. Eur. Conf. Antennas Propag. (EUCAP)*, Rome, Italy, Apr. 2011, pp. 3808-3811.
- [4] F. Viani, A. Polo, P. Garofalo, N. Anselmi, M. Salucci, and E. Giarola, "Evolutionary optimization applied to wireless smart lighting in energy-efficient museums," *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 5, pp. 1213-1214, March 2017.
- [5] F. Viani, M. Bertolli, and A. Polo, "Low-cost wireless system for agrochemical dosage reduction in precision farming" *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 1, pp. 5-6, January 2017.
- [6] H. Ahmadi, A. Polo, T. Moriyama, M. Salucci, and F. Viani, "Semantic wireless localization of WiFi terminals in smart buildings," *Radio Sci.*, vol. 51, no. 6, pp. 876-892, Jun. 2016.
- [7] F. Viani, A. Polo, M. Donelli, and E. Giarola, "A relocable and resilient distributed measurement system for electromagnetic exposure assessment," *IEEE Sensors J.*, vol. 16, no. 11, pp. 4595-4604, Jun. 2016.
- [8] F. Viani, "Experimental validation of a wireless system for the irrigation management in smart farming applications," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 58, no. 1, pp. 2186-2189, Sep. 2016.
- [9] F. Viani, "Opportunistic occupancy estimation in museums through wireless sensor networks," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 57, no. 8, pp. 1975-1977, Aug. 2015.
- [10] F. Viani, F. Robol, A. Polo, P. Rocca, G. Oliveri, and A. Massa, "Wireless architectures for heterogeneous sensing in smart home applications - concepts and real implementations," *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 11, pp. 2381-2396, Nov. 2013.