



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

## **LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ELETTRICA**

# Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED

RELATORE: PROF. Pietro Fiorentin

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

LAUREANDO Jody Andreola

ANNO ACCADEMICO 2012-2013





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ELETTRICA

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

# Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED

RELATORE: PROF. PIETRO FIORNTIN

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

LAUREANDO JODY ANDREOLA

Anno Accademico 2012/2013



## **Indice:**

Premessa	pag.5
Presentazione Aziendale	pag.7
Capitolo 1: Passaggio pedonale secondo il codice della strada	pag.9
1.1 Regolamentazione secondo il codice della strada	pag.9
1.2 Regolamentazione secondo norme UNI	pag.10
Capitolo 2: Attraversamenti pedonali secondo le norme illuminotecniche	pag.15
2.1 Quadro normativo generale	pag.15
2.2 Progettazione illuminotecnica secondo le norme	pag.16
2.3 Scelta degli apparecchi per l'Illuminazione	pag.20
Capitolo 3 Progettazione dell'illuminazione di un attraversamento pedonale	pag.23
3.1 Definizione categoria illuminotecnica	pag.23
3.2 Simulazione illuminazione attraversamento pedonale	pag.26
3.3 Realizzazione progetto	pag.30
3.3.1 Realizzazione lampada	pag.30
3.3.1.1 Rilievo caratteristiche illuminotecniche lampada	pag.34
3.3.2 Realizzazione passaggio pedonale e rilievo dati	pag.37
3.4 Possibili sviluppi futuri di progetto	pag.43
Capitolo 4 Conclusioni	pag.45
Allegati	pag.47
Ringraziamenti	pag.55
Bibliografia	pag.56

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED

Premessa:

Molti fattori in questi anni hanno costretto gli enti comunali ad attuare una riduzione della spesa pubblica. Molti di essi hanno deciso di spegnere l'illuminazione stradale al di fuori del centro urbano durante la notte.

Questa decisione permette sì un risparmio sulle casse del comune ma aumenta pericolosamente il rischio di incidenti stradali e soprattutto il rischio di investimenti di pedoni vista la già scarsa qualità di quest'ultimi.

Spesso gli attraversamenti pedonali che si possono trovare in città hanno un pannello di segnalazione posto al di sopra del centro della carreggiata con al di sotto di esso un apparecchio che ha il compito di illuminare l'attraversamento pedonale, oppure la segnalazione dell'attraversamento si limita alla semplice segnalazione con un cartello illuminato, lasciando però il pedone completamente al buio.

Molte delle soluzioni attuali risultano pericolose può infatti accadere in strade fuori dai centri abitati con passaggio di grossi camion che le lampade di illuminazione non siano adeguatamente alte per consentire il passaggio dei mezzi. Oltretutto queste soluzioni sono pericolose in caso di evento atmosferico di rilevante intensità che può causare la caduta del segnale o un parziale danneggiamento.

Si è quindi cercato in questa tesi una soluzione per mantenere un'adeguata illuminazione del tratto pedonale mantenendo bassi i costi di energia elettrica utilizzando la tecnologia LED realizzando una illuminazione di un attraversamento pedonale posizionando l'illuminazione al bordo della carreggiata senza andare a mettere dei dispositivi al centro della strada.

Un ultimo aspetto non meno importante sulla scelta dei LED è legato alla manutenzione, infatti il lungo funzionamento di quasi 20.000 di questo tipo di lampade confrontato con le 4/5000 ore dei sistemi tradizionali favoriscono un risparmio economico sulla manutenzione degli impianti

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED



## Presentazione Aziendale

Il progetto di questa tesi è stato realizzato attraverso uno stage presso l'azienda Elettroindustriale Andreola srl.

L'elettroindustriale ANDREOLA s.r.l. è stata costituita il 09 febbraio 1973. L'azienda opera nel settore elettrico. Le sue principali attività sono la realizzazione di impianti, quadri elettrici e l'installazione in abito industriale, automazione e telecontrollo che sono soluzioni ideali per pilotare, controllare, gestire ed automatizzare le installazioni in locale o da remoto grazie a delle soluzioni orientate alla gestione tecnica degli edifici ed alla gestione dell'ambiente e dell'energia, sistemi di sicurezza per l'industria, il terziario ed il residenziale, esegue progettazione esecuzione ed assicura la manutenzione, esegue impianti di trasmissione dati, di sicurezza antintrusione inter-no ed esterno, rilevazione fumi, building automation, forniture chiavi in mano, telecontrollo e sistemi di TVCC. L'azienda ha una grande esperienza nelle fonti energetiche alternative e per questo realizza di impianti di produzione elettrica con fonti di energia rinnovabile come il FOTOVOLTAICO realizzando anche impianti con potenza maggiore di un MegaWatt e impianti di produzione idroelettrica. Altro aspetto molto importante curato nel dettaglio è la manutenzione degli impianti stessi garantendo assistenza e documentazione sempre aggiornata, utilizzando anche tecniche per l'individuazione di guasti con metodi non invasivi come la termografia IR

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED

## **Capitolo 1:** **I passaggi pedonali secondo il codice della strada**

### ***1.1 Situazione attuale passaggi pedonali***

Le statistiche del 2008 stimano che in Europa ogni anno muoiano circa ottomila pedoni a causa degli incidenti stradali. Almeno uno su quattro avviene sugli attraversamenti pedonali: spazio stradale che per definizione dovrebbe garantire la massima sicurezza a che si accinge ad attraversare per diverse esigenze la strada percorsa dalle autovetture.

Spesso si attribuisce all'incidente a un comportamento inadeguato del conducente come eccesso di velocità, distrazione o magari ad una condizione psicofisica non adatta alla guida.

Le cause sopra citate possono essere associate a delle concause "Funzionali" che riguardano la realizzazione, manutenzione e gestione dei passaggi pedonali.

La comunità europea ha istituito l'ente "Eurotest" che formato da più Automobile Club europei ha fatto uno studio nel 2008 nel quale sono stati esaminati 215 attraversamenti pedonali in tutta Europa.

Analizzando vari parametri di sicurezza legati agli attraversamenti si individuano quattro principali caratteristiche che influenzano la qualità del passaggio pedonale:

- Caratteristiche generali;
- Visibilità Diurna;
- Accessibilità;
- Visibilità Notturna.

Proprio quest'ultima, è uno dei più importanti requisiti per la sicurezza degli attraversamenti pedonali, nella stima euroTest ha pesato per un 32%. Dal rapporto però si evidenzia che almeno uno su cinque attraversamenti non è adeguato da questo punto di vista.

La figura 1 sotto mostra la situazione delle 10 città peggiori per quanto riguarda l'Italia nel 2007.



Figura 1.1: Dati che si riferiscono agli incidenti stradali che coinvolgono i pedoni che si riferiscono all'anno 2007.[1]

Un'altra statistica fatta dall'ISTAT e dall'ACI sembra confermare questi dati indicando la notte come "momento" in cui l'indice di mortalità è il maggiore con una media di 4.2 decessi ogni cento abitanti, il doppio rispetto a quanto avviene di giorno. A questi dati si può aggiungere che: i soggetti maggiormente colpiti sono bambini e anziani; nelle città d'arte i soggetti più colpiti sono turisti che spesso sono distratti e poco tutelati nel caotico traffico di queste città.

## **1.2 Attraversamenti pedonali secondo il codice stradale italiano**

In Italia per la realizzazione di un attraversamento pedonale si deve far riferimento alle seguenti leggi:

o Codice della Strada (D. Lgs del 30 aprile 1992, n. 285 e successivi aggiornamenti) definisce *l'attraversamento pedonale è la parte della carreggiata, opportunamente segnalata ed organizzata, sulla quale i pedoni in transito dall'uno all'altro lato della strada hanno precedenza rispetto ai veicoli, in corrispondenza degli attraversamenti pedonali i conducenti dei veicoli devono dare la precedenza ai pedoni che hanno iniziato l'attraversamento; (...). Gli attraversamenti pedonali devono essere sempre accessibili anche alle persone non deambolanti su sedie a ruote; a tutela dei non vedenti possono essere collocati segnali a pavimento o altri segnali di pericolo in prossimità degli attraversamenti stessi;*

o Decreto Ministeriale del 5 novembre 2001 e successive modifiche il quale dà indicazioni sulle aree destinate ai flussi di utenze deboli che devono essere verificate in una fase di progettazione preliminare e, poi, approfondite di risoluzione tecnica in sede di progetto definitivo ed esecutivo. In particolare, focalizza l'attenzione su problemi quali la visibilità notturna, visibilità reciproca veicolo-pedone, ingombro delle carrozzelle per disabili motori, opportuna segnaletica orizzontale e verticale (sia per il veicolo sia per il pedone). Inoltre, nel; decreto, viene anche fatta una distinzione secondo la tipologia d'intersezione in cui si deve realizzare l'attraversamento.

o Decreto Ministeriale n. 236 del 14 giugno 1989 rappresenta il regolamento di attuazione della legge 13 del 9 gennaio 1989 relativa al superamento delle barriere architettoniche negli edifici privati. Nel decreto, riguardo le caratteristiche del percorso pedonale, sono definiti in maniera dettagliata i parametri dimensionali atti a favorire i movimenti della sedia a ruote, si forniscono informazioni riguardo alla larghezza dell'attraversamento pedonale, alle pendenze longitudinali e trasversali dei percorsi pedonali e delle rampe, si danno inoltre specifiche sulla pavimentazione dei percorsi pedonali, fornendo dei coefficienti di attrito minimo da rispettare su asciutto e bagnato;

o Decreto del Presidente della Repubblica n. 503 del 24 luglio 1996 che dà altre specifiche sulla costruzione degli attraversamenti pedonali, in merito all'illuminazione: *nelle strade ad alto volume di traffico gli attraversamenti pedonali devono essere illuminati nelle ore notturne o di scarsa visibilità; al fondo stradale: il fondo stradale, in prossimità dell'attraversamento pedonale, potrà essere differenziato mediante rugosità poste su manto stradale al fine di segnalare la necessità di moderare la velocità; alle isole salvagente: le piattaforme salvagente devono essere accessibili alle persone su sedia a ruote e agli impianti semaforici: gli impianti semaforici, di nuova installazione o di sostituzione, devono essere dotati di avvisatori acustici che segnalano il tempo di via libera anche a non vedenti e, ove necessario, di comandi manuali accessibili per consentire tempi sufficienti per l'attraversamento da parte di persone che si muovono lentamente;*

in definitiva si può dire che questi quattro strumenti forniscono gli standard di progettazione dell'attraversamento pedonale e di tutto il suo arredo come: rampa, marciapiede, isola salvagente, lanterna semaforica, impianto d'illuminazione, ecc. Nella tabella 1.1 e nella figura 1.2 si riassumono le caratteristiche costruttive di un passaggio pedonale secondo le indicazioni legislative sopra riportate.

ELEMENTO	DESCRIZIONE	STANDARD
Rampa	Pendenza - $i$ %	15% (MAX) dislivello max 0,15 m (casi di rampe brevi)
	Larghezza - R	0,90 m (MIN)
	Altezza cordolo - $h_c$	0,10 m
Marciapiede	Larghezza al netto di rampe o ostacoli - $M_1$	0,90 m (MIN)
Percorso pedonale	Pendenza trasversale del percorso pedonale - $i_t$ %	1% (MAX)
	Pendenza longitudinale del percorso pedonale - $i_l$ %	5%
Isola pedonale	Profondità - $L_s$	dimensionata in funzione flusso pedonale e ingombro carrozze disabili
Strisce pedonali "Zebre"	AMPIEZZA sezione di attraversamento - A	2,50 m MIN (locali, quartiere) 4,00 m MIN (altre strade)
	SPESSORE singola striscia - S	0,50 m
	DISTANZA tra strisce successive - D	0,50 m
	Colore	bianco

Tabella 1.1: Estratto normativa sugli attraversamenti pedonali in Italia [2]

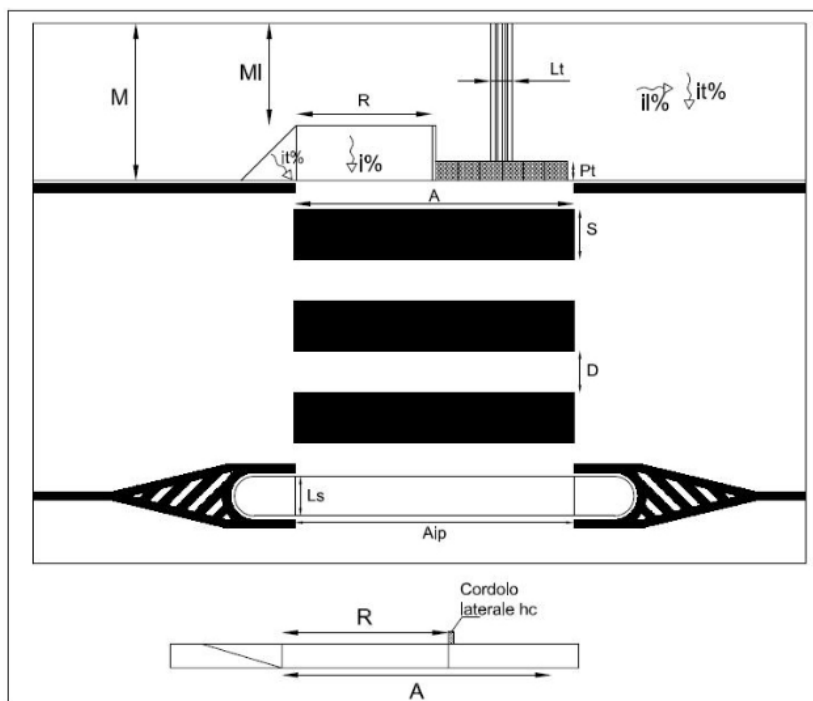


Figura 1.2: Principali elementi geometrici degli attraversamenti pedonali [3]

Dal punto di vista metodologico, la progettazione del passaggio pedonale deve tenere in considerazione quattro fondamentali parametri:

- o accessibilità, sicurezza e comfort per i pedoni;
- o percepibilità dell'attraversamento pedonale;
- o riduzione della velocità veicolare;
- o miglioramento della visibilità reciproca.

Tutta la progettazione deve essere fatta sulla base dei dati che si riferiscono al traffico pedonale e veicolare in questo modo si riesce a valutare quale tipo di attraversamento pedonale è appropriato.

I tipi di attraversamento pedonale sono tre:

- A.** attraversamenti pedonali “sfalsati” (sovrappasso o sottopasso);
- B.** attraversamenti pedonali “semaforizzati” (con semaforo);
- C.** attraversamenti pedonali “zebrati” (con precedenza).

Per la scelta del tipo è necessario andare a considerare i volumi di traffico e il tipo di strada interessato.

Per traffico pedonale contenuto entro certi limiti se può scegliere un passaggio pedonale a raso con semplice zebratura, se si è invece nei pressi di centri attrattivi, è sicuramente più sicuro l'utilizzo di un attraversamento semaforizzato.

Gli attraversamenti vanno realizzati a livelli sfalsati dove la componente di traffico pedonale non è ammessa ed in caso di elevati flussi veicolari, velocità elevate e dove è difficile interrompere il deflusso veicolare, come le autostrade e le principali strade di scorrimento.

Riassumendo la disciplina degli attraversamenti pedonali può essere riassunta nella tabella 1.2.

STRADA	ATTRAVERSAMENTI PEDONALI					
	Tipo (A)	Tipo (B)	Ubicazione preferibile (C)	Distanza (m)		Larghezza minima (m) (F)
				Max (D)	Min (E)	
PRIMARIA	sfalsati	-	400	-	3,00	
DI SCORRIMENTO	sfalsati o semaforizzati	all'intersezione	200	150	3,00	
DI QUARTIERE	Semaforizzati o zebrati	all'intersezione	200	100	4,00	
LOCALE	zebrati	all'intersezione	200	100	3,00	

C.N.R. Bollettino Ufficiale – Norme Tecniche – Anno XXVI – N. 150

Tabella 1.2 Disciplina degli attraversamenti pedonali pubblicata dal CNR [4]

Un altro aspetto importante nella realizzazione di un passaggio pedonale è la segnaletica. Essa può essere di due tipi:

- Verticale regolata dall'articolo 39 del Codice della strada;
- Orizzontale regolata dall'articolo 40 del Codice della strada;

per quanto riguarda la segnaletica verticale per i passaggi pedonali possiamo trovare:

Segnali di Pericolo:

Indicato dalla figura 3 deve essere usato per presegnalare un passaggio di pedoni contraddistinto dagli appositi segni sulla carreggiata, nelle strade extraurbane ed in quelle urbane con limite di velocità superiore a quello stabilito dal codice della strada.

Segnali di Indicazione:

Indicato dalla figura 4 localizza un attraversamento pedonale non regolato da impianto semaforico e non in corrispondenza d'intersezioni. Nel caso di segnale a luce propria, ne è consigliata la combinazione con apposite sorgenti di luce, per l'illuminazione concentrata sui segni orizzontali zebraati. È sempre a doppia faccia, anche se la strada è a senso unico, e va posto ai due lati della carreggiata, in corrispondenza dell'attraversamento, sulla eventuale isola spartitraffico intermedia, oppure al di sopra della carreggiata. Sulle strade extraurbane e su quelle urbane di scorrimento deve essere preceduto dal segnale di pericolo come quello in figura 3.



Figura 1.3: Segnale di pericolo[5]



Figura 1.4: Segnale di Indicazione [6]

A seconda del limite di velocità della strada in cui si deve progettare l'attraversamento pedonale, cambiano le dimensioni del pannello, infatti, più è alto il limite di velocità e più grande deve essere il cartello stesso per garantire la visibilità dalla lunga distanza.

Per quanto riguarda invece la segnaletica orizzontale che regola la circolazione, essa deve essere realizzata in materiale visibile sia di giorno sia di notte. Si dividono in:

- Strisce longitudinali;
- Strisce trasversali;
- Attraversamenti pedonali o ciclabili;
- Frece direzionali;
- Iscrizioni e simboli;
- Strisce di delimitazione degli stati di sosta o per la sosta riservata;
- Isole di traffico o di presegnalamento degli ostacoli entro la carreggiata;
- Strisce di delimitazione della fermata dei veicoli in servizio di trasporto pubblico di linea;
- Altri segnali stabiliti dal regolamento.

Il codice della strada stabilisce anche che in corrispondenza degli attraversamenti pedonali i conducenti dei veicoli devono dare la precedenza ai pedoni che hanno iniziato l'attraversamento; analogo comportamento lo devono tenere i conducenti dei veicoli nei confronti dei ciclisti in corrispondenza degli attraversamenti ciclabili. Gli attraversamenti pedonali devono essere sempre accessibili anche alle persone non deambolanti su sedie a ruote; a tutela dei non vedenti possono essere collocati segnali a pavimento o altri segnali di pericolo in prossimità degli attraversamenti stessi.

Negli attraversamenti pedonali regolati da lanterne semaforiche, devono essere presenti le strisce longitudinali di larghezza minima di 50 cm.

Gli attraversamenti pedonali sono evidenziati sulla carreggiata mediante zebraature con strisce bianche parallele alla direzione di marcia dei veicoli, di lunghezza non inferiore a 2,50 m, sulle strade locali e su quelle urbane di quartiere, e a 4 m, sulle altre strade; la larghezza delle strisce e degli intervalli è di 50 cm (fig. II.434).

La larghezza degli attraversamenti pedonali deve essere comunque commisurata al flusso del traffico pedonale.

In presenza del segnale FERMARSI E DARE PRECEDENZA l'attraversamento pedonale, se esiste, deve essere tracciato all'inizio della linea di arresto, lasciando uno

spazio libero di almeno 5 m; in tal caso i pedoni devono essere incanalati verso l'attraversamento pedonale mediante opportuni sistemi di protezione (figura 1.4).  
Sulle strade ove è consentita la sosta, per migliorare la visibilità, da parte dei conducenti, nei confronti dei pedoni che si accingono ad impegnare la carreggiata, gli attraversamenti pedonali possono essere preceduti, nel verso di marcia dei veicoli, da una striscia gialla a zig zag, del tipo di quella di cui all'articolo 151, comma 3, di lunghezza commisurata alla distanza di visibilità. Su tale striscia è vietata la sosta (figura 1.5).

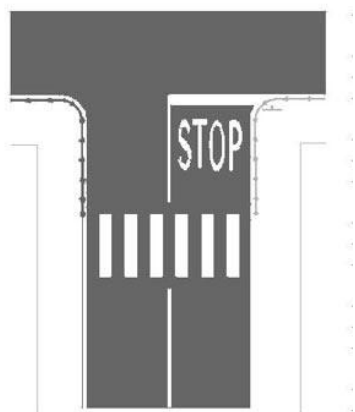


Figura 1.4.: disposizione strisce pedonali in di un'intersezione [7]

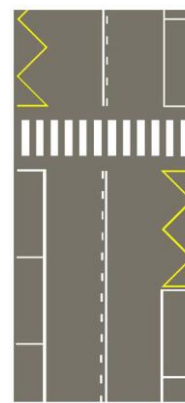


Figura 1.5: disposizione prossimità strisce pedonali lungo una strada [8]



## **Capitolo 2:** **Attraversamenti pedonali secondo le norme** **illuminotecniche:**

### **2.1 Quadro normativo generale**

Dal punto di vista illuminotecnico l'illuminazione di una strada e quindi anche di un passaggio pedonale, è regolato principalmente dalle norme UNI:

- UNI EN 11248;
- UNI EN 13201;

Nel 2004 in CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) ha emesso la norma EN 13201, questa prescrive le prestazioni illuminotecniche da osservare nell'illuminazione pubblica, tale norma è abbastanza complessa e variegata, in essa sono analizzati tutti i principali settori degli spazi all'aperto.

Tale norma è divisa in due parti:

UNI EN 13201-2: Requisiti Prestazionali;

UNI EN 13201-3: Calcolo delle prestazioni;

UNI EN 13201-4: Metodi di misurazioni delle prestazioni fotometriche.

Tra i vari aspetti presi in considerazione nella norma 13201-2 l'appendice B descrive come deve essere illuminato un attraversamento pedonale. La norma infatti stabilisce che quando si può ottenere un livello sufficiente alto di luminanza del manto stradale, può essere possibile collocare in normali apparecchi di illuminazione stradale in modo tale da creare un buon contrasto negativo con il pedone visibile come sagoma scura contro uno sfondo luminoso.

La norma inoltre afferma che l'illuminazione dell'area pedonale con apparecchi aggiuntivi è fatta per illuminare direttamente i pedoni nell'area di attraversamento e di richiamare quindi l'attenzione dei conducenti dei veicoli motorizzati che stanno procedendo sulla strada della presenza dei pedoni in procinto all'attraversamento. Si deve considerare un tipo di apparecchio il quale deve essere posizionato con un orientamento tale da ottenere un contrasto positivo e non causare un eccessivo abbagliamento ai conducenti.

La norma propone una soluzione che consiste nel montare gli apparecchi a breve distanza prima dell'attraversamento pedonale nella direzione di arrivo del traffico motorizzato, dirigendo la luce sul lato dei pedoni che si trova di fronte ai conducenti in arrivo. Se la strada è a doppio senso di marcia, si monta un apparecchio di illuminazione prima dell'attraversamento pedonale in ciascuna direzione di marcia, sul lato della strada dove scorre il traffico. Per questo tipo di illuminazione sono adatti apparecchi di illuminazione con emissione "asimmetrica" della luce, che causano minore abbagliamento ai conducenti.

La norma UNI EN 13201-3 stabilisce come calcolare le prestazioni dell'impianto di illuminazione, permette il calcolo delle grandezze fotometriche come la luminanza e l'illuminamento stabilendo il campo di calcolo e la posizione dei punti di calcolo. Inoltre definisce come calcolare le caratteristiche qualitative come l'Incremento di Soglia ed il rapporto di continuità.

Infine la UNI EN 13201-4 stabilisce

Oltre alla 13201 esiste un'altra norma a cui si può far riferimento per l'illuminazione stradale e quindi per gli attraversamenti pedonali, tale norma è la UNI EN 11248, essa è stata aggiornata nell'ottobre del 2012 e permette di aggiungere alcuni elementi che definiscono meglio i criteri per l'illuminazione degli attraversamenti pedonali:

- Nel prospetto 3 “Esempi di provvedimenti integrativi all’impianto di illuminazione” si vede come insieme ad altre voci, nel caso di attraversamento pedonale in zone con flusso di traffico e/o velocità elevate, l’illuminazione di questi deve essere fatto con un impianto separato ed essi dovranno essere segnalati adeguatamente.
- Al punto 8.7 della norma si definisce la “Zona di Studio per gli attraversamenti pedonali” la quale considera:
  - o Lo spazio specificatamente definito dalla segnaletica orizzontale;
  - o Lo spazio simmetricamente disposto rispetto alla segnaletica stessa per una larghezza pari a quella della segnaletica stessa;
  - o Il marciapiede, limitatamente al tratto corrispondente alla larghezza della zona.

Si può riassumere quanto detto nel punto 8.7 della UNI 11248 nella seguente figura:

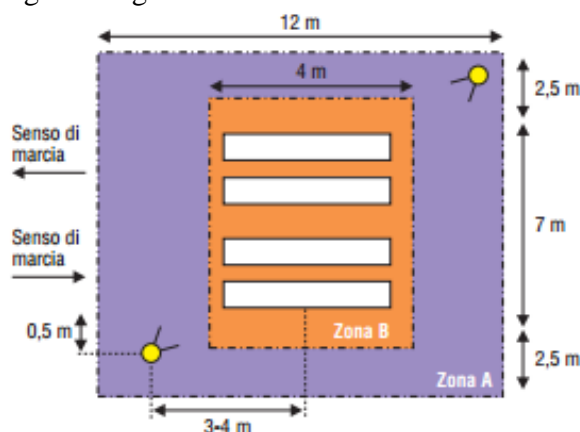


Figura 2.1 Disposizione degli apparecchi e zona di studio di un attraversamento pedonale secondo le norme attuali [9]

- Nel punto 9.3 “Categorie illuminotecniche aggiuntive” la norma stabilisce che qualora sia necessario facilitare la visione delle superfici verticali come può essere un pedone, è necessario aggiungere una categoria illuminotecnica a quella trovata. Si deve considerare che nel caso invece la strada non presenti attraversamenti pedonali come indicato nel prospetto 2 la strada può essere decrementata di una categoria illuminotecnica.

Si deve tenere in considerazione che le norme non danno un valore preciso per quanto riguarda l’illuminamento verticale infatti come detto prima la norma 13201-2 si limita a dire che questo deve essere sufficientemente elevato, al contrario invece definendo la categoria illuminotecnica della strada si definisce numericamente l’illuminamento minimo orizzontale.

## 2.2 Progettazione illuminotecnica secondo le norme

Fino alla definizione di queste norme non esistevano delle regolamentazioni per quanto riguardava la realizzazione di impianti di illuminazione di attraversamenti pedonali. Infatti le uniche indicazioni erano nel codice della strada il quale però si limitava a raccomandare una generica segnalazione dell’attraversamento. Questo ha portato alla nascita di soluzioni di illuminazione inadeguate e alcune volte anche particolarmente pericolose come si può vedere dalle seguenti immagini

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED



Figura 2.2 Pedone illuminato in modo sbagliato

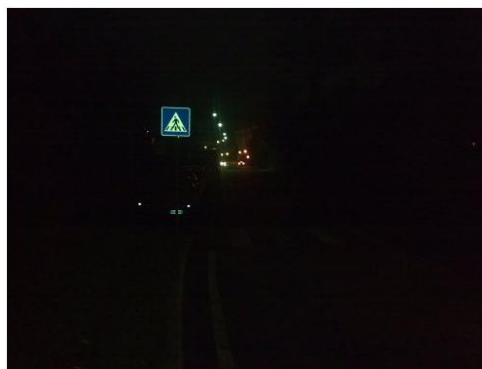


Figura 2.3 Passaggio pedonale poco visibile e pericoloso

La prima cosa che si deve fare quando si va a valutare un progetto illuminotecnico è la definizione della categoria della strada, questa definizione non è fatta dal progettista illuminotecnico ma è determinata dal progettista della strada, la norma UNI EN 11248 definisce in una tabella (qui sotto riportata dalla tabella 2.1) i parametri per classificare le strade e individuare quindi la categoria illuminotecnica:

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h <sup>-1</sup> ]	Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi
A <sub>1</sub>	Autostrade extraurbane	130 - 150	ME1
	Autostrade urbane	130	
A <sub>2</sub>	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70 - 90	ME2
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	ME2
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70 - 90	ME3b
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2 <sup>1)</sup> )	70 - 90	ME2
	Strade extraurbane secondarie	50	ME3b
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70 - 90	ME2
D	Strade urbane di scorrimento <sup>2)</sup>	70	ME2
		50	
E	Strade urbane interquartiere	50	ME2
	Strade urbane di quartiere	50	ME3b
F <sup>3)</sup>	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2 <sup>1)</sup> )	70 - 90	ME2
	Strade locali extraurbane	50	ME3b
		30	S2
	Strade locali urbane	50	ME3b
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	CE3
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	CE4/S2
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	CE4/S2
Strade locali interzonali	50		
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali <sup>4)</sup>	Non dichiarato	S2
	Strade a destinazione particolare <sup>1)</sup>	30	

1) Secondo il Decreto ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e successive integrazioni e modifiche.  
2) Per strade di servizio delle strade urbane di scorrimento, definita la categoria illuminotecnica per la strada principale, si applica la categoria illuminotecnica con prestazione di luminanza immediatamente inferiore o la categoria comparabile a questa (prospetto 5).  
3) Vedere le osservazioni del punto 6.3.  
4) Secondo la Legge 1 agosto 2003 numero 214 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 27 giugno 2003, n. 151, recante modifiche ed integrazioni al codice della strada".

Tabella 2.1 categorie illuminotecniche secondo la norma UNI EN 11248 [10]

Definita la categoria illuminotecnica della strada, è possibile suddividere l'attraversamento pedonale in tre zone:



Figura 2.4: aree di suddivisione di un passaggio pedonale [11]

La zona A: relativa al piano orizzontale, rappresenta la zona di avvicinamento al percorso la cui larghezza è pari a tre volte il passaggio pedonale e la cui larghezza deve comprendere anche i marciapiedi.

La zona B: relativa anch'essa al piano orizzontale rappresenta invece il vero e proprio passaggio pedonale indicato con la segnaletica orizzontale.

Infine la zona C: relativa al piano verticale dell'attraversamento pedonale che dovrebbe partire da un'altezza di 0,5m da terra e arrivare a 1m.

La strada come detto in precedenza deve essere prima di tutto classificata individuando la categoria, tuttavia essendo una zona limitata e di conflitto in cui diversi utenti possono accedere al medesimo spazio non si deve andare a valutare la Luminanza ma l'Illuminamento.

Perciò i valori di riferimento di illuminamento orizzontale saranno quelli considerati nella classe CE e non quelli relativi alla ME.

Il prospetto 5 della norma a norma UNI EN 11248 permette di comparare le varie categorie tecniche come indicato dalla tabella qui sotto:

Comparazione di categorie illuminotecniche

Categoria illuminotecnica								
	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

Tabella2.2: comparazione categorie illuminotecniche secondo norma UNI EN 11248 [12]

Considerando che la zona A è una zona di conflitto allora possiamo fare tale comparazione. Il rispetto normativo in questa zona è di fondamentale importanza. Si potrebbe considerare una zona più ampia rispetto alla sola area indicata dalla segnaletica orizzontale in modo tale da valutare anche come avviene il passaggio da zona illuminata e zone non illuminate per evitare il brusco passaggio tra le diverse aree.

La zona C che rappresenta l'illuminamento verticale può essere considerato il parametro più importante tra i tre. Questo parametro è importante perché permette di rendere visibile o meno la figura del pedone.

La norma in cui si trova un prospetto per l'illuminamento verticale è la 13201-2 la quale non fornisce un'indicazione media ma solo un valore minimo che deve avere la strada. Sono concepite sei categorie complementari in situazioni dove è necessario vedere superfici verticali:

Illuminamento del piano verticale	
Categoria	$E_{v,min}$ in lx [mantenuto]
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

Tabella 2.3 Categorie Illuminotecniche serie EV secondo norma UNI EN 13201-2 [13]

La norma 13201-2 all'appendice B richiede che l'illuminamento verticale sia significativamente superiore a quello orizzontale, possiamo perciò trovare una corrispondenza tra la categoria CE e la EV facendo il seguente ragionamento: si considera un'uniformità minima sul piano verticale tra il 30-50% superiore a quella orizzontale della categoria illuminotecnica considerata. Avremo così un valore minimo di due o tre volte superiore a quello orizzontale del compito visivo.

In questo modo possiamo riassumere i vari requisiti minimi per le varie categorie illuminotecniche nella tabella 2.4:

Categoria	L [cd/m2] minima mantenuta	U minima mantenuta	$U_i$ minima	TI [%]	SR minima	Categoria CE corrispondente secondo 11248	Valore $E_o$ [lx]	Categoria Ev corrispondente minima	Valore E [lx]
ME1	2	0,4	0,7	10	0,5	CE1	30	EV1	50
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5	CE2	20	EV1 o EV2	50 o 30
ME3a	1	0,4	0,7	15	0,5	CE3	15	EV3	30
ME3b	1	0,4	0,6	15	0,5				
ME3c	1	0,4	0,5	15	0,5				
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5	CE4	10	EV3	30
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5				
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5	CE5	7,50	EV2	10

Tabella 2.4 Riepilogo prestazioni illuminotecniche richieste dalla norma

Questa mostra una possibile interpretazione delle norme, con queste considerazioni vengono rispettate le richieste di illuminamento sufficientemente elevato considerando un  $E_v$  minimo mantenuto maggiore dell' $E_o$  minimo mantenuto corrispondente.

Tuttavia nella norma UNI 11248 al punto 9.3 viene detto che in caso di intersezione o zona di conflitto, è necessario aggiungere la categoria illuminotecnica specificata nel prospetto 6 qui sotto riportato (tabella 2.5).

Categoria illuminotecnica									
Categoria illuminotecnica individuata	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	-	-	-
	-	-	-	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Categoria illuminotecnica addizionale	-	EV3	EV4	EV5	-	-	-	-	-

Tabella 2.5: Prospetto 6 norma UNI EN 11248 [14]

### 2.3 Scelta degli apparecchi per l'illuminazione:

Per quanto riguarda la caratterizzazione degli apparecchi di illuminazione viene considerata la norma UNI EN 13032 la quale specifica i valori della ripartizione dell'intensità luminosa.

Non esistono però indicazioni normative di altro tipo sugli apparecchi, è comunque possibile fare alcune considerazioni.

- L'apparecchio deve essere efficiente dal punto di vista energetico questo si traduce in un risparmio sul consumo di energia elettrica e quindi anche in un risparmio economico;
- il fascio luminoso deve essere asimmetrico in senso trasversale alla strada questo perché la distribuzione dell'intensità luminosa consente di orientare sull'area che interessa la maggior parte del flusso di luce. Essi permettono di installare impianti con un maggior coefficiente di utilizzazione rispetto i proiettori normali e quindi di risparmiare denaro ed energia elettrica. Essi consentono anche l'impiego di sorgenti di minor potenza a parità di illuminamento prodotto. Con un angolo di asimmetria di  $45^\circ$  è necessario un supporto dell'apparecchio alto più o meno quanto è larga la strada, se l'angolo è invece di  $60^\circ$  si devono usare raggi più radenti e quindi a parità di illuminamento l'intensità luminosa cresce;
- un attraversamento pedonale l'apparecchio viene posto prima del passaggio pedonale indicato dalla segnaletica orizzontale rispetto al senso di marcia, è necessario quindi collocarlo in modo tale da creare una distribuzione orientata non solo in avanti ma anche verso il lato opposto della strada senza però creare abbagliamento ai veicoli che procedono in senso contrario.

La distribuzione ottimale può essere rappresentata dalla figura 2.5 la quale mostra un fascio luminoso allineato sul passaggio pedonale, nel quale si vede che è illuminata sia l'area di rispetto che quella delimitata dalla segnaletica orizzontale:

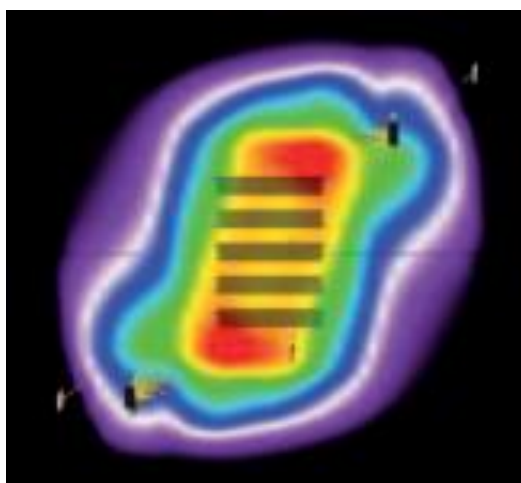


Figura 2.5 distribuzione della luce mediante sistema asimmetrico [15]



Di fondamentale importanza è che la luce non deve essere indirizzata verso l'automobilista in avvicinamento in questo modo si riduce la luminanza di velo del conducente e il contrasto di soglia migliorando la capacità del guidatore di individuare il pedone.

Per quanto riguarda invece la sorgente luminosa, molto spesso nell'illuminazione dei passaggi pedonali troviamo l'impiego di lampade al sodio a bassa o alta pressione data la vita media lunga e all'alta efficienza luminosa.

Queste lampade sono impiegate per creare un contrasto cromatico rispetto al colore della sorgente luminosa che viene utilizzata nell'illuminazione pubblica. Tuttavia gli studi recenti hanno dimostrato che è più importante creare una visione del pedone che è una figura a sviluppo verticale. Si è quindi passati ad illuminare le persone con contrasto positivo cioè quando la luminanza dell'oggetto è maggiore di quella della strada. Le lampade al sodio hanno una bassa resa cromatica si ha quindi una luce pressoché monocromatica gialla mentre il resto è sfalsato o percepito in tonalità di grigio (Figura 2.6). Al contrario con una lampada ad elevata resa cromatica a luce bianca si può vedere il 90% dei colori e quindi si riesce a distinguere meglio il pedone (Figura 2.7)

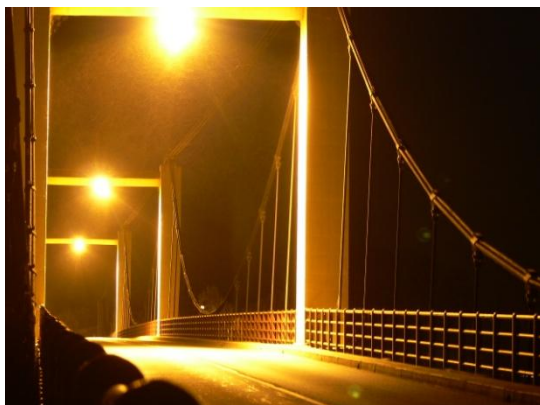


Figura 2.6 Illuminazione stradale con lampade a bassa resa cromatica



Figura 2.7 Illuminazione stradale con lampade ad alta resa cromatica

Le sorgenti ad alta resa cromatica di luce bianca possono essere i LED, essi hanno i seguenti vantaggi:

- Alimentazione e regolazione: I LED vengono solitamente alimentati con corrente continua. Nelle applicazioni semplici si può controllare la luminosità variando la tensione, se si vuole avere una variazione completa bisogna utilizzare la tecnologia PWM in questo modo i led non avrà variazioni di colore
- Durata: I LED hanno una durata in termini di ore di funzionamento molto più elevata rispetto ad una lampada normale, a seconda del produttore si possono avere dalle 8000 alle 100000 ore di funzionamento.  
Come in tutte le lampade si verifica con il passare del tempo un lento decadimento del flusso luminoso, si può ritenere che quando un LED emette il 50% dell'intensità iniziale esso ha raggiunto la fine della sua vita utile.
- Robustezza: l'assenza di filamenti lo rende più robusto a vibrazioni ed urti ed è un fattore che allunga la durata della lampada, rendendolo anche adatti ad installazioni dove gli interventi di manutenzione devono essere i meno possibili.
- Efficienza: I LED hanno un'ottima efficienza, si è arrivati ad avere un valore intorno agli 80-100 lm/W.
- Il calore del LED è circoscritto alla base della lampada stessa e si propaga prevalentemente per conduzione, mentre la quantità di irraggiamento è minima.

La propagazione termica avviene nella piastra e attraverso il dissipatore a esso saldato.

Tuttavia i LED hanno anche i seguenti svantaggi:

- All'aumentare della temperatura si riduce il flusso luminoso del LED;
- Nonostante la buona efficienza luminosa, il flusso luminoso emesso del singolo LED è minore rispetto a quella emessa da una lampada ad incandescenza.
- Ancora relativamente costoso anche se la diffusione sta facendo scendere i prezzi.
- La necessità di avere un cablaggio e un sistema di alimentazione duraturo quanto il LED.



## Capitolo 3: Progettazione dell'illuminazione di un attraversamento pedonale

### 3.1 Definizione Categoria illuminotecnica

La definizione della categoria illuminotecnica di una strada è necessaria per determinare i requisiti che deve avere l'illuminazione tale da poter individuare la presenza ed il movimento di oggetti sulla strada ad una distanza maggiore o uguale alla distanza di arresto alla velocità di percorrenza prevista per tale strada. La sua individuazione solitamente non è compito del progettista illuminotecnico. In questo caso è stato necessario definire la categoria, per farlo è stato usato il software "Road Wizard" della Philips light®.

Il programma da automaticamente la categoria della strada inserendo i seguenti parametri degli utilizzatori della strada:

- Velocità di percorrenza della strada: tra i 30 e i 60 km/h;
- Chi usa principalmente la strada: auto e moto;
- Chi altri può usare la strada: pedoni e ciclisti;

successivamente si inseriscono i parametri relativi allo stato della strada:

- Considerazioni meteo: asciutto;
- Incroci o rotonde per la moderazione del traffico: no;
- Intensità delle intersezioni: <3/km
- Difficoltà di orientazione del traffico: normale;
- Flusso di traffico al giorno: >7000 macchine al giorno;
- Aree di conflitto: si;

una volta inserite queste informazioni il programma fornisce la classifica illuminotecnica:

The screenshot shows the 'Road Wizard' software interface. It is divided into several sections:

- Lighting Situation Set:** A table with columns for parameters and their values. The status is 'COMPLETE'.
 

Speed of the main user?	> 30 and <= 60
Main user?	Motorised traffic, slow moving vehicles
Secondary user?	Cyclists, pedestrians
Excluded user?	No excluded users
- Set: B1**
- Lighting Situation Class:** A table with columns for parameters and their values. The status is 'COMPLETE'.
 

Main weather type?	Dry
Geometric measures for traffic calming?	No
Intersection density?	>= 3 intersections/km
Difficulty of navigational task?	Normal
Traffic flow of vehicles per day?	> 7000
Conflict area?	Yes
- Class Details:** A table with columns for parameters and their values.
 

Lave in cd/m² [minimum maintained]	1,0
Uo [minimum]	0,4
U1 [minimum]	0,5
T1 in % (a) [maximum]	15
SR (b) [minimum]	0,5
- Class: ME3c (d)**
- Buttons:** Export CLX, <<Previous, Restart, Print, Exit.
- Footnote:**
  - (a) An increase of 5 percentage points in T1 can be permitted where low luminance light sources are used.
  - (b) This criterion can be applied only where there are no traffic areas with their own requirements adjacent to the carriageway.
  - (d) In case of traffic calming, choose the given class, but select -1 at area of traffic calming.

Figura 3.1: schermata riepilogativa programma "Road Wizard"® per definire la categoria illuminotecnica della strada

In questo caso la categoria illuminotecnica che si ottiene è una ME3c, inoltre il programma fornisce anche i dettagli sul livello di luminanza del manto stradale in [cd/m<sup>2</sup>] il livello di uniformità  $U_0$  e  $U_1$  minimi, l'incremento di soglia TI massimo espresso in % ed il rapporto di contiguità SR minimo.

Come indicato dalla norma UNI EN 11248 una volta definita la categoria illuminotecnica dovendo considerare una zona di intersezione è stato necessario comparare le categorie illuminotecniche ed è stata individuata la categoria CE corrispondente, cioè la CE3.

Dovendo facilitare inoltre la visione delle superfici verticali la norma stabilisce che alla categoria CE3 si può considerare la categoria aggiuntiva EV5

Con la seguente tabella possiamo riassumere le informazioni sulla categoria illuminotecnica stabilita:

Categoria	L [cd/m <sup>2</sup> ] minima mantenuta	$U_0$ minima mantenuta	$U_1$ minima	TI [%]	SR minima	Categoria CE corrispondente secondo 11248	Valore E0 [lx]	Categoria EV corrispondente e minima	Valore EV [lx]
ME3c	1	0,4	0,5	15	0,5	CE3	15	EV5	5

Tabella 3.1 Riepilogo dati categoria illuminotecnica strada

### 3.2 Definizione della griglia di calcolo e rappresentazione schematica della strada

Per il progetto non è stato considerato un passaggio pedonale reale ma è stato ricreato per fare le misure reali, lo schema dell'attraversamento è il seguente:

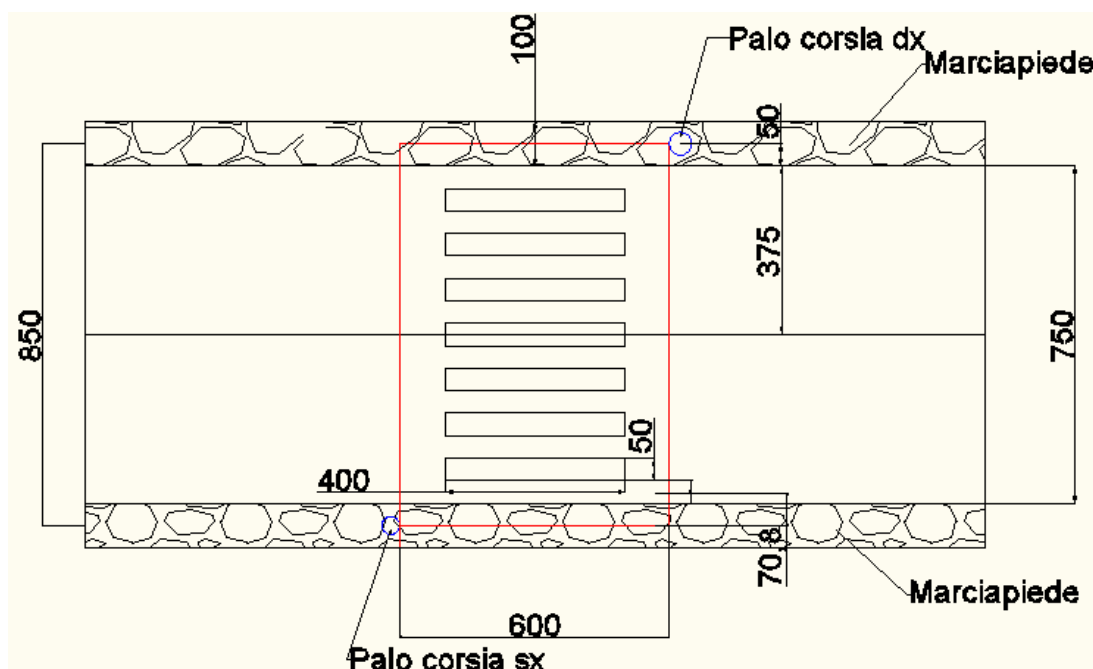


Figura 3.2: rappresentazione schematica della strada presa in considerazione

La griglia di calcolo per i punti nei quali valutare l'illuminamento è definita dalla norma UNI EN 13201-2, essa definisce che i punti di calcolo devono essere uniformemente distanziati nel campo di calcolo e il loro numero è scelto come indicato di seguito:

a) In direzione longitudinale:

$$D = \frac{S}{N}$$

Dove:

D è la distanza tra i punti in direzione longitudinale, in metri;

S è la distanza tra gli apparecchi di illuminazione, in metri;

N è il numero di punti di calcolo in direzione longitudinale con i seguenti valori:

per  $S \leq 30\text{m}$   $N=10$ ;

per  $S > 30\text{m}$  il numero più basso che dà  $D \leq 3\text{m}$

b) In direzione trasversale:

$$d = \frac{W_r}{n}$$

Dove:

d è la distanza tra i punti in direzione trasversale, in metri;

$W_r$  è la larghezza della carreggiata o della zona di studio in metri;

n è il numero di punti in direzione trasversale con un valore maggiore o uguale a 3 ed è il numero intero che da  $d \leq 1,5\text{m}$ .

Sempre seguendo la norma si è posti la distanza dei punti dai bordi della zona di studio è  $D/2$  in direzione longitudinale e  $d/2$  in direzione trasversale.

Nel progetto la disposizione dei punti sono stati i seguenti:

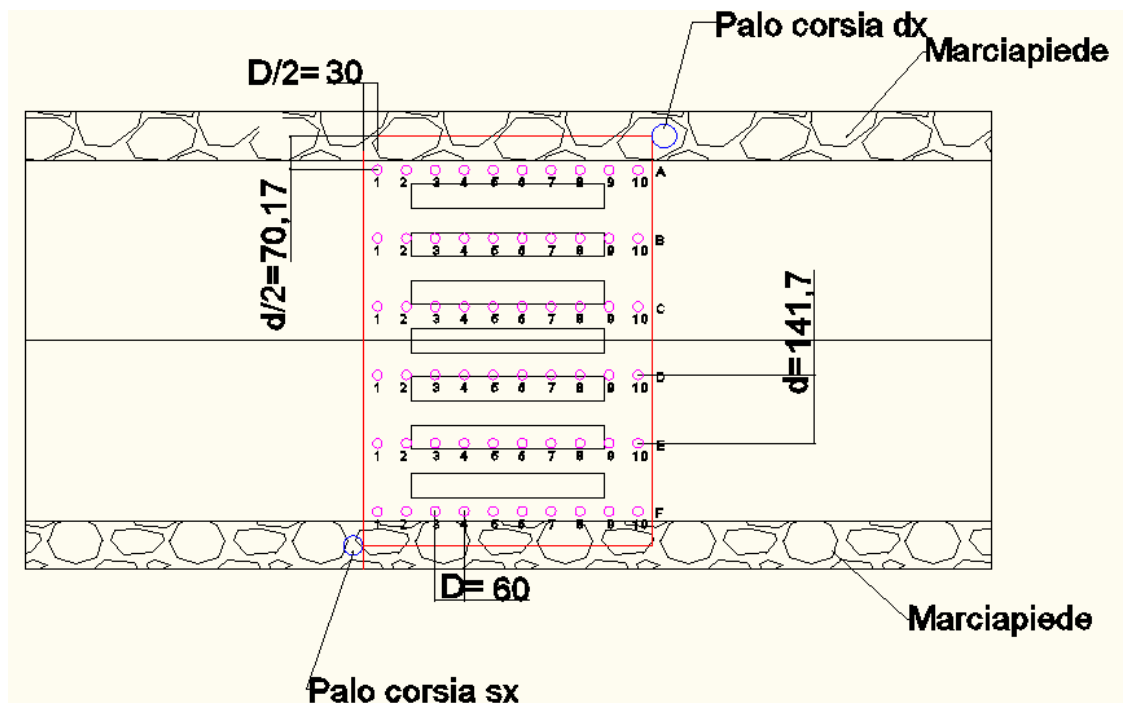


Figura 3.3: disposizione in pianta dei punti di calcolo per la verifica delle prestazioni illuminotecniche secondo norma UNI EN 13201-3

Sono stati aggiunti ulteriori punti di misura al di fuori dell'area indicata, questo è stato fatto per valutare l'illuminamento in ingresso ed in uscita dalla zona di

intersezione e valutare l'eventuale abbagliamento molesto da parte del palo di illuminazione della carreggiata opposta.

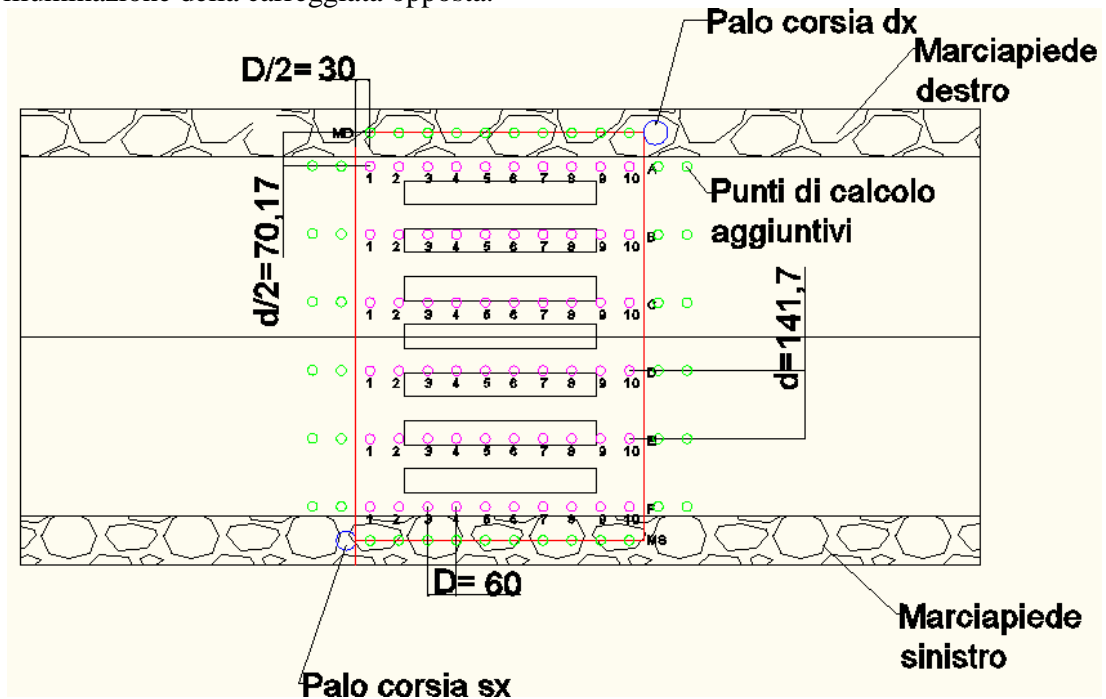


Figura 3.4: disposizione in pianta dei punti di calcolo aggiuntivi (di colore verde)

La figura mostra infine la disposizione completa di tutti i punti nei quali verrà rilevato il valore di illuminamento orizzontale.

### 3.2 Simulazione Illuminazione attraversamento pedonale:

Il progetto prima di essere stato realizzato fisicamente è stato simulato al computer tramite il programma di simulazione Calculux ®.

Questo software permette di simulare ed ottimizzare gli impianti di illuminazione stradale attraverso la ricostruzione della configurazione della strada in esame, verificare i requisiti illuminotecnici, e ottimizzare gli impianti secondo parametri prestabiliti.

Il programma genera in automatico il reticolo di calcolo scelto e posiziona gli osservatori secondo quanto stabilito dalla norma UNI EN 13201-3.

Il posizionamento e l'orientamento delle lampade sono definite da tre parametri:

Rot: si ruota la lampada attorno all'asse verticale (Figura ;

Tilt90: si ruota la lampada attorno all'asse  $C=0^\circ/C=180^\circ$ (Figura;

Tilt0: si ruota la lampada attorno all'asse  $C=90^\circ/C=270^\circ$ (Figura;

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED

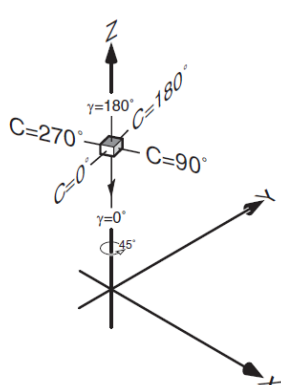


Figura 3.5 esempio di impostazione: Rot=45

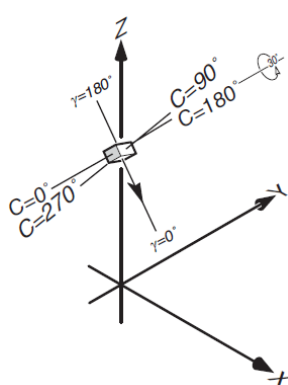


Figura 3.6 esempio di impostazione Tilt90=30°

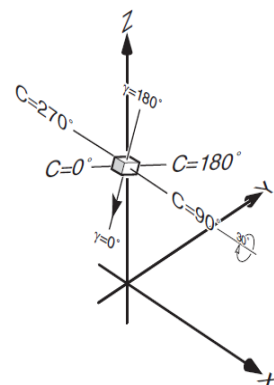


Figura 3.7 esempio di impostazione: Tilt0=30

Quando si specificano i valori di rotazione della lampada il programma utilizza il seguente ordine: Rot, Tilt90 ed infine Tilt0. L'ordine con cui vengono introdotti i parametri quindi varia il risultato dell'orientamento della lampada. Per prima cosa si deve disegnare quindi lo schema della strada, in questo caso è divisa in due carreggiate e a fianco di esse i marciapiedi come indicato nella figura 3.8.

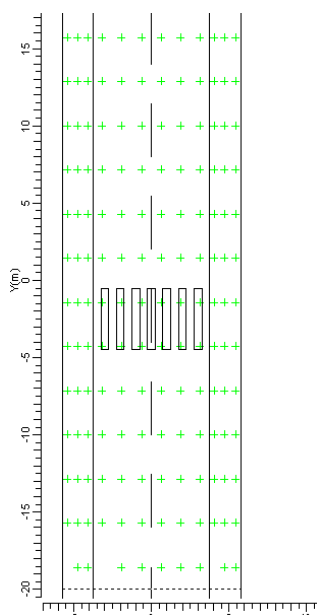


Figura 3.8: Schema stradale realizzato mediante Calculux®

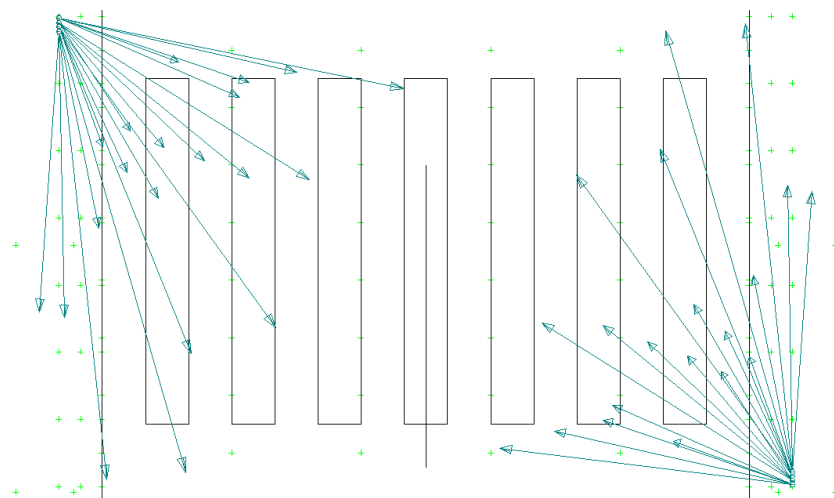


Figura 3.9: Disposizione delle lampade sul reticolo

Successivamente sono state posizionate le lampade disponendole in una matrice formata da 4 colonne distanti tra loro 10 cm e 5 righe distanti tra loro 6,4 cm. Le lampade così posizionate sono poi state orientate cercando di ottenere il massimo illuminamento ottenendo lo schema in Figura 3.9. Si deve precisare che non essendo in commercio le lampade utilizzati per la realizzazione delle due lampade, sono stati utilizzati al fine della simulazione apparecchi illuminanti con caratteristiche fotometriche e prestazioni comparabili con quelli utilizzati sul progetto reale. Per fare i calcoli è stato applicato un fattore di manutenzione di 0,9. Si è passati quindi alla verifica illuminotecnica andando a verificare l'illuminamento orizzontale, illuminamento verticale delle due carreggiate e dei marciapiedi. Dalla simulazione fatta si ottengono i valori posti nella tabella 3.2:

Reticolo di calcolo	Illuminamento Medio	Illuminamento Minimo	Illuminamento Massimo	Uniformità dell'illuminamento: $E_{min}/E_{med}$
Strada verticale destra	16.8	1.1	113.3	0.06
strada orizzontale	59.9	13.5	161.4	0.22
Marcia piede orizzontale destro	59.4	6.5	166.6	0.11
Marcia piede orizzontale Sinistro	59.2	6.4	166.4	0.11
Marcia piede verticale destro	7.44	1.5	43.45	0.20
Marcia piede verticale sinistro	7.43	1.50	43.43	0.20
strada verticale sinistra	17.1	1.1	112.7	0.07

Tabella 3.2 : risultati illuminotecnici relativi alla simulazione

Come si può vedere dalla tabella sopra l'illuminamento medio orizzontale è intorno ai 30-40 lux, osservando invece i valori minimi si vanno a trovare valori più bassi rispetto a quelli indicati dalla norma.

Le figure 3.10 e 3.11 mostrano la distribuzione dell' illuminamento orizzontale e verticale relativi al passaggio pedonale attraverso le curve di isocore.

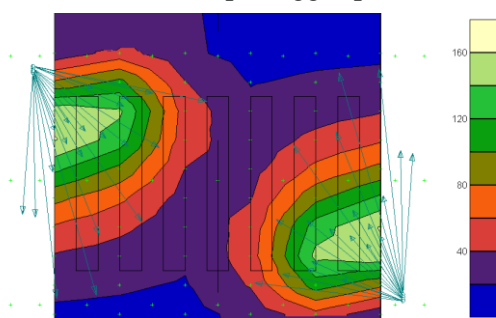


Figura 3.10:curve isocore illuminamento orizzontale

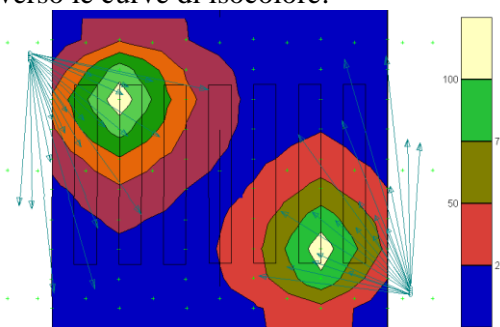


Figura 3.11: curve isocore illuminamento verticale

Oltre ad esse si riportano le tabelle 3.3 e 3.4 nelle quali sono presenti i valori puntuali secondo il reticolo di figura 3.3 riferiti sempre all'illuminamento orizzontale e a quello verticale ricavati dalla simulazione:

Illuminamento orizzontale rilevato nei punti del reticolo "Strada"										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>A</b>	16	25	38	58	85	124	161	153	83	26
<b>B</b>	16	22	31	44	64	95	130	143	106	48
<b>C</b>	13	19	23	27	32	39	48	50	41	24
<b>D</b>	26	42	50	47	39	33	28	24	19	14
<b>E</b>	53	111	145	131	95	65	45	32	23	16
<b>F</b>	26	84	153	161	125	86	58	39	25	17

Tabella 3.3: Valori di illuminamento orizzontale della strada rilevati nei punti della griglia di calcolo impostata

Illuminamento verticale rilevato nei punti del reticolo "strada"										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	15	9	6	3	2	25	38	44	25	9
B	37	24	16	11	7	58	89	113	91	38
C	20	14	10	9	6	28	39	45	38	20
D	27	36	42	37	22	19	14	10	8	6
E	58	89	113	95	42	37	24	16	11	7
F	25	38	44	25	6	15	9	6	3	2

Tabella 3.4: Valori di illuminamento verticale della strada rilevati nei punti della griglia impostata

Di seguito nelle figure 3.12 e 3.13 vengono poi rappresentate le curve di isocolore relativi all'illuminamento orizzontale e verticale dei marciapiedi

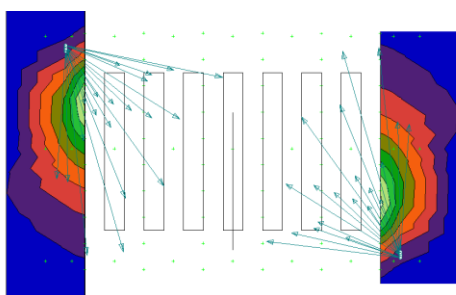


Figura 3.12 Illuminamento orizzontale marciapiedi

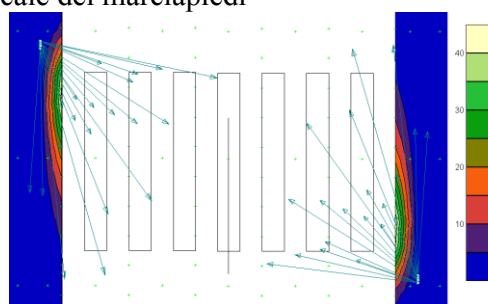


Figura 3.13: Illuminamento verticale marciapiedi

Di seguito viene riportata la tabella 3.5 con i relativi valori puntuali:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>A'</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Illuminamento verticale marciapiede sinistro
<b>B'</b>	0,7	4,4	15,1	17,6	12,1	7,1	4	2,2	1,2	0,7	
<b>C'</b>	1,8	12,2	38,4	40,8	25,9	14,9	8,4	4,6	2,6	1,5	
<b>A''</b>	1,5	2,6	4,6	8,4	14,9	25,9	40,8	38,5	12,3	1,8	Illuminamento verticale marciapiede destro
<b>B''</b>	0,7	1,2	2,2	4	7,1	12,1	17,6	15,1	4,4	0,7	
<b>C''</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>A'</b>	12	20	32	52	83	128	166	129	46	10	Illuminamento orizzontale sinistro
<b>B'</b>	11	19	31	50	77	114	139	101	34	8	
<b>C'</b>	11	17	28	45	69	96	107	72	23	6	
<b>A''</b>	6	23	72	107	96	68	45	28	17	10	Illuminamento orizzontale destro
<b>B''</b>	8	33	101	139	114	77	49	30	18	11	
<b>C''</b>	9	45	128	166	127	83	52	32	20	12	

Tabella 3.5: Riepilogo dei valori verticali ed orizzontali sui marciapiedi lato strada

La simulazione attraverso il programma Calculux<sup>®</sup> ha permesso di osservare grazie ai valori nelle tabelle esposte nelle pagine precedenti come l'illuminazione del compito visivo, inteso come l'attraversamento pedonale, permetta di soddisfare i valori minimi imposti dalla norma. Infatti al centro della strada, i valori di illuminamento verticale ed orizzontale rispettano i valori minimi di illuminamento, e tendono a ridursi man mano che ci si allontana dal centro in direzione opposta a quella del traffico.

Dalla tabella i valori indicati con il colore rosso indicano i punti con illuminamento orizzontale minore a quello imposto dalla norma UNI EN 13201-2 tuttavia l'illuminamento medio mantenuto ottenuto come la media dei valori rilevati sul reticolo è abbondantemente superiore a quello imposto dalla norma:  $\bar{E} = 15 \text{ lx}$  mentre quello ottenuto è  $\bar{E} = 59.9 \text{ lx}$

Gli unici parametri al di sotto dei valori stabiliti dalla norma sono i valori di uniformità che il programma di calcolo come si può vedere dalla tabella sono minori. Allo stesso modo si può fare la stessa considerazione per quanto riguarda l'illuminamento verticale rispetta quanto stabilito dalla norma nel compito visivo tuttavia questo non è così nei punti del reticolo più lontani dalle lampade.

Per quanto riguarda invece l'illuminamento sui marciapiedi si nota dalle figure e dalle tabelle un illuminamento orizzontale quantomeno adeguato con valori medi in prossimità della segnaletica orizzontale nella norma, mentre per l'illuminamento verticale i valori sono modestamente ridotti soprattutto a ridosso della sorgente luminosa. Tuttavia è necessario osservare che è stato ritenuto più importante concentrare la luce sulla carreggiata in modo tale da rendere visibile il pedone così da rendere sicuro l'attraversamento pedonale rispetto all'illuminare il marciapiede nella sua completezza. Tuttavia come già detto in precedenza nella simulazione è emerso che non sono stati rispettati i valori di uniformità imposti dalla norma in quanto viene richiesto un  $U_0=0,4$  mentre nel nostro caso è stato ottenuto un  $U_0=0,22$ .

Per quanto riguarda la valutazione dell'abbagliamento, viene considerato il "Threshold Increment" (TI) espresso in % il quale rappresenta la differenza tra la luminanza di sfondo e la luminanza dell'oggetto in presenza di abbagliamento e quella in assenza, rispetto alla luminanza di sfondo necessaria per garantire nei due casi il contrasto di soglia. Attraverso la simulazione è stato individuato un  $TI = 10$ . Questo valore è all'interno di quanto specificato dalla norma che è di 15.

### ***3.3 Realizzazione progetto***

Una volta terminata la simulazione si è passati alla realizzazione pratica dell'illuminazione dell'attraversamento pedonale.

La realizzazione del progetto è avvenuta in tre parti :

- Prima parte: Realizzazione della lampada nella quale è stata ricavata anche una curva fotometrica della lampada stessa;
- Seconda parte: Realizzazione del passaggio pedonale;
- Terza parte: Rilievo dei parametri fotometrici ed elaborazione dei dati ricavati.

#### ***3.3.1 Realizzazione lampada***

La lampada che è stata realizzata e montata sul palo per l'illuminazione dell'attraversamento pedonale è formata da 20 LED con 3 W di potenza per ciascuno tutti uguali. Questo tipo di lampada è stato scelto per i seguenti motivi:



- Per il tipo di lampada infatti si vuole sfruttare le potenzialità dell'illuminazione con i LED con ciò si intende una maggiore durata della lampada, maggior efficienza, ecc.
- Per quanto riguarda invece la potenza della lampada si è scelto una da 3W poiché l'utilizzo di un LED a 1W significava creare una lampada molto grande poiché erano necessari più LED, l'utilizzo invece di LED a 5W che avrebbe ridotto ulteriormente la quantità di lampade, è economicamente svantaggiosa in quanto i costi di questo tipo di LED è ancora troppo elevato

Il LED da 3W quindi risulta una scelta economicamente e tecnologicamente corretta. Ciascun LED è realizzato come in figura e nell'Allegato 1 è stato inserito il Datasheet del componente utilizzato, nelle figure seguenti sono riportati il disegno in sezione del LED utilizzato ed una foto di questo (Figura 3.14 e Figura 3.15):

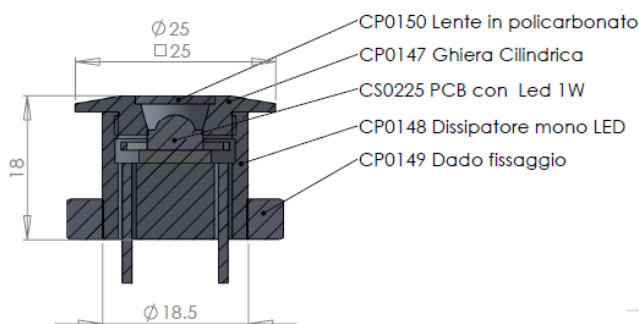


Figura 3.14: rappresentazione in sezione del LED



Figura 3.15: Foto del LED

Uno dei problemi che vengono riscontrati nei LED è la diminuzione del flusso luminoso all'aumentare della temperatura della lampada stessa.

Si è provveduto a fare una prova per verificare quanto incidesse questa riduzione nelle lampade prese in considerazione per la realizzazione del dispositivo illuminante. La prova è stata realizzata inserendo il led all'interno di una sfera di raggio 1m (Figura 3.16). Volendo valutare la temperatura dell'oggetto è stata fatta un'indagine termografica insieme alla misura di illuminamento.

Si è provveduti a colorare il led di nero questo perché dovendo fare un'immagine termografica ed essendo l'involucro del led di alluminio lucido questo avrebbe causato un errore sulla misura causato dal basso coefficiente di emissività  $\epsilon$  del materiale. Sono state fatte due prove di un'ora ciascuno, la prima portando a far funzionare il LED a metà potenza mantenendo i 24 V DC costanti, in questo modo si è andati a testare il funzionamento in condizioni normali di funzionamento.

La seconda prova invece si è portato il LED a funzionare a piena potenza simulando così la situazione nella quale c'è una chiamata pedonale

Di seguito sono state riportate le immagini termografiche ottenute con la termo camera con sensore microbolometrico, e le misurazioni di illuminamento fatte con il luxmetro:

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED



Figura 3.16 posizionamento del Led per la prova termica

1° prova alimentazione a 24 V stabilizzati e metà potenza, si sono ricavati i seguenti risultati:

illuminamento

prova	t=0 min	t=30 min	t=60 min
Led a metà Potenza	140 lx	136,9 lx	137,1 lx

Tabella 3.6a : Illuminamento del LED rilevato tramite LUXMETRO

Temperatura:



Figura 3.17a: t=0minuti (led appena acceso)

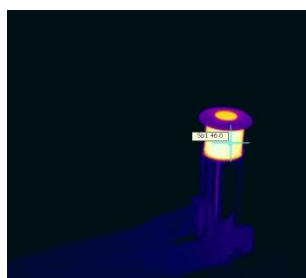


Figura 3.17b: t=30 minuti

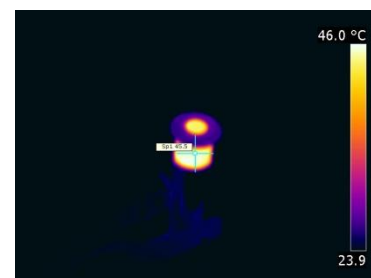


Figura 3.17c: t=60 minuti

Led a metà potenza	Figura 3.17a	Figura 3.17b	Figura 3.17c
t [minuti]	0	30	60
T[°C]	31,9	46,0	46,3

Tabella 3.6b : Andamento temperatura del corpo esterno del LED

Il valore di temperatura indicato nella tabella 3.6b è puntuale e rappresenta il punto indicato dalla croce azzurra nelle figure 3.17a, b, c.

2° prova alimentazione 24 V stabilizzati e piena potenza, dopo aver raffreddato il led si è provveduti a fare la prova ricavando i seguenti risultati:

illuminamento:

Prova	t=0 min	t=30 min	t=60 min
Led a piena potenza corrente piena	276 lx	255,1 lx	255 lx

Tabella 3.7a : Illuminamento del LED rilevato tramite LUXMETRO

Temperatura:



Figura 3.18a : t=0minuti (led appena acceso)



Figura 3.18b : t=30 minuti



Figura 3.18c : t=60 minuti

<b>Led a piena potenza</b>	<b>Figura 3.18a</b>	<b>Figura 3.18b</b>	<b>Figura 3.18c</b>
<b>t [minuti]</b>	0	30	60
<b>T puntuale[°C]</b>	31,9	65,4	65,0

Tabella 3.7b: Andamento temperatura del corpo esterno del LED

Il valore di temperatura è puntuale indicato nella tabella 3.7b rappresenta il punto indicato dalla croce azzurra nelle figure 3.18a, 3.18b, 3.18c.

Dalla prova, come si può vedere dalle tabelle, si evidenzia che a metà potenza la riduzione è abbastanza contenuta infatti si vede che dopo un ora si è raggiunti l'equilibrio termico e la riduzione è solo di 3 lx. Più rilevante invece è la riduzione a piena potenza in questo caso infatti l'intensità luminosa si riduce di 20 lx e la temperatura rilevata sul corpo del led è di circa 20°C maggiore rispetto alla prima prova. Tuttavia il funzionamento a piena potenza è previsto, nel progetto, solo per qualche minuto e quindi si può ritenere accettabile il funzionamento del led a queste condizioni.

Si è poi provveduto a montare i LED all'interno di supporti a sfera i quali permettono la registrazione della posizione dei singoli led all'interno della lampada.



Figura 3.19: Foto elemento sfera per supporto e regolazione LED

Successivamente tutte le sfere complete di LED sono state posizionate su un elemento del palo stesso disposti in quattro colonne composte da cinque righe.

La Figura 3.20 infine mostra il corpo illuminante completo di tutte le lampade a led montate sulle rispettive sfere orientate nei diversi modi:



Figura 3.20: Fotografia del corpo illuminante della lampada con le sfere orientate

### **3.3.1.1 Rilievo caratteristiche illuminotecniche della lampada:**

Non essendo in commercio i Led utilizzati per la realizzazione del progetto, non era disponibile la curva fotometrica. Per ricavarla è stata posta la lampada al centro di un parallelepipedo con le pareti completamente dipinte di nero fumo, è stato fatto poi ruotare un braccio al cui estremo è stato posto il sensore del luxmetro in modo tale da poter determinare la quantità di illuminamento ad una distanza lampada-sensore di un metro. Sono stati misurati i valori di illuminamento facendo passi di  $5^\circ$  tra  $0^\circ$  e  $180^\circ$ . Successivamente sono stati elaborati i dati in un diagramma polare utilizzando Matlab<sup>®</sup>. I dati sono stati rilevati sia in condizioni di funzionamento normale (Led a metà potenza) sia in condizioni di massima potenza Da cui è stato possibile ricavare le curve fotometriche di figura 3.19.

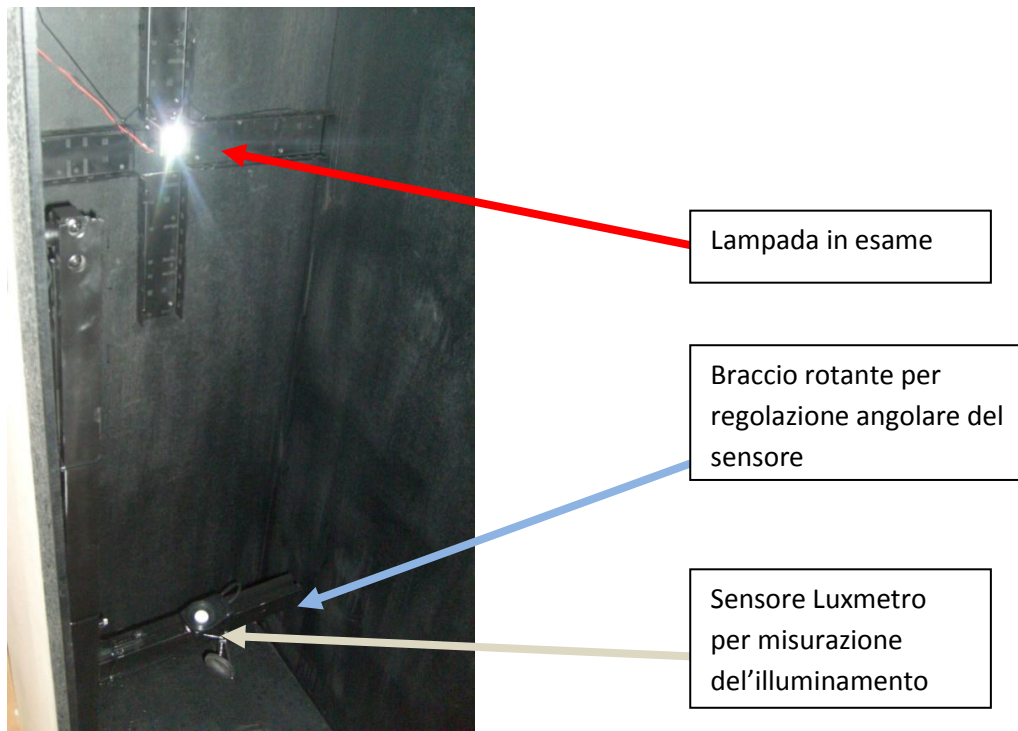


Figura : 3.21: Particolare quadro prove per il rilevamento della curva fotometrica del singolo LED

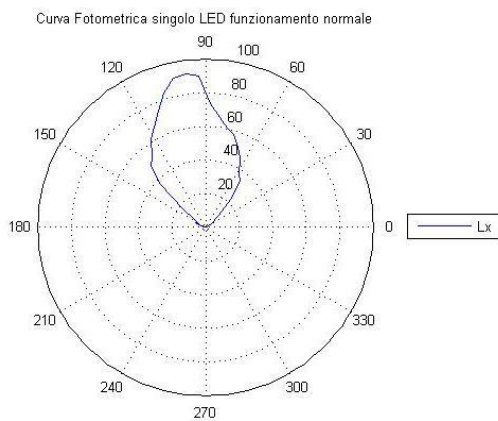


Figura 3.22a: curva fotometrica del LED a funzionamento normale

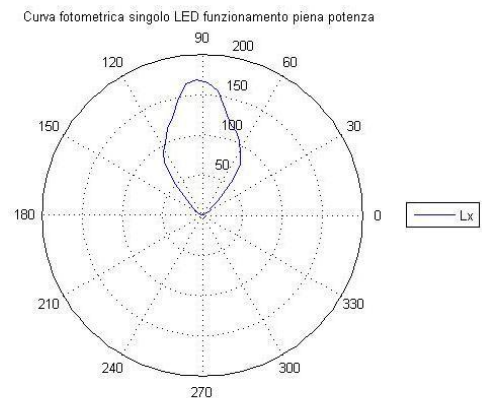
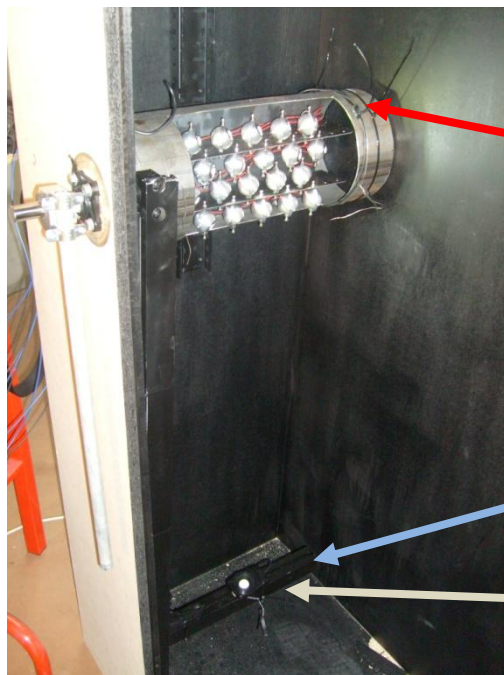


Figura 3.22b: curva fotometrica del LED a funzionamento a piena potenza

Le curve fotometriche ottenute in figura 3.22a e 3.22b mostrano che l'angolo di apertura del singolo LED è circa  $\pm 30^\circ$ . Allo stesso modo sono state ricavate le curve fotometriche relative alla lampada, quest'ultima è stata posizionata come fatto con il LED singolo all'interno del parallelepipedo, prima posta in posizione verticale e successivamente in posizione orizzontale sempre distinguendo i due funzionamenti della lampada. Sono state quindi quattro curve fotometriche rappresentate dalle figure



Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED



Lampada in esame  
posizionata prima in  
verticale e poi in  
orizzontale

Braccio rotante per  
regolazione angolare del  
sensore

Sensore Luxmetro  
per misurazione  
del'illuminamento

Figura : 3.23: Particolare quadro prove per il rilievo della curva fotometrica della lampada

Curva fotometrica lampada completa piano orizzontale funzionamento normale

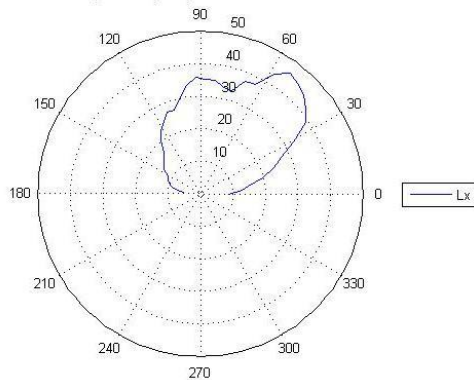


Figura 3.24a : curva fotometrica lampada completa  
posizionata orizzontalmente a metà potenza

Curva fotometrica lampada completa piano verticale funzionamento normale

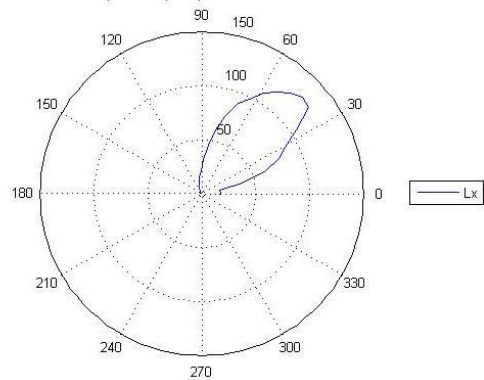


Figura 3.24b : curva fotometrica lampada completa  
posizionata verticalmente a metà potenza

Curva fotometrica lampada completa piano orizzontale funzionamento piena potenza

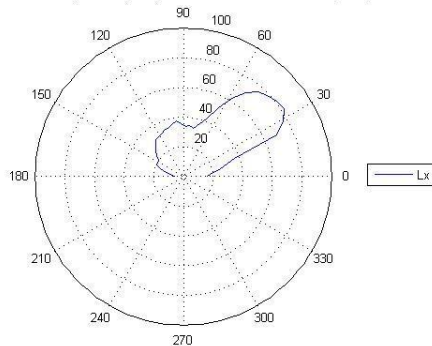


Figura 3.24c : curva fotometrica lampada completa  
posizionata orizzontalmente a piena potenza

Curva fotometrica lampada completa piano verticale funzionamento piena potenza

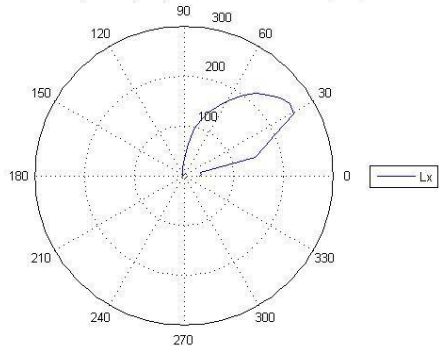


Figura 3.24d : curva fotometrica lampada completa  
posizionata verticalmente a piena potenza

Dalle curve fotometriche ottenute si possono trarre le seguenti considerazioni:

-Curva fotometrica lampada orizzontale: mostra come la lampada diffonde la luce in modo dissimmetrico.

-Curva fotometrica lampada verticale: mostra che la lampada non diffonde al di sopra dei 90°.

L'illuminazione del passaggio pedonale è fatta con solo due pali posti in diagonale, è necessario quindi che la curva fotometrica sia dissimmetrica questo per evitare di abbagliare i conducenti dei veicoli che procedono in direzione dei pali, infatti se si illuminasse la strada con in modo simmetrico si rischierebbe di creare un disturbo visivo ai conducenti e quindi un rischio per i pedoni e per i conducenti stessi.

Il diagramma polare relativo alla lampada posta in orizzontale da un'ulteriore informazione, mostra come l'apertura della lampada è di circa 90° sul piano orizzontale, anche questo aspetto è legato all'illuminazione particolare della strada. L'illuminazione verso l'alto deve essere invece limitata per evitare di creare inquinamento luminoso.

Nell'allegato 3 sono presenti le tabelle con i valori puntuali misurati per tracciare i diagrammi polari appena visti e le specifiche del Luxmetro utilizzato per fare le misure.

### ***3.3.2 Realizzazione passaggio pedonale e rilievo dati***

Una volta stabilita la curva fotometrica della lampada, questa è stata montata su un palo alto 3,05 m. Ne è stata costruita un'altra uguale ed è stato montata anch'essa su un palo alto uguale.

Si è ricavato all'interno di un capannone, uno spazio tale per realizzare un passaggio pedonale come da caratteristiche studiate in modo tale da poter confrontare i valori reali della lampada realizzata con i valori elaborati tramite il programma di simulazione Calculux.

La figura 3.25 rappresenta l'attraversamento pedonale che è stato realizzato con la descrizione delle varie aree che sono state prese in considerazione per il rilievo delle misure:

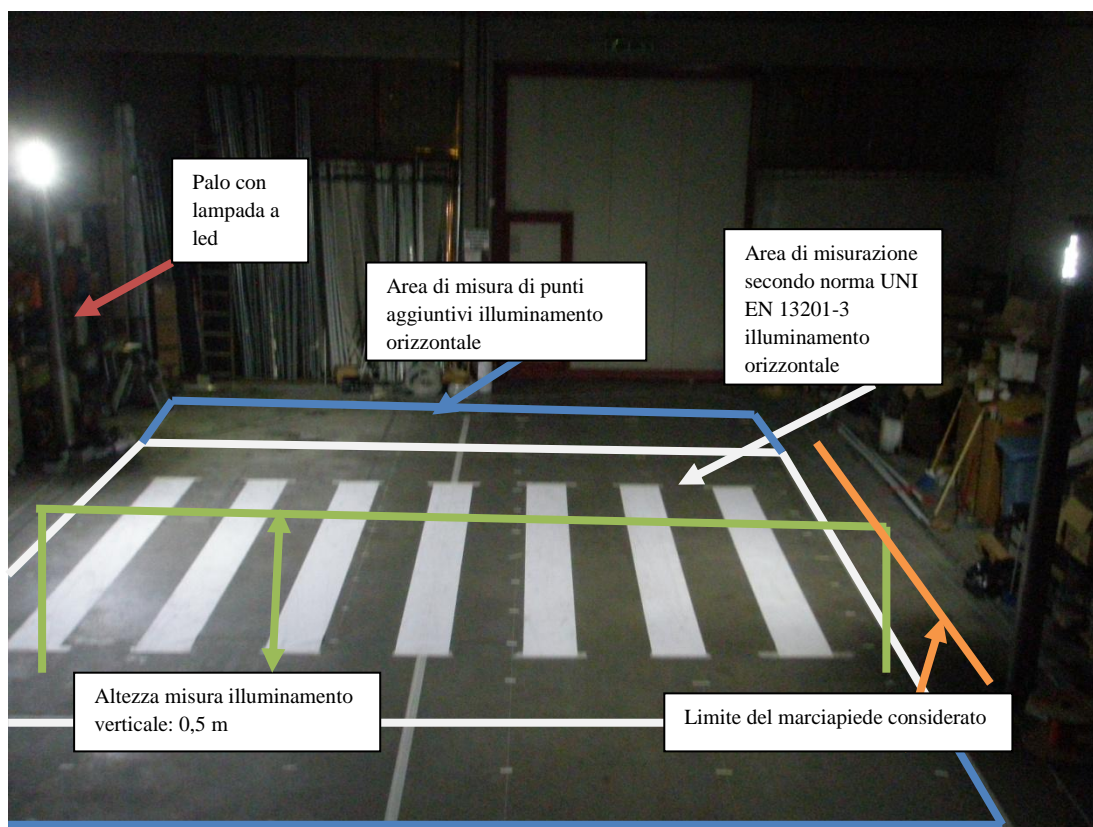


Figura 3.25 :passaggio pedonale con descrizione delle varie aree

Dalla foto si può osservare i due pali posti sulla diagonale, l'attraversamento pedonale posto al centro e a terra è stata realizzata la griglia di calcolo sulla quale sono stati segnati i punti sui quali verrà misurato attraverso un luxmetro i valori di illuminamento orizzontale.

Il funzionamento dell'attraversamento pedonale è il seguente: in assenza di persone in attesa di attraversare il passaggio pedonale, le lampade sono alimentate a tensione costante ma a corrente ridotta di circa la metà, in questo modo si ha un risparmio energetico in quanto ogni singolo LED consuma metà della potenza (circa 1,5W) con un consumo totale dell'intero sistema di circa 30W per singolo palo.

Le prestazioni illuminotecniche sono indicate nella tabella 3.:

Alimentazione lampade a metà potenza														
	Reticolo aggiuntivo		Reticolo principale										Reticolo aggiuntivo	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	5,90	6,90	8,32	9,02	9,05	8,13	7,89	8,72	8,61	8,02	5,23	5,33	4,72	5,03
B	5,60	5,70	6,45	6,62	6,62	7,38	7,86	8,41	8,62	8,13	8,13	7,57	7,07	6,32
C	5,72	6,04	6,17	6,35	7,69	8,06	7,41	7,64	7,79	7,69	7,36	7,12	6,70	6,12
D	5,87	6,69	7,11	7,51	7,66	8,16	8,29	8,04	7,75	7,30	6,88	6,45	5,93	5,43
E	6,47	7,59	8,45	9,12	8,76	9,34	9,79	9,92	8,80	7,69	6,79	6,04	5,52	5,03
F	4,70	5,32	5,61	7,99	7,82	7,55	6,56	8,23	9,25	9,60	8,58	7,30	6,37	5,57

Tabella 3.8 : Valori di illuminamento orizzontale rilevati con lampada alimentata a metà potenza



Per il rilievo dell'illuminamento verticale sono stati misurati solo i valori all'interno del reticolo principale ad un'altezza di mezzo metro dalla superficie orizzontale :

Illuminamento verticale alimentazione lampade a media potenza										
	Reticolo principale									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	4,12	5,51	7,31	5,29	7,03	7,37	6,95	5,27	2,78	1,4
B	4,49	5,88	7,68	6,9	8,90	8,22	7,31	5,08	2,63	1,6
C	4,12	5,51	7,31	5,29	7,55	7,01	6,55	5,27	5,93	1,9
D	1,63	3,02	4,82	4,58	6,22	5,15	6,79	5,62	8,05	2,78
E	1,69	3,08	4,88	5,85	6,69	7,55	7,83	7,5	5,33	3,59
F	1,56	2,95	4,75	5,89	7,76	8,22	7,78	7,33	5,78	3,25

Tabella 3.9 : valori di illuminamento verticale rilevati con lampada a metà potenza

Il pedone verrà illuminato nel seguente modo:

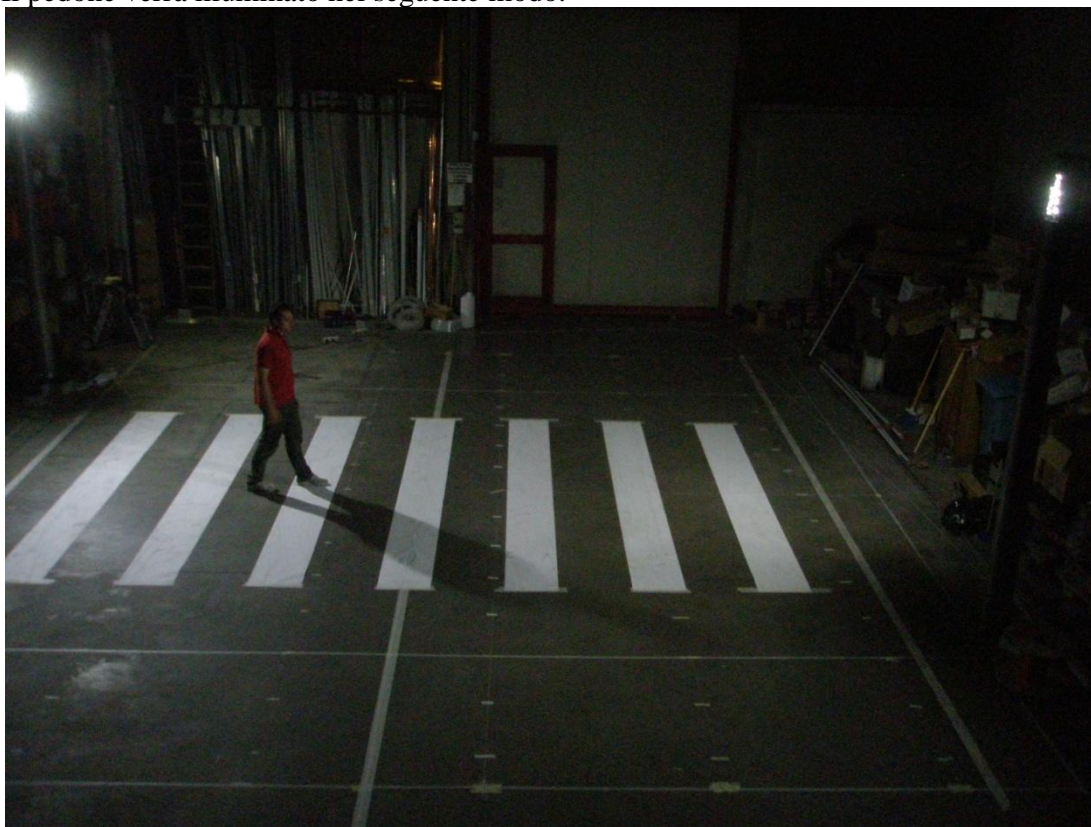


Figura 3.26: foto del passaggio pedonale illuminato a metà potenza

Dai valori misurati possiamo ricavare:

- L'illuminamento minimo orizzontale con valore di:  $E_{\min}=4,70$  lx
- L'illuminamento medio orizzontale con valore di:  $E_{\text{medio}}=7,244$  lx
- L'illuminamento verticale minimo con valore di:  $E_{v_{\min}}=1,40$  lx
- L'illuminamento verticale medio con valore di:  $E_{v_{\text{medio}}}=5,43$  lx

Mentre per quanto riguarda l'uniformità definita come il rapporto tra l'illuminamento minimo e quello medio avremo:

- Uniformità orizzontale  $U_o=0,6$ ;
- Uniformità verticale  $U_v= 0,3$ ;

Come si può vedere i dati ricavati sono al di sotto della norma per quanto riguarda l'illuminazione della categoria della strada in esame.

Tuttavia il passaggio pedonale in questo modo funziona solo nel caso in cui nessuna persona debba attraversare la strada.

Infatti il funzionamento del sistema prevede che nel momento in cui un pedone si appresta ad attraversare il passaggio pedonale, la sua presenza venga segnalata da un sensore ad infrarosso posto al di sopra della lampada. Quest'ultimo attiva un contatto temporizzato che per cinque minuti fa funzionare le due lampade poste sui pali a piena potenza (tutti i led vengono fatti funzionare a piena potenza), il consumo sale quindi a 60W per palo. Tale funzionamento permette di illuminare il pedone in modo più netto e chiaro come è possibile vedere dalla figura 3.

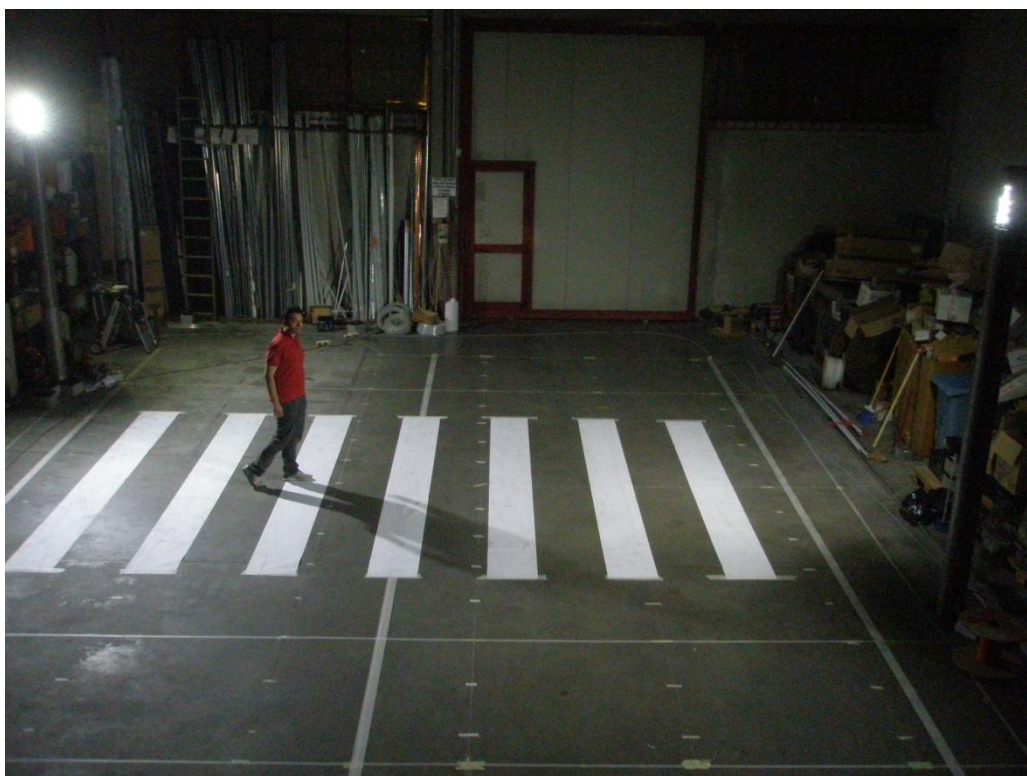


Figura 3.27 :foto passaggio pedonale illuminato a piena potenza

In questo caso i valori di illuminamento orizzontale rilevati sono più alti rispetto a quelli rilevati nella prova a metà potenza. La tabella 3.10 riassume i valori rilevati per quanto riguarda l'illuminamento orizzontale.

Alimentazione lampade a piena potenza														
	Reticolo aggiuntivo		Reticolo principale										Reticolo aggiuntivo	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	8,02	8,86	9,01	10,74	11,37	12,31	12,28	14,05	14,03	12,84	6,28	7,81	7,37	7,12
B	7,12	7,83	8,88	9,97	11,44	12,61	13,67	13,87	13,87	13,09	11,83	10,99	9,81	8,27
C	8,26	8,85	9,63	10,34	10,96	11,64	12,08	12,44	12,17	12,17	10,98	10,20	9,14	7,88
D	10,39	5,22	11,98	12,41	12,24	13,22	13,45	12,86	12,41	12,41	10,61	9,03	9,82	8,88
E	7,01	10,06	11,14	13,84	15,12	14,38	15,70	16,67	16,95	16,95	11,99	10,33	9,16	8,06
F	7,86	8,57	8,95	5,06	9,05	13,11	15,35	15,62	16,28	16,28	11,57	9,67	8,28	7,02

Tabella 3.10 : Valori di illuminamento orizzontale rilevati con lampada alimentata a piena potenza

Mentre per quanto riguarda l'illuminamento verticale sono stati ricavati i valori con la stessa modalità utilizzata nella prova a metà potenza, raccogliendo i dati rilevati nella tabella 3.11:

Illuminamento verticale alimentazione lampade a piena potenza											
	Reticolo principale										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	8,26	9,65	11,45	13,02	13,45	14,66	13,99	14,83	6,78	3,05	
B	9,22	10,61	12,41	13,46	14,56	13,22	11,52	10,52	5,63	3,06	
C	8,1	9,49	11,29	10,24	11,66	10,69	9,44	8,27	5,93	3,12	
D	3,57	4,96	6,76	7,8	8,05	7,45	7,22	7,05	8,05	9,09	
E	3,67	5,06	6,86	12,66	13,66	14,55	15,83	15,01	12,33	10,07	
F	3,32	4,71	6,51	11,93	12,76	13,22	14,78	14,65	10,88	8,94	

Tabella 3.11 : valori di illuminamento verticale rilevati con lampada a piena potenza

In questo caso i valori di illuminamento rilevati all'interno del reticolo sono:

- L'illuminamento orizzontale minimo con valore di:  $E_{\min} = 5,06 \text{ lx}$
- L'illuminamento orizzontale medio con valore di:  $E_{\text{medio}} = 11,04 \text{ lx}$
- L'illuminamento verticale minimo con valore di:  $E_{V_{\min}} = 3,05 \text{ lx}$
- L'illuminamento verticale medio con valore di:  $E_{V_{\text{medio}}} = 9,72 \text{ lx}$

Mentre per quanto riguarda l'uniformità definita come il rapporto tra l'illuminamento minimo e quello medio avremo:

- Uniformità orizzontale  $U_o = 0,5$ ;
- Uniformità verticale  $U_v = 0,3$ ;

Anche in questo caso come indicato nelle tabelle 3.10 e 3.11 si rilevano valori al di sotto di quelli imposti dalla norma ai margini dell'attraversamento pedonale, mentre al centro delle carreggiate i valori risultano essere sufficienti a rispettare la norma per quanto riguarda la strada con la categoria illuminotecnica presa in considerazione.

La situazione cioè è analoga a quella che trovata durante la simulazione con il programma Calculux®. Infatti allo stesso modo è stato considerato più importante soddisfare i valori di illuminamento sulle carreggiate rispetto a quelli sul marciapiede. Durante la misurazione dei vari parametri è emerso un particolare che durante la simulazione non è stato rilevato. Nei punti nei pressi del palo l'illuminamento orizzontale ha un brusco calo.

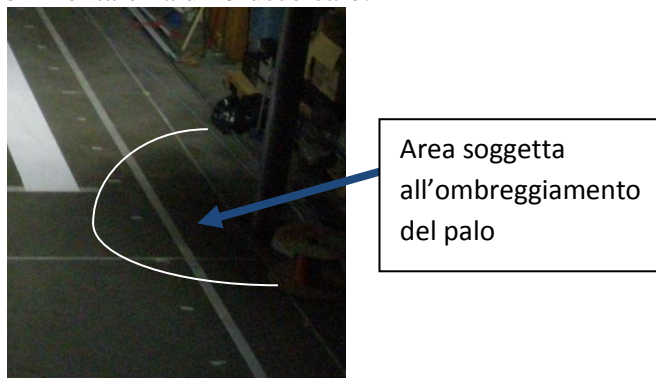


Figura 3.28 : ombreggiamento palo

Questo fenomeno visibile nella figura 3.28 è causato dall'ombreggiamento del palo verso la lampada e viene visto come un cono d'ombra, questo non pregiudica la visione da parte dei veicoli del pedone sulla carreggiata tuttavia incide in modo rilevante sull'uniformità della luce.

Rispetto ai valori rilevati con il simulatore, quelli misurati nella realizzazione pratica risultano più bassi. Tuttavia l'uniformità rilevata nel reticolo principale è nettamente superiore rispetto a quella ottenuta con il programma di calcolo.

Si può notare come anche nel caso reale al centro della carreggiata il valore di illuminamento orizzontale sia leggermente minore rispetto all'illuminamento rilevato al centro di ogni corsia, abbassando così di fatto l'illuminamento medio dell'intera carreggiata. Questo fenomeno non è causato da un scorretto orientamento dei fari ma è dovuto dal piccolo angolo in cui è concentrata la luce del faro. Probabilmente aumentando l'angolo di apertura del faro si ottiene un fascio più ampio e la possibilità di illuminare una zona più grande.

Per quanto riguarda i marciapiedi, sono state fatte delle misurazioni su di essi in modo da poter confrontare i dati elaborati nella simulazione con quelli reali. Anche in questo caso si sono rilevati valori di illuminamento più bassi di quello imposto dalla norma sia relativo all'illuminamento orizzontale sia a quello verticale come si può vedere dalla tabella 3.12.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>MD</b>	8,54	10,74	11,37	13,65	10,47	10,72	13,03	10,84	6,28	4,63	Illuminamento orizzontale marciapiede piena potenza
<b>MS</b>	8,95	3,06	2,05	4,11	8,76	15,85	15,03	15,98	11,57	10,67	
<b>MD</b>	7,26	8,65	9,45	11,02	11,45	14,66	11,40	10,83	5,78	2,05	Illuminamento verticale marciapiede piena potenza
<b>MS</b>	4,32	2,71	5,51	13,93	13,76	11,22	16,78	14,65	10,88	8,94	
<b>MD</b>	4,27	5,37	5,69	6,83	5,24	5,36	6,52	5,42	3,14	2,32	Illuminamento orizzontale marciapiede metà potenza
<b>MS</b>	4,475	1,53	1,03	2,06	4,38	7,93	7,52	7,99	5,79	5,34	
<b>MD</b>	3,63	4,325	4,73	5,51	5,73	7,33	5,7	5,42	2,89	1,03	Illuminamento verticale marciapiede metà potenza
<b>MS</b>	2,16	1,355	2,76	6,97	6,88	5,61	8,39	7,33	5,44	4,47	

Tabella 3.12: valori di illuminamento orizzontale e verticale rilevati sui marciapiedi



### 3.4 Possibili sviluppi futuri di progetto



Il progetto che è stato realizzato e presentato in questa tesi rappresenta una parte di un progetto più articolato. Uno dei possibili sviluppi è quello di realizzare un impianto di illuminazione pedonale con alimentazione da pannelli fotovoltaici. Nella figura 3. Viene proposto un esempio di realizzazione.

Come si può vedere dalla figura, i pannelli fotovoltaici sono stati posti a forma di esagono attorno al palo.

Al di sopra dell'esagono è posto un'ulteriore pannello anch'esso di silicio amorfo di forma quadrata.

Vengono utilizzati pannelli di questo tipo principalmente per i seguenti motivi:

- Il silicio amorfo ha buone prestazioni anche in caso di luce diffuso;
- la disposizione dei pannelli in verticale non permette l'uso di pannelli mono o poly cristallino in quanto

il loro rendimento sarebbe troppo basso rispetto alla loro potenza nominale;

L'utilizzo di più pannelli rispetto alla soluzione con singolo pannello è data dal fatto che un pannello di pari potenza ha dimensioni molto più ingombranti infatti si trovano in commercio pannelli di dimensioni 195 cm di altezza e 99 cm di larghezza. Oltretutto questi pannelli come detto prima devono avere un'inclinazione di 30° per avere una buona efficienza.

L'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici servirà a fornire la ricarica ad una batteria da 24V la quale alimenterà la lampada posta sullo stesso palo.

Per quanto riguarda poi la capacità della batteria al fine del suo dimensionamento è stato ipotizzato che il singolo palo nella situazione peggiore considerando 12 ore di funzionamento continue di cui dieci a metà potenza e due ore di funzionamento a piena potenza con un consumo complessivo di 420W/giorno. Dovrà quindi essere dimensionata la batteria in modo tale da poter sostenere questo fabbisogno energetico. Infine per rendere totalmente indipendenti i pali, si è pensato come possibile sviluppo una comunicazione wireless tra i due, in questo modo, possono essere montate due centraline di controllo della potenza dei pali (passaggio da metà a piena potenza) indipendenti e

Oltre all'illuminazione di attraversamenti pedonali, verranno sviluppati sistemi analoghi di illuminazione da porre nei pressi di vari luoghi come fermate dell'autobus, nei quali possono essere messi anche dei piccoli monitor per dare delle informazioni sugli orari, possono essere utilizzati per illuminare anche zone di ricarica dei veicoli elettrici, e tutti quei luoghi dove è necessario avere una buona illuminazione nelle ore notturne.

Una ulteriore aggiunta che si potrebbe fare al sistema di illuminazione appena esposta è l'inserimento delle lanterne semaforiche per la regolazione del traffico e quindi per un'ulteriore sicurezza del passaggio pedonale. In questo caso però è necessario valutare come evitare che le lanterne semaforiche incidano sulle prestazioni illuminotecniche della lampada a causa di ombreggiamenti creati da esse

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED

## **4 Conclusioni**

La simulazione e la realizzazione pratica di questa tipologia di illuminazione ha mostrato le potenzialità che hanno i led nel risparmio energetico e nella illuminazione delle strade. I valori rilevati sono comunque da ritenersi sperimentali, infatti sono stati ottenuti mediante strumentazione non accreditata da enti regolati e soprattutto non sono stati provati direttamente nei luoghi di destinazione d'uso.

I valori che sono stati rilevati praticamente sono minori rispetto alla simulazione che è stata fatta con il programma Calculux<sup>®</sup> le cause di questa diversità possono essere:

- diversa tipologia di lampada;
- diverso coefficiente di riflessione della pavimentazione;

L'aumento del coefficiente di uniformità nel progetto esecutivo rispetto alla simulazione può essere causato dalla riflessione delle pareti del fabbricato all'interno del quale sono state condotte le misure.

Tuttavia sia i risultati della simulazione che i risultati pratici hanno dato un riscontro positivo per continuare lo sviluppo di questa tipologia di illuminazione. Le possibili soluzioni che si potrebbero adottare per portare migliorie al progetto potrebbero essere:

- una riduzione dell'altezza della lampada, infatti l'illuminamento decresce con il quadrato dell'altezza di illuminazione della lampada, questo vuol dire che una lampada più bassa permette di avere valori di illuminamento più elevati;
- l'utilizzo di led più potenti, tuttavia come detto all'inizio del capitolo 3 questi sono ancora economicamente svantaggiosi rispetto ai led utilizzati.
- Utilizzare led con angoli di luce maggiori, infatti come è stato possibile vedere dalle curve fotometriche i led utilizzati hanno un'apertura di 30°, l'utilizzo di aperture più grandi potrebbe permettere la copertura di superfici più elevate da parte di un singolo LED.

In questa tesi non sono stati considerati i dati relativi al risparmio energetico che i led permettono di avere rispetto ad un'illuminazione tradizionale. Questo a causa dell'elevato numero di ore che il test deve funzionare per avere un minimo di dati rilevanti, pertanto si è limitato presentare i risultati illuminotecnici del progetto, anch'essi dati sperimentali ma confrontabili con la simulazione attraverso l'elaboratore. Si può affermare concludendo che il progetto si prospetta che abbia un ridotto assorbimento di energia elettrica rispetto agli altri sistemi con lampade tradizionali. Lo sviluppo del sistema alimentato da fonte rinnovabile quindi risulta essere vantaggiosa in strade extraurbane o su strade dove il collegamento elettrico alla rete può risultare difficoltoso o non eseguibile. Altresì risulta vantaggioso per le instalzioni a carattere provvisorio.

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED



**Allegati:**

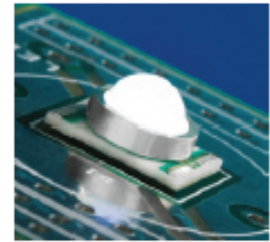
Allegato 1: Caratteristiche principali LED



**Cree® XLamp® XR-E LED  
Data Sheet**

The XLamp XR-E LED is leading the LED lighting revolution with its unprecedented lighting-class brightness, efficacy, lifetime and quality of light. These lighting-class features enable the XLamp XR-E LED to replace many traditional light sources and save money with energy-efficient light and long lifetimes.

Cree XLamp LEDs bring high performance and quality of light to a wide range of lighting applications, including color-changing lighting, portable and personal lighting, outdoor lighting, indoor directional lighting, commercial lighting and emergency-vehicle lighting.



**FEATURES**

- Guaranteed minimum flux order codes up to 107 lm in white, 30.6 lm in blue and 67.2 lm in green at 350 mA
- Available in white (2,600 K to 10,000 K CCT), blue, royal blue and green
- Maximum drive current: up to 1000 mA
- Industry's lowest thermal resistance: 8°C/W
- Max junction temperature: 150°C
- Industry-leading JEDEC standard pre-qualification testing
- Reflow solderable – JEDEC J-STD-020C compatible
- Electrically neutral thermal path
- RoHS-compliant
- Lumen maintenance of greater than 70% after 50,000 hours

**Table of Contents**

Flux Characteristics ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ) - White .....	2
Flux Characteristics ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ) - Color .....	3
Characteristics .....	4
Relative Spectral Power Distribution .....	5
Relative Flux vs. Junction Temperature ( $I_f = 350\text{ mA}$ ).....	6
Electrical Characteristics ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ).....	7
Thermal Design .....	7
Relative Flux vs. Current ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ ) .....	8
Typical Spatial Distribution .....	8
Reflow Soldering Characteristics .....	9
Notes .....	10
Mechanical Dimensions ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) .....	11
Tape and Reel .....	12
Dry Packaging and Packaging .....	13

Data Sheet: CLD-DS-05.011

Subject to change without notice.  
www.cree.com/xlamp

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia LED



**Characteristics**

Characteristics	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Thermal Resistance, junction to solder point	°C/W		8	
Viewing Angle (FWHM) - white	degrees		90	
Viewing Angle (FWHM) - royal blue, blue, green	degrees		100	
Temperature coefficient of voltage - white, royal blue, blue, green	mV/°C		-4.0	
ESD Classification (HBM per Mil-Std-883C)			Class 2	
DC Forward Current - white ≥ 5000 K, royal blue, blue	mA			1000
DC Forward Current - white < 5000 K, green	mA			700
DC Pulse Current (@ 1 kHz, 10% duty cycle)	A			1.8
Reverse Voltage	V			5
Forward Voltage (@ 350 mA)	V		3.3	3.9
Forward Voltage (@ 700 mA)	V		3.5	
Forward Voltage (@ 1000 mA) - white ≥ 5000 K, royal blue, blue	V		3.7	
LED Junction Temperature*	°C			150

\* Note: For lumen maintenance data, see the Cree XLamp LED Reliability document.

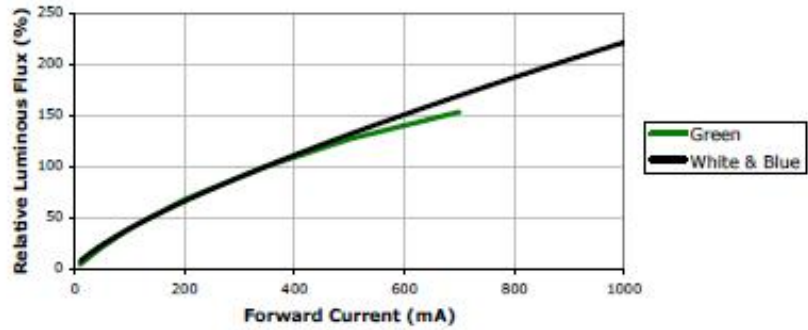
Copyright © 2006–2009 Cree, Inc. All rights reserved. The information in this document is subject to change without notice. Cree, the Cree logo and XLamp are registered trademarks of Cree, Inc.

4 CLD-DS05.011

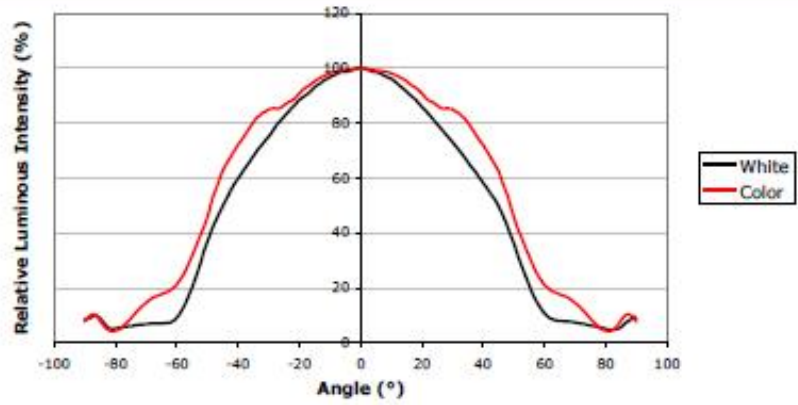
Cree, Inc.  
4600 Silicon Drive  
Durham, NC 27703  
USA Tel: +1.919.313.3300  
www.cree.com/xlamp



### Relative Flux vs. Current ( $T_j = 25^\circ\text{C}$ )



### Typical Spatial Distribution





**Notes**

Lumen Maintenance Projections

Based on internal long-term reliability testing, Cree projects that white XLamp XR-E LEDs will deliver median 70% lumen maintenance after 50,000 hours of operation at a forward current of 700 mA. This projection is based on constant current operation with junction temperature maintained at or below 135°C and ambient air temperature maintained at or below 25°C.

Cree projects royal blue, blue, green and white XLamp XR-E LEDs to maintain a mean 70% lumen maintenance after 50,000 hours, provided the LED junction temperature is maintained at or below 90°C and ambient air temperature is maintained at or below 85°C.

Please read the XLamp Reliability application note for more details on Cree’s lumen maintenance testing and forecasting. Please read the XLamp Thermal Management application note for details on how thermal design, ambient temperature, and drive current affect the LED junction temperature.

Moisture Sensitivity

XLamp LEDs are shipped in sealed, moisture-barrier bags (MBB) designed for long shelf life. If XLamp LEDs are exposed to moist environments after opening the MBB packaging but before soldering, damage to the LED may occur during the soldering operation. The following derating table defines the maximum exposure time (in days) for an XLamp LED in the listed humidity and temperature conditions. LEDs with exposure time longer than the time specified below must be baked according to the baking conditions listed at right.

Temp.	Maximum Percent Relative Humidity						
	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
30°C	9	5	4	3	1	1	1
25°C	12	7	5	4	2	1	1
20°C	17	9	7	6	2	2	1

Baking Conditions

It is not necessary to bake all XLamp LEDs. Only the LEDs that meet all of the following criteria must be baked:

1. LEDs that have been removed from the original MBB packaging
2. LEDs that have been exposed to a humid environment longer than listed in the Moisture Sensitivity section above
3. LEDs that have not been soldered

LEDs should be baked at 80°C for 24 hours. LEDs may be baked on the original reels. Remove LEDs from MBB packaging before baking. Do not bake parts at temperatures higher than 80°C. This baking operation resets the exposure time as defined in the Moisture Sensitivity section above.

Storage Conditions

XLamp LEDs that have been removed from original MBB packaging but not soldered yet should be stored in a room or cabinet that will maintain an atmosphere of 25 ± 5°C and no greater than 10% RH (relative humidity). For LEDs stored in these conditions, storage time does not add to exposure time as defined in the Moisture Sensitivity section above.

RoHS Compliance

The levels of environmentally sensitive, persistent biologically toxic (PBT), persistent organic pollutants (POP), or otherwise restricted materials in this product are below the maximum concentration values (also referred to as the threshold limits) permitted for such substances, or are used in an exempted application, in accordance with EU Directive 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS), as amended through April 21, 2006.

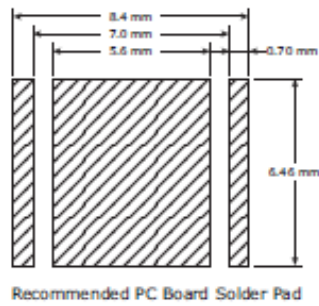
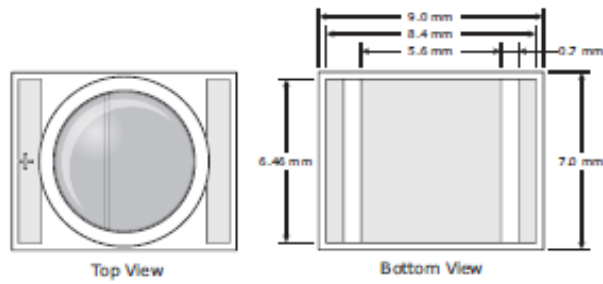
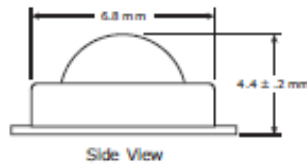
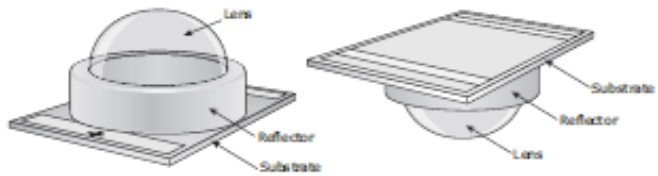
Vision Advisory Claim

Users should be cautioned not to stare at the light of this LED product. The bright light can damage the eye.



**Mechanical Dimensions ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )**

All measurements are  $\pm 0.1\text{mm}$  unless otherwise indicated.



Copyright © 2006–2009 Cree, Inc. All rights reserved. The information in this document is subject to change without notice. Cree, the Cree logo and XLamp are registered trademarks of Cree, Inc.

11 CLD-DS05.011

Cree, Inc.  
4600 Silicon Drive  
Durham, NC 27703  
USA Tel: +1.919.313.3300  
www.cree.com/xlamp

Allegato 2: Caratteristiche elettriche Luxmetro utilizzato per le misure

**2-2 Electrical Specifications (23 ± 5 °C)**

Unit	Range	In-range Display	Resolution
Lux	40.00 Lux	0 to 40.00 Lux	0.01 Lux
	400.0 Lux	36.0 to 400.0 Lux	0.1 Lux
	4,000 Lux	360 to 4,000 Lux	1 Lux
	40,000 Lux	3,600 to 40,000 Lux	10 Lux
	400,000 Lux	10,000 to 400,000 Lux	100 Lux
Foot-candle ( Ft-cd )	4.000 Fc	0 to 3.720 Fc	0.001 Fc
	40.00 Fc	3.35 to 37.20 Fc	0.01 Fc
	400.0 Fc	33.5 to 372.0 Fc	0.1 Fc
	4,000 Fc	335 to 3,720 Fc	1 Fc
	40,000 Fc	930 to 37,200 Fc	10 Fc
<i>Foot-candle = Ft-cd = Fc</i>			

Unit	Range	Accuracy
Lux	40.00 Lux	± ( 3% rdg + 0.5 % F.S. )
	400.0 Lux	
	4,000 Lux	
	40,000 Lux	
	400,000 Lux	
Foot-candle ( Fc )	4.000 Fc	± ( 3% rdg + 0.5 % F.S. )
	40.00 Fc	
	400.0 Fc	
	4,000 Fc	
	40,000 Fc	
		< 100,000 Lux : ± ( 3% rdg + 0.5 % F.S. ) ≥ 100,000 Lux : <i>@ for reference only</i>
		< 9,300 Fc : ± ( 3% rdg + 0.5 % F.S. ) ≥ 9,300 Fc : <i>@ for reference only</i>

*Note : Accuracy tested by a standard parallel light tungsten lamp of 2856 °K temperature.*

### Allegato 3 Tabella riassuntiva rilievi illuminotecnici per la determinazione delle curve fotometriche

Tabella riassuntiva rilievi illuminotecnici						
	Led singolo media potenza	Led singolo piena potenza	Lampada completa orizzontale metà potenza	Lampada completa orizzontale piena potenza	Lampada completa verticale metà potenza	Lampada completa verticale piena potenza
Angolo	Valore letto [Lx]	Valore letto [Lx]	Valore letto [Lx]	Valore letto [Lx]	Valore letto [Lx]	Valore letto [Lx]
180	0,1	0,2	8,58	16,04	16,89	29,91
175	0,1	0,33	12,78	23,41	18,06	32,01
170	0,3	0,71	14,84	27,51	16,93	35,87
165	0,7	1,58	19,66	36,51	38,69	34,44
160	1,21	2,49	23,94	68,8	62,2	147,9
155	1,66	3,65	27,25	77,4	78,6	172
150	4,33	8,73	32,85	82	88,9	201,7
145	6,01	12,74	39,01	80,9	106,3	253
140	7,28	12,38	41,7	78,7	127,9	257,1
135	9,73	27,03	44,2	76,2	129,8	249,5
130	22,65	59	45,4	70,4	124,7	232,8
125	34,87	79,5	46,3	61,6	116,8	219,8
120	37,6	91,4	43,3	52,2	109,2	201,4
115	46,2	103,6	37,7	41,8	98,1	179
110	51,4	112,3	37,2	37,4	90,5	157,2
105	57,8	119,1	33,12	32,96	74,6	126,3
100	60,5	135,6	33,59	34,48	60,4	118,9
95	66	155,9	35,34	33,93	45,5	96,5
90	73,9	165,3	35,25	35,66	31,56	58,7
85	90,1	169	37,3	38,1	21,19	34,34
80	91,8	165,2	35,74	36,06	15,89	25,57
70	83,8	127,9	29,98	33,74	7,32	14,9
65	74,9	116,6	27,03	32,48	5,48	8,69
60	67,2	101,9	27,05	31,59	3,8	6,07
55	61,7	93,3	25,1	31,26	2,48	3,98
50	53	80,4	22,98	28,21	1,74	3,22
45	48,7	50,9	20,57	26,1	1,45	3,06
40	37,3	25,99	16,83	22,81	1,37	2,84
35	16,27	13,32	15,41	20,26	1,29	2,81
30	8,01	8,1	14,45	19,7	1,29	2,61
25	4,65	11,34	13,35	19,68	1,2	2,35
20	6,63	5,19	11,39	18,03	1,03	2,07
15	2,8	2,12	10,9	16,08	0,9	1,69
10	1,15	1,39	10,17	13,09	0,69	1,41
5	0,42	0,43	8,84	9,01	0,55	0,85
0	0,08	0,2	7,08	8,46	0,18	0,36

Progettazione e realizzazione di un sistema di illuminazione di un passaggio pedonale con tecnologia  
LED



## **Ringraziamenti**

Desidero innanzitutto ringraziare il Professor Pietro Fiorentin per avermi fatto da relatore per la presente tesi . Inoltre, ringrazio sentitamente mio zio Valter che è stato sempre disponibili a dirimere i miei dubbi durante la stesura di questo lavoro e che ha dato un fondamentale aiuto per la realizzazione di questo progetto. Intendo poi ringraziare l'Elettroindustriale Andreola srl, e tutti i dipendenti per avermi fornito testi e dati indispensabili per la realizzazione della tesi e sostegno in tutti questi anni universitari. Inoltre, vorrei esprimere la mia sincera gratitudine ai miei compagni di corso, in particolare Francesco per i numerosi consigli durante la preparazione degli esami. Infine, ho desiderio di ringraziare con affetto i miei amici Alessandro, Enrico, Matteo, Andrea e Luca, i miei familiari, i miei genitori Oscar ed Edvige e mia sorella Vania per il sostegno ed il grande aiuto che mi hanno dato durante tutta la mia carriera universitaria ed in particolare la mia fidanzata Jessica per essermi stata vicino ogni momento durante questi ultimi tre anni di carriera universitaria.

### **Bibliografia:**

[1]; [9]; [11]; [15]:

[www.thornlighting.it/download/Article\\_IVS\\_Benussi\\_Perito2011\\_ita.pdf](http://www.thornlighting.it/download/Article_IVS_Benussi_Perito2011_ita.pdf)

Andrea Benussi "UN'ILLUMINAZIONE AD HOC PER METTERE UN FRENO ALLE MORTI SULLE STRISCE PEDONALI" febbraio 2011;

[2]; [3]; [4]: ACI "Linee Guida Attraversamenti Pedonali" Novembre 2011;

[5]; [6]; [7]; [8]: Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285 "Nuovo Codice della Strada" e successive modifiche e integrazioni (in particolare Decreto Legislativo 10 settembre 1993 n. 360);

[10]; [12]; [14]: UNI EN11248:2012 Road lighting selection of lighting classes;

[13]: 13201-2:2004 Road lighting Part 2: Performance requirements;

