



Ricerca di Sistema elettrico

# Advance LED Lighting Design: Relazione tecnica Attività B.1, Ricerca e sviluppo progetto PLUS ME

M. Rossi, D. Casciani, F. Musante

ADVANCE LED LIGHTING DESIGN: RELAZIONE TECNICA ATTIVITÀ B.1, RICERCA E SVILUPPO PROGETTO PLUS ME

M. Rossi, D. Casciani, F. Musante (Politecnico di Milano)

Maggio 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

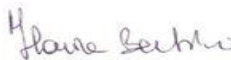
Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

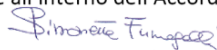
Progetto C1 "Risparmio di energia nei settori: industria, servizi e civile"

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Advanced LED Lighting Design"

Responsabile scientifico ENEA: Simonetta Fumagalli



Responsabile scientifico per il Politecnico di Milano: prof. Maurizio Rossi



## Indice

SOMMARIO.....	4
1 Introduzione .....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE E RISULTATI	
2.1 PLUS ME   Realizzazione del prototipo .....	5
2.1.1 Prototipo PLUS ME   Overview del modulo e del sistema modulare .....	5
2.2 Prototipo PLUS ME   Descrizione componenti del prototipo modulare.....	6
2.2.1 Prototipo PLUS ME   LED .....	6
2.2.2 Prototipo PLUS ME   Lenti Secondarie .....	6
2.2.3 Prototipo PLUS ME   PCB .....	7
2.2.4 Prototipo PLUS ME  Coppa sagomata .....	7
2.2.5 Prototipo PLUS ME  Supporto di sostegno e dissipazione .....	7
2.2.6 Prototipo PLUS ME   Sistema di alimentazione suggerito .....	8
2.2.7 Prototipo PLUS ME   Selezione del LED .....	9
2.2.8 Prototipo PLUS ME   Modulo con temperature di colore variabili .....	9
2.2.9 Prototipo PLUS ME   Modalità di dissipazione .....	12
2.2.10 Prototipo PLUS ME   Aumento delle prestazioni vs protezione .....	13
3 CONCLUSIONI .....	14
Prototipo PLUS ME   Lista degli allegati .....	14
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	14
5 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI .....	14
Appendice – Curriculum gruppo di Lavoro .....	15

QUESTO DOCUMENTO CONTIENE ALLEGATI

## Sommario

Il documento revisiona alcuni aspetti del progetto del sistema modulare a LED chiamato PLUS ME realizzato nel 2012 in collaborazione tra ENEA e Politecnico di Milano. Vengono pertanto specificati:

- la selezione dei LED da utilizzare, aggiornata a Maggio 2013 (CREE XML selezione di flusso T6 con tonalità della luce 5700K);
- il modello della lente (in relazione al LED precedente);
- possibili alternative e ampliamenti nelle distribuzioni luminose che prevedono però la sostituzione del LED con un modello LUXEON M con CCT tipica di 5675K;
- le correnti di alimentazione sia per il modello di LED inizialmente previsto sia per quello proposto in alternativa;
- specificazione di una possibile interfaccia termica in sostituzione del grasso termo-conduttivo;
- possibili scenari di sperimentazione: temperature di colore differenti, decadimento del flusso luminoso derivato dalla deposizioni di polveri inquinanti sulla coppa.

In conclusione, vengono forniti in dettaglio i disegni tecnici e i modelli tridimensionali per la realizzazione del prototipo.

## Introduzione

In questa sezione viene descritto il Modulo Plus ME, progettato durante un'attività di ricerca precedente<sup>1</sup>, al fine di supportare a livello tecnico scientifico l'ENEA nella prototipazione industriale dello stesso. Vengono indicati elementi progettuali che sono stati revisionati rispetto al progetto precedente a causa della innovazione delle sorgenti di luce LED, eventuali possibili configurazioni del modulo utili per cercare di estenderne le funzionalità e i campi di applicazione inizialmente previsti. Sono inoltre contenuti alcuni suggerimenti relativi all'impiego del prototipo in successive attività di sperimentazione e misura.

## PLUS ME | Realizzazione del prototipo

### Prototipo PLUS ME | Overview del modulo e del sistema modulare

L'apparecchio modulare PLUS ME è stato ripensato e ridisegnato in maniera completamente nuova, sia nella concezione dell'intero sistema sia nella forma che le nuove sorgenti di illuminazione LED dovrebbero avere.

Il design del modulo e del sistema prevede la distinzione in più componenti o blocchi logici funzionali del sistema di illuminazione al fine di ottenere un sistema riconfigurabile, flessibile, facilmente mantenibile e con una forma funzionale nuova rispetto alla tradizione. Il processo di scomposizione e ricomposizione funzionale prende il nome di "design by components" [2] ed ha un duplice scopo: da un lato disegnare un oggetto più funzionale e più sostenibile perché composto da elementi facilmente disassemblabili e sostituibili separatamente (in base al loro ciclo di vita, all'evoluzione tecnologica e alle necessità di manutenzione); dall'altro determina un'estetica e una forma completamente autonomi rispetto al tradizionale apparecchio di illuminazione per esterni.

Il modulo PLUS ME è al contempo modulo ottico - termico - meccanico ed è stato progettato e pensato al fine di poter alloggiare diverse tecnologie a LED in continua evoluzione, in modo da prolungare la vita dell'apparecchio e del design dello stesso.

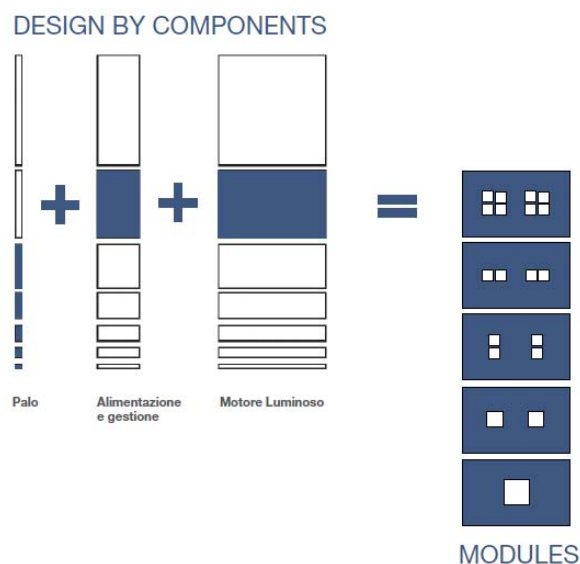


Figura 1 Schema del sistema modulare ispirato al Design by Components

<sup>1</sup> C.2 Ricerca progettuale PLUS ME Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico Piano Annuale di Realizzazione 2011 Progetto 3.2 [1]

Il modulo è stato implementato al fine di essere adatto ad illuminare una strada a traffico motorizzato. La principale applicazione del prodotto è all'interno dell'illuminazione urbana e questo porta ad escludere le strade classificate come A1 (autostrade extra-urbane) ed A2 (Strade di servizio alle autostrade) e le strade di tipo B,C,D,E.

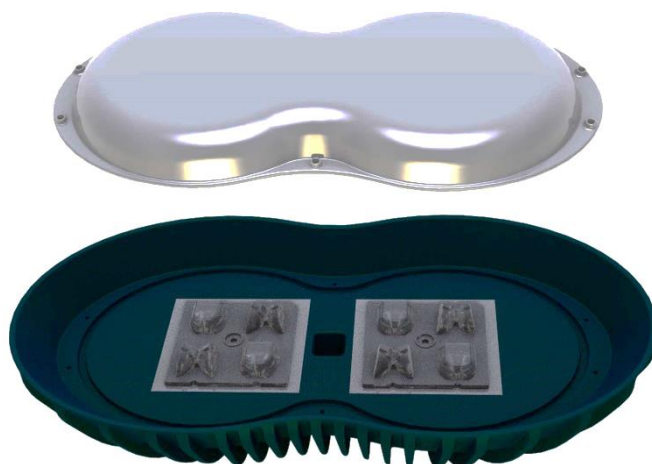
L'interesse di progetto e ricerca è focalizzato su un prodotto capace di rispondere alle esigenze delle strade classificate come F, che rappresentano il caso più frequente nell'illuminazione urbana: in particolare alle classi F1 ed F2, ovvero nello specifico strade locali extraurbane e urbane. Per questi tipi di strade, la categoria illuminotecnica più performante a cui dovrà rispondere il progetto sarà la classe ME3, mentre requisiti meno rigorosi saranno previsti per la categoria ME6<sup>2</sup>.

## Prototipo PLUS ME | Descrizione componenti del prototipo modulare

Il modulo PLUS ME è stato progettato al fine di essere un elemento autonomo, protetto dall'ingresso di polveri e acqua, termicamente dissipato, connesso con il sistema di alimentazione esterno. Inoltre si prevede che il modulo sia riconfigurabile in base alle esigenze sia rispetto ai LED (tipologia) che alle lenti. Le componenti significative rispetto al prototipo da realizzare sono descritte brevemente nei successivi paragrafi.

### Prototipo PLUS ME | LED

Il progetto del modulo prevede l'inserimento di 8 LED secondo uno schema di due gruppi da 4. Un modulo è caratterizzato da 8 LED CREE XM-L, selezione di flusso T6 con tonalità della luce 5700 K, alimentati alla corrente di 1.2 A, per una potenza assorbita pari a 3.51 W. Nello specifico del progetto, dunque, i LED presentano un flusso di 410 lumen con un'efficienza di 117 lm/watt ad una temperatura di giunzione di 70°C. La potenza complessiva di ciascun modulo risulta pari a 28.8 W (escluse le perdite del sistema di alimentazione).



**Figura 2** Disposizione delle lenti all'interno della fusione di alluminio che costituisce il dissipatore. Nella parte superiore dell'immagine la rappresentazione dello schermo di chiusura

### Prototipo PLUS ME | Lenti Secondarie

Le lenti selezionate per il modulo sono miste, altamente efficienti (oltre il 90%) utili ad applicazioni stradali con la possibilità di fornire diverse distribuzioni fotometriche combinandole in maniera opportuna per diverse condizioni di impiego. Il modulo è equipaggiato da 2 STRADA MODULE SERIES C12360\_STRADA-2X2-DNW della LEDIL specificatamente disegnate per LED CREE XM-L. Sono in materiale trasparente plastico PMMA stabile alla temperatura e alle radiazioni UV. Tali moduli sono stati inseriti distanziati nella

<sup>2</sup> Cfr. con norma UNI EN 131201-2 e UNI 11248:2012. Per la classificazione delle strade si faccia riferimenti al Decreto Legislativo 30 Aprile 1992, n° 285, "Nuovo Codice della Strada" e successive modifiche e integrazioni. [3, 4, 5]

configurazione finale in maniera tale da ridurre la reciproca ombreggiatura delle emissioni luminose delle singole lenti e quindi il decadimento delle prestazioni delle stesse. L'emissione luminosa delle ottiche è stato schermato opportunamente in modo da rispettare i limiti di abbagliamento (parametro TI%) e quelli relativi all'inquinamento luminoso che prevedono un'emissione inferiore a 0.50 cd/klm per angoli gamma superiori o uguali a 90°, rispetto alle verticale.

### *Prototipo PLUS ME | PCB*

I LED sono posizionati su un due PCB metalcore (MCPCB) di dimensioni ciascuno di 50x50x1.6mm con circuito appositamente serigrafato.

### *Prototipo PLUS ME | Coppa sagomata*

Il modulo è dotato di schermo curvo di chiusura in PMMA utile ad impedire il degrado delle performance luminose dovute all'insudiciamento delle superfici delle lenti per effetto dei fumi e del pulviscolo in massima parte prodotto dal traffico veicolare. Si tratta di un elemento in PMMA stampato ad iniezione che integra un bordo di posizionamento sulla base del dissipatore e una serie di fori per viti di fissaggio.

La forma definitiva dell'elemento deriva da un processo di simulazione del sistema ottico: da una forma della copertura completamente piana si è passati a successive coppe curve con differenti raggi di curvatura. Tramite simulazioni di ray-tracing di controllo e validazione è stata selezionata la coppa che mostra il migliore compromesso tra rendimento, la migliore performance impiantistica e il migliore fattore di utilizzazione.

L'elemento garantisce anche la protezione rispetto agli agenti atmosferici (acqua e polveri): grazie ad un indentatura utile al posizionamento e all'inserimento di un gel adesivo avviene la chiusura ermetica dei due pezzi. La coppa è giunta al supporto tramite 6 viti che permettono il fissaggio ottimale. La coppa superiore presenta un volume di circa 334 cm<sup>3</sup> e un peso di circa 175 gr.

### *Prototipo PLUS ME | Supporto di sostegno e dissipazione*

Il supporto è completamente realizzato in alluminio tramite pressofusione e post-lavorazioni come la fresatura che permette l'asportazione del materiale per determinare i dettagli più minuti (incavo per il PCB, indentature). L'alluminio è un materiale molto adatto alla dissipazione termica dell'intero modulo e completamente riciclabile a fine vita. La dissipazione termica è stata ottenuta, infatti, attraverso un opportuno studio di alettature che riescano a determinare temperature di funzionamento sulla giunzione del LED intorno ai 70°C. Il dissipatore inferiore presenta un volume di circa 167 cm<sup>3</sup> e un peso di circa 921 gr.

### *Prototipo PLUS ME | Aggancio*

Si tratta di un elemento utile alla connessione meccanica e al passaggio funzionale di cavi di alimentazione e controllo. Realizzato in acciaio prevede, al suo interno, l'alloggiamento di un passacavo in gomma di dimensioni standard utile sia al passaggio dei cavi di alimentazione e controllo sia al conseguimento del grado di protezione IP dell'intero apparecchio<sup>3</sup>. L'elemento viene fissato al supporto di alluminio attraverso due viti con una opportuna guarnizione di tenuta. Il disegno bidimensionale e il modello tridimensionale di questo elemento non sono stati forniti per il contenimento dei costi di prototipazione e dato che l'intero apparecchio non verrà realizzato in questa prima fase ma verrà invece realizzato il prototipo di un singolo modulo.

---

<sup>3</sup> Il modulo è stato progettato per raggiungere un grado di protezione IP 65. Questo è possibile solo quando tutti gli elementi sono inseriti (passacavo e sistema di fissaggio del modulo al corpo dell'apparecchio)

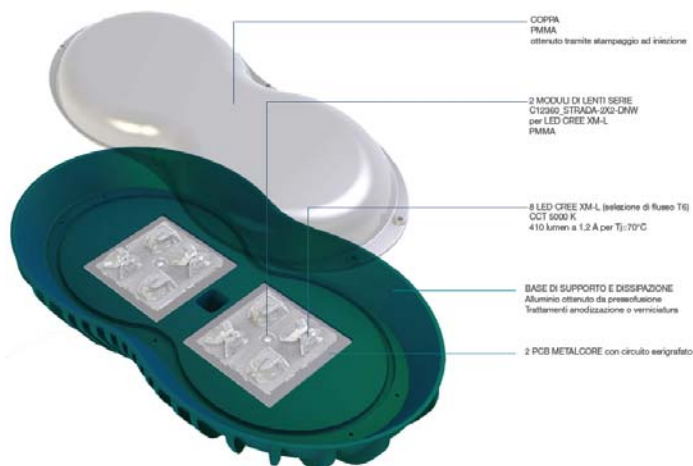


Figura 3 Visualizzazione dei componenti specifici di un singolo modulo

**Prototipo PLUS ME | Sistema di alimentazione suggerito**

Il sistema di alimentazione e controllo dei sistemi luminosi (2-3-4 moduli) è costituito da un singolo elemento che viene alloggiato all'interno dell'apparecchio di illuminazione ( e quindi non del modulo) e, nello specifico, nell'elemento che si raccorda al palo.

Anche in questo caso il dettaglio dell'elemento di connessione tra palo e modulo, non è stato fornito, dato che non verrà prototipato. Per il corretto dimensionamento elettrico dei moduli, si è identificato un sistema di alimentazione elettronica multicorrente (esempio: Alimentatore Street 150 dell'azienda Tci, [www.tci.it](http://www.tci.it)) in corrente continua per power LED, di cui si elencano le caratteristiche elettriche e dimensionali (Figura 4):

- Potenza : 135 Watt
- Tensione massima: 115 V out DC
- Corrente: 1200 mA cost.
- Dimensioni:
- L : 240 mm
- L1: 231 mm
- B : 60 mm
- B1: 46 mm
- H : 49
- Peso: 150 gr



Figura 4 Alimentatore utilizzato per la prototipazione . A sinistra i riferimenti per le dimensioni

**Prototipo PLUS ME| Modulo sperimentale**

Data la natura sperimentale con cui è stato concepito il progetto modulare dell'apparecchio PLUS ME, anche la realizzazione del prototipo del modulo può essere vista secondo uno scopo di ricerca sperimentale e test tale da validare, da un lato gli assunti progettuali sulle capacità di flessibilità del modulo stesso, ma anche le caratteristiche specifiche fotometriche e termiche derivate dalla simulazione ottica e termica. Per questo motivo, si propone, la realizzazione di un prototipo del modulo PLUS ME in grado di essere flessibile in termini di:



LED sia dal punto di vista di nuove selezioni più performanti grazie ai continui progressi tecnologici nel campo delle sorgenti sia da un punto di vista delle caratteristiche più qualitative come la temperatura correlata di colore (CCT) degli stessi;

LENTI SECONDARIE con diversa distribuzione fotometrica tale da adattarsi in maniera più specifica all'impiego stradale desiderato;

MODALITA' DI DISSIPAZIONE con l'utilizzo di diverse interfacce termiche tra MCPCB e dissipatore in alluminio;

PROTEZIONE rispetto agli agenti inquinanti e polveri sottili attraverso l'utilizzo della coppa di protezione e stima della riduzione del flusso luminoso emesso a seguito della deposizione di polveri e inquinanti; comparazione della stessa con il modulo privo di coppa schermante.

### *Prototipo PLUS ME | Selezione del LED*

Rispetto al periodo durante il quale il progetto PLUS ME è stato realizzato, selezioni più performanti rispetto a quelle disponibili al tempo sono state rilasciate sul mercato. Per questo motivo, rispetto alle indicazioni precedenti, una eventuale modifica potrebbe essere l'utilizzo di:

**8 LED CREE XM-L**, selezione di flusso T6 con tonalità della luce 5700 K, alimentati alla corrente di 1.2 A, per una potenza assorbita pari a 3.51 W e un flusso luminoso di 410 lumen (117 lm/w) alla temperatura di giunzione di 70°C.

Order code ANSI Cool White (5000K – 8300K): XMLAWT-00-0000-0000T60E2

In alternativa, performance migliori (7% circa) sono garantite dalla selezione di flusso U2 con tonalità della luce 5700K, alimentati alla corrente di 1.2 A, per una potenza assorbita pari a 3.51W e un flusso luminoso di 439.9 lumen (125.3lm/W) alla temperatura di giunzione di 70°C.

Order code ANSI Cool White (5000K – 8300K): XMLAWT-00-0000-0000U20E2

In entrambi i casi, l'indice di resa cromatica (CRI) tipico è di 65.

Diversamente, il modulo potrebbe essere equipaggiato da 4 LED con tecnologia diversa, inseriti sullo stesso supporto di dissipazione ma con PCB differenti. Tali 4 LED sono i LUXEON M order code LXR7 – SW57 – LXR7 – RW57 con le seguenti caratteristiche: CCT tipica 5665K, CRI minimo 70, flusso luminoso tipico 1000 lumen ad una temperatura di giunzione di 85°C alimentati alla corrente di 1.4A con una potenza assorbita di 31.36W (127,55lm/W). Questa sostituzione permette una diminuzione del quantitativo di componenti a parità di prestazione complessiva. Inoltre, tale modifica consente l'utilizzo di una nuova serie di ottiche secondarie free-form sviluppate per questo LED (vedi paragrafo successivo).

### *Prototipo PLUS ME | Modulo con temperature di colore variabili*

Si propone di realizzare il singolo modulo equipaggiandolo con diversi PCB con LED a temperature di colore (CCT) differenti. Per esempio si propone la realizzazione di tre PCB con LED a 3000K - 5000K - 6000K da montare alternativamente sullo stesso modulo. I tre dispositivi così ottenuti con diversa CCT potrebbero essere utilizzati per miscelare il colore della luce bianca secondo diverse temperature di colore nonché per utilizzare il prototipo per alcuni esperimenti percettivi sulla preferenza e la visibilità degli utenti rispetto a queste differenti tonalità di luce bianca in diversi contesti applicativi e con differenti utenti (pedoni vs automobilisti; utenti giovani vs utenti anziani).

### **Prototipo PLUS ME | Lenti Secondarie**

La flessibilità del modulo PLUS ME si estende anche alla possibilità di utilizzare diverse ottiche secondarie free-form che si adattino a diversi contesti di impiego dipendenti dalla configurazione della strada in cui vengano inseriti. In particolare, differenti modelli di ottiche secondarie saranno necessarie qualora vengano utilizzati LED LUXEON M. Sono attualmente disponibili due diverse fotometrie con distribuzione luminosa "stradale", la prima mostrata alla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (CIE semi\_cut off,

adatta per strade a traffico veicolare in cui l'interdistanza tra i centri è circa 6 volte l'altezza di installazione<sup>4</sup>, priva della necessità di inclinazione dell'apparecchio) e la seconda mostrata alla Figura 6, di tipo CIE cut-off, adatta a installazioni in cui la distanza tra i centri luminosi è circa 4 volte l'altezza dei centri luminosi.

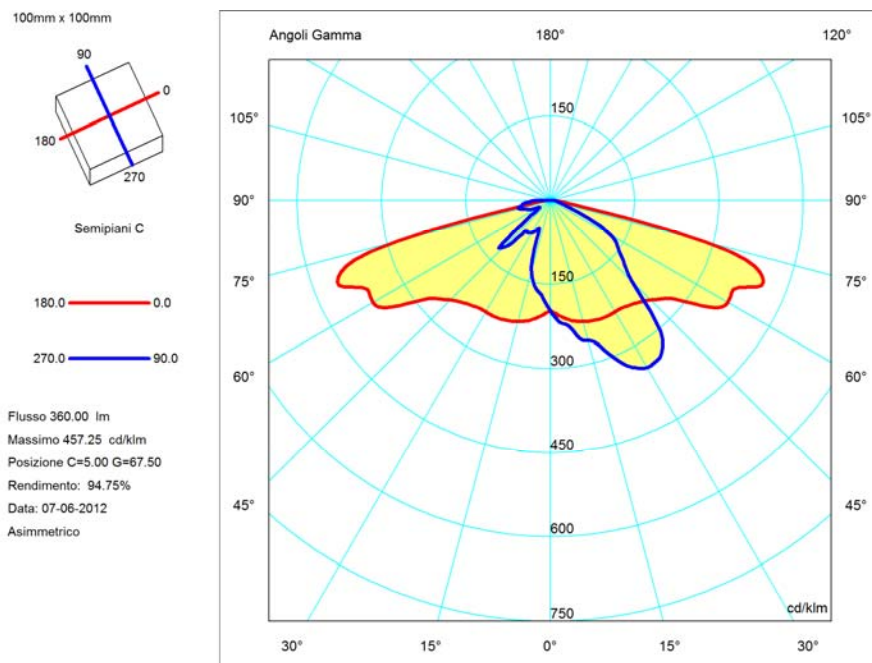


Figura 5 Distribuzione LEDIL STRADA-SQ-T-DWC per LUXEON M

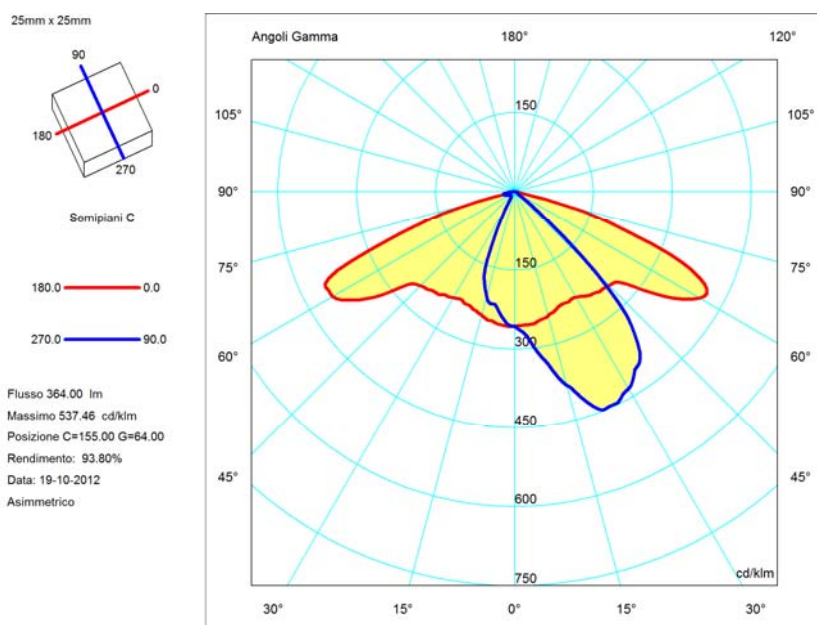
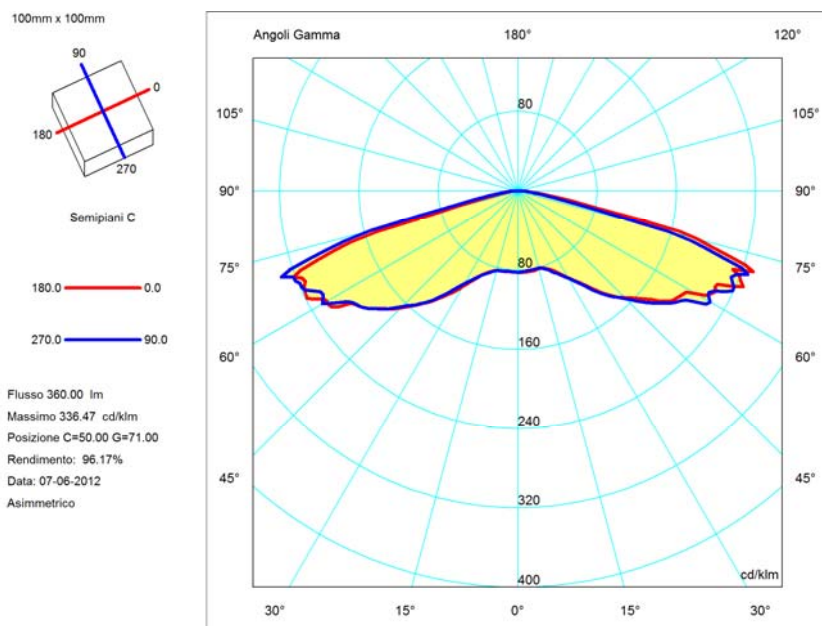


Figura 6 Distribuzione LEDIL STRADA-SQ-A-T per LUXEON M

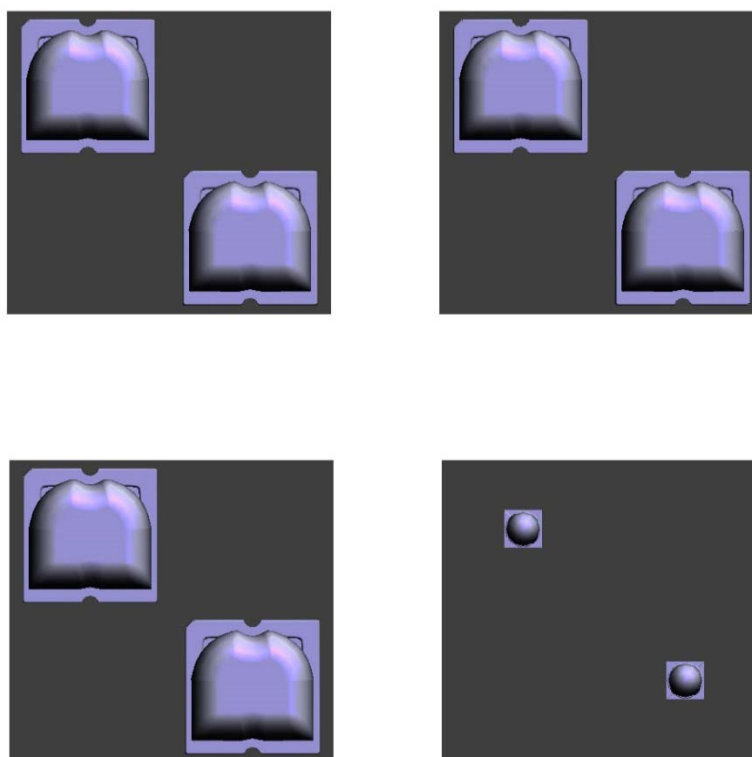
Sono anche disponibili lenti free-form con distribuzioni particolari, come quella illustrata alla Figura 7 destinata ad applicazioni differenti rispetto alla illuminazione stradale.

<sup>4</sup> Indicazione fornita dal costruttore della lente. Si osserva che la particolare distribuzione fotometrica potrebbe portare a valori del parametro TI al di fuori del limite previsto dalla norma UNI 11248. Questo dipenderà essenzialmente dall'angolo di schermatura introdotto dal supporto/dissipatore.



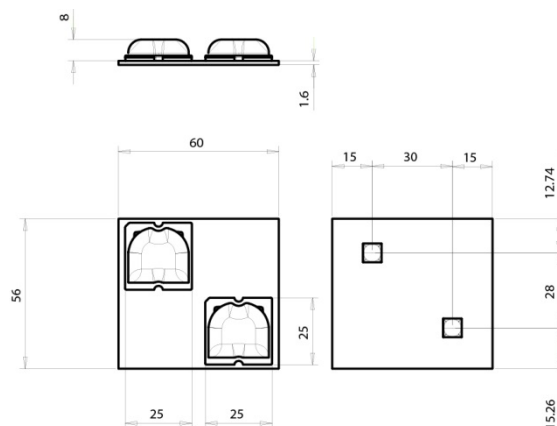
**Figura 7 Distribuzione rotosimmetrica per illuminazione di aree (es. parcheggi )**

La Figura 8<sup>5</sup>, mostra la disposizione sul PCB esistente delle nuove lenti con distribuzione fotometrica di tipo “stradale” per il LED Luxeon M. Come indicato nel paragrafo precedente, l’equivalenza in termini di flusso nominale tra le due versioni del modulo, è ottenuta mediante soli due LED, disposti, come mostrato in Figura 9. Nella parte inferiore della Figura 8 è mostrata la disposizione dei LED sul MCPCB.



**Figura 8 Disposizione lenti STRADA-SQ-T-DWC e dei LED sul MCPCB**

<sup>5</sup> La figura si riferisce alla lente STRADA-SQ-T-DWC



**Figura 9 Dimensioni e posizionamento dei LED e lenti sul MCPCB**

Il fissaggio delle lenti sul MCPCB<sup>6</sup> può avvenire secondo due differenti modalità a seconda della lente utilizzata:

- Mediante nastro adesivo presente sulla lente stessa
- Mediante colla

Al fine di garantire la perfetta compatibilità tra il collante utilizzato e i materiali costituenti le lenti e i LED, si consiglia l'utilizzo di uno dei collanti presenti nel documento, "Datasheets\_Glues.pdf"<sup>7</sup>, allegato alla presente relazione.

### *Prototipo PLUS ME | Modalità di dissipazione*

La capacità di dissipazione del supporto in alluminio è stata simulata inserendo caratteristiche conservative: il supporto è stato quindi sovradimensionato al fine di ottenere temperature di giunzione consone al corretto funzionamento dei LED. Oltre a ciò, i materiali di interfaccia termica utilizzati nella simulazioni sono stati selezionati in maniera tale da simulare le condizioni peggiori e poter dunque assicurare un corretto funzionamento e una ottimale dissipazione. Nella realizzazione del prototipo si propone la possibilità di equipaggiare il modulo con differenti materiali di interfaccia termica in modo da poter efficacemente testare e sperimentare quale delle soluzioni sia il migliore compromesso tra conduzione termica e isolamento elettrico. In particolare si propone di differenziare l'interfaccia termica tra i due PCB: la prima realizzata con il grasso termico, la seconda attraverso un materiale termoconduttivo (per esempio Sil-Pad 900S prodotto da Berquist o analogo prodotto di altri fornitori). Le caratteristiche elettriche e termiche del materiale sono riportate nella Figura 10).

La realizzazione del supporto e il testing delle due diverse interfacce termiche sarà utile a fornire delle informazioni progettuali interessanti per la trasformazione (ridimensionamento o diversa geometria) del supporto di dissipazione.

<sup>6</sup> Non si ritiene sufficiente l'incastro tra i piedini di riscontro della lente e i fori sul MCPCB per garantire una lunga durata del corretto posizionamento delle lenti all'interno del prototipo. Si consiglia pertanto l'utilizzo di un collante o di un nastro adesivo.

<sup>7</sup> Guida LEDIL alla scelta del collante più adatto per il fissaggio delle lenti

TYPICAL PROPERTIES OF SIL-PAD 900S						
PROPERTY	IMPERIAL VALUE	METRIC VALUE	TEST METHOD			
Color	Pink	Pink	Visual			
Reinforcement Carrier	Fiberglass	Fiberglass	—			
Thickness (inch) / (mm)	0.009	0.229	ASTM D374			
Hardness (Shore A)	92	92	ASTM D2240			
Elongation (%45° to Warp and Fill)	20	20	ASTM D412			
Tensile Strength (psi) / (MPa)	1300	9	ASTM D412			
Continuous Use Temp (°F) / (°C)	-76 to 356	-60 to 180	—			
<b>ELECTRICAL</b>						
Dielectric Breakdown Voltage (Vac)	5500	5500	ASTM D149			
Type 3 Electrodes	8300	8300	ASTM D149			
Dielectric Constant (1000 Hz)	6.0	6.0	ASTM D150			
Volume Resistivity (Ohm-meter)	10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>	ASTM D257			
Flame Rating	V-O	V-O	U.L. 94			
<b>THERMAL</b>						
Thermal Conductivity (W/m-K)	1.6	1.6	ASTM D5470			
<b>THERMAL PERFORMANCE vs PRESSURE</b>						
	Pressure (psi)	10	25	50	100	200
TO-220 Thermal Performance (°C/W)		3.96	3.41	2.90	2.53	2.32
Thermal Impedance (°C-in <sup>2</sup> /W) (1)		0.95	0.75	0.61	0.47	0.41
1) The ASTM D5470 test fixture was used. The recorded value includes interfacial thermal resistance. These values are provided for reference only. Actual application performance is directly related to the surface roughness, flatness and pressure applied.						

**Figura 10** Caratteristiche termiche ed elettriche dell'interfaccia termica suggerita

### *Prototipo PLUS ME | Aumento delle prestazioni vs protezione*

Il modulo PLUS ME risulta equipaggiato da uno schermo di protezione rispetto agli agenti atmosferici e al pulviscolo, sagomato in maniera tale da ottenere le prestazioni fotometriche necessarie al suo impiego. Si propone di testare la riduzione e la trasformazione della curva fotometrica dell'apparecchio dopo sei mesi di esposizione e utilizzo in ambiente esterno e comparare il risultato ottenuto con lo stesso apparecchio esposto agli agenti atmosferici ma senza l'utilizzo della coppa protettiva. Il confronto viene effettuato sulla base del flusso luminoso emesso prima e dopo il condizionamento dovuto all'esposizione del prodotto. Questa valutazione potrebbe essere utile per verificare l'effettiva necessità di inserire uno schermo di protezione o, al contrario la capacità di resistere efficacemente anche ai raggi UV delle singole lenti. Inoltre è possibile valutare l'efficacia dei normali metodi di pulizia degli apparecchi nel ripristinare l'efficienza ottica del sistema nelle due condizioni costruttive previste. Allo stesso modo informazioni importanti sulle prestazioni del modulo di illuminazione possono essere derivate.

## Conclusioni

### *Prototipo PLUS ME | Lista degli allegati*

Al fine di realizzare un singolo modulo costituente l'apparecchio PLUS ME vengono forniti disegni bidimensionali e modelli tridimensionali dello stesso per componenti e in assieme. La lista degli allegati forniti è la seguente:

1) Modelli tridimensionali in formato .step

MODULO\_PLUS\_ME\_COMPLETO\_STEP

cartella contenente il modello completo (assieme) 3D in formato STEP

MODULO\_PLUSME\_COMPLETO

MODULO\_PLUS\_ME\_PARTI\_STEP

cartella contenente le parti che costituiscono il modello 3D in formato STEP

MODULO\_PLUSME\_BASEDISSIPATORE

MODULO\_PLUSME\_COPPA

MODULO\_PLUSME\_LENTI

MODULO\_PLUSME\_PCB

2) Disegni bidimensionali in formato .dwg

MODULO\_PLUSME\_TAVOLE\_ASSEMBLING

cartella contenente le tavole di assieme e delle parti in formato DWG

MODULOPLUSME\_TAVOLA\_ASSEMBLING

MODULOPLUSME\_TAVOLA\_BASEDISSIPATORE

MODULOPLUSME\_TAVOLA\_COPPA

MODULOPLUSME\_TAVOLA\_PCB

3) Datasheets\_Glues.pdf

## Riferimenti bibliografici

1.M. Rossi, F. Musante, D. Casciani, Advance LED lighting design nell'illuminazione pubblica, Relazione Tecnica Attività C.2 Ricerca progettuale PLUS ME 2012

2.L. Bistagnino, G.P. Marino, A. Virano (2008), Il guscio esterno visto dall'interno/ The outside shell seen from the inside, CEA (ITA), pp. 256, 2008, Vol. 1, pagine da 1 a 256, ISBN: 9788808184221

3.UNI EN 131201-2

4.UNI 11248:2012.

5.Decreto Legislativo 30 Aprile 1992, n° 285, "Nuovo Codice della Strada" e successive modifiche e integrazioni.

## Abbreviazioni ed acronimi

LED Light Emitting Diode

MCPCB Metalcore Printed Circuit Board

## Appendice – Curriculum gruppo di Lavoro

Il laboratorio Luce del Politecnico di Milano ([www.luce.polimi.it](http://www.luce.polimi.it)), sotto la direzione scientifica del prof. Maurizio Rossi, opera dal 2002 nei settori della ricerca progettuale industriale, delle misure e della formazione nel settore illuminazione. Dal 2002 ad oggi ha partecipato e/o diretto oltre 30 progetti di ricerca nel settore illuminazione in collaborazione con le aziende del settore ed enti pubblici di ricerca, la maggior parte di queste attività di ricerca è elencata al link:

<http://www.luce.polimi.it/it/attivita/ricerca>.

Dal 2004 il laboratorio è anche la sede del Master Universitario Annuale in Lighting Design & LED Technology, di una decina di brevi corsi di formazione permanente annuali e di una serie di seminari e convegni dedicati al settore illuminazione che sono illustrati al link:

<http://www.luce.polimi.it/it/attivita/didattica>