



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Relazione relativa all'attività B: Ricerca sperimentale e
qualificazione sistemi di illuminazione innovativa
Punto 1 "Relazione scientifica sulla metodologia di valutazione
dell'affidabilità degli apparecchi di illuminazione a LED"

Maurizio Rossi, Fulvio Musante, Daria Casciani



RELAZIONE RELATIVA ALL'ATTIVITÀ B: RICERCA SPERIMENTALE E QUALIFICAZIONE SISTEMI
DI ILLUMINAZIONE INNOVATIVA
PUNTO 1 "RELAZIONE SCIENTIFICA SULLA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE
DELL'AFFIDABILITÀ DEGLI APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE A LED"

Maurizio Rossi, Fulvio Musante, Daria Casciani (Politecnico di Milano, Dipartimento INDACO)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

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

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Tecnologie per il risparmio elettrico
nell'illuminazione pubblica

Responsabile Progetto: Simonetta Fumagalli, ENEA



Accordo di collaborazione tra ENEA e Politecnico di Milano, Dipartimento INDACO, nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2008-2009, Progetto 3.2 “Tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica”, per una attività di ricerca dal titolo: “Advance LED Lighting Design nell'Illuminazione Pubblica “.

Relazione relativa all'attività B: Ricerca sperimentale e qualificazione sistemi di illuminazione innovativa

Punto 1 “Relazione scientifica sulla metodologia di valutazione dell'affidabilità degli apparecchi di illuminazione a LED”

Sommario

1. Introduzione	2
2. Mantenimento del flusso luminoso	4
3. Limiti del concetto di mantenimento del flusso luminoso per la valutazione dell'affidabilità di un apparecchio di illuminazione	9
4. Color Shift.....	10
5. Mortalità infantile e difetti di progetto.....	11
6. Modelli per la stima del tasso di affidabilità.....	14
Bibliografia	16

Milano, 21.4.2011
Il responsabile scientifico della ricerca
Prof. Maurizio Rossi
Politecnico di Milano



1. Introduzione

Gli apparecchi di illuminazione a LED sono molto più complessi rispetto agli apparecchi di tipo tradizionale; sono infatti composti di un sistema elettronico e meccanico che contiene una grande quantità di elementi :

- Sorgenti LED
- Sistemi di dissipazione del calore
- Dispositivi di alimentazione elettrica
- Ottiche per il controllo e la distribuzione del flusso luminoso
- Sistemi di supporto meccanico e di fissaggio delle altre componenti e dell'intero apparecchio al palo.

Dato che i LED sembrano avere una lunga durata, tutti i componenti dell'apparecchio di illuminazione, adesivi e materiali plastici dovranno avere la medesima durata, altrimenti limiteranno, in misura più o meno grave, la durata stessa del prodotto. Ad esempio, si potrebbe pensare al fatto che il calore prodotto dai LED debba essere opportunamente estratto dalla giunzione mediante un dissipatore, che deve essere fissato in modo opportuno al PCB che ospita i componenti mediante sistemi di fissaggio meccanici o adesivi e collanti.

Inoltre la temperatura di giunzione dipenderà anche dal corretto valore di corrente di alimentazione, che potrà essere variato in caso di surriscaldamento eccessivo del dispositivo; anche in questo caso il funzionamento del controllo elettronico della corrente di alimentazione influirà in modo decisivo sulle performance del prodotto. Ogni componente ottico (schermi, lenti, riflettori) deve essere in grado di sopportare l'esposizione a luce intensa e al riscaldamento, senza ingiallimento rotture, oppure altri fenomeni di degrado.

Materiali riflettenti utilizzati per le ottiche devono mantenersi nel corretto posizionamento rispetto alle sorgenti e mantenere una elevata efficienza ottica.

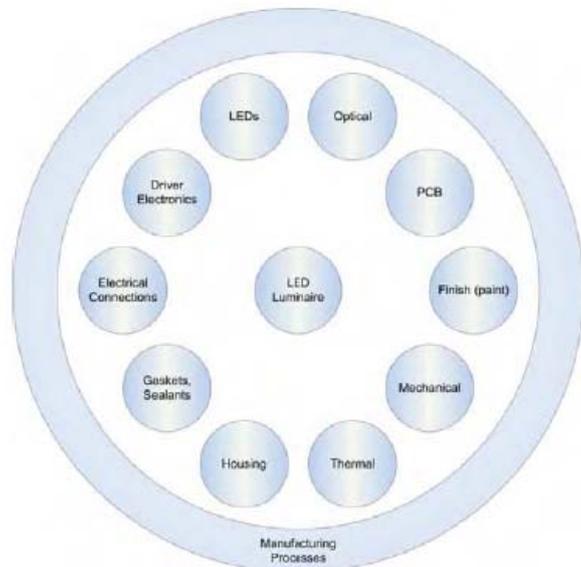


Figura 1 L'affidabilità complessiva di un apparecchio a LED può essere immaginata come il prodotto delle affidabilità di ciascuna delle affidabilità delle singole componenti.

Il progetto dell'apparecchio dovrebbe soddisfare a tutti i precedenti requisiti (e anche molti altri non elencati), ma rimane tuttavia il problema del corretto assemblaggio dell'apparecchio (È stata dimenticata la pasta termo-conduttiva sul campione?, I collegamenti elettrici sono stati fatti in modo corretto?, Le ottiche sono state posizionate in modo corretto?)

La Figura 1 mostra le possibili cause di rottura per un apparecchio di illuminazione allo stato solido; la principale causa di malfunzionamento dell'apparecchio dovrebbe essere la riduzione del flusso luminoso emesso al crescere delle ore di funzionamento del dispositivo.

Oltre al naturale decadimento del flusso luminoso dei LED, altri meccanismi, spesso imprevedibili possono giocare un ruolo fondamentale nella durata del dispositivo (es. pulizia dell'apparecchio con sostanze chimiche che sono incompatibili con i materiali con cui sono realizzati le lenti primarie e secondarie, oppure l'utilizzo di un sistema di alimentazione che stressa in modo anomalo l'elettronica del dispositivo in esame). È importante notare come ci sia una notevole differenza tra il concetto di vita utile e durata dell'apparecchio: il concetto di vita utile si riferisce alla capacità di mantenere il flusso luminoso nel tempo e che quindi è rappresentato dal numero di ore per cui l'apparecchio sarà in grado di funzionare fornendo un flusso luminoso sufficiente per una data applicazione.

La durata in vita dell'apparecchio dipenderà dall'affidabilità dei componenti che lo compongono, considerando l'apparecchio come un sistema composto da elettronica, contenitore, collegamenti, sistema ottico, e altro ancora. La durata dell'intero sistema sarà determinata dal componente che avrà la minor durata e questo potrà essere l'elettronica, il materiale componente la scocca, il connettore di alimentazione o qualsiasi altra componente elettrica o meccanica.

Da questo punto di vista i LED impiegati sono solo una delle componenti del sistema anche se in alcuni casi la più affidabile dell'intero sistema.



Dato che tutti gli aspetti di un apparecchio LED sono interdipendenti, le prestazioni operative possono essere testate solamente sull'intero apparecchio.

2. Mantenimento del flusso luminoso

Per una popolazione di LED, il tempo di vita utile è normalmente descritto come il numero delle ore di funzionamento per le quali, il flusso luminoso è sceso al di sotto del 70% del valore iniziale ("L₇₀").

Il valore del 70% è stato scelto dato che nelle applicazioni di illuminazione generale, il sistema visivo umano non è in grado di apprezzare una variazione del livello medio di illuminamento per una soglia è al di sotto del 30%.

I costruttori dei dispositivi effettuano delle estrapolazioni dai dati misurati su campioni statistici dei loro dispositivi, tendo in considerazione la corrente di funzionamento e la temperatura di giunzione.

La Figura 1, mostra che il 50% della popolazione del LED considerato (Philips K2), presenta un decadimento del flusso luminoso inferiore al 70% del valore iniziale, dopo 60.000 ore di funzionamento, quando il LED è alimentato alla corrente di 350 mA e la temperatura di giunzione inferiore a 160°C.

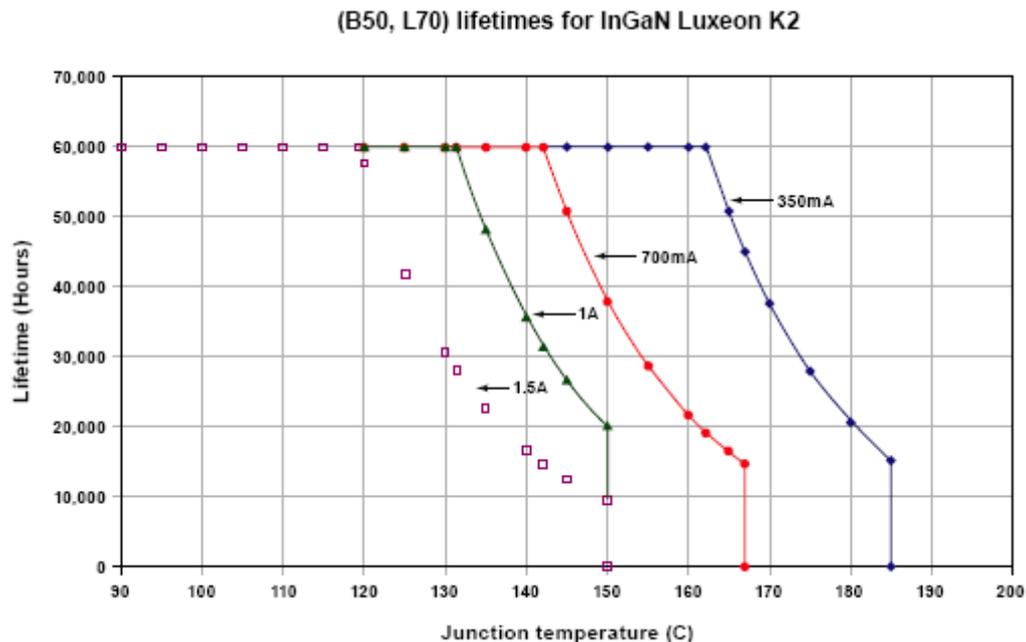


Figura 2 I grafici rappresentano le previsioni di durata per il LED Philips K2 (durata in ore per cui il 50% della popolazione testata ha almeno il 70% del flusso iniziale, al variare della temperatura di giunzione e in dipendenza al valore della corrente di alimentazione)

Il tempo di vita è usualmente indicato come il numero di ore di funzionamento dopo il quale il 50% della popolazione, funzionante nelle normali condizioni di utilizzo, presenta un flusso luminoso al di sotto della soglia prefissata ("B₅₀").

Il valore B₅₀ rappresenta un intervallo temporale, mentre il valore L₇₀ rappresenta una soglia sul flusso luminoso in funzione del tempo di funzionamento.



Per alcune applicazioni il livello B_{50} è considerato inaccettabile e quindi il progettista preferisce riferirsi al valore B_{10} , in cui solo il 10% della popolazione è sceso al di sotto il livello definito di flusso luminoso.

La norma IESNA LM80:2008 (Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources) prescrive le modalità di misura per la stima del mantenimento del flusso luminoso emesso per i LED package, moduli, array e non per l'intero apparecchio di illuminazione.

I LED package, array e moduli, sono testati per almeno 6.000 ore di funzionamento per tre differenti valori della temperatura del case: 55°C , 85°C e un terzo valore scelto dal costruttore con una tolleranza di $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Il flusso luminoso deve essere misurato almeno ogni 1.000 h di funzionamento e registrato per almeno 6.000 h di funzionamento.

La norma citata non fornisce comunque alcun metodo di estrapolazione per prevedere il mantenimento del flusso luminoso al di fuori dell'intervallo temporale di misura o qualsiasi altra indicazione circa l'affidabilità del prodotto.

L'Energy star Program (Manufacturer's Guide for Qualifying Solid State Lighting Luminaires – Version 2.1 April 2010), fornisce una procedura per la stima del mantenimento del flusso luminoso nel tempo basato sulla misura della massima temperatura raggiunta dai LED nell'apparecchio e quella presente sul sistema di alimentazione al raggiungimento dell'equilibrio termico.

La procedura ha lo scopo di fornire una proiezione sul decadimento del flusso luminoso L_{70} (assunto di tipo esponenziale) dell'apparecchio, dopo 25.000 ore o 35.000 ore di funzionamento sulla base del dato misurato ad apparecchio nuovo (0h di funzionamento) e dopo che siano trascorse 6.000 h.

L'extrapolazione proposta è di tipo esponenziale e la valutazione può essere effettuata sia mediante i dati forniti dai costruttori del LED (LM-80) sulla base del valore di temperatura massima rilevata sul case all'interno dell'apparecchio in condizioni di equilibrio termico, sia sulla base di due misure sul dispositivo completo prima e dopo le 6.000h ore necessarie allo svolgimento del test.

Il comitato TM 21 della Illuminating Engineering Society of North America, sta valutando la possibilità di estrapolare L_{70} (cioè il mantenimento del flusso nel tempo) da un numero limitato di misure, come ad esempio una registrazione di ogni 1.000 h di funzionamento fino ad un massimo di 6.000h.

Alcuni studi hanno dimostrato che tale estrapolazione sia alquanto difficoltosa (l'approccio possibile potrebbe essere quello di ammettere un massimo degrado nel flusso, ad esempio il 91 % entro un intervallo temporale specifico 6.000h, per garantire la performance del 70% del flusso iniziale dopo circa 36.000 h), e ad oggi i risultati di questi studi non sono ancora disponibili.

Il comitato ha sviluppato una serie di modelli di tipo ingegneristico che identifichino le cause di degrado del flusso luminoso nel tempo, come mostrato nella figura che segue.



Model	Decay Rate	Comments
0	$dl_v/dt = 0$	Data Mean
1	$dl_v/dt = k_1$	Linear
2	$dl_v/dt = k_2 l_v$	Simple Exponential
3	$dl_v/dt = k_1 + k_2 l_v$	Linear + Exponential
4	$dl_v/dt = k_3/t$	Log
5	$dl_v/dt = k_1 + k_3/t$	Linear + Log
6	$dl_v/dt = k_2 l_v + k_3/t$	Exponential + Log
7	$dl_v/dt = k_1 + k_2 l_v + k_3/t$	Linear + Exponential + Log

Figura 3 Modelli proposti per il decadimento del flusso luminoso nel tempo, da utilizzare per estrapolare il comportamento del LED a partire dalle misure di flusso luminoso eseguite nelle prime 6.000h di funzionamento. (Trenton Pulsipher, John Hathaway, Amy Qiao, Eric Richman, "SSL Statistical Analysis of Models Related to TM-21", May 11th, 2010 -- CORM 2010 Technical Conference)

Le problematiche da affrontare sono le seguenti:

- Selezione del modello: le somme degli errori al quadrato dei singoli modelli di calcolo sono tutte molto vicine tra loro e spesso quindi è impossibile effettuare una scelta affidabile
- Stima dei parametri : una volta scelto il modello corretto occorre stimarne i parametri, ma la stima è resa difficoltosa dall'esiguità del numero di dati disponibili; inoltre la quantità minima di dati per la stima varia a seconda della complessità del modello.
- Modelli con pochi parametri vs Modelli con molti parametri: i modelli più complessi hanno la capacità di descrivere in modo più accurato fenomeni complessi, ma risultano molto più sensibili al rumore sovrapposto ai dati e di conseguenza tendono a sovrastimare semplici meccanismi di decadimento.

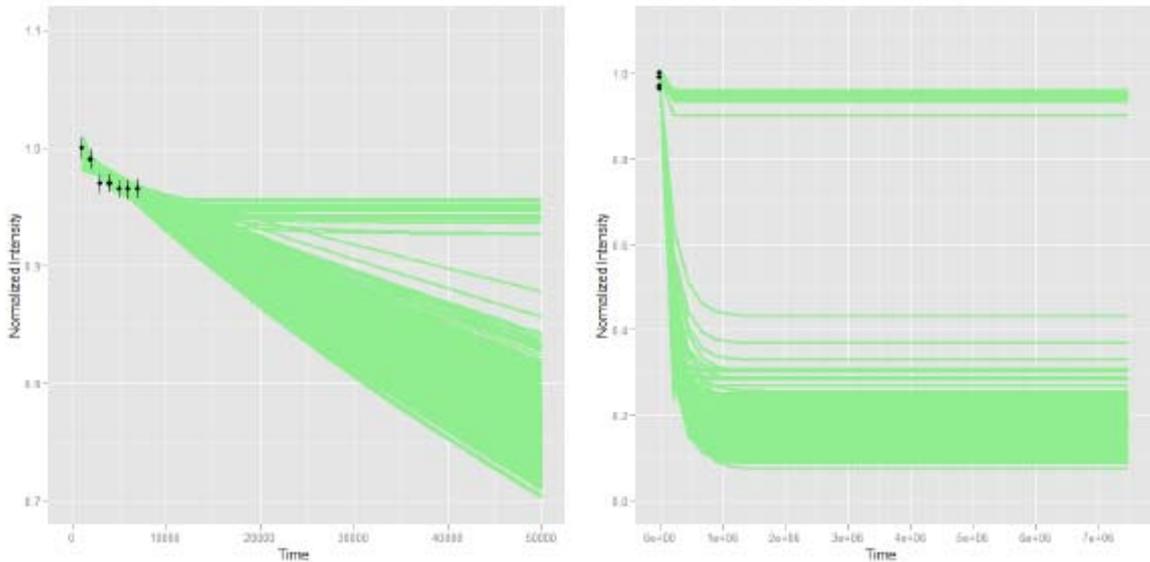


Figura 4 Modello 3 (lineare+esponenziale) : si osserva un comportamento asintotico con predizioni di L70 infinite. Il modello sembra molto sensibile al rumore e alle lievi variazioni dei dati. (Trenton Pulsipher, John Hathaway, Amy Qiao, Eric Richman, "SSL Statistical Analysis of Models Related to TM-21", May 11th, 2010 -- CORM 2010 Technical Conference)

Molti modelli riportati in figura 3 approssimano in maniera molto povera i dati e presentano un fenomeno di warm-up cioè un andamento crescente iniziale prima di decrescere.

L'aumento dell'intervallo di osservazione avrebbe due significativi benefici: da un lato la diminuzione dell'incertezza attraverso la raccolta di un numero maggiore di dati (ad esempio estendendo fino a 10.000 h), dall'altro la registrazione potrebbe mostrare meglio la comparsa del meccanismo di degrado del flusso emesso.

Il principale svantaggio di questo tipo di approccio è l'aumento dei tempi necessari prima che un prodotto possa essere messo sul mercato e un aumento dei costi di ricerca e sviluppo.

Le conclusioni, seppure parziali, a cui è giunto il gruppo di lavoro possono essere così riassunte:

- I modelli 6 e 7 sembrano non adattarsi ai dati di misura secondo la LM-80 e quindi non saranno più valutati dal gruppo di lavoro TM-21
- Il modello 4 spesso produce valori di L70 infiniti come estrapolazione dei dati

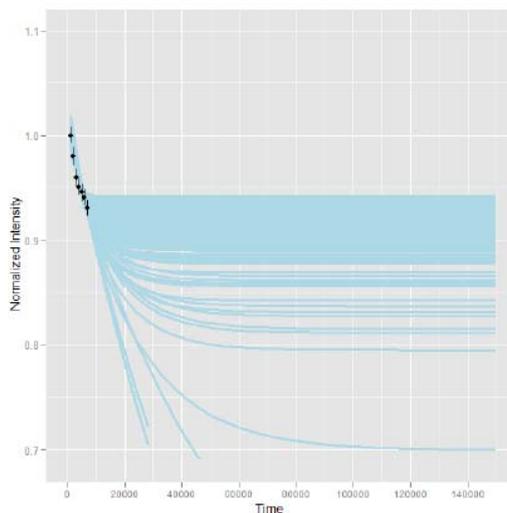


Figura 5 Il modello 4 (LOG) spesso suggerisce estrapolazioni di L70 di alcune centinaia di anni, che sono certamente inappropriate sulla base di dati limitati a 6000h. (Trenton Pulsipher, John Hathaway, Amy Qiao, Eric Richman, “SSL Statistical Analysis of Models Related to TM-21”, May 11th, 2010 -- CORM 2010 Technical Conference)

- I modelli 3 e 4 producono spesso un comportamento asintotico, come mostrato alla Figura 5.
- La scelta del modello migliore e la proiezione di L70 basata sui dati deve essere effettuata sulla base di una serie di regole

Il set di regole attualmente in discussione nel comitato TM-21, può essere schematizzato nella seguente tabella.

Tabella 1 Proposed L70 Projection “Rule” Set (Trenton Pulsipher, John Hathaway, Amy Qiao, Eric Richman, “SSL Statistical Analysis of Models Related to TM-21”, May 11th, 2010 -- CORM 2010 Technical Conference)

1	If there is a maximum lumen output point that exceeds the initial lumen output by more than the data uncertainty (1% for example), then remove the “warm-up” measurements before the maximum lumen output point
2	Fit models 1, 2, 3, 4, & 5 to remaining data and simulate 500 times with rated laboratory uncertainty (propose 1% as a default).
3	Calculate SSE and L70 values of 500 simulations for each model.
4	If the SSE (SUM SQUARED ERROR) of one model is smaller than those of the other models without overlapping them by more than 10%, use the L70 from that model (technically a statistical comparison of SSE).
5	If the SSE values of several models are smaller than those of the other models without overlapping them more than 10%, but there is no significant separation among this group, use the smallest L70 value of all models in



	this group.
6	If the SSE values of all models overlap more than 10%, use the smallest L70 value of all models.
7	Use the lower 25th percentile of the selected L70 values (based on steps 4, 5, 6 above) as the L70 projection for this set of LED data.
8	Apply 6 times rule. If the L70 projection is > 6 times the measurement period, use 6 times the measurement period as the final L70 projection.

Per quanto riguarda le performance dei prodotti LED presenti sul mercato, gli unici dati disponibili sono quelli redatti dal DOE (US Department Of Energy) all'interno del programma CALiPER.

I comportamenti rilevati nel corso del programma di misura per quanto riguarda le prove di lunga durata sul decadimento del flusso luminoso, hanno messo in evidenza comportamenti molto differenti tra loro, come illustrato alla Figura 6.

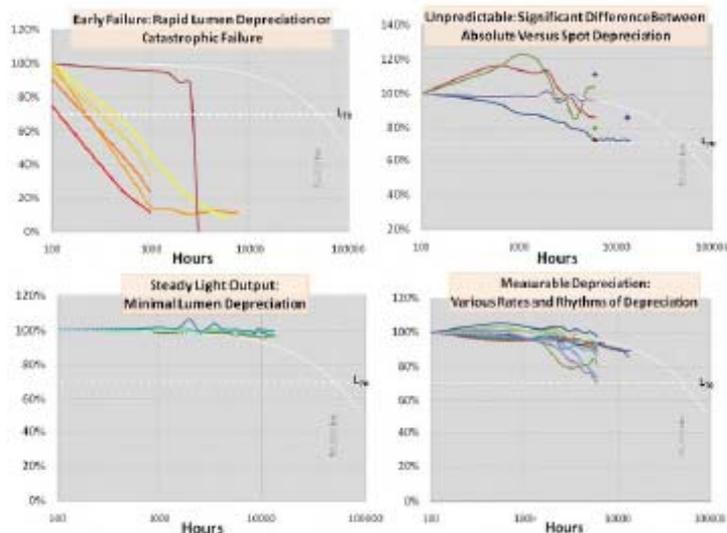


Figura 6 Diversi comportamenti registrati nelle prove di lunga durata per la valutazione del decadimento del flusso luminoso nel tempo. Dati estratti dal summary report round 10.

Nel round 10 della prova di durata si legge che più della metà dei prodotti testati (apparecchi SSL e lampade LED) nelle prove di lunga durata, non raggiunge il 70% del flusso luminoso iniziale dopo 50.000 h di funzionamento con variazioni anche della cromaticità della luce emessa nel corso del test.

Circa un quarto dei prodotti testati, non raggiunge le 1.000 h di funzionamento, offrendo delle prestazioni del tutto comparabili con le lampade ad incandescenza tradizionale; pochi prodotti mostrano una diminuzione del tutto trascurabile del flusso luminoso dopo 12.000 h di funzionamento a testimonianza del fatto che le aspettative di vita promesse dalla tecnologia LED possono essere raggiunte.

3. Limiti del concetto di mantenimento del flusso luminoso per la valutazione dell'affidabilità di un apparecchio di illuminazione



La definizione di durata in vita del singolo componente LED (L_{70}) può essere estesa all'intero apparecchio, ma questo non sembra essere sufficiente per una corretta stima del tempo di vita del prodotto; infatti se consideriamo come parametro il solo deprezzamento del flusso luminoso, non vi è alcuna informazione circa le cause di rottura dell'apparecchio.

Consideriamo ad esempio una durata di vita dichiarata pari a 20.000 ore; significa che metà delle sorgenti LED emettono il 70% del loro flusso iniziale, oppure che metà delle sorgenti sono all'incirca al 100% del flusso iniziale, mentre il rimanente 50% risultano spente, oppure ci si trova in una condizione intermedia?

Per risolvere questa ambiguità due distinti parametri devono essere specificati per descrivere con sufficiente approssimazione la durata in vita di un prodotto LED:

- Il valore di B_{50} o B_{10} , in funzione del tipo di applicazione per il quale l'apparecchio LED è stato studiato
- F_{10} o F_{50} che rappresenta il numero di apparecchi, al trascorrere delle ore che cessano di funzionare in senso convenzionale

Entrambi i parametri dovrebbero essere misurati sull'intero apparecchio a causa delle interazioni tra le sue diverse componenti.

I due parametri consentono di descrivere quattro tipi di rottura dell'apparecchio:

- Tutti i LED si accendono, ma con un livello ridotto di flusso emesso (definito, in termini temporali, dal valore di B_{xx})
- C'è una rottura catastrofica del LED, ma gli altri LED sono ancora funzionanti, anche se emettono una quantità ridotta di flusso, nel modo descritto da B_{xx} , in termini temporali
- Ci sono più rotture catastrofiche di LED, ma gli altri LED sono ancora funzionanti, anche se emettono una quantità ridotta di flusso, nel modo descritto da B_{xx} , in termini temporali
- Nessun LED acceso, dovuto a una rottura del sistema, oltre che al mancato funzionamento dei LED (definita in termini temporali da F_{yy})

Riassumendo, i valori che dovrebbero essere indicati per stimare la durata di funzionamento di un apparecchio di illuminazione dovrebbero essere:

- B_{xx} periodo di mantenimento del flusso luminoso, dopo il quale il xx% (50%) degli apparecchi presenta un flusso luminoso uscente che cade al di sotto del 70% del valore iniziale
- F_{yy} la durata elettrica del dispositivo, per cui il yy% (10%) della popolazione

4. Color Shift

La norma LM-80 richiede che i costruttori di LED misurino le coordinate cromatiche della loro produzione nell'arco delle prime 6.000h di funzionamento, ad intervalli regolari di almeno 1.000h; tuttavia non è stata definita alcuna metodologia per l'estrapolazione della variazione delle coordinate cromatiche su un orizzonte temporale più ampio (35.000h o 50.000h).



Le difficoltà nell'individuare un metodo di predizione delle performance in questo settore dipendono dal progetto del LED, dai materiali impiegati, dal processo di fabbricazione, dalle ottiche applicate, dalle temperatura e dal numero delle ore di funzionamento.

La variabilità cromatica delle luce emessa dagli apparecchi non è determinata in modo esclusivo dalle performance del LED, ma può dipendere dalla progettazione del prodotto e dal processo produttivo, ad esempio:

- Materiali differenti utilizzati per le componenti ottiche possono invecchiare in maniera disuniforme
- Differenti condizioni ambientali (inclusa la qualità dell'aria) possono causare comportamenti differenti dei materiali nei diversi tipi di apparecchi
- I processi produttivi di costruttori differenti possono avere criteri diversi (molto severi o molto permissivi) per la selezione delle componenti da impiegare e questo complica la determinazione del color shift nel tempo
- Alcuni apparecchi modificano la distribuzione cromatica mediante un controllo attivo, che include sensori e sistemi di gestione che possono presentare essi stessi dei problemi di stabilità della calibrazione nel tempo

Allo stato attuale, nelle letteratura scientifica mancano informazioni che possono far capire quanto il color shift sia dovuto alla sorgente LED e quanto al design dell'apparecchio di illuminazione; di conseguenza l'unica soluzione per ottenere prestazioni affidabili nel tempo è quella di testare l'intero apparecchio lungo l'intera vita operativa (o almeno una frazione significativa di questa) e nelle condizioni reali di funzionamento.

Anche l'estensione dei test per il color shift previsti nella norma LM-80-08 all'intero apparecchio appare una soluzione alquanto problematica, infatti:

- Occorrono ore per raggiungere l'equilibrio termico di un prodotto di grandi dimensioni
- Gli apparecchi non possono essere verificati con una sorgente di alimentazione di tipo impulsivo, come accade in fabbrica con i LED
- Sono richiesti notevoli spazi (ad esempio magazzini, laboratori), attrezzature dedicate, personale qualificato per le misure rispetto a un sistema automatizzato che testi il singolo componente LED durante le fasi di produzione
- Un test prolungato (per es. 6.000 h) può ritardare la commercializzazione del prodotto, accrescendone quindi i costi

5. Mortalità infantile e difetti di progetto

Ogni apparecchiatura ha un proprio tasso di guasto (λ), che è il numero di unità fuori servizio nell'unità di tempo.

Il tasso di guasto cambia nel corso della vita del prodotto ed è graficamente rappresentabile attraverso la curva a vasca da bagno che fornisce il legame tra tasso di



mortalità del prodotto e ore di funzionamento per una popolazione di un dato prodotto.

È compito del costruttore assicurarsi che il prodotto non raggiunga il mercato nella fase di mortalità infantile e questo fa sì che sul mercato il prodotto abbia una vita utile caratterizzata da un tasso di mortalità costante (ma casuale).

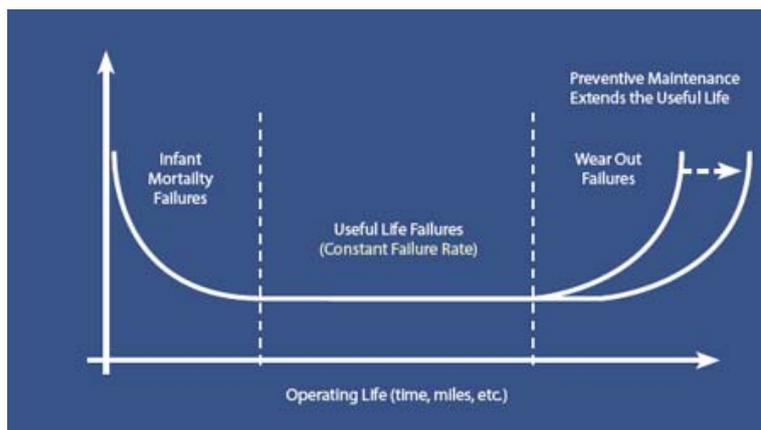


Figura 7 Curva a vasca da bagno

Verso la fine della vita utile di un prodotto si osserva un repentino aumento del tasso di guasto.

Sulla base dei risultati del programma CALiPER, si raccomanda un minimo di 1.000h ore di burn-in (funzionamento continuo) su una piccola campionatura di prodotti per verificare che non ci siano immediati e gravi vizi di progetto nei nuovi prodotti.

Questa procedura dovrebbe essere seguita soprattutto dai piccoli costruttori che non possiedono i mezzi e le risorse per condurre approfonditi test di affidabilità sui prodotti e sulle componenti impiegate nei loro apparecchi.

Il progetto CALiPer, iniziato nell'Agosto del 2007, ha come scopo verificare l'affidabilità dei prodotti allo stato solido mediante una serie di test e di misure in laboratorio.

Alcuni dei prodotti testati hanno mantenuto un elevato flusso emesso (7 su 26 prodotti presentavano un flusso superiore al 95% rispetto a quello iniziale), mentre altri (5 prodotti su 26 testati) hanno mostrato una sensibile diminuzione del flusso emesso tra 1.000 e 2.000 h di funzionamento, manifestando un fenomeno molto simile alla mortalità infantile.

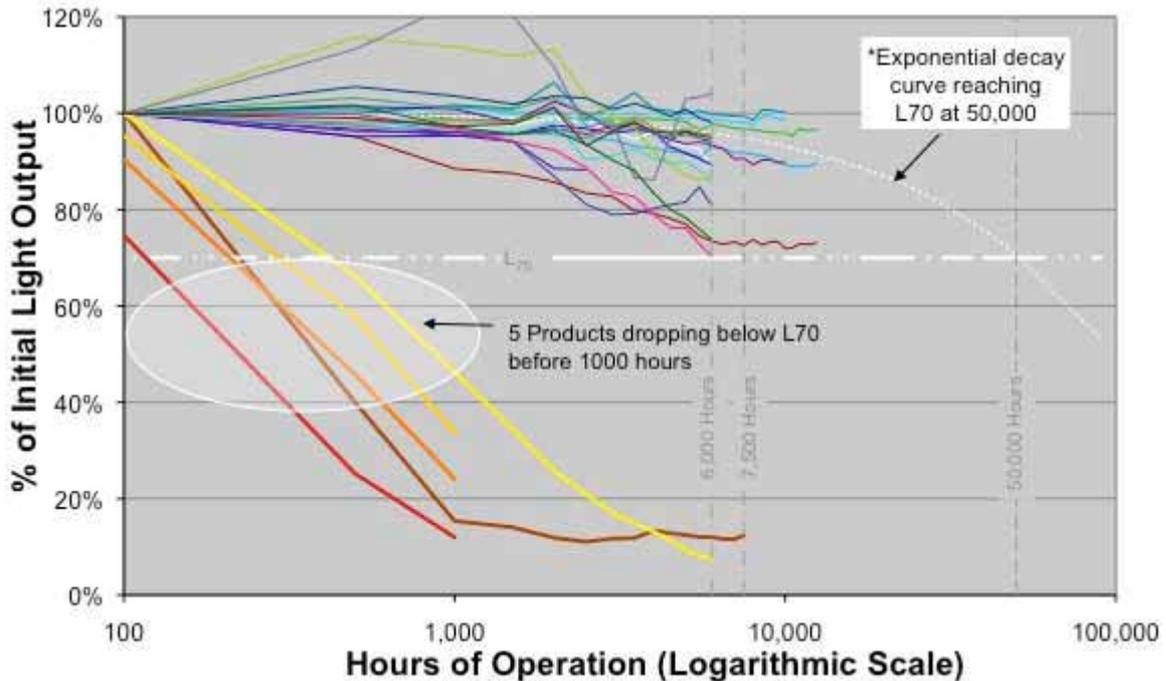


Figura 8 CALiper Round 9 Summary Report : October 2009

Una definizione pratica di affidabilità è la probabilità che un componente di una apparecchiatura funzionante in condizioni definite, continui a funzionare in modo soddisfacente per un certo intervallo di tempo; l'affidabilità si esprime quindi con un numero compreso tra 0 e 1

MTBF (mean time between failures) si applica ai dispositivi che possono essere riparati e quindi ritornare in servizio, il MTTF (mean time to failure) si applica alle componenti che devono essere sostituite se guaste.

Durante il periodo di vita utile, assumendo un tasso di guasti costante. MTBF è l'inverso del tasso di guasto, come indicato nella seguente relazione

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

I guasti accadono in maniera casuale e questo processo può essere schematizzato con una distribuzione di tipo esponenziale.

Indicata con $R(t)$ l'affidabilità in funzione del tempo, si avrà:

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Dopo un certo tempo t , uguale all'MTBF, l'affidabilità $R(t)$ diventa:

$$R(t) = e^{-1} = 0.37$$

Questo significa che se viene preso in esame un numero elevato di dispositivi, solo 37% dei campioni avrà una vita utile più lunga del valore indicato dalla MTBF; se si considera una sola unità, la probabilità che funzioni per un tempo quanto MTBF, è pari solo al 37%.

Supponiamo ad esempio di considerare un alimentatore con un MTBF di 500.000 h, che corrisponde a un tasso di guasto pari a 0.2%/1000h di funzionamento.

In 3 anni ci sono $24 \cdot 3.650 \cdot 3 = 26.280$ h di funzionamento continuativo (24 ore al giorno) e l'affidabilità, calcolata attraverso la relazione precedente, è



approssimativamente pari a 0.95; questo significa che l'alimentatore che funziona 24 h ore al giorno per 3 anni, ha una probabilità di sopravvivere pari a 95%.
Lo stesso calcolo, su un arco temporale di 10 anni, porta a una probabilità pari a 84%.
Se un cliente ha acquistato 700 unità di questo prodotto, se il tasso di guasto è 0.2%/1000h, il numero di fallimenti per anno sarà :

$$\frac{0.2}{100} * \frac{1}{1000} * 700 * 24 * 365 = 12.26$$

Di norma non c'è correlazione tra la vita utile e il tasso di guasto; infatti è possibile progettare un sistema o dispositivo molto affidabile ma per un tempo molto breve (si pensi ad esempio a un missile che ha un valore di MTBF elevatissimo, ma la cui vita utile è solo di qualche minuto).

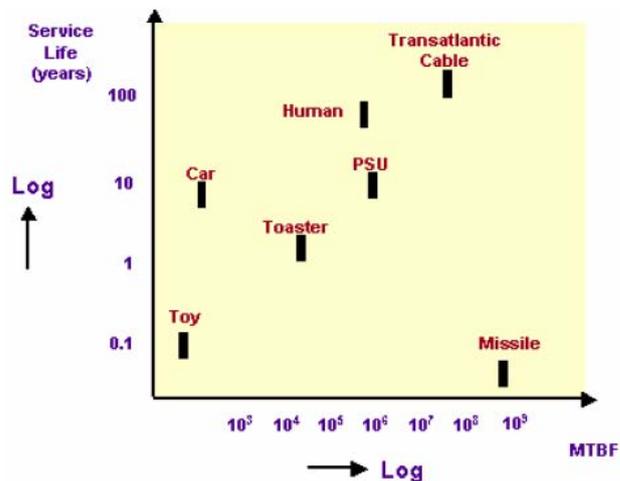


Figura 9 Esempi che mostrano la mancanza di correlazione tra la vita utile di un dispositivo e il valore di MTBF

6. Modelli per la stima del tasso di affidabilità

Le stime dei tassi di guasto sono basate su alcune assunzioni:

- Il modello utilizza uno schema di collegamento in serie per le varie componenti, di conseguenza il guasto di uno solo dei componenti comporta il cessato funzionamento per l'intero sistema.
- Il tasso di guasto per ciascun componente è assunto costante per l'intervallo di tempo considerato
- I guasti delle diverse componenti sono indipendenti tra loro
- Nessuna distinzione tra guasto e malfunzionamento
- I componenti sono privi di difetti e utilizzati all'interno delle loro specifiche
- L'assemblaggio e il progetto sono privi di difetti
- I punti deboli del processo sono stati eliminati o resi invisibili mediante burn-in

Il tasso di guasto per un sistema funzionante nelle condizioni di riferimento è dato da:

$$\lambda_{S,t} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref})_i$$



Dove λ_{ref} rappresenta il tasso di guasto della componente i-esima nelle condizioni di riferimento che sono intese come quelle adottate nella maggior parte delle applicazioni del componente all'interno di una apparecchiatura.

Si assume che in questo tasso di guasto siano inclusi gli effetti della complessità, dei diversi costruttori e del processo di fabbricazione.

Spesso però le componenti di una apparecchiatura non operano in condizioni di riferimento e di conseguenza il tasso di guasto può essere notevolmente diverso da quello previsto nelle condizioni di riferimento.

Il modello dovrà quindi introdurre dei fattori correttivi (stress factor) per tener conto delle effettive condizioni di funzionamento dei componenti (effettiva temperatura di funzionamento del componente, effettivo stress elettrico e così di seguito).

$$\lambda = \sum_1^n (\lambda_{ref} * \pi_U * \pi_I * \pi_T)_i$$

Dove con λ_{ref} rappresenta il tasso di guasto della componente i-esima nelle condizioni di riferimento, mentre con π_x si indicano i fattori di stress che dipendono rispettivamente dalla tensione π_U , dalla corrente π_I , dalla temperatura π_T .

Lo standard IEC 61709 (“Electronic components – Reliability, Reference conditions for failure rates and stress models for conversion”) fornisce una guida per i tassi di guasto dei principali componenti elettronici, specifica le condizioni di riferimento per ottenere i tassi di mortalità, descrive i modelli di stress per la conversione del tasso di guasto in condizioni di riferimento alle condizioni operative di funzionamento del componente.

La tabella che segue riporta le principali caratteristiche di alcuni modelli di stima del tasso di guasto di apparecchiature elettroniche molto utilizzate nell'ambito delle TLC.

Reliability Prediction Model	Application	Limitations
MIL-HDBK-217F	It provides failure rate data and stress models for parts count and parts stress predictions. It provides models for many component and assembly types and fourteen environments ranging from ground benign to canon launch. It is well known for international military and commercial applications and has been widely accepted. It provides predictions for ambient of 0°C to 125°C.	The component database omits newer commercial components and has not been updated since 1995 and there are apparently no plans for further updates. It penalises non-military components, and predicts failure rates of some components as worse than actual performance.
Telcordia SR332/ Bellcore TR332	Updated to SR332 in May 2001. It provides three prediction methods	Predictions are limited to ambient of 30 °C to 65 °C.



Reliability Prediction Model	Application	Limitations
	incorporating parts count, lab test data and field failure tracking. It provides models for many component and assembly types and five environments applicable to telecommunications applications.	
British Telecom HRD4 and HRD5	Similar to Telcordia SR332	Predictions are limited to ambient of 0°C to 55°C.
Siemens SN29500 (based on IEC 61709 concept)	SN 29500 provides frequently updated failure rate data at reference conditions and stress models necessary for parts count and parts stress predictions. The reference conditions adopted are typical for the majority of applications of components in equipment. Under these circumstances parts count analysis should result in realistic predictions. The stress models described in this standard are used as a basis for conversion of the failure rate data at reference conditions to the actual operating conditions in the case that operating conditions differ significant from reference conditions.	Field failure rate data are determined from components used in Siemens products while also taking test results from external sources into account.

Figura 10 Comparazione tra le caratteristiche dei alcuni metodi di stima dell'affidabilità di apparecchiature elettroniche (EUROPEAN POWER SUPPLY MANUFACTURERS ASSOCIATION, "RELIABILITY Guidelines to Understanding Reliability Prediction ", Revision Date: 24 June 2005 (Visit the EPSMA website at www.epsma.org)

Bibliografia

- EUROPEAN POWER SUPPLY MANUFACTURERS ASSOCIATION, "RELIABILITY Guidelines to Understanding Reliability Prediction ", Revision Date: 24 June 2005 (Visit the EPSMA website at www.epsma.org)
- Trenton Pulsipher, John Hathaway, Amy Qiao, Eric Richman, "SSL Statistical Analysis of Models Related to TM-21", May 11th, 2010 -- CORM 2010 Technical Conference
- "LED Measurement Series: LED Luminaire Reliability", US DEPARTMENT OF ENERGY



- DOE Solid-State Lighting CALiPER Program, "Summary of Results: Round 09 of Product Testing", October 2009
- DOE Solid-State Lighting CALiPER Program, "Summary of Results: Round 10 of Product Testing", May 2010
- "Useful Life: Understanding LM-80, Lumen Maintenance, and LED Fixture Lifetime", Philips-Color Kinetics
- IESNA LM80-08 "Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources", Illuminating Engineering Society, 2008
- IESNA LM79-08 "Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products", Illuminating Engineering Society, 2008
- ENERGY STAR Manufacturer's Guide for Qualifying Solid State Lighting Luminaires – Version 2.1, April 2010
- Solid State Lighting Product Quality Initiative, "LED LUMINAIRE LIFETIME: Recommendations for Testing and Reporting", First Edition, May 2010