



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI
FACOLTÀ DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

**Prova di vita accelerata di led con monitoraggio attraverso
l'utilizzo di un sistema a microcontrollore**

Riccardo Carboni

Francesco Marcato

Anno Accademico 2019-2020

Sommario

Introduzione	3
1 Specifiche e analisi del problema	4
1.1 Hardware	4
1.2 Software	6
2 Programmazione del <i>lifetest</i>	8
2.1 Dati preliminari	8
2.2 <i>Lifetest</i>	9
3 Risultati ottenuti	12
3.1 Previsione e calcolo del MTTF	12
3.2 Risultati sperimentali e teorici	12
3.3 Analisi Risultati	15
4 Conclusioni	16
Riferimenti	17

Introduzione

In questo lavoro si è svolta una prova di vita accelerata a dei led bianchi a foro passante di utilizzo comune in modo da valutarne l'affidabilità. Essa è definita come la probabilità che l'entità in esame funzioni senza guastarsi per un certo tempo ed in predeterminate condizioni ambientali.

Un guasto è un evento caratterizzato dal passaggio da uno stato ad un altro, in cui l'entità perde la sua funzionalità originaria determinando una variazione inaccettabile delle caratteristiche prestazionali del sistema.

Una prova di vita accelerata, invece, è una prova nella quale l'intensità della sollecitazione applicata è scelta in modo da eccedere quella stabilità alle condizioni di riferimento, allo scopo di ridurre il tempo necessario per osservare l'effetto della sollecitazione sull'oggetto, oppure di accentuare questo effetto in un dato tempo (UNI 8000).

Il suo scopo è quello di ottenere velocemente l'informazione affidabilistica di interesse, e quindi, di quantificare la durata della vita di un componente, accelerando le condizioni di guasto che si verificano in condizioni di utilizzo nominale. Si ottiene in questo modo una compressione della scala dei tempi. In realtà, si potrebbero testare i campioni di interesse con le stesse sollecitazioni che sopporterebbe durante le condizioni nominali di impiego, ma questi test risulterebbero inadeguati per i componenti elettronici moderni che presentano un tasso di guasto dell'ordine di $10^{-10}/10^{-7} h^{-1}$, pertanto nel caso di interesse di questo elaborato le prove sarebbero risultate molto lunghe e dispendiose.

In questo caso specifico si è scelto di applicare una prova di affidabilità a tempi esatti completi, consistente nell'interrompere la prova solamente quando tutte le unità presentano il guasto, registrando per ciascun componente il tempo al guasto, ossia il periodo in cui le entità sono rimaste in servizio adempiendo alla loro funzione.

Durante i test i led sono stati monitorati attraverso l'utilizzo di un sistema a microcontrollore avente il compito di segnalare il led che era andato incontro al guasto, interrompere l'alimentazione del circuito e segnare l'orario esatto al guasto. In questo modo si è riusciti a ricavare le informazioni necessarie relative ai campioni. E infine utilizzare opportune tecniche statistiche per ottenere l'affidabilità della popolazione sotto indagine.

1 Specifiche e analisi del problema

Per il lavoro in oggetto è stata eseguita una prova di vita accelerata applicando tre differenti valori di corrente intermittente (periodo $T=10\text{ms}$) a dei led al fine di determinare il loro *Mean Time to Failure* (MTTF) in condizioni di vita nominale fissata a 20mA .

Si tratta dunque l'esposizione le componenti utilizzate per l'esecuzione delle prove e in che modo ci si è approcciati al progetto, descrivendo il circuito e il suo funzionamento.

La potenza ottica dei led è stata monitorata tramite l'utilizzo di un microcontrollore programmato in precedenza in modo tale da gestire l'alimentazione e acquisire dati da delle fotoresistenze. Attraverso queste si è in grado di capire quando avviene un guasto semplicemente misurando la differenza di potenziale ai suoi capi. Infine, il sistema a microcontrollore ha il compito di mandare un *alert* via seriale qualora si presenti un guasto, ossia nel caso in cui la potenza luminosa del led scenda oltre il 30% del valore nominale pre-acquisito.

1.1 Hardware

Il sistema di monitoraggio è stato implementato con l'utilizzo dei seguenti componenti:

- LED bianchi a foro passante (oggetto della prova);
- Alimentatore elettrico;
- Scheda di sviluppo ST Nucleo-64 F030R8;
- Transistor IRFZ44N;
- Fotoresistenze (range $10\text{ Ohm} - 100\text{ kOhm}$);
- Resistenze (12 kOhm);

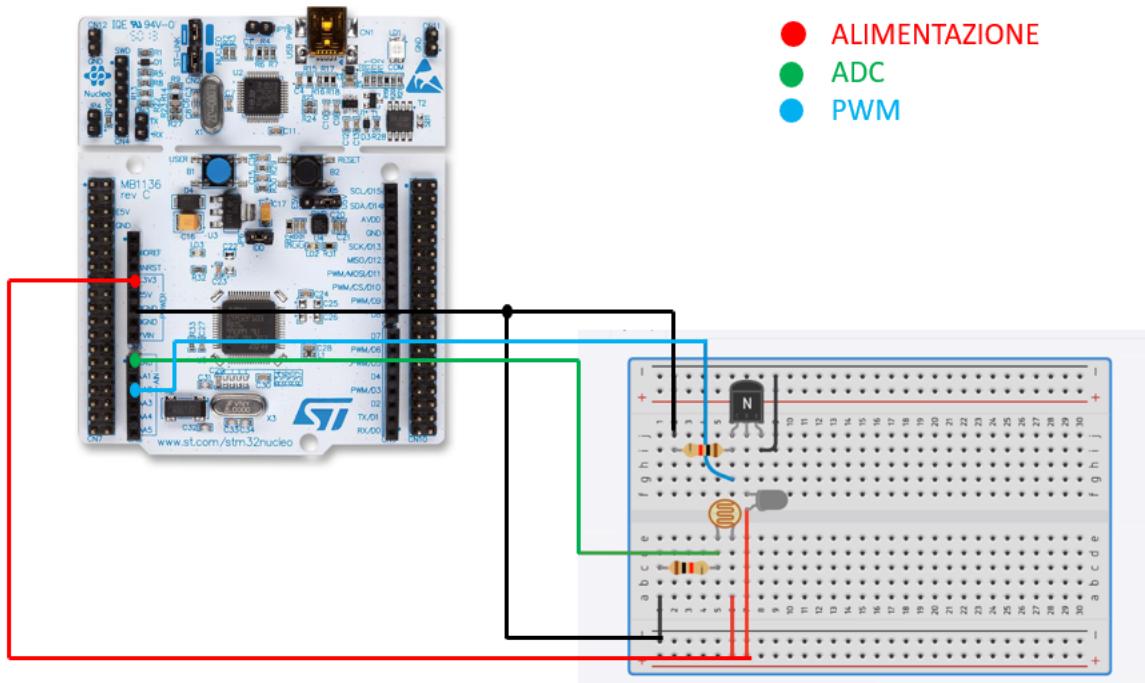


Figura 1: Schema sintetico del sistema progettato per la prova.

Nella figura precedente viene riportato schematicamente il sistema in esame con il caso di un solo led alimentato dal microcontrollore per poter osservare meglio le connessioni. Difatti, come verrà illustrato successivamente, si è utilizzato l'alimentatore per poter generare una corrente sufficiente per effettuare la prova su 5 led disposti in serie.

La corrente intermittente è stata generata attraverso l'utilizzo di una PWM tramite la quale è stata modulata la tensione di gate del transistor. Attraverso l'ADC quindi sono stati acquisiti i differenti valori di luminosità dei led misurando la tensione ai capi di una resistenza posta in serie ad una fotoresistenza (avente una resistenza inversamente proporzionale alla luminosità ricevuta); in questo modo all'aumentare della luminosità dei led aumenta anche il valore acquisito. La fotoresistenza e il led sono stati isolati attraverso l'uso di nastro isolante nero in modo tale da evitare ogni influenza dovuta a fonti di luce esterna.

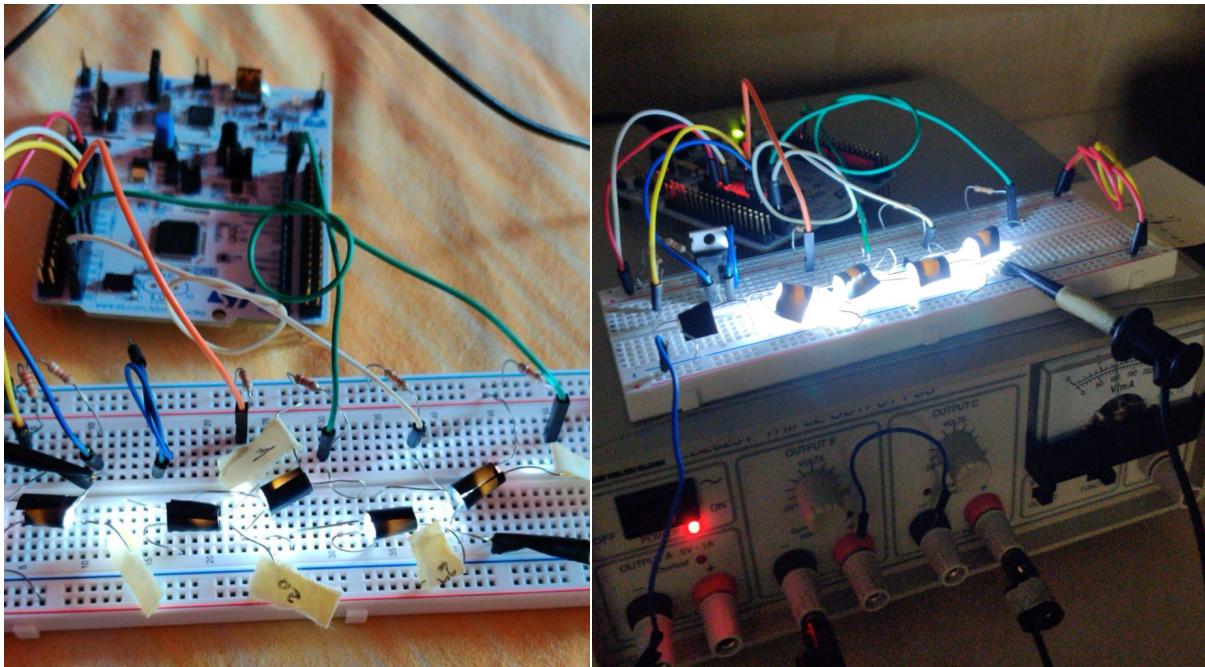


Figura 2: Foto del sistema funzionante.

1.2 Software

Il microcontrollore è stato programmato attraverso l'utilizzo del programma *STM-32Cube* mentre il flusso di dati è stato visualizzato su schermo in esadecimale tramite l'utilizzo del software *HTerm*. Le acquisizioni sono state programmate in maniera sequenziale in modo tale da verificare lo stato di ciascun led una volta per minuto.

Se il dato acquisito risulta inferiore di una certa soglia il software si occupa di interrompere la generazione della PWM, ponendo a massa la tensione di gate del transistor aprendo il circuito. In questo caso un *alert* viene visualizzato fornendo il dato e il numero del led soggetto al guasto in modo tale da permettere la rimozione dell'entità e il proseguimento della prova.

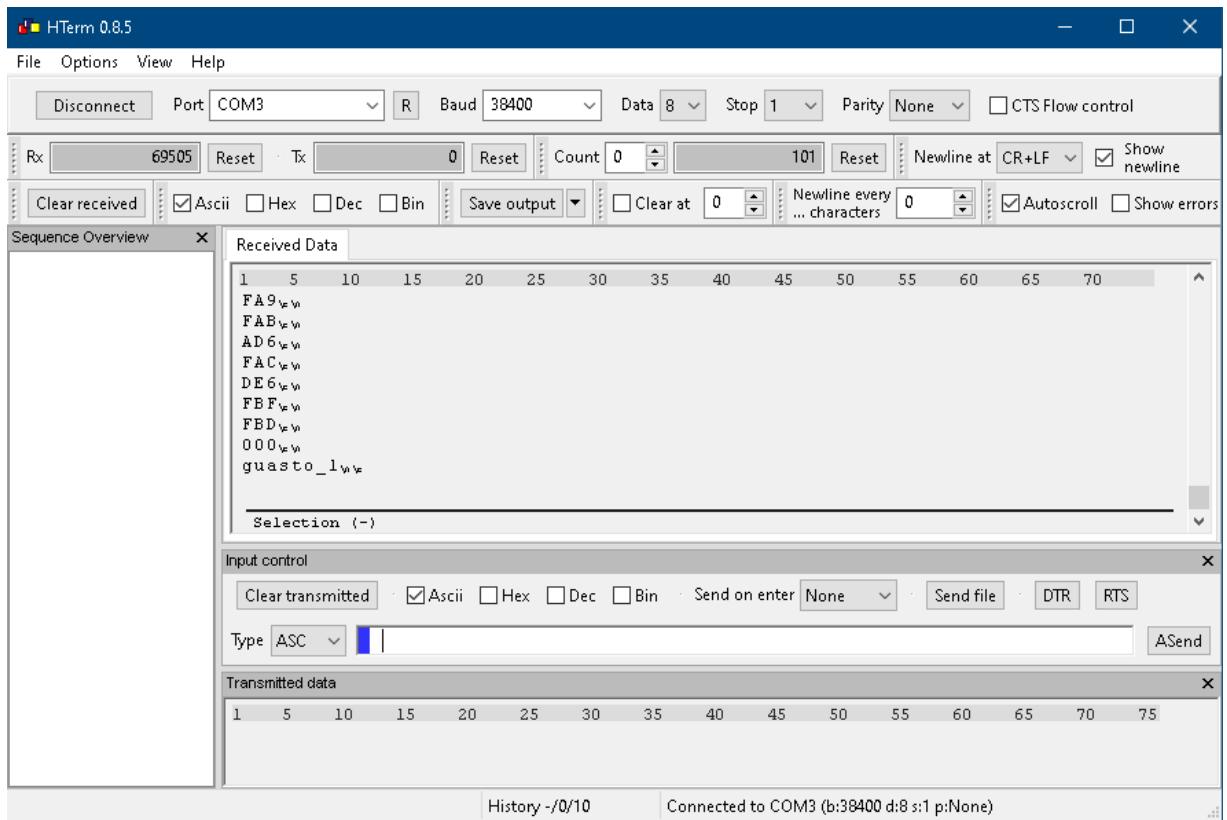


Figura 3: Screenshot del software HTerm con il caso del guasto del primo componente.

2 Programmazione del *lifetest*

I test effettuati sono rivolti a valutare l'affidabilità del componente scelto. Calcolando il tempo al guasto, ossia il periodo in cui l'entità rimane in servizio fornendo la funzione richiesta, e utilizzando le opportune tecniche affidabilistiche si è in grado di trovare il tempo medio al guasto (MTTF). In questo modo si effettua una previsione di guasto ad uno stress scelto e alle condizioni di utilizzo nominale, valutando le proprietà affidabilistiche dell'entità.

Procedendo nell'elaborato si presentano le diverse tipologie di test effettuati ad iniziare dagli step stress per concludere con il *lifetest*. Si espongono i dati che è stato necessario avere preliminarmente, come le caratterizzazioni dei led, e infine la loro gestione per arrivare ai risultati.

2.1 Dati preliminari

Al fine di verificare il corretto funzionamento dei led disponibili è stata effettuata in laboratorio una prova di determinazione alle condizioni nominali di utilizzo. In questo modo le entità sono state caratterizzate prima di procedere con i test.

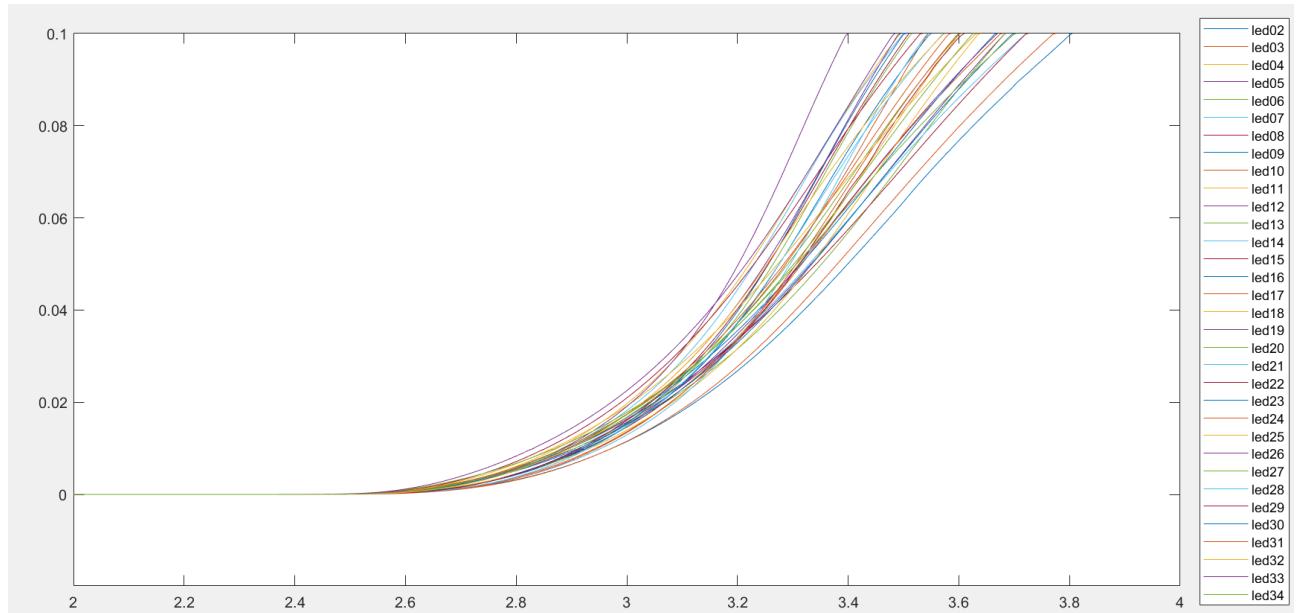


Figura 4: Grafico della caratterizzazione dei LED ottenuto tramite Matlab.

Dunque, si è proceduto eseguendo una prova distruttiva con stress a gradino della durata di circa tre ore per step.

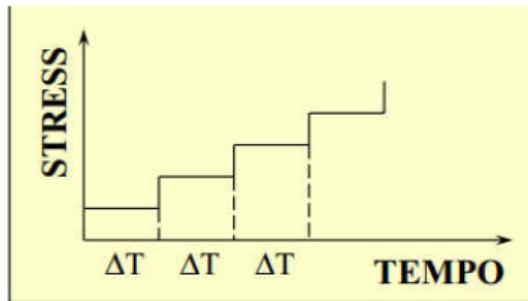


Figura 5: Schema dello stress a gradini utilizzato.

Con cinque led selezionati si è verificato quale fosse il massimo amperaggio al quale essi potessero essere sottoposti. Tramite l'alimentatore si è ricavato come valore di rottura 110 mA e si è deciso pertanto di utilizzare i seguenti valori di corrente:

- 95 mA
- 65 mA
- 80 mA

da utilizzare per le prove di vita accelerata.

2.2 Lifetest

Il *lifetest* è stato svolto con l'utilizzo di uno stress ciclico a onda quadra, avente un periodo di 10 ms impostato grazie alla PWM in uscita dal microcontrollore. I led in esame sono stati posizionati in serie in modo da ricevere la stessa corrente e quindi sottoporli allo stesso stress. Per ogni stress la prova veniva conclusa solamente laddove tutte le entità arrivavano a rottura. Si è scelto di individuare il modo di guasto come la riduzione della luminosità dei led del 30% rispetto ad un valore nominale. Quest'ultimo è stato ricavato per ogni livello di stress tramite una media di cento acquisizioni, effettuate in circa un minuto, della potenza ottica dei componenti e impostato via software.

Le prime due prove sono state svolte a 65 mA e 95 mA. ,nella seguente tabella sono stati inseriti i tempi al guasto di ciascuna entità, le quali sono state numerate per essere identificate con le caratteristiche inizialmente estrapolate.

Tabella 1: Tempi al guasto di ciascun componente utilizzato con uno stress di 65mA e 95 mA.

Stress	Numero Componente	Tempo al guasto (min)
65 mA	10	2273
	33	2543
	25	10857
	2	16013
	29	16573
95 mA	17	5
	24	14
	21	16
	9	22
	4	104

I dati ottenuti sono stati riportati nel software *ReliaSoft*. il quale ha rilevato la distribuzione lognormale come quella che meglio approssima i dati ottenuti.

Dal grafico è stato estrapolato il MTTF per le due diverse prove, pari a:

- t_m (95 mA) = 19 min
- t_m (65 mA) = 6100 min

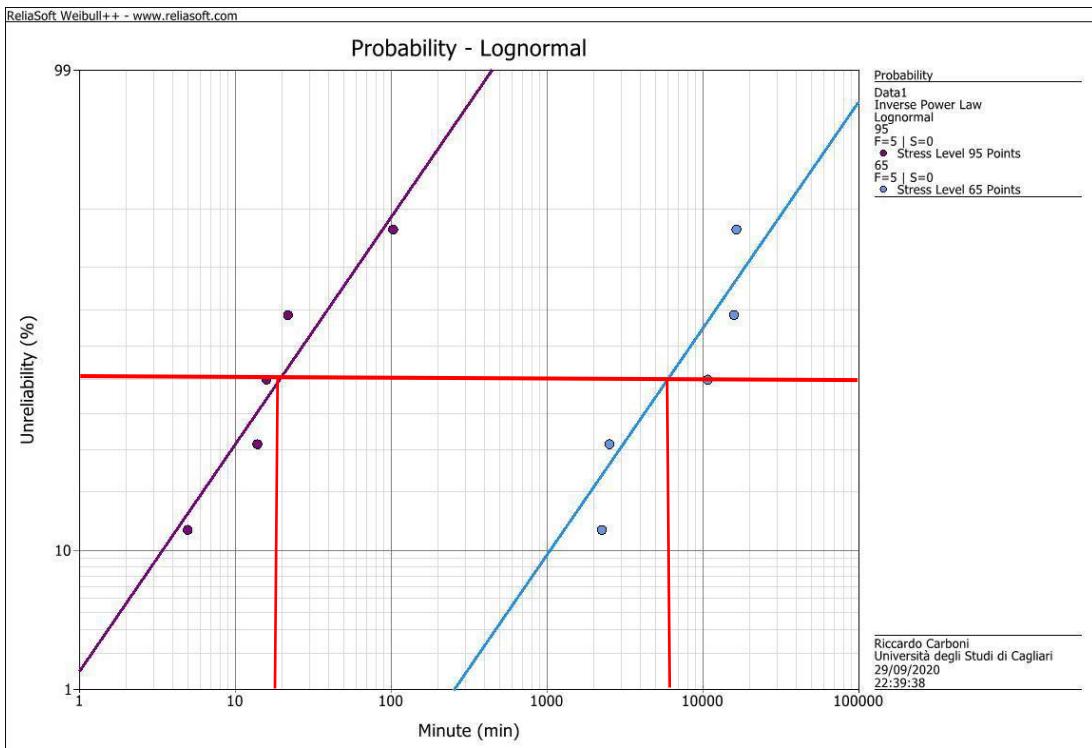


Figura 6: Plot ottenuto dal software Reliasoft per le prove a 65mA e 95mA con rispettivi MTTF.

È stato selezionato come modello matematico di accelerazione l'*Inverse Power Law*, espressa come:

$$t_m = \frac{1}{K V^n}$$

dove t_m corrisponde alla vita media dei componenti (MTTF) e V è lo stress applicato in mA. L'espressione è stata messa a sistema con i due valori di t_m ricavati graficamente per calcolare i parametri K e n .

In seguito, utilizzando l'*Inverse Power Law* con i parametri ottenuti è stata calcolata una previsione del MTTF a 80 mA.

Nella parte conclusiva dei test, è stata eseguita la prova applicando l'ultimo livello di stress di 80 mA per verificare, plottando i dati ottenuti, che i dati sperimentali corrispondessero a quelli teorici.

Una volta verificata il parallelismo delle rette, a conferma del loro stesso meccanismo di guasto, è stata effettuata la previsione di rottura in condizioni di utilizzo nominale, ovvero di stress di 20 mA.

3 Risultati ottenuti

Dai test che sono stati precedentemente discussi si sono ricavate tutte le informazioni necessarie al fine della previsione. Analizzando attraverso grafici il loro andamento in modo da estrapolare dati significativi come il tempo medio al guasto è stato dunque possibile ultimare la prova di vita accelerata. Si è quindi effettuata una previsione sia al valore di stress nominale di utilizzo che ad uno scelto precedentemente, confrontando i risultati sperimentali con quelli teorici.

3.1 Previsione e calcolo del MTTF

Dal sistema di equazioni sono stati ricavati i seguenti parametri di K ed n :

- $K = 4,386 \cdot 10^{-32}$
- $n = 15,209$

Da questi valori si è ricavato il valore teorico di t_m allo stress di 80 mA, ottenendo un valore pari a:

- $t_m (80 \text{ mA}) = 259,3 \text{ min}$

Teoricamente, pertanto, il MTTF delle entità con uno stress di 80 mA dovrebbe essere pari a 259 minuti.

3.2 Risultati sperimentali e teorici

Eseguendo l'ultima prova con lo stress a 80 mA si sono ottenuti i seguenti tempi al guasto:

Tabella 2: Tempi al guasto di ciascun componente utilizzato con uno stress di 80 mA.

Stress	Numero Componente	Tempo al guasto (min)
80 mA	26	202
	30	698
	28	1733
	22	2910
	14	4913

Si procede dunque con il plottaggio dei dati e l'estrapolazione dell'effettivo MTTF.

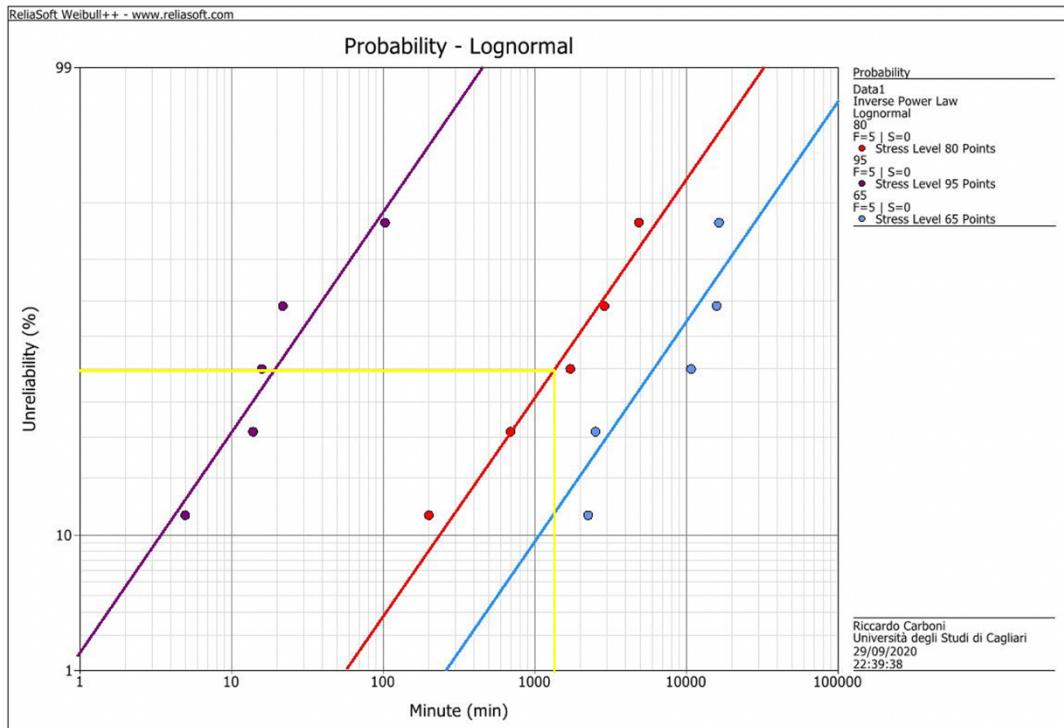


Figura 7: Plot ottenuto dal software Reliasoft con le tre prove fatte e MTTF di quella a 80mA.

Dal grafico ottenuto plottando i dati dell'ultima prova è stato estrapolato il valore del MTTF sperimentale pari a:

- t_m (80 mA) = 1400 min

Dalla seguente figura si nota che la retta trovata e quella reale non coincidono e quindi come i risultati sperimentali si discostano da quelli teorici.

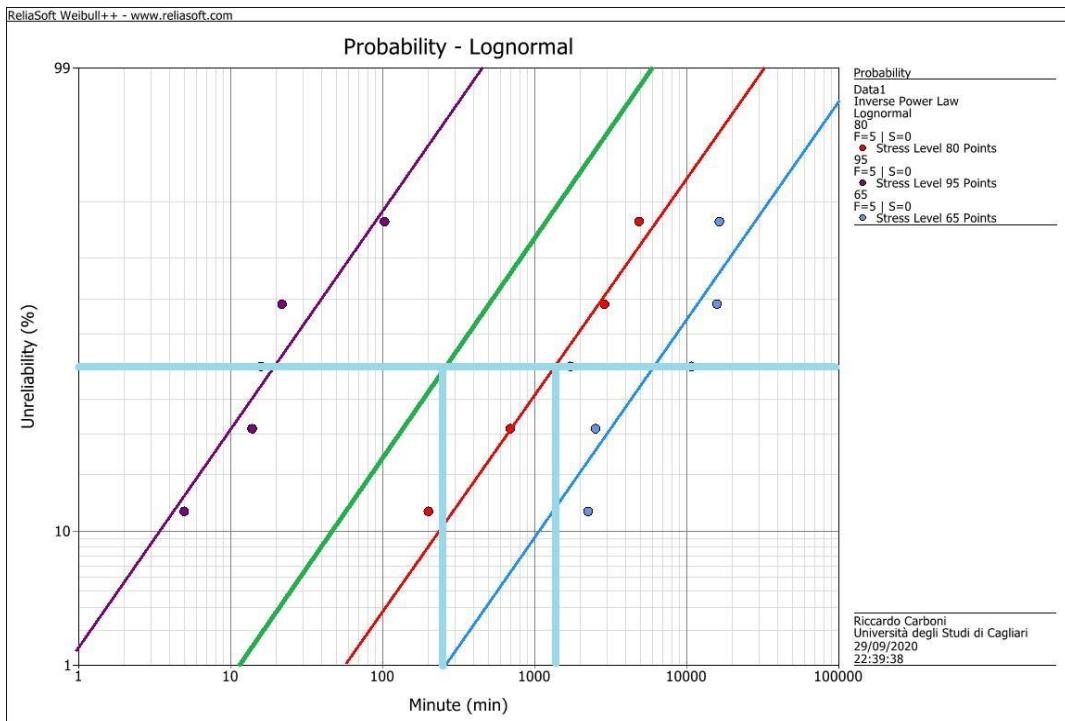


Figura 8: Plot ottenuto da software Reliasoft con l'aggiunta della previsione a 80 mA e MTTF dei casi sperimentali e teorici.

Mentre il risultato della previsione del MTTF con un utilizzo a condizione nominale (20 mA) è:

- $t_m (20 \text{ mA}) = 3,72 \cdot 10^{11} \text{ min}$

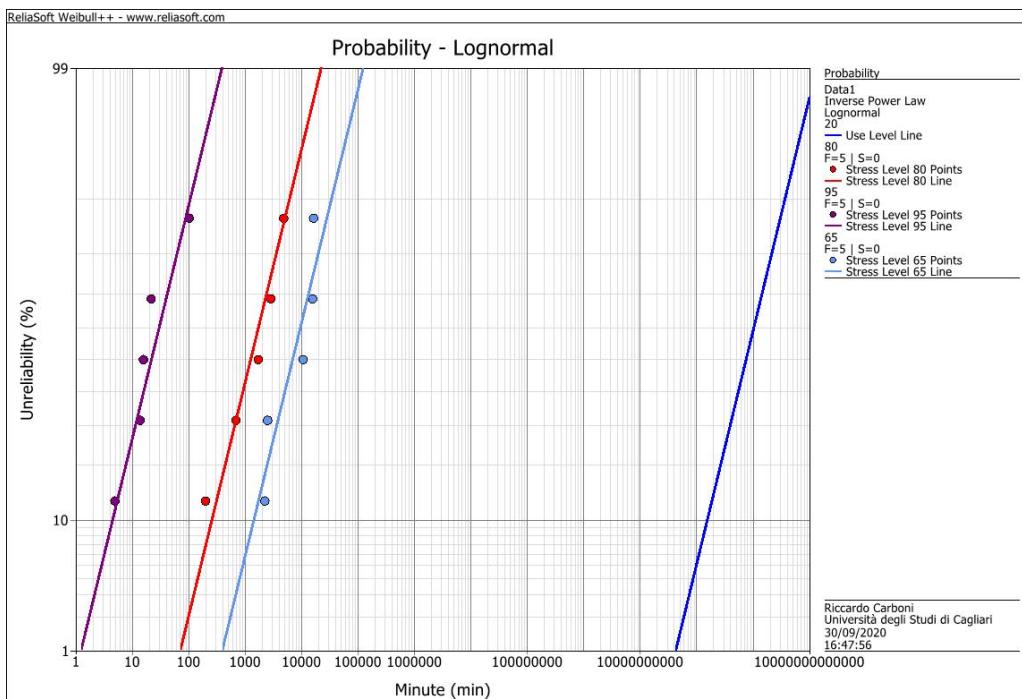


Figura 9: Plot ottenuto dal software Reliasoft delle prove effettuate e della previsione al valore di stress nominale(20mA).

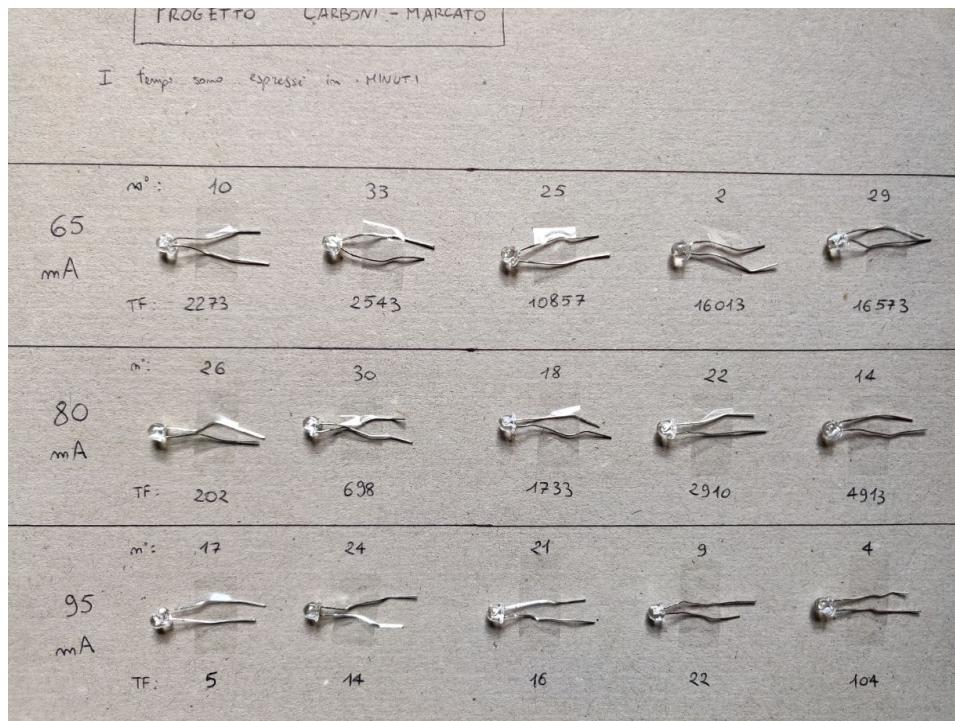


Figura 10: Entità guastate oggetto della prova.

3.3 Analisi Risultati

Come si è potuto osservare i risultati ottenuti non sono stati soddisfacenti, infatti la previsione teorica si discosta notevolmente da quella successivamente ottenuta sperimentalmente. Questo ha comportato naturalmente ad una non affidabilità sulla previsione del MTTF a condizione nominale di 20 mA.

Le motivazioni che hanno portato ad avere risultati contrastanti possono essere ricondotte a differenti cause, la principale potrebbe essere il calcolo della soglia sotto la quale il led è stato considerato guasto. Infatti, quest'ultima, è stata calcolata sottraendo il 30% al valore medio di 100 acquisizioni calcolate durante il passaggio dei differenti valori di corrente di 65, 95 e 80 mA. La caratteristica delle fotoresistenze utilizzate però non possiede un andamento lineare. Per questo è plausibile che le soglie calcolate non siano congruenti tra loro.

La seconda causa potrebbe essere attribuita al non aver misurato attraverso un tester l'effettivo valore di corrente durante i test, ma si è basati solamente sul valore di corrente erogata mostrato dall'alimentatore. Pertanto, una corrente differente da quella effettivamente prevista potrebbe aver portato a non aver la certezza che i valori calcolati poi teoricamente fossero gli stessi utilizzati. Ad esempio, se la corrente effettiva nel caso di 80 mA fosse stata realmente di 70 mA i risultati ottenuti sperimentalmente si avvicinerebbero significativamente a quelli ottenuti teoricamente rendendo la prova di vita accelerata più attendibile.

Infatti, il MTTF a 70 mA calcolato attraverso l'*Inverse Power Law* risulta essere:

- $t_m (70 \text{ mA}) = 1976 \text{ min}$

Che si avvicina notevolmente al MTTF calcolato precedentemente ad 80 mA avente valore di 1400 minuti.

4 Conclusioni

Nel periodo attuale è sempre più fondamentale che i componenti elettronici, in particolare quelli destinati ad applicazioni più delicate, risultino i più affidabili possibili. Perciò sono di enorme rilevanza le prove affidabilistiche che possono essere prese in considerazione, come ad esempio lo *screening* e la prova di vita accelerata. In particolare, mentre il primo è una prova destinata a eliminare le entità difettose o quelle suscettibili di presentare guasti precoci, l'ultima si effettua per analizzare l'affidabilità di un componente o di un sistema a lungo termine, calcolando una previsione del suo tempo al guasto.

Si sono mostrati i vari passi che compongono la prova di vita accelerata di un componente elettrico. A partire dalla selezione dei fattori di stress si è arrivati alla scelta del modello di accelerazione, allo step stress e infine al ricavo del MTTF per calcolare la previsione. Si è dunque dimostrato come sia possibile effettuare una previsione della durata di vita di un dispositivo restringendo l'asse dei tempi.

Dai risultati ottenuti si è constatato che, nel caso dei led in esame, il MTTF calcolato sperimentalmente a 80 mA si discosta da quello teorico ricavato con l'applicazione dell'*Inverse Power Law*, con una differenza di circa 1140 minuti.

Come riportato nel capitolo precedente si sono presentate alcune delle motivazioni che possono aver portato la prova a risultare non attendibile.

Questo dimostra come una prova di vita accelerata debba essere svolta tenendo conto dei minimi dettagli, per far sì che l'effettiva previsione della durata di vita di un dispositivo sia il più possibile attendibile e simile alla realtà. Infatti, come spiegato precedentemente, produrre dei componenti elettronici affidabili deve essere il punto di partenza di un'azienda produttrice. Investire sull'affidabilità dei componenti può sembrare avere dei costi notevoli ma essi risultano notevolmente inferiori al danno economico, e soprattutto di immagine, che causerebbe il ritiro dal mercato di un dispositivo risultato non affidabile.

Riferimenti

- [1] Fondamenti di Affidabilità Citti, Arcidiacono, Campatelli, McGraw-Hill Education.
- [2] Design for Reliability - Electronic Handbook Series DANA CROWE & ALEC FEINBERG.
- [3] Lucidi di Affidabilità dei Componenti Elettronici, corso di Prof.ssa Mura Giovanna, DIEE Università degli Studi di Cagliari.
- [4] Reliability, *Wikipedia*, l'enciclopedia libera.