



Università degli Studi di Cagliari

Facoltà di Ingegneria e Architettura

Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

Stima del tempo di vita dei LED C535A- WJN in condizioni nominali mediante prove di vita accelerate

Relazione finale del corso di Affidabilità dei Componenti Elettronici

Giacomo Gallus - 70/83/65234, Daniele Angioni - 70/83/65230,

Augusto Mura - 70/83/65228, Roberto Ruda - 70/83/65240

Sommario

1. Introduzione	3
2. Motivazioni	4
3. Operazioni preliminari.....	5
3.1. Tabella dei LED.....	7
4. Descrizione strumentazione	8
5. Prove di vita accelerate	12
6. Creazione del progetto su Weibull++	13
7. Analisi dei dati	17
8. Difficoltà incontrate.....	22
9. Conclusioni	23
10. Bibliografia.....	24

1. Introduzione

Questa relazione si pone come obiettivo la **stima del tempo di vita** dei **LED C535A-WJN** in **condizioni nominali** di utilizzo, tramite lo svolgimento di tre **prove di vita accelerate** con tre **test in corrente continua off-nominal**, in modo da ottenere un'opportuna **accelerazione del modo di guasto**, che nel nostro caso è definito come la **diminuzione del 30% dell'intensità luminosa** emessa dal LED. Questo è stato possibile utilizzando un opportuno **sistema di monitoraggio**, appositamente creato, basato sulla **scheda a microcontrollore STM32 NUCLEO-F030R8** per il controllo dei guasti e sulla **NODEMCU ESP8266** per le notifiche via **Telegram** dei guasti e degli eventi. Il sistema di controllo permette di effettuare le prove di vita accelerate a **tempi troncati**, con varie fasi di controllo che verranno specificate nelle sezioni successive.

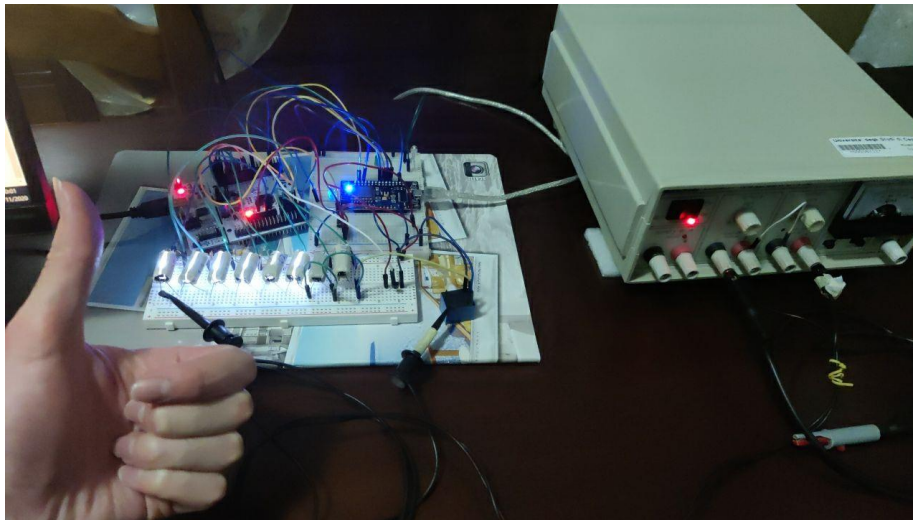


Figura 1 - Setup sperimentale di misura dell'intensità luminosa dei LED, ai fini di una caratterizzazione affidabilistica dei dispositivi.

2. Motivazioni

Perché effettuare un'indagine affidabilistica sui nostri dispositivi? Potrebbe sembrare un lavoro superfluo e dispendioso sia in termini di tempo che economici, ma in realtà queste indagini affidabilistiche permettono di verificare la **qualità** del prodotto e quindi di **ridurre** al minimo i costi per eventuali **rientri del campo** per difettosità di dispositivi ancora in garanzia, ma anche evitare un possibile danno di immagine per l'azienda.



Figura 2 – Alcune delle motivazioni per le quali effettuare un'indagine affidabilistica sui dispositivi.

Inoltre, permette anche di garantire, per quanto possibile, la **sicurezza** delle persone che può essere messa a rischio da pericolosi guasti.

Con il termine **guasto**, in inglese **failure**, indichiamo invece la **cessazione** dell'**attitudine** di un **dispositivo** a **adempiere** alla **funzione richiesta**, ovvero una **variazione** delle **prestazioni** del **dispositivo** che lo renda **inservibile** per l'uso al quale esso è destinato. Pertanto, il guasto si configura come un evento in grado di **modificare** lo **stato** di un'entità da quello di buon **funzionamento** a quello di **avaria**. In generale il tasso di guasto di un sistema complesso fa spesso riferimento all'andamento qualitativo della così detta "**curva a vasca da bagno**", visibile in Figura 3.

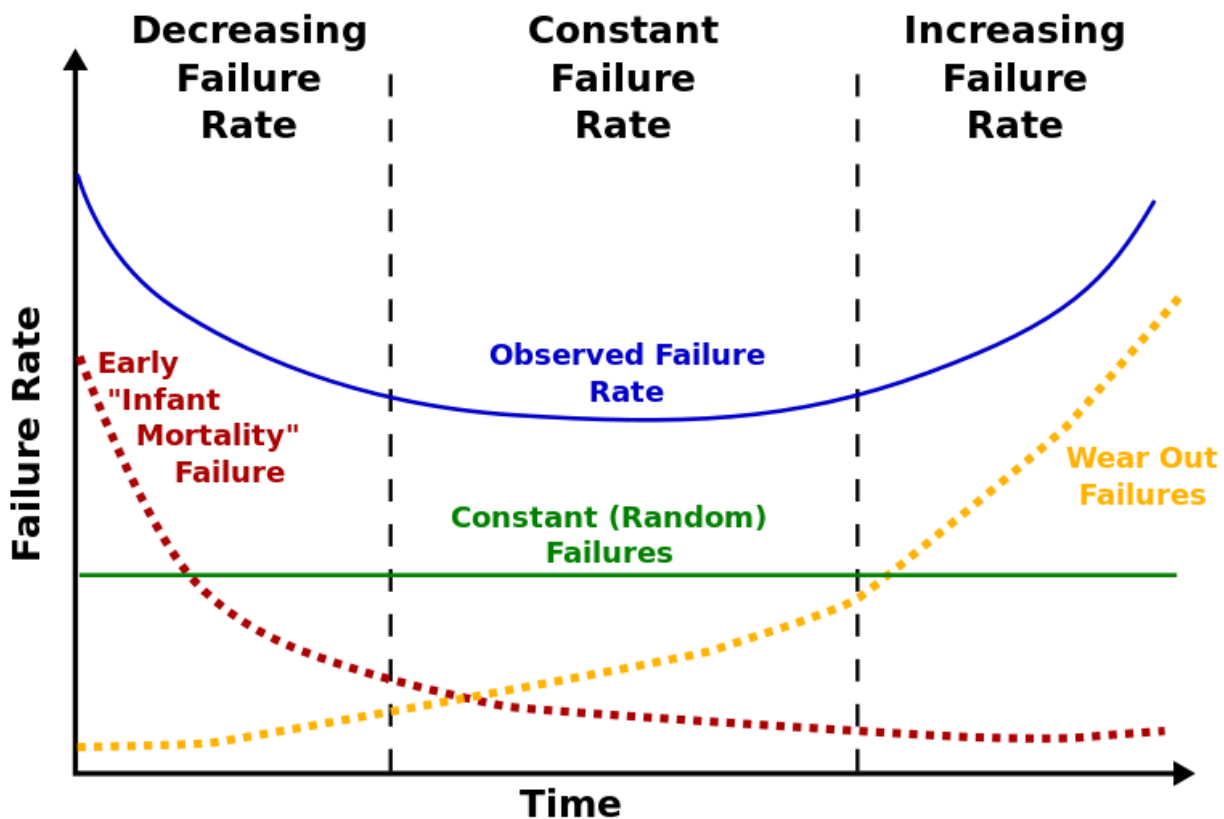


Figura 3 - Curva a "vasca da bagno"

Nel suo andamento possono essere evidenziate tre aree caratteristiche:

- L'area dei **guasti precoci** o **mortalità infantile** dove il tasso di guasto è decrescente con l'aumentare del tempo e rappresenta i guasti dovuti a difettosità o debolezze intrinseche dei dispositivi in esame;
- L'area della **vita utile** dove il tasso di guasto si mantiene costante rispetto al tempo e rappresenta i guasti accidentali;
- L'area dell'**usura** o **wearout** dove il tasso di guasto cresce rapidamente rispetto al tempo e rappresenta i guasti dovuti al progressivo indebolimento dei materiali per invecchiamento.

I metodi di indagine per stimare correttamente il tempo di vita dei dispositivi in esame vengono chiamati **prove di vita accelerate**. Queste consistono nel **testare** i **campioni** scegliendo l'intensità della **sollecitazione** applicata in modo da **eccedere** quella stabilita alle **condizioni nominali** di riferimento, allo scopo di **ridurre** il **tempo** necessario per osservare il modo di guasto selezionato, oppure di accentuare questo effetto in un dato tempo. Se eseguiti correttamente, con questi test si può ottenere una considerevole **compressione della scala dei tempi**, che ci permette di ottenere informazioni affidabilistiche relative al tempo di vita di un dispositivo per un normale impiego in tempi ragionevoli, dato che i dispositivi moderni testati in condizioni nominali impiegano un tempo dell'ordine delle decine di anni. Questo consente al produttore di ottenere in poco tempo informazioni relative alla durata del prodotto, e di conseguenza garantirla al cliente con un basso margine di errore.

3. Operazioni preliminari

Per poter iniziare le prove di vita accelerate sono state fatte opportune operazioni per assicurare il corretto svolgimento di queste. In primo luogo, sono state effettuate le **misurazioni** delle **caratteristiche corrente-tensione** per verificare la presenza di LED con caratteristiche che si discostano troppo da quelle del proprio lotto di produzione. Queste misurazioni sono state effettuate prima e dopo uno **screening** di **24 ore** alla **corrente nominale** di **20 mA**, effettuato per **garantire** che nei LED da utilizzare nelle prove non siano presenti **debolezze intrinseche** dei dispositivi, così da **escludere la mortalità infantile** dalle possibili cause dei guasti. Analizzando accuratamente le curve in *Figura 4* e *5*, sono stati scartati quelli con caratteristiche irregolari e quelli più esterni al fascio di curve, così da ottenere un set di 24 LED con caratteristiche regolari e abbastanza simili tra loro.

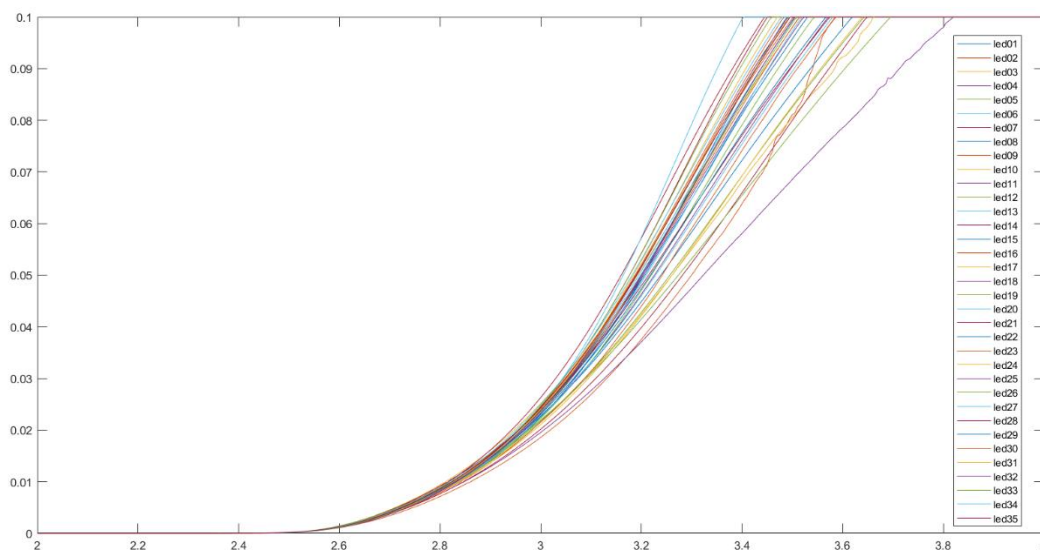


Figura 4 - Misure sperimentali della caratteristica corrente-tensione dei LED prima dello screening. In ascissa tensione in Volt e in ordinata corrente in Ampere.

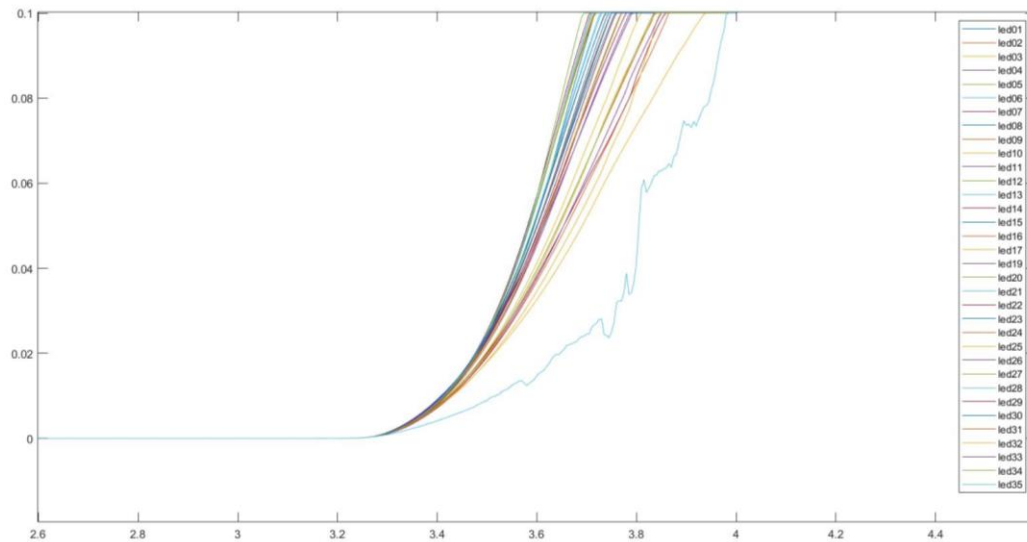


Figura 5 - Misure sperimentali della caratteristica corrente-tensione dei LED dopo lo screening. In ascissa tensione in Volt e in ordinata corrente in Ampere.

Dal set composto da undici LED non idonei sono stati estratti i cinque LED più regolari per effettuare lo **step stress** a gradini, nel quale si è variata la corrente ogni **4 ore**, partendo da **60 mA** e arrivando a **110 mA** a passi di **10 mA**: da questa prova uno dei LED si è rotto a 100 mA, mentre gli altri 4 si sono rotti a 110 mA, perciò si è ritenuto ragionevole considerare quest'ultimo come valore di corrente massima sopportato dai dispositivi sotto esame.

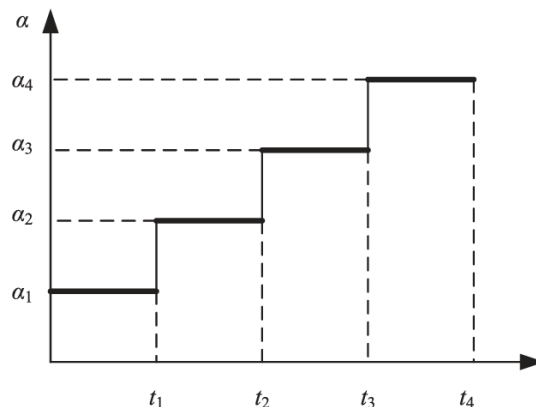





































Figura 6 – Andamento generale del fattore di stress nel tempo per la prova a gradini.

Dopo aver identificato il valore di **corrente massima** dei LED sono stati scelti tre valori di corrente che saranno utilizzati per le prove di vita accelerate. Tenendo conto che lo stress applicato non deve risultare troppo vicino ai **110 mA**, poiché in quel caso potremmo andare incontro ad alterazioni del meccanismo di guasto o ad accelerazioni di altri meccanismi, che non si attiverebbero in condizioni nominali, oppure a guasti distruttivi che non ci permettono di ottenere una corretta indagine statistica. Allo stesso tempo lo stress applicato deve eccedere la sollecitazione in condizioni di normale funzionamento in modo da accelerare il meccanismo di guasto di nostro interesse. Si è optato quindi per le correnti **60, 75 e 90 mA**, dove la seconda servirà per verificare che il tempo di vita stimato tramite le restanti due prove corrisponda effettivamente a quello trovato sperimentalmente, in modo da poter effettuare con buona confidenza la previsione a corrente nominale.

3.1. Tabella dei LED

Di seguito sono riportati i LED usati per la prova e il ruolo svolto da ciascuno.

 LED 1 PROVA 1; 60mA	 LED 2 PROVA 1; 60mA	 LED 3 NON USATO	 LED 4 PROVA 3; 75mA	 LED 5 PROVA 2; 90mA	 LED 6 PROVA 1; 60mA	 LED 7 PROVA 1; 60mA
 LED 8 PROVA 2; 90mA	 LED 9 NON USATO	 LED 10 PROVA 1; 60mA	 LED 11 PROVA 2; 90mA	 LED 12 PROVA 3; 75mA	 LED 13 PROVA 1; 60mA	 LED 14 PROVA 3; 75mA
 LED 15 PROVA 3; 75mA	 LED 16 PROVA 3; 75mA	 LED 17 STEP STRESS	 LED 18 TEST SCHEDA	 LED 19 PROVA 2; 90mA	 LED 20 PROVA 1; 60mA	 LED 21 PROVA 2; 90mA
 LED 22 PROVA 3; 75mA	 LED 23 PROVA 2; 90mA	 LED 24 PROVA 2; 90mA	 LED 25 STEP STRESS	 LED 26 PROVA 3; 75mA	 LED 27 PROVA 3; 75mA	 LED 28 PROVA 1; 60mA
 LED 29 NON USATO	 LED 30 PROVA 2; 90mA	 LED 31 STEP STRESS	 LED 32 NON USATO	 LED 33 STEP STRESS	 LED 34 STEP STRESS	 LED 35 NON USATO

La tabella mostra i LED utilizzati nei diversi test. I 35 LED iniziali sono stati suddivisi in base alle misurazioni fatte in fase di screening, come già spiegato.

- Grigio: i LED scartati;
- Arancione: LED impiegati per lo step stress;
- Azzurro: LED usati nella prova 1, a 60 mA;
- Giallo: LED usati nella prova 2, a 90 mA;
- Verde: LED usati nella prova 3, a 75 mA.

4. Descrizione strumentazione

Nello svolgere questa prova abbiamo avuto bisogno di un **alimentatore da banco**, che ci dia la possibilità di **stabilire** la **corrente** in uscita e che possa fornire i valori necessari per il corretto svolgimento delle prove. Nello specifico era richiesta una caduta di tensione sulla serie degli 8 LED di almeno 30V per garantire le correnti stabilite.

L'alimentatore usato per i test è l'**EB2025T** che dispone in uscita di due porte che riescono a dare in uscita 20V ciascuna, quindi per avere in uscita i 30V necessari sono state collegate in serie le 2 porte regolabili in tensione.



Figura 7 - Foto dell'alimentatore da banco usato nei test.

Uno degli scopi principali di questa prova risulta essere quello di poter aprire il circuito che fornisce la corrente sui LED, se uno di loro manifestasse un guasto; per questo motivo dobbiamo essere in grado di aprire e chiudere il circuito di alimentazione con delle schede a microcontrollore che lavorano a tensioni digitali di 5V. La prima proposta, per adempiere a questo compito, è stata usare un transistor BJT (*bipolar junction transistor*).

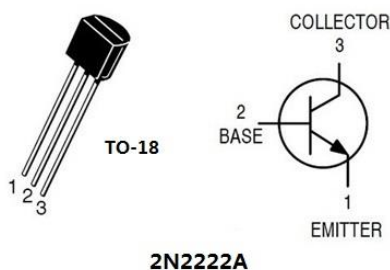


Figura 8 - Rappresentazione del BJT 2N2222A.

Questo componente ha subito presentato dei problemi a causa delle sue non idealità che non permettevano un controllo preciso sulla corrente dei LED. Infatti, quando il microcontrollore cercava di portare bassa la tensione sulla base del transistor per interrompere il passaggio della corrente, quest'ultima veniva solo ridotta di una certa percentuale, che per livelli di stress troppo alti era comunque abbastanza da far accendere i LED.

Per queste ragioni il transistor è stato scartato prima dell'inizio delle prove ed è stato sostituito con un componente che offre molta più sicurezza nello svolgere i test, un **relè**. Abbiamo usato il relè JQC-3F(T73), che ci offre la possibilità di usare 3.3V come tensione per la chiusura del circuito, compatibili con i segnali digitali forniti dalle schede. Questo presenta una resistenza praticamente nulla nella serie con i LED testati, per il fatto che il suo funzionamento si basa su il contatto tra due elementi metallici. Infine, permette di isolare galvanicamente le schede e l'alimentatore, in modo da non rischiare di bruciare le schede destinate al monitoraggio delle prove.

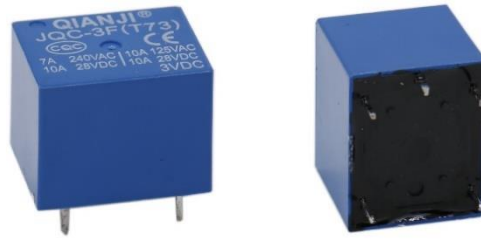


Figura 9 - Relè JQC-3F(T73).

Gli altri componenti discreti usati, sono i **LED C535A-WJN** testati, alcune resistenze e le **fotoresistenze GL5516**, usate per il **monitoraggio** della **luminosità** dei LED.



Figura 10 - LED C535A-WJN.



Figura 11 - Resistenze.



Figura 12 - Fotoresistenze GL5516.

Il cuore di questo progetto che rende i **test di vita automatizzati** è dato dall'utilizzo di due diverse **schede a microcontrollore**. La prima scheda, la **Nucleo F030R8** ha lo scopo di **monitorare** le **luminosità** sui **LED**, **interrompere** l'**alimentazione** tramite il relè quando necessario e mandare un segnale alla **seconda scheda** per inviare una notifica via internet in caso di un evento da segnalare. Utilizza un **microcontrollore a 32bit** e una tensione di alimentazione tramite cavo USB (5V).



Figura 13 - Nucleo F030R8.

La scheda **NodeMCU** monta anch'essa un **microcontrollore a 32bit** e anch'essa ha una alimentazione via USB e dunque risulta a 5V. Questa scheda si occupa essenzialmente dell'invio della notifica in rete e per fare ciò utilizza un **modulo WiFi** montato direttamente sulla **board**, il modulo **esp8266**.



Figura 14 - NodeMCU esp8266.

Per concludere la descrizione della strumentazione, sono stati anche usati dei **jumper** e delle **breadboard** per comporre il circuito fisico.



Figura 15 - Jumpers.

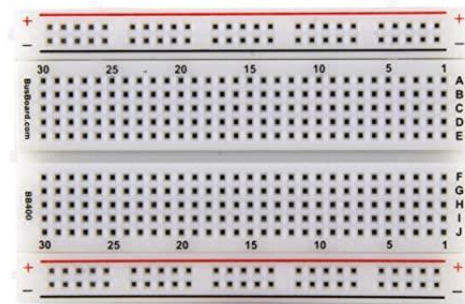


Figura 16 - Breadboard.

Nell'immagine sottostante si può vedere lo schema complessivo del setup utilizzato per le prove. I LED e le fotoresistenze risultano scoperte, ma nelle prove reali sono state racchiuse all'interno di apposite **capsule**.

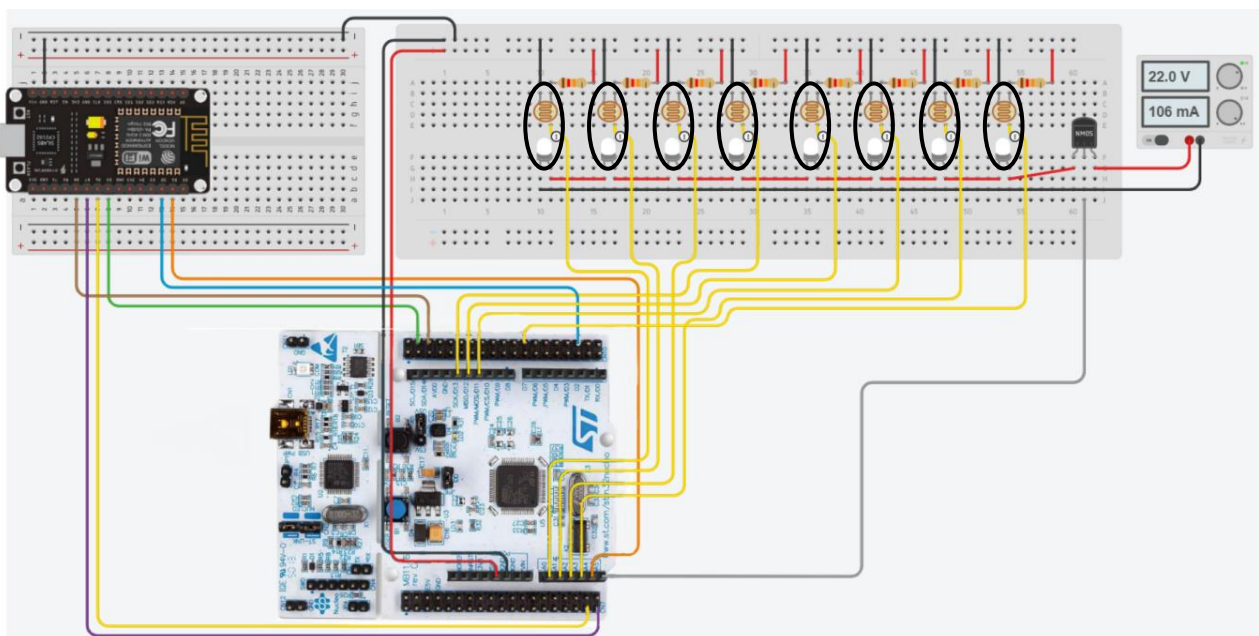


Figura 17 - Schema complessivo del setup delle prove.

Quest'ultime sono state create mediante **stampa 3D** in **PLA nero**; questo **riduce** al minimo le interferenze dovute alla **luce ambientale** e permette di separare gli effetti di ogni singolo LED.

All'interno di queste andranno posti la **cupola** del **LED** e la **fotoresistenza**, in modo che solo i rispettivi contatti fuoriescano dall'involucro. Queste capsule assolvono al duplice compito di:

1. **Mantenere fissa** la **posizione reciproca** di ogni **LED** e **fotoresistenza**, in modo che non possano spostarsi. Questo infatti, causerebbe una variazione nell'irraggiamento della fotoresistenza da parte del LED, e quindi una variazione nella misura.
2. **Schermare** la fotoresistenza dalla **luce ambientale**: anche questa potrebbe infatti alterare la misura.

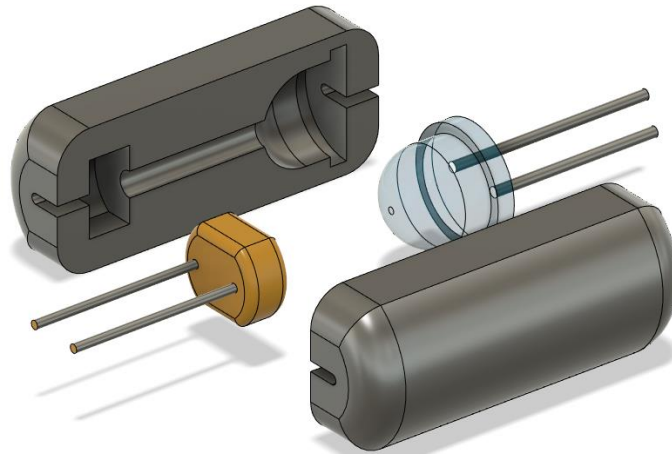


Figura 18 - Modello 3D delle capsule, usato per la stampa.

Il **canale interno** cilindrico è stato dimensionato in modo da diminuire l'impatto della **luce** sulla **fotoresistenza** con lo scopo di **non far saturare** il valore letto ai suoi capi.

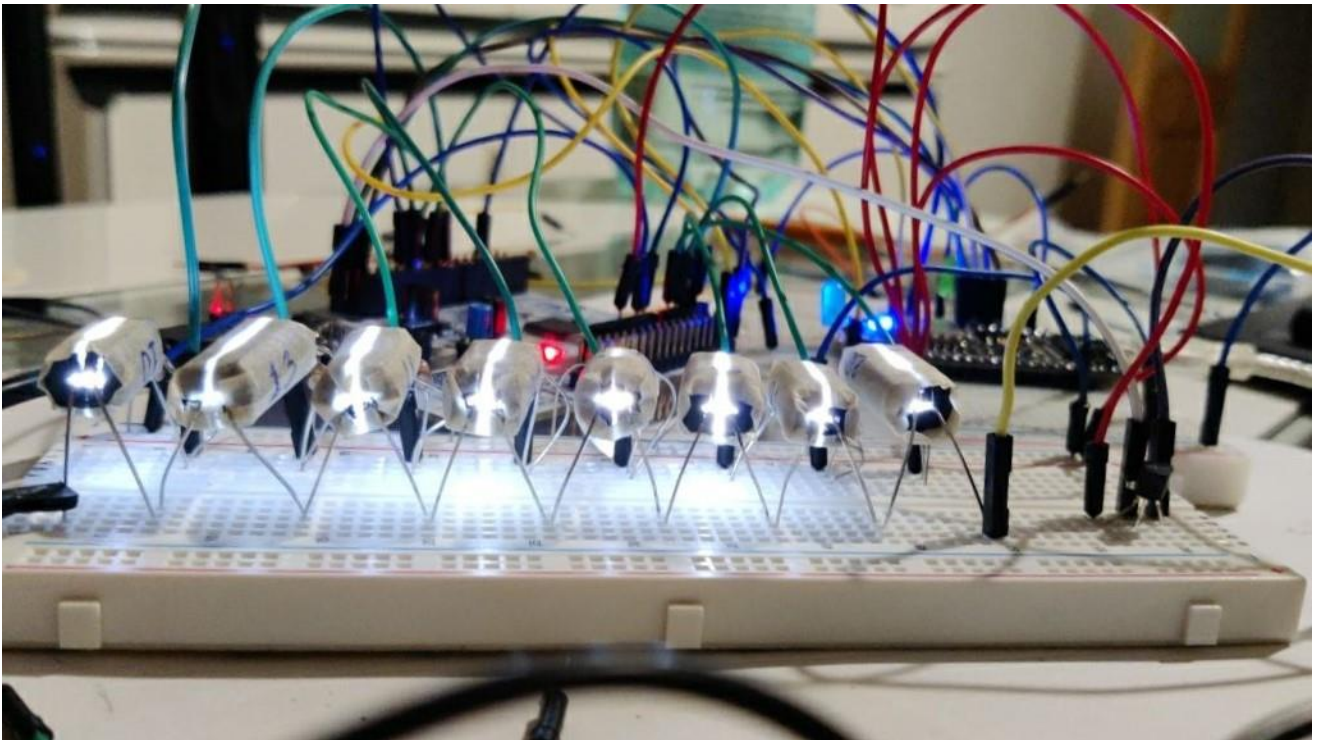


Figura 19 - Setup attivo durante una prova di vita accelerata.

5. Prove di vita accelerate

Come già accennato, il **fattore di stress** scelto per questa prova è la **corrente**, che risulta preferibile rispetto alla tensione poiché più facile da controllare per dei LED in serie. Per la prova di vita accelerata sono stati scelti quindi tre livelli di corrente *off-nominal* non troppo inferiori alla corrente massima sopportata dai LED discussa precedentemente, pari a 60, 75 e 90 mA. Le prime due prove effettuate sono state quelle con i valori di corrente più grande e più piccolo tra i tre individuati. In seguito, tramite l'utilizzo del software, è possibile stimare la distribuzione a 75 mA e verificare che sia conforme alla retta sperimentale.

Queste tre soglie di stress sono state scelte in modo tale da non dover impiegare troppo tempo nell'esecuzione della prova, ma evitando al contempo di sottoporre i campioni a uno stress troppo elevato, il quale avrebbe potuto causare un eccesso di guasti non pertinenti che si sarebbero manifestati con un modo di guasto differente da quello nelle condizioni nominali di utilizzo. I campioni così ottenuti sarebbero pertanto stati relativi a un altro fenomeno di guasto, e quindi inutili ai fini dell'indagine statistica. Questo si sarebbe riflesso in una pendenza differente nella retta interpolante i dati.

Ciascuna **prova alterna** ciclicamente **due fasi** denominate:

- **Step 0**, nella quale i LED vengono sottoposti alla **corrente off-nominal** per **4 ore**;
- **Step 1**, nella quale i LED vengono sottoposti alla **corrente nominale** per **10 secondi**.

Per ogni ciclo si tiene traccia dei nuovi guasti verificati, quindi la prova risulta a tempi troncati e nello specifico i tempi al guasto saranno multipli di **4 ore**. Inizialmente era stato scelto come modo di guasto la degradazione stabile del 30% dell'intensità luminosa dei LED. Tuttavia, i guasti si verificano per **fluttuazioni** della corrente di alimentazione che inducevano lo stesso fenomeno nella luce emessa dai LED. Per questo motivo il modo di guasto pertinente è stato sostituito con quello appena descritto, a cui ci riferiremo con il termine **flickering**. Per monitorare questa diminuzione della luminosità, ci siamo basati sulla tensione ai capi della fotoresistenza affiancata al LED, che è stata acquisita tramite l'**ADC (Analog-Digital Converter)**. Da questa abbiamo potuto leggere i valori minimi e massimi di luminosità emessa dal LED e abbiamo opportunamente scalato la differenza tra i due del 30% per ottenere il valore di soglia numerico utilizzato dal microcontrollore per discriminare i guasti. Dalle prove appena descritte sono stati raccolti i tempi al guasto di ogni LED riassunti nelle tre tabelle sottostanti.

Prima prova – 60 mA		
Tempo al guasto [h]	Livello Stress [mA]	Ordine di guasto
208	60	1
220	60	2
220	60	3
220	60	4
220	60	5
220	60	6
344	60	7
344	60	8

Tabella 1 - Tempi al guasto prova a 60 mA.

Seconda prova – 90 mA		
Tempo al guasto [h]	Livello Stress [mA]	Ordine di guasto
40	90	1
48	90	2
88	90	3
88	90	4
88	90	5
96	90	6
96	90	7
180	90	8

Tabella 2 - Tempi al guasto prova a 90 mA.

Terza prova – 75 mA		
Tempo al guasto [h]	Livello Stress [mA]	Ordine di guasto
72	75	1
144	75	2
164	75	3
168	75	4
192	75	5
200	75	6
200	75	7
200	75	8

Tabella 3 - Tempi al guasto prova a 75 mA.

6. Creazione del progetto su Weibull++

ReliaSoft è un'azienda che opera nel settore dell'affidabilità, sviluppando **best practice** e **metodologie** basate sull'**affidabilità**. Offre servizi di *training*, ma soprattutto una vasta gamma di **software** relativi al settore della **reliability**, per consentire una completa **analisi affidabilistica**. All'interno di questo pacchetto software, troviamo **Weibull++**.

Weibull++ è un programma che mette a disposizione un completo set di strumenti per l'**analisi dei dati di vita** e di **degradazione** di un prodotto sia esso **riparabile** che **no**. Questo software vanta un'**interfaccia** grafica e un calcolatore per l'analisi dei dati raccolti con molte funzionalità a supporto di un'indagine di natura affidabilistica.

Queste caratteristiche lo rendono particolarmente indicato per svolgere l'analisi dei tempi al guasto registrati e stimare un tempo di vita in condizioni nominali.

Di seguito viene descritto il procedimento col quale **analizzare** e **plottare** i **dati** raccolti, così come effettuare **previsioni** per diversi livelli di stress. Per prima cosa, avviare il software **Weibull++** (cercandolo nel menu Start, oppure con un doppio click sull'icona di **ReliaSoft 2020 Launcher**, e selezionando Weibull++ nella finestra che compare).

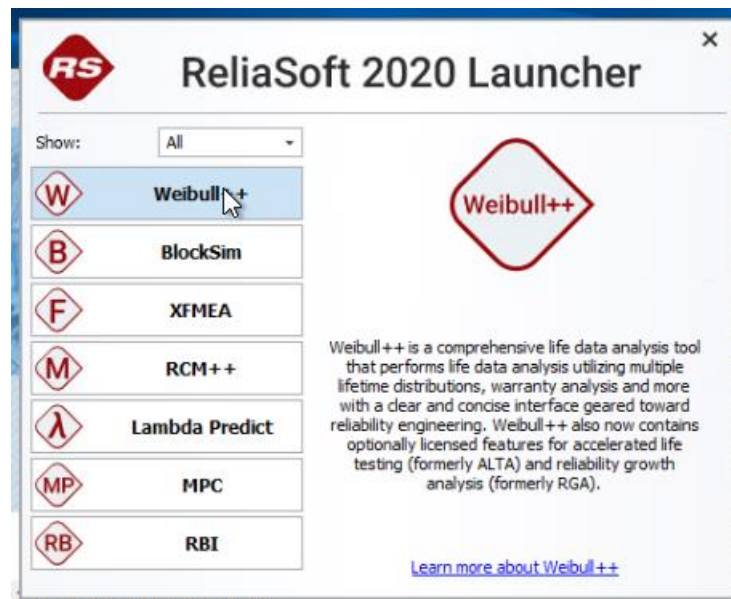


Figura 18 - Schermata iniziale di ReliaSoft 2020 Launcher.

Avviato Weibull++, recarsi nel menu **File -> New -> Standard Database -> Create**. Si apre un *wizard* grafico per la creazione del progetto. A seconda del lavoro svolto, è possibile scegliere la tipologia di progetto desiderata. Nel nostro caso, trattandosi di prove di vita accelerata, abbiamo selezionato **“Life-Stress Data”**.

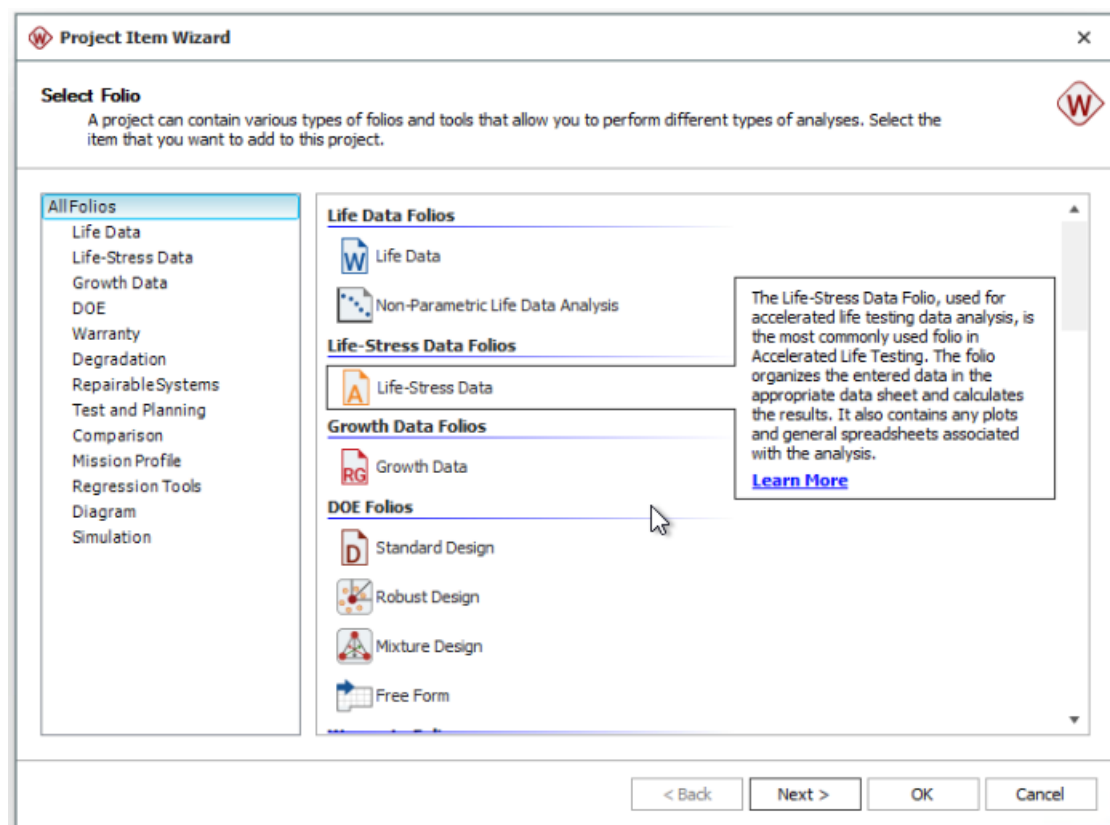


Figura 19 - Weibull++ Wizard grafico creazione progetto: prima schermata - selezione tipologia progetto.

Premiamo quindi **Next**. Nella successiva schermata, ci viene chiesto e intendiamo specificare opzioni particolari per i dati da inserire. A meno di condizioni particolari, è possibile tralasciare questo step, premendo **Next** senza spuntare alcuna voce. Nell'ultima schermata del *wizard* è possibile scegliere la **grandezza fisica** usata come **stress** nelle prove di vita accelerata. Nel nostro caso, è stato necessario

specificare **corrente** (non è inizialmente presente tra le opzioni disponibili). Per fare ciò è sufficiente premere sulla voce “<Stress name>” in fondo all’elenco, digitare il nome dello stress applicato, la sua unità di misura e il suo valore. Ovviamente, per aggiungerlo al progetto, è necessario mettere il **segno di spunta**.

Project Item Wizard

Select Stress Columns

Define the stress columns that will appear in the data sheet, and specify the use stress level(s). The following table contains some commonly used stress types, but you can change any of the labels (e.g., if your vibration values use meters per second squared instead of hertz, you can change Hz to m/s²).

Stress Name	Stress Units	Use Level
<input type="checkbox"/> Temperature	K	300
<input type="checkbox"/> Voltage	V	100
<input type="checkbox"/> Humidity	RH	50
<input type="checkbox"/> Vibration	Hz	25
<input type="checkbox"/> Temperature	R	580
<input type="checkbox"/> Mechanical	kips	25
<input checked="" type="checkbox"/> Current	mA	60
<input type="checkbox"/> <Stress name>	<Stress units>	10

Based on your selections, the data sheet will also include these stress columns:

Current
mA

< Back Next > OK Cancel

Figura 20 - Weibull++ Wizard grafico creazione progetto: terza schermata - selezione stress.

Dalla barra laterale del *Project Manager* è ora possibile aprire il **Foglio 1** (doppio click). Si passa quindi al caricamento dei dati risultanti dalle prove.

	Time Failed (hr)	Current mA	Subset ID 1
1	208	60	1
2	220	60	2
3	220	60	3
4	220	60	4
5	220	60	5
6	220	60	6
7	344	60	7
8	344	60	8
9	40	90	1
10	48	90	2
11	88	90	3
12	88	90	4
13	88	90	5
14	96	90	6
15	96	90	7
16	180	90	8
17			
18			
19			
20			
21			

Figura 21 - Inserimento dei dati sperimentali delle prove.

Una volta inseriti, si utilizza il bottone “**Distribution Wizard**” del panel **Life-Stress Data**. Questo consente di determinare in maniera automatica la distribuzione che meglio descrive e approssima i *sample* caricati. Una volta premuto sul bottone, premere **Analyze** nella finestra che compare.

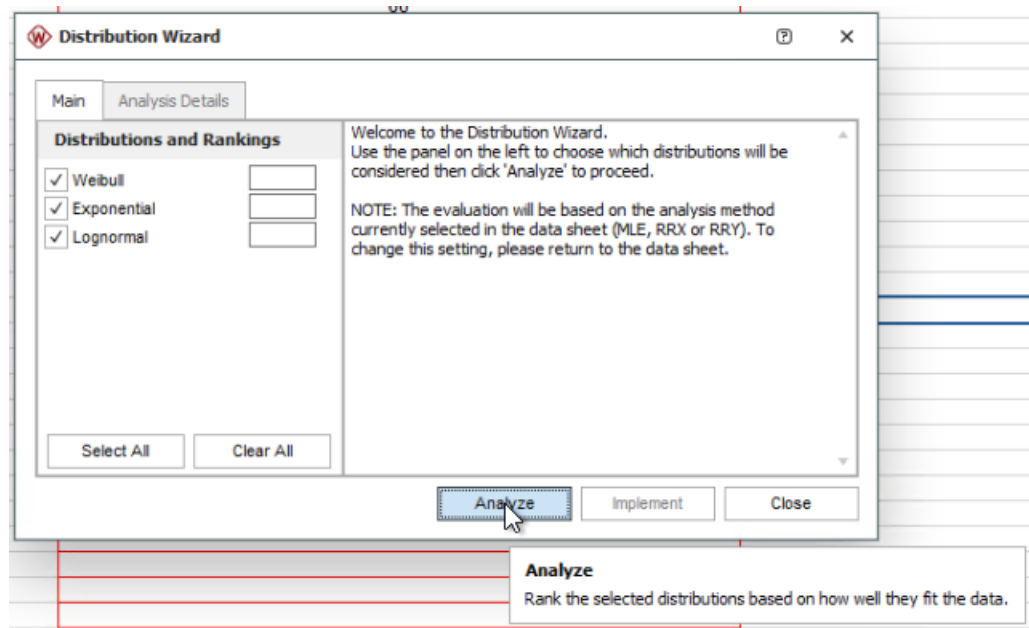


Figura 22 - Weibull++, determinazione della migliore distribuzione per il fitting dei dati, mediante wizard.

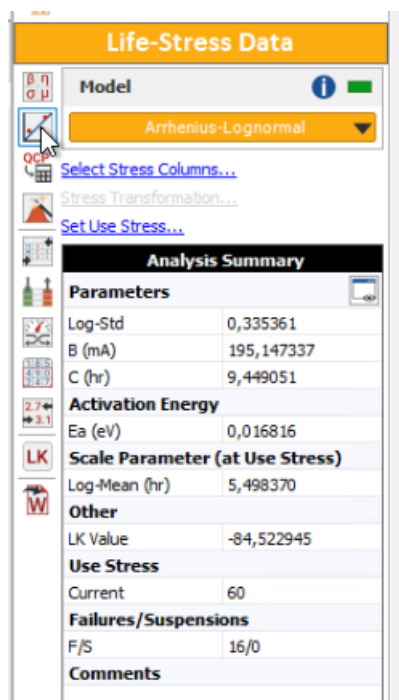


Figura 23 - Weibull++, comando per graficare i risultati dell'analisi.

Nella casella di fianco a ciascuna delle tre distribuzioni compare un numero (1, 2 o 3). Questo indica l'ordine di accuratezza della distribuzione nel fitting dei dati. Premiamo quindi su **Implement**. Siamo pronti per plottare i dati. Dalla barra laterale sulla destra, è possibile selezionare il bottone **Plot** (il secondo della colonna).

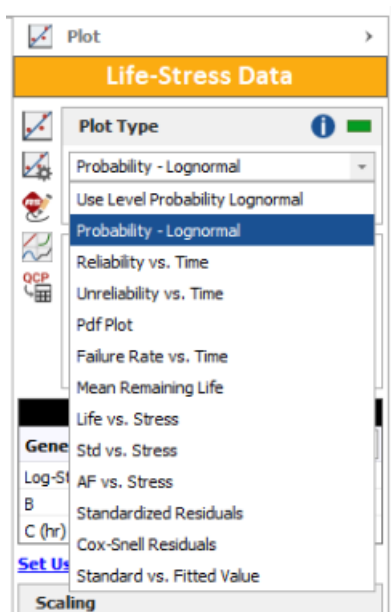


Figura 24 - Weibull++, settare il software in modo da plottare correttamente le diverse distribuzioni.

Compare quindi una scheda con il **plot** dei dati inseriti. È possibile che i dati vengano inizialmente plottati in un'unica distribuzione. Si può ovviare a questo inconveniente recandoci nella stessa sezione allo step precedente, cambiando voce nel menu a tendina, da **"Use level of probability <Nome_della_distribuzione>"** a **"Probability – <Nome_della_distribuzione>"**. Nel caso in esame, si tratta della **Lognormal**.

Si può quindi misurare il **tempo mediano al guasto**, facendo click sulle rette, e scorrendo fino a che in ordinata non si trova il 50% che fornisce la vita più probabile del dispositivo per lo stress considerato.

Per mostrare la **predizione** al valore di stress intermedio, è possibile selezionare, dal medesimo *panel* sulla destra del grafico, la voce **"Set Use Stress..."**. Inserire quindi il valore desiderato, e dare OK. Compare la distribuzione prevista per il fattore di stress inserito.

Una volta svolta anche la **terza prova**, è possibile inserire i nuovi dati nel progetto procedendo come fatto in precedenza in modo da plottare i dati e misurare il tempo mediano al guasto. Per plottare la distribuzione in condizioni di funzionamento nominali, selezionare come valore di stress quello nominale. Compare una nuova retta, che risulta ovviamente molto traslata a destra rispetto alle precedenti.

7. Analisi dei dati

I dati raccolti sono stati usati per ottenere un'informazione su quale distribuzione è consigliato usare per la nostra prova di vita; manualmente corrisponde al calcolo del β che avremmo ricavato graficamente dalla **distribuzione di Weibull**. Il valore di β ci indica quale sia la distribuzione **più adatta** a descrivere il fenomeno di guasto. Nel nostro caso il software restituisce un valore di β circa uguale a 3, quindi la distribuzione **lognormale** risulta quella più adatta. Questa considerazione è confermata anche dal software, che ci consiglia per i nostri dati la medesima distribuzione.

Di seguito sono mostrati graficamente i tempi al guasto relativi alle prime due prove, e precedentemente mostrati nelle *Tabelle 1 e 2*.

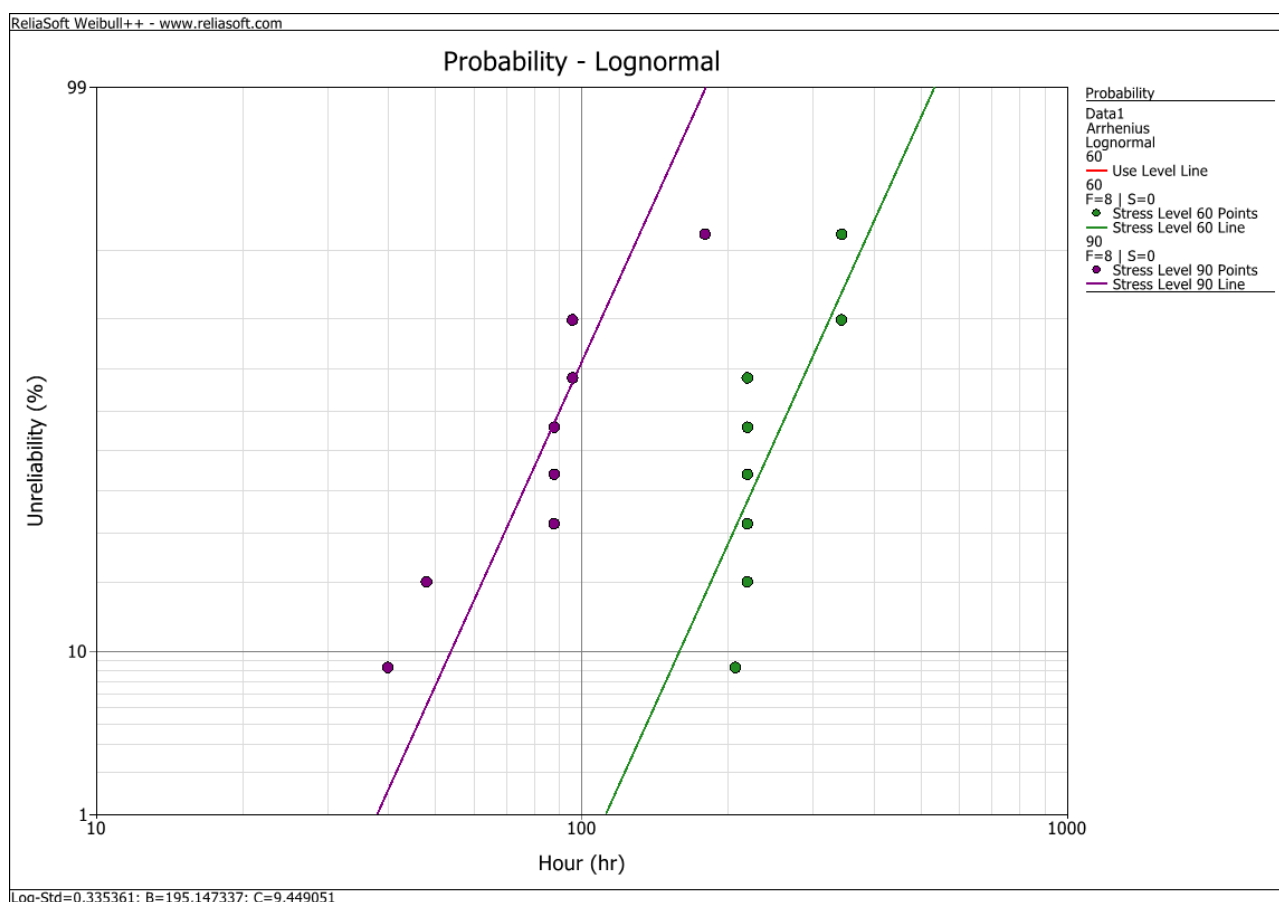


Figura 25 - Distribuzione guasti nelle prime due prove, rispettivamente a 90 mA (a sinistra) e 60 mA (a destra).

Nella distribuzione in verde, relativa ai guasti avvenuti durante la prova a **60 mA**, si può notare che cinque LED presentano il medesimo tempo al guasto. In generale, questo fenomeno è piuttosto insolito. Inoltre, potrebbe rivelarsi deleterio nella corretta previsione di una distribuzione a un livello di stress differente. Solitamente, i guasti seguono appunto una delle principali distribuzioni viste durante il corso di Affidabilità. Tuttavia, il ridotto numero di LED disponibili, ha reso impossibile trascurare questi *outlier*, pena il restare praticamente privi di dati, e il non poter effettuare questa indagine statistica.

Abbiamo ipotizzato che la causa di questa simultaneità nei guasti dei dispositivi sia da cercare nello stress aggiuntivo causato dai fenomeni transitori generati dal **flickering** del primo LED rotto. Questo potrebbe infatti ripercuotersi negativamente sugli altri **device under test (DUT)**.

Complessivamente, le due rette mostrano un buon parallelismo. Questo ci consente di continuare lo studio in corso. Questa proprietà geometrica delle due distribuzioni conferma che il **meccanismo di guasto** è lo **stesso** per le **due prove**. Se questo parallelismo non si verificasse, anche se i guasti sembrano essere della stessa tipologia, sarebbero dovuti a meccanismi di guasto differenti.

Alla luce delle considerazioni fatte, e partendo dai dati raccolti dalle prime due prove, è quindi possibile stimare la distribuzione dei guasti che si dovrebbero ottenere, sollecitando i dispositivi con una corrente di 75 mA.

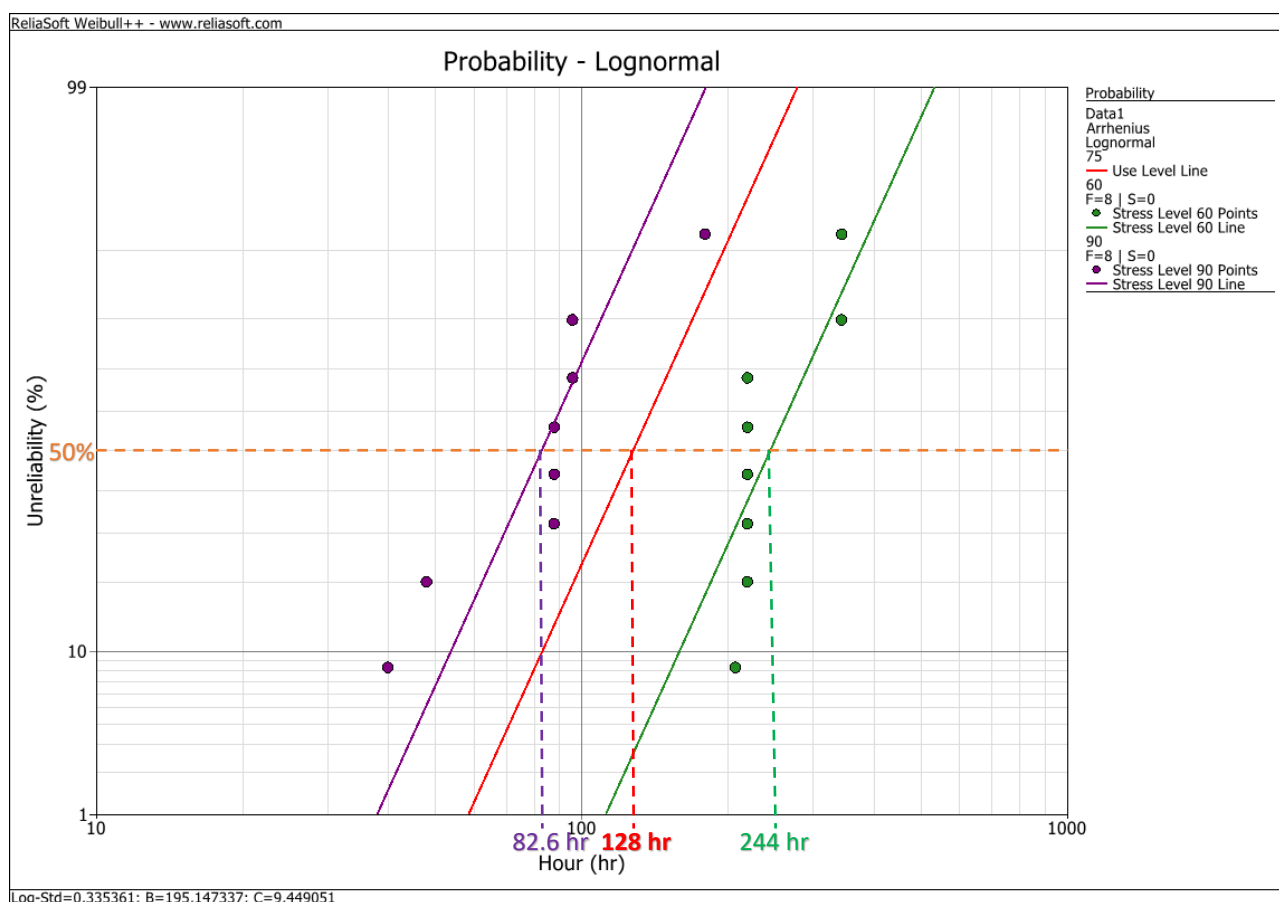


Figura 26 - Distribuzione guasti nelle prime due prove, rispettivamente a 90 mA (a sinistra) e 60 mA (a destra). In rosso, al centro, la distribuzione prevista per i guasti a 75 mA.

Da questo grafico sono stati estratti i tempi mediani al guasto nelle diverse distribuzioni, di seguito riportati.

Livello di stress	Tempo mediano al guasto
90 mA	82.6 h
75 mA (previsione)	128 h
60 mA	244 h

Tabella 3 - Tempi al guasto per le prime due prove e per la previsione a 75 mA.

Si può stimare la previsione anche tramite calcoli manuali a partire dai **modelli di accelerazione**. Mettendo a sistema le due equazioni che caratterizzano i due stress applicati è possibile stimare i parametri relativi al fenomeno di guasto e quindi stimare con una terza equazione il tempo mediano al guasto previsto per il terzo stress. Tuttavia, questo procedimento risulta dispendioso in termini di tempo e ovviamente soggetto ad errori, pertanto si è optato per la previsione fornita dal software.

Successivamente, è stata eseguita la prova con livello di stress intermedio, per verificare l'attendibilità della previsione appena effettuata. I dati sono quelli mostrati nella *Tabella 3* e in maniera analoga a quanto fatto per le prime due prove, sono stati elaborati e graficati mediante il software Weibull++.

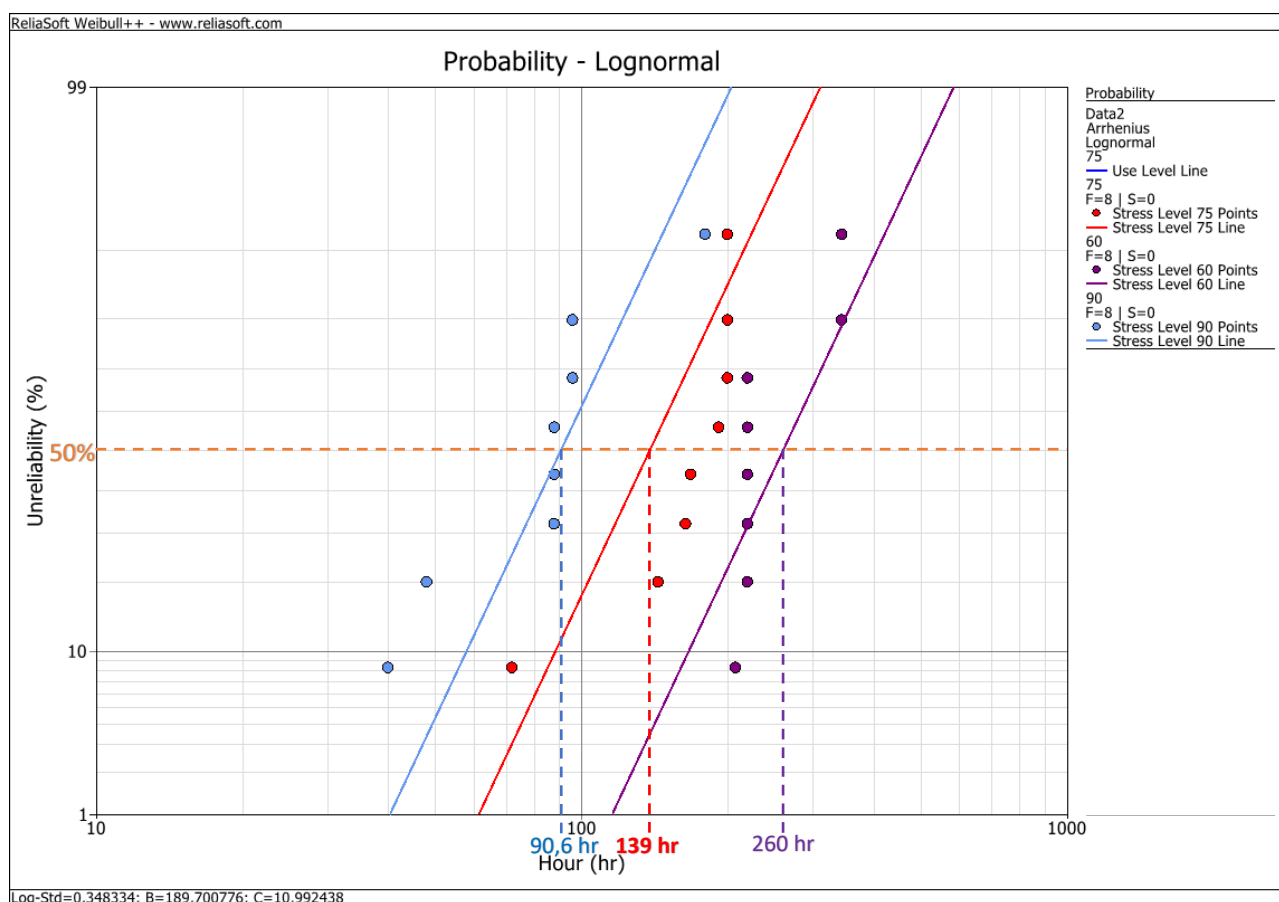


Figura 27 - Distribuzione guasti nelle prime tre prove, rispettivamente a 90 mA (a sinistra) e 60 mA (a destra). In rosso, al centro, la distribuzione reale dei guasti verificatisi durante la prova a 75 mA.

Similmente a quanto fatto alla fine delle prime due prove, sono stati misurati i tempi mediani al guasto per le diverse distribuzioni.

Livello di stress	Tempo al guasto
90 mA	90.6 h
75 mA (sperimentale)	139 h
60 mA	260 h

Tabella 4 - Tempi mediani al guasto per le tre prove effettuate

Possiamo notare che la precedente **stima**, che forniva un valore di 128 ore, risulta essere **conforme** a quella **sperimentale**: il valore ottenuto sperimentalmente è infatti di 139 ore, con uno **scostamento** di solo il **9%**. Questo conferma l'attendibilità delle misure svolte finora e ci autorizza, in ultima istanza, a stimare con un buon grado di accuratezza la durata di vita del dispositivo in **condizioni nominali**. Procediamo come prima per ottenere il seguente grafico.

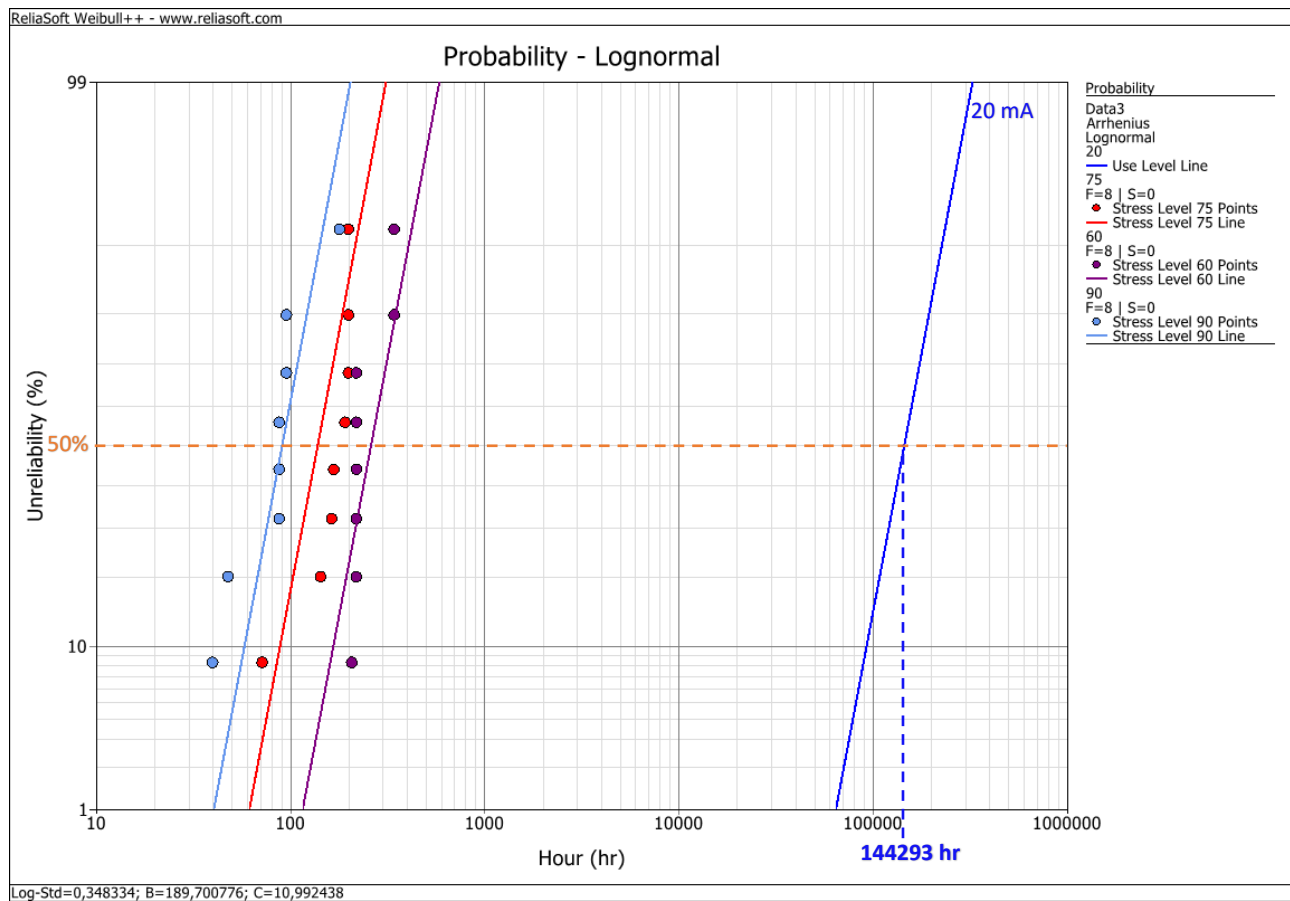


Figura 28 - Distribuzione guasti nelle prime tre prove, rispettivamente a 90 mA (a sinistra), 75 mA (al centro) e 60 mA (a destra, in viola). In blu, a destra, la distribuzione stimata per i guasti in condizioni nominali (20 mA).

La retta in blu che compare alla destra nel grafico di *Figura 30* rappresenta la distribuzione prevista per un utilizzo dei dispositivi in **condizioni nominali**, vale a dire 20 mA. Questa presenta un tempo mediano al guasto pari a 144293 ore, che equivalgono a **16 anni** circa.

8. Difficoltà incontrate

1. Deriva della corrente.

Durante le prove, è stato notato un fenomeno particolare relativo al valore della corrente. Nello specifico, avviata la prova e fissata la corrente al valore desiderato, questa tendeva ad aumentare di circa 10 mA dal momento dell'avvio, nel giro di pochi minuti. Pensiamo che questo fenomeno sia causato dalla variazione della caratteristica dei LED, al variare della temperatura, e dello stesso alimentatore. Infatti, entrambi iniziano la prova a temperatura ambiente. Ma a causa delle dissipazioni di potenza per effetto Joule, presto sia i LED che l'alimentatore diventano sensibilmente più caldi. Questo effetto potrebbe inoltre essere stato acuito dalla presenza delle capsule usate per schermare gli effetti della luce esterna. Infatti, queste ostacolano la dissipazione del calore, magari contribuendo a una degradazione più rapida dei LED. Questa possibilità non era stata considerata durante il *planning* della prova, e dimostra quanta cura è necessario usare nel pianificare dei test di vita accelerata.

2. Avvio e fine delle prove potrebbero causare sollecitazioni indesiderate.

È stato notato inoltre che molti dei guasti si sono verificati a ridosso dell'inizio di uno Step 0 (la parte della prova in cui viene somministrato lo stress). Abbiamo quindi ipotizzato che anche lo sbalzo di corrente dovuta all'apertura e chiusura del circuito, in seguito a fine/inizio prova, possa causare uno stress aggiuntivo sui DUT, e portarli a guastarsi precocemente.

3. Il transistor di potenza inizialmente scelto non risulta indicato come interruttore in questa prova ed è preferibile un relè.

Come spiegato nella descrizione dei componenti usati, il transistor non si è rivelato un buon interruttore. Infatti, il transistor di potenza inizialmente individuato come switch (IRL2203NSPbF) richiedeva tensioni di pilotaggio eccessive, le quali non sono erogabili dalle schede a microcontrollore impiegate nella prova. Inoltre, anche iniettando la tensione di gate opportuna, si poteva misurare una corrente di drain non trascurabile, di diverse decine di mA. Va detto infatti che il MOSFET in questione è più espressamente progettato per applicazioni industriali, in particolare per essere operato su correnti di anche decine di A, range di valori decisamente sopra la nostra scala. Abbiamo optato quindi per un più semplice relè.

4. Portare avanti il progetto a distanza a causa delle numerose restrizioni legate al COVID-19.

9. Conclusioni

Il tempo mediano al guasto previsto per la prova intermedia a 75 mA è di 128 ore, mentre quello effettivamente misurato è di 139. Si tratta di uno scostamento del 9%. La causa di questo scostamento è da ricercare nella natura aleatoria del fenomeno in studio. In particolare, soli otto campioni di dispositivo per prova non costituiscono una base di partenza sufficientemente ampia per effettuare un'inferenza statistica. Va anche detto però che l'obiettivo di questo progetto non era caratterizzare con valenza legale i dispositivi studiati, ma fornire a noi studenti una prima esperienza con questo genere di attività affidabilistiche. Volendo infatti fare qualche considerazione circa la validità dell'analisi svolta, i risultati sarebbero stati migliori utilizzando un set di dispositivi più ampio, l'apposita strumentazione da laboratorio, e svolgendo tutti i test in un'infrastruttura dedicata, come appunto un laboratorio. Resta il fatto che, pur avendo eseguito le prove in casa, con strumentazioni più espressamente da hobbistica, abbiamo ottenuto un ottimo risultato, e le previsioni effettuate risultano coerenti con le informazioni reperite durante il corso di Affidabilità. Sappiamo infatti che, con i normali standard di realizzazione dei dispositivi elettronici commerciali, si arriva a valori di tempo mediano al guasto, in condizioni nominali di utilizzo, di alcuni anni. In particolare, per quelli optoelettronici, si arriva anche alle decine di anni di vita. Il valore dai noi trovato, 144293 ore, corrisponde a circa 16 anni e mezzo di utilizzo costante. Sfortunatamente non è stato possibile reperire su internet informazioni esatte circa la stima del *vendor* dei LED riguardo questo dispositivo per confrontare i nostri risultati con quelli ufficiali.

10. Bibliografia

Datasheet dei dispositivi usati

- STM Nucleo F030R8 –
<https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f030r8.html>
- NodeMCU –
https://www.nodemcu.com/index_en.html
- LED Cree® 5mm Round LED C535A-WJN –
<https://www.cree.com/led-components/media/documents/C535A-WJN-877.pdf>
- Fotoresistenze GL5516 –
<https://datasheetspdf.com/datasheet/GL5516.html>
- Alimentatore da banco Aim-TTi, 3 uscite, 15W - Codice costruttore: EB2025T –
<https://it.rs-online.com/web/p/alimentatori-da-banco/3400380/>
- Transistor BJT 2N2222A –
<https://datasheetspdf.com/pdf-file/490365/STMicroelectronics/2N2222A/1>
- Transistor interruttore generale (poi scartato) -
<https://www.infineon.com/dgdl/irl2203nspbf.pdf?fileId=5546d462533600a40153565b62fd24fd>
- Relè JQC-3F(T73) –
<https://belchip.by/sitedocs/18425.pdf>

Software utilizzati:

- ReliaSoft –
<https://www.reliasoft.com/>
- Weibull++ -
<https://www.reliasoft.com/products/weibull-life-data-analysis-software>

Teoria

- Lucidi di Affidabilità dei Componenti Elettronici, corso di Prof.ssa Mura Giovanna, DIEE Università degli Studi di Cagliari –
<https://people.unica.it/giovannamura/didattica/materiale-didattico/>