



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica e dell'Automazione

**Analisi della affidabilità attraverso la distribuzione di Weibull e
i Life Test: uno studio applicato**

**Reliability analysis through Weibull Distribution and Life
Testing: an applied study**

Relatore:

Prof. Gianluca Ippoliti

Tesi di laurea di

Lorenzo Meloccaro

Correlatore:

Ing. Roberto Lucchetti

Anno Accademico 2023 / 2024

Ai miei genitori,
che mi guardano da lassù.

A Chiara,
ragione di ogni mio successo,
e al futuro che costruiremo insieme.

A me stesso,
ed ai miei sogni.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Obiettivo della tesi.	1
1.2	Scelta del test	1
1.3	L'azienda	3
1.4	Software utilizzati.....	3
2	Generalità sui Life Test.....	5
2.1	Life Test accelerati.....	5
2.1.1	Fattore di Accelerazione	6
2.1.2	Failure rate	7
2.1.3	La Distribuzione di Weibull	9
2.1.4	Tempo Medio Tra i Guasti	10
2.1.5	<i>Maximum Likelihood Estimation</i>	12
2.2	Cenni sul modello di Coffin-Manson	14
3	Il modello statistico	15
3.1	Applicazione del modello di Coffin-Manson con coefficienti di Norris-Landzberg e Fattore di Accelerazione	16
3.2	Calcolo dei parametri caratteristici di Weibull tramite Minitab	18

3.2 Test preliminari	21
3.3 Setup del Life Test.....	24
4 Risultati after Life Test	25
5 Conclusioni	29
Bibliografia.....	31
Sitografia	33
Ringraziamenti.....	34

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Obiettivo della tesi

Il seguente studio è incentrato sulla realizzazione di un modello di predizione dei guasti applicato ad una prova vita accelerata per ventilatori utilizzati in cappe da cucina. L'elaborato si concentrerà, mediante l'utilizzo della distribuzione di Weibull¹, sulla progettazione di un modello di previsione del fallimento di motori elettrici.

1.2 Scelta del Test

Si è scelto di utilizzare la distribuzione statistica di Weibull², che verrà presentata nel capitolo seguente, in quanto studi precedenti³ hanno evidenziato la sua semplicità di implementazione e la sua flessibilità nell'adattarsi al

¹ Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

² Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

³ Nelson W.: Applied life data analysis. 1982. New York: John Wiley & sons, Inc.

modello: tali qualità hanno reso la distribuzione di Weibull⁴ utilizzata adatta a modellare una vasta gamma di applicazioni reali.

La distribuzione di Weibull⁵, sebbene rappresenti un utile modello matematico, richiede un'attenta valutazione dei risultati per essere applicato con successo in scenari reali.

Si è scelto di combinare la distribuzione di Weibull con il modello di stress termico di Coffin-Manson⁶, il quale modella le deformazioni e la conduttività dei materiali usati. Inserendo nel modello di Coffin-Manson anche i coefficienti di Norris-Landzberg⁷, utili per estendere il modello di Coffin-Manson agli effetti dello stress termico sulle parti elettroniche, si può ottenere un modello predittivo che permette di stimare il tempo medio tra i guasti con un'alta precisione temporale.

⁴Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

⁶ Stephens R.I., Fatemi A., Stephens R.R., Fuchs H.O.: Metal Fatigue for engineering. 2001. New York: John Wiley & sons, Inc.

⁷ W. Xie. Modified Norris-Landzberg Model for Reliability of Pb-free BGA Components. 2021. 22nd International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. Malta, pp. 1-11.

1.3 L'azienda

Tale lavoro è stato svolto presso l'azienda EMC FIME, divisione di Elica S.p.A., con sede a Castelfidardo (AN), in cui si è sviluppato il mio lavoro di tesi facendo parte dell'ufficio Ricerca e Sviluppo.

L'azienda succitata opera con i più moderni sistemi di calcolo, sia per simulazioni meccaniche, fluidodinamiche ed elettriche, sia per la divisione dei Life Test, con camere climatiche, variabili in temperatura e umidità a seconda delle necessità dei test, completamente automatizzate nell'acquisizione dati e nella programmazione dei cicli dei relativi test.

1.4 Software utilizzati

È stato selezionato il software Minitab Statistical Software⁸, che per snellire la trattazione verrà citato come Minitab. Esso risulta essere uno strumento utile messo a disposizione dall'azienda per analizzare tale studio; fornisce un ambiente interattivo per la manipolazione dei dati, la modellazione statistica e la rappresentazione grafica, consentendo agli utenti di esplorare, analizzare e interpretare set di dati complessi.

⁸ Minitab Statistical Software. Consultato il 19/04/2024
<https://www.minitab.com/en-us/>

Tale software offre funzionalità integrate per l'analisi di affidabilità, compresa la distribuzione di Weibull⁹. Tali funzionalità hanno reso possibile eseguire lo studio statistico in modo rapido e preciso, senza dover ricorrere a software aggiuntivi.

Nel software è possibile definire diversi piani di testing; in questo studio è stato applicato il cosiddetto *Demonstration Approach*¹⁰, che si basa sul dimostrare che le condizioni di test non alterino il risultato del test.

⁹ Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook. 2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

¹⁰ Meeker W.Q., Escobar L.A., Pascual F.: Statistical Methods for Reliability Data. 1998. New York: John Wiley & sons, Inc.

Capitolo 2

Generalità sui LifeTest accelerati

2.1 Life test accelerati

I test di vita accelerata¹¹, comunemente denominati Life Test, sono risultati essere una pratica fondamentale per valutare le caratteristiche di vita dei prodotti e delle loro componenti; per semplificare la trattazione verranno citati come ALT, *Accelerated Life Test*.

A causa delle difficoltà nell'ottenere dati di guasto in condizioni operative normali, i test di vita accelerata mirano a mostrare i malfunzionamenti in un tempo più breve.

Tuttavia, risulta fondamentale che il test accelerato non alteri il meccanismo di guasto né introduca nuovi meccanismi di guasto.

Per garantire la validità del test accelerato, è anche importante considerare i seguenti aspetti¹²:

- le condizioni di test devono essere rappresentative delle condizioni operative reali.

¹¹ Ivi Nelson W.: *Applied Life Data Analysis*. 1982. New York: John Wiley & sons, Inc, pp.389-392.

¹² Nelson W.: *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analyses*.1990. New York: John Wiley & sons, Inc.

- i dati raccolti devono essere analizzati in modo accurato, al fine di estrarre dati attendibili.
- i risultati del test devono essere confrontati con i dati storici o con i risultati di test precedenti, al fine di validare la loro accuratezza e attendibilità.

Risulta consuetudine, quindi, usare sia metodi analitici statistici, come quelli Bayesiani¹³, sia metodi classici, tra cui la stima di massima verosimiglianza¹⁴, il metodo del *chi quadro*¹⁵ o le stime euristiche¹⁶.

2.1.1 Fattore di Accelerazione

I prodotti che non funzionano in modo continuativo in condizioni normali, se fossero sottoposti a sollecitazioni continue, presenterebbero guasti prima di quelli testati mediante utilizzo normale.

Il fattore di accelerazione rappresenta il rapporto tra la frequenza di guasto di un prodotto in condizioni operative normali e la sua frequenza di guasto in condizioni accelerate.

È effettivamente possibile analizzare i dati risultanti da Life Test utilizzando gli stessi metodi statistici impiegati per esaminarli in condizioni normali.

¹³ Ivi Nelson W.: Applied Life Data Analysis. 1982. New York: John Wiley & sons, Inc, pp.164-173.

¹⁴ Ivi Nelson W.: Applied Life Data Analysis. 1982. New York: John Wiley & sons, Inc.

¹⁵ Hogg, R.V., Tanis, E., Zimmerman, D.: Probability and Statistical Inference. 2015. Upper Saddle River: Pearson.

¹⁶ Pearl J.: Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. 1984. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Formalmente è possibile definire il Fattore di Accelerazione¹⁷ come:

$$AF = \frac{T_{REAL}}{T_{TEST}} > 1$$

dove:

T_{REAL} è il tempo di vita del campione senza fattori acceleranti;

T_{TEST} è la durata del test.

2.1.2 Failure rate

Il Failure rate indica la probabilità condizionata¹⁸ che un campione sopravviva per un certo intervallo di tempo T . In questo intervallo temporale, è utile considerare la media temporale del Failure rate.

Tale media temporale osserva un andamento detto *a vasca da bagno*¹⁹, tradotto dall'inglese *Bathtub*, dove vengono messi in relazione il tasso di guasto con il tempo di test, come riportato in figura 1.

¹⁷ Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

¹⁸ Hogg, R.V., Tanis, E., Zimmerman, D.: Probability and Statistical Inference.2015. Upper Saddle River, Pearson.

¹⁹ Cfr. Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis, pp.108-109.

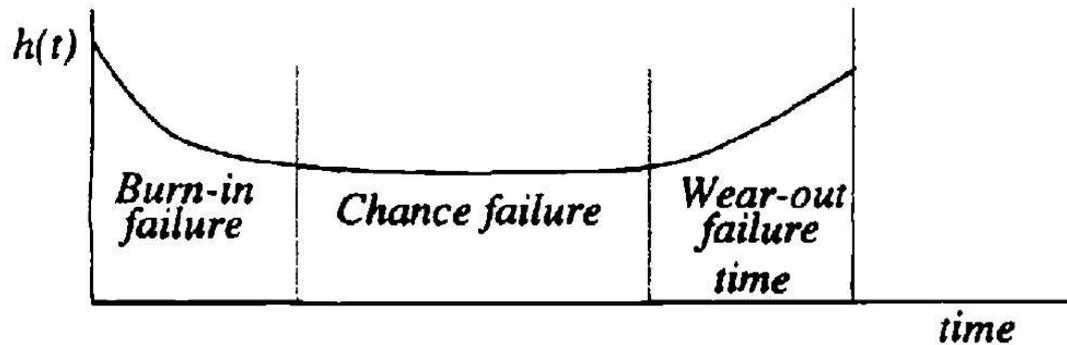


Figura 1 tipico andamento della Bathtub curve

La distribuzione della curva è suddivisa in tre fasi distinte:

- il periodo di mortalità infantile
- la vita normale
- il periodo di usura.

Il periodo di mortalità infantile²⁰ è caratterizzato da un alto tasso di guasto dovuto ai difetti di fabbricazione e ai problemi che si verificano nelle prime fasi dei test. Quando il prodotto entra nella fase di vita normale²¹, il tasso di guasto si stabilizza e rimane costante, descrivendo principalmente guasti casuali²².

²⁰ Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

²¹ Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

²² Ibidem Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

Nell'ultima fase, il periodo di usura, il tasso di guasto aumenta notevolmente a causa del deterioramento fisico del prodotto.

2.1.3 La Distribuzione di Weibull

L'analisi della distribuzione di Weibull può essere utilizzata come metodo per determinare dove si trova una popolazione di campioni sulla curva a vasca da bagno²³.

I tre parametri che compongono la distribuzione di Weibull sono β , η , e tempo t .

La funzione di densità di probabilità²⁴, il cui andamento è mostrato in figura 2, di una variabile casuale Weibull è definita come:

$$f(\beta, \eta, t) = \frac{\beta}{\eta} * \frac{t}{\eta}^{\beta-1} * e^{-\frac{t^\beta}{\eta}}$$

Il parametro di *forma* β ²⁵ della distribuzione di Weibull è un indice dell'occorrenza del tempo di guasto di un campione.

Variando il suo valore, la distribuzione può catturare diverse fasi del ciclo di vita di un prodotto, dalle prime rotture al rapido deterioramento.

In particolare, i valori di β inferiori a 1 indicano una riduzione del tasso di guasto, mentre i valori uguali a 1 modellano il periodo di vita utile con guasti casuali costanti. Quando β aumenta a 3, la distribuzione approssima la distribuzione

²³ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

²⁵ Ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

normale²⁶; ulteriori aumenti fino al valore 10 indicano un rapido deterioramento con un tasso di guasto in aumento.

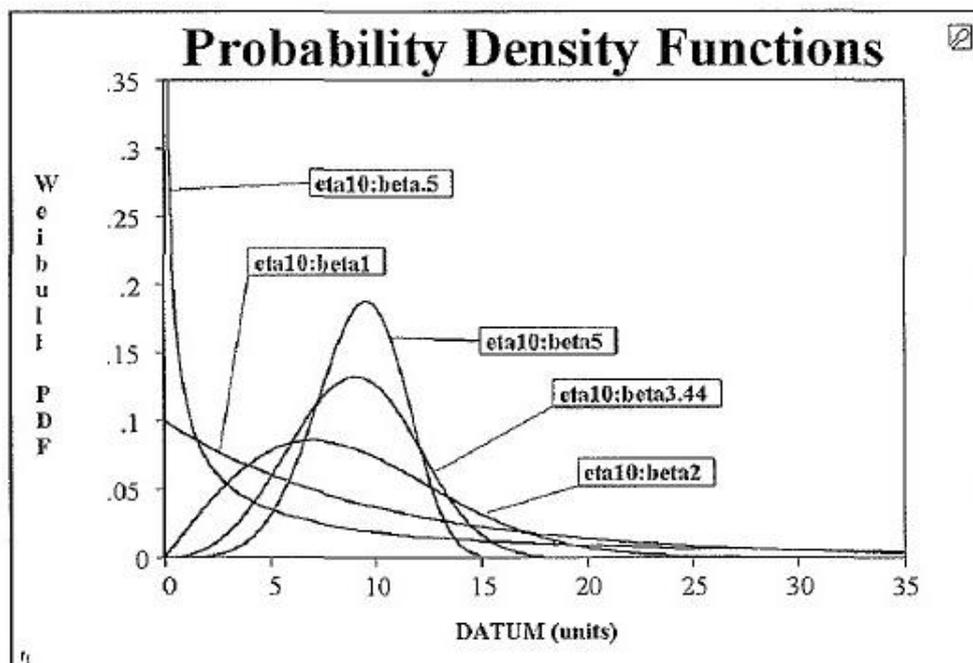


Figura 2 andamento della pdf della distribuzione di Weibull per alcuni parametri noti

2.1.4 Tempo Medio Tra i Guasti

Il tempo medio tra i guasti, definito come MTBF²⁷, *Mean Time Between Failures*, osservabile in figura 3, rappresenta la durata media tra due guasti

²⁶ Hogg, R.V., Tanis, E., Zimmerman, D.: Probability and Statistical Inference.2015. Upper Saddle River, Pearson.

²⁷ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

consecutivi e fornisce una misura della frequenza con cui si verificano i guasti.

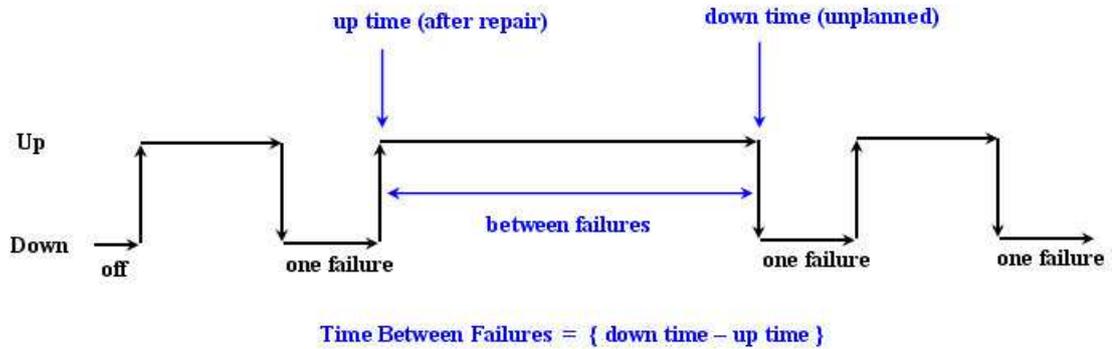


Figura 3 Tempo Medio Tra i Guasti

Il MTBF viene calcolato sommando il Tempo Medio Tra Guasti²⁸, citato come MTTF, che è il tempo medio tra l'inizio dell'operatività di un sistema e il verificarsi del primo guasto, con il Tempo Medio di Riparazione²⁹, citato MTTR, ovvero il tempo medio necessario per riparare o sostituire un sistema o componente dopo un guasto.

Formalmente:

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

Essendo MTTF un parametro che descrive la vita media di un componente, risulta ottenibile come valore atteso della funzione densità di probabilità:

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt$$

²⁸ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

²⁹ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

Oppure come integrale su tutto il dominio della funzione affidabilità:

$$f(t) = \frac{d}{dt}F(t) = \frac{d}{dt}[1 - R(t)] = -\frac{d}{dt}R(t)$$

$$MTTF = -\int_0^{\infty} t \frac{d}{dt}R(t)dt = [-t \cdot R(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Integrando per parti

Si definisce invece il tasso di guasto medio³⁰, come la media temporale per un certo periodo del tasso di guasto:

$$\hat{h} = \frac{1}{t} \int_0^t h(t)dt$$

Concettualmente il tasso di guasto medio ed il MTTF sono l'uno il reciproco dell'altro.

Si può confondere MTBF con MTTF solo quando il MTTR è trascurabile rispetto al MTTF. Questa circostanza è riscontrabile solo in presenza di sistemi altamente affidabili, quindi con MTTF molto elevato o di sistemi riparabili rapidamente.

2.1.5 Maximum Likelihood Estimation

Il metodo *Maximum Likelihood Estimation*³¹, o massima verosimiglianza, è un metodo per stimare i parametri delle distribuzioni a partire da set di dati sperimentali, tenendo conto anche delle prove interrotte.

Formalmente:

Considerati y_1, \dots, y_n valori corrispondenti a prove arrivate a rottura e

³⁰ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016.
Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

³¹ Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016.
Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

$y'_1 \dots y'_n$ valori corrispondenti a prove interrotte, e stimata la pdf³² di una certa popolazione di campioni:

$$f(y) = f(y, \alpha, \beta)$$

dove α e β sono i parametri da identificare, la probabilità che un campione si rompa nell'intervallo $[y_i - \frac{dy}{2}; +y_i + \frac{dy}{2}]$ vale:

$$P_i = f(y_i, \alpha, \beta) dy$$

Mentre la probabilità che un individuo sopravviva oltre y'_i vale:

$$P'_j = 1 - F(y'_j, \alpha, \beta)$$

La probabilità totale, quindi, di estrarre un campione come quello ottenuto (massima verosimiglianza) è data da:

$$\Lambda(\alpha, \beta) = \prod_i^n f(y_i, \alpha, \beta) dy \cdot \prod_j^u [1 - F(y_j, \alpha, \beta)]$$

I valori ottimali di α e β si ottengono minimizzando la funzione:

$$\lambda(\alpha, \beta) = \sum_i^n \ln [f(y_i, \alpha, \beta)] + \sum_j^u \ln [1 - F(y_j, \alpha, \beta)] + \ln(dy)$$

Tale minimizzazione può essere fatta con metodi numerici.

³² Ivi Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

2.2 Cenni sul modello di Coffin-Manson

Questo modello viene utilizzato quando lo stress è dovuto a cicli di temperatura e shock termici.

Il ciclo di temperatura sarà caratterizzato da differenza tra le temperature estreme, pendenza della rampa che le congiunge, dai tempi di sosta alle temperature estreme e dall'energia di attivazione³³ necessaria.

Tale parametro descrive l'energia minima di cui ha bisogno un processo fisico per attivarsi; esso è utile per poter stimare il fattore di accelerazione³⁴ tenendo conto di vari livelli di stress applicato.

Esso è un modello empirico, cioè, basato sull'analisi sperimentale dei dati: la deformazione del materiale dipende principalmente dal numero di cicli che servono per portare a rottura il materiale.

Il modello di Coffin-Manson³⁵ considera tre fattori: la temperatura massima (T_{Max}), la differenza di temperature ΔT e la frequenza di ciclo, f .

L'equazione del modello è:

$$N = Af^{-a}\Delta T^{-b}G(T_{max})$$

Dove:

N = è il numero dei cicli che porta alla rottura

f = è la frequenza di ciclo

ΔT = è la differenza di temperatura ($T_{Max} - T_{Min}$) durante il ciclo

³³ Ivi Meeker W.Q., Escobar L.A., Pascual F.: Statistical Methods for Reliability Data.1998. New York: John Wiley & sons, Inc.

³⁴ Nelson W.: Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analyses.1990. New York: John Wiley & sons, Inc.

³⁵ Stephens R.I., Fatemi A., Stephens R.R., Fuchs H.O.: Metal Fatigue for engineering. 2001. New York: John Wiley & sons, Inc.

A = è un coefficiente costante incognito

a = è l'esponente della frequenza di ciclo, un valore tipico è circa -1/3

b = è l'esponente della differenza di temperatura, un valore tipico è circa 2

$G(T_{Max}) = e^{\frac{EA}{kT_{max}}}$ è un termine Arrhenius valutato alla massima temperatura

T_{Max} = è la massima temperatura raggiunta in ogni ciclo

k = è la costante di Boltzmann 8.623×10^{-5} eV/K

E_A = energia di attivazione

Capitolo 3

Il modello statistico

3.1 Applicazione del modello di Coffin-Manson con coefficienti di Norris-Landzberg e Fattore di Accelerazione

Il modello di Coffin-Manson³⁶ con coefficienti di Norris-Landzberg³⁷ si è rivelato uno strumento prezioso per prevedere la vita a fatica dei componenti meccanici ed elettronici soggetti a cicli termici.

Il modello è stato applicato per analizzare gli effetti della temperatura e della frequenza sulla vita a fatica di un prodotto specifico.

Esse sia durante il ciclo di vita sia durante il test sono state definite in una temperatura massima di 40°C, corrispondente alla temperatura in Kelvin di 313 K per il ciclo di vita e 50°C, in Kelvin 323 K per il test; inoltre è stata scelta una temperatura minima di 5°C. La temperatura viene inserita nel modello di stress termico in Kelvin.

³⁶ Ivi Stephens R.I., Fatemi A., Stephens R.R., Fuchs H.O.: Metal Fatigue for engineering. 2001. New York: John Wiley & sons, Inc.

³⁷ W. Xie. Modified Norris-Landzberg Model for Reliability of Pb-free BGA Components. 2021. 22nd International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. Malta. pp. 1-11.

La normativa di riferimento per i motori elettrici montati su cappe da cucina stima l'utilizzo durante il ciclo di vita è di 2 volte al giorno, mentre durante il test è di 4 volte al giorno.

I coefficienti di Norris-Landzberg, A, B e C, sono stati determinati empiricamente sulla base di precedenti test di vita sullo stesso prodotto.

Scegliendo A= 1.9, B= 0.33, C= 1414 si può calcolare il Fattore di Accelerazione:

$$AF = \frac{N_U}{N_A} = \left(\frac{\Delta T_A}{\Delta T_U} \right)^a \left(\frac{f_U}{f_A} \right)^b \exp \left(c \left(\frac{1}{T_{\max,U}} - \frac{1}{T_{\max,A}} \right) \right)$$

Sostituendo le temperature in Kelvin ed i coefficienti descritti in precedenza, si ottiene facilmente il valore di AF pari a 2.244681.

3.2 Calcolo dei parametri caratteristici di Weibull tramite Minitab

Il componente oggetto del life test è progettato per funzionare per un tempo di funzionamento target di 7300 ore, con una durata di vita di 10 anni, e è soggetto a temperature medie di funzionamento di 60°C.

Il test è stato eseguito per una durata di 200 giorni, durante i quali il componente ha subito 18.189 cicli, equivalenti a circa $7,53 \cdot 10^8$ rivoluzioni.

Applicando il fattore di accelerazione calcolato in precedenza, si è considerato che il componente avrebbe completato circa $1,09 \cdot 10^9$ rivoluzioni in condizioni operative reali, corrispondenti a un numero significativo di ore di lavoro.

Siccome il tempo di vita è maggiore del tempo di testing³⁸, il life test risulta ben posto e ciò rende il fattore di accelerazione consistente.

Mediante l'uso di Minitab³⁹ e grazie alla scelta del parametro di forma⁴⁰ pari a 3.6, basandosi su life test precedenti svolti in azienda sullo stesso prodotto, è possibile calcolare il *Demonstration Test Plan*⁴¹ in modo semplice e intuitivo, come mostrato in figura 4.

³⁸ ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

³⁹ Minitab Statistical Software. Consultato il 19/04/2024

<https://www.minitab.com/en-us/>

⁴⁰ ivi Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis

⁴¹ Minitab Statistical Software, sezione Support. Consultato il 15/05/2024

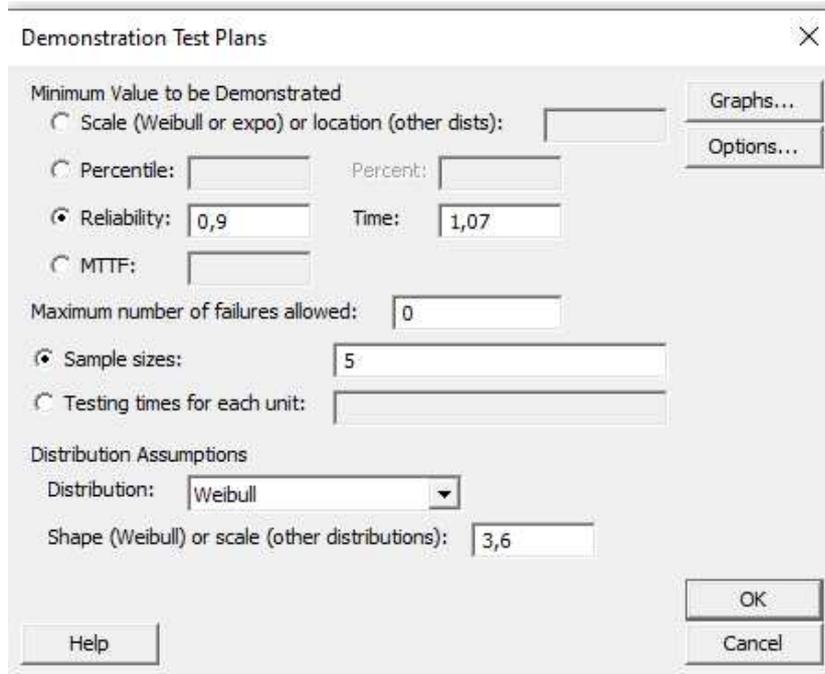


Figura 4 Calcolo su Minitab del Demonstration Test Plans

Reliability Test Plan

Distribution: Weibull, Shape = 3,6

Reliability Goal = 0,9, Actual Confidence Level = 90%

Test Plans

Failure Test	Sample Size	Testing Time
0	5	1,61183

Figura 5 calcolo del testing time con Minitab

<https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/reliability/how-to/demonstration-test-plan/before-you-start/overview/>

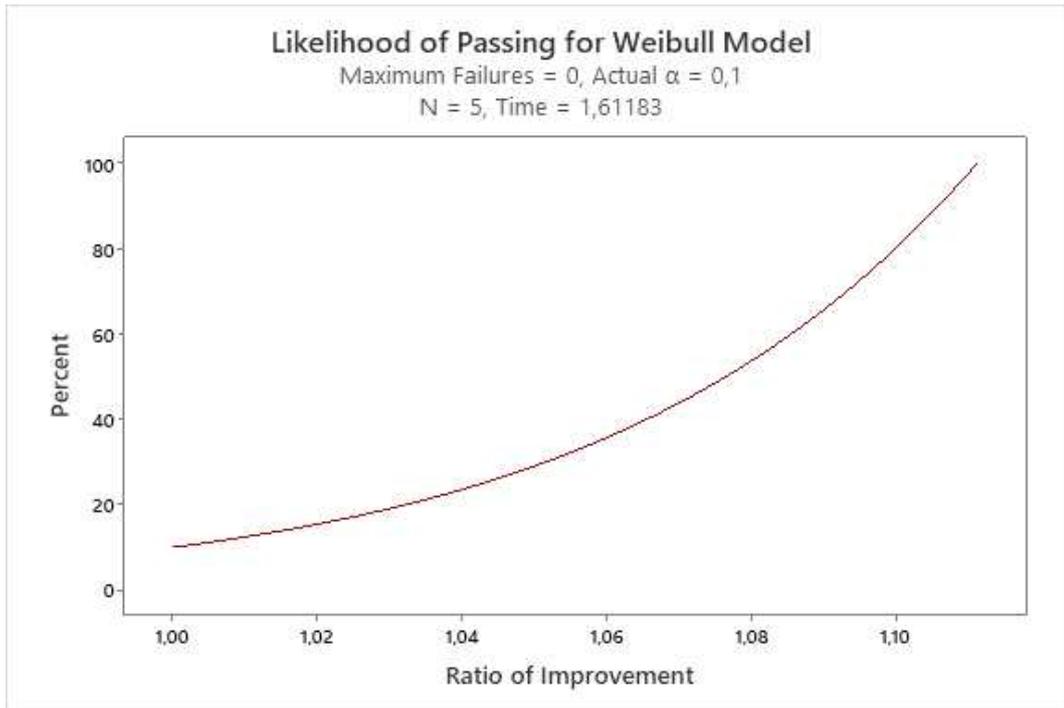


Figura 6 Stima della distribuzione di Weibull con il metodo della Massima Verosimiglianza

Per garantire la validità dei risultati, sono stati stabiliti dei criteri di successo, tra cui un aumento del rumore massimo di 3 dBA, zero guasti e un degrado delle prestazioni inferiore al 10%.

Per effettuare queste verifiche sono stati condotti dei test preliminari, che verranno descritti nel capitolo seguente.

3.3 test preliminari

Il test ha lo scopo di validare il corretto funzionamento delle componenti meccaniche ed elettriche del ventilatore della cappa cucina VE7⁴².

L'obiettivo è quello di verificare che il prodotto soddisfi le specifiche tecniche, garantendo la rimozione di vapori e odori dalla cucina.

Attraverso il Life Test si intende accertare la corretta funzionalità del motore, delle componenti meccaniche e la conformità alle norme di sicurezza.



Figura 7 Il ventilatore VE7, oggetto del Life Test

I test preliminari descrivono le prestazioni in modo da poterle confrontare con le stesse dopo il Life Test.

⁴² il nome del prodotto è stato modificato per motivi di privacy

In particolare, sono stati eseguiti test di rumore e vibrazioni⁴³ a velocità massima ed in assenza di carico in camera anecoica, posizionando un accelerometro in un punto specifico del motore, come mostrato in figura 8.



Figura 8 posizionamento accelerometro sulla coclea

Inoltre, sono state valutate le prestazioni fluidodinamiche del motore a 230V e 50Hz per misurare la portata-prevalenza⁴⁴, nonché il suo consumo di potenza, corrente e velocità a 220V e 240V, a 50Hz e con una larghezza di impulso⁴⁵ del 100% in aria libera.

In tabella 1 sono riportati i valori misurati prima del life test a bocca libera ed in piena aria, alle tensioni di 220 V, 230 V e 240 V.

⁴³ Brandt A.: Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures. 2011. New York: John Wiley & sons, Inc.

⁴⁴ Bleier F.: Fan handbook: selection, application, and design. 1998. Boston: McGraw-Hill

⁴⁵ Grahame Holmes D., Lipo T.: Pulse Width Modulation for Power Converters: Principles and Practice.2003. New York: John Wiley & sons, Inc.

At 220V @50Hz BOCCA LIBERA					At 230V @50Hz BOCCA LIBERA					At 240V @50Hz BOCCA LIBERA				
Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM	Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM	Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM
	[%]	[W]	[A]	[RPM]		[%]	[W]	[A]	[RPM]		[%]	[W]	[A]	[RPM]
1	100	180	1,43	2405	1	100	173	1,46	2433	1	100	184	1,36	2430
2	100	172	1,38	2400	2	100	170	1,43	2480	2	100	179	1,32	2436
3	100	180	1,41	2440	3	100	173	1,44	2470	3	100	185	1,37	2471
4	100	181	1,42	2444	4	100	175	1,47	2460	4	100	185	1,37	2468
5	100	174	1,4	2420	5	100	175	1,44	2470	5	100	181	1,34	2447
Notes					Notes					Notes				

Tabella 1 parametri elettrici iniziali dei campioni

Infine, è stata misurata la magnetizzazione del rotore del motore elettrico, i cui risultati sono mostrati nel prossimo capitolo.

In figura 9 è rappresentato il check di eventuali anomalie del rotore che possono creare anomalie di vibrazioni o di rumore, effettuato prima del test di magnetizzazione.

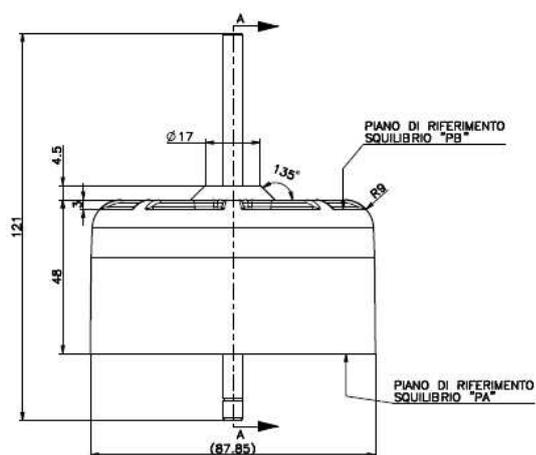


Figura 9 Quote del rotore per check anomalie di produzione

3.4 Setup del Life Test

Prima di poter iniziare il Life test sono state scelte, tenendo conto dei parametri derivanti dalla distribuzione di Weibull e dal modello di Coffin-Manson con coefficienti di Norris-Landzberg, le condizioni di stress termico dei campioni.

Tali condizioni sono state determinate per simulare scenari operativi reali, con una temperatura minima di $20,0^{\circ}\text{C}$ e una temperatura massima di $50,0^{\circ}\text{C}$ e umidità relativa del 75%, e con una velocità massima di 2728 rpm raggiunta durante il test a fronte di 2480 rpm in condizione operative reali.

Sono stati quindi posizionati i 5 campioni di ventilatori nella camera climatica come in figura 10. Il test è stato condotto per duecento giorni.



Figura 10 setup dei motori elettrici nella camera climatica

Capitolo 4

Risultati *after Life Test*

Dopo ventotto giorni, è stato fatto un check intermedio dei parametri elettrici e di eventuali anomalie meccaniche, durante il quale è emerso che le giranti si erano rotte in tutti i campioni tranne che nel campione denominato 3, suggerendo una debolezza strutturale critica nelle giranti.

In risposta, queste ultime sono state sostituite con una forza di serraggio superiore e il test è stato fatto ripartire.

Dopo duecento giorni, come anticipato nel precedente capitolo, il life test è stato completato e sono stati eseguiti test finali per valutare la prestazione dei componenti dopo lo stress termico.

I parametri elettrici misurati alla fine del Life test sono riportati in Tabella 2.

At 220V @50Hz BOCCA LIBERA					At 230V @50Hz BOCCA LIBERA					At 240V @50Hz BOCCA LIBERA				
Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM	Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM	Sample n°	PWM	Power	Current	SPEED TACHIM
	[%]	[W]	[A]	[RPM]		[%]	[W]	[A]	[RPM]		[%]	[W]	[A]	[RPM]
1	100	178	1,40	2450	1	100	182	1,37	2480	1	100	175	1,30	2430
2	100	176	1,36	2375	2	100	179	1,33	2390	2	100	182	1,30	2400
3	100	180	1,38	2405	3	100	175	1,30	2360	3	100	184	1,33	2425
4	100	170	1,30	2370	4	100	184	1,37	2460	4	100	186	1,34	2470
5	100	180	1,38	2400	5	100	170	1,29	2350	5	100	183	1,33	2420
Notes					Notes					Notes				

Tabella 2 parametri elettrici dopo il Life Test

È stata eseguito nuovamente il test di Portata-Prevalenza⁴⁶, che ha riscontrato un degrado inferiore al 10%, che soddisfa i criteri di successo del test.

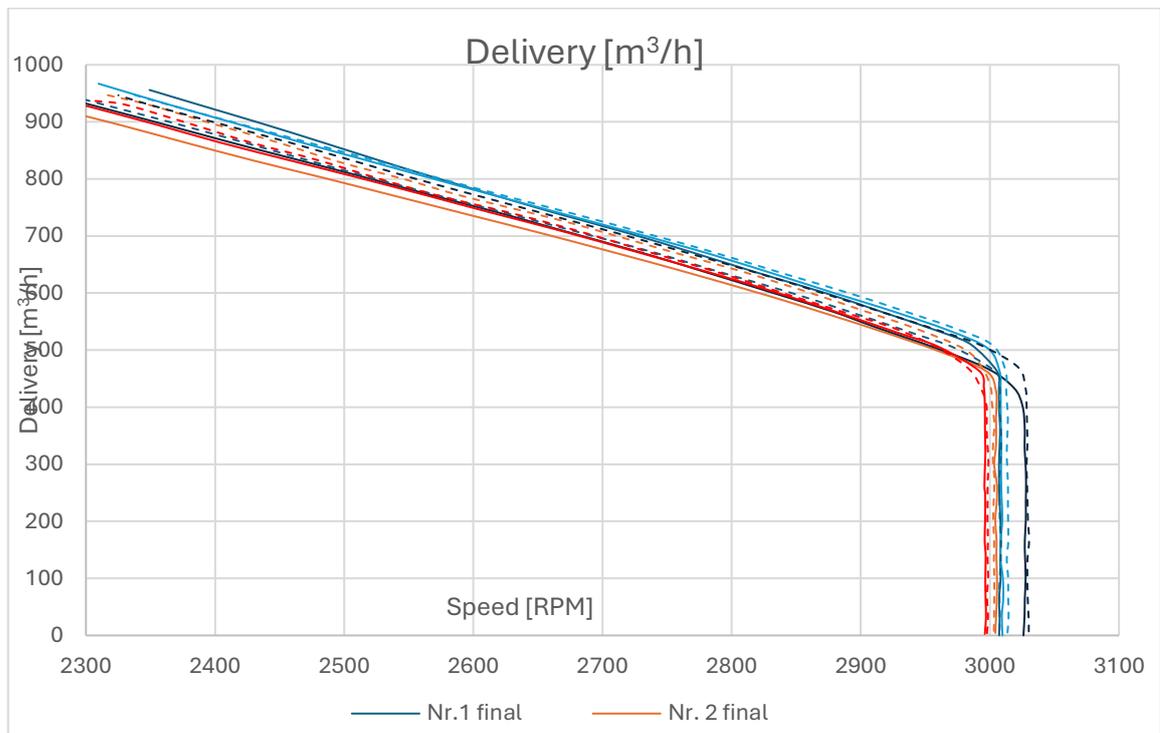


Figura 11 Confronto test di Portata-prevalenza prima e dopo il Life Test

Le linee tratteggiate rappresentano la curva di Portata-Prevalenza prima del Life Test, quelle continue rappresentano la curva dopo il Life Test.

Si precisa che ogni colore della curva rappresenta un campione di motore elettrico.

⁴⁶ Bleier F.: Fan handbook: selection, application, and design. 1998. Boston: McGraw-Hill

Di seguito sono riportate le misure di magnetizzazione del campione 1. In blu è riportata la curva di magnetizzazione prima del Life test, in arancione la curva dopo il Life Test.

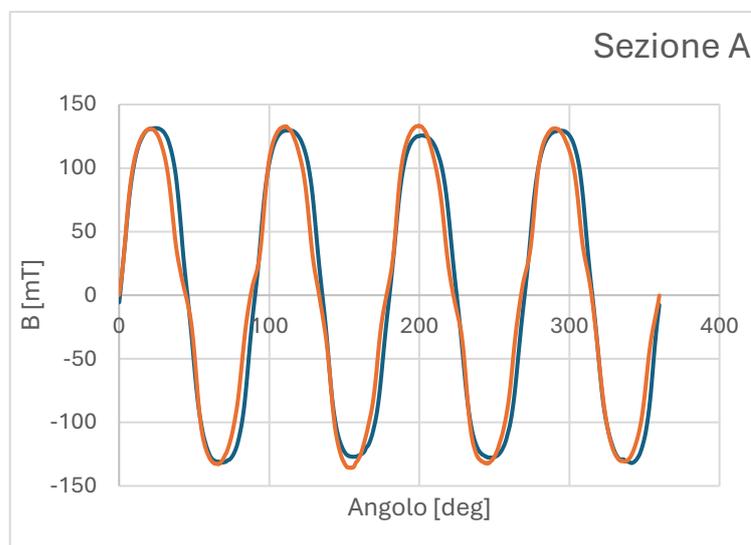


Figura 12 Confronto della magnetizzazione nella sezione A del rotore prima e dopo il Life Test

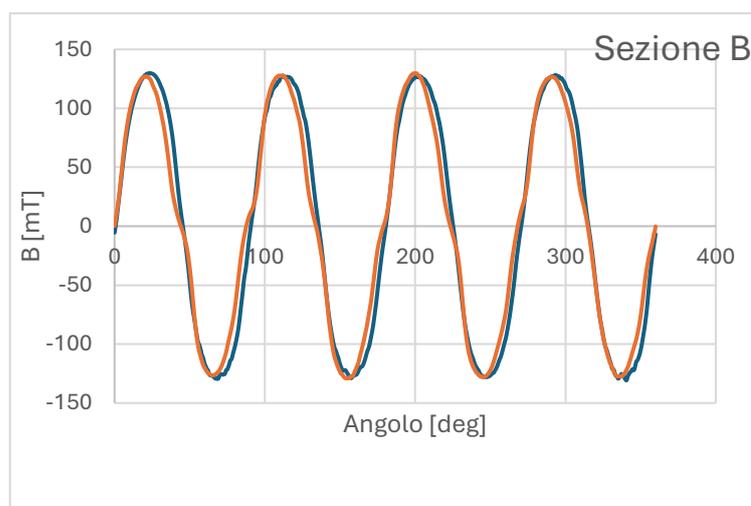


Figura 13 Confronto della magnetizzazione nella sezione B del rotore prima e dopo il Life Test

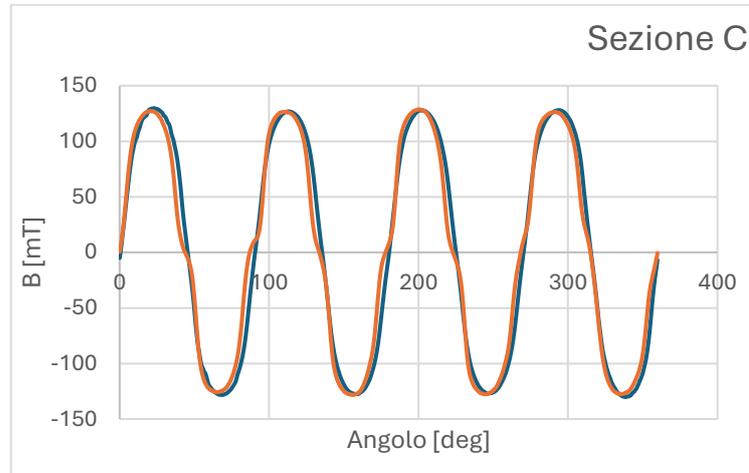


Figura 14 Confronto della magnetizzazione nella sezione C del rotore prima e dopo il Life Test

I test ripetuti sulla magnetizzazione del rotore non hanno mostrato variazioni significative.

I risultati dei test finali after Life Test dimostrano che il ventilatore ha superato con successo tutte le specifiche richieste, presentando un degrado inferiore al 10% rispetto ai parametri dei test iniziali.

Capitolo 5

Conclusioni

In sintesi, questa tesi ha dimostrato l'affidabilità del motore elettrico per cappa da cucina VE7 attraverso un Life Test.

I risultati suggeriscono che il suddetto non subisce un degrado significativo delle prestazioni se sottoposto a stress termico.

È fondamentale ricordare che il risultato positivo del test è stato ottenuto combinando la distribuzione di Weibull con il modello di Coffin-Manson, il quale modella l'usura delle componenti meccaniche, a cui sono stati aggiunti i coefficienti di Norris-Landzberg per tener conto anche dell'usura delle componenti elettroniche.

Il software Minitab si è rivelato un utile strumento per poter stimare i parametri caratteristici della distribuzione di Weibull e per il Fattore di Accelerazione.

Sebbene dopo ventotto giorni le giranti siano state sostituite, il Life Test si è concluso positivamente, portando a risultati sperati.

Tali risultati mostrano un degrado inferiore al 10 per cento dei parametri caratteristici del motore.

Lo studio svolto evidenzia come il modello matematico sia specifico per l'applicazione studiata, escludendo la possibilità di generalizzare il modello per altri motori elettrici con stesse applicazioni.

Lo studio potrebbe essere integrato con Big Data e Intelligenza Artificiale, con algoritmi addestrati a prevedere guasti, generalizzando il modello il più possibile.

Inoltre, gli sviluppi futuri dovrebbero concentrarsi sulle cause dei guasti delle giranti.

Bibliografia

Rinne H.: The Weibull Distribution: a handbook.2008. Boca Raton: CRC press,
Taylor and Francis

Nelson W.: Applied life data analysis.1982. New York: John Wiley and sons Inc.

Meeker W.Q., Escobar L.A., Pascual F.: Statistical Methods for Reliability
Data.1998. New York: Wiley

Grahame Holmes D., Lipo T.: Pulse Width Modulation for Power Converters:
Principles and Practice.2003. New York: John Wiley & sons, Inc.

Modarres M., Kaminskiy M.P., Krivstov V.: Reliability Engineering and Risk
Analysis.2016. Boca Raton: CRC press, Taylor and Francis.

Nelson W.: Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data
Analyses.1990. New York: John Wiley & sons, Inc.

Hogg, R.V., Tanis, E., Zimmerman, D.: Probability and Statistical
Inference.2015. Upper Saddle River, Pearson.

Pearl J.: Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. 1984. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.

Brandt A.: Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures. 2011. New York: John Wiley & sons, Inc.

Bleier F.: Fan handbook: selection, application, and design. 1998. Boston: McGraw-Hill

W. Xie. Modified Norris-Landzberg Model for Reliability of Pb-free BGA Components. 2021. 22nd International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. Malta. pp. 1-11.

Sitografia

<https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/reliability/how-to/demonstration-test-plan/before-you-start/overview/>

<https://www.minitab.com/en-us/>

Ringraziamenti

Alla fine di questo elaborato, mi sembra doveroso dedicare uno spazio per ringraziare tutte le persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo meraviglioso percorso di approfondimento delle conoscenze acquisite durante gli anni universitari.

In primis desidero ringraziare il mio relatore Gianluca Ippoliti per i suoi preziosi consigli e per avermi guidato nella stesura dell'elaborato. Non meno importante è stato l'aiuto del mio correlatore Roberto Lucchetti, per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare alla mia tesi.

Non posso esimermi dal ringraziare l'azienda presso la quale ho svolto il mio tirocinio, *EMC FIME*. Ritengo una grande fortuna aver avuto la possibilità di svolgere il mio lavoro di tesi in un ambiente lavorativo così interessante e dinamico, che mi ha permesso di mettermi in gioco e fare un'esperienza che sarà preziosa per il mio futuro.

Ringrazio inoltre Mamma e Papà: anche da lassù, senza i vostri insegnamenti, la vostra comprensione e il vostro sostegno non avrei mai raggiunto questo traguardo, grazie!

A Chiara, la mia fidanzata, che ha visto il meglio e il peggio di me durante questo percorso accademico. La tua presenza nella mia vita è stata una costante fonte di conforto, di sostegno e di ispirazione. Ti ringrazio per avermi

aiutato a credere in me stesso e a raggiungere i miei obiettivi. Non potrei essere più grato di avere te nella mia vita.

Un grazie speciale a Gianni ed Assunta, per avermi sostenuto con costanza e per essere sempre al mio fianco.

Un grazie ai miei amici di sempre, Alessandro, Gianmarco ed Eliseo, che hanno alleggerito i miei momenti più pesanti e mi hanno spronato a dare sempre di più.

Ringrazio tutti i ragazzi che ho conosciuto nel mio percorso universitario e con cui ho avuto un rapporto speciale. In particolare, grazie ai ragazzi del Polimarche Racing Team: grazie per aver condiviso con me questo incredibile viaggio: le lunghe ore di lavoro, le difficoltà e le vittorie hanno creato un legame indissolubile tra noi, e sono orgoglioso di aver fatto parte di questo progetto.

Il lavoro di tesi è una degna conclusione di questo percorso; credo che possa essere un ottimo punto di partenza per il mio percorso universitario.

Ancona, Ottobre 2024

Lorenzo Meloccaro

