

Paolo Giachin

07.12.2006

Elettronica per telecomunicazioni AA 2014 – 15

AFFIDABILITÀ NEI SISTEMI ELETTRONICI

Sommario

- Introduzione
- Alcuni concetti sull'affidabilità
- Elementi determinanti
- Predire l'affidabilità
- Verificare l'affidabilità
- Progettare l'affidabilità
- Risorse
- Conclusione

Introduzione

Concetti – Affidabilità o qualità?

- ◆ Definizione di affidabilità

“capacità di un sistema di mantenere nel tempo la rispondenza alle funzioni per cui è stato progettato o prodotto”

- ◆ Definizione di qualità

“rispondenza di un sistema alle funzioni [implicite ed esplicite] per cui è stato progettato o prodotto”

Concetti – Affidabilità o qualità?

L'affidabilità di un sistema (comunque complesso) è la sua capacità di mantenere nel tempo la qualità iniziale.

Concetti

- ◆ Statisticamente parlando, essendo $g(t)dt$ la probabilità che il sistema si guasti tra t e $t+dt$, e $G(t) = \int_0^t g(t)dt$ con $G(0) = 0, G(\infty) = 1$ la probabilità che il sistema si guasti nella sua vita fino all'istante t , l'affidabilità è rappresentata dalla probabilità che non si guasti nello stesso periodo e vale

$$A(t) = 1 - G(t)$$

Concetti

- ◆ Il guasto (fault) è un difetto (non rispondenza alle specifiche) di un componente di un sistema
- ◆ Il guasto determina uno o più errori (errors), ovvero stati anomali del sistema.
- ◆ L'errore determina uno o più fallimenti (failures), ovvero l'incapacità definitiva del sistema di rispondere alle specifiche.
- ◆ In sintesi l'affidabilità si occupa di failures, purtroppo dato che "fallimento" è una parola che ha molti significati si utilizza guasto per indicare sia i fault che i failure.

Concetti – unità di misura

- ◆ MTTF: Tempo medio fino al failure (nei sistemi non riparabili)
- ◆ MTBF: Tempo medio tra i failure (nei sistemi riparabili)
- ◆ Misurati in ore
- ◆ Spesso accompagnati dalle condizioni di operatività

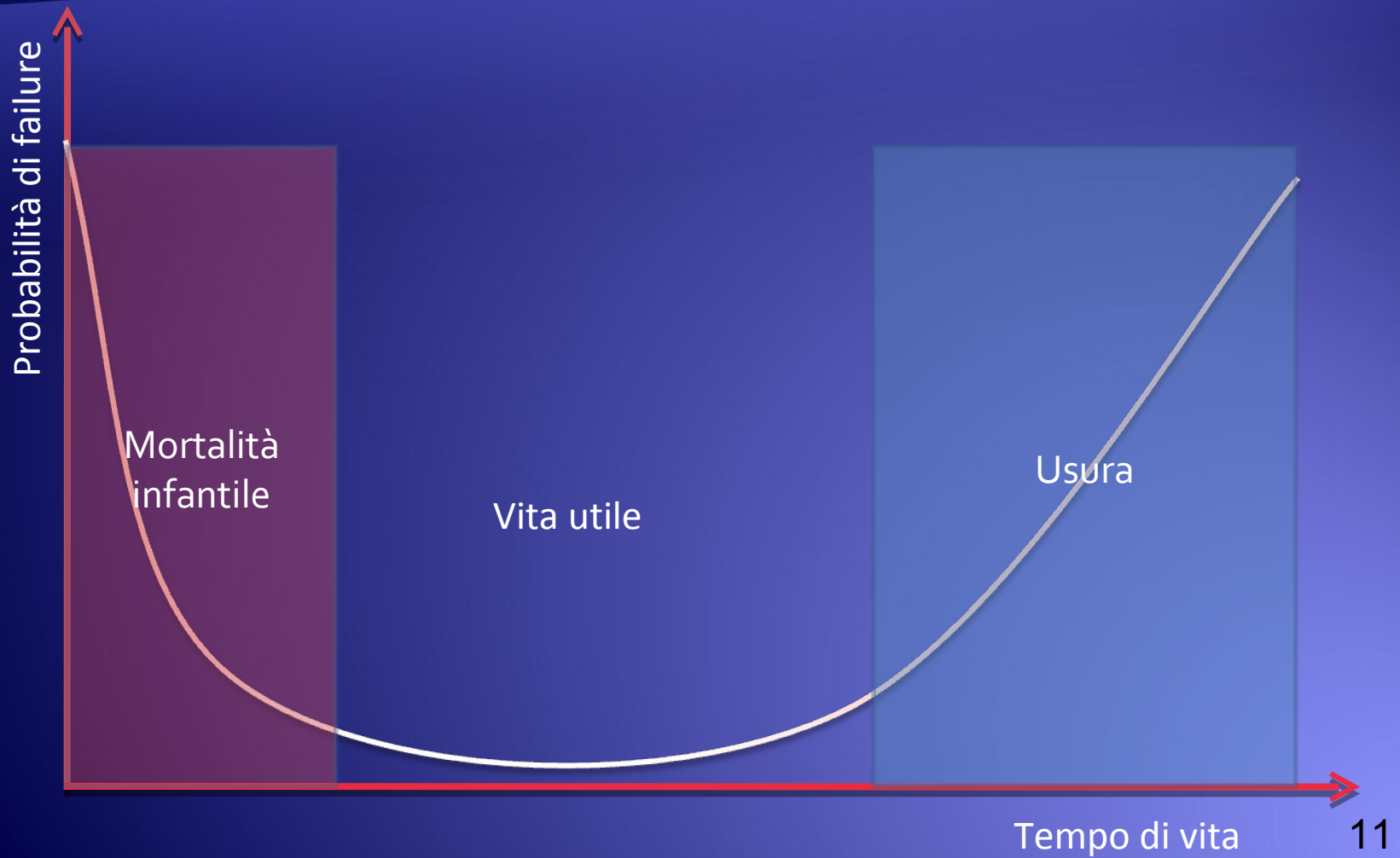
Concetti – unità di misura

- ◆ MTTF o MTBF?
- ◆ Quello che conta è la disponibilità (availability) di un sistema
- ◆ Tra un guasto e l'altro un sistema riparabile può essere trattato come uno non riparabile
- ◆ MTTR Tempo medio per la riparazione
- ◆ $MTBF = MTTF + MTTR$
- ◆ In pratica poiché $MTTF \gg MTTR$, $MTBF \approx MTTF$

Concetti

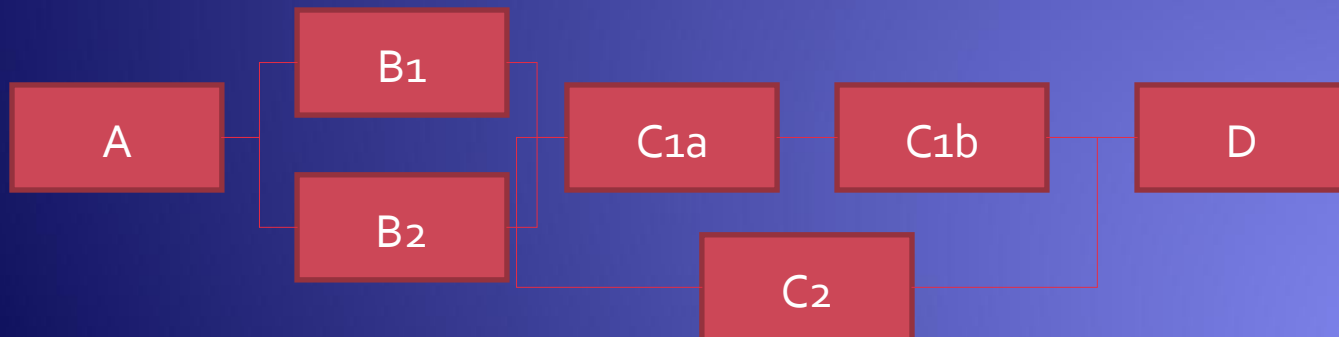
- Popolazione debole: insieme di componenti che si guastano in prossimità della prima attivazione del sistema
- Usura: prodotto delle sollecitazioni ricevute da un componente nel corso della sua vita che ne altera le caratteristiche fino a provocarne il guasto.
- Mortalità infantile: failure di un sistema causato dalla popolazione debole.
- NB: tutti i sistemi sono affetti da mortalità infantile e da difettosità per usura

Concetti – Vasca da bagno



Concetti – Serie e parallelo

- ◆ I sottosistemi che “guastandosi” determinano il failure dell'intero sistema si dicono collegati in serie
- ◆ Viceversa quelli che pur guastandosi non determinano il failure del sistema si dicono collegati in parallelo o ridondanza



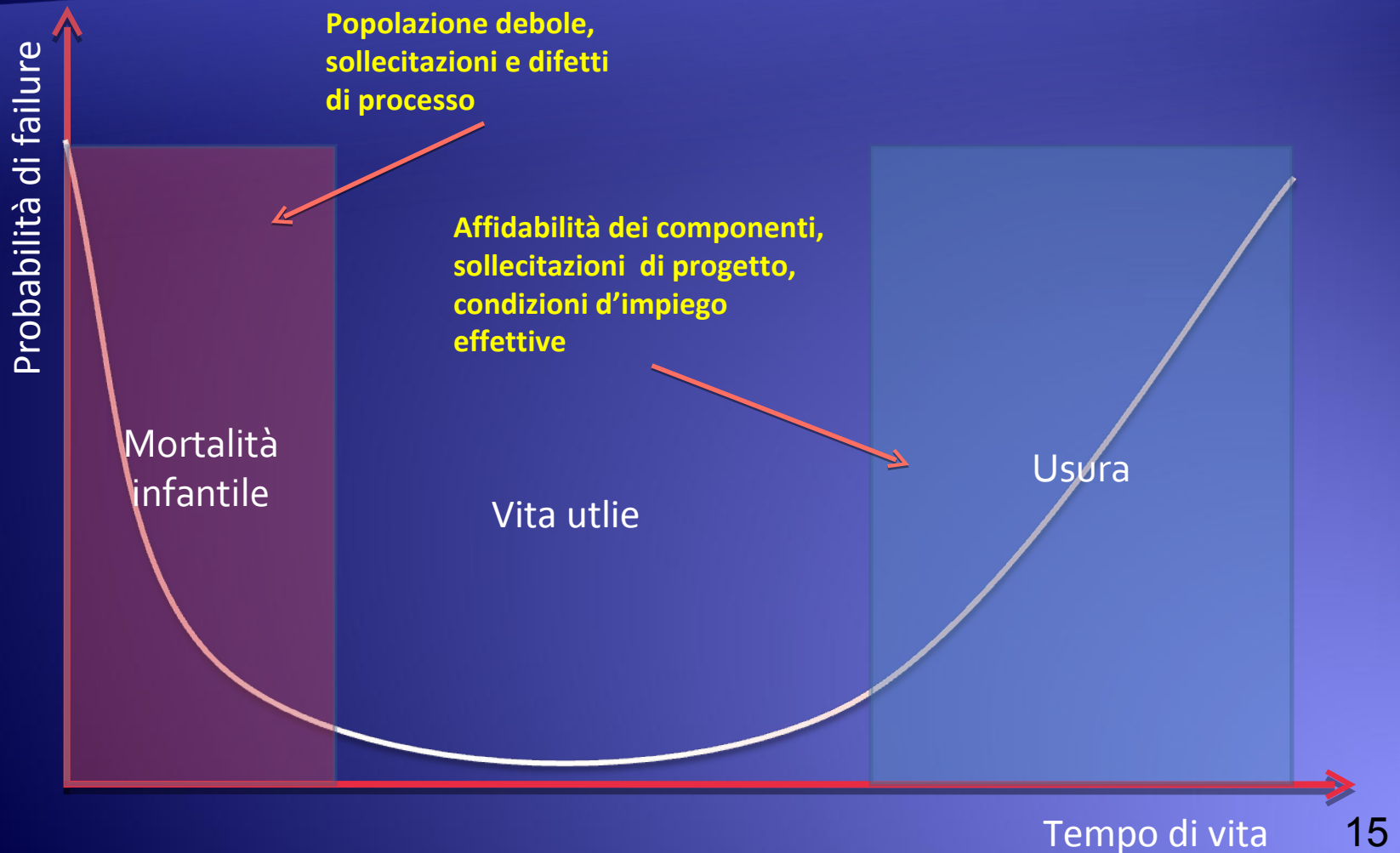
Elementi determinanti

- L'affidabilità dei singoli componenti
- Le sollecitazioni "di progetto" del componente:
 - Corretta progettazione del circuito
 - Condizioni ambientali d'uso previste (comprese quelle di trasporto, installazione,...)
 - Temperatura
 - Umidità
 - Vibrazioni
 - Agenti chimici
- Le sollecitazioni "di processo" del componente:
 - Immagazzinamento
 - Manipolazione (ESD)
 - Pre-condizionamento del componente
 - Montaggio (pre-riscaldamento, saldatura, raffreddamento)
 - Assemblaggio

Elementi determinanti

- I difetti introdotti dal processo produttivo:
 - Deposizione della pasta saldante
 - Posizionamento dei componenti
 - Saldatura
 - Manipolazione (ESD)
 -
- Condizioni d'impiego
 - Ambientali (errore di stima in fase di progetto?)
 - Abitudini (es. carica della batteria quando ancora carica)

Elementi determinanti



Predire l'affidabilità

Predire l'affidabilità

- ◆ Che cosa si predice? Tradizionalmente quella determinata principalmente dai guasti dovuti ad usura.
- ◆ Quando?
 - ◆ Nuovi progetti
 - ◆ Modifiche sostanziali ad un progetto
- ◆ Perché?
 - ◆ Valutare il failure rate
 - ◆ Per migliorare l'affidabilità
 - ◆ Per ottimizzare i costi del prodotto



Predire l'affidabilità

- ◆ Va tenuto conto di:
 - ◆ Affidabilità dei singoli componenti
 - ◆ L'architettura del sistema (serie-parallelo, ridondanze)
 - ◆ Mondo reale e mondo teorico:
 - ◆ ci sono guasti e Guasti...
 - ◆ Per alcuni componenti non esistono dati

Predire l'affidabilità – i dati di partenza

- ◆ Esiste una miriade di fonti/modelli per predire l'affidabilità di un componente elettronico.

Le principali:

- ◆ Standard (MIL-STD-217F o MIL-HDBK-217F ultima edizione 1995)
- ◆ Industriali (Telcordia, Bell labs, prima edizione 2001)
- ◆ I dati dei costruttori dei singoli componenti

Predire l'affidabilità – i dati di partenza

MIL STD 217F	Telcordia
Copre tutti i campi di applicazione, per uso commerciale e militare	Orientato alle telecomunicazioni, solo per uso commerciale
Non tiene conto dei dati storici	Tiene conto dei dati di burn-in, di laboratorio e dell'impiego sul campo. Fornisce una previsione anche per la mortalità infantile
I componenti per i quali sono forniti i modelli sono diversi	
Ad es. considera anche i CS	Es. considera le batterie
Supporto diversi tipi per ciascuno di questi ambienti di utilizzo: terrestre, marino, aeronautico e spaziale.	Supporta un numero limitato di ambienti: Terrestre (tre livelli) Commerciale aeronautico Commerciale spaziale
Uso esteso dei livelli di qualità per ciascun tipo di componente	Uso di quattro livelli di qualità per tutti i componenti

Predire l'affidabilità – i dati di partenza

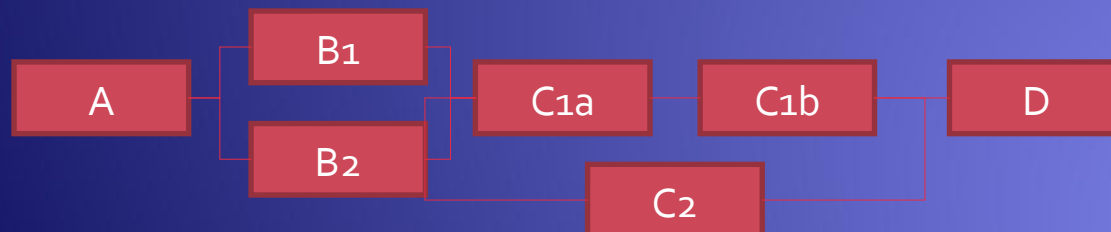
- ◆ Scelta e configurazione del modello scelto:
 - ◆ Mercato di utilizzo: commerciale, militare
 - ◆ Ambiente di utilizzo: Aerospaziale, Aeronavale, Navale, Terrestre.
 - ◆ Condizioni ambientali di utilizzo:
 - ◆ Temperatura, umidità, salinità,...
- ◆ Per ciascun componente valutare il grado di stress: ad esempio tensione , corrente, potenza dissipata in rapporto tra quelle nominali e quelle d'impiego
- ◆ La modifica di questi parametri può facilmente portare ad una variazione di MTBF anche di un ordine di grandezza!

Predire l'affidabilità – modelli

- ◆ In un sistema semplice si può utilizzare il metodo combinatoriale, cioè quando:
 - ◆ Il sistema ha solo blocchi in serie, nessuna ridondanza
 - ◆ Il guasto di un qualunque componente genera in ogni caso un failure (di eguale rilevanza)
- ◆ Semplice ma non realistico, troppo pessimistico

Predire l'affidabilità – modelli

- ◆ RBD (reliability block diagram)
 - ◆ Suddividere il prodotto in blocchi funzionali connessi in serie o parallelo (o un insieme di queste connessioni)
 - ◆ Calcolare l'affidabilità di ciascun blocco
 - ◆ Calcolare l'affidabilità del sistema combinando opportunamente quella di ciascun blocco.

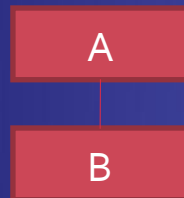


Predire l'affidabilità – modelli

- ◆ RBD (reliability block diagram)



$$R_S = R_A * R_B$$



$$R_S = 1 - (1 - R_A) * (1 - R_B)$$



Predire l'affidabilità – modelli

- ◆ Modelli Markoviani utilizzati per rappresentare il comportamento di sistemi dinamici, non rappresentabili con altri modelli, quali:
 - ◆ Failure determinati da guasti sequenziali
 - ◆ Configurazioni variabili
- ◆ Il comportamento di un sistema viene analizzato sulla base degli stati che un suo componente può assumere (funzionante, guasto, riparazione, sostituzione,...)
- ◆ La combinazione delle varie probabilità che ciascuna transizione avvenga viene usata per determinare l'affidabilità del sistema.

Predire l'affidabilità – modelli

- ◆ FTA /ETA– Fault tree /Event tree analysis: usati per determinare l'affidabilità di un sistema in un approccio top – down partendo dai failure possibili.
- ◆ Definiti i failure si determinano i blocchi funzionali da cui dipendono quindi i componenti che li possono procurare.
- ◆ Sulla base della probabilità di manifestarsi degli eventi (guasti) si può determinare l'affidabilità del sistema
- ◆ Utilizzati per la sicurezza e/o quando la probabilità degli eventi è molto bassa

Verificare l'affidabilità

Verificare l'affidabilità

- Che cosa si verifica?
Sia la mortalità infantile che quella da usura
- Quando?
 - Insieme al calcolo per verificare i valori predetti
 - In alternativa al calcolo quando:
 - Si vuol tener conto dei processi produttivi
 - Verificare modifiche non sostanziali di un progetto (sostituzione di un componente)
 - Verificare l'impatto di modifiche al processo costruttivo
 - Non ci sono dati relativi ad alcuni componenti

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- Un test accelerato ha l'obiettivo di far manifestare i difetti in un tempo inferiore a quello atteso nelle normali condizioni d'uso.
- Come? Variando i parametri (limiti) delle normali condizioni d'uso, quali:
 - Cicli di funzionamento
 - Temperatura
 - Tensione di alimentazione
 - Vibrazioni
 - Umidità
 - ...

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- ◆ Test qualitativi
 - ◆ Tengono conto esclusivamente del tipo di guasto
 - ◆ Non producono alcuna informazione sul valore dell'affidabilità
- ◆ Test quantitativi
 - ◆ Riproducono in tempi ridotti la vita reale di un sistema
 - ◆ Permettono di determinare l'affidabilità di un sistema

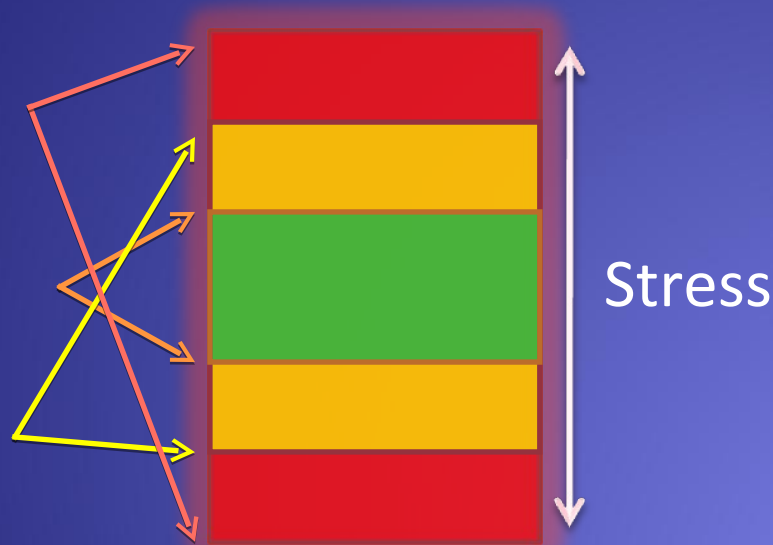
Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- Lo stress (stimolo oltre i limiti normali d'uso) deve essere progettato:

Limiti max sostenibili

Limiti di specifica

Limiti di progetto



Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- ◆ Test operativi
 - ◆ Offrono la possibilità di avere informazioni sull'affidabilità (valore) del sistema poiché simulano le condizioni di uso normale
- ◆ Test non operativi
 - ◆ ESS (Environmental Screening Stress), orientati principalmente a far emergere la mortalità infantile. Possiedono fattori di accelerazione molto elevati ma non sempre offrono “valori” di affidabilità.

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- ◆ Test operativi – fattori di accelerazione
 - ◆ Molti i modelli utilizzati
 - ◆ Ottimizzazione dei cicli di funzionamento
 - ◆ Temperatura. Formula di Arrhenius

$$AF = e^{\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_a} \right)}$$

- ◆ Dove:

AF = Fattore di accelerazione

E_A = Energia di attivazione (0.7eV per i CMOS)

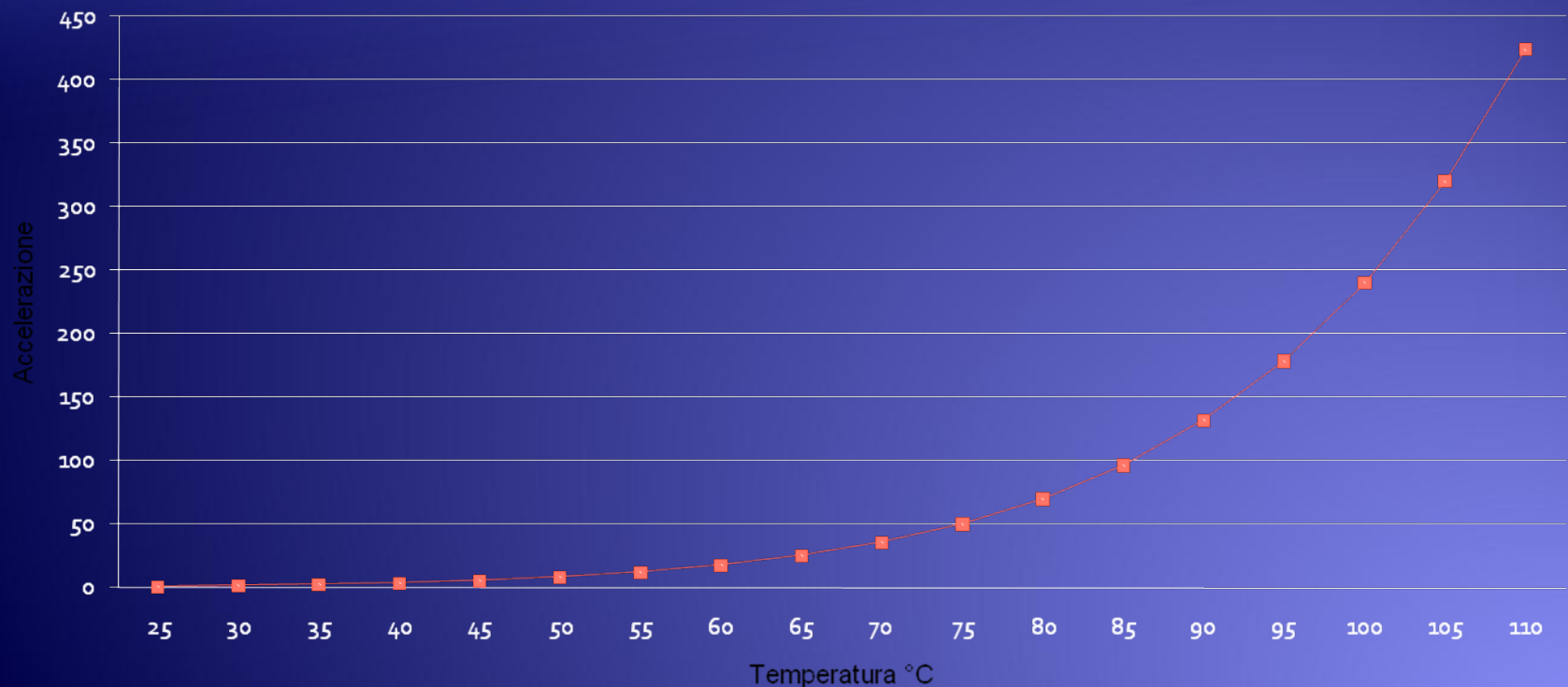
K = Costante di Boltzmann's = 8.617385×10^{-5} eV/°K

T_o = Temperatura Operativa in °K (usare 298°K per 25°C)

T_a = Temperatura del test accelerato in °K

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

Equazione di Arrhenius – Fattori di accelerazione



Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- Esistono altre formule ottenute empiricamente e derivate dall'equazione di Arrhenius sia per l'umidità che per i cicli termici

$$AF = \left(\frac{RH_o}{RH_a} \right)^3 \cdot e^{\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_a} \right)}$$

Dove:

AF = Fattore di accelerazione

T_o = Temperatura operativa °K (298°K)

T_a = Temperatura test accelerato °K

RH_a = Umidità relativa test accelerato

RH_o = Umidità relativa operativa

$$AF = \left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_o} \right)^{1.9} \cdot \left(\frac{F_o}{F_a} \right)^{1/3} \cdot e^{\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{\max o}} - \frac{1}{T_{\max a}} \right)}$$

Dove:

AF = Fattore di accelerazione

F_a = Numero dei cicli per 24h nel test (>=6)

F_o = Numero dei cicli per 24h nel uso normale (>=6)

T_{maxo} = Temperatura massima operativa

T_{maxa} = Temperatura massima accelerato °K

ΔT_a = Massima escursione di temperatura nel test accelerato in °K

ΔT_o = Massima escursione di temperatura nel uso normale in °K

Verificare l'affidabilità – Esempio

Il televisore

Condizioni normali	Condizioni accelerate
Acceso per 4 ore al giorno,	Acceso 24 ore al giorno (AF=6)
In casa con una temperatura di uso tra i 15°C e i 35°C	Temperatura elevata es. 70°C (AF=36) o, meglio, cicli termici da -10°C a +70°C (AF=205)
Viene alimentato a 12 Volt (Con un adattatore che non consideriamo)	Ci sono stabilizzatori di tensione, modificare la tensione di alimentazione riguarderebbe solo alcuni componenti. Si può fare ma bisogna tenerne conto.
L'umidità non salirà mai al di sopra del 60% e mai sotto al 30%	Aumentare l'umidità all'80% (AF=2,3 da utilizzare insieme a quello della temperatura.

Verificare l'affidabilità – Esempio

- ◆ Il risultato è un fattore di accelerazione massimo di $6 \times 205 \times 2.3 = 2829$
- ◆ Quindi 71 ore di test sono equivalenti a circa 200.000 ore di vita (MTBF Atteso)
- ◆ Perché 200.000 ore?

$$RC = \frac{8760}{MTBF} = 0.0438 = 4.38\%$$

Dove RC sono i rientri dal campo su base annua

Verificare l'affidabilità – Esempio

- ◆ **ATTENZIONE QUESTO NUMERO NON HA SENSO!!**
- ◆ Difficilmente un fattore di moltiplicazione superiore a 50 darà risultati attendibili per la verifica dell'affidabilità, ma i difetti riscontrati permetteranno di valutare nuovi failure mode, evidenziare criticità e introdurre azioni correttive per migliorare l'affidabilità del sistema.

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

- Alcune buone regole da tener presenti nei test accelerati:
 - I test accelerati sono uno strumento efficace se utilizzato accuratamente
 - Non c'è nulla di magico nei test accelerati
 - Confrontare i risultati dei test con quelli dal campo
 - Privilegiare il numero dei campioni al fattore di accelerazione (maggiore è il fattore, peggiore sarà la stima)
 - Svolgere anche qualche test in condizioni normali
 - Analizzare i difetti e chiedersi se dipendono da errati fattori di accelerazione

Verificare l'affidabilità – Test accelerati



Test accelerati a difetti zero $F=0$

- ◆ Via di mezzo tra test qualitativi e test quantitativi
- ◆ A differenza dei test con difetti dai quali è possibile determinare l'affidabilità, in questo si può “stimare” un valore con un certo grado di confidenza
- ◆ Richiedono meno tempo per essere effettuati
- ◆ Nonostante le limitazioni, sono i più utilizzati per i prodotti commerciali dove non è importante conoscere esattamente il valore di MTBF ma avere una ragionevole confidenza che non sarà inferiore ad un determinato valore
- ◆ Basati sulla distribuzione χ^2

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

Test accelerati a difetti zero $F=0$

$$MTTF = \frac{T_{test}}{F}$$

Poiché la formula valida per $F \neq 0$ non ha senso ($MTBF = \infty$), si utilizza la distribuzione χ^2 ottenendo la formula, dove

α = livello di confidenza

f = valore di χ^2 per L

$$MTTF = T_{Test} \cdot \frac{2}{f(1-\alpha)}$$

Ipotizzando che MTTF rimanga costante si può porre in un valore 2 per i gradi di libertà (distribuzione esponenziale), che interessa solo il limite inferiore del MTBF si ricava questa formula, dove

n = numero di campioni in test

$$MTTF = \frac{n \cdot T_{Test}}{-\ln(1-\alpha)}$$

Verificare l'affidabilità – Test accelerati

Test accelerati a difetti zero $F=0$

- Più che per calcolare il MTTF è utile, applicando la formula inversa, per determinare il tempo di test necessario per verificarlo
- Per prodotti commerciali può essere utilizzato un $\alpha=0.5$ (50%)
- Per il televisore (10 unità in test, MTBF=MTTF=200.000 ore) ricaviamo un tempo di test di circa 14.000 ore. Tempo che va diviso per il fattore di accelerazione prescelto

Verificare l'affidabilità – Burnin

- Consiste nel fare un test accelerato su tutta la produzione per filtrare la mortalità infantile.
- L'automazione dei processi e le tecniche di controllo degli stessi consentono oggi di avere tassi di mortalità infantile molto bassi, tali da rendere economicamente ingiustificato il burnin, soprattutto per i prodotti elettronici di basso costo e larga diffusione (consumer)
- Anche in questi casi, rimane uno strumento fondamentale da usare all'avvio della produzione di un nuovo prodotto
- E' fondamentale analizzare i dati per capire se la loro causa è la popolazione debole o un errato burnin

Progettare l'affidabilità

Progettare l'affidabilità

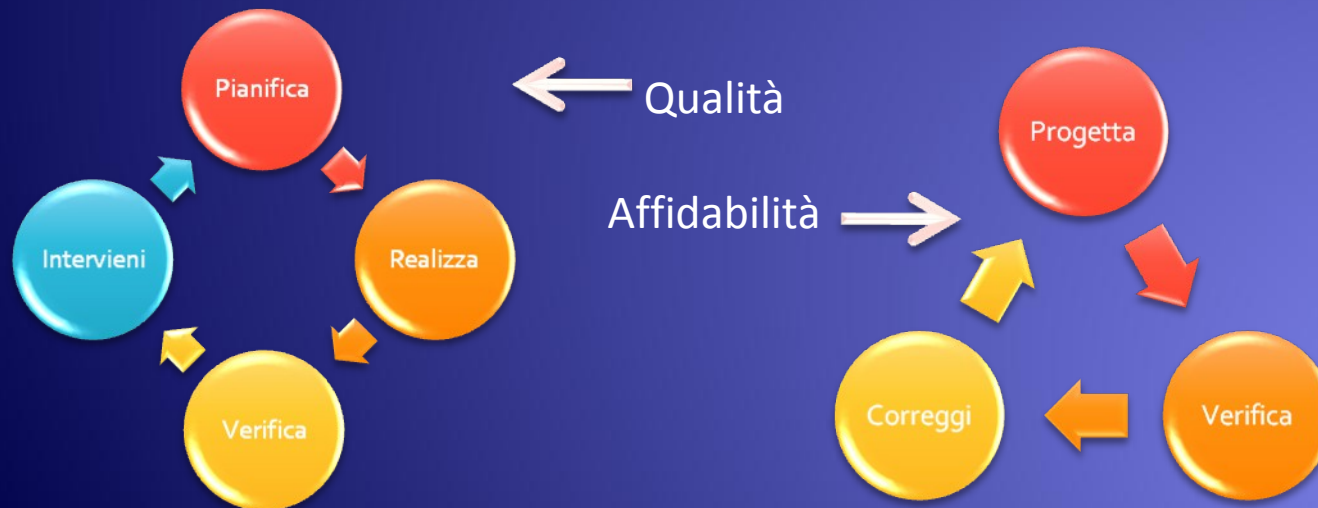
- Coinvolge tutte le funzioni aziendali:
 - Bisogna conoscere gli obiettivi: MTBF, mercato, uso, costi
 - Non dipende solo dal progetto del prodotto ma da tutta la filiera del processo costruttivo:
 - Scelta/acquisto dei materiali
 - Manipolazione dei materiali
 - Montaggio dei componenti, assemblaggio del prodotto
 - Imballaggio, stoccaggio, trasporto del prodotto
 - Uso del prodotto (Uso intuitivo o guida utente efficace!)

Progettare l'affidabilità

- ◆ Utilizzare strumenti appropriati
 - ◆ I modelli di calcolo vanno bene ma non sono sufficienti, considerare sempre l'uso di:
 - ◆ FMEA (Failure Mode Effect Analysis)
 - ◆ FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis)
 - ◆ FTA/ETA (Fault Tree Analysis/Event Tree Analysis)
 - ◆ Applicandoli non solo sul prodotto ma lungo tutto il processo di realizzazione (produzione) del prodotto.

Progettare l'affidabilità

- E' un processo continuo.
 - Non basta progettarela bisogna verificarla e migliorarla
 - Analizzare i ritorni dal campo
 - Eseguire periodicamente test di verifica (possono cambiare i componenti, i processi costruttivi)



Risorse

- Esistono molti standards Militari (MIL-STD, MIL-HDBK) e non (IEC, IPC, CEI,...) utilizzabili per il calcolo e la verifica dell'affidabilità oltre a molti metodi realizzati dalle principali aziende
- Calcolare l'affidabilità senza strumenti software è un compito improbo
- Esistono anche tools "Free" sulla rete, ad esempio www.weibull.com è una buona fonte

Risorse

- **MIL Standard e Handbook**
 - MIL-HDBK-H 108 Sampling Procedures and Tables for Life and Reliability Testing (Based on Exponential Distribution)
 - MIL-HDBK-189 Reliability Growth Management
 - MIL-HDBK-217F Reliability Prediction of Electronic Equipment
 - MIL-HDBK-338 Electronic Reliability Design Handbook
 - MIL-HDBK-344 Environmental Stress Screening of Electronic Equipment
 - MIL-STD-690C Failure Rate Sampling Plans and Procedures
 - MIL-STD-721C Definition of Terms for Reliability and Maintainability
 - MIL-STD-756B Reliability Modeling and Prediction
 - MIL-HDBK-781 Reliability Test Methods, Plans and Environments for Engineering Development, Qualification and Production
 - MIL-STD-781D Reliability Design Qualification and Production Acceptance Tests: Exponential/ Distribution
 - MIL-STD-785B Reliability Program for Systems and Equipment, Development and Production
 - MIL-STD-790E Reliability Assurance Program for Electronic Parts Specifications
 - MIL-STD-1543B Reliability Program Requirements for Space and Missile Systems
 - MIL-STD-1629A Procedures for Performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA)
 - MIL-STD-2074 Failure Classification for Reliability Testing
 - MIL-STD-2155 Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System (FRACAS)
 - MIL-STD-2164 Environment Stress Screening Process for Electronic Equipment

In conclusione

- ◆ Predire l'affidabilità è solo il primo passo di un processo
- ◆ Verificare l'affidabilità è uno strumento che va utilizzato durante tutta la vita del prodotto
- ◆ L'affidabilità di un sistema è funzione di tutti i processi aziendali, non solo del progetto e dei componenti impiegati
- ◆ Migliorare l'affidabilità di un prodotto può essere una RISORSA commerciale importante (minori costi di riparazione, miglior soddisfazione del cliente, ...)
- ◆ Affidabilità e qualità vanno a braccetto pur essendo due concetti diversi