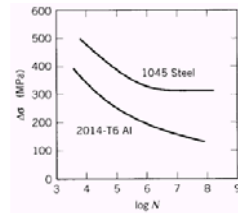


Affidabilità

Si parla di affidabilità (*reliability*) riferendosi a un sistema o a un suo componente o anche a una persona. Essa è associata al concetto di buon funzionamento.

L'affidabilità può essere definita come la probabilità che un sistema o un suo componente funzioni per un certo tempo, se usato in condizioni normali (predefinite).

Negli anni trenta il concetto di affidabilità era essenzialmente intuitivo soggettivo e qualitativo. Forse la sola eccezione a questo esisteva in ingegneria meccanica ove i fenomeni di fatica dei materiali metallici cominciavano ad essere compresi quantitativamente. (diagrammi S - N, o di Wöhler)



S - N curves for aluminum and low-carbon steel

PGI 2006 lect_7 1

La formulazione rigorosa e probabilistica inizia negli anni quaranta, spinta dall'industria aeronautica, dai militari e, più tardi, dall'industria dell'energia nucleare.

Funzione di affidabilità (*Reliability function*)

Se la variabile aleatoria T rappresenta il tempo dopo il quale un elemento cessa di funzionare e $f(t)$ è la densità di probabilità di T , la probabilità che l'elemento abbia cessato di funzionare al tempo t è definita da

$$Pr(T \leq t) = \int_0^t f(x) dx = F(t)$$

$F(t)$ è la funzione di distribuzione che rappresenta la **non affidabilità**

La funzione di affidabilità (*reliability function*) è definita da

$$R(t) = Pr(T > t) = \int_t^{\infty} f(x) dx = 1 - F(t)$$

PGI 2006 lect_7 2

Mean Time To Failure, MTTF

Tempo durante il quale ci si aspetta (valore d'attesa, *expectation*) che l'elemento funzioni:

$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

Se il sistema è l'oggetto di controlli e riparazioni regolari si parla di *Mean operating Time Between Failures, MTBF*

Failure Rate, FR

Probabilità che ci sia un guasto per unità di tempo nell'intervallo $[t_1, t_2]$, nell'ipotesi che non ci siano stati guasti prima di t_1

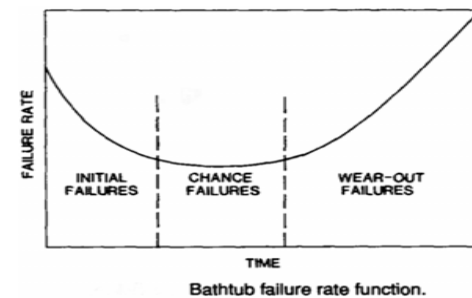
$$FR[t_1, t_2] = \frac{R(t_1) - R(t_2)}{R(t_1)} \frac{1}{t_2 - t_1}$$

PGI 2006 lect_7 3

Quando l'intervallo è breve la FR diventa una funzione $h(t)$ (*failure rate = hazard rate*)

$$h(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

L'utilità della funzione di *failure rate* è che indica le variazioni di tendenza ai guasti durante la vita di una popolazione di sistemi.



Bathtub failure rate function.

PGI 2006 lect_7 4

Supponiamo che una lampadina debba essere sempre accesa e cerchiamo di capire come avvengono i guasti, facendo l'ipotesi che una lampadina guasta possa essere subito sostituita da una nuova, dello stesso tipo.

In seguito definiamo una **strategia di riparazione o servizio**.

I modelli più comuni sono:

Modello esponenziale

Il tempo tra guasti successivi ha una densità di probabilità esponenziale di parametro λ

$$f(t; \lambda) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad \lambda > 0$$

La funzione di affidabilità è $R(t) = e^{-\lambda t}$

La *failure rate* è **costante** e uguale a λ .

Modello di Weibull

Il tempo tra guasti successivi ha una densità di probabilità a due parametri

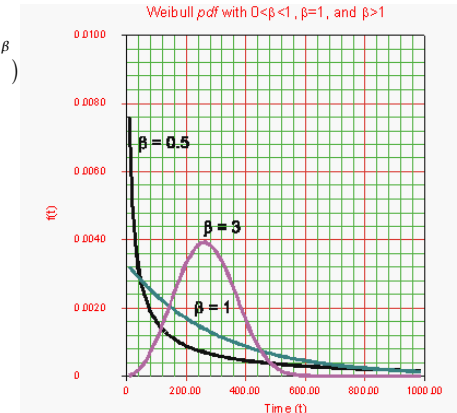
$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$$

β *slope parameter*

η *scale parameter*

e una distribuzione

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$$

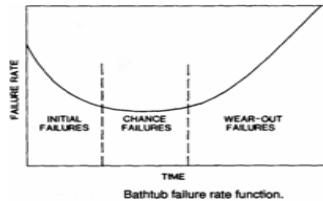


La funzione di affidabilità (*reliability function*) è:

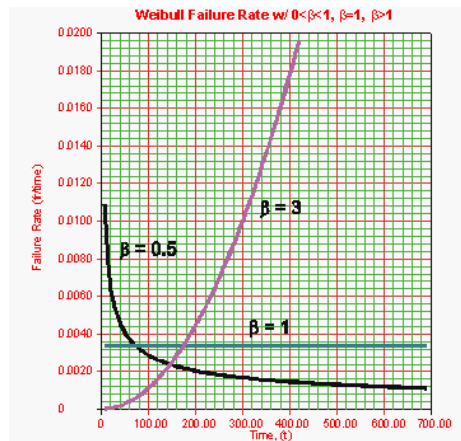
$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)$$

e la *failure rate* è proporzionale a una potenza di t

$$h(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$



Bathhtub failure rate function.



Si possono scegliere diverse strategie per assicurare un buon funzionamento e controllare i costi, per esempio:

- **sostituire** la lampadina **subito** appena si guasta
- **sostituire** la lampadina ad **intervalli regolari**
- **verificare** il funzionamento della lampadina ad **intervalli regolari** e sostituirla se necessario
- **verificare** il funzionamento della lampadina ad **intervalli aleatori** (con distribuzioni di probabilità adeguate) e sostituirla se necessario

Le tecniche di previsione possono essere molto sofisticate e si basano sulla conoscenza delle caratteristiche del materiale e su stime probabilistiche, in particolare sulla teoria del rinnovamento (*renewal theory*).

Rinnovamento (*Renewal*)

Ritornando alla lampadina, supponiamo che le vite delle lampadine L_1, L_2, L_3, \dots siano indipendenti e abbiano la stessa distribuzione di probabilità.

Indichiamo con $N(t)$ il numero di sostituzioni, chiamati **rinnovamenti** (*renewals*), avvenute fino al tempo t . L'insieme delle variabili aleatorie $N(t)$ per $t \geq 0$ descrive un **processo di rinnovamento**.

Le quantità $R_i = L_1 + L_2 + \dots + L_i$ sono i tempi di rinnovamento.

Il processo possiede la proprietà che si ricomincia a contare il tempo ad ogni rinnovamento, dimenticando il passato, proprietà tipo catena markoviana.

Qualunque sia la distribuzione di probabilità della vita L , quando si osserva una lampadina ad un certo momento durante la sua vita, si può definire una sua **età** e stimare una **vita residua**: si dimostra che età e vita residua hanno la stessa distribuzione di probabilità collo stesso valor medio

$$E[\text{età}] = E[\text{vita residua}] = \frac{E[L^2]}{2E[L]} = \frac{\sigma_L^2}{2E[L]} + \frac{E[L]}{2}$$

La somma dei valori medi di età e vita residua $\frac{\sigma_L^2}{E[L]} + E[L]$ è **superiore** al valor medio $E[L]$ della vita L , salvo se $\sigma_L = 0$

Questa incongruenza apparente è dovuta al fatto che si interviene ad osservare una vita che è già trascorsa in parte e quindi non può essere brevissima: si favoriscono così vite più lunghe. (*length biasing, inspection paradox, bus paradox*)

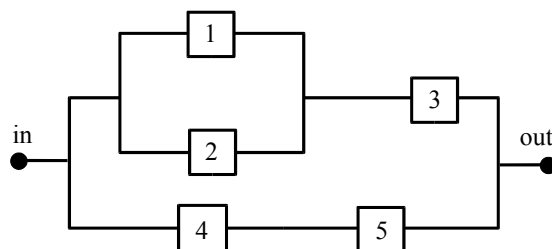
Nel caso di un sistema composto da tanti elementi, l'affidabilità dipende anche dalla topologia delle interconnessioni.

Le affidabilità di elementi in serie (4 e 5) si moltiplicano:

$$R_{45} = R_4 R_5$$

Le affidabilità di elementi in parallelo (1 e 2) si compongono:

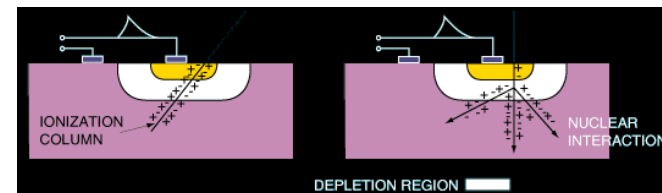
$$R_{12} = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$$



Single Event Upset (SEU)

L'impatto di una particella ionizzante su un circuito elettronico può provocare un impulso cambiando la forma dei segnali analogici o lo stato dei circuiti digitali (*single event upset*).

Può anche indurre un percorso di conduzione che provoca un corto circuito interno (*single event latch-up*) e eventualmente un danno permanente (*single event burnout*).



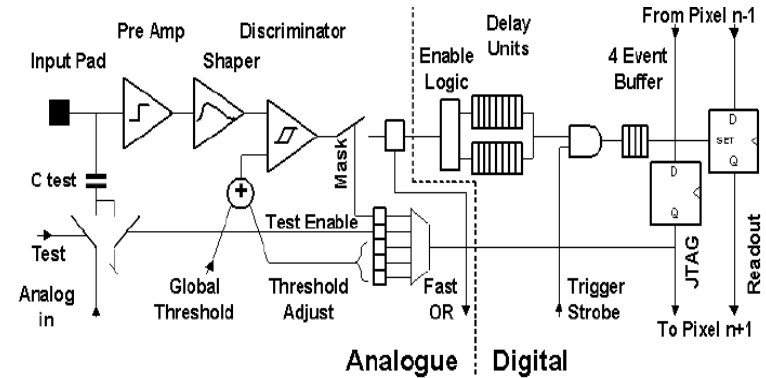
Ognuno di questi incidenti ha un effetto sull'affidabilità e si devono trovare accorgimenti per **ridurre i danni irreparabili** e analizzare gli effetti delle **variazioni indotte dai SEU** su:

- segnali analogici, es. carica in un pixel sbagliata
- segnali digitali, es. un bit in una memoria cambiato
- valori di controllo dell'elettronica, es. tensione di soglia cambiata, momentaneo o permanente, cfr. *pixel chip* di ALICE
- programmi dei processori locali, es. programma in un FPGA alterato

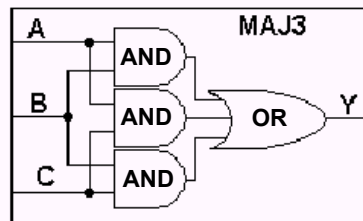
Rimedi:

- Mettere gli elementi critici fuori portata (costo, latenza etc.)
- Progettare circuiti più tolleranti ai SEU a livello degli ASIC
- Progettare sistemi intrinsecamente più sicuri

Schematic diagram of the Alice1 cell



L'accorgimento più comune per neutralizzare i **SEU** in circuiti digitali è il **voting**: il segnale è **triplicato** e mandato in un circuito a maggioranza che richiede almeno 2 su 3.



L'accorgimento per limitare *single event latch-up* e *burnout* è di **misurare la corrente di alimentazione** con un circuito indipendente e spegnere momentaneamente l'alimentazione quando la corrente diventa eccessiva.



Single event chip burnout

Referenze

Teoria dell'affidabilità

- System Analysis Reference: Reliability, Availability and Optimization
<http://www.weibull.com/systemrelwebcontents.htm>

Teoria del rinnovamento

- R. Nelson, Probability, Stochastic Processes and Queuing Theory,
Springer Verlag, 1995

SEU, SEL etc.

- G. Anelli, A. Marchioro, The future of rad-tol electronics in HEP,
Snowmass 2001
http://snowmassserver.snowmass2001.org/Working_Group_E7/www/talks/marchioro.pdf
- G. Anelli, Radiation-hard circuits in deep submicron CMOS technology,
BNL Seminar 2004
<https://www.inst.bnl.gov/seminars/PDF/04212004.pdf>