Concetti di Teoria dell'affidabilità

L'affidabilità non è una grandezza deterministica ma una probabilità che, come una variabile aleatoria, può essere determinata con formule analitiche e il cui valore può essere previsto solo attraverso considerazioni di tipo probabilistico; essa non fornisce quindi la certezza che un guasto si verifichi o meno, ma applicata in modo sistematico su un sistema, ci dà risultati di notevole utilità sui quali è possibile basare importanti decisioni sulle modalità di funzionamento di un impianto.

Esiste sempre una probabilità effettiva che è raramente nota ma sicuramente stimabile in via sperimentale in modo più o meno approssimato a seconda della numerosità e affidabilità del campione statistico considerato.

- Disponibilità
  La disponibilità A(t), in inglese, *Availability*, è una funzione che tiene conto sia dell'affidabilità del sistema sia degli aspetti manutentivi.
  Affidabilità e Disponibilità rappresentano due grandezze mediante le quali si può ottenere una valutazione quantitativa della continuità con cui un elemento o un sistema può garantire il raggiungimento della missione per la quale è stato progettato e costruito; esse vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate politiche manutentive.

- Manutenibilità
  La manutenibilità M (t) è la probabilità che al tempo t dal guasto il componente o sistema sia nuovamente funzionante.

- Affidabilità R(t) ,in inglese *Reliability*, di un elemento/sistema come la probabilità che esso funzioni senza guastarsi ad un dato istante e/o per un certo periodo t con riferimento a ben precisate condizioni operative ed ambientali.
  Quindi gli elementi necessari alla definizione di affidabilità sono:
  - Un criterio univoco per giudicare se un elemento e funzionante o meno
  - Esatta definizione delle condizioni ambientali e d'impiego
  - Determinazione dell'intervallo di tempo t

  Fissate le prime due condizioni l'affidabilità di un elemento diventa funzione solo del tempo e la forma di tale funzione dipende dalla legge probabilistica con cui le condizioni di cattivo funzionamento o di guasto possono verificarsi nel tempo.
  L'affidabilità è quindi la scienza di prevedere, analizzare, prevenire e limitare i guasti nel tempo.
  - Il concetto di affidabilità può essere applicato a qualsiasi oggetto realizzato dall'uomo, sia esso un oggetto semplice (componente), o uno complesso, costituito dall'insieme di più componenti (sistema).
  - Un aspetto molto importante nello studio dell'affidabilità è proprio il calcolo dell'affidabilità di un sistema a partire dall'affidabilità dei suoi componenti.
  - L'affidabilità è una probabilità ed, in quanto tale, è un numero, adimensionale, compreso tra 0 e 1.

  Per poter definire correttamente l'affidabilità di un qualsiasi oggetto (componente o sistema) è fondamentale definire precisamente le condizioni operative e la durata della sua attività.

Diversi tipi di affidabilità

Una classificazione abbastanza comune è la seguente:

- Affidabilità logistica - Probabilità che non capiti alcun guasto (di qualsiasi tipo).
- Affidabilità di missione - Probabilità che non capitino guasti con conseguenze maggiori, tali cioè da pregiudicare la funzionalità del sistema e quindi di impedirgli il completamento della sua missione.
- Sicurezza *(safety)* - Probabilità che non capitino guasti con possibili conseguenze catastrofiche, tali cioè da produrre danni a persone, cose o al sistema stesso.

Sistema

Un sistema può essere sia un insieme assemblato di componenti, che costituisce una parte funzionale di una apparecchiatura, sia una sequenza di operazioni (procedura) per eseguire un servizio: in breve lo possiamo definire come il risultato delle connessioni fisiche e logiche di componenti. La risposta funzionale dell'insieme è inequivocabilmente influenzata dallo stato del singolo di conseguenza l'affidabilità di un oggetto complesso deriva dalle affidabilità degli elementi che lo compongono e può essere determinata da una loro combinazione più o meno complessa.

Componente

Oggetto, anche complesso, la cui affidabilità può essere caratterizzata solo applicando direttamente i dati statistici provenienti dall'esperienza.
Ciascun componente di un sistema ha una precisa funzione da assolvere descritta nella "specifica di un componente" nella quale sono anche indicate le interazioni con altri componenti e le condizioni ambientali nel quale si trova ad operare.

Il Componente:

- assolve la sua funzione correttamente
- non assolve la funzione
- assolve solo parzialmente alla funzione
- durante l'attività disturba un'altra funzione o un altro componente

Guasto

Nello studio delle attività manutentive il fenomeno oggetto di studi statistici e probabilistici è il guasto.

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

Qualsiasi oggetto durante il suo funzionamento è naturalmente sottoposto a numerosi tipi e livelli di sollecitazioni, con il tempo tutti gli oggetti perdono, con modalità diverse, la loro capacità di resistere, ma può accadere che nella fase di progetto si siano considerate particolari condizioni ambientali di esercizio non rispettate nella realtà operativa. Il guasto perciò avviene quando le sollecitazioni superano il livello di resistenza dell'oggetto o perché l'oggetto è invecchiato e perciò ha abbassato le sua soglia di resistenza o perché si trova ad operare in condizioni non previste e con sollecitazioni superiori a quelle a cui era preposto.
Un apparato anche se ben progettato dovrà avere prima o poi dei guasti .

I guasti in generale sono principalmente di due tipi:

- casuali: legati a sporadiche sollecitazioni non contemplate,
- legati a l'invecchiamento: cioè al naturale degrado degli oggetti.

Ma possiamo considerare un'altra classificazione:

- guasti parziali: appartengono a questa categoria i guasti che determinano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da non compromettere del tutto il funzionamento (degrado delle prestazioni o perdita di qualità del prodotto);
- guasti totali: sono i guasti che determinano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da impedirne del tutto il funzionamento;
- guasti intermittenti: sono i guasti dovuti ad una successione casuale di periodi di guasto e di periodi di funzionamento, senza che ci sia alcun intervento di manutenzione.

Attenzione: se un dispositivo/componente è inserito in un sistema più complesso, il suo guasto può anche non causare il guasto dell'intero sistema, pur avendo effetti negativi sulla sua affidabilità.
possiamo ulteriormente distinguere:

- guasti di primaria importanza: quelli che riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte;
- guasti di secondaria importanza: quelli che non riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte.
- guasti critici: sono quei guasti che rappresentano un rischio per l'incolumità delle persone e per questo motivo risultano ancora più gravi dei guasti di primaria importanza.

Cause di guasto

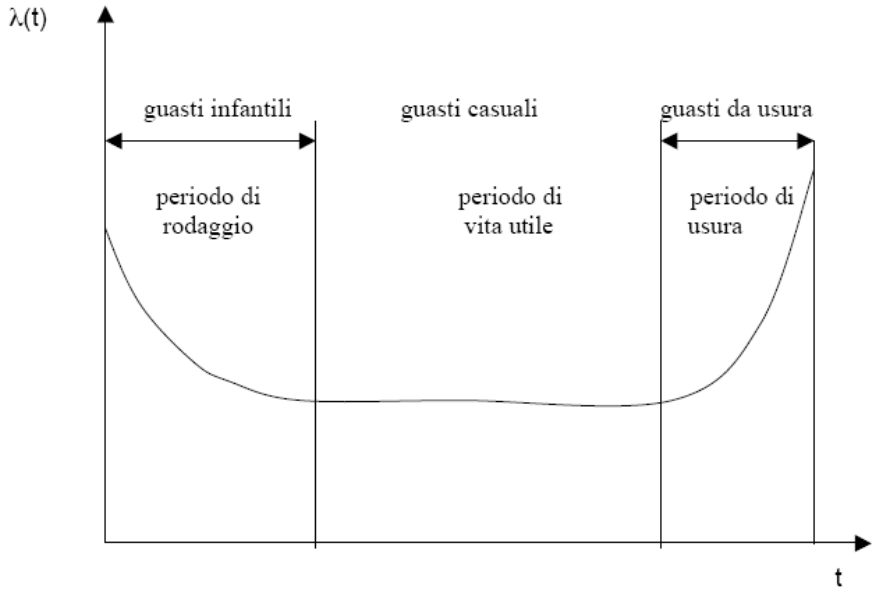
- Sollecitazioni, Urto, Fatica
  Dipendono dalla distribuzione temporale e spaziale delle condizioni di carico e dalla risposta del materiale. In questo caso assumono un ruolo importante le caratteristiche strutturali del componente, che devono essere valutate nella forma più ampia possibile, inglobando anche possibili errori progettuali, realizzativi, difetti del materiale, ecc.
- Temperatura
  La temperatura è una variabile operativa che influisce prevalentemente in funzione delle caratteristiche specifiche del materiale (inerzia termica), e della distribuzione spaziale e temporale delle sorgenti di calore.
- Usura
  L'usura è uno stato di degradazione fisica del componente che si manifesta in seguito a fenomeni di invecchiamento unitamente alla normale attività (attrito fra materiali, esposizione ad agenti dannosi, ecc.)
- Corrosione
  La corrosione è un fenomeno strettamente legato alle caratteristiche dell'ambiente in cui il componente si trova ad operare. Queste condizioni possono comportare processi di degradazione fisica e chimica del materiale capaci di ridurre il livello prestazionale del componente fino a renderlo non idoneo allo svolgimento della funzione preposta.

Il Tasso (o Rateo) di guasto

r(t)= λ(t) = tasso di guasto al tempo t = numero di guasti nell'unita di tempo riferito ai componenti ancora funzionanti in t

Dimensionalmente è l'inverso di un tempo e può essere interpretato come il numero di guasti nell'unita di tempo, rappresenta quindi una misura della velocità di verificarsi del guasto ("velocità di guasto").

Modalità di guasto



Guasti Infantili
Guasti che si presentano nel primo periodo di vita dei componenti o del sistema (periodo di rodaggio) e la probabilità che si verifichino decresce gradualmente nel tempo. La loro natura è legata a difetti intrinseci dei componenti che non sono emersi durante i collaudi; in presenza di una buona progettazione sono dovuti essenzialmente ad errori di costruzione o di montaggio.

Guasti Casuali
I guasti casuali (o accidentali) sono guasti che si verificano durante l'intera vita dei componenti (vita utile) e presentano una probabilità di verificarsi che è indipendente dal tempo e quindi dal periodo di esercizio accumulato; sono dovuti a fattori incontrollabili che neanche un buon progetto ed una buona esecuzione possono eliminare. Generalmente si presentano in condizioni di esercizio non nominali che determinano forti sollecitazioni sui componenti compromettendone le capacità operative.

Guasti per Usura
I guasti per usura sono quelli che si verificano solo nell'ultimo periodo della vita utile dei componenti o dell'impianto, corrispondente all'età media di funzionamento, e sono dovuti a fenomeni di invecchiamento e deterioramento strutturale e materiale; per questo motivo la loro probabilità di accadimento cresce al passare del tempo.
Per evitare questa tipologia di guasto si ricorre a un ricambio preventivo della popolazione che comporta però il ritorno dell'insorgenza dei guasti di tipo infantile.

Come misurare l'affidabilità

Si supponga di mettere in prova, a partire dal tempo t = 0 e per T periodi, N componenti del medesimo tipo e si supponga di trovare, al termine della prova, che Ng componenti si sono guastati, mentre Nf = N - Ng siano ancorafunzionanti.
A partire da questa osservazione empirica è possibile definire l'affidabilità di un generico elemento al tempo T come:

$$\mathbf{R\ (T) = N_f\ (T) / N}$$

Specularmente, l'inaffidabilità del generico componente F(T) si definisce come la probabilità che il componente si guasti prima di T, quindi è il complemento ad uno di R(T).

$$\mathbf{F\ (T) = N_g\ (T) / N = 1 - R(T)}$$

Concetto di Mean Time To Failure (MTTF)

Esprime il tempo medio di funzionamento di un componente, vale a dire il valore atteso di guasto

$$MTTF = 1/\lambda$$

Affidabilità dei Sistemi

- Sistemi Non Ridondanti (sistemi serie): Risultano guasti non appena si guasta un componente;
- Sistemi Ridondanti (sistemi parallelo): Non si guastano se si guasta un loro componente
- Sistemi Non Riparabili: Non sono più riparabili quando si guasta un loro componente
- Sistemi Riparabili (Manutenibilità): Sono riparabili quando si guasta un loro componente

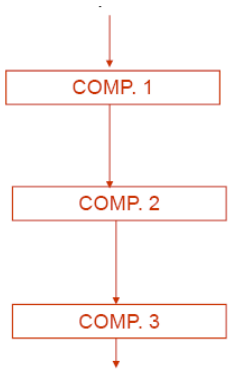
Sistemi Serie
L'affidabilità di un sistema serie è sempre inferiore all'affidabilità del componente meno affidabile tra quelli che lo compongono

<u>ipotesi - Sistemi non riparabili</u>
- Funzionano se e solo se funzionano tutti i componenti (**Non Ridondanti**)
- Esistono solo due stati: funzionante o guasto
- I componenti sono statisticamente indipendenti

$R_S = \Pi\ R_i(t)$ per i= 1….n

$\lambda_s = \Sigma\ \lambda_i$ per i= 1…n

$R_S = e^{-\lambda_s t}$ $MTTF_S = 1/\lambda_s$



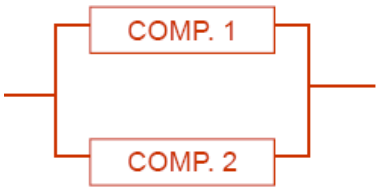
❖ Ne segue che si ha un incremento percentuale maggiore intervenendo sul componente meno affidabile.

Sistemi parallelo

<u>ipotesi - Sistemi non riparabili</u>

- Funzionano anche se non funzionano tutti i componenti (**Ridondanti**)
- Esistono solo due stati: funzionante o guasto
- I componenti sono statisticamente indipendenti

$R_p = 1 - \Pi\,(1 - R_i(t))$ per i=1…n



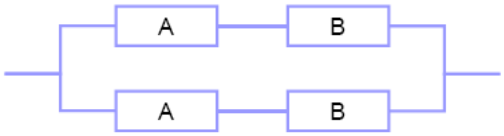
$$R_p(t) = e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t}$$

$$MTTF_P = \frac{1}{\lambda_A} + \frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B}$$

- L'incremento percentuale dell'affidabilità del sistema è tanto più elevato quanto più elevata è l'affidabilità del componente su cui vado ad operare.
  Quindi è più conveniente incrementare l'affidabilità del componente più affidabile

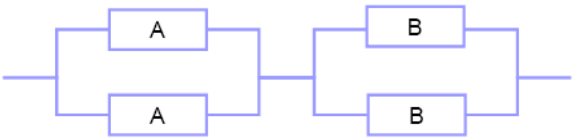
Sistemi serie - parallelo

$R_{sp} = R_A R_B * (2 - R_A R_B)$



Sistemi parallelo - serie

$R_{ps} = R_A R_B * [4 - 2(R_A + R_B) + R_A R_B]$



$$R_{ps} > R_{sp}$$

Esercizi di Affidabilità

Esercizio 1

Si vuole determinare l'affidabilità di alcune cartucce per stampanti di diversi marchi. I guasti sono rilevati quando si osserva almeno uno dei seguenti difetti: sbiadimento, variazioni cromatiche, densità del colore non uniforme, macchie o imperfezioni impreviste, ecc.

I risultati sono rappresentati nella tabella seguente:

Marchio	**N.. cartucce**	**Difetti**	**Affidabilità**
A	52	1	98.1
B	32	11	65.6
C	32	26	18.7

Risoluzione:

$$R_A = \frac{N_f}{N} = \frac{51}{52} = 98.1\%$$
$$R_B = \frac{N_f}{N} = \frac{21}{32} = 65.6\%$$
$$R_{AC} = \frac{N_f}{N} = \frac{6}{32} = 18.7\%$$

Esercizio 2

Si consideri un apparecchio caratterizzato da:

- vita utile = 1000 ore
- tasso di guasto = 0.0001 h^{-1}.

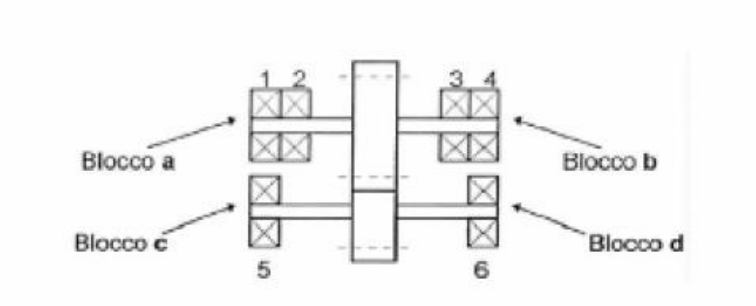
Calcolare l'affidabilità dell'apparecchio per un utilizzo di 10 ore.

Risoluzione:

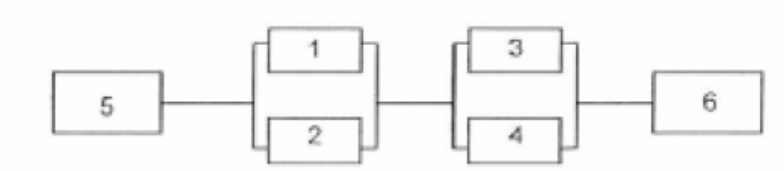
$$R\ (T = 10) = e^{-\lambda T} = e^{-0.0001*10} = 99.9\%$$
$$R\ (T = 1000) = e^{-\lambda T} = e^{-0.0001*1000} = 90\%$$

Esercizio 3

Calcolare l'affidabilità complessiva per un tempo di missione di 1 anno del sistema in firgura dato λ_i= 12 * 10 $^{-6}$ guasti/ora:



Risoluzione: il sistema può essere ricondotto al seguente schema a blocchi



Consideriamo i paralleli 12 e 34

$$R_{12} = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)\left(1 - e^{-\lambda t}\right) = 1 - (1 - 0.9)(1 - 0.9) = 0.99$$
$$R_{34} = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)\left(1 - e^{-\lambda t}\right) = 0.99$$

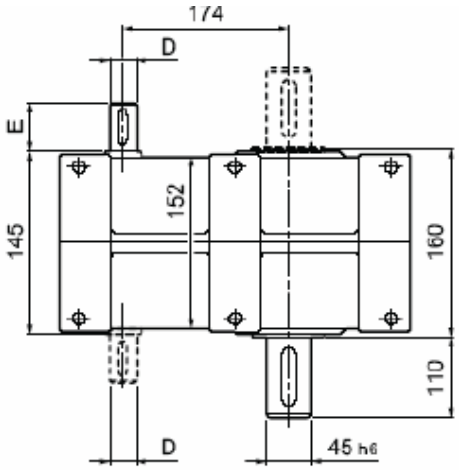
Ricordiamo che il tempo da considerare è un anno che in ore diventa 8760

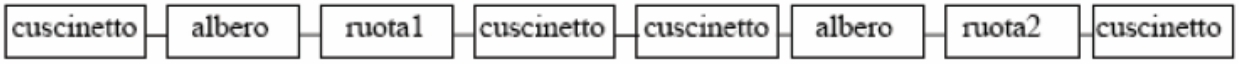
$$R_s = R_5 * R_{12} * R_{34} * R_6 = 0.9 * 0.99 * 0.99 * 0.9 = 0.794$$

<u>Esercizio 4</u>

Calcolare l'affidabilità del sistema complessivo per un tempo di missione di 10 anni noti i valori dei tassi di guasto dei singoli componenti:

λ_{ruota1}=2x10^{-7} guasti/ora;
λ_{ruota2}=3x10^{-7} guasti/ora;
$\lambda_{cuscinetti}$=13x10^{-6} guasti/ora;
λ_{albero}=1x10^{-7} guasti/ora;





Risoluzione:

$$R_s = R_c * R_a * R_{r1} * R_c * R_c * R_a * R_{r2} * R_c = R_c^4 * R_a^2 * R_{r1} * R_{r2} = 0.0098 \cong 0.01$$

Ricordiamo che il tempo T=10 anni = 87600 ore