Affidabilità, Manutenibilità e Disponibilità

Stefano Ierace

Obiettivi

- Utilizzo dell'analisi di affidabilità come strumento predittivo di comportamento di un sistema
- Valutazione requisiti di funzionamento di un componente
- Confronto di alternative
- Fornire input ad altre attività di progetto quali studi economici, valutazione parti di ricambio, politiche di manutenzione

Definizione di Guasto

Si definisce come guasto:

l'evento di cessazione dell'attitudine di un'entità a svolgere la specifica funzione richiesta

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.

Classificazione dei guasti

I guasti possono essere classificati in base:

a) **Alla causa scatenante**. A tale proposito si riconoscono:
- guasti dovuti alla progettazione (mancata considerazione di effetti)
- guasti legati alla produzione (mancato rispetto delle specifiche di progetto)
- guasti legati all'utilizzo (utilizzo improprio)
- guasti legati all'invecchiamento o all'usura

b) **Alla modalità di verificarsi**. In tal senso vanno distinti i guasti dovuti a:
- rotture istantanee (es: foratura di un pneumatico);
- accumulazione di servizio prestato (es: afflosciamento del pneumatico per usura);
- rilassamento, legati all'aumento di probabilità di guasto a seguito del guasto di altri componenti (es: esplosione del pneumatico per irrigidimento della sospensione);
- più cause combinate

Definizione di Affidabilità

Si definisce affidabilità **R(T)** di un componente o sistema:

La probabilità che tale componente o sistema funzioni senza guastarsi per un <u>certo tempo T</u> ed in <u>predeterminate condizioni ambientali</u>

Assunzioni

Tale definizione presuppone che:

- Il componente o il sistema in esame ammetta solo due stati possibili in relazione al proprio funzionamento: **lo stato di buon funzionamento** e **lo stato di avaria** (sistema bistabile).
- **Siano stabilite esattamente le condizioni ambientali e d'impiego** e che tali condizioni si mantengano costanti lungo il periodo di tempo in questione.
- **Sia definito l'intervallo di tempo 0-T** durante il quale si richiede che l'elemento funzioni.

Esempio

Se un componente ha una affidabilità R(1000) = 90%, allora ha la probabilità del 90% di non guastarsi in 1000 ore di funzionamento.

Tale componente è più affidabile di un altro componente adibito alla stessa funzione, ed operante nelle stesse condizioni ambientali, che ha una probabilità dell'80% di non guastarsi, sempre in 1000 ore di funzionamento

Come misurare l'affidabilità - 1

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 N_g componenti si sono guastati, mentre $N_f = N - N_g$ siano ancora funzionanti.

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).

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

Come misurare l’affidabilità - 2

Funzione Densità di Probabilità di Guasto

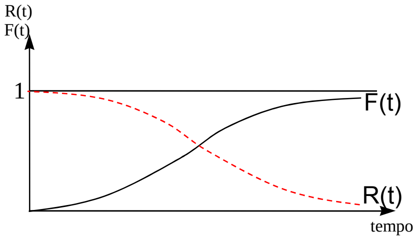
E’ la funzione *f(t)*, tale che la probabilità che un componente messo in prova al tempo t = 0 si guasti esattamente tra t e t+dt sia proprio *f(t)dt.*

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N}\frac{dNg(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Quindi:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^\infty f(t)dt$$



Concetto di Mean Time To Failure

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

$$MTTF = \int_0^\infty t * f(t)dt$$

$$MTTF = \sum t \cdot f(f) \cdot \Delta t$$

Si dimostra che:

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt$$

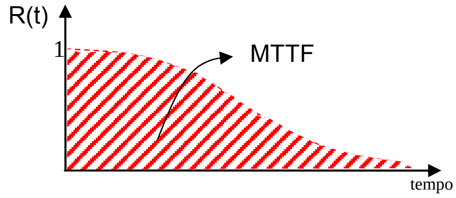
Dimostrazione

$$MTTF = E(t) = \int_0^\infty t * f(t)dt = -\int_0^\infty t * \frac{dR}{dt}dt = -\int_0^\infty tdR$$

Integrando per parti:

$$MTTF = [t * R(t)]_0^\infty + \int_0^\infty R(t)dt \qquad \underbrace{t * R(t) \to 0}_{t \to 0} \quad \underbrace{t * R(t) \to 0}_{t \to \infty}$$

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt$$



Tasso di Guasto - 1

Assegnata un'unità di tempo piccola a piacere dt, si definisce tasso di guasto **h(t)** :

la probabilità che un'entità, che al tempo t si trovi in stato di buon funzionamento, si guasti in un tempo compreso tra t e t + dt

$$h(t) = \frac{1}{N_f(t)} * \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{1}{N_f(t)} * \frac{N}{N} * \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} * \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} * \frac{dR(t)}{dt}$$

Quindi:

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -h(t) \cdot dt \qquad f(t) = h(t) * R(t)$$

Tasso di Guasto - 2

Il tasso di guasto può essere interpretato come il "numero di guasti nell'unità di tempo", ovvero come una misura della velocità di verificarsi del guasto.

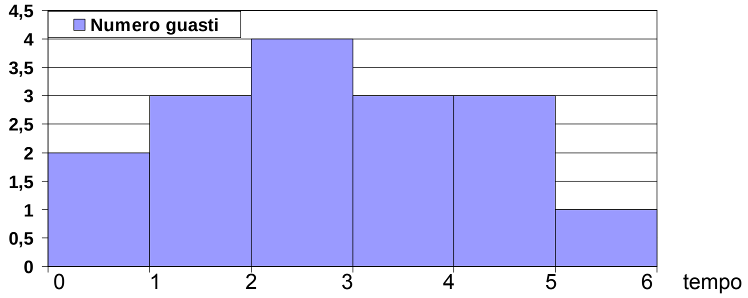
<u>Differenza tra *f(t)* e *h(t)*</u>

- **f(t)** fa riferimento ad una popolazione sana al tempo t=0
- **h(t)** fa riferimento ad una popolazione sana al tempo t, quindi meno numerosa della popolazione originaria al tempo t = 0.

Esempio

Un test di affidabilità su 16 lampadine uguali ha dato i seguenti risultati.

Calcolare **h(t)** e **f(t)** nell'intervallo di tempo da 2<t<3

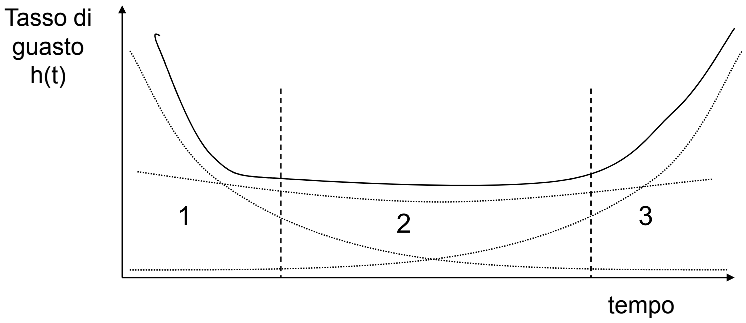


f (2 – 3) = 4 / 16 = 0,25

h (2 – 3) = 4 / (16-5) = 0,36

R(2) = 11/16 = 0,68

Descrizione della vita dei componenti

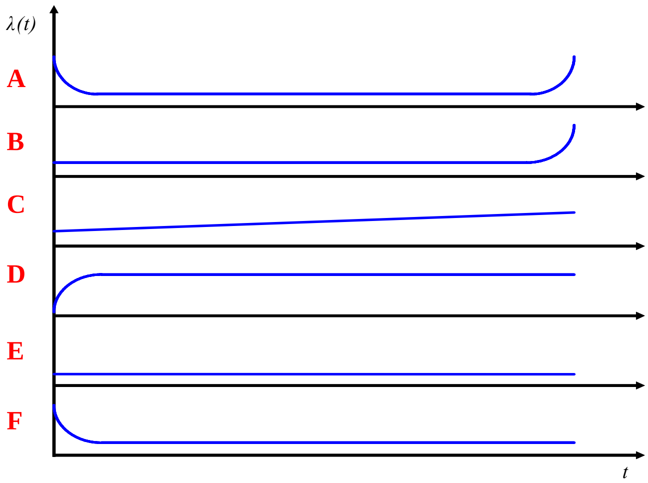


1 – **Mortalità Infantile** – Guasti Precoci

2 – **Vita Utile** – Guasti Accidentali o Casuali

3 – **Vecchiaia** – Guasti di Usura

Altri modelli di tassi di guasto



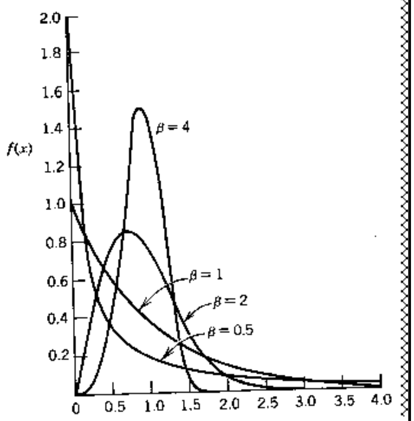
Descrizione della vita dei componenti
La funzione di Weibull

$$y(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

La funzione di *Weibull* è una funzione a due parametri che, grazie alla sua duttilità, viene usata per esprimere la funzione affidabilità sia durante la fase dei guasti infantili, sia durante la vita utile.

E' caratterizzata da due parametri α e β positivi:

- α – esprime la vita caratteristica (tempo)
- β – parametro di forma (numero puro), generalmente compreso tra 0.5 e 5. Se <1, la funzione è monotona decrescente, se >1, prima cresce e poi decresce



Descrizione della vita dei componenti
Guasti Infantili

La fase di vita iniziale della macchina viene descritta con una distribuzione di Weibull della funzione R(t)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

La percentuale di popolazione che cede al tempo t è pari a:

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

La densità di probabilità di guasto è:

$$f(t) = \underbrace{\frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}}_{h(t)} * \underbrace{e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}}_{R(t)}$$

Esempio

Dato un condensatore la cui vita può essere rappresentata da una distribuzione di Weibull con α = 100.000 e β = 0,5

Dopo un anno di servizio (8.760 ore):

- Probabilità di buon funzionamento:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{8760}{100000}\right)^{0,5}} = 74\%$$

- Probabilità di cedimento:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{8760}{100000}\right)^{0,5}} = 26\%$$

Dopo due anni

$$R(t) = e^{-\left(\frac{17520}{100000}\right)^{0,5}} = 66\% \qquad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{17520}{100000}\right)^{0,5}} = 34\%$$

Descrizione della vita dei componenti Vita Utile (1)

Modello Esponenziale –

Nell'ipotesi che il tasso di guasto h(t) sia costante, ovvero che il componente non conosca fenomeni di rottura precoce o usura e che derivi dalla combinazione di eventi di natura puramente casuale

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R(t) = e^{-\lambda t}}$$

$$\beta = 1 \qquad \lambda = \frac{1}{\alpha} \qquad \boxed{h(t) = \lambda}$$

Calcolo del MTTF

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

La probabilità di superare senza guasti un intervallo di tempo corrispondente al MTTF risulterà:

$$R(MTTF) = e^{-\lambda\frac{1}{\lambda}} = e^{-1}$$
$$R(MTTF) = 0{,}3678$$

Dimostrazione

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt = \int_0^\infty e^{-\lambda t}dt = \frac{1}{\lambda}\int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t}dt$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}\left[-e^{-\lambda t}\right]_0^\infty = \frac{1}{\lambda}\left(0-(-1)\right) = \frac{1}{\lambda}$$

Descrizione della vita dei componenti Usura

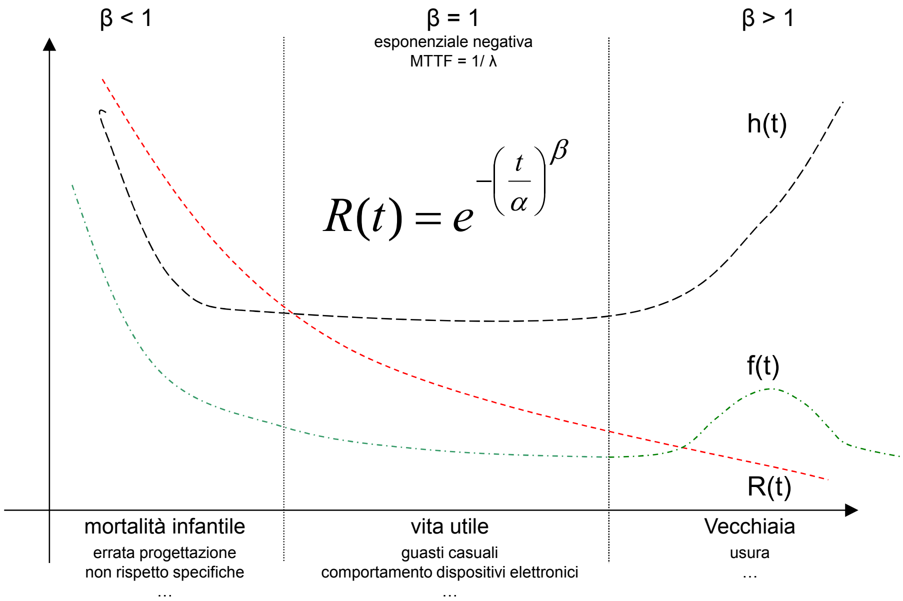
L'usura si descrive frequentemente tramite la distribuzione normale della f(t)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

$$\lambda(t) = \frac{e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}}{\int_t^\infty e^{-1/2\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]^2}dt}$$

MTBF = μ

Riepilogando:



$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}}$$

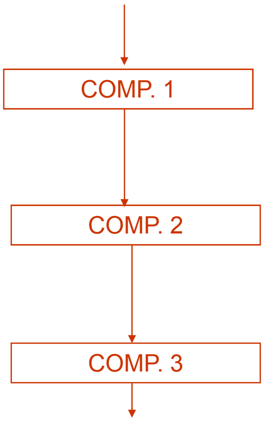
Affidabilità dei Sistemi

- 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

Affidabilità dei Sistemi Serie - 1

IPOTESI - Sistemi non riparabili

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



$$R_s(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t)$$

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

$$Se: \quad R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$$

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$$

$$R_s(t) = e^{-\lambda_s t} \qquad e \qquad MTTF_s = \frac{1}{\lambda_s}$$

Nel caso di un sistema costituito da due componenti identici

$$MTTF_s = \frac{1}{2\lambda}$$

Affidabilità dei Sistemi Serie - 2

Strategia più opportuna per migliorare l'affidabilità:

$$\mathrm{R_s(t) + \Delta R_s = R_1(t) * R_2(t) * \ldots\ldots * [R_i(t) + \Delta R_i] * \ldots\ldots * R_n(t)}$$

$$\mathrm{R_s(t) + \Delta R_s = R_s(t) + \Delta R_i * \frac{R_s(t)}{R_i(t)}}$$

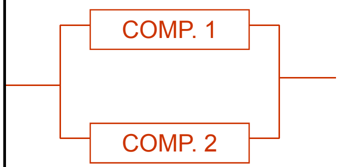
$$\mathrm{\frac{\Delta R_s}{\Delta R_i} = \frac{R_s(t)}{R_i(t)}}$$

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

Affidabilità dei Sistemi Parallelo - 1

IPOTESI - Sistemi non riparabili

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



Per due componenti in parallelo

$$F_p(t) = F_1(t) * F_2(t) = [1 - R_1(t)] * [1 - R_2(t)] =$$

$$= 1 - R_1(t) - R_2(t) + R_1(t) * R_2(t)$$

Per n componenti in parallelo

$$F_p(t) = \prod_{i=1}^{n} F_i(t) = 1 - R_p(t) = \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i(t))$$

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i(t))$$

Affidabilità dei Sistemi Parallelo - 2

Il tasso di guasto non è più la somma dei tassi di guasto delle singole unità perchè Rp(t) non è più esponenziale.

Infatti, nel caso di due componenti:

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

Quindi il tasso di guasto non è più costante anche se le singole unità hanno tasso costante

Affidabilità dei Sistemi Parallelo - 3

Nel caso esponenziale si ha:

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

Nel caso di unità uguali (con stesso λ)

$$MTTF_P = \frac{3}{2\lambda} = 1{,}5 * MTTF_{componente}$$

Affidabilità dei Sistemi Parallelo - 4

Strategia più opportuna per migliorare l'affidabilità:

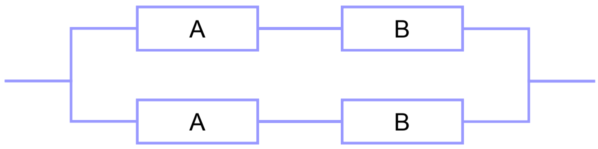
$$\frac{\Delta R_p}{\Delta R_i} = \frac{1 - R_p(t)}{1 - R_i(t)}$$

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

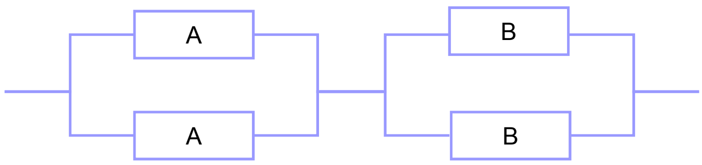
Quindi è più conveniente incrementare l'affidabilità del componente più affidabile

Affidabilità dei Sistemi Complessi

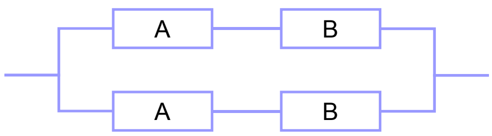
SISTEMI SERIE - PARALLELO



SISTEMI PARALLELO - SERIE



Affidabilità dei Sistemi Serie - Parallelo



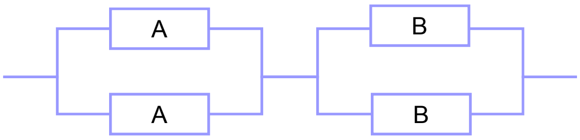
$$R_{sp} = 1 - [(1 - R_A R_B) * (1 - R_A R_B)]$$

$$R_{sp} = 1 - [1 - R_A R_B - R_A R_B + R_A^2 R_B^2]$$

$$R_{sp} = 2 R_A R_B - R_A^2 R_B^2$$

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

Affidabilità dei Sistemi Parallelo - Serie



$$R_{ps} = [1-(1-R_A)*(1-R_A)]*[1-(1-R_B)*(1-R_B)]$$
$$R_{ps} = [1-1+R_A+R_A-R_A^2]*[1-1+R_B+R_B-R_B^2]$$
$$R_{ps} = [2R_A-R_A^2]*[2R_B-R_B^2]$$

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

Confronto tra i due sistemi

$$\frac{R_{ps}}{R_{sp}} = \frac{R_A R_B * [4-2R_A-2R_B+R_A R_B]}{R_A R_B * (2-R_A R_B)}$$
$$\frac{R_{ps}}{R_{sp}} = \frac{[4-2R_A-2R_B+R_A R_B]}{(2-R_A R_B)} = \frac{(2-R_A R_B+2-2R_A-2R_B-2R_A R_B)}{(2-R_A R_B)}$$
$$\frac{R_{ps}}{R_{sp}} = 1+\frac{2-2R_A-2R_B-2R_A R_B}{(2-R_A R_B)} = 1+\frac{2(1-R_A)*(1-R_B)}{(2-R_A R_B)}$$

$$\boxed{R_{ps} > R_{sp}}$$

In via teorica, la ridondanza per componenti è più favorevole

Manutenibilità

Per aumentare la disponibilità di un'entità nel corso della sua vita operativa, la manutenzione deve far leva su una migliore organizzazione degli interventi, così da ridurre l'incidenza delle fermate che avvengono durante il "tempo richiesto" di esercizio e quindi comportano delle perdite di disponibilità

<u>Dopo il guasto di un'entità ne è richiesta la riparazione!</u>

Il tempo di riparazione (TTR, Time To Repair) si articola in:

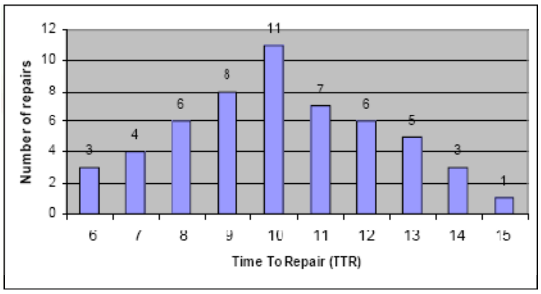
- Tempo di diagnosi: identificazione, localizzazione e individuazione della causa del guasto;
- **Tempo di set-up**: individuazione metodo di riparazione, tempo logistico e amministrativo;
- **Tempo attivo di riparazione**;
- **Tempo di ripristino.**

Ciascuna componente temporale è affetta da disturbi di vario tipo.

Manutenibilità - Esempio

Si supponga la seguente distribuzione per il tempo di riparazione:

Caso	TTR (ore)	N° eventi
1	6	3
2	7	4
3	8	6
4	9	8
5	10	11
6	11	7
7	12	6
8	13	5
9	14	3
10	15	1
TOT.		54



Generalmente, si può considerare distribuito come una variabile normale

Manutenibilità - Esempio

Caso	TTR (ore)	N° eventi	f(TTR)
1	6	3	3/54 = 0,06
2	7	4	4/54 = 0,07
3	8	6	…0,11
4	9	8	…0,15
5	10	11	…0,20
6	11	7	…0,13
7	12	6	…0,11
8	13	5	…0,09
9	14	3	…0,06
10	15	1	…0,02
TOT.		54	1

f(TTR) è la probabilità di avere un tempo di riparazione T = TTR

Manutenibilità - Esempio

M(T) è la probabilità di avere un tempo di riparazione T <= TTR

Caso	TTR (ore)	N° eventi	f(TTR)	M(T)
1	6	3	3/54 = 0,06	0,06
2	7	4	4/54 = 0,07	0,06+0,07 = 0,13
3	8	6	…0,11	0,13+0,11 = 0,24
4	9	8	…0,15	0,24+0,15 = 0,39
5	10	11	…0,20	…0,59
6	11	7	…0,13	…0,72
7	**12**	**6**	**…0,11**	**…0,83**
8	13	5	…0,09	…0,92
9	14	3	…0,06	…0,98
10	15	1	…0,02	…1,00
TOT.		54	1	

Indici di affidabilità e manutenibilità

I due indici principali di manutenibilità sono i seguenti:

- **MMTR (*Mean Time To Repair*)**: è costituito dal valor medio del TTR (*Time To Repair* – Tempo Totale di Riparazione) su un campione significativo di tali valori. Il valore di MTTR è un indice di manutenibilità dell'entità.

- ***MDT (Mean Down Time)***: è costituito dal valor medio del Down Time DT su un campione significativo di tali valori. Sia in condizioni di intervento a guasto che di intervento preventivo esso tiene conto dei ritardi amministrativi e logistici, considerando in tal modo tutti i tempi che possono incidere sull'indisponibilità dell'entità.

Caratteristiche di manutenibilità e supporto logistico

Effetto sul valore dei tempi di riparazione

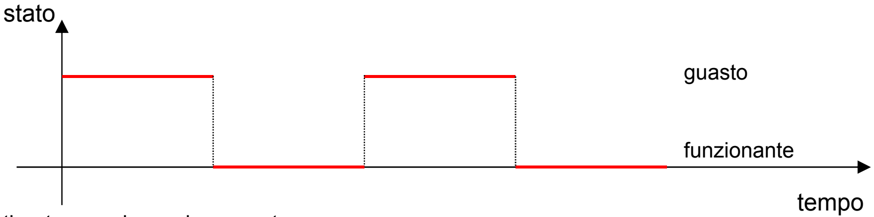
Caratteristica	Descrizione
Accessibilità	Un'entità è accessibile se è garantita la facilità di accesso alle sue parti più soggette a riparazioni, ispezioni, revisioni, sostituzioni.
Estraibilità	Un'entità ha caratteristiche di estraibilità se, per effettuare lo smontaggio di una sua parte, non vi è l'obbligo di smontare altre parti non direttamente interessate dallo specifico intervento.
Manipolabilità	Un'entità ha le caratteristiche di manipolabilità se le parti soggette a smontaggio possono essere facilmente trasportate. Hanno impatto sulla manipolabilità caratteristiche quali peso, forma e tossicità ad esempio.
Pulibilità	Un'entità è pulibile se le parti soggette a pulizia sono facilmente accessibili e individuabili.
Modularità	Un'entità ha caratteristiche di modularità se quando è costituita da sotto assiemi, funzionalmente completi, che possono essere rapidamente sostituiti a bordo macchina da personale anche non specializzato, rimandando la sostituzione delle parti usurate ad una revisione del modulo in officina.

Caratteristiche di manutenibilità e supporto logistico

Effetto sul valore del tempo di attesa

Caratteristica	Descrizione
Intercambiabilità	Un'entità ha caratteristiche di intercambiabilità se le parti soggette a smontaggio possono essere sostituite da parti intercambiabili, compatibili per forma e funzione realizzata. A monte c'è sempre uno studio di standardizzazione, volto alla definizione di componenti standard, comuni più entità da mantenere. È un fattore fondamentale per ridurre il tempo di reperimento dei ricambi.
Testabilità	Un'entità è testabile se si è in grado (con il supporto di strumentazione di misura installata direttamente a bordo dell'entità o trasportabile e allacciabile) di collaudare le funzionalità dell'entità e di diagnosticare eventuali avarie. È un fattore che ha un impatto pesante sulla durata delle attività diagnostiche.

Affidabilità di sistemi riparabili - Manutenibilità



tb = tempo al prossimo guasto

tg = tempo di riparazione

Ipotesi: Riparazione $\rightarrow$ "GOOD AS NEW"

P(tb < t) = F(t) = 1 – R(t) INAFFIDABILITA'

P(tg < t) = G(t) MANUTENIBILITA'

z(t) = TASSO DI RIPARAZIONE: Probabilità che la riparazione venga terminata tra t e t+dt

z(t) = costante = μ

$$G(t) = 1 - e^{-\mu t}$$ MANUTENIBILITA'

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$ MEAN TIME TO REPAIR

DISPONIBILITA’ (Availability) A(t)

Definizione:

Probabilità che al tempo t il componente si trovi nello stato di buon funzionamento

ALTA DISPONIBILITA’ IMPLICA:

- Alta affidabilità (bassa probabilità al guasto)
- Alta manutenibilità (elevata probabilità di manutenzione)

Se:

- Sistema non è riparabile $R(t) = A(t)$
- Sistema è riparabile $R(t) \neq A(t)$

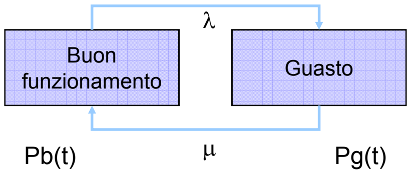
Indicatori di Disponibilità

Disponibilità intrinseca (inherent availability)	$Ai = \dfrac{MTBF}{MTBF + MTTRg}$ dove: ▪ MTBF è il tempo medio tra i guasti ▪ MTTRg è il tempo tecnico medio di manutenzione correttiva
Disponibilità raggiunta (achieved availability)	$Aa = \dfrac{MTBM}{MTBM + MTTR}$ dove: ▪ MTBM è il tempo medio tra gli interventi di manutenzione (corr.+prev.) ▪ MTTR è il tempo tecnico medio di intervento di manutenzione (corr.+prev.)
Disponibilità operativa (operational availability)	$Ao = \dfrac{MTBM}{MTBM + MDT}$ dove: ▪ MTBM è il tempo medio tra gli interventi di manutenzione (corr.+prev.) ▪ MDT è il tempo medio di fuori servizio

DISPONIBILITA'

Ipotesi:

Funzione di densità di guasto esponenziale



A(t) = Pb(t) = DISPONIBILITA'

U(t) = Pg(t) = INDISPONIBILITA' A(t) = U(t)

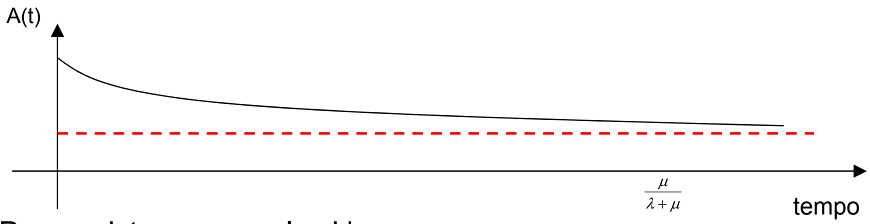
$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$

$$U(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} - \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}$$

$$t \to 0 \quad A(0) = 1 \qquad U(0) = 0$$

$$t \to \infty \quad A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \qquad U(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu}$$

DISPONIBILITA'



Per un sistema normale si ha:

MTBF >> MTTR $_1 \Rightarrow \lambda << \mu$

Il termine di transitorio di A(t) si esaurisce in un tempo piccolo rispetto al tempo medio di guasto.

Si può affermare che per t ≈ 5÷10 (1 / λ+μ)

$$A(t) \approx A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = \frac{\frac{1}{\lambda}}{\frac{1}{\lambda}+\frac{1}{\mu}} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

$$U(t) \approx U(\infty) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu}$$

Il significato di disponibilità operativa

Affidabilità (MTBF)	**Manutenibilità (MTTR)**	**Sistema logistico di supporto**
Attitudine del sistema a funzionare senza guasti	Attitudine del sistema ad essere riportato e mantenuto in condizioni di corretto funzionamento	• Piani di manutenzione • Gestione ricambi • Attrezzature • Sistema informativo • Addestramento

Esempio numerico

- MTBF = 900 ore
- MTBM = 750 ore
- MTTRg = 20 ore   Numero di interventi a guasto = 30
- MTTRp = 10 ore   Numero di interventi preventivi = 70
- Tempo di preparazione delle attrezzature = 7 ore
- Tempo logistico = 5 ore (tempo di attivazione della squadra)

$$MTTR_{medio} = \frac{20 \cdot 30 + 10 \cdot 70}{30 + 70} = 13 \text{ ore}$$

$$MDT = 13 + 5 + 7 = 25 \text{ ore}$$

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR_g} = \frac{900}{900 + 20} = 0{,}978$$

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + MTTR} = \frac{750}{750 + 13} = 0{,}982$$

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} = \frac{750}{750 + 25} = 0{,}968$$

Affidabilità o disponibilità?

- Quando è prevalente il costo del guasto "in sé" (sostituzione di componenti, danni, ...) è più significativa l'AFFIDABILITÀ
- Quando è prevalente il costo "connesso" col guasto (mancata produzione, mancato servizio, ...) è più significativa la DISPONIBILITÀ

ESEMPIO NUMERICO DI SISTEMI RIPARABILI

- 2 pompe uguali in parallelo
- potenzialità (1 pompa) = 50 mc/h
- costo (1 pompa) = 15 keuro
- disponibilità (1 pompa) = 0,9
- servizio parzializzabile = 100 o 50 mc/h
- costo del disservizio = 0,25 euro/mc
- funzionamento continuo

Conviene aggiungere una terza pompa ?

ESEMPIO NUMERICO DI SISTEMI RIPARABILI

(A): Analisi della situazione iniziale

Stato del sistema P1	P2	Probabilità di stato	Portata Persa	Portata Persa Attesa
up	up	$0,9^2=0,81$	0	0
up	down	0,9x0,1=0,09	50	4,5
down	up	0,1x0,9=0,09	50	4,5
down	down	$0,1^2=0,01$	100	1
	Totale	**1,00**		**10**

ESEMPIO NUMERICO DI SISTEMI RIPARABILI

(B): Aggiunta della nuova pompa

Stato del sist. P1	P2	P3	Probabilità di stato	Portata Persa	Portata Persa Attesa
up	up	up	$0,9^3=0,729$	0	0
up	up	d	$0,9^2$x0,1=0,081	0	0
up	d	up	0,9x0,1x0,9=0,081	0	0
d	up	up	0,1x0,9x0,9=0,081	0	0
up	d	d	0,9x$0,1^2$=0,009	50	0,45
d	up	d	0,1x0,9x0,1=0,009	50	0,45
d	d	up	$0,1^2$x0,9=0,009	50	0,45
d	d	d	$0,1^3=0,001$	100	0,1
	Totale		**1,00**		**1,45**

ESEMPIO NUMERICO DI SISTEMI RIPARABILI

(C): Valutazione economica

- costo di disservizio risparmiato:

  (10-1,45) x 0,25 x 24 x 365 ca. = 18,7 keuro/anno

  [mc/h]x[£/mc]x[h/gg]x[gg/anno]
- costo della nuova pompa: 15 keuro

Conclusione:

poiché l'installazione della nuova pompa si ripaga in circa 1 anno, conviene installarla.