

8.1) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

Agenda:

-> Affidabilità e disponibilità dei sistemi:

- Continuità di funzionamento;
- Affidabilità;
- Disponibilità;
- Indici;
- Affidabilità e disponibilità dei sistemi;

🎯 OBIETTIVI:

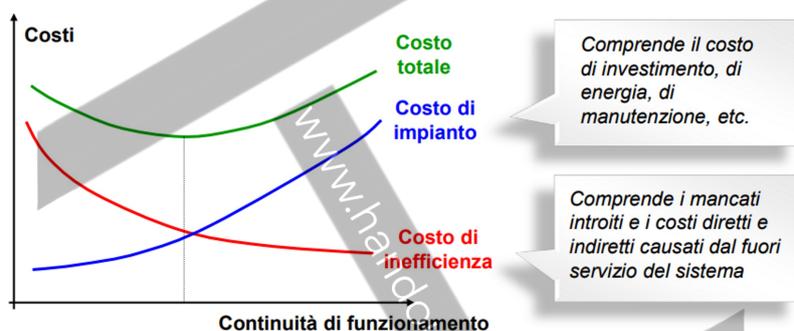
- **Mantenere la performance attesa** durante vita utile (sistemi e impianti)
 - **Funzionamento regolare e buono stato di conservazione** degli (impianti/servizi/attrezzature);
- > Attenzione anche a:
- Aspetti patrimoniali, tecnologici, economici e umani;
 - Trattazione generale, ovvero applicabile a sistemi e impianti del mondo industriale e dei servizi.

1/4. Continuità di funzionamento:

-> Agenda:

- Costi;
- Analisi affidabilità;
- Manutenzione.

1.1. Costi: -> Studio della relazione tra costi e continuità di funzionamento di impianti.



- Costo di **inefficienza** (o mancanza) di esercizio:
 - > Legato al mancato guadagno,
 - > Causato da:
 - o Inefficienza tecnica causata da guasti;
 - o Cause esterne di natura organizzativa (mancanza ordini di lavoro, materiali, manodopera, ...)
- Costi di **impianto**: macchina e manutenzione.

1.2. Analisi Affidabilistica:

-> **OBJ:** comprendere i fenomeni e le cause di guasto che, su base statistica, affliggono un impianto rendendolo indisponibile alle attività produttive.

-> Dall'analisi affidabilistica è possibile:

- **Stimare il costo** della **non disponibilità** e del **ciclo di vita**;
- **Valutare** economicamente la **validità di interventi** volti a ridurre l'indisponibilità;
- **Ottimizzare** la **disponibilità operativa** e stimare la durata.

-> Ogni componente/sistema può essere analizzato sotto questi tre punti di vista.

-> In altri termini questa analisi contribuisce a determinare e a migliorare la qualità di un componente e/o sistema.



1.3. Manutenzione:

-> Necessaria agli impianti;

-> Nella storia se ne sono susseguite diverse tipologie.

8.2) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

Processi manutentivi e di supporto:



UNI 10224

2/4. Affidabilità (R_reliability):

-> **DEF:** Per affidabilità di un componente (macchina o impianto) si intende la **probabilità** che il componente funzioni **correttamente** senza guasti per un tempo assegnato, in predeterminate condizioni ambientali

-> Ha natura probabilistica ed è misurabile quindi su basi **statistiche**;

- **DEF2:** L'affidabilità (Reliability, R) è la **probabilità** che, in un intervallo di **tempo** assegnato, un oggetto (componente, sistema) compia correttamente la funzione per cui è stato costruito, date le condizioni ambientali e di sollecitazione in cui opera.
- **DEF3:** probabilità di arrivare alla fine del tempo assegnato.

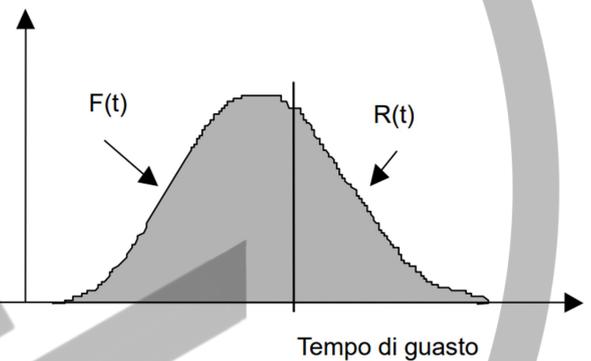
-> **Dipende da:**

- Probabilità;
- Tempo;
- Requisiti di funzionamento;
- Condizioni di funzionamento;

Formula Reliability:

- (C): Criterio condizioni di guasto: quando una cosa è guasta o meno;
- (A): Condizioni ambientali;
- > Pregiudicano il tempo in cui possono funzionare;
- (t): intervallo di tempo;

$$R = R(C, A, t);$$



-> Fissando C ed A => R diventa solo in funzione del tempo: $R = R(t)$, questo sarà il nostro caso.

$$N_0 = N_g(t) + N_f(t);$$

- N_0 : numero di componenti di prova al tempo 0;
- $N_g(t)$: numero di componenti guasti al tempo $t > 0$;
- $N_f(t)$: numero di componenti funzionanti al tempo $t > 0$;

$$\Rightarrow \text{Affidabilità: } R(t) = \frac{N_f(t)}{N_0};$$

$$\Rightarrow \text{Inaffidabilità: } F(t) = \frac{N_g(t)}{N_0} = 1 - R;$$

- **DENSITÀ DI GUASTO:** Probabilità (f) che il componente o il sistema si guasti ad un istante di tempo prefissato (ora, giorno, ... - intervallo $\Delta t \rightarrow 0$), a partire dall'istante di inizio servizio;

$$\rightarrow \text{Probabilità che qualcosa si guasti tra } t_1 \text{ e } t_2: f(t_2 - t_1) = \frac{N_g(t_2 - t_1)}{N_t};$$

- **PROBABILITÀ CUMULATA DI GUASTO:** Probabilità (F) che il componente o il sistema si guasti entro un istante prefissato (ora, giorno, ...), cioè non sopravviva in uno stato di buon funzionamento fino a quell'istante:

$$\rightarrow F(t_2) = F(t_1) + f(t_2 - t_1);$$

Tasso di guasto: λ

-> **DEF:** **Probabilità** che il **componente**/sistema che ha funzionato sino ad un istante prefissato, **smetta di funzionare** il periodo immediatamente dopo.

-> **Formola:** è pari al rapporto tra il numero di guasti in un intervallo di tempo e il numero dei componenti/sistemi ancora funzionanti all'inizio del periodo considerato.

$$z(t) = \frac{1}{N_f(t)} \cdot \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{N_0}{N_f(t)} \cdot \frac{1}{N_0} \cdot \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \left[\frac{1}{\text{tempo}} \right]$$

-> $z(t)$ rappresenta la variazione istantanea di unità funzionanti rispetto a quelle funzionanti dall'inizio di dt (causa guasto).

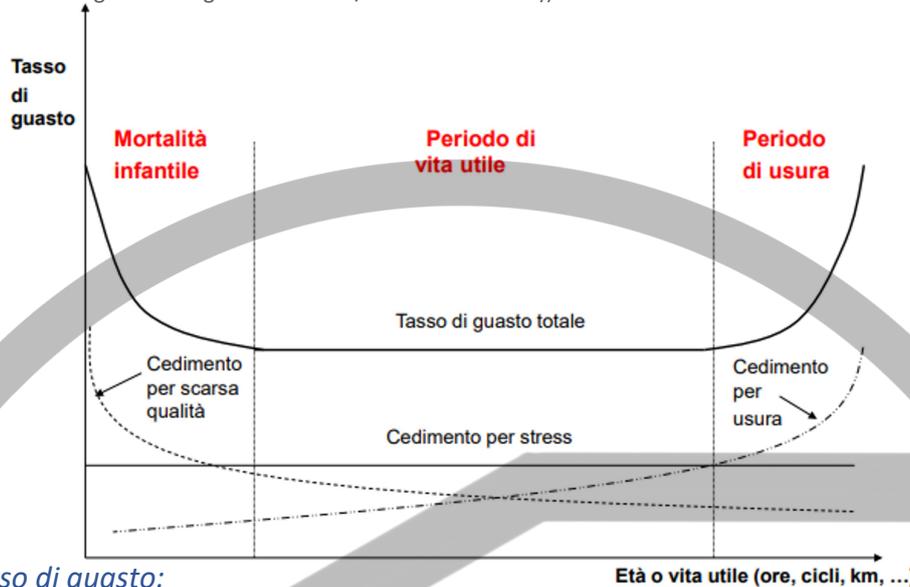
8.3) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

=> Otteniamo:

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(u)du};$$

-> Con Hp: $z(t) = \lambda$ (COSTANTE) => $R(t) = e^{-\lambda t}$;

(l'ipotesi significa che la variazione di unità funzionanti non dipenda dal tempo (il componente non modifica la sua "propensione" al guasto a seguito di usura e/o invecchiamento)).



Influenzano il tasso di guasto:

- Caratteristiche del componente/ sistema (progettazione, materiali, tecniche fabbricazione, qualità, installazione, procedure operative);
- Flusso di processo;
- Condizioni ambientali (interne/ esterne);
- Strategia di manutenzione;
- Modo di guasto, causa di guasto, severità sollecitazioni.

3/5. Disponibilità (A_vailability):

-> DEF: Probabilità che un **sistema svolga** correttamente la sua **funzione** al momento della domanda d'uso.

-> Probabilità che un sistema svolga la funzione richiesta in determinate **condizioni** (d'uso/ ambientali) ad un Δt o istante di **tempo** supponendo che siano assicurati i **servomezzi** necessari

- o Devono essere **fissate le condizioni ambientali**;
- o **INDISPONIBILITÀ**: complemento a uno disponibilità.

-> DEF2: $\frac{\text{buon funzionamento}}{\text{tempo funzionamento richiesto}}$ [%];

- o La differenza fra i due tempi è data dai tempi di fermata per guasto/riparazione.
- o **Ⓢ SISTEMA RIPARABILE**;
- o Tanto più velocemente si può riportare in servizio un sistema, tanto più viene minimizzato l'effetto del guasto.

Disponibilità VS Affidabilità:

- **Affidabilità**: fissato un intervallo di tempo ci chiediamo la probabilità di arrivare al termine di quello.
- **Disponibilità**: ci chiediamo la probabilità che in un certo istante di tempo scelto il sistema funzioni.
 - o È sotto inteso che il componente si possa riparare;
 - o È un rapporto tra tempi.

Manutenibilità:

-> DEF: Attitudine di un sistema al ripristino, in un tempo predefinito, della sua capacità di fornire le prestazioni previste quando le attività di manutenzione sono eseguite in conformità alle procedure prescritte e con i mezzi indicati.

- Ci dice se è possibile riportare un componente alla situazione iniziale;

$$G(t) = 1 - e^{-\mu t};$$

-> Dove μ è tasso di riparazione (⚠ se costante);

-> Determinano manutenibilità: Accessibilità, Estraiabilità, Manipolabilità; Pulibilità; Unificazione; Intercambiabilità; Testabilità.

Tasso di riparazione: μ

-> DEF: Il tasso di riparazione $z_g(t)$ $\left[\frac{1}{s}\right]$ è la variazione istantanea del numero di unità guaste, a causa di quelle che vengono riparate;

-> ⚠ Se considerato costante => $z_g(t) = \text{cost} = \mu$;

8.4) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

4/5. Indici di affidabilità e manutenibilità:

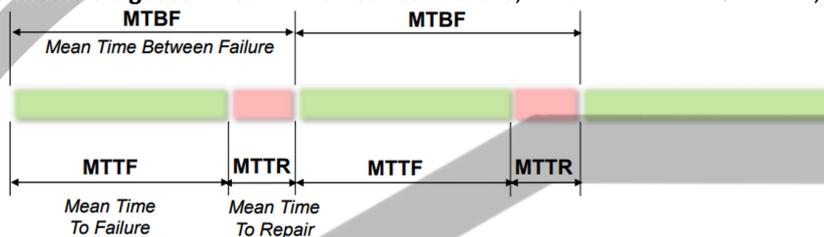
-> Abbiamo tre indicatori:

- **MTTF, Tempo medio di fruizione prima del guasto:** Mean Time To Failure, $\frac{1}{\lambda}$;
 - > Valore atteso del tempo di guasto (UNI 9910);
 - > Tempo che mediamente il componente guasto trascorre nello stato di buon funzionamento prima del guasto;

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \lim_{k \rightarrow \infty} \int_0^k e^{-\lambda t} dt = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{-\lambda} [e^{-\lambda t}]_0^k = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{-\lambda} [e^{-\lambda k} - 1] = \frac{1}{\lambda}$$

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

- **MTTR, Tempo medio tecnico di intervento di riparazione:** Mean Time To Repair, $\frac{1}{\mu}$;
- **MTBF, tempo medio tra guasti:** Mean Time Between Failure, $MTBF = MTTF + MTTR$;



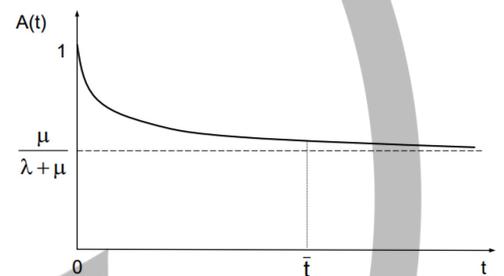
-> Più correttamente si dovrebbe parlare di MSDT, Mean System Down Time.

$$MSDT = MTTR + LDT + ADT;$$

- MTTR: Mean Time To Repair;
- LDT: Logistic Delay Time;
- ADT: Administrative Delay Time.

-> Relazioni indici-affidabilità:

- Diminuire MTTR => + manutenibile.
- Aumentare MTTF => + affidabile



Disponibilità:

-> **DEF:** rapporto tra il tempo per cui il componente/ sistema può funzionare e tempo totale per cui è richiesto il servizio (valore medio %).

$$A = \frac{UpTime}{UpTime + DownTime} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

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

✂ In genere il termine transitorio di $A(t)$ diventa trascurabile in un tempo piccolo rispetto al tempo per cui è richiesto il funzionamento del componente/sistema, per cui oltre un certo tempo si può effettuare tale approssimazione

Indisponibilità:

-> **DEF:** Probabilità che un'entità non sia in grado di eseguire una funzione richiesta in determinate condizioni e ad un dato istante, assumendo che i mezzi esterni necessari siano assicurati.

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

Differenze tra affidabilità e disponibilità:

-> Dividiamo in componenti riparabili e non riparabili:

- Componente **NON riparabile** => affidabilità (vogliamo sapere la probabilità che il mio componente arrivi in fondo al tempo prefissato - riferimento al tempo di missione);
- Componente **riparabile** =>
 - Se prevale il costo di guasto "in se" => affidabilità;
 - Se prevale il costo connesso con il guasto (costo di inefficienza) => disponibilità.

8.5) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

5/5. Affidabilità e Disponibilità dei sistemi:

-> Estendiamo adesso il concetto ai sistemi di componenti.

-> **DEF SISTEMA:** insieme di componenti/elementi interagenti realizzati per raggiungere determinati obiettivi.

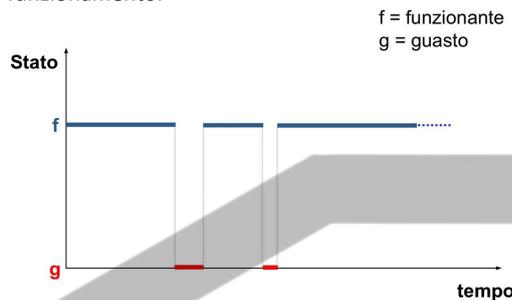
- OBJ: fornire una prestazione.
- Ci interessa capire se un guasto ad un determinato componente può pregiudicare la prestazione del mio sistema (non tanto se si verifica o meno il guasto)

A. Componenti:

-> Sono tre le tipologie di componenti:

- Componenti riparabili;
- Componenti non riparabili;
- Componenti di protezione.

- Componenti **non riparabili**: non possono essere riparabili finché non finisce la missione, allora può essere sostituito.
- Componente **riparabile**: componente per il quale, attraverso interventi di riparazione o sostituzione il sistema. Riportato entro le condizioni stabilite per il suo corretto funzionamento.



STATO DI UN COMPONENTE RIPARABILE.

Componenti di protezione:

-> **DEF:** componenti che in condizioni normali stanno in stand-by e in caso di guasto entrano in funzione completamente.

- In caso di rottura il guasto non può essere rilevato se non attraverso l'effettuazione di un test.

Test:

-> Indicando con θ l'intervallo tra due test successivi => L'inaffidabilità di un componente in stand-by corrisponde al valor medio dell'inaffidabilità nell'intervallo θ :

$$Q(t) = \frac{1}{\theta} \cdot \int_0^{\theta} (1 - e^{-\lambda t}) dt$$

Se λt piccolo => $e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t$ e

$$Q(t) \approx \frac{1}{\theta} \lambda \frac{\theta^2}{2} = \frac{\lambda \theta}{2}$$

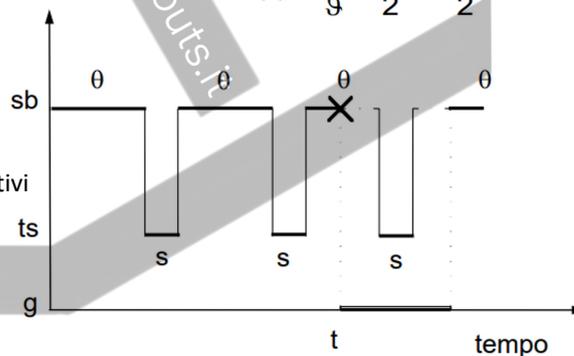
sb = stato di stand-by

ts = stato durante i test periodici

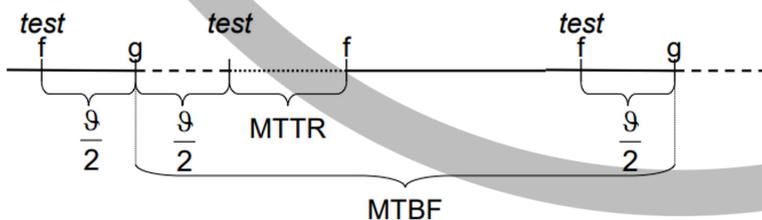
g = stato di guasto

θ = intervallo di tempo fra due test consecutivi

s = durata singolo test $\ll \theta$



-> Il guasto si verifica mediamente dopo un tempo pari a $\theta/2$ dopo l'ultimo test in cui il componente è risultato funzionante



$$Q = \frac{\frac{\theta}{2} + \text{MTTR}}{\text{MTBF}} = \frac{\frac{\theta}{2}}{\text{MTBF}} + \frac{\text{MTTR}}{\text{MTBF}} = \frac{\theta}{2} \cdot \frac{1}{\lambda^{-1} + \mu^{-1}} = \frac{\lambda \cdot \theta}{2}$$

B. Cause dei guasti di componenti e sistemi:

- Sollecitazioni meccaniche, fatica, urti;
- Temperatura;
- Usura;
- Corrosione;

8.6) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

C. Tipologie dei sistemi:

- **SISTEMA NON RIPARABILE:** è un sistema costituito da componenti non ripristinabili (non riparabili/sostituibili). In questo caso se ne esprime l'affidabilità;
- **SISTEMA RIPARABILE:** costituito da componenti ripristinabili. In questo caso se ne esprime la disponibilità.

-> Dobbiamo capire come sono interconnessi i componenti tra di loro:

- **SISTEMI NON RIDONDANTI:** sistemi che risultano guasti non appena si guasta un sistema;
- **SISTEMI RIDONDANTI:** sono quei componenti che non si guastano se si guasta un componente.

-> Ulteriore divisione:

- **SISTEMI IN SERIE:** sistemi in cui tutti i componenti devono funzionare perché il sistema funzioni;
- **SISTEMI IN PARALLELO:** sistemi in cui è sufficiente che un componente funzioni perché il sistema funzioni.

-> Alla modalità operativa di eventuali componenti in stand-by (solo sistemi parallelo):

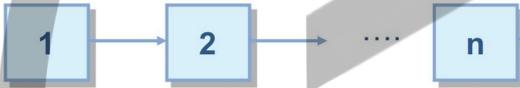
- **STAND-BY A FREDDO:** caso in cui il componente di riserva sia disattivato quando il componente normale è operativo
 - > L'elemento in stand-by non si usura;
 - > ho un momento transitorio, discontinuità servizio
 - > Gruppo elettrogeno. Normalmente è fermo, lo accendo solo se necessario;
- **STAND-BY A CALDO:** nel caso in cui il componente di riserva sia comunque utilizzato, magari a regime ridotto, quando il componente normale è operativo;
 - > Non ho discontinuità di servizio, utilizzato se il costo di disservizio è molto rilevante;
 - > Si usura il macchinario;

Formule:

-> Abbiamo tre tipologie di sistemi **SERIE**, **PARALLELO** e **RIDONDANTI**.

Sistemi serie 🌲:

-> **DEF:** Se un elemento qualsiasi non funziona, l'intero sistema non funziona.



-> In generale: $R_{serie}(t) = \prod_i R_i(t)$;

$$R_{serie}(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t)$$

-> **AFFIDABILITÀ/ DISPONIBILITÀ** del sistema sempre inferiore al componente con caratteristica (R/A) più bassa.

-> **MIGLIORAMENTO SISTEMA:** intervento su componente collo di bottiglia.

=> Per incrementare la prestazione del sistema in serie devo duplicare gli elementi;

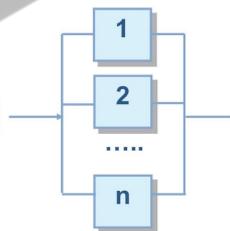
-> Sistemi serie più delicati: se un componente non va => non va tutto il sistema.

Sistemi parallelo 🦄:

-> Basta che un solo elemento funzioni perché funzioni tutto.

In generale:

$$R_{parallelo}(t) = 1 - \prod_i [1 - R_i(t)]$$



-> **AFFIDABILITÀ** sistema è sempre maggiore della massima affidabilità dei suoi componenti.

-> **MIGLIORAMENTO SISTEMA:** intervengo sul componente con caratteristica maggiore.

Sistemi ridondati o a ridondanza maggioritaria o sistemi k/n.

-> **DEF:** sono sistemi in parallelo in cui, affinché il sistema funzioni è necessario che funzionino almeno k degli n elementi in parallelo.

- Sono anche detti sistemi "a ridondanza maggioritaria".

=> possiamo fare una ridondanza per sistema o per componente;

-> Tipologie di ridondanza nei sistemi:

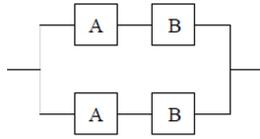
- Per sistema;
- Per componente.

-> Dato un sistema di controllo/ sicurezza, in caso di guasto...

- Se Variabile Controllata > Soglia Critica => il sistema non rivela nulla (=> Nascono problemi di sicurezza);
- Se Variabile Controllata < Soglia Critica => il sistema segnala errore (=> Comporta problemi di efficienza).

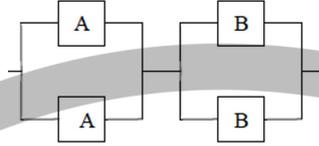
8.7) ✓ Affidabilità & Disponibilità:

Ridondanza per SISTEMA:



-> Affidabilità sistema: $R_S = 2 * R_A * R_B - (R_A * R_B)^2 = R_A * R_B * (2 - R_A * R_B)$;

Ridondanza per COMPONENTE:



-> Affidabilità sistema: $R_S = (2R_A - R_A^2)(2R_B - R_B^2) = R_A * R_B * [4 - 2(R_A + R_B) + R_A * R_B]$;
- Dal punto di vista affidabilistico è più favorevole.

Importanza affidabilità in un sistema:

- Determina **sicurezza** di funzionamento su base di dati (storici, tecnici, ...);
- Permette di definire la **politica di manutenzione preventiva**.
- Individua le **cause di malfunzionamento** al fine di studiare azioni correttive;
- Permette di progettare un sistema con un'**affidabilità prefissata**;
- Assicura la **continuità di funzionamento**;

www.handouts.it

8.8) ✓ Affidabilità & Disponibilità > Definizioni:

SISTEMA: insieme di pezzi che interagiscono tra di loro per raggiungere un obiettivo.

Manutenzione Correttiva: riparo dopo che si sia rotto un pezzo;

Manutenzione Preventiva: intervenire prima che il pezzo si guasti;

Logistica di supporto: logistica di approvvigionamento pezzi/personale;

Diagnostica tecnica: nasce al fine di comprendere le cause che hanno portato al guasto;

Manutenzione produttiva (JIT: Just In Time);

Fabbrica snella manutenzione produttiva: nascono delle imprese appositamente per la manutenzione;

Fabbrica snella impresa rete outsourcing: la parte di azienda che si occupa di manutenzione all'interno dell'azienda viene messo a disposizione anche fuori.

RdL: richiesta di lavoro (in genere proveniente dal personale di produzione);

OdL: ordine di lavoro (in generale emesso dal responsabile di manutenzione verso gli operatori di manutenzione)

DENSITÀ di GUASTO: probabilità (f) che il componente/sistema si guasti ad un istante di tempo fissato.

-> Probabilità che la lampadina si guasti nell'intervallo dato.

CUMULATA di GUASTO: probabilità (F) che il componente o sistema si guasti entro un istante di tempo prefissato.

TASSO DI GUASTO: Probabilità che il componente/sistema che ha funzionato sino ad un istante prefissato, smetta di funzionare il periodo immediatamente dopo.

SERVOMEZZI: energia elettrica, combustibili, aria compressa.

SISTEMA RIPARABILE: da un POV economico, un sistema viene definito riparabile quando il costo medio delle riparazioni (tempo e MP) su un sistema rappresenta una piccola frazione del costo iniziale.

ACCESSIBILITÀ (ACCESSIBILITY): un sistema deve essere progettato in modo che ogni sua parte e relative pertinenze permettano ispezioni, riparazioni, revisioni e sostituzioni, tenendo anche conto delle attrezzature necessarie;

ESTRAIBILITÀ (DISMOUNTING): durante una azione manutentiva, deve essere possibile sconnettere ed asportare ogni apparato senza che vi sia obbligo di coinvolgere altri apparati non direttamente correlati alla specifica azione.

MANIPOLABILITÀ (HANDINESS): tutti gli apparati soggetti a smontaggio previsto da atti manutentivi devono essere progettati in modo da essere facilmente trasportabili (peso, forma, tossicità, agganci di sollevamento, etc.).

PULIBILITÀ (CLEANING-FRIENDLINESS): comparti, apparati, etc. devono essere progettati in modo da facilitare al massimo le operazioni di pulizia;

UNIFICAZIONE (STANDARDISATION): già allo stadio di sviluppo, devono essere applicate soluzioni atte ad avere la minima diversificazione possibile tra le entità del sistema, ovvero si dovrà cercare di ottenere il massimo numero di parti intercambiabili, usando componenti standard ogni volta sia possibile;

INTERCAMBIABILITÀ (INTERCHANGEABILITY): un componente può essere sostituito da uno simile senza che le prestazioni di sistema ne risentano significativamente; la sostituzione deve essere ovviamente compatibile in "form, fit, function";

TESTABILITÀ (TESTABILITY) : il grado di testabilità (misurabilità) di una parte, sotto specificate condizioni, deve essere considerato già dallo stadio di sviluppo; tale grado deriva da un bilanciamento tra i requisiti richiesti e i costi correlati.

FATICA TERMICA: è una sollecitazione che porta all'usura il componente per di effetti ciclici di innalzamenti /abbassamenti di temperatura.

UPS: gruppo utenze alimentato da uno stand-by caldo.

SOLLECITAZIONI, FATICA, URTI: oltre all'intensità ed alla distribuzione di carichi nel tempo, influiscono le caratteristiche strutturali dei materiali e l'eventuale presenza di difetti o altri stati particolari;

TEMPERATURA: oltre al suo livello, è importante la distribuzione nello spazio e nel tempo delle sorgenti di calore, l'inerzia termica e la capacità di trasmissione del mate dei componenti;

USURA: l'usura è dovuta a fenomeni di attrito, ad insufficiente dissipazione del calore e ad esposizione ad elevati livelli di radiazione;

CORROSIONE: è un fenomeno che dipende dalle caratteristiche chimiche dell'ambiente e da quelle chimico-fisiche dei materiali, da fenomeni elettrici, dalla contemporanea presenza di sollecitazioni

SCHEMA FISICO: rappresenta le connessioni realmente esistenti tra gli elementi che compongono il sistema.

SCHEMA AFFIDABILISTICO: rappresenta le connessioni logiche; lo schema affidabilistico potrebbe mutare al variare delle richieste che il sistema fisico deve soddisfare (es. passaggio da parallelo a serie)