

Manutenzione dei sistemi di produzione

La manutenzione è un elemento fondamentale per gli impianti di produzione; essa è definita come **controlli costanti sull'impianto**, insieme a **lavori di riparazione** e revisioni che sono necessari per assicurare il corretto funzionamento degli impianti produttivi.

Ci sono diverse **politiche di manutenzione**, che andiamo ad elencare:

Politiche di manutenzione

Manutenzione correttiva

Questo tipo di manutenzione si applica **dopo un guasto**: la macchina viene **fermata** e quindi riparata. Lo scopo è quello di riportare la macchina (entità) allo stato in cui è possibile il corretto funzionamento.

Questo tipo di manutenzione ha dei **fattori negativi**: andiamo infatti a **perdere dei ricavi**, perdita dovuta al fermo improvviso delle macchine.

Ci conviene quindi applicare questo tipo di manutenzione solo se il **fermo macchina** non comporta gravi perdite e se l'opera di manutenzione è "semplice".

Manutenzione migliorativa

Questo tipo di manutenzione consiste nella **modifica ad apparecchiature e macchinari funzionanti**, allo scopo di **migliorare** le loro prestazioni.

Questo tipo di manutenzione mira ad ottimizzare le prestazioni delle apparecchiature ed a ridurre i tempi di fermo macchina.

Manutenzione preventiva

Questo tipo di manutenzione viene eseguita ad **intervalli predeterminati** o in accordo a **criteri prescritti** in modo da **ridurre le probabilità di guasto**.

Si basa sulla sostituzione programmata di un determinato componente ancora funzionante della macchina (ma possibilmente usurato e prossimo alla rottura) in modo da prevenire i guasti prima che si verifichino.

I componenti da sostituire vengono scelti a seconda di **parametri - limiti** di componenti: ad esempio ogni lampadina ha una durata in ore, oltre le quali la lampadina potrebbe smettere di funzionare da un momento all'altro.

Manutenzione predittiva

Questa manutenzione si basa sulla **capacità di prevedere un guasto**, quindi dal riconoscimento di **un'anomalia** che porterà inevitabilmente al guasto di un componente.

Abbiamo quindi bisogno di un **servizio di informazione** e di strumenti informativi sullo **stato del macchinario**.

Manutenzione produttiva

La filosofia dietro questo tipo di manutenzione si basa sul **continuo miglioramento delle prestazioni** assegnando alcune attività agli operatori delle macchine: l'obiettivo è quello di permettere agli operatori stessi di identificare e risolvere i problemi di manutenzione.

Manutenzione centrata sull'affidabilità

Questo tipo di manutenzione prevede l'utilizzo di **tecniche di analisi dei sistemi** come la **Reliability Centered Maintenance - RCM**.

Questa analisi RCM prevede l'esecuzione in successione dei seguenti step:

1. **Scomposizione fisica del sistema** in moduli, mettendone in evidenza le interconnessioni.
2. **Scomposizione funzionale.**
3. **Scomposizione affidabilistica.**
4. **Analisi dei modi di guasto .**
5. **Analisi delle criticità.**
6. **Selezione di una strategia di manutenzione.**
7. **Piano delle attività di manutenzione .**

L'RCM, attraverso un'accurata analisi del sistema e dei componenti, valutando i **modi di guasto**, consente di scegliere la **migliore politica manutentiva per ciascun elemento**

FMEA e FMECA

Gli approcci che si basano sui concetti della **manutenzione centrata sull'affidabilità** sono sostituiti dalla metodologia **FMEA - Failure Modes and Effects Analysis** e dalla metodologia **FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis**.

Metodologia FMEA

Pagina 238

E' un **processo sistematico** utile per **identificare e prevenire errori di progettazione** in modo da eliminarli o limitare il rischio a loro associato.

La metodologia FMEA si compone di tre fasi:

1. La prima fase è **qualitativa** ed analizza tutti i possibili modi di guasto o rottura, valutandone anche gli effetti che possono verificarsi (rispecchiandosi sul prodotto finale).
2. La seconda fase è **quantitativa** ed ha come obiettivo quello di quantificare effettivamente la pericolosità della terna **causa - modo - effetto** .
3. La terza fase è **correttiva** ed individua le possibili azioni correttive mirate a ridurre la pericolosità e la criticità della modalità di rottura.

Metodologia FMECA

Pagina 241

Questa tipologia consiste nel **suddividere i possibili effetti** delle varie modalità di rottura in quattro **classi di gravità**:

1. **Catastrofica**
2. **Critica**
3. **Marginale**
4. **Minore**

Possiamo **calcolare l'indice di criticità** mediante la formula:

$$I_c = \lambda \cdot \beta \cdot \alpha \cdot t$$

Dove ogni variabile significa:

$$\begin{cases} \lambda & = \text{tasso di guasto} \\ \beta & = \text{probabilità che il modo di rottura in esame provochi un effetto} \\ \alpha & = \text{probabilità che si verifichi un dato modo di rottura} \\ t & = \text{tempo di funzionamento richiesto all'elemento} \end{cases}$$

andiamo quindi a calcolare I_c (indice di criticità) complessivo dei modi di rottura per **ogni classe di gravità** e si sommano gli indici di criticità di tutti i modi di rottura della classe.

Differenza tra guasto ed avaria

Si deduce che **il guasto è un evento**, ovvero un passaggio da uno stato di corretto funzionamento ad uno stato che non permette di rispettare le prestazioni prestabilite.

L'avaria è uno stato vero e proprio, in cui la macchina **non è in grado di operare**.

Approcci quantitativi per la manutenzione

Teoria dell'affidabilità

L'affidabilità di un elemento p definita come la **probabilità che l'elemento funzioni senza guastarsi per un certo tempo t** in determinate condizioni ambientali.

L'elemento in esame può assumere due stati:

- **Funzionamento buono**
- **Funzionamento cattivo**

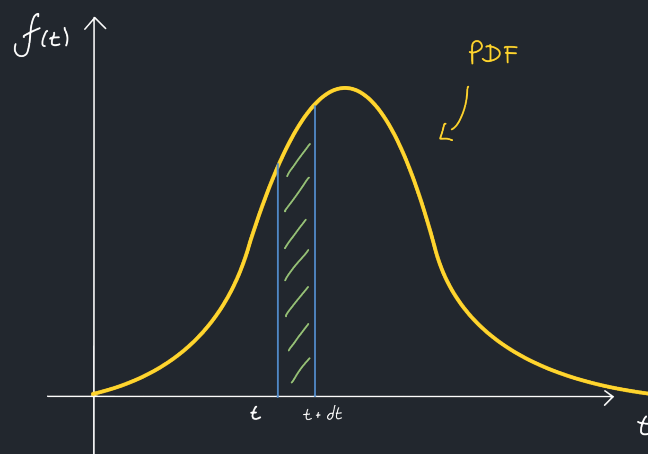
Ovviamente dobbiamo **stabilire un criterio** per **stabilire se l'elemento è funzionante o meno**, inoltre devono essere stabilite anche le **condizioni ambientali** che si devono **mantenere costanti** durante il **tempo prestabilito** (ovvero l'arco temporale in cui ci aspettiamo che il componente funzioni correttamente).

Definiamo la variabile **T - tempo fino al guasto di un elemento** che ci dice il tempo che intercorre tra l'istante iniziale in cui si avvia la valutazione dell'affidabilità e l'istante in cui l'elemento si rompe.

Definiamo una **densità di probabilità di guasto** una funzione $f(t)$ tale che la probabilità infinitesima che l'elemento si guasti al tempo t o in un suo intorno infinitesimo (praticamente t) sia:

$$f(t)dt$$

In altre parole, la probabilità che il componente si guasti rappresenta l'area sottesa alla curva in un intervallo che va da t a $t + dt$:



Densità di probabilità di guasto - PDF

Sappiamo che l'area sottesa di una PDF vale 1 (probabilità di normalizzazione vista nell'[esame di fondamenti di telecomunicazioni](#)), possiamo dire che **se calcoliamo un intervallo di tempo infinito la probabilità che un qualsiasi elemento si guasti è 1, ovvero certa.**

Possiamo a questo punto calcolare diversi dati:

- **Probabilità che l'elemento si guasti entro un certo tempo** : ci basta calcolare l'area sottesa alla curva *fino* al momento t , ovvero l'integrale tra zero e t della funzione:

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(\tau) d\tau$$

- **Probabilità che l'elemento funzioni dopo un certo tempo** : ci basta calcolare l'area sottesa alla curva da t a più infinito; questo non possiamo farlo perchè c'è un asintoto, per cui sottraiamo ad 1 (probabilità certa, ovvero l'area di tutta la curva), la probabilità che l'elemento arrivi sano *fino* al tempo t .

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau = 1 - F(t)$$

Leggi statistiche della durata di vita

Per un sistema meccanico complesso possiamo individuare tre fasi di vita principale:

- Mortalità infantile
- Vita utile
- Senilità / usura

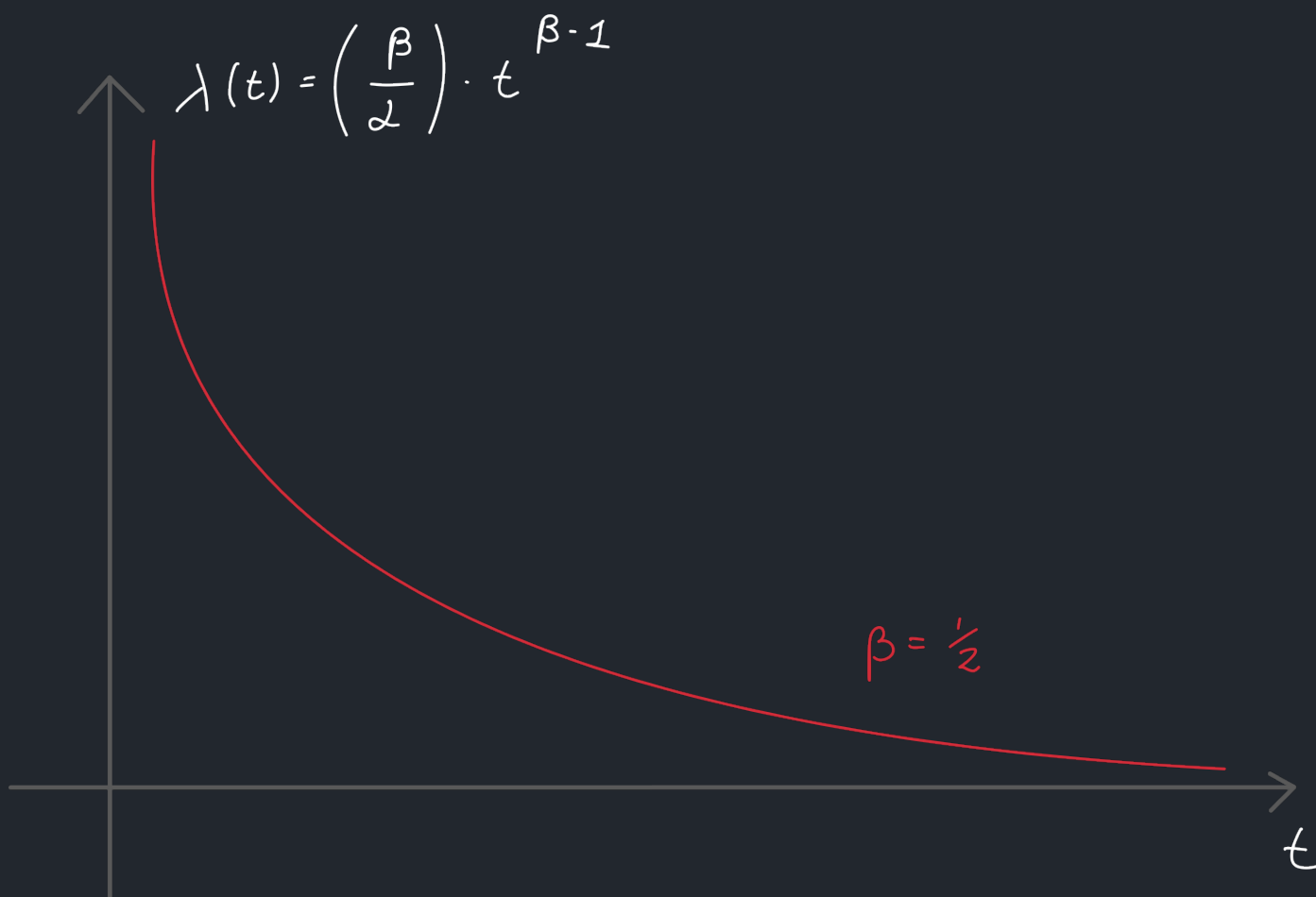
Mortalità infantile

Mettiamo in funzionamento al tempo $T = 0$ delle macchine nuove; di conseguenza se nella popolazione di componenti ci sono dei pezzi affetti da **errori di progettazione** e quindi di struttura più debole, questi si andranno a guastare quasi subito.

La curva $\lambda(t)$ indicherà quindi **alti valori del tasso di guasto**.

Questo periodo è detto mortalità infantile proprio perchè è il periodo di vita iniziale dei componenti: ad esempio nel caso automobilistico, ogni modello **pre serie** viene testato in pista in modo da identificare tutti quei pezzi affetti da errori di produzione; ogni volta che se ne scopre uno lo si corregge.

Di conseguenza la curva $\lambda(t)$ avrà valori molto alti inizialmente, ma via via che si correggono i pezzi, questa curva scenderà, assumendo un aspetto del genere:



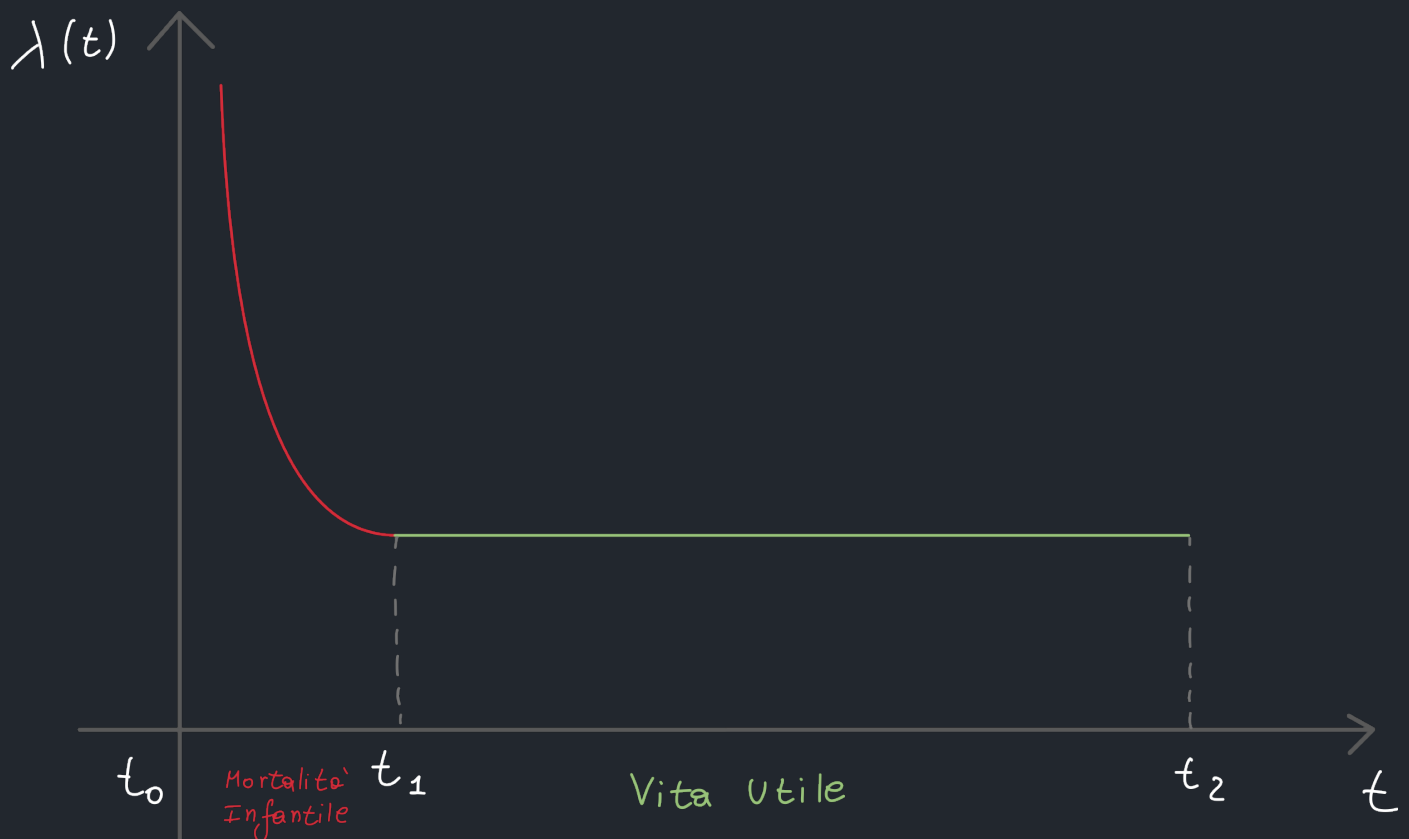
I **parametri** alpha e beta sono:

- **Apha** - Caratteristica
- **Beta** - Parametro di forma

Man mano che si va avanti nel tempo il valore si stabilizza fino a diventare **costante**.

Vita utile

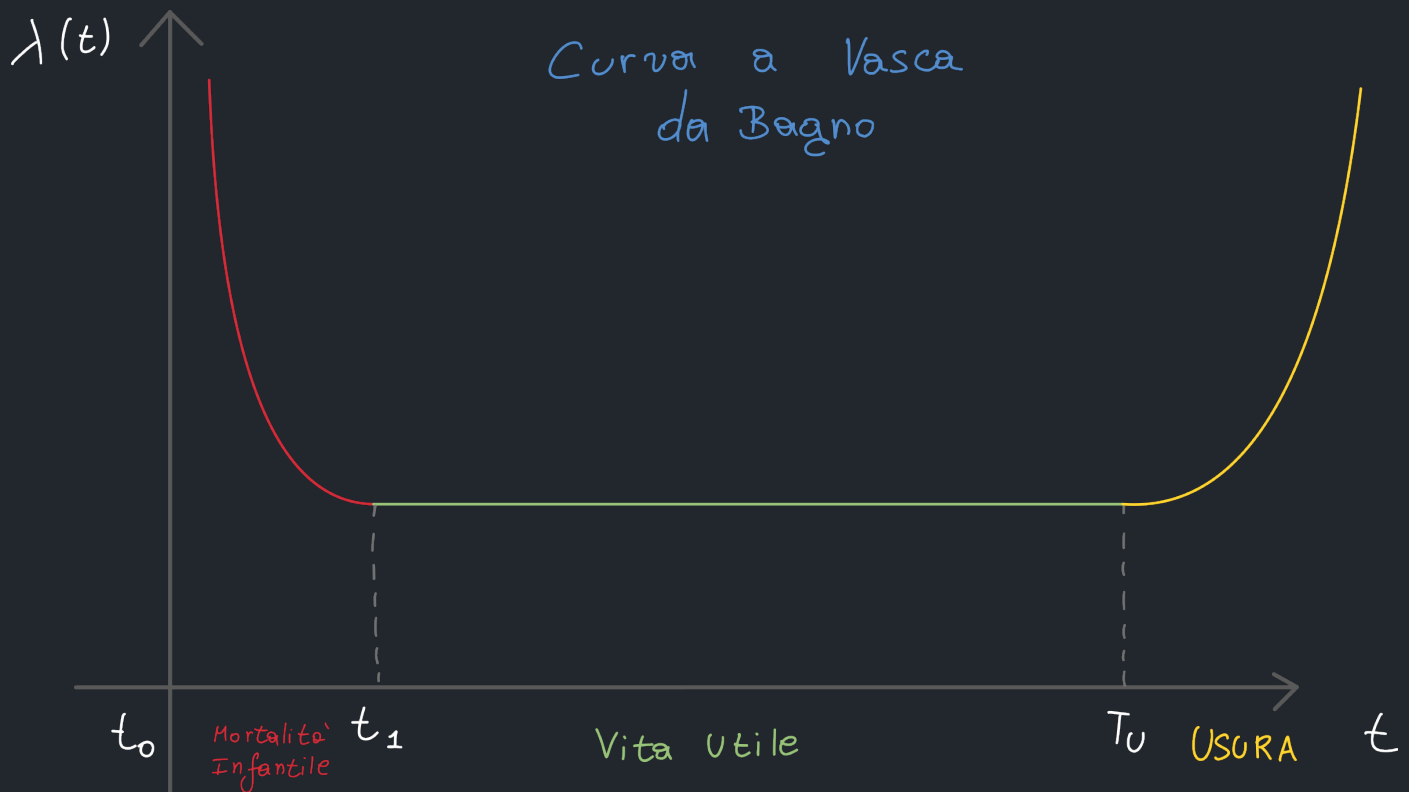
Come abbiamo visto, dopo un certo periodo di tempo, i componenti prima o poi raggiungono un **tasso di guasto basso e costante**; il periodo di tempo in cui il tasso rimane costante viene detto **vita utile**:



Siccome l'affidabilità è **l'area sottesa alla curva in un dato intervallo**, con il passare del tempo questa non è ovviamente costante (a differenza della funzione).

Senilità o usura

Quando i componenti raggiungono l'età T_u ha inizio il fenomeno dell'usura: da questo momento in poi il **tasso di guasto cresce** rapidamente. Otteniamo quindi la curva finale, detta **curva a vasca da bagno**:



Le politiche di manutenzione nelle fasi di vita di un prodotto

Possiamo quindi identificare le diverse politiche di manutenzione nelle diverse fasi di vita di un prodotto:

1. **Mortalità infantile** - In questo caso la politica di manutenzione è di tipo **migliorativa**
2. **Vita utile** - **Manutenzione di tipo preventiva - ciclica** . Anche un pizzico di migliorativa
3. **Usura** - **Preventiva** . Si sostituiscono i componenti a rischio rottura.

Tempi della manutenzione

Da pagina 257

Un intervento di manutenzione comporta un costo che deriva non solo dall'intervento stesso, ma anche dal **tempo in cui la macchina non produce**; diventa quindi importante riuscire a **calcolare il tempo legato ad un intervento di manutenzione**.

Manutenzione a guasto

Nel caso di manutenzione a guasto (ovvero quelle attività di manutenzione che si verificano solo dopo un guasto), definiamo il **tempo medio fino al guasto - MTTF (Mean Time Till Failure)** che viene calcolato con il seguente integrale:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Possiamo anche **integrare la probabilità che l'elemento funzioni dopo un certo tempo**:

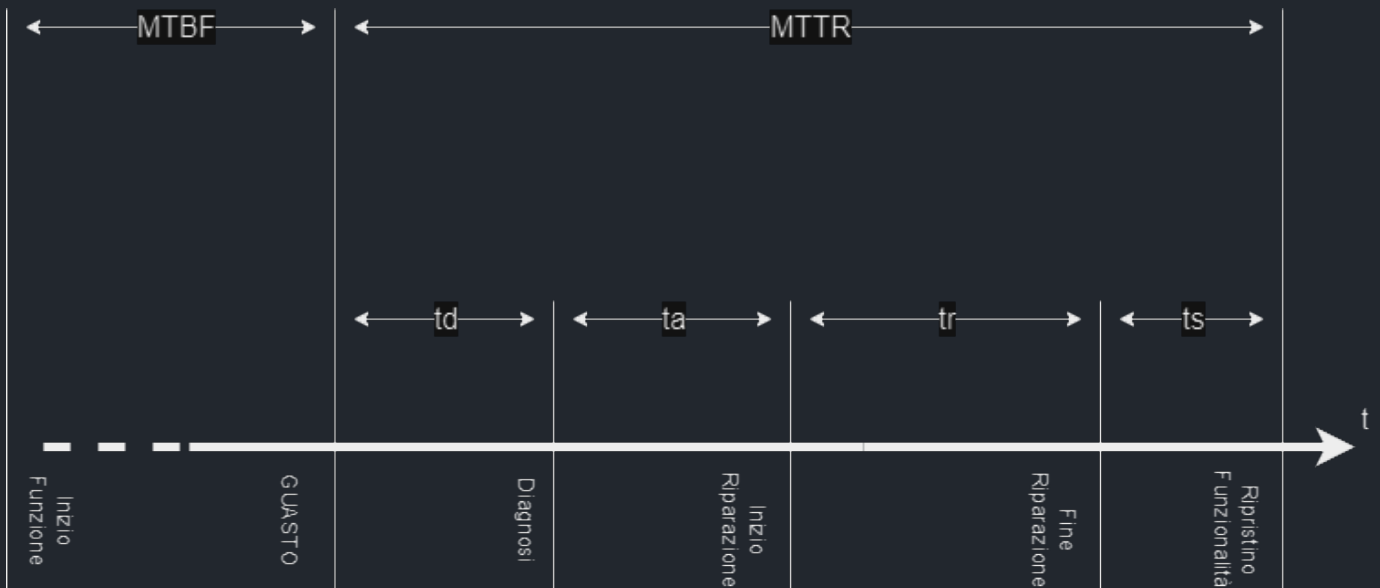
$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Sistemi riparabili

Il caso che analizzeremo è quello in cui si parla di **tempo medio tra due guasti, ovvero Mean Time Between failures - MTBF** e possiamo calcolarlo con la seguente formula:

$$MTBF = m = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

Possiamo Rappresentare su un diagramma temporale le fasi della riparazione:



Dove:

- **MTTR - Mean Time To Repair** ovvero il tempo medio che richiede la riparazione
- **td** - tempo di diagnosi del guasto
- **ta** - tempo di attivazione dell'intervento, ovvero il tempo richiesto dalla squadra di riparazioni per sopraggiungere
- **tr** - tempo di riparazione
- **trs** - tempo di ripristino funzionalità, ovvero il tempo necessario per riportare la macchina in regime di funzionamento

Disponibilità a sua misura

Definiamo disponibilità **l'attitudine di un sistema a svolgere il proprio compito in un determinato periodo di tempo di osservazione in cui si sono avuti N cicli funzionamento-riparazione.**

indicando con **T_i** i **tempi di funzionamento** e con **τ_i** i tempi di riparazione possiamo definire le seguenti grandezze:

- **Uptime** ovvero il tempo totale di funzionamento in N cicli:

$$UT = \sum_{i=1}^N T_i$$

Ci basta quindi sommare tutti i tempi di funzionamento rispettivi all'i-esimo ciclo.

- **Downtime** - ovvero il tempo in cui le macchine non sono state attive per via della riparazione:

$$UT = \sum_{i=1}^N \tau_i$$

Possiamo calcolare finalmente la **disponibilità** come:

$$Disponibilità = A = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$$

E quindi andando a sostituire otteniamo:

$$Disponibilità = A = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N T_i + \sum_{i=1}^N \tau_i}$$

Cenni di affidabilità dei sistemi

Pagina 263

Le componenti di un sistema possono comportarsi, dal punto di vista dell'affidabilità, in maniera **dipendente o indipendente**; abbiamo quindi due casi:

1. Il verificarsi di un guasto di una parte costituisce un evento casuale ed indipendente dal verificarsi di un guasto in un'altra parte del sistema.
2. Il guasto in una parte del sistema **dipende molto** dal modo in cui funzionano altre parti del sistema.

Possiamo rappresentare queste combinazioni attraverso **schemi a blocchi**, in cui ogni blocco rappresenta un sottosistema o un componente; ci corre in aiuto le nozioni apprese in fisica / elettrotecnica: possiamo disporre i componenti in serie o in parallelo.

Sistemi In serie (indipendenti)

Quando disponiamo i componenti in serie, **il guasto di uno qualsiasi dei suoi elementi determina il guasto dell'intero sistema** (essendo in serie il guasto di un singolo componente è da considerare **indipendente**).

Possiamo calcolare l'affidabilità del sistema andando a moltiplicare tra loro le probabilità dei singoli componenti:

$$R_s = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Dove $R_s(t)$ ed $R_i(t)$ indicano l'affidabilità del sistema e del generico sottosistema.

Sistemi In Parallelo e ridondanti (dipendenti)

I sistemi in cui alcune funzioni vengono **duplicate o triplicate al fine di ottenere una migliore affidabilità sono detti ridondanti**; possiamo distinguere questi sistemi in:

Ridondanza del primo tipo

I vari sottosistemi posti in parallelo **operano contemporaneamente**, ma il sistema funziona anche se **un solo componente** funziona in un dato momento.

Se consideriamo due elementi in parallelo possiamo calcolare l'affidabilità del sistema nel seguente modo:

$$R_s = R_A + R_B - R_A \cdot R_B$$

Ridondanza del secondo tipo

In questo caso, per ogni istante di tempo, **solo un singolo elemento è in funzione alla volta**, mentre gli altri elementi rimangono **per riserva pronti a partire**.

Per calcolare l'affidabilità risultante del sistema, consideriamo due elementi:

- **A** - normalmente sotto carico
- **B** - interviene quando si verifica un guasto in A

L'affidabilità del sistema sarà data dalle probabilità che corrispondono agli eventi:

- A funziona al tempo $t \rightarrow R_A(t)$
- A si guasta al tempo τ e B che è intervenuto al tempo τ , funziona al tempo t (con $t > \tau$)

$$\text{Secondo evento} = \int_0^t f_a(\tau) \cdot R_B(t - \tau) d\tau$$

Possiamo quindi mettere insieme il tutto:

$$R_s = R_A(t) + \int_0^t f_a(\tau) \cdot R_B(t - \tau) d\tau$$