

Tecnica della manutenzione

Definizione di manutenzione

La manutenzione è la *"combinazione di tutte le azioni tecniche e amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui possa svolgere la funzione richiesta"* (UNI 10147)

- nella manutenzione sono coinvolti
 - i tecnici
 - gli amministrativi
 - i supervisori
 - lo scopo della manutenzione
 - mantenere
 - riportare
- un'entità in uno stato in cui *possa svolgere la funzione richiesta*

Cenni storici

Dalla I^o rivoluzione industriale fino agli anni 40 un sistema veniva sottoposto a manutenzione solo *a guasto avvenuto*, con tutte le conseguenze relative al fermo della produzione ed agli altri problemi che un approccio di questo tipo può causare

Manutenzione a guasto



Fermi macchina



Incidenti

Evoluzione del concetto di manutenzione

A partire dagli anni 50, in particolare grazie con lo sviluppo del settore aeronautico, si iniziò a ragionare con un approccio di tipo diverso introducendo prima il *concetto di affidabilità* e poi su come aumentare tale affidabilità con una *manutenzione preventiva* con il duplice obiettivo di prevenire i guasti e di ridurre i costi.

concetto di affidabilità (anni 50)

manutenzione preventiva (anni 60)

Affidabilità e guasto

Prima di introdurre la definizione di affidabilità vediamo cosa accade quando un sistema cessa di essere affidabile.

Un sistema non è più affidabile quando avviene un guasto, la cui definizione è "*cessazione dell'attitudine di un' entità ad eseguire la funzione richiesta*" (UNI 13306); quindi affermare che un sistema è guasto non implica necessariamente che tale sistema non sia più funzionante ma è sufficiente che non sia più in grado di eseguire la funzione richiesta.

....un impianto che produce parti non conformi è da considerare guasto, anche se è ancora in grado di funzionare....

Classificazione dei guasti /1

Classificazione in base alla frequenza

guasti sporadici
accadono di rado
hanno una causa ben definita

guasti ripetitivi
accadono spesso
non hanno una causa nota

Classificazione in base alla gravità

guasti minori
guasti maggiori
guasti rilevanti

il sistema continua a funzionare
il sistema smette di funzionare
creano una situazione di pericolo

Classificazione dei guasti /2

Classificazione in base alla modalità

guasti ripetitivi	si ripetono ad intervalli regolari, non fermano il sistema
guasti latenti	non gravi, peggiorano se non si interviene con la manutenzione
guasti repentini	avvengono improvvisamente bloccano il sistema

Il tasso di guasto

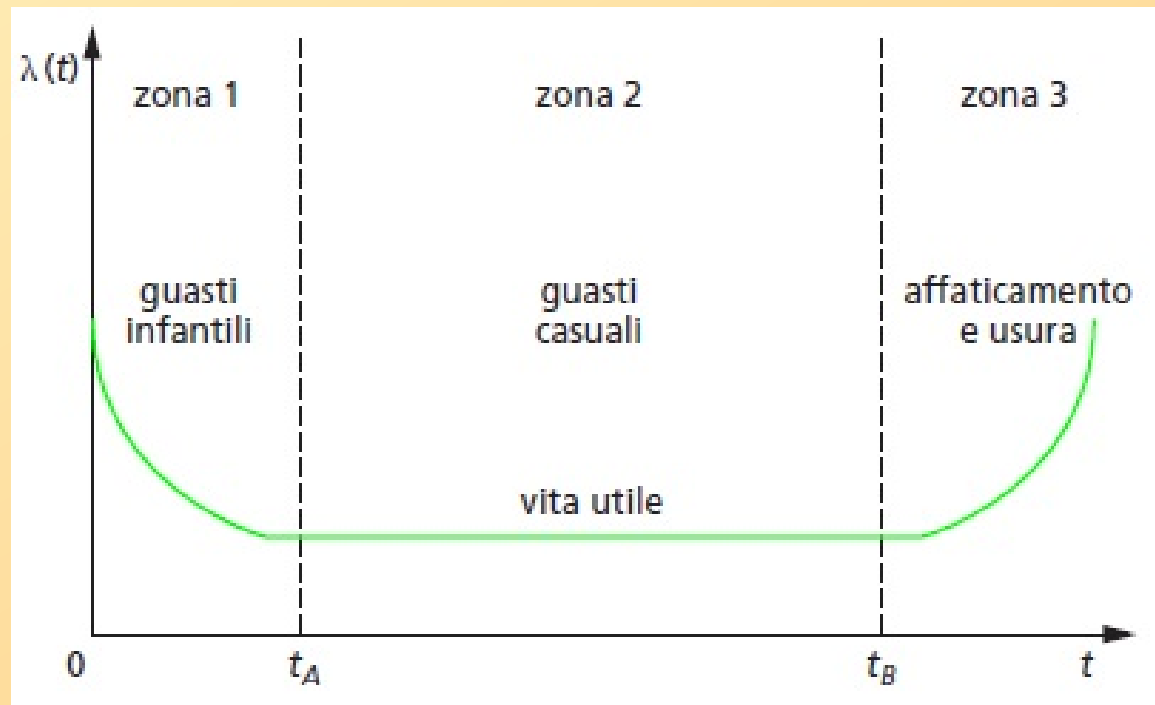
Per quantificare in modo oggettivo la probabilità che un componente o un sistema possa guastarsi è stato definito un parametro chiamato *tasso di guasto* $\lambda(t)$ che indica il numero di guasti imputabili al componente, o al sistema, nell'unità di tempo.

La sua unità di misura è guasti $\cdot$ ore⁻¹ indicato spesso con ore⁻¹

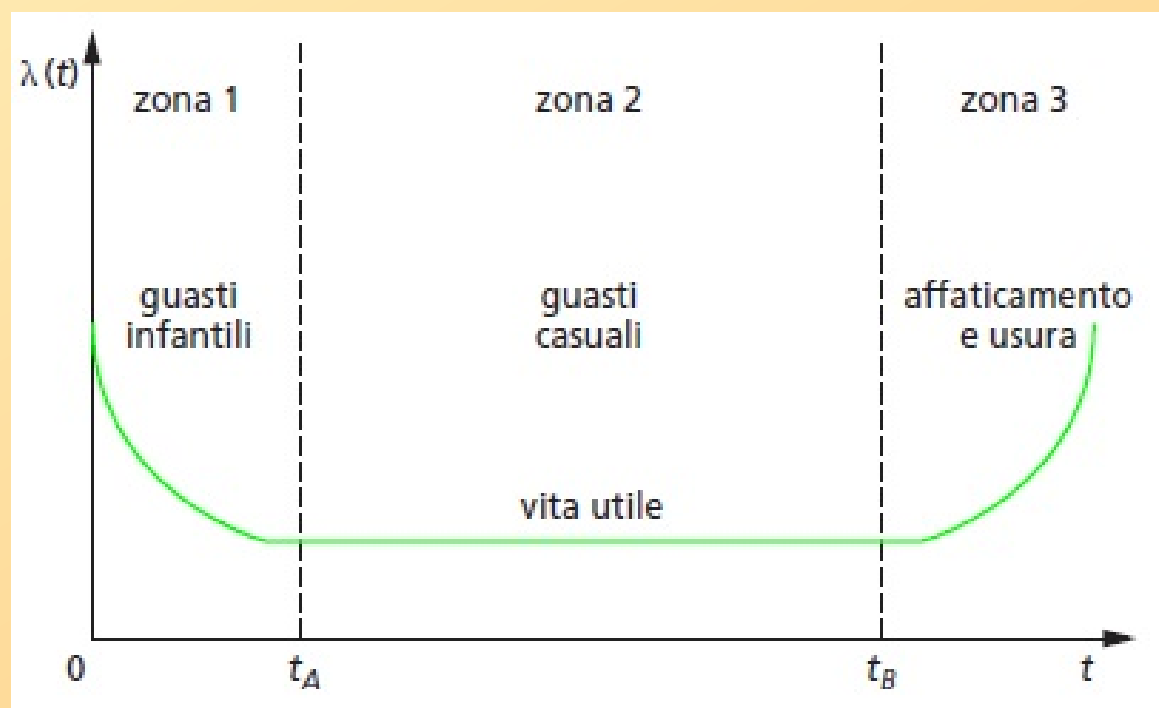
In genere il tasso di guasto non è costante durante la vita del sistema, infatti esso può variare in base alla tipologia di prodotto, all'accuratezza del processo produttivo, ai controlli effettuati a fine produzione, ecc.

La funzione “a vasca da bagno”

Una funzione che dimostra la variabilità del tasso di guasto nella vita di un componente, o di un sistema, è la funzione “a vasca da bagno”



Tale funzione è divisa formalmente in 3 zone, nella prima sono evidenti *i guasti infantili*, che accadono nel primo periodo di vita del sistema, nella seconda *i guasti casuali*, che accadono con regolarità ad intervalli abbastanza lunghi, nella terza *i guasti dovuti ad affaticamento e usura* che si ripetono sempre più spesso mano a mano che l'usura dei componenti si fa più marcata.



L'affidabilità

Secondo le norme attuali con il termine affidabilità si intende
“l'attitudine di un'entità a svolgere una funzione richiesta in condizioni date per un dato intervallo di tempo” (UNI 13306).

Per dare un giudizio sull'affidabilità occorre quindi conoscere la funzione richiesta, le condizioni date e l'intervallo di tempo da considerare.

funzione richiesta
condizioni date
per un dato intervallo di tempo

cosa deve fare il prodotto ?
in quali condizioni ?
per quanto tempo ?

Affidabilità e tasso di guasto

Occorre specificare che i concetti relativi all'affidabilità sono *concetti di tipo probabilistico*; non è infatti possibile determinare il momento in cui avverrà il guasto ma solo quante sono le probabilità che esso si verifichi.

Per calcolare l'affidabilità di un sistema che ha *un tasso di guasto costante*, come nel caso della zona 2 della funzione a vasca da bagno, si utilizza la seguente formula

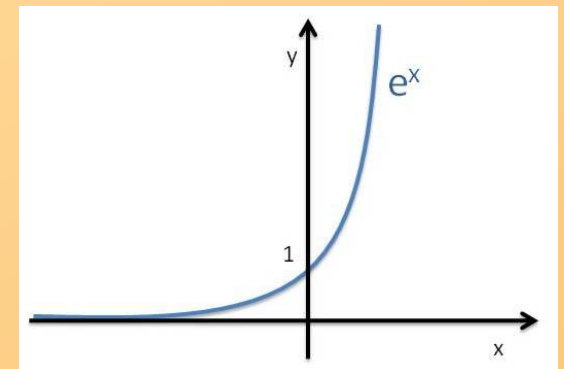
$$A(t) = e^{(-\lambda t)}$$

Calcolo dell'affidabilità

Ad esempio un impianto dove il tasso di guasto durante la vita utile è costante e pari a $\lambda_c = 0,0001 \text{ ore}^{-1}$ in un utilizzo di 200 ore avrà un'affidabilità pari a

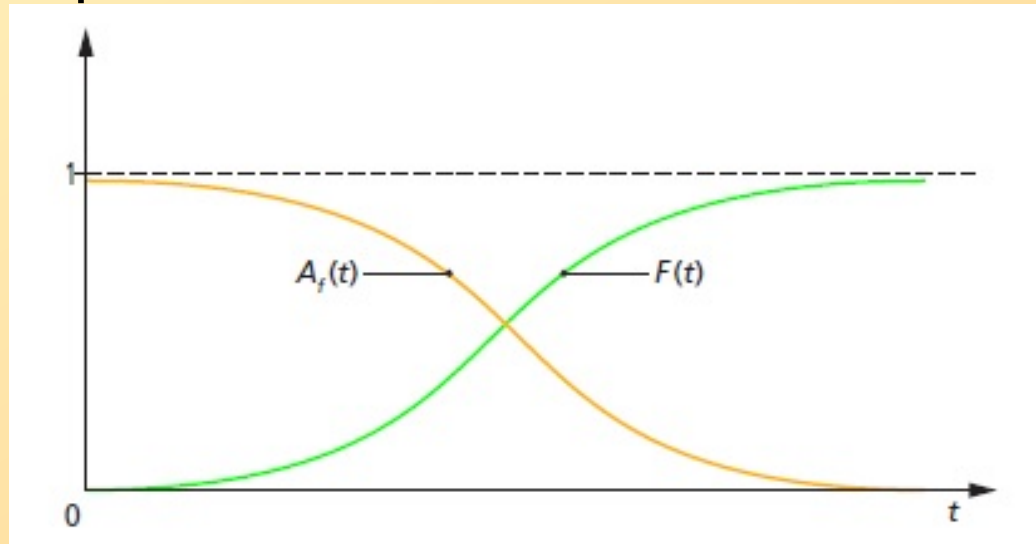
$$A = e^{-\lambda t} = e^{-0,0001 \cdot 200} = 0,98 = 98 \%$$

Dall'analisi dei risultati ottenuti si può notare che l'affidabilità aumenta se diminuisce il prodotto λt , quindi un valore più basso del tasso di guasto ed un intervallo di tempo minore permettono di ottenere una maggiore affidabilità.



Affidabilità e probabilità di guasto

La figura seguente indica come diminuisce l'affidabilità $A_f(t)$ al crescere del tempo t , fissato un certo valore del tasso di guasto λ



La seconda curva, di colore verde, presente nel grafico indica invece *la probabilità di guasto* $F(t)$, definita con la legge

$$F(t) = 1 - A(t)$$

Altri parametri relativi all'affidabilità

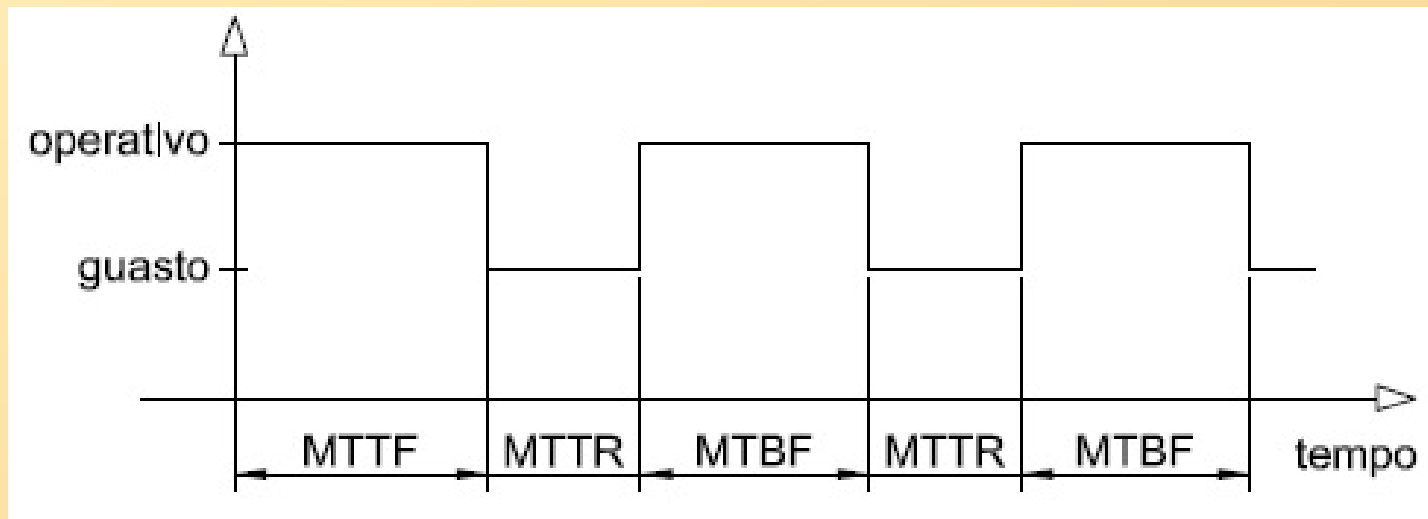
MTTF (Mean Time To Failure = tempo medio di guasto) indica il tempo medio che intercorre tra l'installazione di un componente ed il manifestarsi del primo guasto; in genere viene indicato per i componenti non riparabili;

MTBF (Mean Time Between Failures = tempo medio tra due guasti) indica il tempo medio che intercorre tra due guasti consecutivi;

MTTR (Mean Time To Repair = tempo medio di riparazione) rappresenta il tempo medio necessario a riparare un sistema guasto

Altri parametri relativi all'affidabilità

Il significato dei valori appena indicati viene riassunto nella tabella seguente:



MTBF e tasso di guasto λ

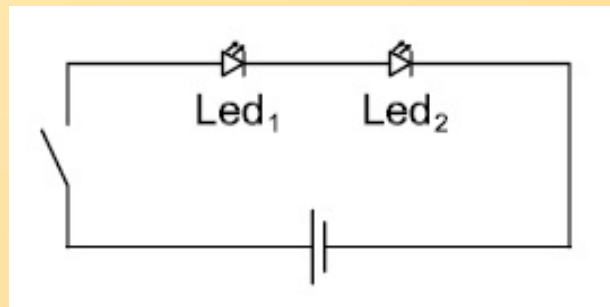
Poichè il tempo medio tra due guasti (MTBF) è l'inverso del tasso di guasto λ , conoscendo quest' ultimo è possibile programmare la manutenzione ad intervalli prestabiliti.

Ad esempio se il valore del tasso di guasto $\lambda_c = 0,0001 \text{ ore}^{-1}$ come nel caso precedente il tempo medio tra due guasti sarà pari a

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,0001} = 10000 \text{ ore}$$

Affidabilità di un sistema

Vediamo ora come calcolare l'affidabilità di un sistema a partire da quella dei suoi componenti; iniziamo con il considerare l'impianto in figura in cui sono presenti una batteria, un interruttore e due led *collegati in serie*

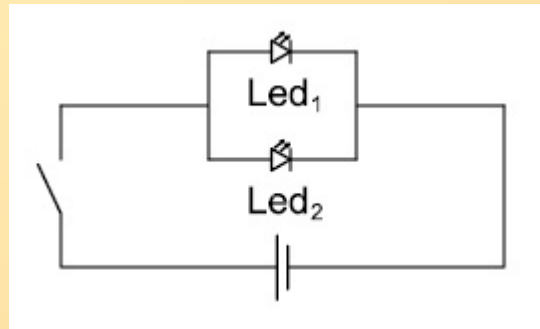


in un sistema di questo tipo in caso di guasto ad uno dei led l'intero impianto cessa di funzionare, quindi ipotizzando per l'affidabilità di ognuno dei led un valore $A_{f1}=A_{f2}=0,9$, l'affidabilità complessiva dei due led in serie sarà

$$A_f = A_{f1} \cdot A_{f2} = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$$

Affidabilità di un sistema

Se i componenti sono *collegati in parallelo* si ha un incremento dell'affidabilità rispetto al caso di un singolo componente



in questo caso, ipotizzando come in precedenza per l'affidabilità di ognuno dei led un valore $A_{f1} = A_{f2} = 0,9$ avremo

$$A_f = A_{f1} + A_{f2} - A_{f1} \cdot A_{f2} = 0,9 + 0,9 - 0,9 \cdot 0,9 = 0,99$$

Ovviamente in questo discorso non abbiamo tenuto conto della riduzione della luminosità nel caso della mancata accensione di uno dei led.

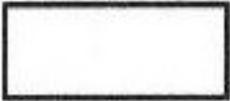
Albero dei guasti

Da quanto abbiamo appena visto per poter calcolare il valore dell'affidabilità di un *sistema complesso* una volta fissato il tempo t rispetto al quale vogliamo calcolare tale valore occorre calcolare l'affidabilità dei singoli componenti e da questa ricavare l'affidabilità del sistema tenendo conto di come influisce il guasto di un componente sull'intero sistema.

Nei calcoli relativi all'affidabilità ogni componente può assumere solo due stati: *funzionante (1)* o *guasto (0)*; questa semplificazione ci permette di descrivere lo stato di un sistema complesso attraverso l'algebra di Boole.

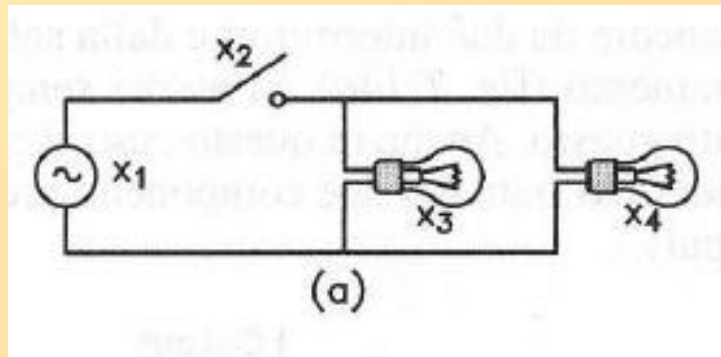
Albero dei guasti

Per determinare la probabilità di guasto di un sistema a partire da quella dei suoi componenti viene utilizzato un metodo grafico definito albero dei guasti(fault tree); i principali simboli utilizzati per tracciare l'albero dei guasti sono i seguenti

<i>Simbolo</i>	<i>Nome</i>	<i>Descrizione</i>
	Evento guasto	Questo simbolo può essere utilizzato per indicare il guasto del sistema preso in considerazione o il guasto intermedio di un gruppo di componenti
	Evento guasto di base	Simbolo che significa guasto di un componente che non richiede ulteriori approfondimenti
	Porta logica AND	Il segnale in uscita è al livello 1 se tutti i segnali in entrata sono al livello 1
	Porta logica OR	Il segnale in uscita è al livello 1 se almeno uno dei segnali in entrata è al livello 1

Esempio

Vediamo ora come applicare tale metodo ad un esempio pratico: consideriamo l'impianto di illuminazione in figura formato da un generatore x_1 , un interruttore x_2 e due lampade x_3 e x_4 ;



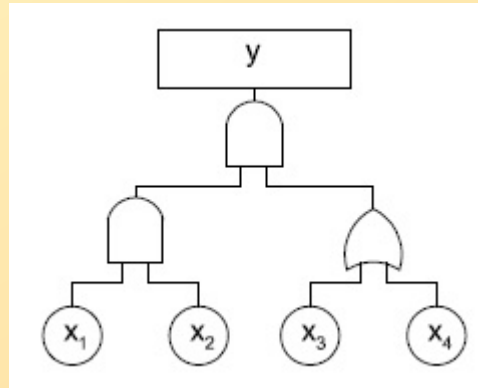
sia $y=0$ la condizione di guasto equivalente alla mancata accensione di entrambe le lampade. Tracciamo l'albero dei guasti e calcoliamo l'affidabilità del sistema in un tempo di riferimento di 500 ore partendo dai seguenti valori del tasso di guasto

$$\lambda_1 = 0,00001 \text{ ore}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 0,0002 \text{ ore}^{-1}$$

$$\lambda_3 = \lambda_4 = 0,0004 \text{ ore}^{-1}$$

L'albero dei guasti di tale sistema è il seguente



e può spiegarsi in base alle seguenti considerazioni

- i componenti x_1 e x_2 sono posti in serie (AND) quindi è sufficiente il guasto di uno di essi per far entrare il sistema nella condizione di guasto $y=0$
- i componenti x_3 e x_4 sono posti in parallelo (OR) quindi per generare la condizione di guasto $y=0$ è necessario che siano entrambi guasti
- i due sottosistemi x_{12} e x_{34} sono posti in serie (AND) quindi per generare la condizione di guasto $y=0$ è sufficiente il guasto di un solo sottosistema

Per calcolare l'affidabilità di un sistema utilizzando l'albero dei guasti dobbiamo conoscere

- il periodo in cui valutare l'affidabilità del sistema (in genere indicato in ore)
- l'affidabilità dei singoli componenti (in genere è noto il tasso di guasto)

Calcoliamo ora l'affidabilità dei componenti nel tempo di riferimento di 500 ore:

alimentatore x_1 : $A_1 = e^{-0,00001 \cdot 500} = 0,995$

interruttore x_2 : $A_2 = e^{-0,0002 \cdot 500} = 0,905$

lampade x_3 e x_4 : $A_3 = A_4 = e^{-0,0004 \cdot 500} = 0,818$

l'affidabilità dei due sottosistemi x_{12} e x_{34} sarà

$$A_{12} = A_1 \cdot A_2 = 0,995 \cdot 0,905 = 0,9$$

$$A_{34} = A_3 + A_4 - A_3 \cdot A_4 = 0,818 + 0,818 - 0,818 \cdot 0,818 = 0,966$$

L'affidabilità dell'intero sistema sarà quindi

$$A = A_{12} \cdot A_{34} = 0,9 \cdot 0,966 = 0,869$$

Disponibilità

La disponibilità indica la possibilità di utilizzazione di una macchina o impianto nel tempo.

Può essere espressa attraverso la seguente relazione:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Manutenibilità

La manutenibilità come “l’attitudine di un’entità, in assegnate condizioni di utilizzazione, a essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti”.

