

I PRINCIPI DELLA TEORIA DELL’AFFIDABILITÀ

1 L’AFFIDABILITÀ

La disciplina dell’affidabilità si propone di descrivere e misurare la “capacità” di funzionamento di dispositivi o sistemi di produzione. Per ogni dato sistema, tale misura, detta appunto affidabilità del sistema, serve a quantificare il grado di “fiducia” che possiamo avere nel verificarsi del buon funzionamento del sistema, inteso come assolvimento degli obiettivi per i quali il sistema stesso è progettato e costruito. Poiché le prestazioni di ogni sistema tendono inevitabilmente a degradare nel tempo, è opportuno che l’affidabilità di un sistema sia definita come la misura della sua attitudine a fornire nel tempo una prestazione soddisfacente. Tale misura non è altro che un valore numerico, espresso su una scala di numeri reali tra 0 e 1, perché è definito, come si vedrà, in termini di probabilità. Quella dell’affidabilità è una disciplina matematica, che fa parte di un più vasto settore disciplinare, ossia appunto il “Calcolo delle probabilità”. Si tratta di una delle discipline scientifiche più “giovani”; essa è, infatti, nata (in ambito militare) a ridosso degli anni della 2a Guerra mondiale: la prima definizione quantitativa di affidabilità è stata data negli USA, nel 1952. Ha ricevuto il primo importante inquadramento teorico negli anni ‘60, soprattutto negli USA e in URSS, per poi conoscere un più rapido sviluppo, anche in campo civile, a partire dagli anni ’70.

Le prime tracce di studi sul concetto di affidabilità si hanno tra le due guerre mondiali in campo aeronautico: si doveva decidere quale fosse la migliore configurazione per il sistema di propulsione degli aerei a più motori. Questi studi però inizialmente ebbero carattere prettamente sperimentale così come

sperimentali erano anche i dati sulla frequenza di guasto di apparecchiature che si trovavano a bordo degli aerei, espressa in termini di numero medio di sostituzioni della stessa apparecchiatura. Intorno al 1930 questi dati cominciarono ad essere elaborati statisticamente, fornendo così utili indicazioni sui miglioramenti da apportare ai progetti.

Tra il 1943 ed il 1950 sia i tedeschi (Von Braun) sia gli americani che operavano in ambito militare, avendo constatato che i malfunzionamenti avevano effetti negativi di notevole entità sia sull'operatività sia sui costi di mantenimento dell'apparato bellico, cercarono di dare una soluzione ingegneristica ai problemi affidabilistici. I missili tedeschi V1 e V2 furono i primi sistemi sui quali fu applicato con successo il concetto di affidabilità di sistema, partendo dall'affidabilità dei singoli componenti (principio dell'“anello debole”).

Questi studi sfociarono nel 1952 nella definizione di affidabilità come “la probabilità che un sistema adempia alla sua specifica funzione per un tempo determinato e sotto determinate condizioni”.

La diffusione della disciplina dall'ambito militare a quello civile si ebbe intorno agli anni '60 a mano a mano i sistemi, nei veri settori, divenivano sempre più complessi ed automatizzati. Alla fine degli anni '80 gli studi affidabilistici entrarono a far parte del TQM (*Total Quality Management*) ed alcuni metodi di valutazione dell'affidabilità dei sistemi cominciarono ad essere richiesti per ottenere la certificazione di qualità ISO-9000.

Dalle brevi note storiche sull'origine dell'affidabilità si può intuire come il campo di interesse di tale materia si sia continuamente ampliato, trasformandola da semplice strumento di supporto alla progettazione ed alla produzione dei sistemi/componenti, in una disciplina che ha ormai assunto un ruolo centrale nella visione più moderna della progettazione, all'interno della

quale sono considerati prioritari ed integrati gli aspetti legati alla sicurezza, alla qualità ed ai costi.

1.1 IL CONCETTO DI AFFIDABILITÀ

Gli studi sull'affidabilità sono stati sviluppati con lo scopo di fornire metodi per valutare se un prodotto, un servizio o un processo sarà funzionante per la durata in cui l'utilizzatore lo richiederà. Questi metodi consistono in tecniche per determinare cosa potrebbe non funzionare, come si possa prevenire il guasto e, nel caso in cui il guasto si verifichi, quali siano gli interventi più adatti a ripristinare rapidamente il funzionamento e limitarne le conseguenze.

La definizione più completa è quella che indica l'affidabilità di un elemento/sistema come la probabilità che l'elemento/sistema eseguirà una specifica funzione:

- ◆ sotto specifiche condizioni operative ed ambientali;
- ◆ ad un dato istante e/o per un prefissato intervallo di tempo.

L'affidabilità è una probabilità. Essa non è una grandezza deterministica, che può essere determinata con formule analitiche, ma una variabile aleatoria, il cui valore può essere previsto solo attraverso considerazioni di tipo probabilistico. Con il termine guasto indichiamo invece la “cessazione dell'attitudine di un dispositivo ad adempiere alla funzione richiesta”, ovvero una variazione delle prestazioni del dispositivo che lo renda inservibile per l'uso al quale esso è destinato. Tale concetto sarà ripreso più avanti nella trattazione.

La definizione di affidabilità è molto sensibile a ciò che viene definito sistema. Infatti, può essere considerato sistema ogni prodotto, servizio o processo che

viene impiegato da un utilizzatore. Perciò un sistema è un insieme di elementi materiali e/o non materiali che si comportano come un'unità che si propone la realizzazione di alcune funzioni o servizi. Quindi un sistema può essere sia un insieme assemblato di componenti, che costituisce una parte funzionale di un'apparecchiatura o di un processo, sia una sequenza di operazioni (procedure) per eseguire un servizio.

La definizione di affidabilità è legata quindi alla specifica funzione che il sistema deve compiere ed alle condizioni operative nelle quali esso si trova; occorre definire quindi l'intento progettuale del sistema e chiedersi:

- ◆ qual è la funzione che il sistema deve effettivamente svolgere?
- ◆ quali sono i valori limite delle condizioni operative ed ambientali sotto le quali il sistema deve funzionare correttamente?
- ◆ in quale istante o intervallo di tempo il sistema deve funzionare?
- ◆ in quale modo le tecniche di diagnostica e manutenzione influenzano l'operatività del sistema?

Pur non fornendo la certezza che un guasto si verifichi o meno, quindi, la teoria dell'affidabilità, applicata in modo sistematico, ci dà risultati molto utili sui quali è possibile basare il processo decisionale circa la sicurezza e il modo in cui un sistema viene fatto funzionare.

1.2 OBIETTIVI DELL'AFFIDABILITÀ

In ambito industriale, per motivi economici, occorre garantire la continuità di funzionamento degli impianti di produzione; sempre per motivi economici, occorre garantire la qualità dei prodotti ed il funzionamento in sicurezza sia

degli impianti sia dei prodotti. Passiamo in rassegna qui di seguito i principali obiettivi perseguiti col metodo dell'affidabilità.

1.2.1 SICUREZZA

L'analisi di affidabilità risulta, come è ovvio, particolarmente utile in quelle tipologie impiantistiche che utilizzano sostanze pericolose (impianti soggetti a rischi di incidenti rilevanti, che possono coinvolgere anche aree adiacenti agli stabilimenti produttivi) per valutare la probabilità che il guasto di un componente o di un sistema di sicurezza possa determinare una sequenza incidentale con gravi conseguenze sull'incolumità delle persone.

Anche in impianti che non sono soggetti a rischi di incidente rilevante, un'analisi di affidabilità può avere benefici effetti sulla sicurezza, per esempio per garantire l'incolumità del personale addetto nello svolgimento di operazioni critiche (sostanze pericolose o macchine particolari) o per valutare l'affidabilità delle procedure operative normali e di quelle di emergenza.

1.2.2 QUALITÀ

La scelta di un bene o servizio tra diverse soluzioni è dettata in generale dalla valutazione del rapporto tra la sua qualità ed il suo costo. Se si cerca di definire un prodotto "di qualità" è spontaneo considerare, tra le sue varie caratteristiche:

- ◆ la durata (per quanto tempo si può utilizzare effettivamente il componente?);
- ◆ l'affidabilità (con quale frequenza si guasta il prodotto?);
- ◆ la manutenibilità (quanto facilmente il prodotto può essere riparato?).

Se la qualità viene, quindi, intesa in termini di adeguatezza del bene allo scopo al quale è destinato, alla sua determinazione contribuiscono principalmente due fattori:

- ◆ conformità, che tiene conto dell'aderenza delle prestazioni alle specifiche progettuali e/o commerciali;
- ◆ affidabilità, che tiene conto della capacità del prodotto/servizio di mantenere le sue caratteristiche di funzionamento e di manutenibilità nel tempo.

1.2.3 COSTI

In un impianto industriale il costo annuo totale delle misure di riduzione del rischio comprende:

- ◆ costi di investimento (per esempio, acquisto nuove apparecchiature di sicurezza);
- ◆ costi di manutenzione degli impianti e delle apparecchiature di sicurezza;
- ◆ costi operativi (per esempio, per l'aggiunta di personale o per l'addestramento dello stesso). Normalmente non vengono inclusi ulteriori costi operativi per la realizzazione di procedure operative più sicure, in quanto si assume che questi siano già considerati tra i costi di realizzazione dell'intervento.

Questi costi vengono, in genere, valutati in funzione dell'affidabilità richiesta al sistema in esame, in quanto questa può essere ottenuta con due diverse strategie:

- ◆ richiedendo al fornitore un prodotto con affidabilità molto elevata: questo comporta costi rilevanti di progettazione e di produzione e, quindi, un costo d'acquisto piuttosto elevato ma minori costi di manutenzione;
- ◆ richiedendo al fornitore un prodotto di affidabilità inferiore e, quindi, di costo inferiore ma prevedendo un adeguato programma di manutenzione con un aumento dei costi di manutenzione.

Una visione moderna del problema suggerisce che i costi legati ai guasti divengono molto più elevati se nascono questioni di sicurezza e se si considerano in essi anche fattori difficilmente quantificabili come il costo della vita umana, i costi di inquinamento dell'ambiente, la perdita d'immagine dell'azienda. In quest'ottica i costi dei programmi di sicurezza divengono dei benefici figurativi in quanto determinano dei "mancati costi", cioè fanno sì che, in caso di incidente, non si debbano sostenere costi ben maggiori. L'andamento tipico delle curve costo/sicurezza, nella visione moderna, è mostrato in figura 1.1.

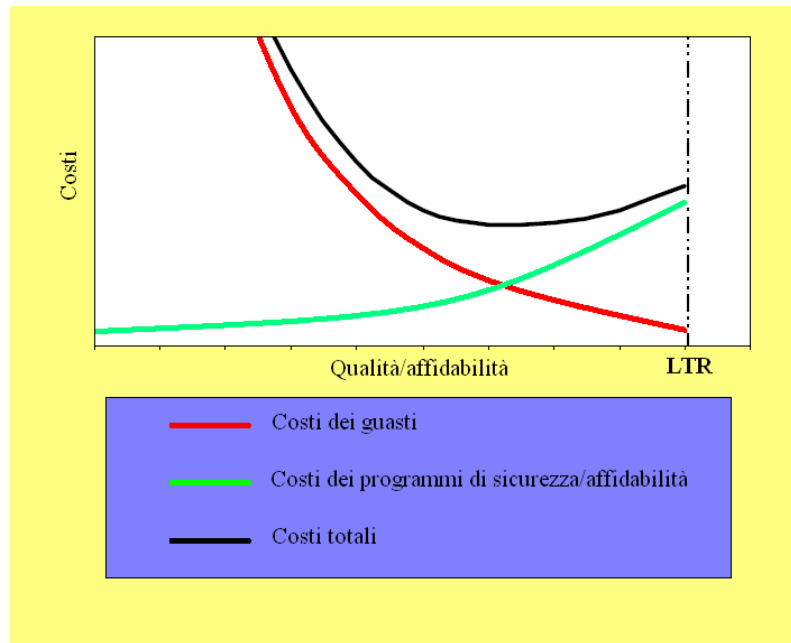


Figura 1.1 – Costo della sicurezza/affidabilità

Nella figura 1.1 è tracciata una retta verticale che rappresenta il Limite Tecnicamente Raggiungibile (LTR), ovvero quel livello di qualità/sicurezza oltre il quale non è opportuno spingersi per ragioni tecniche: vogliamo, infatti, sottolineare che la sicurezza totale è impossibile da raggiungere e che l'attuale livello tecnologico, già piuttosto avanzato, consente normalmente solo piccoli miglioramenti sui progetti, mentre non ha senso spingersi troppo oltre nell'adottare sistemi di sicurezza che potrebbero rivelarsi controproducenti in virtù della complessità progettuale e funzionale alla quale conducono.

L'analisi affidabilistica fornisce risultati utili in qualunque momento essa venga eseguita, anche se uno studio effettuato sin dalle fasi progettuali consente ovviamente di realizzare interventi molto più efficaci (rapporto costi/benefici più basso).

In fase di progettazione vi è, infatti, la possibilità di individuare i punti deboli del progetto ed i componenti critici del sistema, cioè quelli che influenzano maggiormente l'affidabilità del complesso, e ciò ci consente di scegliere componenti più affidabili o meglio ancora di configurare il sistema in modo da

rendere l'affidabilità del complesso meno dipendente dall'affidabilità del componente critico (ridondanza).

In fase di esercizio, invece, si può agire stabilendo un'opportuna strategia di manutenzione, supportata da un'adeguata analisi diagnostica che riduca al minimo i tempi di fuori servizio del sistema (costi di mancata produzione) ed i costi di manutenzione.

Possiamo quindi concludere che le analisi di affidabilità rappresentano gli studi quantitativi, sia pure in termini probabilistici, da eseguire non solo per realizzare corrette analisi del rischio dei sistemi e soddisfare quindi eventuali adempimenti richiesti dalle normative vigenti, ma anche per contenere i costi manutentivi ed ottenere prodotti di qualità che risultino competitivi in mercati sempre più esigenti.

1.3 FUNZIONI DI AFFIDABILITÀ E DISPONIBILITÀ

Si è già detto che il concetto di affidabilità è legato alla capacità di un sistema di compiere correttamente la funzione assegnata una volta fissati:

- ◆ un intervallo di tempo;
- ◆ le condizioni operative alle quali è sottoposto;
- ◆ le condizioni ambientali.

Per un singolo componente elementare l'affidabilità è quindi la probabilità che esso funzioni senza guastarsi in un intervallo di tempo assegnato, date le condizioni operative ed ambientali.

Questa definizione di affidabilità presuppone:

1. che sia fissato in modo univoco il criterio (C) per giudicare se l'elemento è funzionante o non funzionante. Per i sistemi bistabili (2 soli stati di funzionamento possibili) tale criterio è ovvio (esempio: un condensatore è in corto circuito o no). Per altri sistemi è possibile individuare anche stati di funzionamento parziali che rappresentano vari livelli di prestazione: in questi casi lo stato di guasto è definibile una volta che venga fissato un limite ammissibile al di sotto del quale si parla di guasto (esempio: intensità di una sorgente luminosa);
2. che le condizioni ambientali (A) d'impiego siano stabilite e mantenute costanti nel periodo di tempo in questione;
3. che sia definito l'intervallo di tempo t (tempo di missione) durante il quale si richiede che il componente funzioni.

Indicata con R (*Reliability*), l'affidabilità risulta in generale funzione di tre variabili:

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

Fissati C ed A si ha:

$$R = R(t)$$

Nel caso in cui i sistemi o i componenti siano riparabili, si definisce, oltre all'affidabilità, anche una funzione detta disponibilità, A(t) (*Availability*). Dalla definizione di affidabilità è evidente che, nel caso in cui sia prevista manutenzione, questa deve essere eseguita in intervalli di tempo non coincidenti con i tempi di missione, e quindi la manutenzione rende il sistema non disponibile anche per il tempo necessario alla sua riparazione. La disponibilità è quindi una funzione che tiene conto sia dell'affidabilità del sistema sia degli aspetti manutentivi; i problemi di affidabilità possono allora

essere trattati come casi particolari di quelli di disponibilità per i quali il passaggio allo stato di guasto non consente il ritorno allo stato di funzionamento.

Consideriamo un campione di componenti elementari costituito da un grande numero N_0 di elementi uguali, tutti funzionanti all'istante $t = 0$ in determinate condizioni operative ed ambientali. Misurando i parametri funzionali degli elementi, possiamo stabilire, ad ogni istante t , se essi sono ancora funzionanti o meno. Se indichiamo con:

- ◆ $N_v(t)$ il numero di componenti funzionanti all'istante t ;
- ◆ $N_g(t)$ il numero di componenti guasti all'istante t .

Si dovrà avere ovviamente (per ogni t):

$$N_g(t) + N_v(t) = N_0 \quad (1.1)$$

Ricordando che la probabilità che un certo evento si verifichi è data dal rapporto tra il numero di esiti favorevoli a tale evento ed il numero totale di eventi possibili, possiamo definire le due funzioni:

1. Inaffidabilità, come la probabilità per il singolo componente di essere guasto al tempo t :

$$F(t) = \frac{N_g(t)}{N_0}$$

2. Affidabilità, come la probabilità per il singolo componente di essere ancora funzionante al tempo t :

$$R(t) = \frac{N_v(t)}{N_0}$$

Dividendo i due membri della (1.1) per N_0 si ottiene:

$$F(t) + R(t) = 1$$

e quindi:

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

La relazione tra affidabilità e inaffidabilità è mostrata in figura 1.2.

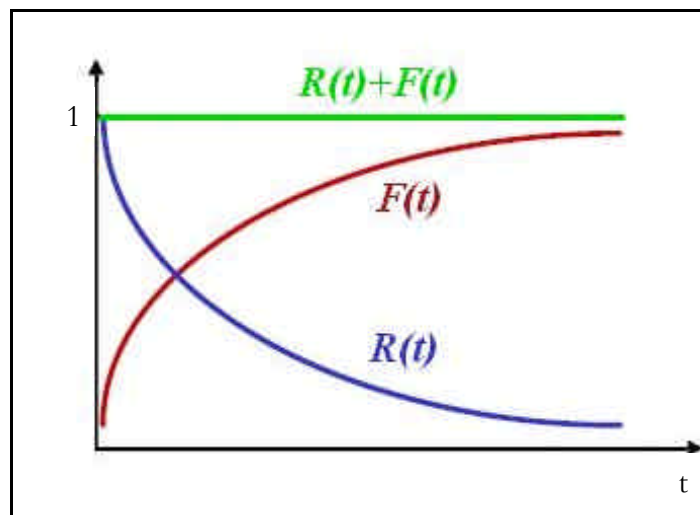


Figura 1.2 - Relazione tra $F(t)$ e $R(t)$

Osserviamo che il tempo t in ascissa non è il tempo solare e quindi non misura l'età reale del sistema/componente, ma è invece il “tempo di

missione”, ovvero l’intervallo di tempo (che ricade all’interno della vita utile del sistema/componente) durante il quale si richiede che il sistema/componente sia effettivamente funzionante. Detto ciò è chiaro che l’istante $t = 0$ non coincide con l’inizio dell’utilizzazione del sistema/componente, bensì con l’inizio della missione.

Osservando le variazioni della funzione $F(t)$ ad intervalli discreti di ampiezza Δt (vedi figura 1.3), si può definire anche la funzione $f(t)$ chiamata densità di probabilità di guasto:

$$f(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta N_g}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N_0}$$

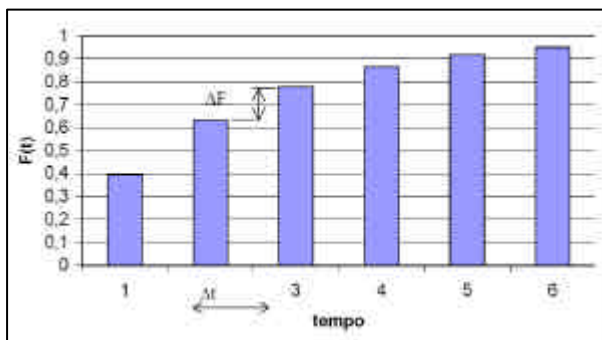


Figura 1.3 – Variazioni della funzione $F(t)$

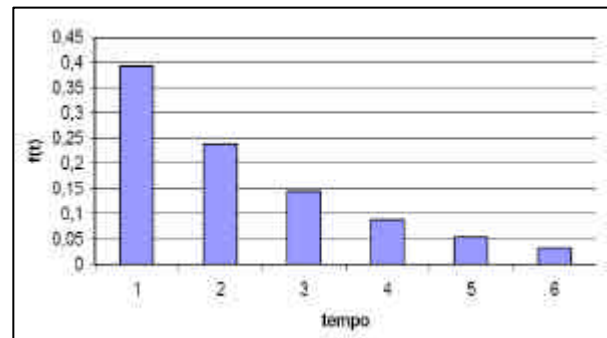


Figura 1.4 – Funzione densità di probabilità di guasto

Tale funzione $f(t)$ non è dimensionalmente una probabilità, ma moltiplicandola per un intervallo di tempo Δt , si ottiene la corrispondente variazione della funzione $F(t)$:

$$\Delta F(t) = f(t) \cdot \Delta t = \frac{\Delta N_g}{N_0}$$

quindi essa rappresenta una probabilità parziale di guasto relativa all’intervallo $[t, t+\Delta t]$.

Attraverso un'analisi dimensionale, ricordando che la funzione $F(t)$ è una probabilità e che quindi adimensionale, è facile ricavare che $f(t)$ ha le dimensioni dell'inverso di un tempo $[t^{-1}]$.

Con facili sostituzioni si ha anche:

$$\Delta R(t) = -\Delta F(t) = -f(t) \cdot \Delta t = -\frac{\Delta N_g}{N_0}$$

Un'ultima grandezza che sarà utile per determinare i parametri di affidabilità è la funzione di tasso di guasto istantaneo che è definita:

$$I(t) = f(t) \cdot \frac{N_0}{N_v} = \frac{\Delta N_g}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N_v}$$

La funzione $I(t)$ rappresenta la frazione di popolazione che si guasta in un intervallo Δt rapportata al numero dei componenti ancora funzionanti all'istante $t = t_0$.

Nel caso particolare in cui il tasso di guasto $I(t)$ si mantiene costante nel tempo (guasti casuali) lo indicheremo semplicemente con I .

1.4 PARAMETRI DI AFFIDABILITÀ E DISPONIBILITÀ

Le funzioni descritte servono per determinare dei parametri che sono utilizzati per valutare l'affidabilità e la disponibilità dei componenti. I parametri sono numerosi e variano anche secondo le specifiche situazioni. Nel presente lavoro ci si limita a considerare il principale parametro di affidabilità, ovvero il MTTF (*Mean Time To Failure*), e il principale parametro di disponibilità, ovvero

il MTTR (*Mean Time To Repair*) e infine si è considerato un parametro che dipende dai due precedenti, ossia il MTBF (*Mean Time Between Failure*).

Un tipico parametro di affidabilità è dunque il MTTF: esso rappresenta il tempo medio fra l'istante 0, in cui il componente è funzionante, e l'istante del suo guasto; esso si ottiene come media continua, pesata sulla probabilità, che ha il componente di guastarsi:

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

Se si considera il tasso di guasto costante? (guasti casuali):

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

Il parametro che invece considera la disponibilità dei vari componenti è il MTTR: esso esprime il tempo medio che intercorre tra l'insorgenza di un guasto ed il completamento della sua riparazione. Il concetto di affidabilità e di riparazione di un determinato componente sono strettamente legati a quello di manutenzione; possiamo, infatti, definire delle funzioni analoghe a quelle descritte precedentemente per l'affidabilità e la disponibilità in modo da comprendere a fondo l'analogia tra manutenzione e affidabilità. Tali funzioni sono descritte in tabella 1.1.

Funzioni di manutenibilità		Funzioni affidabilistiche	
$g(t)$	Densità di probabilità di riparazione	$f(t)$	Densità di probabilità di guasto
$M(t)$	Probabilità di riparazione	$F(t)$	Probabilità di guasto (Inaffidabilità)
$N(t)$	Probabilità di non riparazione	$R(t)$	Probabilità di funzionamento (Affidabilità)
$z(t)$	Tasso di riparazione	$\lambda(t)$	Tasso di guasto istantaneo

Tabella 1.1 – Funzioni di affidabilità e di manutenibilità

Possiamo quindi esprimere il MTTR come:

$$MTTR = \sum t_i \cdot g(t_i) \cdot \Delta t_i$$

Dove $g(t) \cdot \Delta t$ rappresenta la probabilità che la riparazione termini nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$.

L'ultimo parametro considerato è il MTBF (*Mean Time Between Failure*): esso altro non è che il tempo medio che intercorre tra due guasti ed è ovviamente applicabile solo a componenti riparabili. In figura 1.5 sono mostrati i tre parametri studiati con riferimento agli stati on e off di un componente.

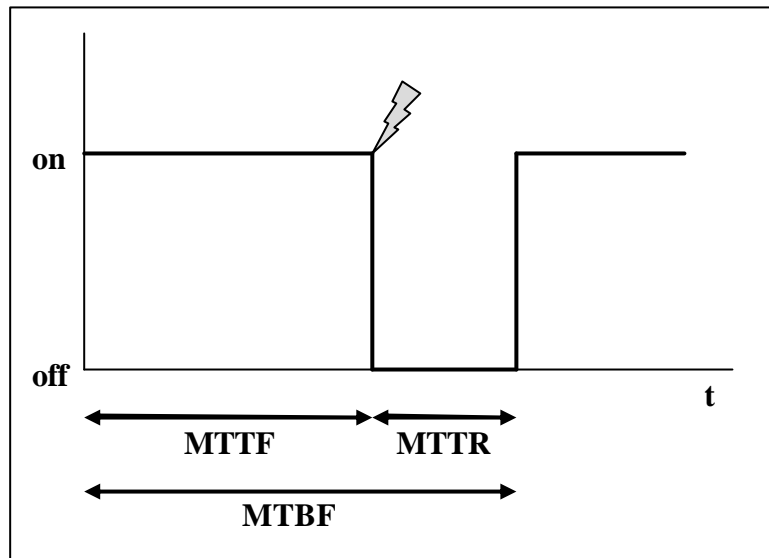


Figura 1.5 – Significato dei parametri MTTF, MTTR, MTBF

2 IL CONCETTO DI GUASTO

2.1 DEFINIZIONE

In generale si indica con il termine guasto la *“cessazione dell’attitudine di un dispositivo ad adempiere alla funzione richiesta”*, ovvero una variazione delle prestazioni di un dispositivo che lo renda inservibile per l’uso al quale esso è destinato.

2.2 CRITERI DI CLASSIFICAZIONE

In tabella 2.1 sono riassunti i criteri di classificazione dei guasti.

		CRITERIO DI GUASTO		
		ENTITÀ	IMPATTO	VITA DEL DISPOSITIVO
TIPO DI GUASTO	parziali	primari	infantili	
	totali	critici	casuali	
	intermittenti	secondari	da usura	

Tabella 2.1 – Criteri di classificazione dei guasti

CRITERIO PER ENTITÀ'

Un dispositivo risulta guasto anche quando non esegue correttamente la funzione per la quale è stato progettato. Secondo questo criterio possiamo suddividere i guasti in 3 categorie:

- ◆ guasti parziali: 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: causano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da impedirne del tutto il funzionamento;
- ◆ guasti intermittenti: dovuti ad una successione casuale di periodi di guasto e di periodi di funzionamento, senza che ci sia alcun intervento di manutenzione (esempio tipico il blocco di funzionamento di un computer che riprende a funzionare dopo che viene spento e riaccessi).

CRITERIO PER IMPATTO

Occorre precisare che la condizione di guasto si riferisce in generale al solo dispositivo preso in esame: se tale 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.

Ad esempio un guasto meccanico al motore di un'autovettura, rende inservibile un'automobile mentre se si guasta il tachimetro l'automobile continua a funzionare, anche se non riusciamo a sapere a che velocità stiamo procedendo. Anche in questo caso possiamo allora distinguere:

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

CRITERIO PER VITA DEL DISPOSITIVO

Un'altra classificazione che riguarda i guasti è quella che distingue tre tipologie di guasto in base alla loro distribuzione durante la vita di una famiglia di componenti uguali (e nelle stesse condizioni operative e ambientali):

- ◆ guasti infantili: avvengono nel primo periodo di vita dei componenti (periodo di rodaggio) e la probabilità che si verifichino decresce gradualmente, poiché la natura di questi guasti 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 e, principalmente, di montaggio; il periodo durante il quale si manifestano i guasti di questo tipo può variare da poche decine ad alcune centinaia di ore di funzionamento;

- ◆ guasti casuali: sono quelli che si verificano durante l'intera vita dei componenti e presentano una probabilità di verificarsi che è indipendente dal tempo; sono dovuti a fattori incontrollabili che neanche un buon progetto ed una buona esecuzione possono eliminare;
- ◆ guasti per usura: sono quelli che si verificano solo nell'ultimo periodo di vita dei componenti e sono dovuti a fenomeni di invecchiamento e deterioramento; per ciò la loro probabilità di accadimento cresce con il passare del tempo.

Se consideriamo una popolazione di componenti nuovi, tutti uguali, non riparabili e li facciamo funzionare nelle medesime condizioni operative ed ambientali a partire dallo stesso istante $t = 0$ è possibile tracciare il diagramma mostrato in figura 2.1, il quale riporta in funzione dell'età dei componenti l'andamento del tasso di guasto istantaneo degli stessi.

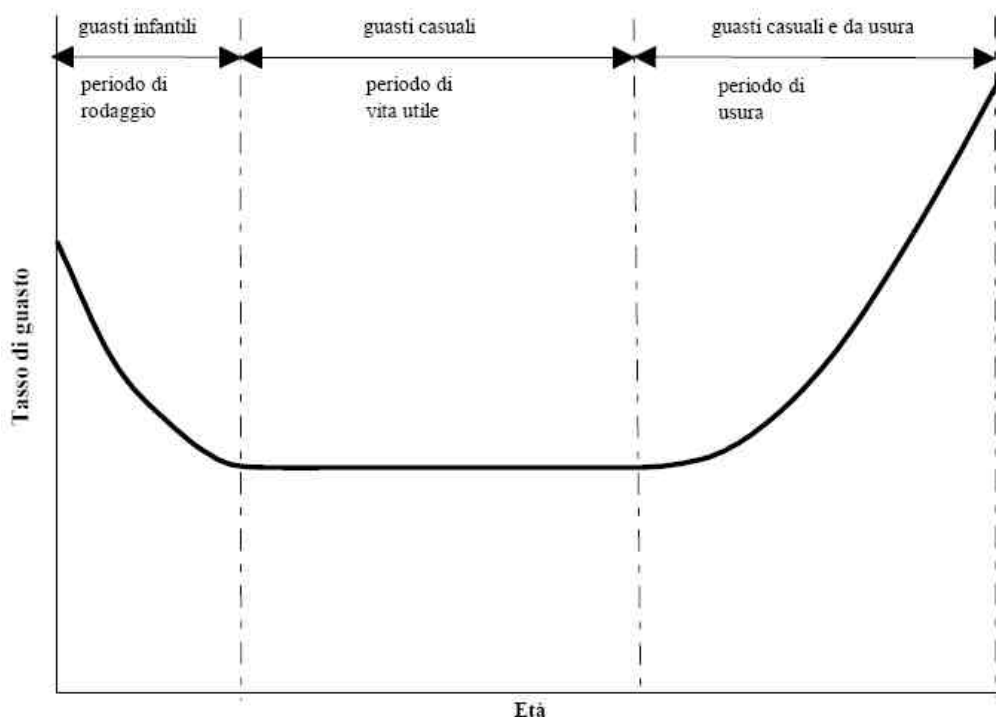


Figura 2.1 – Tasso di guasto dei componenti in funzione dell'età

Tale funzione rappresenta la frequenza con la quale si guastano i componenti e si misura in numero di guasti (rapportato al numero di componenti ancora in vita) per ora di funzionamento. Il diagramma di figura 2.1 assume una caratteristica forma a “vasca da bagno” che consente di visualizzare in modo chiaro la precedente classificazione in guasti infantili, casuali e per usura.

Il periodo dei guasti infantili corrisponde al tratto iniziale della curva (periodo di rodaggio) al quale corrisponde un tasso di guasto decrescente: la frequenza dei guasti, che è inizialmente elevata perché si guastano tutti quei componenti che risultano più “deboli” a causa di errori di costruzione o di montaggio, tende a decrescere rapidamente e si stabilizza su un valore minimo. Questo valore minimo del tasso di guasto si mantiene pressoché costante per un intervallo di tempo al quale si dà il nome di “vita utile”, caratterizzato da guasti solo di tipo casuale.

Il periodo di vita utile dei componenti si può considerare concluso quando cominciano ad intervenire fenomeni di usura, a causa dei quali la frequenza dei guasti tenderà ad aumentare mettendo rapidamente fuori uso tutti i componenti sopravvissuti ai precedenti periodi di esercizio. La figura 2.1 evidenzia che durante il periodo di rodaggio non sono presenti solo guasti infantili ma anche guasti di tipo casuale i quali si sovrappongono ai precedenti; allo stesso modo nel periodo finale dei guasti per usura a questi si sovrappongono ancora i guasti di tipo casuale.