

# AFFIDABILITA' E DISPONIBILITA' DEGLI IMPIANTI MECCANICI

## Introduzione

Per poter affrontare questo argomento occorre per prima cosa definire il guasto cioè l'evento di cessazione dell'attività 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. I guasti possono essere classificati in base:

1. Alla causa scatenante
2. Alla modalità di verificarsi

## Analisi affidabilistica

Per comprendere le problematiche di guasto che, su base statistica, affliggono un impianto rendendolo indisponibile alle attività produttive occorre effettuare un'analisi affidabilistica. Dall'analisi affidabilistica è possibile:

- Stimare il costo della non disponibilità e, con questo, il costo del ciclo di vita
- Valutare economicamente la validità di interventi volti a ridurre l'indisponibilità
- Ottimizzare la disponibilità operativa e stimare la durata di vita di un componente e/o di un sistema

## Costo di inefficienza

L'inefficienza tecnica causata dai guasti si riflette sul costo di inefficienza di esercizio o di mancanza. Il costo di inefficienza può considerarsi come il risultato di due elementi concomitanti:

1. Costo unitario della produzione persa
2. Quantità di prodotto persa

Il costo di inefficienza di esercizio o di mancanza è la conseguenza dell'inefficienza tecnica causata da guasti dovuti a cause esterne di natura organizzativa. Per la valutazione economica dell'inefficienza assume quindi importanza individuare una grandezza che misura la continuità con cui una macchina o un suo componente possono garantire il soddisfacimento della funzione cui sono adibiti.

## Affidabilità R

Si definisce affidabilità  $R(t)$  la quantità di tempo dopo la quale si verifica il primo guasto. Definiamo invece disponibilità la quantità di ore in cui l'impianto è disponibile rispetto alle ore totali, descrive dunque per quanto tempo persiste un guasto e quindi fornisce un'idea della mancata produzione. Analizzeremo proprio la mancata produzione come presenza e diretta conseguenza dei guasti. Prima di definire l'affidabilità in termini matematici occorre introdurre due concetti importanti:

- la funzione  $f(t)$  nota come funzione densità di guasto cioè la probabilità che il componente o il sistema si guasti ad un istante prefissato a partire dall'istante di inizio servizio:

$$f(t_2 - t_1) = \frac{Ng(t_2 - t_1)}{Nt}$$

dove  $Ng$  è il numero di guasti.

- la probabilità cumulata di guasto  $F$  cioè la probabilità che il componente o il sistema si guasti entro un istante prefissato, cioè non sopravviva in funzionamento corretto fino a quell'istante:

$$F(t_2) = F(t_1) + f(t_2 - t_1)$$

Per affidabilità  $R(t)$  di un componente o di un impianto si intende la probabilità che il componente o sistema funzioni correttamente  $C$  senza guastarsi per un periodo di tempo assegnato  $t$  e in predeterminate condizioni ambientali  $A$ :

$$R = \text{funzione}(C, A, t)$$

L'affidabilità  $R(t)$  è il completamento a 1 della probabilità cumulata di guasto:

$$R = 1 - F$$

Se è fissato in modo univoco il criterio per valutare il corretto funzionamento e sono state stabilite e mantenute invariate le condizioni ambientali si ha che l'affidabilità è funzione solo del periodo di tempo assegnato:

$$R = \text{funzione}(t)$$

### Tasso di guasto

Si definisce tasso di guasto  $Z$  la probabilità che il componente o sistema che abbia funzionato fino ad un certo istante prefissato, si guasti nel periodo di tempo immediatamente successivo. Il tasso di guasto è una misura del rischio immediato di guasto di un componente o sistema che ha già "vissuto" per un determinato tempo. Il tasso di guasto è pari al rapporto tra il numero di guasti  $Ng$  in un intervallo di tempo ed il numero degli individui ancora funzionanti all'inizio del periodo considerato:

$$Z(t_2 - t_1) = \frac{Ng(t_2 - t_1)}{NtR(t_1)} = \frac{f(t_2 - t_1)}{R(t_1)}$$

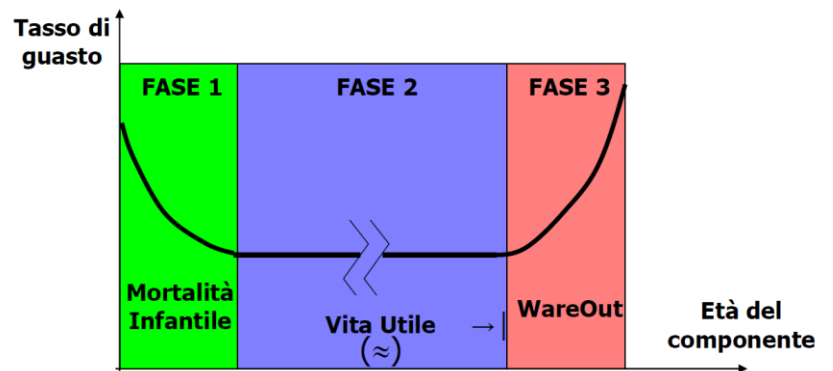
In corrispondenza del ginocchio dell'usura è da collocarsi la vita utile del componente:

$$R = e^{-\int_0^t Z(t)dt} = e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = Z(t)R(t)$$

Dove  $\lambda$  è il numero di guasti all'ora. Il tasso di guasto permette di descrivere la vita dei componenti; nello specifico se si rappresenta in un grafico l'andamento del tasso di guasti in funzione del tempo si possono identificare tre zone o tre fasi:

1. Mortalità infantile = guasti precoci
2. Vita utile = guasti accidentali o casuali
3. Vecchiaia = guasti di usura



### Disponibilità

Definiamo la disponibilità  $A$  come il rapporto tra il tempo per cui il componente o il sistema può funzionare e il tempo totale per cui è richiesto il servizio:

$$A = \frac{\text{Up time}}{\text{Up time} + \text{Down time}}$$

Per disponibilità si intende dunque la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale per cui è richiesto il funzionamento stesso. Il valore di disponibilità ha valore solo se calcolato su un lungo periodo di tempo. Esso è dunque un valore medio conseguito dopo una ripetizione sufficientemente estesa dal ciclo di funzionamento/riparazione del componente in esame. Non rappresenta una probabilità ma indica un rapporto tra tempi.

## Parametri di affidabilità e disponibilità

Chiaramente dopo il guasto di un'entità ne è richiesta la riparazione. 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. Il miglioramento della manutenibilità comporta dunque un aumento della disponibilità. Gli indicatori di affidabilità e manutenibilità sono:

- MTTF (mean time to failure) = tempo medio di funzionamento prima del guasto  $MTTF = 1/\lambda$
- MTTR (mean time to repair) = tempo medio tecnico di intervento di riparazione  $MTTR = 1/\mu$
- MTTs (mean time to substitution) = tempo medio tecnico di intervento di sostituzione  $MTTs = 1/\sigma$
- MTBF (mean time between failure) = tempo medio tra due guasti successivi

Dove  $\lambda$  è il tasso di guasto (cioè esattamente  $Z$ ),  $\mu$  è il tasso di manutenzione mentre  $\sigma$  è il tasso di sostituzione. Noti questi indicatori è possibile anche esprimere la disponibilità come:

$$A = \frac{Up\ time}{Up\ time + Down\ time} \approx \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Quest'espressione non è particolarmente esatta in quanto può produrre degli errori che tendono però a essere ridotti se si allungano i tempi.

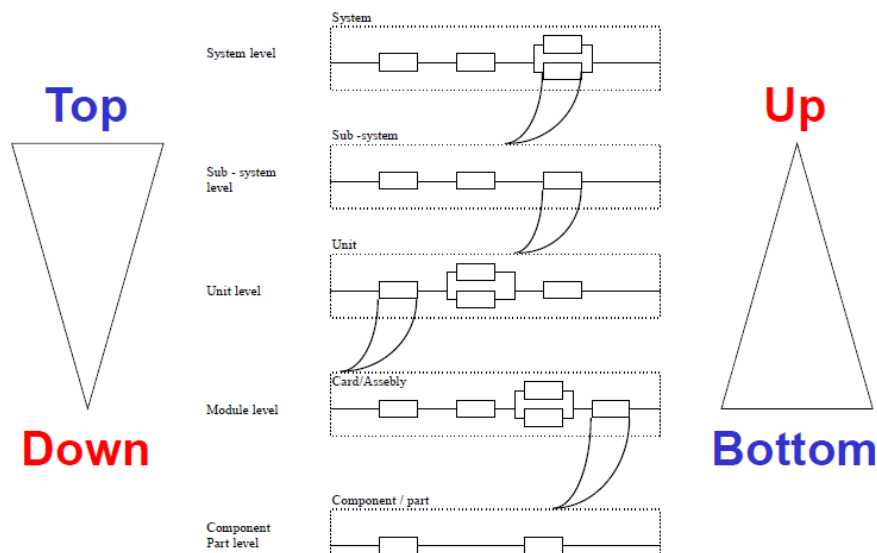
## Affidabilità o disponibilità

Dipende dal componente:

- Componente non riparabile o con possibili danno ingenti in caso di guasto → affidabilità
- Componenti riparabili con ripristino "as good as new" se il costo è del guasto in sé → affidabilità
- Componenti riparabili con ripristino "as good as new" se il costo è prevalentemente il costo di inefficienza → disponibilità

## Affidabilità dei sistemi

Si definisce sistema un insieme di elementi interagenti realizzati per raggiungere determinati obiettivi. Lo scopo di un sistema è dunque fornire una determinata prestazione. Dal punto di vista dell'affidabilità interessa studiare la probabilità di quegli eventi, originati dai guasti ai componenti del sistema, che portano, nel tempo, al mancato conseguimento della prestabilita funzione del sistema. Generalmente per rappresentare in modo grafico i sistemi si utilizzano gli schemi a blocchi che possono avere una configurazione del tipo top-down oppure up-bottom (se la rappresentazione è fatta dal sistema ai componenti o viceversa). È però importante sottolineare che in generale questi schemi non trovano corrispondenza nello schema funzionale dell'impianto. Essi rappresentano graficamente solo la dipendenza logica dell'evento "guasto"



del sistema” dall’evento “guasto di un componente” cosa che non è in generale corrispondente all’articolazione fisica e funzionale del sistema considerato.

Al fine di classificare sistemi complessi dal punto di vista affidabilistico occorre verificare se:

- I blocchi (componenti fisici) sono riconducibili o non riconducibili, mediante azioni di ripristino, nello stato di funzionamento una volta che sono passati allo stato di guasto
- Il sistema tollera (è ridondante) o non tollera (non è ridondante) lo stato di guasto di un componente

In generale si identificano queste quattro possibilità:

1. Sistemi non ridondanti = noti anche come sistemi in serie perché non possono funzionare correttamente se un componente si guasta. Nello specifico il guasto comporta un’interruzione forzata della produzione
2. Sistemi ridondanti = noti anche come sistemi in parallelo perché continuano a funzionare nonostante si guasti un componente
3. Sistemi non riparabili = sono sistemi che non possono più essere riparati quando si guasta un loro componente perché il componente stesso non è riparabile o sostituibile. Il primo passaggio dallo stato di funzionamento a quello di guasto del sistema è irreversibile. In questo caso se ne esprime l’affidabilità ovvero la probabilità che il componente non si guasti entro il tempo di missione
4. Sistemi riparabili (manutenibilità) = sono sistemi riparabili quando si guasta un loro componente. In questo caso si ha un’alternanza di intervalli di tempo con il sistema nello stato di funzionamento e di guasto. In questo caso si esprime la disponibilità, ovvero la percentuale del tempo di missione trascorsa in condizioni di buon funzionamento.

La classificazione implicita che abbiamo fatto nel momento in cui abbiamo parlato di sistemi ridondanti e non ridondanti, citando di sistemi in serie e in parallelo, è una classificazione in funzione di come i componenti sono interconnessi tra loro, nello specifico:

- Sistemi in serie = tutti i componenti devono funzionare perché il sistema funzioni. In questi sistemi l’affidabilità si calcola come produttoria delle affidabilità dei singoli componenti:

$$R_{serie}(t) = \prod R_i(t)$$

- Sistemi in parallelo = è sufficiente che un componente funzioni perché il sistema funzioni. In questi sistemi l’affidabilità si calcola invece come:

$$R_{par}(t) = 1 - \prod [1 - R_i(t)]$$

