



Corso di Gestione della Qualità

ANALISI R.A.M.S.

Metodologie e Tecniche applicative

dott.ing. GianPaolo Di Bona

Pagina 1



Introduzione: definizioni

R.A.M.S:

- **R:** Reliability (*Affidabilità*)
- **A:** Availability (*Disponibilità*)
- **M:** Maintainability (*Manutenibilità*)
- **S:** Safety (*Sicurezza*)

Pagina 2



Introduzione: obiettivi metodologici

Con lo sviluppo delle attività industriali e con il crescere della complessità degli impianti, i problemi della affidabilità e della sicurezza di funzionamento dei sistemi e dei loro componenti sono diventati oggetto di studi sistematici.

Le implicazioni tecno-economiche, connesse allo sviluppo dell'aeronautica civile e militare, dei veicoli spaziali, degli elaboratori elettronici, degli impianti nucleari, hanno reso evidente come gli **strumenti ridondanti e i fattori di sicurezza** non erano più in grado di assicurare tali parametri affidabilistici per evidenti problemi di ingombro, peso e costi.



Sviluppo di **Metodologie RAMS**, che permettono di valutare a priori i parametri affidabilistici di sistemi, individuando in fase progettuale gli eventuali punti deboli e consentendo di valutare le opportune modifiche.



Introduzione: strumenti metodologici

L'introduzione di uno strumento che potesse garantire l'affidabilità e la disponibilità dei sistemi, accanto ad esigenze di sicurezza.

Lo studio di tali parametri, accompagnati dalla manutenibilità del sistema, portano ad aumentare la probabilità di successo della missione.

Studio delle leggi che correlano le prestazione dei componenti e dei sistemi alle sollecitazioni loro imposte.

Studio delle leggi che correlano le prestazione dei materiali ai processi di produzione.



Metodologie probabilistiche



Introduzione: cenni storici

- I primi interessi verso tali metodologie si hanno durante il II conflitto mondiale;
- Durante gli anni della Guerra Fredda tali metodologie subiscono un forte impulso legato all'apporto di nuove tecnologie nel campo militare, aeronautico, spaziale;
- Lo sviluppo di tali studi di traduce nell'introduzione di normative Military Standard su tali argomenti;
- Il patrimonio culturale e metodologico, si trasferisce, dal campo militare al campo civile: aeronautica civile, impiantistica di produzione;
- Negli anni '70 tali metodologie, sulla spinta dei successi ottenuti negli USA, diventano patrimonio della ricerca applicata anche in Europa.

Pagina 5



Introduzione: le metodologie RAMS nell'impiantistica

“La qualità e l'insieme delle caratteristiche di un bene che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze (del cliente) espresse o implicite” (UNI ISO 8402)

La qualità nei sistemi industriali viene espressa da caratteristiche verificabili con tecniche deterministiche e tecniche probabilistiche

CARATTERISTICHE DETERMINISTICHE: rappresentate da prestazioni di base o di specifica, la misurazione avviene di norma durante il collaudo di accettazione tramite la verifica del loro grado di conformità.

CARATTERISTICHE PROBABILISTICHE: rappresentate da prestazione attese nel tempo del componente/sistema, la misurazione avviene tramite l'utilizzo di metodologie probabilistiche di parametri:

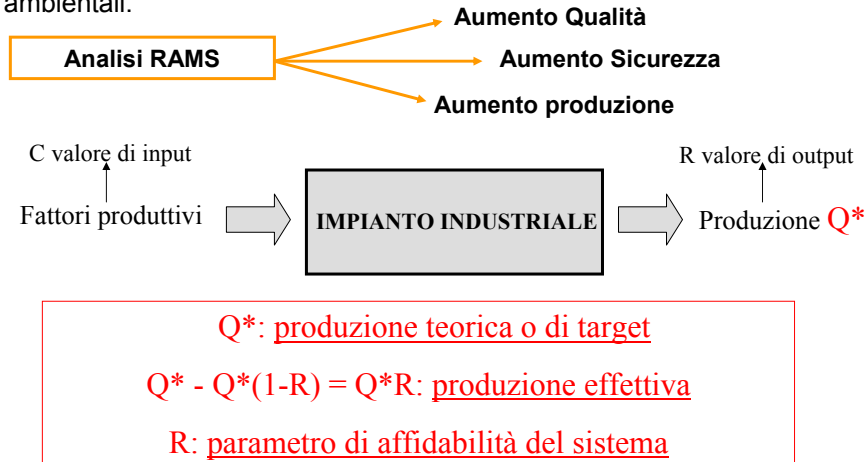
- **affidabilità;**
- **disponibilità;**
- **manutenibilità**
- **sicurezza**

Pagina 6



Introduzione: le metodologie RAMS nell'impiantistica

Tali metodologie vengono utilizzate per garantire la tenuta dei sistemi/prodotti nell'arco del tempo ed a prevenire i rischi associati ad essi, nei quali possono essere coinvolti sia fattori umani che fattori ambientali.



Analisi di affidabilità: Definizioni

Si definisce **affidabilità** di un componente:

“la probabilità che esso funzioni senza guastarsi per un certo periodo t con riferimento a ben precisate condizioni ambientali”.

Elementi necessari alla definizione di affidabilità:

- Un criterio univoco per giudicare se un elemento è funzionante o meno
- Esatta definizione delle condizioni ambientali e d'impiego
- Determinazione dell'intervallo di tempo t



Fissate le prime due condizioni, l'affidabilità di un elemento diviene funzione solo del tempo e la forma di tale funzione dipende dalla legge probabilistica con cui le condizioni di cattivo funzionamento o di cedimento possono verificarsi nel tempo



Analisi di affidabilità: Definizioni

Un definizione più ampia di affidabilità è:

“l'affidabilità è la scienza di prevedere, analizzare, prevenire e mitigare i guasti nel tempo”

Si tratta di una scienza che ha principi e basi teoriche ben definite e altrettanto chiare sotto-discipline, tutte legate in qualche modo allo studio e alla conoscenza dei guasti. L'affidabilità è strettamente legata alla matematica e in particolar modo alla statistica, alla fisica, alla chimica, alla meccanica e all'elettronica. E, visto che l'elemento umano è quasi sempre parte dei sistemi, spesso si ha a che fare con la psicologia e la psichiatria.

L'affidabilità tenta di dare risposta a numerose domande oltre a “quanto durerà il sistema”:

- **Qual è la disponibilità del sistema?** (più un sistema dura tra un guasto e l'altro e minore è il tempo di riparazione e maggiore sarà la disponibilità)
- **Come possono essere prevenuti i guasti?** (si può cercare di impedire guasti potenziali, intervenendo sulla progettazione, sui materiali, nella manutenzione)
- **Qual è il Life Cycle Cost di un sistema?** (LCC include il costo iniziale, i costi di riparazione, i costi di gestione del magazzino ricambi, del trasporto, i costi-opportunità, i costi di fine servizio)
- **Quali sono i rischi maggiori?** (I maggiori rischi sono quelli che hanno le peggiori conseguenze e che avvengono più frequentemente)

Pagina 9



Analisi di affidabilità: gli aspetti coinvolti

L'affidabilità coinvolge quasi tutti gli aspetti legati al possesso di un bene:

- **Costi di gestione:** l'affidabilità coinvolge sia il costo di acquisto che quello di manutenzione di un bene: l'impiego di materiali più affidabili spesso comporta un incremento del prezzo. Altre volte accade che l'adozione di tecnologie più affidabili implica un parallelo decremento del costo;
- **Soddisfazione del cliente:** se un componente non corrisponde alle aspettative di affidabilità del cliente, può succedere spesso che ci sia una disaffezione rispetto agli altri prodotti della stessa azienda, con chiari danni di immagine;
- **Gestione delle risorse:** meno un componente si guasta e minore è la quantità di risorse che deve essere dedicata alla gestione delle situazioni di inefficienza causate dai guasti;
- **Capacità di vendere i prodotti o i servizi:** La maggiore affidabilità dei componenti permette di aumentare la soddisfazione del cliente e di guadagnare nuove fette di mercato;
- **Sicurezza:** L'affidabilità è strettamente correlata ad alcuni aspetti della sicurezza;
- **Qualità:** Essendo la capacità di essere attinenti alle specifiche di un prodotto, una scarsa qualità può significare una bassa affidabilità;
- **Manutenibilità.**

Pagina 10



Analisi di affidabilità: metodologie

Esistono tre approcci per valutare l'affidabilità di una macchina:

1. Utilizzare le informazioni che provengono per un lungo periodo di tempo da molte macchine uguali nelle stesse condizioni di funzionamento;
2. Utilizzare le informazioni che provengono dal funzionamento per un breve periodo di tempo di poche macchine. I dati possono fornire una stima del comportamento avente un certo grado di confidenza, ovvero una certa probabilità di risultare vera;
3. Utilizzare la conoscenza, se esiste, dell'affidabilità dei componenti per fare previsioni sull'affidabilità dell'intera macchina;

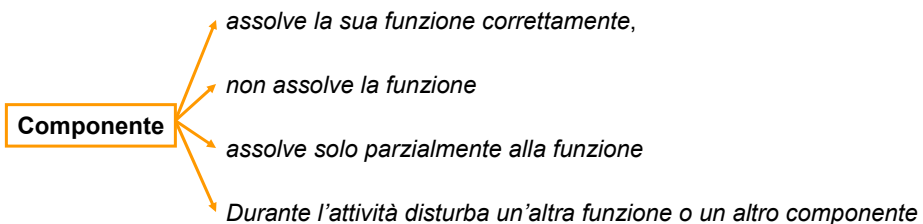


Analisi di affidabilità: analisi del componente

Ciascun **componente** di un sistema ha una precisa funzione da assolvere.

La **specificità di un componente** contiene numerosi dati tra cui la descrizione della funzione da assolvere, le interazioni con altri componenti, le condizioni ambientali nel quale si trova ad operare.

Il comportamento di un componente influenza il sistema a vari livelli:





Analisi di affidabilità: analisi del componente

Il periodo di regolare funzionamento di un dispositivo si conclude quando un qualsiasi fenomeno **fisico-chimico (guasto)** prodottosi in una o più delle sue parti determina una variazione delle prestazioni nominali tali da ritenere inaccettabile il comportamento del dispositivo stesso. Il dispositivo passa dallo stato di funzionamento a quello di **avaria**.

Cause di guasto	Descrizione
Sollecitazioni, urto, fatica	Funzione della distribuzione temporale e spaziale delle condizioni di carico e della risposta del materiale. In questo caso assumono un ruolo importante le caratteristiche strutturali del componente, da valutarsi nella forma più ampia possibile, inglobando anche possibili errori progettuali, realizzativi, difetti del materiale, ecc.
Temperatura	E' una variabile operativa che influisce prevalentemente in funzione delle caratteristiche specifiche del materiale (inerzia termica), nonché della distribuzione spaziale e temporale delle sorgenti di calore.
Usura	Si tratta di uno stato di degradazione fisica del componente ; si manifesta in seguito a fenomeni di invecchiamento che si accompagnano alla normale attività (attrito fra materiali, esposizione ad agenti dannosi, ecc.)
Corrosione	E' un fenomeno che dipende dalle caratteristiche dell'ambiente in cui il componente si trova ad operare. Queste condizioni possono portare il materiale a processi di degradazione fisica e chimica capaci di rendere il componente non più idoneo.

Pagina 13



Analisi di affidabilità: analisi del componente

Guasti infantili o prematuri: si manifestano nella prima fase di esercizio del sistema. Le cause sono spesso riconducibili ad una carenza strutturale, progettuale oppure a difetti di installazione. **In termini di affidabilità un impianto sottoposto alla manifestazione di guasti infantili migliora il proprio stato con l'andare del tempo.**

Guasti accidentali o casuali: si hanno in condizioni di esercizio non nominali che mettono a dura prova i componenti, producendo delle inevitabili alterazioni con conseguente perdita delle capacità operative. Questo tipo di guasto si manifesta durante la vita utile dell'impianto e corrisponde a situazioni imprevedibili. La probabilità di manifestarsi di un guasto è indipendente dal periodo di esercizio accumulato.

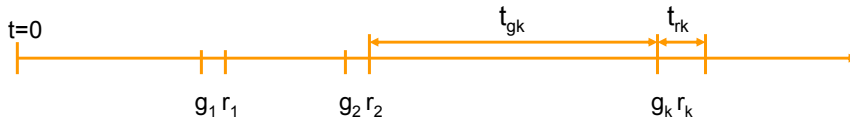
Guasti per usura: alterazioni del componente per invecchiamento strutturale e materiale. L'inizio del periodo di usura è individuato da una crescita della frequenza dei guasti fino al raggiungimento del valore massimo, per poi decrescere per effetto della scomparsa della popolazione. I guasti per usura si presentano intorno all'età media di funzionamento; l'unico modo di evitare questa tipologia di guasto è quello di operare un ricambio preventivo della popolazione.

Pagina 14



Analisi di affidabilità: analisi del componente

Processo guasto - manutenzione - ripristino



$$A = (T - \sum t_{rk}) / T$$

$$T = \sum t_{gk} + \sum t_{rk}$$

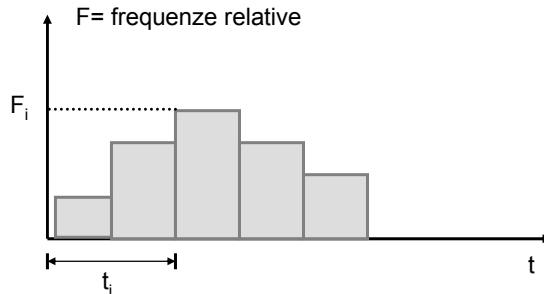
$$A = \sum t_{gk} / (\sum t_{gk} + \sum t_{rk})$$

$$A = \sum F_i t_{gk} / (\sum F_i t_{gk} + \sum F_i t_{rk})$$

$$t_g^* = \sum F_i t_{gk}$$

$$t_r^* = \sum F_i t_{rk}$$

$$A = t_g^* / (t_g^* + t_r^*)$$

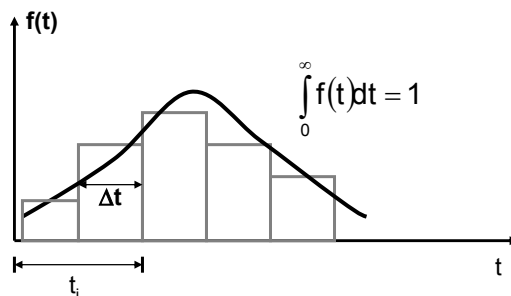
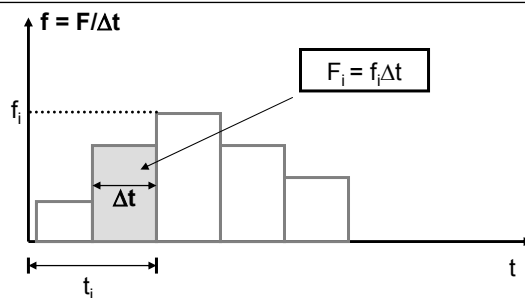


Analisi di affidabilità: analisi del componente

Dopo la riparazione si suppone che l'apparecchiatura ritorni nelle condizioni di partenza.

Il processo può essere descritto da un istogramma.

L'istogramma può essere trasformato in una curva continua detta **densità di frequenza** (o di **probabilità**) del guasto o **densità di guasto** $f(t)$.

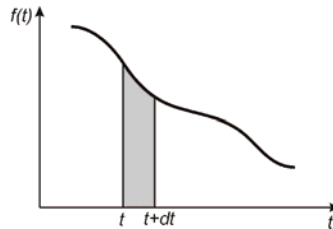




Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Consideriamo come variabile il tempo di guasto di un elemento (intercorrente tra l'istante iniziale e l'istante di guasto).

Densità di probabilità di guasto: la funzione $f(t)$ tale che la probabilità infinitesima che l'elemento si rompa al tempo t o in un suo intorno infinitesimo dt sia proprio $f(t)dt$.



L'area sottesa alla $f(t)$ è uguale all'unità se il limite temporale superiore è posto all'infinito, dato che un elemento tende prima o poi a guastarsi

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

La **probabilità che** l'elemento funzionante all'istante iniziale **si guasti** nel tempo t (probabilità di guasto) è data da:

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

L'**affidabilità**, cioè la probabilità di sopravvivenza (=funzionamento corretto) al tempo t sarà:

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

Il tempo medio al guasto è il **MTTF Mean Time To Failures**, ovvero il valore atteso del tempo di guasto

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



$$E(z) = \int_0^{\infty} z \cdot p(z)dz$$

Valore atteso di una funzione z

La conoscenza di $f(t)$ permette di valutare l'affidabilità del componente



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Rateo (o tasso) di guasto: la funzione $\lambda(t)$ tale che la probabilità infinitesima che l'elemento si rompa al tempo \bar{t} o in un suo intorno infinitesimo dt sia $\lambda(t)dt$, nell'ipotesi che in t sia ancora funzionante.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < \bar{t} < t + \Delta t \mid \bar{t} > t)}{\Delta t}$$

Ha le dimensioni dell'inverso di un tempo e può essere interpretato come il "numero di guasti nell'unità di tempo", ovvero come una misura della velocità di verificarsi del guasto

$f(t)$

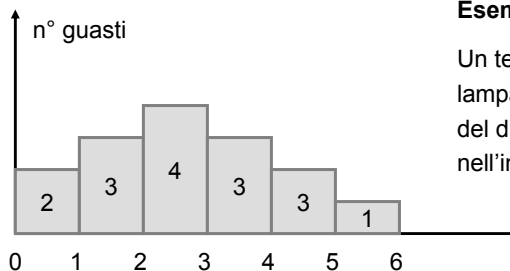
$f(t)dt$: probabilità corrispondente alla frazione della popolazione che si rompe nell'intervallo $(t, t+dt)$, con riferimento ad una popolazione sana al tempo $t=0$

$\lambda(t)$

$\lambda(t)dt$: probabilità corrispondente alla frazione della popolazione che si rompe nell'intervallo $(t, t+dt)$, con riferimento ad una popolazione sana al tempo t quindi meno numerosa (al limite uguale) alla popolazione originaria al tempo $t=0$



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente



Esempio di calcolo:

Un test di affidabilità su 16 lampadine uguali ha dato i risultati del diagramma. Valutare $f(t)$ e $\lambda(t)$ nell'intervallo di tempo da $2 < t < 3$

$$f(2-3) = \frac{4}{16} = 0.25$$

Componenti costituenti la popolazione iniziale

$$\lambda(2-3) = \frac{4}{16-5} = 0.36$$

Componenti costituenti la popolazione sana al tempo $t=2$

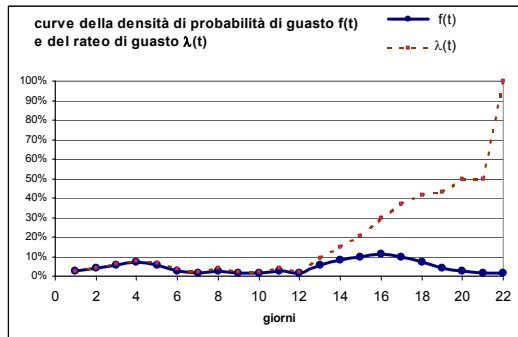
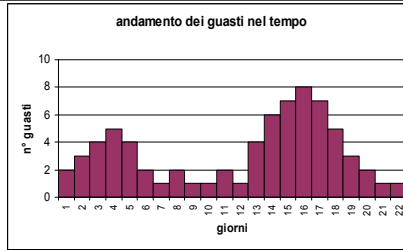


Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Esempio di calcolo:

Un test di affidabilità su 76 lampadine uguali ha dato i risultati del diagramma. Disegnare $f(t)$ e $\lambda(t)$

giorni	guasti	non guasti	$f(t)$	$\lambda(t)$
1	2	72	0,0278	0,0278
2	3	70	0,0417	0,0429
3	4	67	0,0556	0,0597
4	5	63	0,0694	0,0794
5	4	58	0,0556	0,0690
6	2	54	0,0278	0,0370
7	1	52	0,0139	0,0192
8	2	51	0,0278	0,0392
9	1	49	0,0139	0,0204
10	1	48	0,0139	0,0208
11	2	47	0,0278	0,0426
12	1	45	0,0139	0,0222
13	4	44	0,0556	0,0909
14	6	40	0,0833	0,1500
15	7	34	0,0972	0,2059
16	8	27	0,1111	0,2963
17	7	19	0,0972	0,3684
18	5	12	0,0694	0,4167
19	3	7	0,0417	0,4286
20	2	4	0,0278	0,5000
21	1	2	0,0139	0,5000
22	1	1	0,0139	1,0000



Pagina 21



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Relazione tra $f(t)$ e $\lambda(t)$, stima parametro $R(t)$

$N_o(0)$: numero di componenti tutti funzionanti al tempo $t=0$

$N_a(t)$: numero di componenti ancora funzionanti al tempo t

$N_g(t)$: numero di componenti guasti al tempo t

$$R(t) = \frac{N_a(t)}{N_o(0)} = \frac{N_o(0) - N_g(t)}{N_o(0)} \quad \text{Derivando tale espressione rispetto al tempo } t :$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = - \frac{1}{N_o} \frac{dN_g}{dt}$$



$$\frac{dN_g}{dt} = -N_o \frac{dR(t)}{dt}$$

Tale espressione rappresenta il numero di componenti che si guastano nell'intervallo di tempo $(t;t+dt)$. Dividendo per il N_a otteniamo:

$$\frac{1}{N_a} \frac{dN_g}{dt} = - \frac{N_o}{N_a} \frac{dR(t)}{dt}$$

Pagina 22



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

$$\frac{1}{Na} \frac{dNg}{dt} = \lambda(t)$$

Per la definizione di rateo di guasto il termine a sinistra è proprio pari al valore di $\lambda(t)$,

$$\lambda(t) = -\frac{No}{Na} \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

Integrando per parti e osservando che per $t=0 \rightarrow R(0)=1$

$$\int_0^t \lambda(t) dt = \int_0^t -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$$\ln[R(t)] - \ln[R(0)] = -\int_0^t \lambda(\tau) d\tau \rightarrow \ln[R(t)] - \ln[1] = -\int_0^t \lambda(\tau) d\tau \rightarrow \ln R(t) = -\int_0^t \lambda(\tau) d\tau$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$



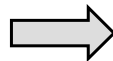
Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Inoltre riconsiderando tale espressione del rateo di guasto possiamo valutare la relazione esistente tra $f(t)$ e $\lambda(t)$.

$$\lambda(t) = -\frac{No}{Na} \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

Ricordando che: $R(t) = 1 - F(t)$ otteniamo

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{d[1 - F(t)]}{dt}$$



$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} [-f(t)]$$

$$\lambda(t) \cdot R(t) = f(t)$$



Elementi di teoria dell'affidabilità di un componente

Si ottengono così le relazioni generali

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$



La Disponibilità: differenze con il parametro di affidabilità

È importante distinguere a questo punto tra due tipi di sistemi:

- 1. Sistemi non riparabili:** costituiti da oggetti o componenti non ripristinabili; il passaggio dallo stato di funzionamento a quello di guasto è irreversibile. In questo caso si parla di **affidabilità** in senso stretto;
- 2. Sistemi riparabili:** costituiti da oggetti o componenti riparabili; in questo caso si ha l'alternanza casuale di intervalli di tempo con il sistema dallo stato di funzionamento a quello di guasto. In questo caso si parla di **disponibilità**

Si definisce **disponibilità** di un componente:

“la probabilità che esso funzioni senza guastarsi in un determinato e stabilito istante t con riferimento a ben precisate condizioni ambientali”.

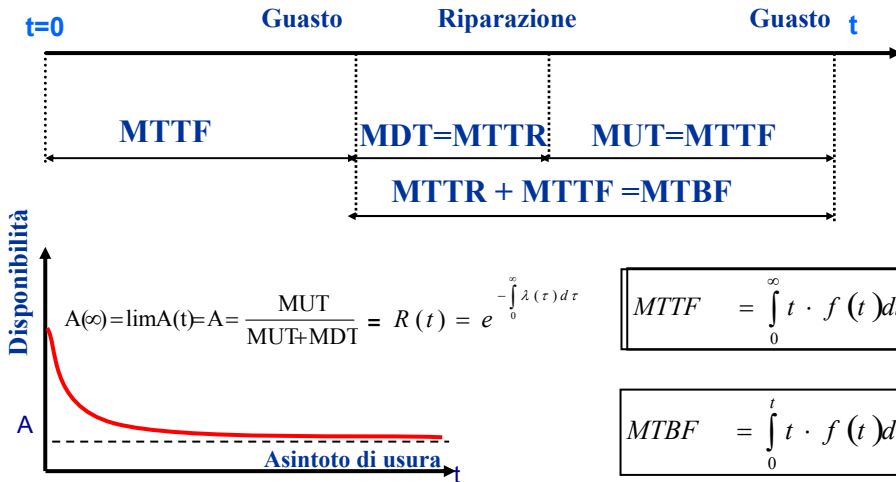
Nel campo dell'impiantistica di processo, essendo i sistemi nella maggior parte ripristinabili, sulla base di un piano di manutenzione, si è soliti valutare il parametro di disponibilità. **Nei sistemi non riparabili tali concetti coincidono.**



La Disponibilità: procedure per il calcolo

“Guasto” = evento che genera l’interruzione del servizio

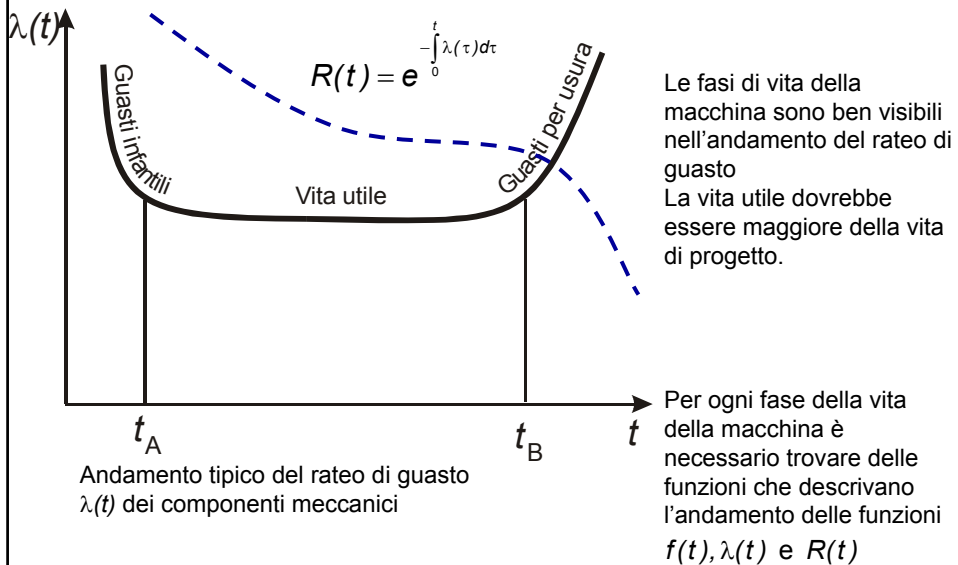
“Avaria” = lo stato in cui si trova il sistema



Pagina 27



Descrizione della vita dei componenti



Pagina 28



Descrizione della vita dei componenti: la funzione di Weibull

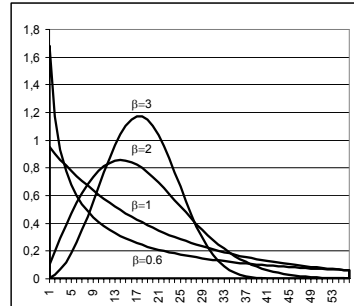
La distribuzione di *Weibull* è una funzione a due parametri che, grazie alla sua duttilità, è usata per esprimere la funzione affidabilità sia durante la fase dei guasti infantili, sia durante la vita utile. È caratterizzata da due parametri α e β positivi:

$$y(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

α : vita caratteristica [tempo]

β : parametro di forma [numero puro]. Generalmente varia tra 0.5 e 5. Se <1 la funzione è monotona decrescente, se >1 , prima cresce e poi decresce

Al variare del fattore di forma, la funzione assume aspetti ben diversi, come visibile nella seguente figura.



Pagina 29



Descrizione della vita dei componenti: guasti infantili

La fase di vita iniziale della macchina viene descritta con una distribuzione di Weibull della funzione $R(t)$.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

La percentuale di popolazione che cede al tempo t risulta essere espressa nella forma:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

La densità di probabilità di guasto è:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} t^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Esempio

La vita di un condensatore è rappresentata da una distribuzione di Weibull con $\alpha=100000$ ore e $\beta=0.5$. Dopo un anno di servizio (8760 ore) la probabilità di cedimento è:

$$F(8760) = 1 - e^{-\left(\frac{8760}{100000}\right)^{0.5}} = 0.26 = 26\% \rightarrow R(8760) = 74\%$$

$$F(2\text{anni}) = 1 - e^{-\left(\frac{17520}{100000}\right)^{0.5}} = 0.34 = 34\% \rightarrow R(2\text{anni}) = 66\%$$

Pagina 30



Descrizione della vita dei componenti: vita utile

Considerando componentistica di tipo elettronica, meccanica ed elettromeccanica, si può, con buona approssimazione, adottare la **distribuzione esponenziale negativa** corrispondente ad un **rateo di guasto costante**. Si dice che in questo periodo la macchina "*non ha memoria*" nel senso che il suo comportamento è lo stesso qualunque sia stata la sua storia precedente.

Sono guasti che risultano dalla combinazione di numerosi eventi di natura puramente casuale (detti alla *Poisson*).

Per gli elementi meccanici sottoposti a sollecitazioni affaticanti, non è possibile separare l'evento esterno di natura casuale da un incremento del danneggiamento interno, così che il rapporto tra vita spesa e spendibile (parametro di danno) cresce senza che ci sia alcun cedimento apparente del componente.

Con rateo di guasto costante si ha:

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



Descrizione della vita dei componenti: vita utile

$R(t) = e^{-\lambda t}$ È la distribuzione esponenziale negativa, la più semplice funzione di distribuzione dell'affidabilità. È definita da un solo parametro λ .

Le altre funzioni assumono le seguenti forme:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\begin{aligned} MTBF(t) &= \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \stackrel{\text{integrando per parti}}{=} t \cdot \frac{df(t)}{dt} - \int_0^{\infty} 1 \cdot \frac{df(t)}{dt} dt \Big|_0^{\infty} = \\ &= -t \cdot R(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \end{aligned}$$

La distribuzione di *Weibull* con $\beta=1$ diviene: $R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)} = e^{-\frac{t}{\alpha}}$

Se poniamo $\lambda=1/\alpha$, ricordando che $MTBF=1/\lambda$, otteniamo $MTBF=\alpha$ da cui il nome di "vita caratteristica" per α .



Descrizione della vita dei componenti: vita utile

$\lambda = 15E10^{-6}$			
Tempo di funzionamento (ore)	Numero di guasti nel periodo $t: \lambda t$	Probabilità cumulata di guasto $F(t)$	Affidabilità (probabilità di sopravvivenza) $R(t)$
100	0,0015	0,0015	0,999
500	0,0075	0,0075	0,993
1000	0,015	0,0149	0,985
5000	0,075	0,0723	0,928
10000	0,15	0,1393	0,861
100000	1,5	0,7769	0,223
500000	7,5	0,9994	0,001

Calcolo delle probabilità di guasto $F(t)$ e dell'affidabilità $R(t)$ nell'ipotesi di un tasso di guasto costante e pari a $\lambda = 15 \cdot 10^{-6}$ [1/ore]

Il tempo in cui si dimezza l'affidabilità è

$$R(t) = e^{-\lambda t} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-15 \cdot 10^{-6} t} \rightarrow \ln(2^{-1}) = \ln(e^{-15 \cdot 10^{-6} t}) \rightarrow \ln(2^{-1}) = -15 \cdot 10^{-6} t$$

$$t = \frac{\ln(2)}{15 \cdot 10^{-6}} = 46210 [\text{ore}]$$

Il tempo in cui si raggiunge l'affidabilità del 99.5% è 334 ore $t = -\frac{\ln(R)}{\lambda}$



Analisi di affidabilità combinatoria

Un componente si trova solitamente a dover operare all'interno di un sistema e questo comporta la sua interazione con tanti altri elementi, che concorrono al compimento di una missione.

L'interazione del componente in analisi con il resto del sistema avviene attraverso **connessioni fisiche e connessioni logiche**

- Le connessioni fisiche dipendono da come è strutturato il sistema
- Le connessioni logiche si fondano sulle risposte che i vari componenti forniscono durante le diverse fasi operative; in tal senso, per la ricerca dell'affidabilità di un sistema, occorre analizzare l'influenza che un guasto di ciascun componente ha sulla funzionalità di quelli di contorno e/o sull'intero sistema.

L'analisi di affidabilità combinatoria fornisce modelli per lo studio di diverse strutture di connessioni



Modello serie

Consideriamo un sistema composto da due soli elementi: questi saranno connessi in serie se il guasto di uno solo di essi comporta il raggiungimento della crisi dell'intero sistema.



Una connessione serie può essere rappresentata attraverso uno schema di flusso (*Reliability block diagram RBD*) come indicato in figura in cui con x_i si indicano i componenti elementari che operano correttamente e con x'_i quelli fuori servizio.



Sistema Funzionante



Sistema non funzionante

$$R(t) = P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1) \cdot P(x_2 | x_1) \cdot P(x_3 | x_1, x_2) \cdot \dots \cdot P(x_n | x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$$

Se gli eventi si possono considerare stocasticamente indipendenti (la rottura del singolo componente è indipendente dalla rottura degli altri) allora l'equazione diviene

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



Modello serie

Sviluppando l'espressione si ha:

$$R_s(t) = e^{-\int_0^t \lambda_s(\tau) d\tau} = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\int_0^t \lambda_i(\tau) d\tau} = e^{-\int_0^t \sum_{i=1}^n \lambda_i(\tau) d\tau} \rightarrow \lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Se i ratei di guasto sono costanti nel tempo si ha:

$$R_s(t) = e^{-\lambda_s t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} \rightarrow \lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

quindi è costante anche il rateo di guasto del sistema

$$MTBF_s = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

L'affidabilità del sistema è minore della più piccola affidabilità dei singoli componenti.

A parità di costo si deve intervenire sull'elemento a più bassa affidabilità

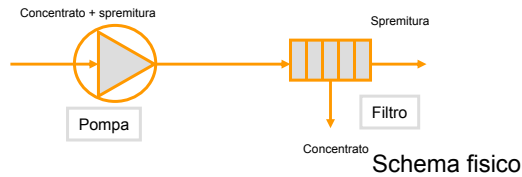


Modello serie

Esempio: sistema pompa filtro.

$$\lambda_{pompa} = 1.5 \cdot 10^{-4} [1/h]$$

$$\lambda_{filtro} = 3 \cdot 10^{-5} [1/h]$$



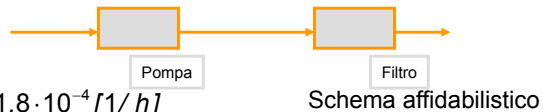
$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.5 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 10^{-5} = 1.8 \cdot 10^{-4} [1/h]$$

$$MTBF_s = \frac{1}{\lambda_s} = 5.555 [h]$$

$$f_s(8760) = 1.8 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = 3.7 \cdot 10^{-5}$$

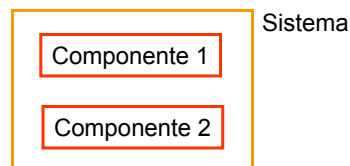
$$R_s(8760) = e^{-1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = 0.2066$$

$$F_s(8760) = 1 - R_s(8760) = 0.7934$$

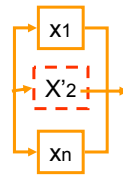
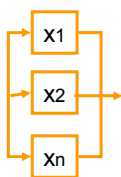


Modello Parallelo

Consideriamo un sistema composto da due soli elementi: questi saranno connessi in parallelo se viene garantita la funzionalità dell'intero sistema anche quando sia attivo un solo componente



Una connessione parallelo può essere rappresentata attraverso uno schema di flusso (*Reliability block diagram RBD*) come indicato in figura in cui con x_i si indicano i componenti elementari che operano correttamente e con x'_i quelli fuori servizio.

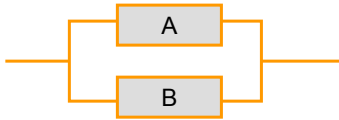


Se gli eventi si possono considerare stocasticamente indipendenti (la rottura del singolo componente è indipendente dalla rottura degli altri):

$$R(t) = P(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = 1 - P(\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \dots \cdot \bar{x}_n) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(t)$$



Modello Parallelo



A	B	Probabilità di funzionamento del sistema
Funziona	Non funziona	$R_A \cdot R_B$
Funziona	Funziona	$R_A \cdot (1 - R_B)$
Non funziona	Funziona	$(1 - R_A) \cdot R_B$

$$R_s = R_A \cdot R_B + R_A \cdot (1 - R_B) + R_B \cdot (1 - R_A) = R_A + R_B - R_A \cdot R_B$$

$$F_s = F_A \cdot F_B = (1 - R_A) \cdot (1 - R_B) = 1 + R_A R_B - R_A - R_B \rightarrow R_s = 1 - F_s = R_A + R_B - R_A R_B$$

Nel caso particolare in cui i due componenti siano uguali si ha:

$$R_A = R_B = e^{-\lambda t} \rightarrow R_s = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \quad MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = \int_0^{\infty} 2e^{-\lambda t} dt - \int_0^{\infty} e^{-2\lambda t} dt =$$

$$= -\frac{2}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} + \frac{1}{2\lambda} e^{-2\lambda t} \Big|_0^{\infty} = -\frac{2}{\lambda} (0 - 1) + \frac{1}{2\lambda} (0 - 1) = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda}$$

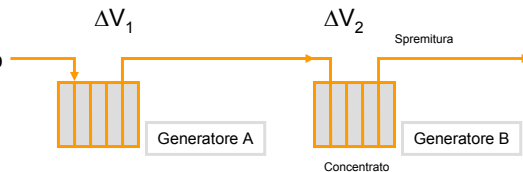
$$\lambda_s = \frac{1}{MTBF_s} = \frac{2}{3} \cdot \lambda$$

L'affidabilità del sistema è più grande della maggiore affidabilità dei singoli componenti



Modello parallelo

Due generatori elettrici della stessa capacità e dello stesso modello ciascuno funzionante alla metà della propria capacità massima



$$\lambda_{generatore} = 9 \cdot 10^{-6} [1/h]$$

Schema fisico

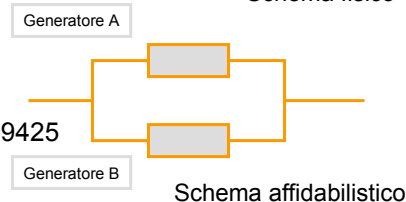
$$R_s(8760) = 2e^{-9 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} - e^{-2 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0.99425$$

$$\lambda_s(8760) = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-6} [1/h]$$

$$f_s(8760) = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 0.99425 = 5.966 \cdot 10^{-6}$$

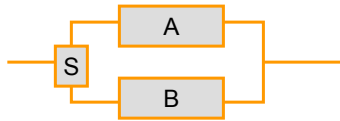
$$F_s(8760) = 1 - R_s(8760) = 5.75 \cdot 10^{-3}$$

$$MTBF_s(8760) = \frac{3}{2\lambda} = 166.667 [h]$$

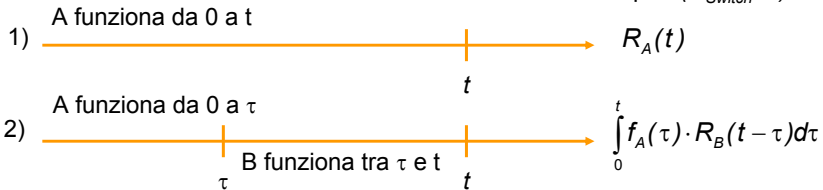




Modello parallelo: organo di commutazione



Stand-by: un organo di commutazione varia la connessione. Se, ad esempio, A è sotto carico e B interviene quando si registra un guasto in A, si hanno le seguenti probabilità di accadimento nel tempo t ($R_{Switch}=1$)



$$R_S(t) = 1 \cup 2 = R_A(t) + \int_0^t f_A(\tau) R_B(t-\tau) d\tau$$

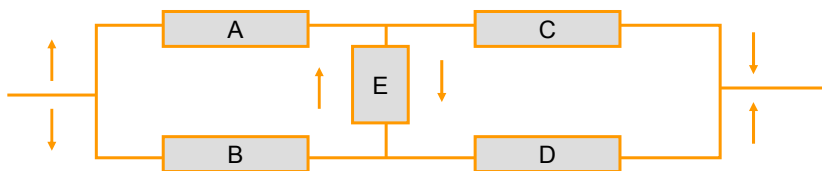
Se $\lambda_A = \lambda_B = \text{costante}$

$$R_S(t) = e^{-\lambda t} + \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda(t-\tau)} d\tau = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t)$$

$$MTBF_s = \frac{2}{\lambda}$$



Alberi di Guasto: Fault Tree Analysis (F.T.A.)



Esistono delle situazioni in cui non è possibile applicare le schematizzazioni serie/parallelo, ma è necessario ricorrere ad altri strumenti di analisi.

La F.T.A studia le cause di un guasto rilevante che può costituire un rischio

Ogni sistema è formato da un numero di componenti elementari più o meno complessi, se si suppone il loro comportamento come elementi *on/off* (funzionante o guasto), è possibile attribuire alla singola cella un valore binario.

Scopo della F.T.A. è quello di identificare gli eventi base che comportano un incidente causato dal top-event. Tali eventi sono classificabili in guasti: primari, secondari e intermedi. (metodo deduttivo)



Alberi di guasto: definizione-simbologia

Attraverso una rappresentazione simbolica della struttura di un impianto, o di parte di esso, si evidenziano le interconnessioni logiche che esistono tra i vari componenti. In tal modo si vanno ad identificare le connessioni strutturali che hanno provocato il malfunzionamento del sistema o parte di esso

	Porta AND (modello in parallelo - simbolo x)
	Porta OR (modello in serie - simbolo +)
	Porta AND priorità
	Porta OR esclusiva
	Porta INHIBIT
	Guasto generato dalla combinazione di più guasti
	Guasto elementare
	Guasto le cui cause non sono state esaminate
	Simboli da rimandare ad altri alberi

Pagina 43



Albero dei Guasti: la porta and e or

In questo modo si ottiene una maggiore analisi quantitativa. Inoltre il processo di trasformazione assicura che ogni singolo evento che si ripete in diversi rami dell'albero sia opportunamente contato.

Q= evento di output (**TOP EVENT**)

A= evento esclusivo (**EVENTO DI GUASTO** primario/secondario/intermedio)

B= evento esclusivo (**EVENTO DI GUASTO** primario/secondario/intermedio)

PORTA OR (la presenza di un solo input A o B è sufficiente perché si verifichi l'evento output Q)

$P(Q) = P(A) + P(B) + P(A) \times P(B)$ per eventi esclusivi

$P(Q) = P(A) + P(B)$ per eventi indipendenti

PORTA AND (la presenza di entrambi gli input A o B è necessaria perché si verifichi l'evento output Q)

$P(Q) = P(A) \times P(B)$ per eventi indipendenti

Pagina 44



Albero dei Guasti: procedura risolutiva

1. **Definizione del problema:** - identificazione del sistema;
 - analisi delle possibili fonti di rischio;
 - individuazione dei top-event (guasti) causa di rischio

2. **Costruzione dell'Albero di Guasto:** si parte dal top-event che, livello dopo livello, precede tutti gli eventi sottostanti, fino ad individuare gli eventi base scatenanti, secondo un approccio top-down;

3. **Soluzione dell'Albero di Guasto:** stimati i parametri probabilistici di ogni evento base, si passa alla valutazione della frequenza di accadimento del top-event. Si possono seguire due strade:
 - *analisi dei minimal cut sets*
 - *analisi gate by gate*

MINIMAL CUT SET: insieme dei componenti che guastandosi generano la "rottura" del sistema di appartenenza.



Albero dei Guasti: minimal cut sets

L'applicazione dei M.C.S. è possibile quando sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- tutti i guasti sono di natura binaria;
- la transizione tra lo stato di funzionamento e lo stato di guasto è istantanea;
- i guasti di tutti i componenti sono statisticamente indipendenti;
- il tasso di guasto di ogni componente è costante;
- il tasso di guasto di un componente rimane lo stesso prima e dopo la riparazione;

Riducendo la F.T.A ad un albero equivalente dei M.C.S, si utilizzano per la soluzione matematica le regole dell'algebra Booleana

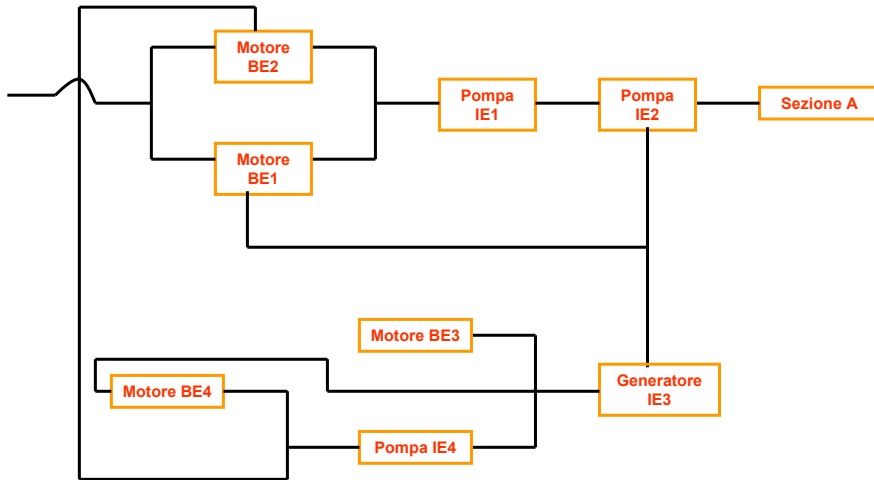


Proprietà	Espressione
Commutativa	$A \times B = B \times A$ $A + B = B + A$
Associativa	$A \times (B \times C) = (A \times B) \times C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributiva	$A \times (B + C) = A \times B + A \times C$
Idempotenza	$A \times A = A$ $A + A = A$
Assorbimento	$A + (A \times B) = A$ $A \times (A+B)=A$



Albero dei Guasti: Esempio - Schema fisico

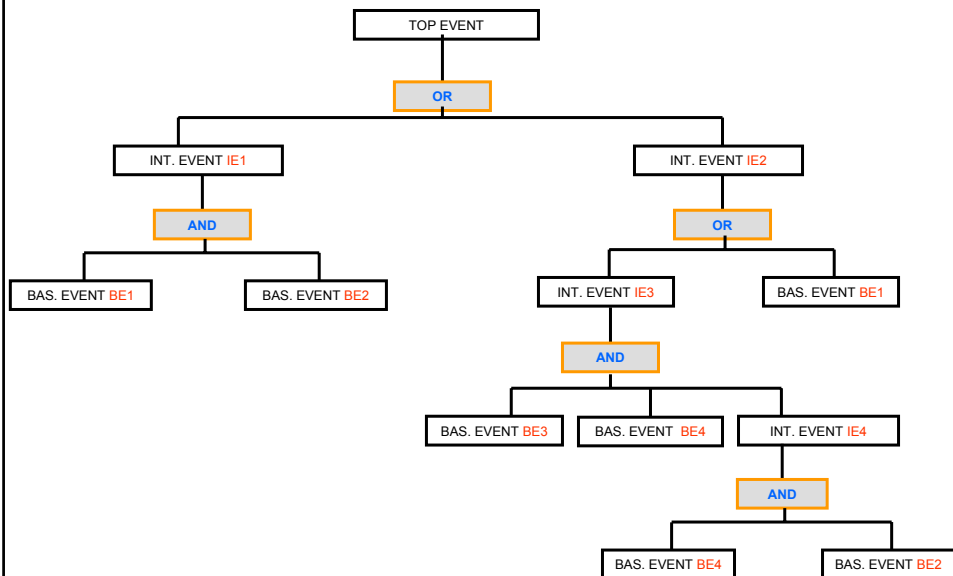
Costruire l'albero dei guasti relativo al seguente impianto di alimentazione idrica di una utenza civile e risolverlo tramite i MCS.



Pagina 47



Albero dei Guasti: Esempio - FTA



Pagina 48



Albero dei Guasti: Esempio - calcolo MCS

La Struttura Logica della F.T.A. è espressa tramite le equazioni Booleane, si analizza livello per livello (approccio top-down), si riduce ogni equazione in base alla regola dell'assorbimento e dell'idempotenza, ottenendo l'equazione finale dei MCS.

STEP	Rappresentazione Booleana
1	$T = IE1 + IE2$
2	$T = (BE1 \times BE2) + (BE1 + IE3)$
3	$T = BE1 \times BE2 + BE1 + (BE3 \times BE4 \times IE4)$
4	$T = BE1 \times BE2 + BE1 + (BE3 \times BE4 \times BE4 \times BE2)$
5	$T = BE1 + BE1 \times BE2 + (BE3 \times BE4 \times BE2)$
6	$T = BE1 + BE3 \times BE4 \times BE2$
7	$T = BE1 + BE2 \times BE3 \times BE4$

Soluzione:
Minimal Cut Set

Condizione necessaria e sufficiente perché si manifesti il Top-Event è che si verifichi almeno un *minimal cut set*.



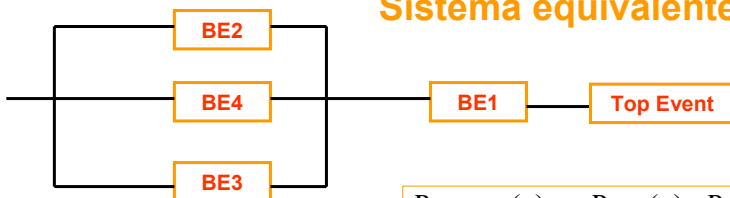
Noti i valori dei tassi di guasto dei singoli eventi basi e possibile con l'utilizzo dei MCS ricavare l'opportuna frequenza di guasto del top-event, e valutare il valore di affidabilità/disponibilità del sistema



Albero dei Guasti: Esempio-sistema equivalente-R(t)

$$T = BE1 + (BE2 \times BE3 \times BE4)$$

Soluzione Albero dei Guasti (MCS)



$$R_{topevent}(t) = R_{BE1}(t) \times R_{parallelo}(t)$$

$$R_{BE1}(t) = e^{-\lambda_{BE1}t}$$

$$R_{parallelo}(t) = 1 - \prod F_{parallelo} = 1 - [(1 - R_{BE2}) \times (1 - R_{BE3}) \times (1 - R_{BE4})]$$

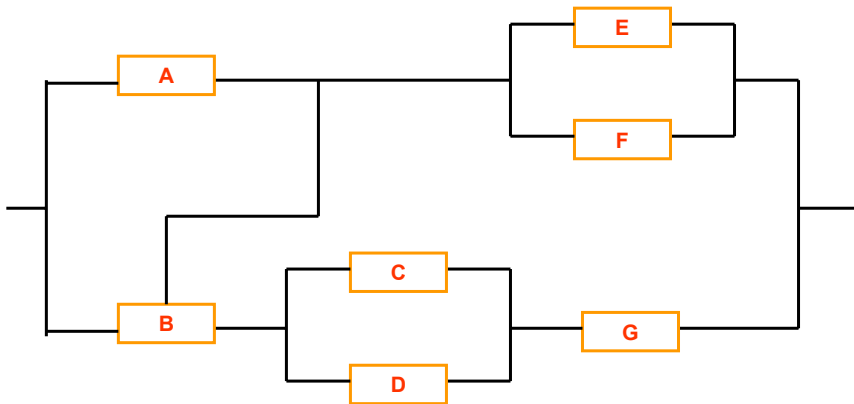
$$= 1 - [(1 - e^{-\lambda_{BE2}t})(1 - e^{-\lambda_{BE3}t})(1 - e^{-\lambda_{BE4}t})]$$

$$R_{topevent}(t) = e^{-\lambda_{BE1}t} \left\{ 1 - [(1 - e^{-\lambda_{BE2}t})(1 - e^{-\lambda_{BE3}t})(1 - e^{-\lambda_{BE4}t})] \right\}$$



Albero dei Guasti: Esempio

Costruire l'albero dei guasti relativo al seguente schema fisico di una utenza industriale e risolverlo tramite i MCS.



Pagina 51



Failure Mode, Effects, and Critical Analysis (F.M.E.C.A)

La **F.M.E.C.A.** è un'analisi quantitativa nella determinazione degli eventi e delle conseguenze, essa parte da una analisi qualitativa (F.M.E.A.), da cui si ricava, tramite l'elaborazione di una matrice, **le modalità di guasto, la frequenza di accadimento, i rischi e le conseguenze** del mancato funzionamento di un componente (evento base o top-event)

F.M.E.C.A. → Analisi quantitativa/qualitativa orientata al componente

F.T.A. → Analisi quantitativa orientata a sistema

La normativa internazionale a cui fare riferimento è la MIL-STD 1629A

F.M.E.C.A.



EVIDENZIAMENTO E CORREZIONE DELLE DEBOLEZZE DI UN PRODOTTO IN FASE DI PROGETTAZIONE

EVIDENZIAMENTO E CORREZIONE DELLE FASI DI PROCESSO CHE GENERANO DIFETTI NEL PRODOTTO

Pagina 52



Failure Mode, Effects, and Critical Analysis (F.M.E.C.A)

L'approccio è sequenziale dal basso verso l'alto (bottom-up), individuato l'evento critico, si valutano le risonanze e le conseguenze sull'intero sistema.

Dall' analisi si ottiene:

- una descrizione di tutte le modalità di difetto e le loro conseguenze e che siano state, dove possibile, contenute o eliminate;
- informazioni su:
 - analisi dell'affidabilità,
 - analisi della disponibilità,
 - analisi della manutenzione,
 - analisi della sicurezza;
- dati per redigere manuali d'uso e di servizio;
- dati per l'analisi del rischio e della sicurezza, organizzati criticamente e per argomento.

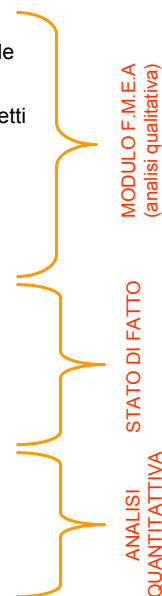


In definitiva un tale approccio diviene la base da cui ottenere le tipologie di guasto di un componente e le frequenze di accadimento, e quindi un archivio storico del componente, continuamente aggiornato, da cui ricavare i parametri affidabilistici per l'implementazione di tecniche quantitative di stima della affidabilità/disponibilità di sistemi qualsivoglia complessi.



Failure Mode, Effects, and Critical Analysis (F.M.E.C.A)

1. Identificare l'intero sistema/processo
2. Individuare ogni fase del processo produttivo/componente del sistema e le modalità di guasto;
3. Elencare ogni modo in cui l'elemento identificato può fallire o causare effetti indesiderati sia sull'ambiente che sulle persone;
4. Descrivere le cause o i modi in cui l'utilizzatore identifica le criticità del prodotto;
5. Descrivere le misure di controllo già in uso per prevenire le criticità del prodotto;
6. Stimare e classificare la probabilità del guasto (indice $P=1-10$);
7. Classificare ogni criticità per gravità di conseguenze (indice $G=1-10$);
8. Definire e classificare la possibilità di prevederlo (indice $R=1-10$);
9. Valutare l'indice di priorità del rischio (indice $R.P.N.=P \times G \times R=1-1000$);
10. Provvedimenti migliorativi raccomandati;
11. Responsabilità tecniche di realizzazione;
12. Provvedimenti presi e tempistica di realizzazione;
13. Stato migliorato: calcolo nuovo indice R.P.N..





Failure Mode, Effects, and Critical Analysis (F.M.E.C.A)

MATRICE DI RISCHIO

STABILITE DAL CLIENTE		STABILITE DAL FORNITORE		STATO ATTUALE			AZIONI CORRETTIVE			STATO MIGLIORATO		
PROCESSO												
MODO DI GUASTO												
EFFETTI DEI MODI DI GUASTO												
CAUSE DEI MODI DI GUASTO												
MISURE DI CONTROLLO PREVISTE												
PROBABILITA'												
GRAVITA'												
RILEVABILITA'												
INDICE PRIORITA' DEL RISCHIO												
PROVVEDIMENTI MIGLIORATIVI RACCOMANDATI												
RESPONSABILITA' TEMPORISTICHE E ATTUAZIONI RACCOMANDATE												
PROVVEDIMENTI PRESE TEMPO DI RECLAMO												
PROBABILITA'												
GRAVITA'												
RILEVABILITA'												
INDICE PRIORITA' DEL RISCHIO												

Pagina 55



F.M.E.C.A: esempio

Pagina 56



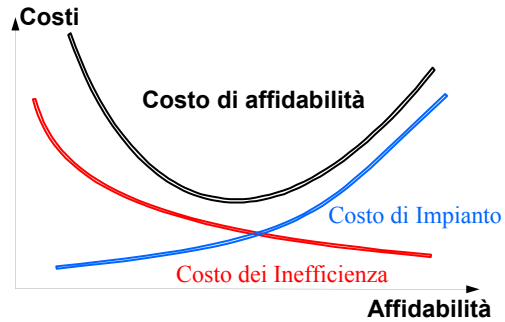
Analisi dei costi dell'affidabilità

OTTIMIZZAZIONE ECONOMICA DELL'AFFIDABILITÀ DI SISTEMA

L'affidabilità costa:

- all'aumentare del suo grado occorrono studi più accurati, progettazioni più impegnative, sperimentazioni più severe, interventi per aumentare $\lambda_s(t)$ con **politiche di manutenzione preventiva (COSTI DI IMPIANTO)**

- di contro diminuiranno i costi inerenti ai guasti, ai ricambi, agli oneri derivanti da mancata produzione, etc..(**COSTI DI INEFFICIENZA**)



LA MANUTENZIONE COME FUNZIONE PRODUTTIVA



La Manutenzione: definizioni

Manutenzione:

“E' il controllo costante degli impianti e l'insieme dei lavori di riparazione e sostituzione necessari ad assicurare il funzionamento regolare e a mantenere costanti gli standard affidabilistici degli impianti. Si articola in un insieme di azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”

Manutenibilità:

“E' l'attitudine di un oggetto espressa dalla probabilità che le operazioni di ripristino della funzionalità vengano eseguite in uno stabilito intervallo di tempo t per date procedure e risorse (personale in numero e con competenze adeguate, parti di ricambio, etc..)



La Manutenzione: analisi probabilistica

La **manutenibilità** esprime la proprietà di qualsiasi componente/sistema, che al tempo t dal guasto esso stesso sia di nuovo funzionante. Se t_r è il tempo di manutenzione complessivo, variabile causale con distribuzione $m(t_r)$, allora la manutenibilità (*Maintainability*) è data da:

$$M(t) = P[t_r \leq t] = \int_0^t m(t_r) dt_r$$

Il **Mean Time di Repair (MTTR)**, nelle norme UNI corrisponde al **Mean Down Time (MDT)** vale:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t_r m(t_r) dt_r$$

Si usano per $m(t_r)$ di solito distribuzioni esponenziali negative (per semplicità di calcolo), weibull, normali.

Al diminuire del MDT, aumenta il parametro di disponibilità dell'impianto

$$A(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = A = \frac{MUT}{MUT + MDT} = R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}$$



La Manutenzione: evoluzione storica

- **1950 - 1970**: manutenzione a guasto. Si procedeva ad interventi solo in presenza di interruzioni di servizio apportando soluzioni tampone o sostituzione del componente (funzione totalmente accentrata ed in contrasto con la produzione);
- **1970 - 1980**: nascita di una filosofia manutentiva mirata alla prevenzione di avarie di sistema. Tale metodologia si esplicava attraverso ispezioni cicliche e diagnostica tecnica tramite sensoristica di processo;
- **1980**: la manutenzione diviene una funzione del processo produttivo. Diviene attrice del miglioramento continuo del processo e quindi implementabile tramite le procedure di miglioramento continuo della Qualità (trasferimento delle risorse manutentive nei reparti);
- **1990**: *Outsourcing* della funzione manutenzione, nascita del **Global Service di Manutenzione**. Nella nuova filosofia di azienda network, tutto ciò che non è *core-business* viene terziarizzato, con lo scopo di ridurre la complessità e aumentare la flessibilità.



La Manutenzione: approcci metodologici

Manutenzione correttiva o a guasto: effettuata a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare un'entità nello stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta.

Manutenzione preventiva: effettuata a seguito dell'individuazione e della misurazione di uno o più parametri e dell'estrapolazione secondo modelli appropriati del tempo residuo prima del guasto

- **Manutenzione ciclica:** a data o periodo costante;
- **Manutenzione predittiva:** basata sulla valutazione della vita residua di un componente stimabile nella misura di un suo parametro di funzionamento;
- **Manutenzione secondo condizione:** sostituzione di un componente al raggiungimento di una soglia misurabile per un suo parametro di funzionamento

Manutenzione migliorativa: insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale dell'entità

Manutenzione produttiva: insieme delle azioni volte alla prevenzione, al miglioramento continuo e al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione dal conduttore dell'entità, avvalendosi del rilevamento di dati e della diagnostica sull'entità da mantenere



La Manutenzione: scopi principali

Conservazione del patrimonio impiantistico: tale tema rappresenta spesso un terreno di forte contrasto tra la funzione produttiva e quella manutentiva. La mancanza di una manutenzione con interventi tempestivi in ragione delle necessità porterà ad un graduale deterioramento del patrimonio immobiliare aziendale;

Miglioramento delle prestazioni: le politiche manutentive devono mirare ad un continuo miglioramento e adeguamento degli impianti: la manutenzione deve realizzare tutte quelle piccole modifiche e miglioramenti utili alla funzione produttiva compatibilmente con i budget aziendali;

Riduzione dei costi: interventi mirati e profondi in modo da evitare il lievitare di costi globali connessi ad interventi sbagliati e prolungati o a sostituzione di beni ancora ripristinabili;

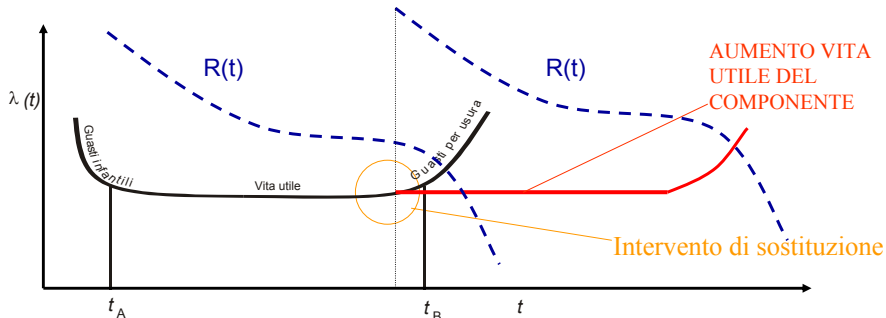
Crescita della disponibilità: è questo uno degli indici che ci dà conferme sulla bontà dell'intervento. Sulla base delle analisi affidabilistiche ed economiche si procederà all'individuazione dei **beni critici**. Si valuterà quindi le situazioni di intervento a guasto o di intervento preventivo.



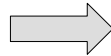
La Manutenzione: scopi principali-incremento $\lambda_s(t)$

Aumento parametri affidabilistici - azione preventiva:

1. $\lambda_s(t)$ crescente
2. Costo intervento correttivo > Costo intervento preventivo



REDAZIONE PIANO
MANUTENZIONE



AUMENTO PARAMETRI
AFFIDABILITA'



La Manutenzione: criteri di progettazione

Raccolta delle informazioni:

- **Censimento dei beni:** è opportuno stabilire le quantità, la locazione, il tipo di servizio, l'utenza dei beni da mantenere;
- **Valutazioni affidabilistiche:** analisi FMECA, FTA per valutare le problematiche del sistema, le tipologie di guasto e le loro frequenze;
- **Costi di indisponibilità:** somma dei vari costi non recuperabili o di disservizio, dovute alla mancanza di funzionalità del bene;
- **Risorse:** personale, officine, ricambi, attrezzature, strumentazione sensoristica



INDIVIDUAZIONE DEI BENI CRITICI:

- sicurezza delle persone e effetti sull'ambiente;
- prescrizioni legislative;
- disponibilità richiesta al bene dai piani di produzione
 - esistenza di beni di riserva
 - possibili alternative al flusso produttivo
- manutenibilità del bene;
- costi di sostituzione



Aumento
della
disponibilità



La Manutenzione: scelta delle politiche manutentive

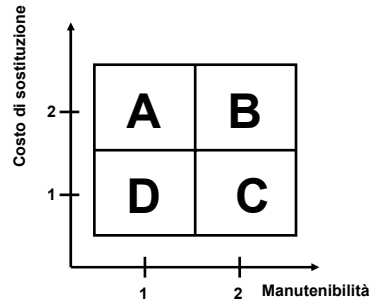
Selezione di beni critici, risultanti da analisi affidabilistici, in base a due sole caratteristiche:

▪ manutenibilità

- classe 1: bassa manutenibilità
- classe 2: alta manutenibilità

▪ costi di sostituzione

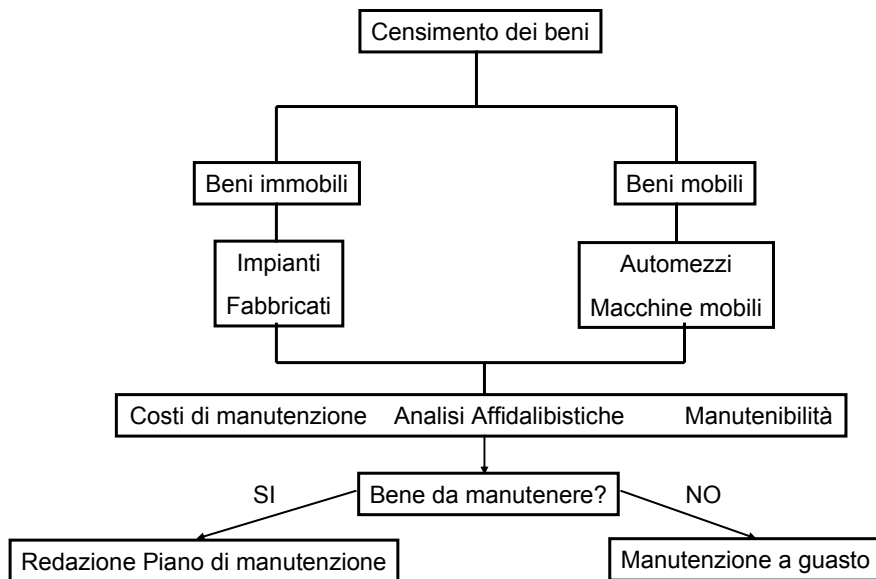
- classe 1: basso costo di sostituzione
- classe 2: alto costo di sostituzione



- **Quadrante A:** dipende dalla convenienza tra costi di intervento e di sostituzione (deve essere accresciuta la manutenibilità)
- **Quadrante B:** è conveniente
- **Quadrante C:** dipende dalla convenienza tra costi di intervento e di sostituzione
- **Quadrante D:** non è conveniente effettuare manutenzione

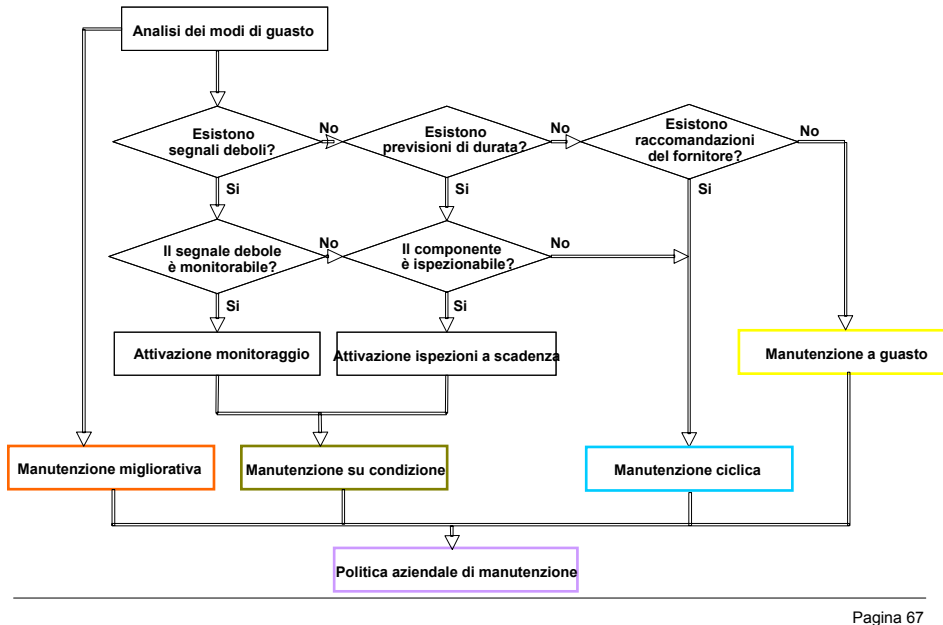


La Manutenzione: scelta delle politiche manutentive





La Manutenzione: Piano di Manutenzione dei beni critici



Pagina 67



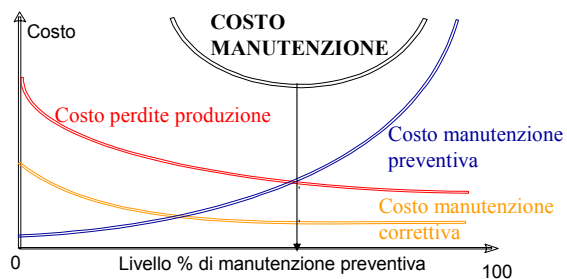
La Manutenzione: i costi della manutenzione

La manutenzione ha lo scopo, nella misura in cui concorre a rendere possibili la gestione in termini competitivi, di permettere la produzione sulla base del più basso livello di costo possibile.

Costi complessivi di gestione della manutenzione:

- costi di manutenzione (preventiva e correttiva);
- costi delle perdite di produzione;
- costi d'immagine (difficilmente valutabili ma onerosi)

Bisogna trovare il giusto compromesso tra il livello di manutenzione preventiva e correttiva, sulla base di considerazione tecnoeconomiche e affidabilistiche (beni critici)



Pagina 68



La Manutenzione: la valutazione degli indici

Un indice è un rapporto di due grandezze/dati destinato a:

- rappresentare un evento determinato in modo obiettivo e preciso;
- controllare il grado di raggiungimento degli obiettivi;
- essere comparato tra unità destinate alla stessa impresa o tra imprese o settori diversi;

Ogni impresa può elaborare i propri indicatori adattandoli ai proprio bisogni

Nell'ambito del settore manutentivo si può parlare dei seguenti indicatori:

- 1. COSTO DI MANUTENZIONE / QUANTITA' PRODOTTA:** *fornisce indicazioni sulla gestione della manutenzione con riferimento al volume di produzione dell'impianto nel periodo di tempo esaminato;*
- 2. TEMPO DI DISPONIBILITÀ / TEMPO RICHiesto:** *fornisce informazioni sulla eventualità di implementare nuove tecniche manutentive o possibili cambiamenti di rotta (sostituzione macchinari, soluzione terzalizzata, etc)*
- 3. COSTO PERSONALE / COSTO TOT. MANUTENZIONE:** *fornisce indicazioni circa l'efficacia del lavoro aziendale e sulla eventualità di soluzioni Global Service Manutenzione .*