

CAPITOLO 11

L'AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI E DEI SISTEMI

IL PROBLEMA

Scopo dello studio affidabilistico è comprendere le problematiche di guasto che, su base statistica, affliggono un impianto rendendolo indisponibile alle attività produttive.

Dall'analisi affidabilistica, si arriva a:

- stimare il costo della non disponibilità;
- valutare economicamente la validità di interventi volti a ridurre l'indisponibilità stessa.

SOMMARIO

- Teoria dell'affidabilità per singoli componenti;
- Teoria dell'affidabilità per sistemi di componenti;
- Valutazione economica degli interventi di potenziamento affidabilistico.

AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI ISOLATI

L'affidabilità di un componente non è una proprietà assoluta, ma dipende da:

- **Requisiti di funzionamento:** definire le condizioni che si devono verificare, perché si possa dire che il componente si è guastato (esempio: la precisione che una bilancia deve avere dipende dal tipo di misure che si effettuano; quindi un certo grado di peggioramento della precisione potrebbe essere accettabile o meno, a seconda dell'impiego che se ne fa;
- **Tempo di missione:** misura della speranza che il sistema, funzionante in modo corretto al momento in cui viene messo in esercizio, lo sia ancora dopo un tempo prestabilito (esempio: una lampadina per uso domestico deve garantire centinaia di ore di esercizio, una lampadina per uso industriale deve garantire migliaia di ore di esercizio)

Lo studio del problema affidabilistico si configura pertanto come la ricerca, su basi statistiche, di una misura delle interazioni tra questi elementi.

AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI ISOLATI

Si distinguono tre diverse tipologie di componenti isolati:

- **Componenti non riparabili:** sono quei componenti che, se subiscono un guasto nel tempo di missione, devono essere completamente sostituiti (esempio: lampadina);
- **Componenti riparabili a guasto auto-evidenziante:** sono quei componenti che possono guastarsi ed essere riparati nel tempo di missione, perché il successo di questa non si misura tanto nella sua continuità, quanto nel tempo complessivamente speso in condizioni di buon funzionamento;
- **Componenti riparabili a guasto non auto-evidenziante:** come sopra, ma la loro condizione di guasto non si auto-evidenzia, e va esplicitamente testata (sono tipicamente i componenti di controllo).

AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI ISOLATI

Per ciascuna di queste tipologie di componenti si formulano misure diverse della performance affidabilistica.

- **Componenti non riparabili:** se ne esprime l'affidabilità (Reliability), ovvero la probabilità che il componente non si guasti entro il tempo di missione t ;
- **Componenti riparabili:** se ne esprime la disponibilità (Availability), ovvero la percentuale del tempo di missione trascorsa in condizioni di buon funzionamento.

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Una possibile “introduzione” alla teoria dell’affidabilità deriva dall’approccio probabilistico.

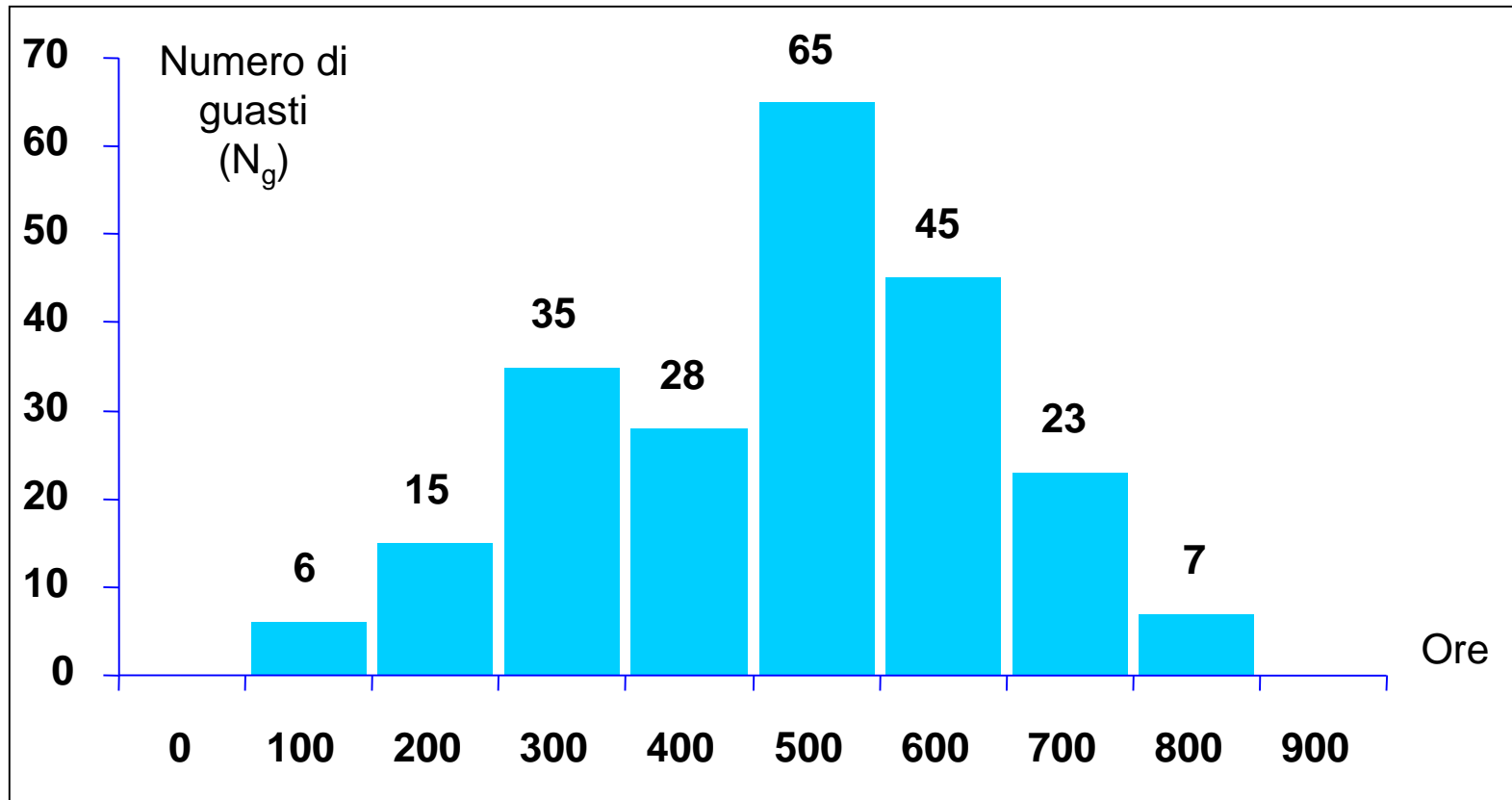
Si abbia un numero N (grande) di componenti in prova, e:

- Dopo t periodi, $N_g(t)$ componenti si sono guastati;
- Sempre dopo t periodi, $N_f(t)$ componenti sono ancora funzionanti.

Per la tipologia di elementi in prova, si definisce:

- **affidabilità** al periodo t : $R(t) = N_f(t)/N$
- **inaffidabilità** al periodo t : $F(t) = 1 - R(t) = N_g(t)/N$

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

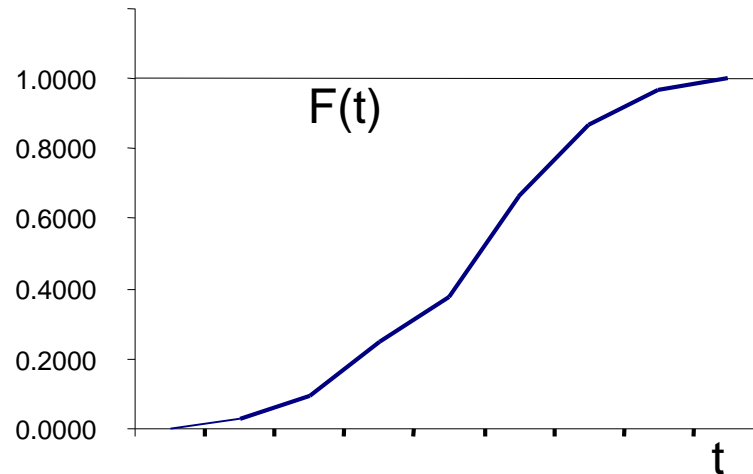


COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

	Età (h)	n. guasti	Ng(t)	F(t)	R(t)	
	0-100	0	0	-	1,000	
	100-200	6	6	0,027	0,973	
	200-300	15	21	0,094	0,906	
	300-400	35	56	0,250	0,750	
	400-500	28	84	0,375	0,625	
	500-600	65	149	0,665	0,335	
	600-700	45	194	0,866	0,134	
	700-800	23	217	0,969	0,031	
	800-900	7	224	1,000	-	
	Totale	224				

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

$F(t)$ rappresenta la “cumulata” di una funzione di densità probabilità, tendendo a 1 nell’istante temporale in cui tutti i componenti hanno cessato di funzionare.



In altri termini, $F(t)$ esprime la percentuale di guasti che si sono verificati nei periodi $t' < t$.

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Derivando quindi la $F(t)$ rispetto a t si ottiene la probabilità puntuale che un componente, messo in prova all'istante $t=0$, si guasti esattamente all'istante t .

$$\begin{aligned} f(t) &= d F(t) / dt = \\ f(t) &= 1/N * (dNg(t)/dt) = \\ &= 1/N * - (dNf(t)/dt) = -dR(t)/dt \end{aligned}$$

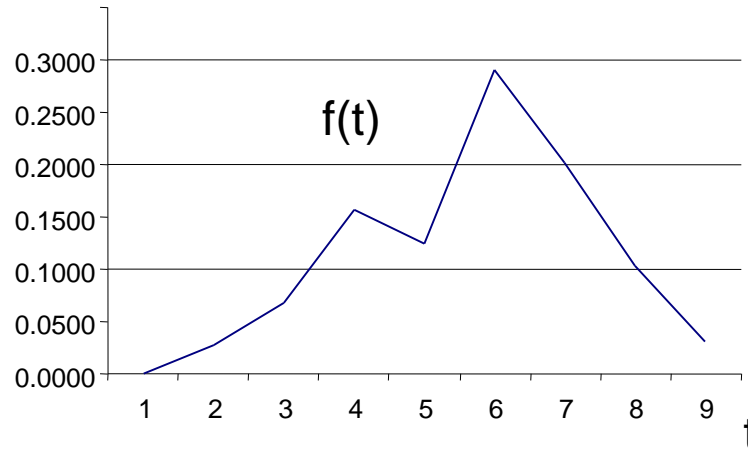
COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Età (h)	f	F	R
0-100	0,000	0,000	1,000
100-200	0,027	0,027	0,973
200-300	0,067	0,094	0,906
300-400	0,156	0,250	0,750
400-500	0,125	0,375	0,625
500-600	0,290	0,665	0,335
600-700	0,201	0,866	0,134
700-800	0,103	0,969	0,031
800-900	0,031	1,000	0,000
Totale	1,000		

In una variazione discreta (anziché infinitesima) $f(t) = -(R(t) - R(t-1)) = F(t) - F(t-1)$

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Dalla tabella precedente, si traccia la $f(t)$ in funzione di t .



Questo andamento è riferito a componenti messi in prova al tempo $t=0$, non dice come varia l'attitudine al guasto al trascorrere del tempo.

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

TASSO DI GUASTO $z(t)$

Probabilità che un componente, sopravvissuto fino all'istante t , si guasti tra t e $t+dt$.

$$\begin{aligned}z(t) &= 1/Nf(t) * dNg(t)/dt = \\&= 1/Nf(t) * N/N * dNg(t)/dt = \\&= 1/R(t) * dF(t)/dt = \\&= 1/R(t) * (- dR(t)/dt)\end{aligned}$$

$z(t)$ esprime la riduzione percentuale dell'affidabilità ad un istante t .

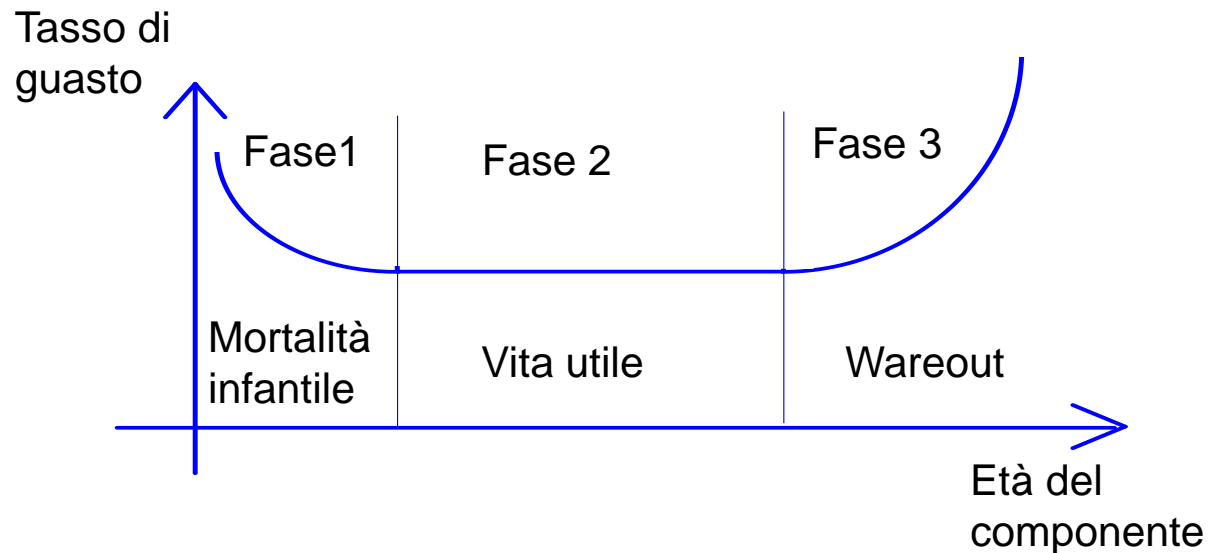
COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Età (h)	f	F	R	z
0-100	0	0,000	1,000	0,000
100-200	0,027	0,027	0,973	0,027
200-300	0,067	0,094	0,906	0,068
300-400	0,156	0,250	0,750	0,172
400-500	0,125	0,375	0,625	0,167
500-600	0,290	0,665	0,335	0,464
600-700	0,201	0,866	0,134	0,600
700-800	0,103	0,969	0,031	0,769
800-900	0,031	1,000	0,000	1,000

In una variazione discreta (anziché infinitesima), $z(t) = 1/R(t-1) * (-R(t) - R(t-1))$

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Nella realtà, un tipico andamento di $z(t)$ è quello riportato in figura.



Considerazioni statisticamente valide possono essere fatte, nell'ambito della vita utile di un componente, dove $z(t)$ è costante.

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Riprendendo la definizione di $z(t)$:

$$z(t) = 1/R(t) * - dR(t)/dt$$

supponendo che z sia costante e risolvendo si ha che:

$$R(t) = e^{-z*t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-z*t}$$

Come già visto, per la fenomenologia di guasto a tasso z costante, l'inaffidabilità tende a 1 al crescere del tempo (e contemporaneamente l'affidabilità tende a 0).

COMPONENTI ISOLATI: NON RIPARABILI

Da regole di statistica, si ricava:

- Nel caso di tasso di guasto costante, il valore medio della vita del componente è pari a $1/z$;
- Definito Mean Time to Failure (MTTF) il tempo medio al guasto, vale pertanto la relazione $z=1/MTTF$;
- Di conseguenza, l'affidabilità di un tale componente all'istante t si calcola come:

$$R(t) = e^{-1/MTTF*t}$$

L'affidabilità $R(t)$ esaurisce gli aspetti fondamentali per la tipologia di componenti definiti come **NON RIPARABILI**.

COMPONENTI ISOLATI: RIPARABILI AUTOEVIDENZIANTI

- La disponibilità: significato e misura
 - La disponibilità (*Availability, A*) è il rapporto tra il tempo per cui il componente (o sistema) può funzionare e il tempo totale per cui è richiesto il servizio

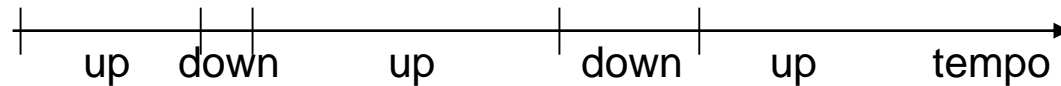
$$A = \frac{UpTime}{UpTime + DownTime}$$



$$A = \frac{\sum T_{UP}}{\sum T_{UP} + \sum T_{DOWN}} = \frac{\sum T_{UP} / n}{\sum T_{UP} / n + \sum T_{DOWN} / n} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

COMPONENTI ISOLATI: RIPARABILI AUTOEVIDENZIANTI

Per i componenti **RIPARABILI** nel tempo di missione, la misura affidabilistica fondamentale è correlata alla percentuale del tempo di missione spesa in condizione di buon funzionamento.



- In modo analogo a quanto fatto per i componenti non riparabili, si definisce una funzione $M(t)$, che esprime la probabilità che l'intervento di manutenzione duri meno di t periodi;
- Ipotizzando che il tasso di riparazione μ sia costante e noto, $M(t)$ assume la forma seguente:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu^*t}$$

COMPONENTI ISOLATI: RIPARABILI AUTOEVIDENZIANTI

Riprendendo la denominazione prima introdotta, e cioè:

- Definito Mean Time Between Failure (MTBF) il tempo che intercorre tra due guasti, $z=1/\text{MTBF}$;
- Definito Mean Down Time (MDT) il tempo medio di riparazione del componente (include i tempi tecnici di intervento + le attese), $\mu = 1/\text{MDT}$

l'espressione di A si riformula come segue:

$$A(\infty) = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MDT})$$

Questa scrittura esprime correttamente una percentuale di tempo di utilizzo rispetto al generico ciclo (utilizzo+riparazione).

COMPONENTI ISOLATI: RIPARABILI NON AUTOEVIDENZIANTI

Sia per semplicità:

- Mean Time Between Failure (MBTF) il tempo medio al guasto;
- Mean Time To Test (MTTT) il tempo che mediamente intercorre tra due messe in prova del componente riparabile non autoevidenziante in esame.

E' possibile dimostrare che, per questa tipologia di componenti, l'espressione di A è funzione di MTTT/MBTF e, in casi particolari, si formula come segue:

$$A(\infty) = 1 - (MTTT / 2*MBTF)$$

AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI SINGOLI: SINTESI FINALE

In conclusione, sono state introdotte le seguenti grandezze rilevanti per l'analisi statistica:

- Componenti non riparabili nel tempo di missione:
 - $R(t) = e^{-1/MTTF \cdot t}$;
 - Il parametro t va scelto in accordo con la missione in esame;
- Componenti riparabili a guasto autoevidenziante:
 - $A(\infty) = MTBF / (MTBF + MDT)$
- Componenti riparabili a guasto non autoevidenziante:
 - $A(\infty) = 1 - (MTTT / 2 \cdot MTBF)$.

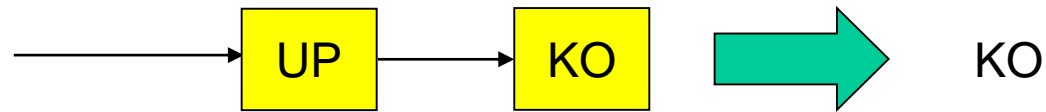
AFFIDABILITÀ DEI SISTEMI DI COMPONENTI

Un sistema di componenti si può classificare in base:

- Al modo in cui sono interconnessi i componenti:
 - Sistema serie: tutti i componenti devono funzionare perché il sistema funzioni;
 - Sistema parallelo: è sufficiente che un componente funzioni perché il sistema funzioni;
- Alla modalità operativa di eventuali componenti in stand-by (solo sistemi parallelo):
 - Stand-by freddo: nel caso in cui il componente di riserva sia disattivo quando il componente normale è operativo;
 - Stand-by caldo: nel caso in cui il componente di riserva sia comunque utilizzato, magari a regime ridotto, quando il componente normale è operativo. In questo modo il componente di riserva è subito pronto ad intervenire.

SISTEMI DI COMPONENTI IN SERIE

In un sistema “in serie” tutti i componenti devono essere contemporaneamente funzionanti perché il sistema sia in stato di UP.



- Componenti non riparabili: $R_{\text{система}}(t) = \prod_i R_i(t)$
- Componenti riparabili: $A_{\text{система}} = \prod_i A_i$

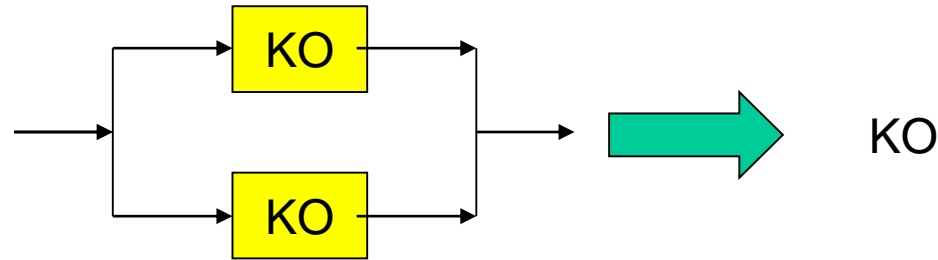
esempio: sistema caldaia + pompa

$$A_s = A_c \times A_p$$

l'affidabilità del sistema è minore di quella dei singoli componenti

SISTEMI DI COMPONENTI IN PARALLELO

In un sistema “in parallelo” è sufficiente che almeno un componente sia funzionante perché il sistema sia in stato di UP.



- Componenti non riparabili: $R_{\text{система}}(t) = 1 - \prod_i (1 - R_i(t))$
- Componenti riparabili: $A_{\text{система}} = 1 - \prod_i (1 - A_i)$

esempio: due caldaie in parallelo, una di riserva all'altra

$$A_s = 1 - (1 - A_c)^2$$

l'affidabilità del sistema è maggiore di quella dei singoli componenti

SISTEMI DI COMPONENTI IN SERIE E PARALLELO

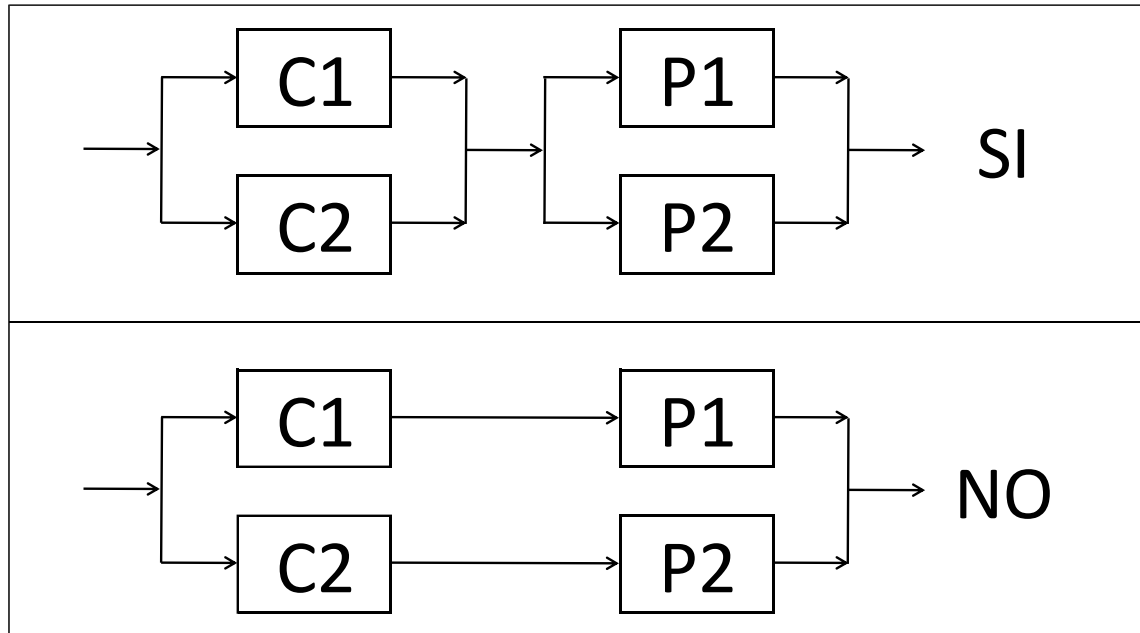
Esempio

Due caldaie in parallelo per avere riserva, in serie a due pompe in parallelo per avere riserva anche su queste.

Per il calcolo dell'affidabilità del sistema si combinano le formule delle pagine precedenti.

Siccome il raddoppio di uno dei due componenti aumenta in modo notevole l'affidabilità del sistema, se si raddoppia solo il componente a minor costo (pompa) si ottiene comunque un notevole vantaggio, a costo contenuto.

SISTEMI DI COMPONENTI IN SERIE E PARALLELO



La seconda soluzione è sconsigliata, perché un guasto incrociato (esempio: caldaia C1 e pompa P2) rende inservibile l'intero sistema.

VALUTAZIONE ECONOMICA

L'analisi della convenienza di un investimento nel miglioramento delle prestazioni affidabilistiche di un impianto si esegue valutando:

- Incremento costo impianto (es. nuova pompa);
- Incremento costo esercizio;
- Riduzione costo opportunità disservizio:
 - Se l'impianto era saturo, eliminazione perdita di margine;
 - Se l'impianto era insaturo, eliminazione costi differenziali di recupero produzione;
 - Fattori soft (mancato ritardo a cliente e guadagno di immagine).