

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

(CLASSE DELLE LAUREE MAGISTRALI LM-35)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

TESI DI LAUREA *ANALISI DI AFFIDABILITA' DI ELETTROPOMPE INDUSTRIALI*

RELATORE:

Ch.mo Prof. Ing. Armando Carravetta

Ch.mo Prof. Ing. Giuseppe Del Giudice

CANDIDATO:

Antonio Gaudio

Matr. M67/11

Anno Accademico 2012-2013

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo lo studio dell'affidabilità di alcune elettropompe industriali prodotte dall'industria Caprari S.p.A., con sede a Modena.

L'elaborato propone una prima fase di classificazione generale delle pompe idrauliche suddividendole in base alla tipologia di funzionamento, alla trasmissione dell'energia e alla disposizione delle giranti, con una breve analisi delle grandezze caratteristiche quali: potenza, rendimento e prevalenza manometrica.

Successivamente, la fase di raccolta dei dati presso l'azienda ha riguardato lo studio degli avvisi post-vendita delle varie tipologie di macchine idrauliche in assistenza; operazione gestita prevalentemente attraverso l'uso di un programma dedicato, il SAP.

Tale database è organizzato secondo dei codici. Ad ogni codice corrisponde una famiglia di macchine, e ad ogni sottocodice è associato a sua volta un particolare modello o un componente dell'elettropompa.

Una volta estrapolati i dati, è emersa la possibilità di migliorare la fase di elaborazione degli stessi, riclassificandoli secondo dei nuovi codici; in base alla tipologia di componente (Tabella 1) e non più secondo la tipologia di guasto.

Nuovi Codici	Guasto componente
A001	Avvolgimento/Statore
A002	Cavi
A003	Cuscinetti
A004	Mandata/Aspirazione
A005	Rotore
A006	Tenuta Meccanica
A007	Perdita Olio
A008	Giranti
A009	Ingresso Acqua
A010	Motore
A011	Albero Pompa
A012	Spinotti
A013	Gruppo Reggispinta

Tabella 1

Dopo la riorganizzazione secondo i nuovi codici è stato possibile analizzare gli andamenti dei guasti complessivi, per il periodo di riferimento che va dal 2008 al 2012, ed è stata studiata l'affidabilità dei componenti idraulici ed elettrici mediante l'applicazione del modello statistico di Weibull, basandosi sui concetti di "Life Cycle Cost" proposti da H. Paul Barringer.

L'obiettivo di analisi del LCC è quello di scegliere l'approccio più conveniente tra una serie di alternative in modo che sia raggiunto il costo minimo di lungo periodo. Esso è fortemente influenzato dalle pratiche di installazione, dal grado di utilizzazione delle attrezzature e dalle pratiche di manutenzione attuate.

Sono stati introdotti i concetti base per lo studio dell'affidabilità dei sistemi di ingegneria idraulica; prima fra tutte, la funzione di Weibull, una funzione a due parametri che viene spesso utilizzata per esprimere la funzione affidabilità sia durante la fase dei guasti "infantili", sia durante la vita utile di un componente.

La funzione è caratterizzata da due parametri α e β positivi:

- α esprime la vita caratteristica (tempo);
- β rappresenta il parametro di forma (numero puro), generalmente compreso tra 0,5 e 5. Se $\beta < 1$, la funzione è monotona decrescente, se $\beta > 1$, prima cresce e poi decresce.

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

$$R(t) = e^{-(t/a)^\beta}$$

mentre il complemento all'affidabilità viene espresso come:

$$F(t) = 1 - e^{-(t/a)^\beta}$$

che rappresenta appunto l'inaffidabilità.

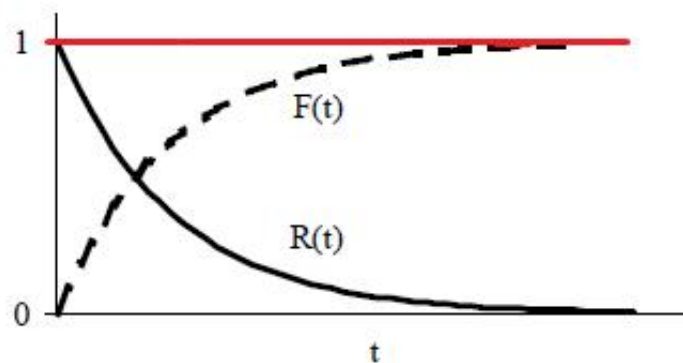


Figura 2

Altro concetto utile al fine di valutare l'affidabilità per i sistemi riparabili, che solo da pochi anni è entrato stabilmente tra i criteri di progettazione, è quello di manutenibilità, definita come la facilità con cui un componente del sistema viene ripristinato ad uno stato funzionante.

Nel caso di componenti riparabili diventa fondamentale il parametro che esprime il tempo medio tra i guasti, definito come il tempo in cui entra in funzione ed il suo guasto. Può essere espresso matematicamente come:

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

dove, $R(t)$, rappresenta appunto l'affidabilità.

Nell'ipotesi che il tasso di guasto $h(t)$ sia costante, ovvero che il componente non conosca fenomeni di rottura precoce o usura si ha:

$$MTTF = \frac{1}{h(t)} = a$$

Quindi basandosi sui nuovi dati e sul concetto di "Life Cycle cost" proposto da Barringer, si è valutata l'affidabilità dei componenti idraulici ed elettrici, utilizzando tre modelli di macchine: ANSI, ANSI Enhanced e API.

ANSI			ANSI Enhanced			API		
inherent component reliability			inherent component reliability			inherent component reliability		
	beta(β)	eta(η)	ANSI Enhanced	beta(β)	eta(η)	API	beta(β)	eta(η)
	shape factor	location factor (ore)		shape factor	location factor (ore)		shape factor	location factor (ore)
Impeller	2,5	300000	Impeller	2,5	300000	Impeller	2,5	400000
Housing	1,3	300000	Housing	1,3	300000	Housing	1,3	400000
Pump Bearing	1,3	100000	Pump Bearing	1,3	200000	Pump Bearing	1,3	400000
Seals	1,4	100000	Seals	1,4	200000	Seals	1,4	400000
Shafts	1,2	300000	Shafts	1,2	300000	Shafts	1,2	400000
Coupling	2	100000	Coupling	2	100000	Coupling	2	300000
Motor Bearing	1,3	150000	Motor Bearing	1,3	150000	Motor Bearing	1,3	150000
Motor Windings	1	150000	Motor Windings	1	150000	Motor Windings	1	150000
Motor Rotor	1	300000	Motor Rotor	1	300000	Motor Rotor	1	300000
Motor Starter	1,2	300000	Motor Starter	1,2	300000	Motor Starter	1,2	300000

Figura 3

PARTE ELETTRICA

PARTE IDRAULICA

Per ogni modello è stato valutato il tempo medio fra i guasti e l'affidabilità per un periodo di due anni, in cui ricade l'assistenza delle elettropompe. Infine si è valutato il rapporto tra l'affidabilità dei componenti idraulici e quelli elettrici, così come mostrato in figura 4.

inherent component reliability						Rapporto tra parte idraulica e parte elettrica
ANSI	beta(s)	eta(y)	MTTF (anni)= $\eta * \Gamma(1+1/\beta)$	R(2)=exp(-t/MTTF)	Σ	1,441
	shape factor	location factor (ore)				
Impeller	2,5	300000	30,385	0,936	5,287	
Housing	1,3	300000	31,629	0,938		
Pump Bearing	1,3	100000	10,543	0,827		
Seals	1,4	100000	10,404	0,825		
Shafts	1,2	300000	32,214	0,939		
Coupling	2	100000	10,116	0,820		
Motor Bearing	1,3	150000	15,814	0,881	3,654	
Motor Windings	1	150000	17,123	0,889		
Motor Rotor	1	300000	34,246	0,943		
Motor Starter	1,2	300000	32,214	0,939		

inherent component reliability						Rapporto tra parte idraulica e parte elettrica
ANSI Enhanced	beta(s)	eta(y)	MTTF (anni)= $\eta \cdot \Gamma(1+1/\beta)$	R(2)=exp(-t/MTTF)	Σ	1,492
	shape factor	location factor (ore)				
Impeller	2,5	300000	30,385	0,936	5,453	
Housing	1,3	300000	31,629	0,938		
Pump Bearing	1,3	200000	21,086	0,909		
Seals	1,4	200000	20,808	0,908		
Shafts	1,2	300000	32,214	0,939		
Coupling	2	100000	10,116	0,820		
Motor Bearing	1,3	150000	15,814	0,881	3,654	
Motor Windings	1	150000	17,123	0,889		
Motor Rotor	1	300000	34,246	0,943		
Motor Starter	1,2	300000	32,214	0,939		

inherent component reliability						Rapporto tra parte idraulica e parte elettrica
API	beta(s)	eta(y)	MTTF (anni)= $\eta \cdot \Gamma(1+1/\beta)$	R(2)=exp(-t/MTTF)	Σ	1,560
	shape factor	location factor (ore)				
Impeller	2,5	400000	40,514	0,951	5,703	
Housing	1,3	400000	42,172	0,953		
Pump Bearing	1,3	400000	42,172	0,953		
Seals	1,4	400000	41,617	0,953		
Shafts	1,2	400000	42,952	0,954		
Coupling	2	300000	30,350	0,936		
Motor Bearing	1,3	150000	15,814	0,881	3,654	
Motor Windings	1	150000	17,123	0,889		
Motor Rotor	1	300000	34,246	0,943		
Motor Starter	1,2	300000	32,214	0,939		

Figura 4

Confrontando i dati ottenuti dai tre modelli e quelli delle elettropompe analizzate dopo la riorganizzazione dei dati si può notare, come mostrato nella figura 5, che, per quanto riguarda le pompe idrauliche sommerse ed i relativi motori, nell'arco dei cinque anni, il rapporto tra la parte idraulica e quella motoristica è risultata sempre inferiore all'unità, ciò significa che l'affidabilità dei motori di queste macchine ne pregiudica molto il funzionamento.

2008						
P.I. Sommerse	Motori Sommersi	Rapporto		Serie P Monoblocco Orizzontali	Motore elettrico	Rapporto
3	25	0,120		5	0	0

2009						
P.I. Sommerse	Motori Sommersi	Rapporto		Serie P Monoblocco Orizzontali	Motore elettrico	Rapporto
3	32	0,093		23	0	0

2010						
P.I. Sommerse	Motori Sommersi	Rapporto		Serie P Monoblocco Orizzontali	Motore elettrico	Rapporto
1	28	0,035		14	3	4,667

2011						
P.I. Sommerse	Motori Sommersi	Rapporto		Serie P Monoblocco Orizzontali	Motore elettrico	Rapporto
4	33	0,121		17	1	17

2012						
P.I. Sommerse	Motori Sommersi	Rapporto		Serie P Monoblocco Orizzontali	Motore elettrico	Rapporto
7	15	0,466		20	4	5

Figura 5

Al contrario, per quanto riguarda i dispositivi che lavorano con acque chiare di superficie, i motori sono soggetti a minori rotture. Inoltre il rapporto tra parte idraulica e motore, è di gran lunga superiore all'unità, sintomo che il corpo pompa è più soggetto a guasti, almeno nel periodo di tempo in cui rientra la garanzia.

In conclusione si può affermare che dopo la riorganizzazione dei dati secondo i nuovi codici, si osserva, dallo studio dell'affidabilità tramite i modelli statistici proposti da Barringer, che le pompe idrauliche sommerse presentano maggiori guasti inerenti la parte elettrica, mentre quelle orizzontali, le monoblocco e le serie P, mostrano guasti prevalenti nella parte idraulica.