

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



TESI MAGISTRALE

**Processo di digitalizzazione e realizzazione del piano manutentivo dello stabilimento
SKF di Moncalieri con l'applicazione della manutenzione predittiva ai mandrini**

Relatori:

Prof. Cristiana Delprete

Ing. Vittorio Zanella (SKF INDUSTRIE S.p.A)

Candidato:

Nicola Donato

A.A 2020/2021

Abstract

L'elaborato vuole esporre l'attività che è stata svolta presso lo stabilimento di SKF industrie SPA di Moncalieri. Nel primo capitolo viene affrontato l'argomento della digitalizzazione, prestando particolare attenzione a tale processo all'interno dell'azienda.

Brevemente nel secondo capitolo si vuole descrivere la definizione di un piano di manutenzione ottimizzato, nonché la procedura che si è adottata per arrivare al risultato finale. Innanzitutto, sono stati identificate, mappate e caratterizzate tutte le macchine e tutti gli impianti facenti parte dello stabilimento. Si è cercato di capire quali funzioni svolgono tali macchine e la loro frequenza lavorativa. Dopo di che, si è voluto definire un criterio per analizzare le criticità delle macchine. Successivamente è stata utilizzata la metodologia FMECA. Mediante tale tecnica, sono state identificate le macchine principali sulle quali prestare maggior attenzione. Sono state studiate, inoltre, le diverse politiche manutentive per poi definire quali di esse possono essere calate nella realtà dello stabilimento SKF di Moncalieri per definire il miglior piano manutentivo. Infine, l'ultima parte è incentrata sul tema del condition monitoring, che viene fattivamente applicato ai mandrini, utilizzando le vibrazioni misurate dai sensori come parametro di controllo.

INDICE

Capitolo 1	1
La digitalizzazione	1
1.1 La digitalizzazione aziendale	1
1.2 La digitalizzazione in SKF Industrie.....	2
1.3 Processo di digitalizzazione nel sito di SKF di Moncalieri	3
Capitolo 2	6
L'importanza della manutenzione	6
2.1 Ingegneria della manutenzione.....	6
2.2 Le metodologie RCM e SRCM.....	8
2.3 Analisi delle criticità	9
2.4 FMECA	12
2.5 Strategie manutentive.....	16
2.5.1 Manutenzione a rottura.....	16
2.5.2 Manutenzione preventiva	16
2.5.3 Manutenzione predittiva.....	17
2.5.4 Condition monitoring	17
2.5.5 Manutenzione proattiva.....	18
2.5.6 Tempistiche di manutenzione.....	19
2.6 Costi di manutenzione	20
2.6.1 Analisi costi manutenzione a rottura	20
2.6.2 Analisi costi manutenzione preventiva	20
2.6.3 Analisi costi manutenzione predittiva	25
2.6.4 Analisi costi manutenzione proattiva	26
2.7 Indicatori della manutenzione	26
2.8 Condition monitoring: analisi vibrazionale.....	27
Capitolo 3	37
Caso SKF INDUSTRIE SPA stabilimento di Moncalieri.....	37
3.1 SKF nello stabilimento di Moncalieri	37
3.2 Mappatura dei macchinari dello stabilimento	38
Capitolo 4	62
Definizione piano manutentivo alle macchine dello stabilimento	62
4.1 Analisi delle criticità macchine dello stabilimento	62
4.2 Modalità e cause di guasto	62
4.2.1 Modalità e cause di guasto pompe	63
4.2.2 Modalità e cause di guasto motori elettrici	68
4.2.3 Modalità e cause guasto dei cuscinetti	70

4.3 Analisi FMECA e piano manutenzione macchine	76
4.3.1 Scheda di gestione della manutenzione.....	156
4.4 Analisi FMECA del processo.....	156
Capitolo 5	159
Condition Monitoring vibrazionale	159
5.1 Tecnica del Condition Monitoring vibrazionale applicato ai mandrini	159
Conclusioni.....	170
Bibliografia.....	171

INDICE FIGURE E TABELLE

Fig.1.1 Archivio Mandrino.....	4
Fig.1.2 Ricerca per cliente.....	4
Fig.1.3 Ricerca per brand	4
Fig.1.4 Ricerca per data di arrivo	5
Fig.1.5 Ricerca per identificativo	5
Fig.2.1 Grafico Ingegneria-Prevenzione	7
Fig.2.2 Steps strategia SRCM	9
Fig.2.3 Matrice decisionale per la caratterizzazione degli asset	10
Fig.2.4 Schema del processo decisionale	11
Tab.2.1 "Occurance"	12
Tab.2.2 "Detectability"	13
Tab.2.3 "Severity"	14
Tab.2.7 Procedura FMECA.....	15
Fig.2.5 Manutenzione proattiva	18
Fig.2.6 Grafico tempi produzione	19
Fig.2.7 Grafico tempi strategie manutentive.....	20
Fig.2.8 Manutenzione preventiva a periodo.....	21
Fig.2.9 Manutenzione preventiva costante.....	21
Fig.2.10 Grafico a vasca da bagno	23
Fig.2.12 Sistema massa molla smorzatore	28
Fig.2.13 Oscillazioni libere	29
Fig.2.14 Sistema sottosmorzato	29
Fig.2.15 Sistema criticamente smorzato	30
Fig.2.16 Sistema sovrasmorzato.....	30
Fig.2.17 Risposta in frequenza.....	31
Fig.2.18 Segnali: analogici e digitali.....	33
Fig.2.19 Schema accelerometro piezoelettrico	34
Fig.2.20 Risposta in frequenza del sensore	35
Fig.2.21 Linee guida vibrazioni	35
Fig.3.1 Banco prova per analisi riduttori.....	38
Fig.3.2 Pressa idraulica	39
Fig.3.3 Sealjet.....	40
Fig.3.4 Profili Sealjet	41
Fig.3.5 Safety Kleen.....	41
Fig.3.6 Lavatrice Caber.....	42
Fig.3.7 Centralina Idraulica.....	43
Fig.3.8 Impianto idraulico	43
Fig.3.9a Banco piantaggio guarnizioni	44
Fig.3.9b Banco piantaggio guarnizioni	44
Fig.3.10a Banco assemblaggio alberi	45
Fig.3.10b Banco assemblaggio alberi	45
Fig.3.11 Marcatura Gravotech	46
Fig.3.12 Macchina prova giochi assiali.....	46
Fig.3.13a Tornio parallelo	47
Fig.3.13b Tornio parallelo	47
Fig.3.14a Tornio parallelo	47
Fig.3.14b Tornio parallelo	47

Fig.3.15 Fresatrice CNC.....	48
Fig.3.16a Rettificatrice.....	49
Fig.3.16b Rettificatrice.....	49
Fig.3.17 Lavorazione di rettifica per interni (1).....	49
Fig.3.18 Testa porta pezzo (1).....	50
Fig.3.19 Schema centrale di filtraggio	52
Fig.3.20 Rettificatrice.....	52
Fig.3.21 Lavorazione di rettifica per esterni (1).....	53
Fig.3.22 Testa portamola (2).....	53
Fig.3.23 Lapidello ATHENA.....	54
Fig.3.24 Lapidello DI PALO.....	55
Fig.3.25 Affilatrici utensili.....	56
Fig.3.26 Segatrice.....	57
Fig.3.27 Sabbiatrice.....	57
Fig.3.28 Forno Votsch.....	58
Fig.3.29 Macchina da lavaggio Bonfiglio	59
Fig.3.30 Pressa elettroidraulica	59
Fig.3.31a Equilibratrice dinamica	60
Fig.3.31b Equilibratrice dinamica.....	60
Fig.3.31c Equilibratrice dinamica	60
Fig.3.31d Equilibratrice dinamica.....	60
Fig.3.32a Banchi prova mandrini.....	61
Fig.3.32b Banchi prova mandrini.....	61
Tab.4.1 Analisi delle criticità	62
Tab.4.2 Componentistica pompe.....	63
Tab.4.3a Modalità di guasto pompe	64
Tab.4.3b Modalità di guasto pompe.....	66
Tab.4.3c Modalità di guasto pompe	66
Fig.4.1a Affidabilità Vibrazioni	67
Fig.4.1b Inaffidabilità Vibrazioni.....	67
Fig.4.2a Affidabilità considerando tutte le modalità di failure	67
Fig.4.2b Affidabilità considerando tutte le modalità di failure	67
Tab.4.4 Componentistica motori elettrici.....	68
Tab.4.5a Modalità di guasto motori elettrici	69
Tab.4.5b Modalità di guasto motori elettrici.....	70
Fig.4.3a Usura anello interno cuscinetto a sfere	71
Fig.4.3b Usura anello esterno cuscinetto a sfere.....	71
Fig.4.4 Usura per scarsa lubrificazione	71
Fig.4.5 Usura causa vibrazioni	72
Fig.4.6a Impronte	72
Fig.4.6b Impronte.....	73
Fig.4.7a Riporto.....	73
Fig.4.7b Riporto	74
Fig.4.8 Fatica superficiale	74
Fig.4.9a Corrosione	75
Fig.4.9b Corrosione.....	75
Fig.4.10 Passaggio di corrente	75
Fig.4.11 Sfaldamento	76
Fig.4.12 Frattura.....	76
Tab.4.6 FMECA Rettificatrici.....	81

Fig.4.13 Pareto Rettificatrici	82
Tab.4.7 Piano manutenzione Rettificatrice	86
Tab.4.8 Piano manutenzione Depuratore di fluidi	86
Tab.4.9 Piano manutenzione Pompe centrifughe	87
Tab.4.10 FMECA Lavatrice a catena	94
Fig.4.14 Pareto Lavatrice a catena	95
Fig.4.15 Pompa peristaltica	96
Fig.4.16 Depuratore di fluidi (1)	97
Tab.4.11 Piano manutenzione Lavatrice a catena	100
Tab.4.12 Piano manutenzione Pompe centrifughe	101
Tab.4.13 Piano manutenzione Pompa MiniBoxer	102
Tab.4.14 Piano manutenzione pompa peristaltica	102
Tab.4.15 Piano manutenzione separatore d'olio	103
Tab.4.16 Piano manutenzione riduttore cilindrico	104
Fig.4.17 Intervalli di sostituzione lubrificante	104
Tab.4.17 Piano manutenzione depuratore di fluidi	105
Tab.4.18 Piano manutenzione Equilibratrici	107
Fig.4.18 Pareto Equilibratrici	107
Tab.4.19 Piano manutenzione Equilibratrici	108
Tab.4.20 FMECA Piano manutenzione Lavatrice Sirio	111
Fig.4.19 Pareto Lavatrice Sirio	112
Tab.4.21 Piano manutenzione Lavatrice Sirio	114
Tab.4.22 FMECA Fresatrice	119
Fig.4.20 Pareto fresatrice	119
Tab.4.23 Piano manutenzione Fresatrice	121
Tab.4.24 Piano manutenzione Evacuatore di trucioli	122
Tab.4.25 Piano manutenzione autocentrante	123
Tab.4.26 Piano manutenzione Sistema di cambio utensile	124
Tab.4.27 Piano manutenzione Refrigeratori	125
Tab.4.28 Piano manutenzione Tavola a dividere modulare	125
Tab.4.29 FMECA Tornio	128
Fig.4.21 Pareto Torni	129
Tab.4.30 Piano manutenzione Torni	132
Tab.4.31 FMECA Segatrice	137
Fig.4.22 Pareto segatrice	137
Tab.4.32 Piano manutenzione Segatrice	139
Tab.4.33 FMECA Macchine prova giochi assiali	140
Fig.4.23 Pareto Macchine prova giochi assiali	141
Tab.4.34 Piano manutenzione Prova giochi assiali	141
Tab.4.35 FMECA Presse	142
Fig.4.24 Pareto presse	143
Tab.4.36 Piano manutenzione Presse	144
Tab.4.37 FMECA Centralina idraulica	145
Fig.4.25 Pareto Centralina idraulica	145
Tab.4.38 Piano manutenzione Centralina idraulica	146
Tab.4.39 Piano manutenzione Lapidelli	148
Tab.4.40 FMECA Sabbiatrice	149
Fig.4.26 Pareto Sabbiatrice	149
Tab.4.41 Piano manutenzione Sabbiatrice	150
Tab.4.42 Piano manutenzione Safety kleen	150

Tab.4.43 Banco prova riduttori	151
Tab.4.44 Piano manutenzione elettroaspiratori.....	152
Tab.4.45 Piano manutenzione banco assemblaggio alberi.....	153
Tab.4.46 Piano manutenzione banchi di collaudo mandrini	154
Tab.4.47 Piano manutenzione SEALJET e forno VOTSCH	154
Tab.4.48 Scheda di manutenzione.....	156
Tab.4.49 FMECA Processi.....	157
Fig.4.27 Pareto processi	158
Fig.5.1a Test LKG60	160
Fig.5.1b Test LKG60	160
Fig.5.1c Test LKG60.....	160
Fig.5.2 Spettro in velocità DE 10000rpm	161
Fig.5.3 Spettro in velocità NDE 10000rpm.....	161
Fig.5.4 Spettro in accelerazione DE 10000rpm	161
Fig.5.5 Spettro in accelerazione NDE 10000rpm	162
Fig.5.6 Inviluppo DE 10000rpm	162
Fig.5.7 Inviluppo NDE 10000 rpm	162
Fig.5.8 Spettro in velocità DE 15000rpm	163
Fig.5.9 Spettro in velocità NDE 15000rpm.....	163
Fig.5.10 Spettro in accelerazione DE 15000rpm	163
Fig.5.11 Spettro in accelerazione NDE 15000rpm	163
Fig.5.12 Inviluppo DE 15000rpm	164
Fig.5.13 Inviluppo NDE 15000rpm	164
Fig.5.14 Spettro in velocità 1000rpm.....	165
Fig.5.15 Waterfall velocità 1000rpm	165
Fig.5.16 Trend velocità 1000rpm.....	166
Fig.5.17 Spettro in accelerazione 1000rpm.....	167
Fig.5.18 Waterfall accelerazione 1000rpm	167
Fig.5.19 Trend accelerazione1000rpm.....	167
Fig.5.20 Inviluppo 1000rpm.....	168
Fig.5.21 Zoom inviluppo 1000rpm	168
Fig.5.22 Waterfall inviluppo 1000rpm.....	169
Fig.5.23 Trend inviluppo 1000rpm	169

Capitolo 1

La digitalizzazione

1.1 La digitalizzazione aziendale

La digitalizzazione è un fenomeno che cerca di migliorare i processi aziendali; in particolare, lo scopo è quello di semplificarli così da rendere il lavoro del personale più agevole.

Nel momento in cui l'azienda si avvicina verso la digitalizzazione, si deve tenere presente che bisogna trasformare il modo di lavorare usufruendo della tecnologia per rendere i processi digitali. In questo modo le attività aziendali si semplificano e si velocizzano.

Il ricorso alla digitalizzazione comporta uno snellimento di molte procedure; così, ad esempio, si può ottenere rapidità di comunicazioni fra il personale interno all'azienda e, soprattutto, con i clienti e i fornitori. O ancora, avere a disposizione dei registri digitali, consente di annullare tempi morti per la ricerca di informazioni, ed il personale risulta essere più organizzato ad interloquire con i clienti, con i fornitori e con il personale addetto al processo. L'importanza della digitalizzazione, soprattutto in un periodo storico di pandemia mondiale, come quello in cui ci troviamo, appare di notevole importanza.

Difatti, per tutte le aziende che avevano già intrapreso un percorso di trasformazione digitale, è stato più semplice proseguire il loro lavoro. Ciò significa che la dotazione aziendale di una rete intranet, di un proprio cloud protetto da minacce esterne, non solo ha favorito lo smart working, evitando il sovraffollamento in ufficio, ma allo stesso tempo ha consentito la prosecuzione del lavoro. Anche le riunioni sono diventate virtuali e tutto questo fa parte di un processo di digitalizzazione.

Tenere traccia digitale di tutti i dati aziendali è fondamentale sia per effettuare delle post analisi che per individuare eventuali perdite ma, soprattutto, per poter analizzare i processi anche con metodi statistici. Da qui, si evince la grande importanza dell'evoluzione digitale; tutte le analisi del caso, possono essere effettuate solo nel momento in cui si ha una facile reperibilità dei dati, ottenibile solo educando i dipendenti al digitale.

La reperibilità dei dati è fondamentale nelle dinamiche aziendali poiché consente di determinarne il rendimento dei processi. Molte aziende utilizzano gli strumenti di Big Data Analytics in modo tale da poter effettuare delle analisi su grandissime quantità di dati per migliorare l'efficacia dei processi. Essendo in possesso di Big Data è, inoltre possibile condurre

delle analisi predittive, in modo tale da poter creare dei modelli atti a predire avvenimenti per rendere il più efficienti possibile i processi aziendali. Gli strumenti principali di Big Data Analytics sono: “*archiviazione e gestione dei dati, pulizia dei dati, estrazione dei dati, analisi dei dati, visualizzazione dei dati, integrazione dei dati e raccolta dei dati*”.

Un esempio concreto dell’importanza dei Big data è l’ottimizzazione dell’efficienza di un parco macchinari di un’industria. L’installazione di sensori, quali ad esempio accelerometri o sonde termiche, permette di ottenere delle informazioni sul funzionamento delle macchine. È possibile acquisire queste informazioni (quindi i dati) per poi contenerli su un cloud. In seguito, avendo a disposizione una grande quantità di dati, si possono effettuare delle analisi predittive in modo da predire il funzionamento della macchina e valutarne la manutenzione, in modo da ottimizzare tempi e costi. Questo è uno dei punti che verrà trattato nel capitolo seguente quando si tratterà il tema della manutenzione.

L’introduzione di sensori in linea produttiva permette di valutare la qualità dei componenti realizzati analizzando i dati acquisiti. Così la verifica di qualità di un lotto non viene più effettuata su una parte del lotto, bensì su tutti i pezzi facenti parte del lotto.

Sebbene il processo di digitalizzazione abbia notevoli vantaggi, uno dei problemi può essere la riservatezza dei dati. Talvolta, è necessario introdurre delle procedure di sicurezza per fare in modo che i dati presenti negli archivi digitali e nei vari cloud siano protetti. Si prevedono, infatti, delle reti sicure dove solo il personale autorizzato può accedervi, in modo tale da garantire la riservatezza dei dati nei confronti di terzi.

1.2 La digitalizzazione in SKF Industrie

L’SKF ha capito già da tempo l’importanza della digitalizzazione e dell’evoluzione digitale. I dipendenti possono contare su una rete interna e su archivi digitali che consentono semplicità e velocità nel loro lavoro. Si cerca sempre di migliorare lo scambio di dati e di informazioni tra i dipendenti, ma anche e soprattutto con i clienti e i fornitori. A tal proposito si possono citare delle applicazioni tra cui, per esempio, “*Bearing Assist*” che aiuta il cliente a scegliere la giusta tipologia di cuscinetto in base alle proprie esigenze. È possibile scegliere il tipo di cuscinetto tra una vasta scelta, tra cui per esempio: “*Angular contact ball bearing, CARB torodial roller bearing, Insert bearing, ...*”. Il cliente può introdurre delle dimensioni caratteristiche per la scelta del cuscinetto. Un’ altra app che viene in ausilio al cliente è “*SKF Bearing Calculator*”. Il cliente può interagire con l’app inserendo dei dati del suo progetto, tra cui per esempio il carico minimo, la lubrificazione, forze dinamiche, influenza del carico, intervalli di

rilubrificazione, ecc...”. L’app, ottenendo alcune di queste informazioni in input è in grado di aiutare il cliente nella scelta dei cuscinetti. Inoltre, prevede la vita del cuscinetto, informazione fondamentale per il progettista.

Ricollegandoci all’argomento trattato nel precedente paragrafo, il Big Data Analytics, un servizio offerto da SKF è la diagnostica in remoto. Nell’ottica dell’industria 4.0 e dell’Industrial Internet of Things, cioè l’interconnessione delle macchine, lo scopo è quello di prelevare la maggior quantità possibile di dati dalle macchine, per poi ricavare delle informazioni utili per ottimizzare i processi produttivi, nonché monitorare le prestazioni della macchina per introdurre la miglior logica manutentiva.

A tal proposito nasce il “Remote Diagnostic Centre” sito nella Solution Factory di Moncalieri, un centro dove vengono analizzati i dati provenienti dalle macchine dei clienti.

In particolare, SKF offre ai clienti, come servizio, l’installazione di sistemi SKF IMX nelle macchine rotanti dei clienti. Tali centraline, tramite dei sensori quali, ad esempio, accelerometri e sonde termiche prelevano dati significativi dalle macchine e li caricano sul cloud, tra cui il più significativo è lo spettro vibrazionale.

Contestualmente i tecnici SKF sono in grado di analizzare i dati prelevati informando il cliente sullo stato delle macchine, sulla loro efficienza e sull’eventuale manutenzione da effettuare.

1.3 Processo di digitalizzazione nel sito di SKF di Moncalieri

In tema di digitalizzazione, l’obiettivo è stato quello di ricercare un metodo per caratterizzare e gestire la documentazione riguardante i mandrini. In particolare, la documentazione cartacea in possesso consiste in disegni complessivi e particolari di mandrini.

A tal proposito, è stato creato un archivio facilmente consultabile dal personale SKF. Come anticipato precedentemente, lo stabilimento SKF offre come servizio quello della revisione dei mandrini. Difatti, i mandrini malfunzionanti e danneggiati vengono spediti dai clienti affinché vengano revisionati. I mandrini vanno smontati, ispezionati in modo tale da poter definire le riparazioni che devono essere effettuate. L’archivio relativo ai mandrini contiene informazioni relative al numero di commessa, alla matricola del disegno con la sua descrizione, alla data di arrivo in azienda e alle lavorazioni e/o modifiche effettuate. Gli attori principali che partecipano al servizio di revisione mandrini sono: il venditore del servizio, il cui compito consiste nel definire un’offerta da proporre al cliente, in modo tale che quest’ultimo possa valutarla; l’ufficio acquisti che si occupa dell’acquisto di componenti nuovi del mandrino da sostituire; il capo officina che deve coordinare gli operatori e definire il numero di ore che occorrono per la revisione così da poter stimare i costi di intervento; infine, gli operatori che eseguono gli

interventi di revisione e stipulano una relazione definendo i componenti da sostituire e gli interventi che devono essere eseguiti. L'attività svolta durante il tirocinio è stata quella di definire una modalità di archiviazione delle informazioni utili a tutti gli attori precedentemente citati. È stato sviluppato un database Access che consente di archiviare i dati. Sono state generate delle maschere in modo da poter effettuare diverse ricerche. Si è compreso che in base al proprio compito, il personale che collabora per la revisione dei mandrini, ha la necessità di effettuare delle ricerche diverse all' interno del database. Sono stati, pertanto, identificati 4 campi di ricerca tra cui: il nome del cliente, il brand (nome del disegno), l'identificativo (n° di commessa) e la data di arrivo.

Per esempio, il venditore del servizio è, perlopiù, interessato alla ricerca del nome del cliente e del numero di commessa. Invece, gli operatori sono maggiormente interessati al brand (nome del disegno) poiché diversi clienti possono avere in riparazione lo stesso tipo di mandrino. Si riportano di seguito in fig.1.1,1.2,1.3,1.4,1.5 estratti dell'archivio.

CLIENTE	BRAND	IDENTIFICATIVO	DATA_DI_ARRIVO	
BOSCH	BOSCH ABB	R01957	30/03/17	📄(3)

Fig.1.1 Archivio Mandrino

INSERISCI CLIENTE

CLIENTE BRAND IDENTIFICATIVO DATA_DI_ARRIVO PDF 

Fig.1.2 Ricerca per cliente

INSERISCI BRAND

CLIENTE BRAND IDENTIFICATIVO DATA_DI_ARRIVO Campo1 

Fig.1.3 Ricerca per brand

Capitolo 1: "La digitalizzazione"

INSERISCI DATA DI ARRIVO 30/03/17

CLIENTE BOSCH BRAND BOSCH ABB IDENTIFICATIVO R01957 DATA_DI_ARRIVO 30/03/17 Campo1 

Fig.1.4 Ricerca per data di arrivo

INSERISCI IDENTIFICATIVO R01957

CLIENTE BOSCH BRAND BOSCH ABB IDENTIFICATIVO R01957 DATA_DI_ARRIVO 30/03/17 Campo1 

Fig.1.5 Ricerca per identificativo

Capitolo 2

L'importanza della manutenzione

2.1 Ingegneria della manutenzione

Nelle realtà aziendali l'aspetto della manutenzione degli impianti sta assumendo un ruolo fondamentale. Ciò significa, che la sicurezza degli impianti lavorativi, l'inquinamento che può essere sintomo di un malfunzionamento di una macchina e la qualità del processo non sono dati trascurabili. È necessario preservare il funzionamento di tutte le apparecchiature impiegate nella gestione aziendale, in quanto costituiscono un investimento.

Definire un piano manutentivo giusto e ottimizzato, basato da un'analisi scientifica, è sicuramente importantissimo. Ancor oggi, la manutenzione spesso è vista come un'analisi empirica senza una vera e propria analisi basata su dati scientifici.

È dimostrato che l'ottimizzazione di un piano manutentivo fornisce un grande apporto economico alle aziende. Alcuni studi hanno dimostrato che i costi necessari per effettuare la manutenzione delle aziende rappresentano in termini di costi il 4% e l'8% del proprio fatturato. Da questi dati si comprende ancor più, l'importanza di aver un corretto piano manutentivo al fine di abbattere i costi.

Lo scopo dell'ingegneria della manutenzione è pertanto quello di definire dei principi scientifici, atti a identificare delle tecniche manutentive al fine di ottimizzare la sicurezza dei costi e dei processi aziendali.

Di seguito in fig.2.1, si riporta un'immagine raffigurante il grafico Ingegneria-Prevenzione tratta dal libro: "INGEGNERIA DELLA MANUTENZIONE" di Luciano Furlanetto Marco Garetti e Marco Macchi.

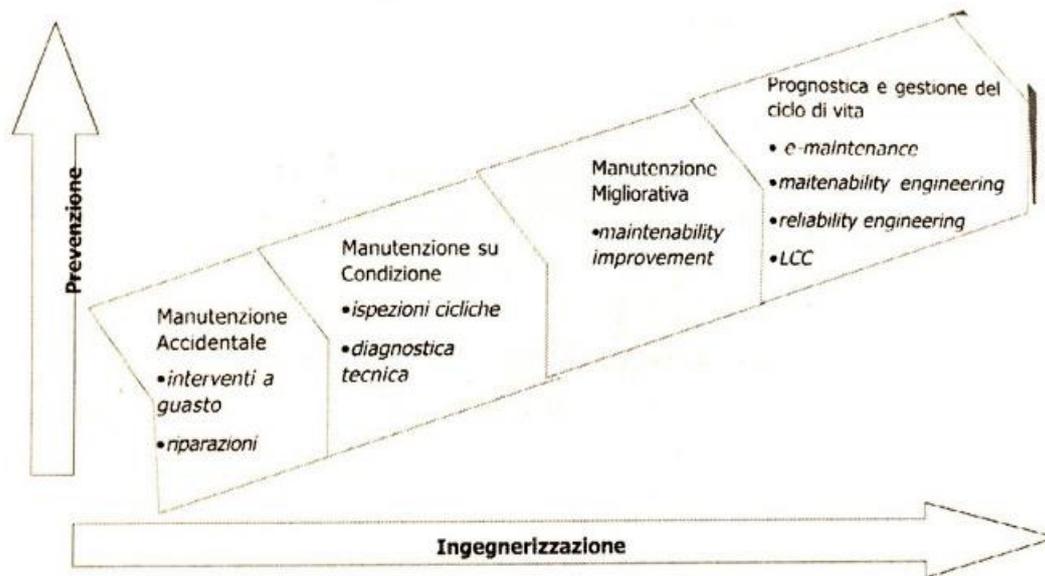


Fig.2.1 Grafico Ingegneria-Prevenzione

Da tale schema, si denota l'influenza dell'ingegnerizzazione nella prevenzione e quindi l'impatto che produce in un'azienda. Più è grande l'impatto ingegneristico nell'azienda, maggiore sarà la prevenzione e quindi la gestione aziendale. Se l'ingegnerizzazione è poco sviluppata, per cui non è stato eseguito un progetto manutentivo, la manutenzione è detta "Manutenzione Accidentale".

"Manutenzione Accidentale"

Seguendo tale logica, gli interventi manutentivi vengono eseguiti quando un componente di una macchina si rompe o quando un componente si usura a tal punto che deve essere sostituito o riparato. Seguire questa logica è molto pericoloso in quanto può intaccare la sicurezza dei lavoratori. Non si può pensare di adottare tale tecnica, ad esempio, in un contesto dove è presente una gru per il trasporto di pezzi che, a causa di una rottura improvvisa di un componente della gru può cadere andando minacciare la salute degli operatori in linea.

Un altro esempio può essere il cedimento di un componente di una pressa. Oltre alla sicurezza, che è sicuramente l'aspetto più importante, prevenire la rottura di un guasto può portare ad un grande vantaggio in termini economici.

"Manutenzione su condizione"

Aumentando l'ingegnerizzazione si passa ad una manutenzione detta "Manutenzione su condizione" per cui vengono effettuate "ispezioni cicliche" e "diagnostica tecnica".

Questa appena descritta, è un tipo di manutenzione preventiva poiché vengono effettuati degli interventi manutentivi programmati.

“Manutenzione migliorativa”

La manutenzione migliorativa viene detta anche manutenzione proattiva. È un passaggio ulteriore dove si vanno a ricercare anche le condizioni che potrebbero andare a causare guasti o malfunzionamenti delle macchine. Facendo tali analisi si vuole evitare un improvviso cedimento di qualche componente della macchina. Nel momento in cui l’operatore si accorge di qualche anomalia si considera una possibile causa futura di rottura.

“Prognostica e gestione del ciclo di vita”

Si effettuano analisi sempre più accurate in modo da prevenire i malfunzionamenti e ottimizzare così il più possibile la manutenzione

2.2 Le metodologie RCM e SRCM

La metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance) ha come scopo quello di definire una serie di azioni atte a preservare qualunque asset (nel nostro caso macchine e impianti), in modo tale che possano continuare a lavorare in sicurezza e mantenere le caratteristiche nel tempo in modo tale che la qualità dei processi aziendali sia garantita. Con tale metodo si cerca, inoltre, di innalzare il livello di efficienza e manutenibilità. Ciò che si va a ricercare è il giusto piano manutentivo per ogni asset. L’ SRCM è lo sviluppo della metodologia RCM. È una metodologia più strutturata che prevede dei punti da percorrere passo dopo passo per arrivare alla definizione del giusto piano manutentivo.

In prima battuta devono essere identificati gli asset, quindi le macchine e capire quale è la loro funzione, pertanto vanno caratterizzati. Va analizzata la criticità di ciascuna macchina o impianto effettuando una analisi delle criticità. Una volta identificate le macchine critiche vanno definite le strategie di manutenzione e le azioni di manutenzione. Va inoltre definita la strategia manutentiva e quindi definito il piano manutentivo. In fig.2.2 si riporta la sequenza seguita secondo la metodologia SRCM.



Fig.2.2 Steps strategia SRM

2.3 Analisi delle criticità

L'analisi delle criticità è un'indagine fondamentale per definire che tipologia di impatto ha un certo asset sulla produzione. È utilizzata con lo scopo di identificare il rischio ed eliminarlo o quantomeno cercare di ridurlo. È un criterio quantitativo capace di indentificare in maniera quantitativa la gravità e la probabilità di perdita.

In prima battuta, va stabilito cosa tenere in considerazione e predisporre delle valutazioni ingegneristiche, andando ad analizzare lo storico delle rotture e dei malfunzionamenti. A tal proposito, è importante analizzare il manuale della macchina, nonché ricevere il supporto degli esperti macchine per sviluppare gli standard manutentivi.

Si deve analizzare l'impatto che ogni macchina ha in diversi aspetti, tra cui la sicurezza, la produzione e i costi.

Di seguito, in fig. 2.3, si riporta la matrice decisionale che viene utilizzata per la caratterizzazione degli asset.

FATTORE DI VALUTAZIONE	CODIFICA	COMMENTO	GRADO		
			LIVELLO A	LIVELLO B	LIVELLO C
Sicurezza	S	Rischi potenziali per le persone e per l’ambiente	La rottura provoca gravi effetti per le persone e l’ambiente	La rottura provoca rischi per le persone e l’ambiente	Nessuna conseguenza
Qualità	Q	Effetto della rottura sulla qualità del processo	La rottura influenza pesantemente la qualità del prodotto, che risulta fuori dalle specifiche tecniche, con conseguenze sulla fatturazione	La rottura provoca variazioni della qualità del prodotto, con conseguenze sulla fatturazione	Nessuna conseguenza
Impiego della macchina	I	Tasso di impiego della macchina	Utilizzo 24 ore al giorno	Impiego per metà giornata	Uso occasionale
Impatto sul processo	P	Effetto della rottura sul processo produttivo	La rottura provoca l’interruzione del processo produttivo	La rottura provoca l’interruzione di una unità importante o riduce la produzione	Esiste una macchina gemella o conviene riparare la macchina dopo la rottura
Frequenza	F	Numero di rotture nel periodo di impiego	Rotture frequenti: più di 1 ogni 6 mesi	Rotture occasionali: 1 ogni 6-12 mesi	Rotture poco frequenti: meno di 1 ogni 12 mesi
Costo	C	Costo sostenuto a seguito della rottura	Costo di riparazione elevato (> 30T €)	Costo di riparazione elevato (10 T €-30T €)	Tempo e costo di riparazione non rilevanti
manutenibilità	M	Tempo necessario alla riparazione	Tempo > 6h	6h> Tempo >1h	Tempo < 1h

Fig. 2.3 Matrice decisionale per la caratterizzazione degli asset

Per ogni macchina vanno analizzati diversi “Fattori di valutazione” e vedere che impatto hanno le macchine relativamente a tali fattori. Pertanto, per ogni fattore di valutazione viene assegnato un grado: A, B o C.

Nel caso in cui il livello risulta essere A la macchina ha un notevole impatto in relazione al corrispettivo Fattore di valutazione. In questo caso la macchina risulta essere critica. Passando al grado B il livello di criticità si abbassa, per arrivare, infine, a C che rappresenta il minimo livello di criticità. In questo caso la macchina non risulta essere critica in relazione al corrispondente fattore di valutazione analizzato.

I fattori di valutazione che devono essere analizzati in ordine di importanza sono:

- Sicurezza
- Qualità
- Impiego della macchina
- Impatto sul processo
- Frequenza
- Costo
- Manutenibilità

L'obiettivo finale dell'analisi è quello di identificare le macchine più critiche. Di seguito si riporta lo schema del processo decisionale (fig.2.4). Si noti la grande importanza che hanno i fattori di valutazione: sicurezza, qualità e costo.

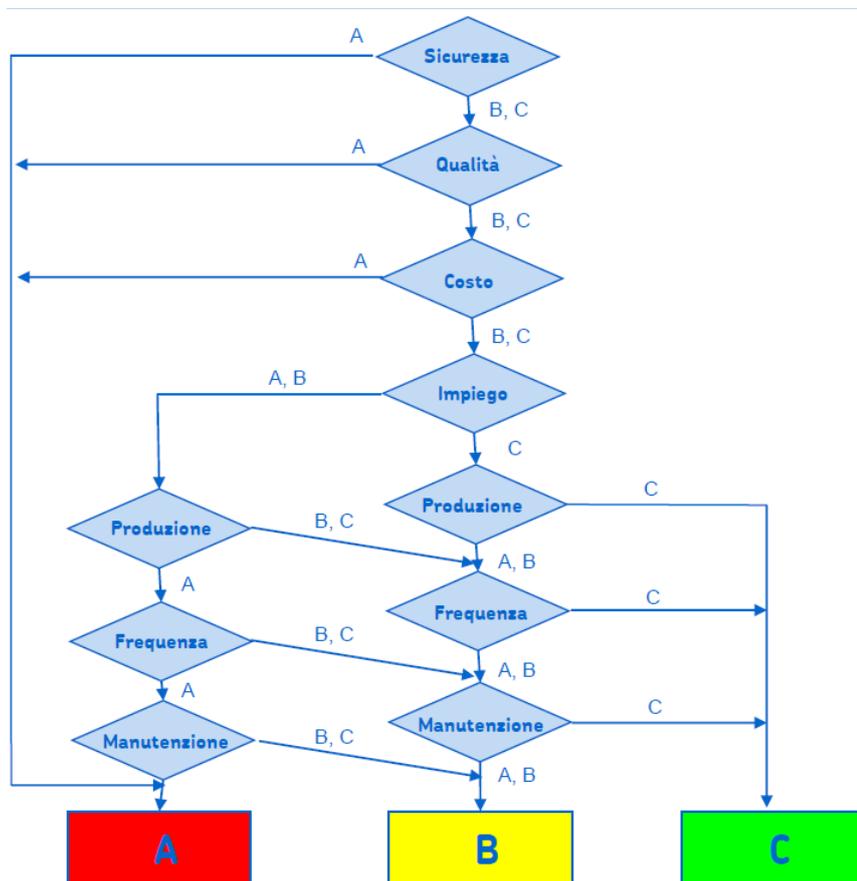


Fig. 2.4 Schema del processo decisionale

In base al livello di criticità si identifica un'opportuna strategia manutentiva ed infine, un piano manutentivo per ogni macchina.

2.4 FMECA

La tecnica FMECA permette di identificare i problemi che può apportare una macchina in modo tale di poterli risolvere. È un metodo sistematico e scientifico per la valutazione degli effetti che un malfunzionamento o un danneggiamento della macchina che si sta analizzando subisce. La FMECA è una tecnica che può essere utilizzata anche per l'analisi dei processi, ma nel nostro caso l'attenzione è spostata sulle macchine. Una volta identificate le macchine si vanno ad analizzare i possibili guasti e le cause che hanno portato a questo effetto.

L'analisi si basa su tre fattori di seguito riportati:

- S "SEVERITY": Impatto che ha il malfunzionamento o rottura
- O "OCCURRENCE": La frequenza del malfunzionamento o rottura, identificabile dallo storico dei guasti o in maniera probabilistica
- D "DETECTABILITY": possibilità di rendersi conto della tempistica di malfunzionamento o rottura. Quando si verifica la failure?

Il prodotto dei tre fattori è noto come: RPN (Risk Priority Number) e rappresenta il rischio che può indurre un malfunzionamento o rottura.

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

Ognuno dei tre parametri S, O, D può avere valori compresi tra 1 e 10. Il criterio per associare un punteggio fattore viene di seguito riportato. Si riportano due tipi di tabelle utilizzate, nel caso in cui non si hanno pochi dati a disposizione si usano le seconde meno accurate, ma pure sempre valide (tab. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5,2.6) conoscono i tassi di guasto si considerano le seconde.

O		
PROBABILITÀ DI GUASTO	TASSO DI GUASTO	INDICE
MOLTO ALTA: IL GUASTO È PRATICAMENTE INEVITABILE	>1 SU 2 1 SU 3	10 9
ALTA: GUASTI RIPETITIVI GIÀ RILEVATI SU PROGETTI PRECEDENTI	1 SU 8 1 SU 20	8 7
MODERATA: GUASTI OCCASIONALI	1 SU 80 1 SU 400 1 SU 2000	6 5 4
BASSA: PROGETTI PRECEDENTI HANNO DATO LUOGO AD UN RELATIVAMENTE BASSO NUMERO DI GUASTI	1 SU 15000 1 SU 150000	3 2
REMOTA: LA PROBABILITÀ CHE AVVENGA UN GUASTO È QUASI NULLA	<1 SU 1500000	1

Tab.2.1 "Occurance"

D		
RILEVABILITÀ	CRITERIO DI VALUTAZIONE	INDICE
IMPOSSIBILE	i controlli di progetto esistenti non sono in grado di rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto; oppure mancano controlli in progettazione	10
MOLTO REMOTA	capacità molto remota dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	9
REMOTA	capacità remota dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	8
MOLTO BASSA	capacità molto bassa dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	7
BASSA	capacità bassa dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	6
MEDIA	media capacità dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	5
ABBASTANZA ALTA	capacità abbastanza alta dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	4
ALTA	capacità alta dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	3
MOLTO ALTA	capacità molto alta dei controlli di progetto esistenti nel rilevare potenziali cause o conseguenti modi di guasto	2
CERTA	i controlli di progetto esistenti sicuramente rilevano potenziali cause o conseguenti modi di guasto	1

Tab.2.2 "Detectability"

S		
EFFETTO	SEVERITÀ	INDICE
PERICOLOSO SENZA PREAVVISO	guasto che blocca definitivamente il sistema e/o coinvolge la sicurezza dell'utilizzatore finale senza preavvisi	10
PERICOLOSO CON PREAVVISO	guasto che blocca completamente il sistema e/o coinvolge la sicurezza dell'utilizzatore finale. Quest'ultimo ha comunque il tempo di reagire	9

MOLTO ALTO	sistema non funzionante con perdita delle principali funzioni	8
ALTO	sistema funzionante ma con riduzione notevole delle funzioni principali	7
MODERATO	sistema funzionante ma con riduzione delle funzioni principali. I clienti rimangono in ogni caso insoddisfatti.	6
BASSO	sistema funzionante ma con riduzione minore delle funzioni principali. I clienti rimangono in ogni caso insoddisfatti	5
MOLTO BASSO	guasti di minore entità che non coinvolgono le principali funzioni del sistema. La maggior parte dei clienti avverte il difetto	4
PICCOLO	guasti di minore entità che non coinvolgono le principali funzioni del sistema. Il cliente medio avverte il difetto	3
MOLTO PICCOLO	guasti di minore entità che non coinvolgono le principali funzioni del sistema. Alcuni clienti, più attenti, avvertono il difetto	2
NULLO	nessun effetto	1

Tab.2.3 "Severity"

	RANK	CRITERIO
NESSUN EFFETTO	1	nessuna conseguenza di una eventuale failure sul processo
EFFETTO MINORE	4	la failure non richiede una riparazione
EFFETTO MODERATO	5	la failure richiede riparazione di una parte non vitale del processo
ELEVATO EFFETTO	10	la failure crea un danno elevato al processo

Tab 2.4 Severity

OCCURENCE	RANK	CRITERIO
QUASI NULLA	1	RARAMENTE ACCADE
BASSA PROBABILITÀ	4	ACCADE > DEL 25% DELLE VOLTE

ALTA PROBABILITÀ	7	ACCADE > DEL 50% DELLE VOLTE
QUASI CERTO	10	ACCADE IL 100% DELLE VOLTE

Tab.2.5 "Occurrence"

DETECTABILITY	RANK	CRITERIO
CONTROLLABILE	1	ESISTONO CONTROLLI CHE SICURAMENTE EVITEREBBERO LA FAILURE
POSSIBILITÀ DI CONTROLLO	5	I CONTROLLI POTREBBERO IN PARTE EVITARE LA FAILURE
NON CONTROLLABILE	10	NON ESISTONO CONTROLLI PER EVITARE LA FAILURE

Tab. 2.6 "Detectability"

Una volta fatta l'analisi FMECA delle macchine si ottengono i corrispettivi valori RPN (Risk Priority Number): Le macchine con valori di RPN più elevati risultano essere le più critiche. Il passaggio successivo da fare è quello di definire le azioni correttive utili per diminuire il valore RPN. Successivamente vengono ricalcolati i valori RPN.

Si distinguono 5 livelli di criticità in base ai valori di RPN:

- Estremamente critica $RPN \geq 101$
- Molto critica $71 \leq RPN \leq 100$
- Mediamente critica $51 \leq RPN \leq 70$
- Lievemente critica $21 \leq RPN \leq 50$
- Non critica $1 \leq RPN \leq 20$

Si riporta una tabella (Tab.2.7) per schematizzare la procedura FMECA

MACCHINA	FAILURE	EFFETTI	O	D	S	RPN	AZIONI CORRETTIVE	O	D	S	RPN

Tab.2.7 Procedura FMECA

2.5 Strategie manutentive

Le principali strategie manutentive che verranno analizzate sono:

- A rottura
- Preventiva
- Predittiva
- Proattiva

2.5.1 Manutenzione a rottura

La manutenzione a rottura prevede un intervento nel momento in cui la macchina smette di funzionare. È una tecnica applicata a delle macchine semplici che non presentano rischi considerevoli. Un aspetto positivo è sicuramente il costo relativo alla manutenzione. Non si prevedono interventi manutentivi se non per riparare un eventuale guasto e non si hanno fermi macchina per effettuare azioni manutentive non necessarie. È sicuramente una strategia da tenere in considerazione, ma è necessario prestare attenzione ai rischi che può portare una manutenzione di questo tipo. Prima di ogni cosa si devono considerare gli aspetti legati alla sicurezza, in secondo luogo analizzare il costo che ha un componente nel caso in cui si rompesse. Talvolta un intervento di manutenzione a rottura può costare più della macchina stessa. Inoltre, si deve avere la consapevolezza che ci sono dei fermi macchina non previsti.

2.5.2 Manutenzione preventiva

La manutenzione preventiva prevede degli interventi di manutenzione ancora quando la macchina è perfettamente funzionante in modo da prevenire malfunzionamenti e danneggiamenti. Effettuare una manutenzione di questo tipo permette una migliore organizzazione rispetto alla manutenzione a rottura. Sicuramente si limitano molto i fermi macchina non considerati e, inoltre, si può organizzare in maniera ottimale la manutenzione in modo tale da prevedere i fermi macchina nei momenti più opportuni. Per esempio, dei fermi macchina importanti che durano parecchio tempo, possono essere effettuati nel periodo estivo quando l'azienda è chiusa e la produzione non è attiva. Gli interventi manutentivi preventivi possono essere effettuati in base all'effettivo utilizzo della macchina, per esempio dopo un certo numero di ore di utilizzo, oppure, in delle date prefissate. Questa strategia manutentiva può indurre ad avere delle spese eccessive. Talvolta può capitare di sostituire dei componenti

quando ancora sono perfettamente funzionanti. Un altro problema riscontrato è quello di avere dei fermi macchina inutili che comportano anche in questo caso un dispendio economico.

2.5.3 Manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva ha come scopo quello di ridurre gli interventi di manutenzione e i fermi macchina. Si predispongono delle analisi atte a identificare gli aspetti premonitori che portano al guasto della macchina. Tali segnali vanno monitorati costantemente nel tempo, difatti vanno previsti degli interventi programmati a tale scopo. Va definita una relazione che correla i segnali premonitori con il guasto. Si fa un esempio per capire meglio come si opera quando si utilizza la strategia manutentiva predittiva. Se si vuole, per esempio, predire la vita di un cuscinetto e quindi identificare quando effettuare la manutenzione si vanno ad analizzare la temperatura e le vibrazioni. Quindi i segnali premonitori sono: la temperatura e le vibrazioni. Lo scopo della manutenzione predittiva è quello di formulare una legge capace di prevedere il guasto del cuscinetto, in funzione dell’aumento di temperatura e vibrazioni. Un’ altra analisi predittiva che si può fare è l’analisi dei lubrificanti, così facendo si riducono i costi di manutenzione e si aumenta il rendimento e l’affidabilità delle macchine. Si elencano altri tipi di analisi eseguite da SKF: termografia, analisi deformate, controllo allineamento, ultrasuoni analisi elettriche.

2.5.4 Condition monitoring

Come detto in precedenza la manutenzione predittiva si basa sull’ analisi di uno o più parametri al fine di identificare gli aspetti premonitori del guasto di una macchina.

A tale scopo si introduce la tecnica per il monitoraggio delle condizioni: “condition monitoring”.

Le principali tecniche di “condition monitoring” sono:

- Monitoraggio delle vibrazioni (per es. cuscinetti)
- Analisi degli oli
- Analisi acustica
- Termografia
- Analisi ad infrarossi per determinare difetti possibili causa di futura rottura

L’analisi vibrazionale consiste nel porre dei sensori, generalmente accelerometri piezoelettrici, che consentono di tramutare la forza meccanica in tensione elettrica. È importante gli

accelerometri siano posizionati il più vicino possibile ai corpi che a causa della loro variazione di posizione generano vibrazioni, in modo tale che la misurazione risulta essere più accurata. Pertanto, non è possibile effettuare un'analisi vibrazionale dove risulta essere difficile porre gli accelerometri per il monitoraggio. Non è possibile condurre analisi vibrazionali in ambienti pericolosi.

L'analisi vibrazionale viene effettuata per il monitoraggio delle prestazioni dei cuscinetti.

All'analisi vibrazionale solitamente viene associata l'analisi termica, la quale viene effettuata ponendo delle sonde termiche nelle zone di interesse. Un aumento imprevisto della temperatura può essere, per esempio, causa di una non corretta lubrificazione. Mediante il condition monitoring con analisi termica si può prevenire il guasto.

Un sistema online di condition monitoring realizzato da SKF è IMx-16, consente di condurre una manutenzione programmata sulle macchine rilevando con un certo preavviso le cause che possono portare al guasto.

2.5.5 Manutenzione proattiva

La manutenzione proattiva è anche detta migliorativa. Rappresenta l'evoluzione della manutenzione predittiva. Il suo scopo è quello di mettere in atto degli interventi migliorativi in modo tale da migliorare la macchina, riducendone la manutenzione e il fermo macchina. Tornando all'esempio sui cuscinetti fatto in precedente paragrafo un intervento di manutenzione proattiva sarebbe quello di sostituire i cuscinetti montati sulla macchina con un altro tipo di cuscinetti più prestanti.



Fig.2.5 Manutenzione proattiva

2.5.6 Tempistiche di manutenzione

Le tempistiche di manutenzione meritano attenzione, in quanto incidono sui costi. A tal proposito si consulta la norma UNI, la quale indica:

- Una fase in cui la macchina è in buono stato e non necessita di manutenzione;
- Un istante di tempo in cui si verifica il malfunzionamento e pertanto la macchina subisce dei rallentamenti e la produzione diminuisce;
- Un istante di tempo in cui la macchina si danneggia e va riparata;
- Un intervallo di tempo in cui la macchina è in manutenzione e quindi la produzione si arresta: fermo macchina;
- Un istante di tempo in cui la macchina è stata riparata e quindi la produzione può ripartire;
- Un intervallo di tempo in cui la macchina riparte e di conseguenza la produzione risale;
- Intervallo di tempo in cui la macchina funziona correttamente.

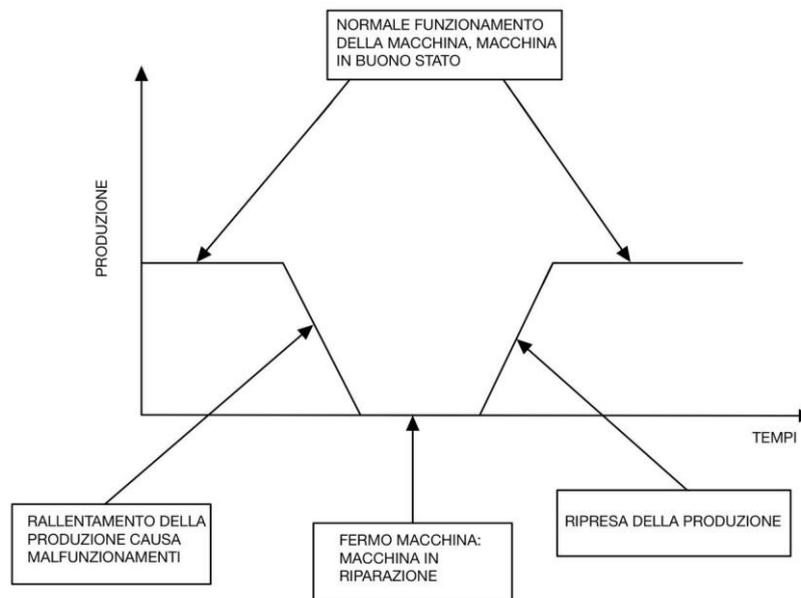


Fig.2.6 Grafico tempi produzione

Di seguito, in fig.2.7, si riporta uno schema che mette in evidenza il tempo a disposizione, le fermate e quelle non programmate in relazione alla strategia manutentiva considerata.

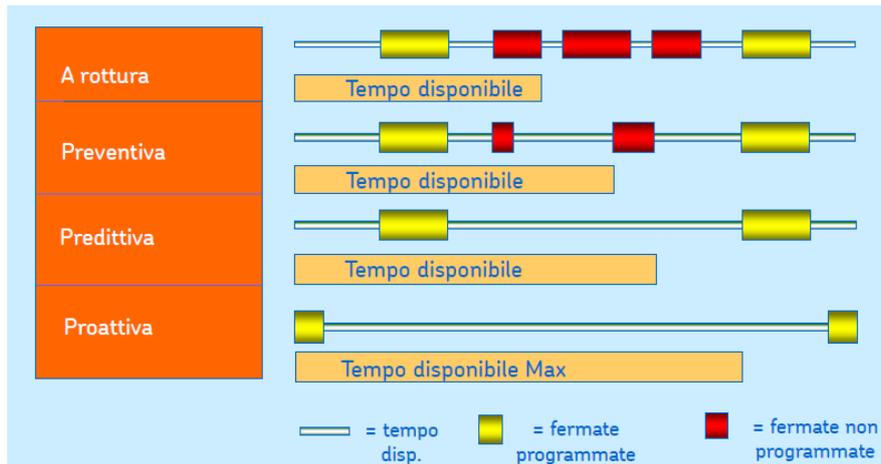


Fig.2.7 Grafico tempi strategie manutentive

Procedendo da una strategia manutentiva a rottura verso una manutenzione proattiva si nota come si allunga il tempo a disposizione, si riducono le fermate e si eliminano le fermate non programmate.

2.6 Costi di manutenzione

2.6.1 Analisi costi manutenzione a rottura

Il costo per ogni singolo intervento di riparazione è:

$$C_{intervento} = C_{pezzo} + C_{manodopera} + C_{fermo\ macchina} + C_{indiretti} \quad (2)$$

C_{pezzo} è il costo del componente che deve essere riparato.

$C_{manodopera}$ è il costo necessario da attribuire al lavoro eseguito dall’ operatore addetto alla manutenzione.

$C_{fermo\ macchina}$ è il costo da attribuire al fermo della macchina (tempo di inattività della macchina).

$C_{indiretti}$ è il costo attribuito ai componenti che si usurano o si rompono a seguito della rottura di componenti ad essi dipendenti.

2.6.2 Analisi costi manutenzione preventiva

Per analizzare i costi da attribuire ad una manutenzione di tipo preventivo si fa una differenza fra due tipi di manutenzione preventiva:

- Manutenzione preventiva a periodo, ove il tempo ciclo non è sempre costante (fig.2.8);
- Manutenzione preventiva costante (fig.2.9);

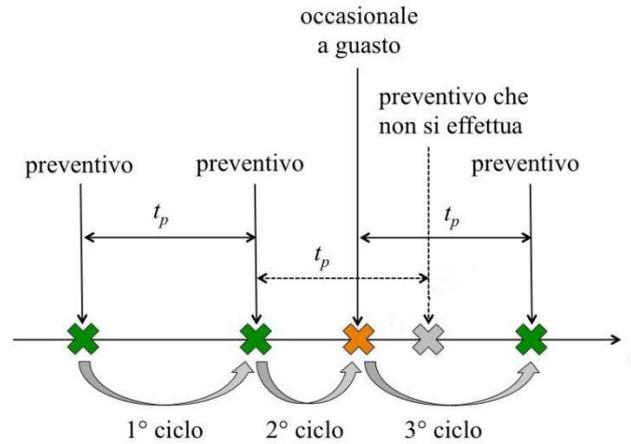


Fig. 2.8 Manutenzione preventiva a periodo

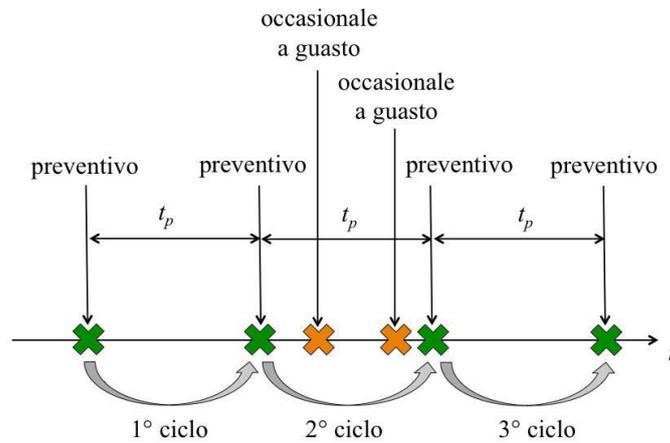


Fig.2.9 Manutenzione preventiva costante

Analizzando la manutenzione preventiva a periodo, il costo della manutenzione per ogni ciclo è:

$$\begin{aligned}
 EC_{(t_p)} &= (C_{pezzo} + C_{manodopera}) \cdot R_{(t_p)} \\
 &+ (C_{pezzo} + C_{manodopera} + C_{fermo\ macchina}) \cdot F_{(t_p)}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

EC = costo della manutenzione per ogni ciclo;

$R(t_p)$ = Affidabilità del sistema;

$F(t_p)$ = Probabilità di guasto del sistema;

Il costo per unità di tempo

$$UEC(t_p) = \frac{C_p R(t_p) + C_o F(t_p)}{t_p R(t_p) + \int_0^{t_p} x f(x) dx} \quad (4)$$

Dove:

$$C_p = C_{pezzo} + C_{manodopera}$$

$$C_o = C_{pezzo} + C_{manodopera} + C_{fermo\ macchina}$$

$\int_0^{t_p} x f(x) dx$ è il MTTF Mean Time To Failure cioè il tempo nel caso in cui si verifica un guasto nell' intervallo di tempo $[0 t_p]$

Per ricavare il t_p ottimale, che minimizza il costo atteso si deriva la funzione $UEC(t_p)$ e si pone uguale a 0.

$$\frac{d(UEC(t_p))}{dt_p} = 0 \quad (5)$$

Dall' equazione (5) si ricava t_p ottimale.

Calcolo del MTTF:

$$R(t_p) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (6)$$

$$f(t) = h(t) \cdot R(t) \quad (7)$$

$h(t)$ è il tasso di guasto cioè la probabilità che un componente, che al tempo t sia funzionante, si guasti durante un intervallo di tempo $t + \Delta t$.

$h(t)$ è il numero di guasti nell'unità di tempo. Di seguito si riporta il grafico che descrive l'andamento del tasso di guasto $h(t)$: "grafico a vasca da bagno".



Fig.2.10 Grafico a vasca da bagno

L'andamento del tasso di guasto può essere diviso in tre parti:

- Rodaggio: il tasso di guasto è alto, i pezzi possono essere difettosi. Con l'aumento di t il tasso di guasto diminuisce fino ad un certo valore k .
- Funzionamento normale: tasso di guasto normale e pari a k .
- Invecchiamento: il tasso di guasto aumenta, i pezzi risultano essere usurati e tendenti a rompersi.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (8)$$

Si considera la parte centrale del grafico dove il funzionamento è normale e il tasso di guasto $h(t)$ è costante: $h(t) = k$.

$$f(t) = k \cdot e^{-kt} \quad (9)$$

$$R(t) = e^{-kt} \quad (10)$$

$$F_{(t)} = 1 - R(t) \quad (11)$$

$$MTTF = \frac{1}{k} \quad (12)$$

Se si conosce il numero di guasti nell' unità di tempo si può calcolare agevolmente

$$h(t) = k = \frac{\text{N° di guasti}}{\text{tempo considerato}} \quad (13)$$

Generalmente il costruttore fornisce dei dati per ricavare il MTTF, ma nel caso in cui non si è in possesso di informazioni si considera MTTF=150 anni. Analizzando la manutenzione preventiva costante, il costo della manutenzione per ogni ciclo è:

$$EC_{(t_p)} = C_p + C_o M(t_p) \quad (14)$$

$M(t_p)$: numero medio dei guasti del sistema

Il costo per unità di tempo è:

$$UEC(t_p) = \frac{C_p + C_o M(t_p)}{t_p} \quad (15)$$

Come in precedenza si ricerca il tempo t_p ottimale

$$\frac{d(UEC(t_p))}{dt_p} = 0 \quad (16)$$

Dalla relazione (16) si ricava t_p ottimale.

2.6.3 Analisi costi manutenzione predittiva

Per quanto riguarda i costi da attribuire ad una manutenzione di tipo predittivo vanno considerati:

- $C_{strumenti}$ = Costo apparecchiatura per fare le analisi;
- $C_{analisi}$ = Costo analisi;
- $C_{monitoraggio}$ = Costo personale addetto al monitoraggio delle variabili considerate;
- $C_{componente}$ = Costo effettivo del componente da sostituire;
- $C_{manodopera}$ = Costo manodopera del personale addetto alla sostituzione del pezzo;

Si fa un esempio per capire meglio la procedura per la stima dei costi.

Si consideri l'analisi vibrazionale che si fa per monitorare la vita di un cuscinetto e prevedere il momento giusto per la sua sostituzione.

- $C_{strumenti}$ = Costo accelerometri, centralina (per esempio IMX 16 SKF) e altra attrezzatura per il monitoraggio;
- $C_{analisi}$ = Costo analisi (per esempio costo analisi dell'olio);
- $C_{monitoraggio}$ = Costo personale addetto al monitoraggio delle variabili considerate, in questo caso le vibrazioni;
- $C_{componente}$ = Costo effettivo del componente da sostituire: cuscinetto;
- $C_{manodopera}$ = Costo manodopera del personale addetto alla sostituzione del pezzo;

$$C_{tot} = C_{strumenti} + C_{analisi} + C_{monitoraggio} + C_{componente} + C_{manodopera} \quad (17)$$

Uno degli obiettivi della manutenzione di tipo predittivo è quello di eliminare i tempi morti e quindi i fermi macchina, in quanto talvolta costituiscono dei costi eccessivi. Mediante l'approccio predittivo si programma la manutenzione nei periodi di inattività dell'azienda. A tal proposito si può fare un esempio. Si considera un'azienda alimentare la cui produzione si concentra in 4/5 mesi l'anno; con una manutenzione predittiva si può fare in modo che la sostituzione di un qualche componente, che indurrebbe ad un fermo macchina prolungato durante il periodo produttivo, sia effettuata durante il periodo più favorevole nonché quando cessa la produzione. Si evince, quindi, come la manutenzione di tipo predittivo possa eliminare i fermi macchina e quindi relativi costi legati agli stessi.

2.6.4 Analisi costi manutenzione proattiva

L’analisi dei costi per una manutenzione di tipo proattiva è molto simile a quella fatta in precedenza per la manutenzione predittiva. È necessario aggiungere il costo da attribuire alla variazione del pezzo della macchina stessa. Per esempio, si potrebbe decidere di aumentare i tempi di lavoro della macchina andando a modificare la tipologia dei cuscinetti scegliendone un tipo più performante e duraturo che probabilmente avrà un costo superiore al cuscinetto originario. È da tenere in considerazione però che diminuiscono i fermi macchina e aumenta il tempo in cui la macchina funziona perfettamente.

2.7 Indicatori della manutenzione

Gli indicatori della manutenzione utili per valutare l’efficienza della manutenzione sono anche detti: KPI (Key Performance Indicators). Per definirli si fa riferimento alla norma UNI EN 14015341. Sono utilizzati per misurare la bontà del piano di manutenzione.

	KPI	Area			
<i>Physical Asset Management</i>	<i>PHA</i>	<i>Sostenibilità</i>	<i>Capacità</i>	<i>Servizio</i>	<i>Economica</i>
<i>Health Safety Environment</i>	<i>HSE</i>	<i>Conformità</i>	<i>Statistiche</i>	<i>Provvedimenti</i>	<i>Prevenzione</i>
<i>Maintenance Management</i>	<i>M</i>	<i>Strategica</i>	<i>Funzione</i>	<i>Valutazione</i>	<i>Miglioramento</i>
<i>People Competence</i>	<i>P</i>	<i>Responsabilità</i>	<i>Supervisione</i>	<i>Specialistica</i>	<i>Formazione</i>
<i>Maintenance Engineering</i>	<i>E</i>	<i>Capacità</i>	<i>Durabilità</i>	<i>Prevenzione</i>	<i>Miglioramenti</i>
<i>Organization and Support</i>	<i>O&S</i>	<i>Struttura</i>	<i>Pianificazione</i>	<i>Efficacia</i>	<i>Qualità</i>

Fig.2.11a Indicatori KPI

PH	Sostenibilità	$PHA1(\%) = \frac{\text{Costi Annuali di Manutenzione della Risorsa}}{\text{Fatturato della Risorsa}}$	
	Capacità	$PHA4(\%) = \frac{\text{Produzione Attuale}}{\text{Produzione Standard}}$	$PHA6(\%) = \frac{T \text{ Operativo}}{T \text{ Operativo} + T \text{ Inattività}}$
	Servizio	$PHA13(\text{€}/h) = \frac{\text{Totale Costi Manutenzione}}{\text{Ore Disponibilità}}$	
HSE	Conformità	$HSE1(\%) = \frac{N \text{ Regole Implementate}}{N \text{ Regole richieste}}$	$HSE3(\%) = \frac{\text{Tempo Fermo per NC}}{T \text{ Operativo Richiesto}}$
	Prevenzione	$HSE18(\%) = \frac{\text{Numero Procedure Sicurezza}}{\text{Numero Procedure Richieste}}$	
M	Valutazione	$M12(\%) = \frac{OT(T \text{ Operatività})}{OT + TTR (T \text{ Tempo Ripristino})}$	$M15(N/Y) = \frac{N \text{ Guasti}}{\text{Anno}}$
	Miglioramento	$M21(\%) = \frac{N \text{ Ore per attività di miglioramento}}{N \text{ Ore Manutenzione}}$	
O&S	Capacità	$O\&S11(\%) = \frac{N \text{ Ore Manutenzione Preventiva}}{N \text{ Ore Manutenzione}}$	$O\&S10(\%) = \frac{N \text{ Ore per Manutenzione Guasti}}{N \text{ Ore Manutenzione}}$
	Pianificazione	$O\&S12(\%) = MTTR = \frac{\text{Tempo Ripristino Guasti}}{N \text{ Guasti}}$	$O\&S14(\%) = MRT = \frac{\text{Tempo Riparazione}}{N \text{ Guasti}}$

Fig.2.11b Indicatori KPI

2.8 Condition monitoring: analisi vibrazionale

In questo paragrafo si vuole descrivere la tematica dell’analisi vibrazionale.

Nel nostro caso, tale tecnica di condition monitoring, viene predisposta per alcuni componenti, per esempio i mandrini delle macchine utensili, per le quali verrà prevista una manutenzione di tipo predittivo. È importante definire i punti sui quali vengono effettuate le misure.

Se si considera una macchina orizzontale, le misure vanno eseguite su piani perpendicolari per valutare le vibrazioni lungo tali assi. Talvolta, per semplicità, la misura viene effettuata solo sul piano orizzontale, in quanto la misura di vibrazione risulta essere più elevata e più caratteristica del comportamento vibrazionale della macchina. In uno stesso punto di misurazione, si possono effettuare delle misurazioni capaci di distinguere diverse problematiche.

Gli strumenti utilizzati per visualizzare ed acquisire le vibrazioni, si distinguono in apparecchiature portatili e fisse. Le apparecchiature più semplici consentono di visualizzare i valori delle vibrazioni (per esempio dei cuscinetti), senza però essere in grado di acquisirle. Sono molto utili per una visualizzazione immediata delle vibrazioni, ma inefficaci nel momento in cui si vogliono acquisire dati per poi essere studiati. Un’altra tipologia di strumento utilizzato per lo studio delle vibrazioni sono gli acquisitori di dati. Questi dispositivi consentono di acquisire i dati relativi alle vibrazioni oltre che visualizzarli. Ed ancora, sono fruibili dei dispositivi portatili capaci di rappresentare graficamente gli spettri FFT (Fast Fourier

Trasform). Infine, si citano le centraline locali, facendo riferimento in particolare alle centraline SKF IMx8 e IMx16. Le centraline acquisiscono automaticamente i valori di vibrazione e/o la temperatura dai sensori, salvano i dati su memorie locali o li archiviano direttamente su cloud nel caso in cui sono connesse ad una rete internet. Una volta archiviati i dati possono essere gestiti e studiati mediante software dedicati. Nella scelta di un'apparecchiatura da utilizzare, è fondamentale tenere presente la larghezza di banda del dispositivo, poiché superata una certa frequenza w_{LB} il sistema "taglia" e non risponde più in maniera corretta. Pertanto, è necessario indagare riguardo la frequenza delle vibrazioni e di conseguenza scegliere l'apparecchiatura corretta.

Le vibrazioni teoricamente vengono descritte con una legge sinusoidale.

$$x = x_0 \sin (wt) \quad (18)$$

- x_0 picco della sinusoidale
- w pulsazione della sinusoide

Si definisce il periodo T come tempo che intercorre tra due picchi successivi della sinusoide. Fin ora abbiamo considerato un moto vibrazionale libero senza smorzamento o forzante. I sistemi reali vibranti possono essere considerati come sistemi massa molla smorzatori (fig. 2.12).

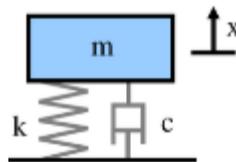


Fig.2.12 Sistema massa molla smorzatore

L'equazione che descrive il sistema è la seguente:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F\sin(wt + \varphi) \quad (19)$$

Nella relazione (19) è stato introdotto il termine φ relativo allo sfasamento (ritardi di fase). Data la presenza del termine relativo allo smorzamento, l'ampiezza della sinusoide tende a diminuire

fino ad annullarsi. Si considera, oltre al fattore di smorzamento c , il fattore di smorzamento critico $c_{critico}$.

Si definiscono sistemi: sottosmorzati ($0 < \xi < 1$) sovrasmorzati ($\xi > 1$) o non smorzati dove le oscillazioni risultano essere libere ($\xi = 0$). Sono stati studiati grazie all'utilizzo del software Matlab tali sistemi. Di seguito si riportano i grafici ricavati.

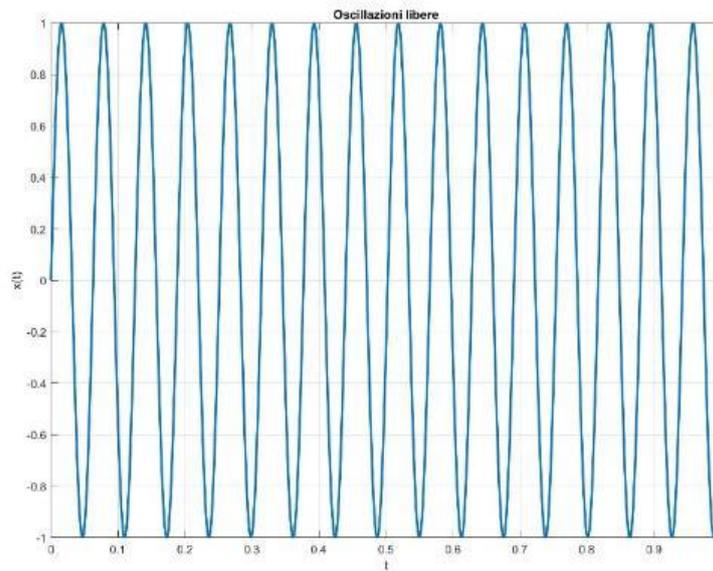


Fig.2.13 Oscillazioni libere

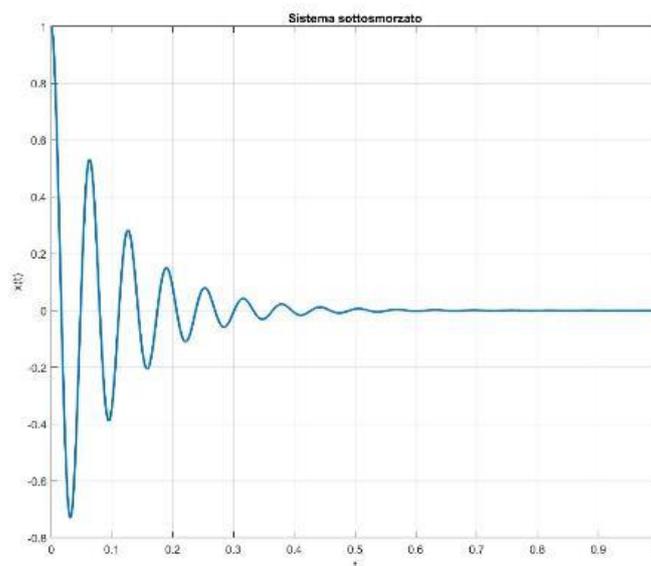


Fig.2.14 Sistema sottosmorzato

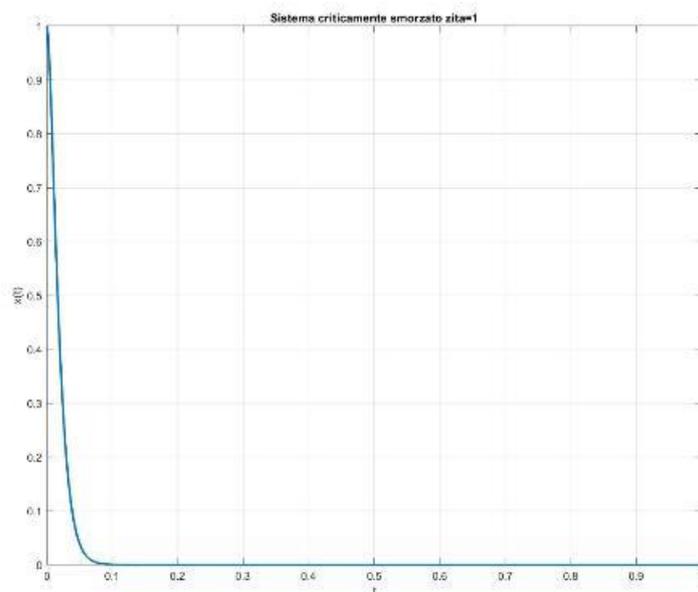


Fig.2.15 Sistema criticamente smorzato

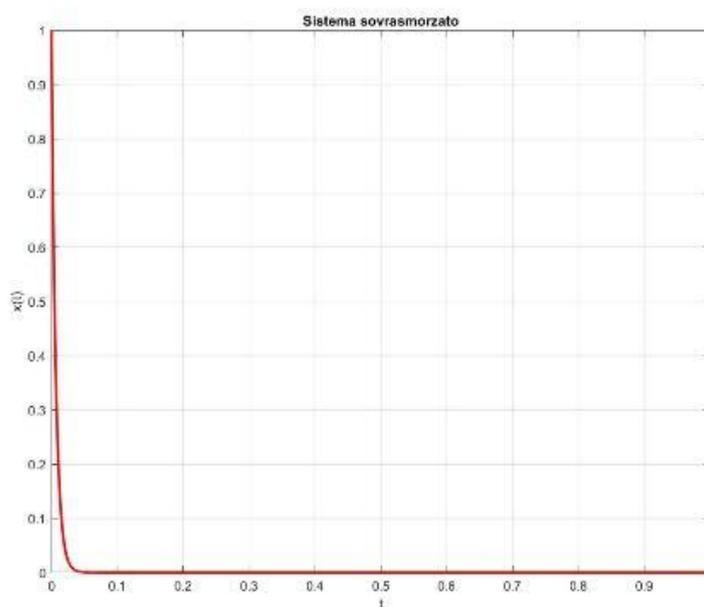


Fig.2.16 Sistema sovrasmorzato

Fino a questo momento è stata considerata l'oscillazione su un piano, ma in realtà nei sistemi reali le vibrazioni si sviluppano su più piani, pertanto andrebbero considerati vibrazioni $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$. Il sistema reale, pertanto, possiede diversi modi di vibrare di cui si riconoscono il primario e i secondari.

È fondamentale tenere presente e identificare il diagramma di risposta in frequenza del sistema vibrante. A tal proposito, di seguito in figura, viene proposto un sistema del tipo massa molla smorzatore. Si identificano tre zone del grafico. A bassa frequenza $x=x_{statica}$; alla frequenza $w = w_n$, $\frac{x}{x_{statica}}$ raggiunge un picco e se $\xi = 0$ (sistema non smorzato) $\frac{x}{x_{statica}} \rightarrow \infty$.

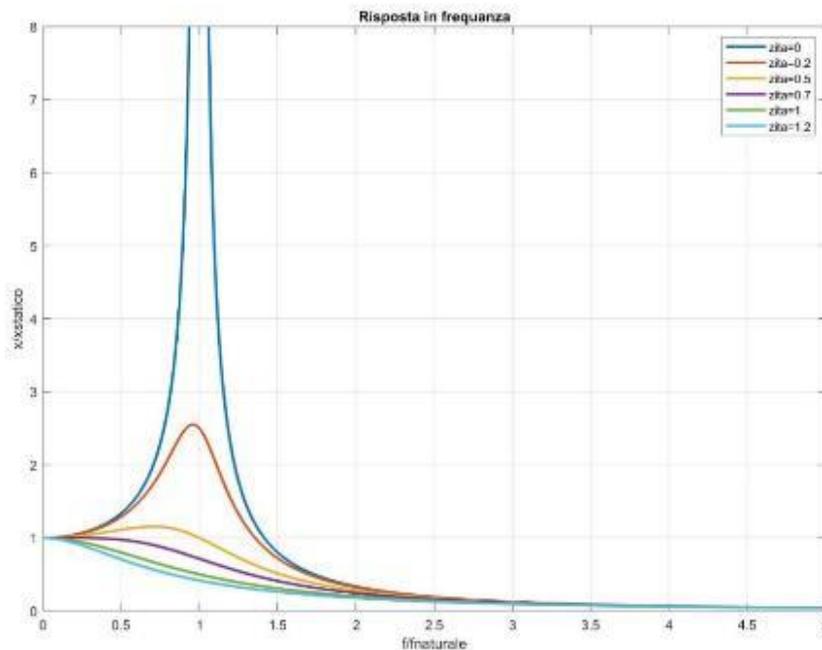


Fig.2.17 Risposta in frequenza

La forma delle vibrazioni di tipo sinusoidale non è però quella reale. Esistono infatti, molte complicazioni per cui il segnale risulta essere molto disturbato. È stato però dimostrato che il segnale può essere scomposto in più sinusoidi di frequenza diversa. Sommando tutte le sinusoidi si ottiene il segnale originario. Per dividere il segnale in più sinusoidi dobbiamo utilizzare un ausilio matematico: la trasformata di Fourier. Di seguito si riporta l'espressione della trasformata di Fourier (20).

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-2\pi ift} dt \quad (20)$$

Eseguendo la trasformata di Fourier si passa dal dominio nel tempo al dominio nella frequenza. Si ottiene il grafico di Fourier "spettro", ove in ascissa troviamo le frequenze e in ordinata l'ampiezza delle vibrazioni. Quando si conduce una manutenzione di tipo predittivo si valuta

lo spettro vibrazionale. Analizzando le ampiezze ad ogni frequenza si possono rilevare malfunzionamenti e/o anomalie.

Tutto quello che è stato descritto in precedenza può essere eseguito utilizzando gli strumenti SKF. Nel determinare lo spettro vibrazionale è fondamentale scegliere una risoluzione sufficiente. Più alta è la risoluzione, maggiori saranno i campionamenti eseguiti. Lo spettro risulta essere più fitto e l'analisi si può condurre in maniera più accurata. Aumentando la risoluzione aumentano i dati da acquisire e il tempo di acquisizione. Per diminuire il tempo di acquisizione si valuta attentamente la scelta del fondo scala. Solitamente si considera un tempo di acquisizione pari a:

$$t_a = \frac{1}{f_{max}} \quad (21)$$

Dove f_{max} è la frequenza massima del segnale considerato.

I segnali analogici provenienti dagli accelerometri vanno prima di tutto campionati e convertiti in segnali digitali mediante i convertitori analogico digitali.

La scheda di acquisizione, all'interno della centralina, è caratterizzata da un certo numero di bit e da una larghezza del campo (full scale range FSR). Si definisce, quindi, la risoluzione.

$$risoluzione = \frac{FSR}{2^n} \quad (22)$$

La grandezza fisica analogica viene prelevata dal trasmettitore (trasduttore + condizionatore) ed esce dallo stesso normalizzata (segnale analogico normalizzato). Successivamente, il segnale analogico normalizzato viene filtrato tipicamente con un filtro passa basso. La centralina è dotata di un multiplexer capace di gestire più segnali in ingresso; solo in seguito, il segnale viene campionato e mantenuto (sample and hold). Il segnale analogico continuo viene quantizzato e può essere filtrato in frequenza o nel tempo. Il segnale continuo viene interrogato a tempi definiti e mantenuto costante fino all'interrogazione successiva. In figura 2.18 si riportano i segnali: continuo (grandezza fisica analogica) e il segnale digitalizzato.

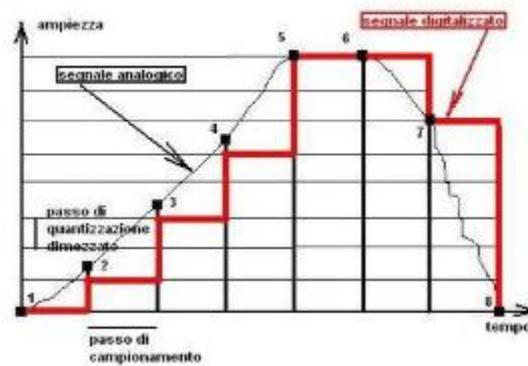


Fig.2.18 Segnali: analogici e digitali

È fondamentale scegliere correttamente la frequenza di campionamento per evitare il fenomeno dell'aliasing (sotto campionamento). Con l'insorgenza del fenomeno dell'aliasing si rischia di avere un segnale distorto. A tal proposito, si definisce la frequenza di campionamento che normalmente viene utilizzata:

$$f_{\text{campionamento}} = 10 * f_1 \quad (23)$$

dove f_1 è il massimo contenuto in frequenza del segnale che deve essere campionato. Tutto ciò in accordo con il teorema di Nyquist secondo cui:

$$f_{\text{campionamento}} \geq 2 * f_1 \quad (24)$$

Infine, il segnale viene memorizzato e viene generata la trasformata di Fourier in accordo alla relazione (20).

Le vibrazioni possono essere misurate mediante sensori di posizione capaci di determinare lo spostamento, sensori di velocità e accelerometri. Per valutare quale dei sensori deve essere utilizzato per una determinata applicazione, è importante tenere in considerazione la rispettiva larghezza di banda e la facilità di installazione. I sensori di posizione, il più delle volte, sono difficili da installare e hanno una larghezza di banda bassa. I sensori di velocità, e ancor più gli accelerometri, hanno una larghezza di banda molto alta e, pertanto, riescono a seguire il segnale vibrazionale fino a frequenze molto alte. I sensori di velocità soffrono a bassa frequenza a causa del rumore.

Nelle applicazioni che verranno considerate quando sarà predisposta una manutenzione di tipo predittivo i sensori considerati saranno accelerometri piezoelettrici.

Di seguito si riporta lo schema del circuito equivalente.

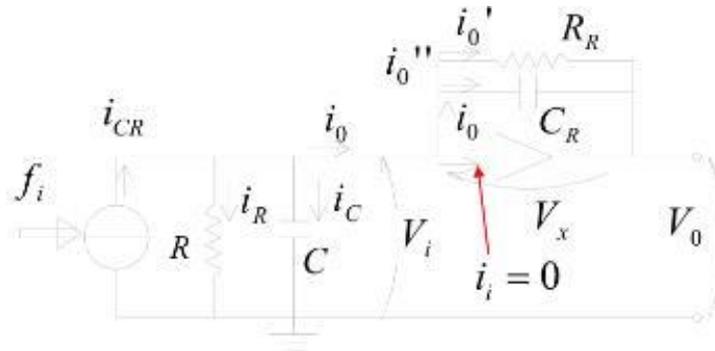


Fig.2.19 Schema accelerometro piezoelettrico

$$R_R C_R \frac{dV_0}{dt} + V_0 = \frac{k_q}{C_R} R_R C_R \frac{df_i}{dt} \quad (25)$$

R_R resistenza di feedback per una costante di tempo più bassa della frequenza di taglio;

C_R capacità di feedback

Q carica elettrica

$$k_q = \frac{Q}{f_i}$$

V_0 tensione di uscita

f_i forza applicata in ingresso

Di seguito in figura 2.20 si riporta il grafico rappresentante la risposta in frequenza del sensore.

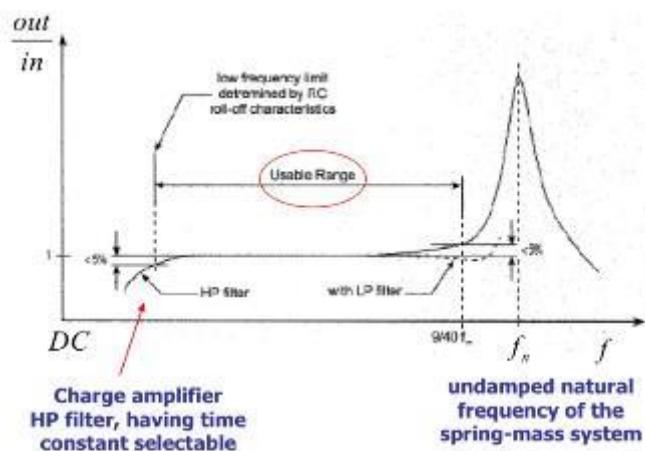


Fig.2.20 Risposta in frequenza del sensore

I sensori appena descritti sono molto affidabili, hanno una buona larghezza di banda e sono compatti e facili da installare.

Per definire se i livelli di vibrazione sono accettabili o meno si fa riferimento alla norma ISO Std. 108116-1.

Si riporta in fig. 2.21: una matrice che mette in evidenza i livelli di vibrazione (overall), le classi di appartenenza delle macchine e i gradi di accettabilità.

ISO 10816-1 overall velocity vibration guidelines

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes ISO Standard 10816-1			
mm/s RMS	in/s PEAK	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.12	Good	Good	Good	Good
0.45	0.13				
0.71	0.14				
1.12	0.16	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory	Satisfactory
1.80	0.10				
2.80	0.16	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)	Unsatisfactory (Alert)
4.80	0.26	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)	Unacceptable (Danger)
7.10	0.40				
11.20	0.62				
18.00	1.10				
28.00	1.56				
45.00	2.51				

Fig.2.21 Linee guida vibrazioni

I valori rappresentati sono valori di "Overall". Tipicamente le macchine più semplici portatili forniscono in uscita valori di "Overall". La vibrazione "Overall" rappresenta l'energia globale misurata in un range specifico di frequenze. Nel momento in cui si comparano i valori di vibrazione di "Overall" è fondamentale considerare lo stesso campo di frequenze.

Un'analisi più accurata prevede l'analisi dello spettro in frequenza ricavato mediante l'FFT. Osservando il grafico è possibile individuare le cause che causano vibrazioni. È importante identificare in prima battuta la velocità di rotazione dell'organo rotante e di conseguenza ricavare la frequenza che caratterizza la velocità di rotazione. Ad esempio, se un mandrino ruota ad una velocità di 12000rpm, la frequenza caratteristica della velocità è: $12000/60=200\text{Hz}$. Se nello spettro si osserva un picco in corrispondenza di una frequenza pari a 200Hz si può desumere che è presente un certo sbilanciamento più o meno grande in funzione del valore del picco. Se, invece, si osserva un picco ad una frequenza doppia rispetto alla frequenza caratteristica della velocità di rotazione si è in presenza di disallineamento.

Se l'albero risulta essere incurvato si ha lo stesso effetto dell'albero incurvato, con differenze di fase assiali che tendono ai 180° . Identificando le frequenze multipli della frequenza caratteristica di rotazione della macchina rotante si possono riconoscere, inoltre, allentamenti meccanici, "piede zoppo" ecc...

È fondamentale conoscere la frequenza che manda il sistema in risonanza, in modo tale da far lavorare il sistema a frequenze maggiori o minori, ma mai in prossimità della frequenza di risonanza. A tal proposito, il più delle volte vengono eseguiti run-up o coast-down test, bump eseguendo l'analisi della risposta in frequenza. Considerando una pompa o un compressore è necessario identificare una frequenza che è spesso causa di problemi $f_{passaggio\ delle\ pale} = n^\circ_{pale} \cdot velocità(rpm)$. La cavitazione, invece, genera energia casuale, a larga banda e ad alta frequenza.

SKF per riconoscere le frequenze caratteristiche del difetto sfrutta la tecnica dell'involuppo, si identifica la frequenza caratteristica del difetto. È importante conoscere: il numero e il diametro di corpi volventi, la velocità, il diametro medio del cuscinetto e infine l'angolo di contatto. Si riportano di seguito delle formule capaci di ricaricare le frequenze caratteristiche del difetto sull'anello esterno, interno e sul corpo volvente.

$$f_{anello\ esterno} = \frac{z}{2} \frac{n}{60} \left(1 - \frac{D_w}{d_m} \cos\alpha\right) \quad (26)$$

$$f_{anello\ interno} = \frac{z}{2} \frac{n}{60} \left(1 + \frac{D_w}{d_m} \cos\alpha\right) \quad (27)$$

$$f_{corpo\ volvente} = \frac{1}{2} \frac{d_m}{D_w} \frac{n}{60} \left[1 - \left(\frac{D_w}{d_m} \cos\alpha\right)^2\right] \quad (28)$$

Capitolo 3

Caso SKF INDUSTRIE SPA stabilimento di Moncalieri

3.1 SKF nello stabilimento di Moncalieri

SKF nello stabilimento di Moncalieri si occupa della revisione di mandrini, cuscinetti ferroviari, alberi e riduttori. I mandrini attualmente utilizzati per le lavorazioni meccaniche sono molto complessi. Considerata la precisione delle lavorazioni è fondamentale l’affidabilità del mandrino ed il suo stato. Avere un mandrino in perfette condizioni si traduce in ottimizzazione della qualità delle lavorazioni ed aumento della produttività. Nel momento in cui il mandrino comincia ad usurarsi, occorre procedere alla sua sostituzione per ottenere gli standard qualitativi e produttivi desiderati. SKF con lo “Spindle service” offre un servizio di revisione dei mandrini che consente al cliente non solo di contenere i costi, ma anche di abbattere i tempi necessari relativi all’acquisto di un nuovo mandrino, agevolando inoltre l’eliminazione o la minimizzazione dei tempi inerenti al fermo macchina. Questo modus operandi mira altresì ad ottimizzare il riutilizzo dei materiali abbattendo gli sprechi, seguendo la logica dell’economia circolare.

Durante il ricondizionamento del mandrino, SKF talvolta interviene effettuando delle modifiche costruttive, atte non solo al miglioramento del componente, ma anche a generare un upgrade del pezzo revisionato. Gli addetti alla revisione, in prima battuta, analizzano i modi e le cause di guasto del mandrino. Successivamente intervengono sostituendo i componenti rotti o estremamente usurati e i cuscinetti. Viene effettuata l’equilibratura dei componenti rotanti e, infine, viene condotto il collaudo nei banchi di test. Sul banco vengono controllate le vibrazioni del mandrino per verificare le condizioni e la forza di trazione completando le ultime regolazioni.

Oltre la revisione dei mandrini, lo stabilimento SKF di Moncalieri si interessa del ricondizionamento dei cuscinetti. Ricondizionare i cuscinetti permette di ridurre i costi consentendo il riutilizzo dello stesso. In particolare, i cuscinetti revisionati sono quelli utilizzati in ambito ferroviario, consentendo di ridurre i costi totali di processo (TCO). Infine, un altro servizio di revisione offerto, è quello dei riduttori che permette al cliente di capire le tempistiche giuste per la corretta manutenzione, evitando rotture e fermi macchina indesiderati. Il programma di revisione è esposto qui di seguito:

- Ispezione in loco e diagnosi
- Smontaggio e valutazione delle condizioni
- Ricondizionamento
- Re-ingegnerizzazione e upgrade
- Collaudo finale
- Messa in servizio

3.2 Mappatura dei macchinari dello stabilimento

Banco prova per analisi di riduttori



Fig. 3.1 Banco prova per analisi riduttori

Il banco prova in questione è composto da struttura portante, da un bancale sul quale sono presenti delle guide capaci di orientare e posizionare un motore elettrico. Questo motore elettrico può essere posizionato nello spazio grazie alla presenza delle guide e contestualmente è possibile posizionarlo anche in altezza. La sua altezza può variare in quanto è presente un sistema vite madrevite, per cui la vite ruotando permette alla madrevite di traslare. La madrevite è vincolata al bancale per cui traslando può orientarsi lungo un asse perpendicolare al terreno. Tutte le componentistiche appena descritte sono ingabbiate all' interno di un' area in modo tale che durante la prova nessuno può accedervi per motivi logicamente dovuti alla sicurezza dei lavoratori.

Il banco prova è stato appositamente progettato per l’analisi dei riduttori, ma talvolta viene usato anche per altre particolari applicazioni.

Riassumendo, i componenti del banco prova per analisi di cuscinetti di cui valutarne le criticità per una corretta strategia manutentiva sono:

- Guide
- Sistema vite-madrevite
- Motore elettrico

Pressa idraulica con azionamento elettrico



Fig. 3.2 Pressa idraulica

La macchina in questione è una pressa idraulica da 150 TON.

La pressa è essenzialmente formata da una parte meccanica caratterizzata da un pistone idraulico in acciaio temprato, da una parte idraulica e da una elettrica. La parte elettrica è composta dal motore elettrico, il quale fa da azionamento al sistema. La parte idraulica è composta da un serbatoio contenente l’olio, da una serie di tubi che vengono attraversati da l’olio ad alta pressione, da una pompa idraulica che invia l’olio in pressione e da una o più valvole a due vie. È inoltre presente un bancale, dove viene appoggiato il componente per essere compresso da una piastra, e per motivi legati alla sicurezza deve esserci una recinzione.

Considerando i componenti del sistema è più facile in un secondo momento identificare quali possono essere i più critici.

- Pistone idraulico
- Piastra
- Bancale
- Motore elettrico
- Serbatoio
- Tubi ad alta pressione
- Valvole a due vie
- Pistone idraulico
- Piastra

Sealjet SKF NG 040



Fig.3.3 Sealjet

La macchina su riportata è una SKF SEALJET NG 040. Essa consente la produzione di guarnizioni con un profilo personalizzato (anche diverso da quelli predefiniti potendo anche scegliere tra quelli di casa SKF) e con delle dimensioni fino a 40mm. L’obiettivo di questa macchina è permettere la produzione delle tenute desiderate direttamente in loco evitando di acquistarle da altri fornitori, ottimizzando gli spazi in magazzino e riducendo i tempi di

trasporto. Di seguito si riportano una tabella con le caratteristiche principali e un’immagine rappresentante alcune tipologie di profili, tratti dal catalogo SKF.

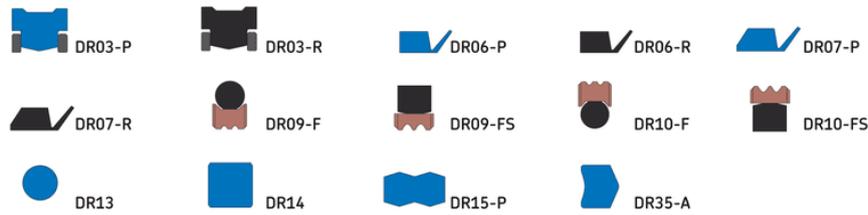


Fig.3.4 Profili Sealjet

Sealjet SKF NG 020

La macchina Sealjet SKF NG 020 è pressoché identica alla macchina Sealjet SKF NG 040, l’unica differenza sta nel diametro delle tenute eseguite. In questo caso il diametro massimo è minore di 200mm.

SK 150 Safety Kleen



Fig.3.5 Safety Kleen

Questa macchina è utilizzata per il lavaggio dei pezzi soprattutto di componenti con forme particolari e complesse. Sfruttando la tecnologia degli ultrasuoni si agita il liquido utilizzato per il lavaggio grazie alla generazione di onde di pressione. Le onde di pressione causano delle

cavitazioni, le quali consentono la rimozione dei residui di sporco sul pezzo. I trasduttori sono gli elementi che producono gli ultrasuoni e quindi le onde di pressione. Sono quest’ultimi i componenti da tenere in considerazione per una giusta manutenzione.

Macchina da lavaggio Caber Impianti



Fig.3.6 Lavatrice Caber

Macchina utilizzata per il lavaggio componenti, molto complessa la cui trattazione nello specifico verrà svolta in seguito.

Centralina idraulica



Fig.3.7 Centralina Idraulica

L'impianto oleodinamico è composto da un serbatoio contenente il fluido utilizzato per il funzionamento del sistema. Per far scorrere il fluido attraverso i fasci tubieri è presente un'unità di potenza formata da una pompa a cui è accoppiato un motore elettrico. Il fluido viene pescato dal serbatoio dalla pompa per poi essere movimentato lungo i fasci tubieri per arrivare, infine, alle utenze. Sono presenti una serie di valvole tra cui: una valvola regolatrice di pressione, che è una sorta di valvola di sicurezza che per non far crescere la pressione fino a valori pericolosi manda in scarico il fluido. Ulteriori valvole sono: un'elettrovalvola e un regolatore di flusso. Si riporta di seguito una rappresentazione molto semplificata di un impianto.

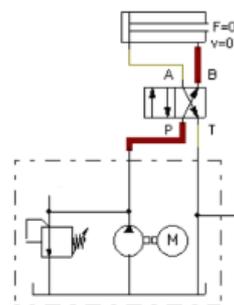


Fig.3.8 Impianto idraulico

Banco piantaggio guarnizioni SKF

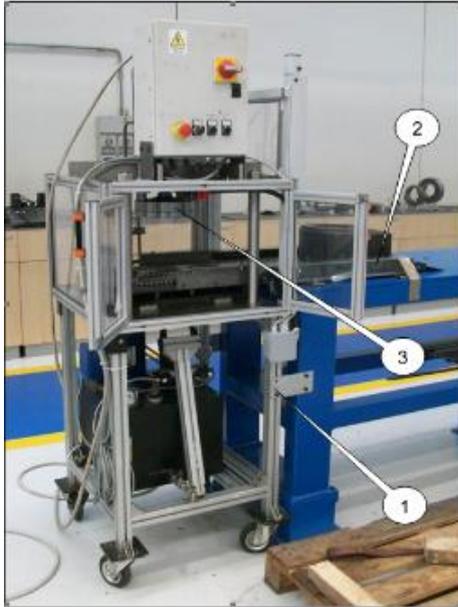


Fig.3.9a Banco piantaggio guarnizioni



Fig.3.9b Banco piantaggio guarnizioni

- Basamento
- Rulliera
- Gruppo di piantaggio

Il banco è stato ideato per il piantaggio di guarnizioni e tenute. È composto da una parte idraulica, il cui funzionamento e la componentistica è stata descritta in precedenza. L'utenza è costituita da uno stelo movimentato dall'azione idraulica. È inoltre presente, una tavola che può scorrere lungo la direzione orizzontale grazie a dei rulli. Bisogna tenere in considerazione in prima battuta il corretto funzionamento della parte idraulica, le guarnizioni dello stelo e il rotolamento dei rulli.

Banco assemblaggio alberi



Fig.3.10a Banco assemblaggio alberi



Fig.3.10b Banco assemblaggio alberi

Il banco in questione è stato progettato per l’assemblaggio degli alberi. È composto da un piano di lavoro, sul quale sono presenti delle guide meccaniche necessarie per far scorrere i pezzi da assemblare. Sopra la struttura è presente uno stelo movimentato dall’azione oleodinamica, generata da una centralina idraulica. I componenti principali delle centraline idrauliche sono già stati trattati, quindi si ha un’idea chiara della componentistica idraulica da tenere in considerazione per una corretta manutenzione.

Marcatura GRAVOTECH



Fig.3.11 Marcatura Gravotech

Macchina utilizzata per la marcatura dei cuscinetti.

Macchina prova giochi

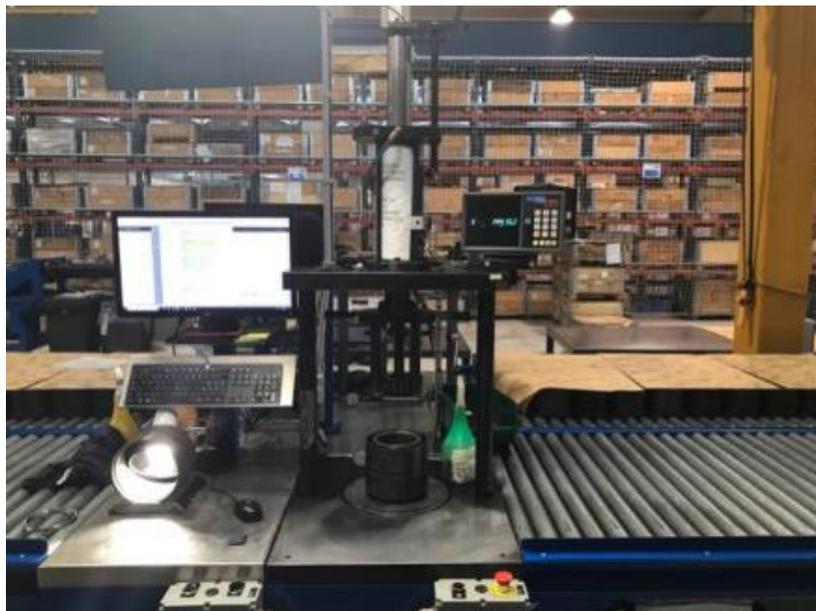


Fig.3.12 Macchina prova giochi assiali

Macchina utilizzata per la misurazione dei giochi dei cuscinetti di uso ferroviario. Ad essa è accoppiato il visualizzatore di quote Anilam Wizard 201.

Tornio parallelo EMERSON



Fig.3.13a Tornio parallelo



Fig.3.13b Tornio parallelo

Tornio parallelo FIMAP



Fig.3.14a Tornio parallelo



Fig.3.14b Tornio parallelo

Tornio per lavorazioni di tornitura di componenti meccanici.

Fresatrice CNC



Fig.3.15 Fresatrice CNC

Macchina a controllo numerico utilizzata per la fresatura di componenti meccanici.

Rettificatrici in tondo per interni



Fig.3.16a Rettificatrice



Fig.3.16b Rettificatrice

La rettificatrice in questione è utilizzata per la rettifica di componenti cilindrici o conici, in particolare viene lavorata la superficie interna del pezzo. Lo scopo della rettifica è quella di ottenere rugosità superficiali basse, asportando sovrametallo (pochi decimi di mm) mediante una mola. La lavorazione di rettifica viene effettuata vincolando il pezzo al mandrino. L'utensile (mola) ruota ad una certa velocità di rotazione, maggiore di quella che ha il mandrino, ma il verso di rotazione è il medesimo. Il mandrino porta il pezzo in rotazione e allo stesso tempo può traslare lungo l'asse trasversale. Di seguito si riporta un'immagine per capire meglio la lavorazione di rettifica (fig.3.17).

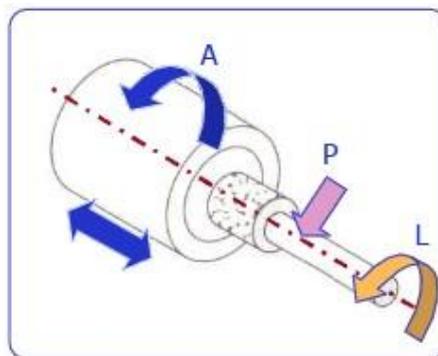


Fig.3.17 Lavorazione di rettifica per interni (1)

I componenti principali della rettificatrice sono:

- (1) Fonte fig.3.17: [Rettifica in tondo e in piano \(vanzine.it\)](http://vanzine.it)

- Basamento

Il basamento è in ghisa con delle guide rettificate. Vi è un cilindro che permette il movimento trasversale della tavola.

- Tavola

La tavola è l'elemento traslante orizzontalmente. La parte inferiore della tavola risulta essere lubrificata. La corretta posizione della tavola è visualizzabile grazie all' utilizzo di una riga ottica.

- Testa portapezzo

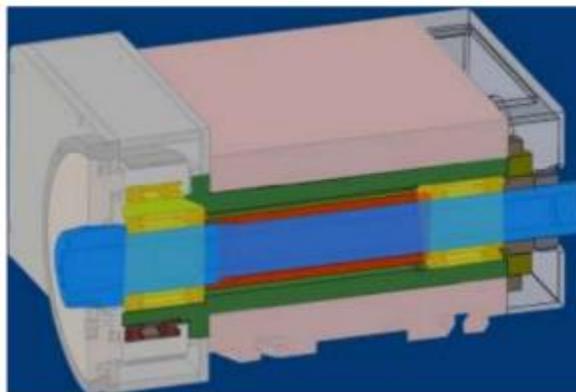


Fig.3.18 Testa porta pezzo (1)

- Testa portamola
- Sistemi di trasmissione e ingranaggi
- Contropunta sostiene il pezzo da lavorare assieme alla testa porta pezzo
- Cuscinetti
- Guide
- Diamantatore consente la diamantatura della mola
- Impianto idraulico

Costituito da una centrale idraulica. L'impianto idraulico consente la movimentazione degli organi meccanici quali per esempio la tavola e la testa porta mola.

- Impianto pneumatico

Necessario per facilitare l'operatore negli spostamenti dei componenti.

(1) Fonte fig.3.18: https://robbigroup.com/Cataloghi/IT16_01_Omi_CON

- Impianto per la lubrificazione

Necessario per la lubrificazione delle guide dove scorrono la tavola e le guide della testa porta mola e porta pezzo.

- Impianto per la refrigerazione
- Impianto elettrico

Composto da circuiti elettrici, di potenza, protezioni, motori e trasformatori.

- Impianto per l’aspirazione dei trucioli

Centrale di filtraggio rettificatrice

La centrale di filtraggio è posta dietro la macchina rettificatrice e permette la filtrazione degli oli usati durante l’operazione di rettifica. La dimensione del grano asportato durante la lavorazione è dell’ordine dei micron ($1/10 \mu\text{m}$). Il sistema di filtraggio è fondamentale, in quanto consente non solo di garantire una buona resa delle mole diamantate, permettendo di ottimizzare il processo di rettifica, ma anche il corretto mantenimento della macchina. Il depuratore in questione è di tipo magnetomeccanico. Il depuratore magnetico (cilindro rotante) è montato su un depuratore a tessuto per gravità. Il depuratore magnetico è composto da cilindro, albero e flange. Il liquido attraversa il depuratore magnetico, che trattiene il materiale ferroso. Successivamente passa sul tessuto filtrante, che trattiene le impurità. Il liquido che è stato filtrato dal depuratore magnetomeccanico si deposita all’ interno della vasca.

Nella vasca vi è un sensore di livello che si attiva quando il liquido, a causa del tessuto filtrante intasato, raggiunge un certo livello. Nel momento in cui si attiva il sensore viene alimentato un motoriduttore, che è collegato all’ albero del trasportatore che lo fa avanzare. Sul telaio in acciaio del depuratore meccanico per gravità sono montati l’albero motore e l’albero di rinvio completi di pignoni dentati.

Sono presenti, inoltre, delle valvole idrauliche, dei fasci tubieri e due pompe (una di estrazione e una di rilancio del fluido).

Si riporta di seguito un’immagine in modo da visualizzarne meglio il funzionamento.

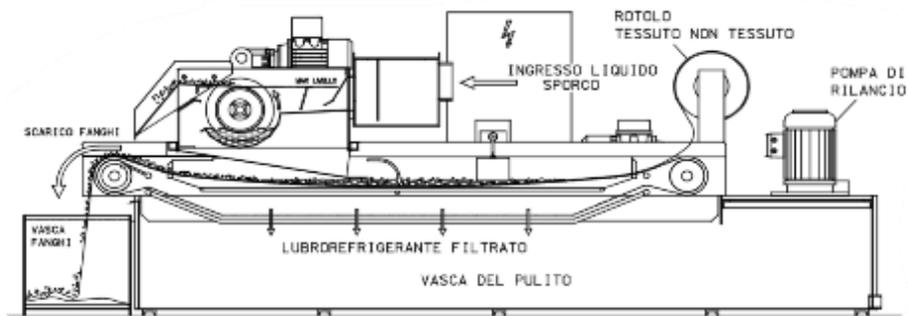


Fig.3.19 Schema centrale di filtraggio

Rettificatrice cilindrica LIZZINI SIRIO SYSTEM



Fig.3.20 Rettificatrice

La rettificatrice in questione effettua una rettifica in tondo per esterni. Di seguito si riporta un'immagine per capire meglio la lavorazione.

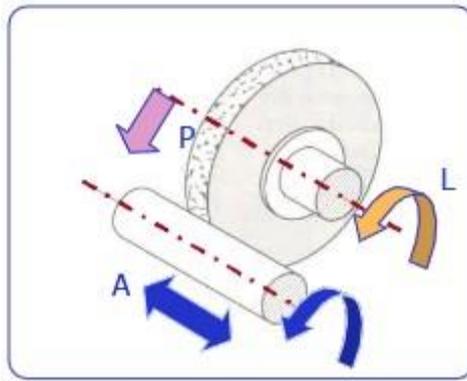


Fig.3.21 Lavorazione di rettifica per esterni (1)

I componenti della macchina da analizzare sono:

- Basamento
- Tavola
- Testa portapezzo
- Testa portamola

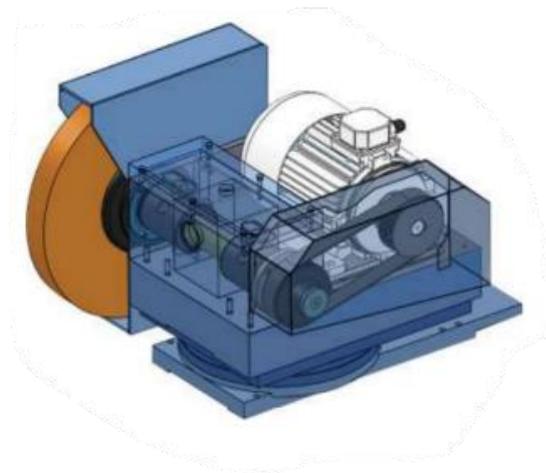


Fig.3.22 Testa portamola (2)

- Sistemi di trasmissione e ingranaggi
- Contropunta
- Cuscinetti
- Guide
- Diamantatore
- Impianto idraulico

(1) Fonte fig.3.21: [Rettifica in tondo e in piano \(vanzine.it\)](http://vanzine.it)

(2) Fonte fig.3.22: https://robbigroup.com/Cataloghi/IT16_01_Omi_CON

- Impianto pneumatico
- Impianto per la lubrificazione
- Impianto per la refrigerazione
- Impianto elettrico

Lapidello a bandiera ATHENA



Fig.3.23 Lapidello ATHENA

Il lapidello a bandiera ATHENA è una macchina capace di eseguire la lavorazione di lapidellatura, ossia il trattamento di finitura superficiale utilizzato per ridurre notevolmente la rugosità, che, come valore, si aggira intorno al micron. Per un corretto utilizzo del lapidello sarebbe opportuno ruotare il pezzo in lavorazione di un angolo retto. Attraverso tale accorgimento si riduce la rugosità e l'errore di planarità. Il pezzo da lavorare è fisso sulla tavola. La testa mobile, sulla quale è montata una tazza con materiale abrasivo, si muove verso il pezzo da lavorare.

I componenti del lapidello sono i seguenti:

- Motore elettrico
- Coperchio di sicurezza per la mola
- Maniglia di regolazione

- Struttura della macchina in ghisa
- Mola
- Captatore aspiratore
- Sistema per il bloccaggio del pezzo

La pulizia è un intervento da fare dopo ogni giorno di utilizzo per preservare correttamente la macchina e per avere una lavorazione efficiente e costante.

Le parti più delicate da monitorare sono per lo più elettriche per cui, nel piano di manutenzione è previsto un controllo periodico dell’impianto elettrico della macchina.

Lapidello DI PALO



Fig.3.24 Lapidello DI PALO

Il principio di funzionamento e la componentistica del lapidello Di Palo sono simili al lapidello ATHENA. La differenza tra le due macchine è che nel lapidello DI PALO il pezzo su cui eseguire la lavorazione è montato verticalmente, cioè l’asse del pezzo è parallelo al terreno. Valgono le stesse considerazioni fatte è il lapidello ATHENA.

Elettro aspiratore

In officina sono presenti degli elettri aspiratori, uno per ogni lapidello. Il compito dell’elettro aspiratore è indispensabile per la manutenzione delle macchine utensili, nel caso specifico dei lapidelli. L’elettro aspiratore aspira olio misto a trucioli dovuti alla lavorazione di lapidellatura. Grazie al suo utilizzo si ottengono livelli di pulizia elevati così da preservare la macchina (lapidello). In questo modo si riducono i fermi macchina necessari per la pulizia e si limitano gli interventi dell’operatore per garantire la pulizia del lapidello. Nella parte inferiore dell’elettro aspiratore è presente un recipiente che deve essere ripulito a certi intervalli e riempito con acqua fino ad un certo livello. Una problematica che si può verificare è la formazione di incrostazioni lungo le pareti della camera d’aria. Bisogna preservare la fascia di chiusura, mantenendola sempre pulita in modo tale da garantire la tenuta e quindi la separazione della polvere. Un componente sicuramente da tener in considerazione è il cuscinetto dell’albero porta ventola.

Affilatrici utensili (molatrici)



Fig.3.25 Affilatrici utensili

Segatrice



Fig.3.26 Segatrice

Sabbiatrice



Fig.3.27 Sabbiatrice

La sabbiatrice sfrutta l’azione generata dall’aria compressa per mandare un getto d’aria ad alta pressione. Il getto trasporta con sé materiale abrasivo che va a colpire la superficie del pezzo da trattare. La sabbiatrice, sfruttando l’azione pneumatica, deve essere collegata ad un impianto pneumatico e quindi ad un compressore.

Elementi principali da tenere in considerazione sono: il filtro deumidificatore per evitare delle ostruzioni, il manometro, le valvole e gli ugelli.

Forno di riscaldamento e asciugatura Votsch



Fig.3.28 Forno Votsch

Forno utilizzato per effettuare processi di riscaldamento ed essiccazione.

Macchina da lavaggio Bonfiglio



Fig.3.29 Macchina da lavaggio Bonfiglio

Macchina per il lavaggio di componenti.

Pressa elettroidraulica a due velocità automatiche



Fig.3.30 Pressa elettroidraulica

Equilibratrice dinamica elettrorava



Fig.3.31a Equilibratrice dinamica



Fig.3.31b Equilibratrice dinamica



Fig.3.31c Equilibratrice dinamica



Fig.3.31d Equilibratrice dinamica

Macchina equilibratrice che lavora ad elevata velocità, utilizzata per l'equilibratura di componenti rotanti.

Stazione banchi prova mandrini

Banchi utilizzati per il collaudo dei mandrini post revisione e montaggio. Viene effettuata una analisi vibrazionale e termica mediante accelerometri e sonde termiche. Gli impianti di gestione dei banchi si trovano alle spalle del banco e sono: un inverter, un motore elettrico, centraline per la lubro-refrigerazione.



Fig.3.32a Banchi prova mandrini



Fig.3.32b Banchi prova mandrini

Capitolo 4

Definizione piano manutentivo alle macchine dello stabilimento

4.1 Analisi delle criticità macchine dello stabilimento

Per eseguire l’analisi delle criticità è stata utilizzata la logica presentata nel paragrafo 2.3.

Asset Code	Asset Description	Area	Tipologia	Sicurezza	Qualità	Impiego	Processo	Frequenza	Costo	Manutenibilità	Fattore di criticità
040015	RETTIFICA MORARA REU-650	VERIFICARE	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	B	C	B	B	A
028574	SAND CLEANING MACHINE	VERIFICARE	MACCHINA OPERATRICE	B	C	B	A	C	B	C	C
040018	TORNIO FIMAP MOD.TP20	VERIFICARE	MACCHINA OPERATRICE	B	B	A	B	C	B	B	C
040029	BANCO MONTAGG.X RULLI ONR	REPARTO CONRO	MACCHINA OPERATRICE	C	B	C	A	C	B	C	C
029888	DEA GAMMA 1203	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	A	C	B	B	B	A	A
029882	MACCH.PROVA GIOCHI ASS. 98016	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	A	A	B	C	B	C	A
029882	MACCH.PROVA GIOCHI ASS. 98015	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	A	A	B	C	B	C	A
029881	PIANO DI RISCONTRO	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	A	C	C	C	B	C	A
029880	PRESSA 1	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	B	A	B	C	B	B	C
	PRESSA 2	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	C	B	A	B	C	B	B	C
029885	RETTIFICA CON TAV.GIREV.	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	B	B	C	C	C	C	C	C
029092	WASHING MACHINE+ACCESSORI	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	C	A	A	B	B	C	C
040026	AFFILATRICE PUNTE DECKEL	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	A	B	C	B	B	C
040000	BANCO PROVA CENTRALINE MI	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	B	C	C	B	B	A
040003	BANCO PROVA CON TENDICING	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	B	B	C	B	B	A
040007	BANCO PROVA ESAT	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	B	C	C	B	B	A
040004	CENTR.CONTR.MANDRINI OLEO	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	B	C	B	B	A
028714	ELECTR.MARK AND ACCESS	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	C	B	B	C	C	B	C
040005	EQUILIBRATRICE CEMB N402	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	C	A	A	B	C	B	B	A
040002	EQUILIBRATRICE CEMB ZB50/	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	A	B	B	B	A
040001	EQUILIBRATRICE ELETTRORAV	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	A	B	B	B	A
040020	FORNO VOTSCH VTU 60/91	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	C	C	B	B	C	B	B	C
028657	FRESATRICE	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	B	C	B	B	C
040023	LAPIDELLO ATHENA 175/TGT	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	B	C	B	B	C
040011	MACCHINA LAVAGGIO SIRIO	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	C	B	A	C	B	C	C
040013	RETTIF. ATHENA 175 TGT/FA	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	A	C	B	B	B
040012	RETTIF.CIRCOLARE DI PALO/	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	A	C	B	B	B
040017	RETTIFICA LIZZINI SIRIO	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	A	C	B	B	B
040016	RETTIFICA MORARA RIS-1500	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	A	C	B	B	A
040014	RETTIFICA MORARA RIS-850	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	A	C	B	B	A
040024	RETTIFICATRICE LIZZINI RV	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	A	C	B	B	B
040027	SABBIATRICE	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	C	C	C	B	C	C	C	C
040022	SEGATRICE KASTO EBS320AU	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	C	C	C	C	C	B	B	C
040019	TORNIO EMERSON MOD.EL205-	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	B	B	C	B	B	C
040025	TORNIO FIMAP TP22	REPARTO MANDRINI	MACCHINA OPERATRICE	B	B	A	B	C	B	B	C
028608	MECHANICAL PRESS	REPARTO RIPARAZIONE RIDUTTORI	MACCHINA OPERATRICE	B	C	C	B	C	B	B	C
0XXXXX	LAVATRICE CABER	REPARTO FERROVIE	MACCHINA OPERATRICE	B	A	A	A	C	B	B	A

Tab.4.1 Analisi delle criticità

4.2 Modalità e cause di guasto

Per condurre correttamente l’analisi FMECA è necessario approfondire due aspetti fondamentali che sono le modalità e le cause di guasto delle macchine ed in particolare dei suoi componenti. Per identificare i modi, le cause di guasto e il fattore “O” (occurrence) (frequenza

del malfunzionamento o rottura), oltre ai dati e informazioni aziendali è stato utilizzato il testo “OREDA Offshore Reliability Data Handbook”. In tale testo sono raccolti dati relativi alla frequenza e alla modalità di guasto delle principali macchine. È stato particolarmente utile per l’analisi delle macchine rotative, in particolare pompe, motori elettrici, riduttori e per le valvole. I modi di fallimento si distinguono in fallimento critico, degrado o rottura incipiente. Per ognuno dei componenti è indicato rapporto tra il numero di rotture e il tempo di lavoro degli items.

4.2.1 Modalità e cause di guasto pompe

Si riporta di seguito un esempio relativo all’analisi delle pompe centrifughe.

La sottoindicata tabella tratta da “OREDA” indica i dati relativi alla componentistica della pompa, alla trasmissione di potenza, al controllo, al sistema di lubrificazione e ai componenti aggiuntivi.

PUMP				
Power Transmission	Pump	Control and Monitoring	Lubrication system	Miscellaneous
<ul style="list-style-type: none"> • Gearbox/var. drive • Bearing • Seals • Lubrication • Coupling to driver • Coupling to driven unit • Instruments 	<ul style="list-style-type: none"> • Support • Casing • Impeller • Shaft • Radial bearing • Thrust bearing • Seals • Valves & piping • Cylinder liner • Piston • Diaphragm • Instruments 	<ul style="list-style-type: none"> • Instruments • Cabling & junction boxes • Control unit • Actuating device • Monitoring • Internal power supply • Valves 	<ul style="list-style-type: none"> • Instruments • Reservoir heating system • Pump w/motor • Filter • Cooler • Valves piping • Oil • Seals 	<ul style="list-style-type: none"> • Purge air • Cooling/heating system • Filter, cyclone • Pulsation damper

Tab.4.2 Componentistica pompe

Si riportano di seguito delle tabelle tratte da “Oreda” che fanno riferimento alle pompe:

Taxnomy no 1.3		Item Machinery Purps								
Population	Installation	Aggregated time in service (10 hours)					No of demands 11200			
		Calendar time 19.0224		Operational time 8.6743						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 hours)					Active rep.hrs	Repair (manhours)		
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max
Critical	524	0	20.52	108.44	49.34	27.55	37.37	1	53.1	1025
	524	1.14	65.40	204.64	72.93	60.41				
Breakdown	45	0	1.27	6.56	5.17	2.37	16.1	3	52.5	766
	45	0.01	3.85	15.72	5.95	5.19				
Erratic output	2	0	0.14	0.72	0.58	0.11	19.8	11	39.5	68
	2	0	0.38	2	0.91	0.23				
External leakage- Process medium	86	0	2.38	12.29	9.53	4.52	28.4	2	38.3	444
	86	0	7.07	33.87	13.94	9.91				
External leakage- Utility medium	46	0	1.20	5.04	5.60	2.42	16	2	29.8	90
	46	0	3.59	16.82	6.84	5.3				
Fail to start on demand	50	0.01	2.52	9.77	3.62	2.63	52	1	56.6	551
	50	0.08	13.75	48.28	17.83	5.76				
Fail to stop on demand	2	0	0.10	0.21	0.54	0.11	3.5	3	3.5	4
	2	0	0.26	1.30	0.56	0.23				
High output	3	0	0.67	3.51	2.44	0.16	-	1	3.3	6
	3	0	2.31	12	5.32	0.35				
Internal leakage	8	0	0.34	1.39	0.52	0.42	95.5	3	48.3	188
	8	0.16	0.98	2.37	0.72	0.92				
Low output	46	0	2.5	3.96	15.25	2.42	35.4	3	41.2	508
	46	0	4.57	13.58	22.9	5.3				
Noise	6	0.15	0.33	0.56	0.13	0.32	23.3	16	60.5	122
	6	0.01	1.03	3.73	1.38	0.69				
Other	8	0	0.57	2.99	2.43	0.42	275.5	2	424.5	734
	8	0	1.53	7.57	3.21	0.92				
Overheating	5	0	0.27	0.95	0.35	0.26	183.2	3	265	1025
	5	0	6.41	32.56	14.04	0.58				
Parameter deviation	18	0	0.66	3.59	2.31	0.95	11	1	20.08	88
	18	0.14	1.96	5.66	1.87	2.08				
Spurious stop	133	0	5.69	27.65	11.50	6.99	37.5	1	42.1	714
	133	1.57	19.07	53.52	17.47	15.33				
Structural deficiency	33	0	0.41	0.51	4.91	1.73	20.06	5	40.5	211
	33	0	1.24	3.74	6.18	3.80				
Unknown	1	0	0.05	0.15	0.05	0.05	-	-	-	-
	1	0	0.11	0.33	0.12	0.12				
Vibration	32	0	1.67	7.70	3.10	1.68	81.2	5	18.3	896
	32	0.47	5.11	14.03	4.53	3.68				
Degraded	754	0	44.20	210.34	86.32	39.64	20.02	0.3	26.4	798
	754	11.39	238.41	714.72	239.4	86.92				
Abnormal instrument reading	9	0	0.80	4.56	2.45	0.47	9	2	16	65
	9	0	2.53	11.22	4.42	1.04				
Erratic output	23	0	2.27	12.50	6.03	1.21	14.8	2	16.8	65
	23	0	7.88	33.25	13.95	2.65				

Tab.4.3a Modalità di guasto pompe

Capitolo 4: “Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento”

Taxnomy no 1.3		Item Machinery Purps								
Population	Installations	Aggregated time in service (10 hours)					No of demands 11200			
		Calendar time 19.0224		Operational time 8.6743						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 hours)					Active rep.hrs	Repair (manhours)		
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max
External leakage- Process medium	160	0	11.61	66.33	35.66	8.41	11.2	1	18.7	278
	160	0	22.20	121.98	58.38	18.45				
External leakage- Utility medium	192	0	7.98	35.67	14.11	10.09	29.5	1	34.5	219
	192	0.02	51.23	222.63	86.52	22.13				
Fail to stop on demand	3	0	0.25	1.34	0.91	0.16	3.8	6	7.7	10
	3	0.01	8.74	36.88	14.16	0.35				
High output	1	0	0.05	0.19	0.07	0.05	2	2	2	2
	1	0	0.11	0.33	0.12	0.12				
Internal leakage	53	0	5.76	33.26	18.05	2.79	27.2	0.3	17.6	304
	53	0	16	79.64	33.91	6.11				
Low output	37	0.03	2.21	7.07	2.55	1.95	7.9	0.5	13.3	144
	37	5.47	33.01	76.81	24.09	4.27				
Minor in service problems	3	0	0.26	1.47	0.79	0.16	13	18	22	26
	3	0.01	8.78	36.90	14.14	0.35				
Noise	15	0	0.60	3.22	1.49	0.79	8.3	1	26	112
	15	0	1.87	9.63	4.18	1.73				
Other	61	0	5.32	25.64	10.58	3.21	18.5	1	22.2	165
	61	0.01	26.51	116.49	45.63	7.03				
Overheating	9	0	0.75	4.13	1.94	0.47	45.6	7	66	112
	9	0	5.72	31.01	14.42	1.04				
Parameter deviation	76	0	2.48	7.60	12.33	4	4.5	1	7.7	67
	76	0	5.93	33.65	17.96	8.76				
Structural deficiency	66	0	1.22	1.44	8.86	3.47	25.3	1	31.8	798
	66	0	3.85	14.51	18.37	7.61				
Vibration	46	0	1.89	10.54	5.51	2.42	33.1	1	76.1	737
	46	0.01	6.21	24.60	9.18	5.30				
Incipient	1124	0.08	55.97	228.31	86.32	59.09	10.3	0.5	15.1	697
	1124	127.07	760.29	1833.66	552.65	129.58				
Abnormal instrument reading	550	0.01	24.76	105.79	40.87	28.91	5.5	0.5	8.5	169
	550	8.45	238.23	719.96	246.09	63.41				
Erratic output	8	0	0.67	3.74	2.20	0.42	4.1	2	13	26
	8	0	2.29	10.78	4.4	0.92				
External leakage- Process medium	56	0	2.68	15.38	8.57	2.94	14.8	0.5	22.6	206
	56	0	8.16	38.69	15.97	6.46				

External leakage- Utility medium	125 125	0 0.42	4.83 15.24	25.46 46.51	11.55 16.15	6.57 14.41	22.4	1	26.6	179
Internal leakage	9 9	0 0.09	0.39 1.04	1.94 2.90	0.83 0.94	0.47 1.04	42.6	0.5	41.2	172
Low output	1 1	0 0	0.05 0.13	0.29 0.51	0.14 0.19	0.05 0.12	2	2	2	2
Minor in service problem	249 249	0 53.83	15.57 360.26	76.1 893.12	31.87 273.64	13.09 28.71	5.8	0.5	9.6	111

Tab.4.3b Modalità di guasto pompe

Taxnomy no 1.3		Item Machinery Pumps								
Population 449	Installations 61	Aggregated time in service (10 hours)					No of demands 11200			
		Calendar time 19.0224		Operational time 8.6743						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 hours)					Active rep.hrs	Repair (meanhours)		
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max
Noise	15	0	0.74	2.77	1.02	0.79	6.6	0.5	17.3	46
	15	0.47	2.04	4.52	1.29	1.73				
Other	52	0	3.24	16.91	7.57	2.73	26	1	46.1	697
	52	0	19.56	90.09	36.18	5.99				
Overheating	4	0.7	0.21	0.41	0.11	0.21	30.3	3	34.3	64
	4	0	0.55	2.61	1.07	0.46				
Parameter deviation	24	0	1.12	6.03	3.87	1.26	9.3	2	14.4	81
	24	0	3.34	14.31	5.53	2.77				
Structural deficiency	15	0	0.79	4.42	2.29	0.79	35	1	55.7	213.5
	15	0.04	2.23	6.94	2.46	1.73				
Unknown	4	0	0.39	0.88	2.09	0.21	45.3	8	38.5	70
	4	0	1.33	7.71	4.23	0.46				
Vibration	12	0	0.69	3.19	1.28	0.63	9.9	1	26.7	96
	12	0	1.98	8.31	3.18	1.38				
Unknown	21	0	2.04	9.97	4.16	1.1	6.8	1	13.1	52
	21	0.09	6.97	22.41	8.12	2.42				
External leakage- Utility medium	1	0	0.20	0.90	0.94	0.05	-	29	29	29
	1	0	0.78	4.28	2.03	0.12				
Noise	2	0	0.35	1.71	1.57	0.11	-	6	29	52
	2	0	0.89	4.87	2.43	0.23				
Other	4	0	0.44	2.35	1.59	0.21	-	8	11.5	14
	4	0	1.64	8.01	3.35	0.46				
Unknown	13	0	0.86	4.78	2.87	0.68	6.8	1	9.2	48
	13	0	3.22	15.01	6.08	1.5				
Vibration	1	0	0.15	0.48	0.72	0.05	-	15	15	15
	1	0	0.39	2.15	1.07	0.12				
All modes	2423	0.12	123.75	515.05	196.22	127.38	20	0.3	27.4	1025
	2423	230.16	1184.82	2751.06	816.62	279.33				

Tab.4.3c Modalità di guasto pompe

Nelle tabelle soprastanti sono riportati i modi di rottura, i numeri relativi ai componenti rotti, SD ossia deviazione standard che indica la variazione tra più campioni. Lower Upper: intervallo di incertezza del 90% per il tasso di guasto. Il mean Failure rate è il tasso medio di guasto, cioè l'integrale normalizzato del tasso di guasto istantaneo su un dato intervallo di tempo. L'indice: $\frac{n}{\tau}$ è il rapporto tra il numero di componenti rotti.

Dal tasso di guasto, dovuto per esempio alle vibrazioni è possibile calcolare il MTTF, l'affidabilità e inaffidabilità è possibile ricavare:

$$h(t)=1,89 \quad (29)$$

$$MTTF=\frac{1}{1,89} = 0.53 \quad (30)$$

$$R(t)=e^{-1.89t} \quad (31)$$

$$F(t)=1-R(t)=1-e^{-1.89t} \quad (32)$$

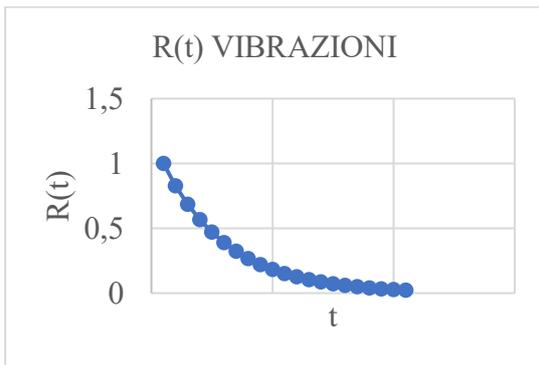


Fig.4.1a Affidabilità Vibrazioni

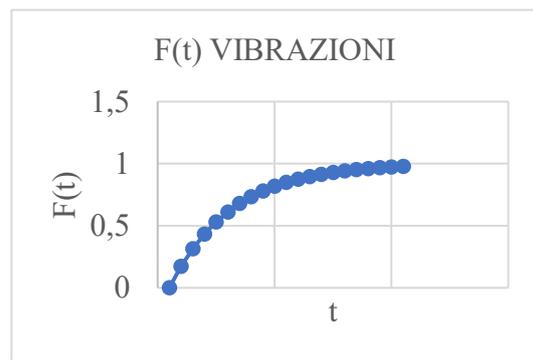


Fig.4.1b Inaffidabilità Vibrazioni

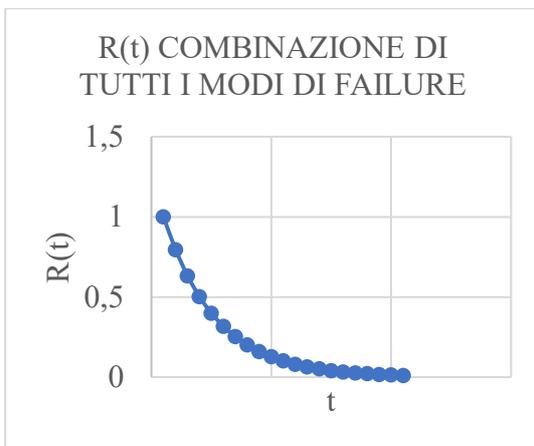


Fig.4.2a Affidabilità considerando tutte le modalità di failure



Fig.4.2b Affidabilità considerando tutte le modalità di failure

4.2.2 Modalità e cause di guasto motori elettrici

Un’analisi simile a quella fatta per le pompe è stata fatta per i motori elettrici, per l’alimentazione delle pompe e per le valvole. Di seguito si riportano le tabelle relative ai motori elettrici.

ELETTRICAL MOTORS				
Control & monitoring	Cooling system	Electric motor	Lubrication system	Miscellaneous
<ul style="list-style-type: none"> • Actuating device • Cabling & junction Boxes • Control unit • Instruments • Internal power Supply • Monitoring • Valves 	<ul style="list-style-type: none"> • Heat exchanger • Fan w/motor • Filter • Valves & piping • Pump • Instruments 	<ul style="list-style-type: none"> • Casing • Circuit breaker • Coupling • Excitation • Instruments • Overload protection • Radial bearing • Rotor • Stator • Thrust bearing 	<ul style="list-style-type: none"> • Reservoir • Pump w/motor • Filter • Cooler • Valves & piping • Oil • Instruments • Seals 	<ul style="list-style-type: none"> • Hood

Tab.4.4 Componentistica motori elettrici

Taxonomy no 2.2		Item Electric Equipment Electric motors									
Population 178	Installations 16	Aggregated time in service (10 hours)					No of demands 6368				
		Calendar time 5.4324		Operational time 4.3894							
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 ⁶ hours)					Active rep.hrs	Repair (meanhours)			
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max	
Critical	119	2.24	28.44	80.34	26.3	21.91	35.3	1	55.6	1140	
	119	3.36	32.75	87.95	28.11	27.11					
Breakdown	9	0.16	1.53	4.06	1.29	1.66	12.4	4	21.9	45	
	9	0.75	1.93	3.54	0.87	2.05					
External leakage- Utility medium	2	0	0.48	2.22	0.89	0.37	34.5	38	45.5	53	
	2	0	0.56	2.19	0.81	0.46					
Fail to start on demand	22	2.08	3.97	6.36	1.32	4.05	17.2	1	27.4	250	
	22	0	4.77	15.81	5.79	5.01					
Fail to stop on demand	2	0	0.52	2.45	1	0.37	11	2	20.5	39	
	2	0	0.64	3.02	1.23	0.46					
Low output	13	0	5.89	27.44	11.12	2.39	13.9	1	19.2	48	
	13	0	6.51	31.06	12.76	2.96					
Noise	3	0.01	0.49	1.51	0.53	0.55	6.3	5	26.7	60	
	3	0	0.58	2.5	0.97	0.68					
Other	5	0	1.31	7.37	3.89	0.92	15.5	3	30.6	37.5	

	5	0	1.57	8.8	4.64	1.14				
Overheating	2	0	0.44	1.95	0.77	0.37	3	2	3	4
	2	0	0.50	1.88	0.69	0.46				
Parameter deviation	4	0	0.66	3.76	2.09	0.74	5	2	9.5	26
	4	0	0.76	4.24	2.22	0.91				
Spurious stop	37	0.03	13.62	54.22	20.26	6.81	99.1	1	145.5	1140
	37	0.03	14.98	60.06	22.52	8.43				
Structural deficiency	11	0	1.13	4.70	1.8	2.02	17.1	4	33.2	146
	11	0.19	1.70	4.48	1.42	2.51				
Vibration	9	0.12	1.32	3.6	1.16	1.66	17.1	4	25.4	57
	9	0.14	1.60	4.43	1.44	2.05				
Degraded	76	1.23	15.95	45.23	14.83	13.99	16.1	1	22.7	484
	76	1.93	18.54	49.60	15.82	17.31				
Abnormal instrument reading	1	0	0.24	1.31	0.61	0.18	6	6	6	6
	1	0	0.28	1.45	0.63	0.23				
Erratic output	4	0	2.15	9.99	4.05	0.74	3	3	5.8	12
	4	0	2.82	13.11	5.3	0.91				
External leakage- Utility medium	7	0.04	2.13	6.63	2.36	1.29	8	1.5	13.6	74
	7	0.10	2.40	7.22	2.43	1.59				
Low output	1	0	2.46	2.45	1.11	0.18	3.5	7	7	7
	1	0	0.53	2.75	1.22	0.23				
Noise	4	0	1.82	9.02	3.83	0.74	3.5	4	5	6
	4	0	1.96	9.83	4.21	0.91				
Other	5	0	2.30	10.59	4.26	0.92	161	19	174	484
	5	0	2.49	11.57	4.68	1.14				
Overheating	5	0	0.99	5.07	2.2	0.92	3	2	3.6	6
	5	0	1.15	5.53	2.28	1.14				

Tab.4.5a Modalità di guasto motori elettrici

Taxonomy no 2.2		Item Electric Equipment Electric motors								
Population 178	Installations 16	Aggregated time in service (10 ⁶ hours)					No of demands 6368			
		Calendar time 5.4324		Operational time 4.3894						
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 10 hours)					Active rep.hrs	Repair (meanhours)		
		Lower	Mean	Upper	SD	n/τ		Min	Mean	Max
Parameter deviation	18	0.01	2.97	11.94	4.48	3.31	3.9	1	6.1	34
	18	0.01	3.57	14.51	5.48	4.10				
Structural deficiency	27	0	2.82	14.56	6.36	4.97	14.3	3	27	173
	27	0	3.51	17.28	7.29	6.15				
Vibration	4	0.04	0.58	1.67	0.55	0.74	5.5	10	11	12
	4	0.08	0.72	1.89	0.6	0.91				
Incipient	80	4.39	19.93	14.69	12.88	14.73	6.9	1	11.4	100
	80	5.73	24.71	54.60	15.58	18.23				
Abnormal instrument reading	24	0.93	4.61	10.61	3.11	4.42	6.8	1	11	100
	24	0.97	5.64	13.51	4.05	5.47				
External leakage- Utility medium	2	0	0.57	2.91	1.26	0.37	5	4	10	16
	2	0	0.74	3.85	1.7	0.46				
Minor in service problems	37	0.77	7.91	21.52	6.93	6.81	4.7	1	6.8	57
	37	0.82	10.02	28.10	9.17	8.43				
Other	6	0.01	2.27	8.29	3.06	1.10	1.2	1	1.4	2
	6	0.01	3.14	11.86	4.37	1.37				

Parameter deviation	3 3	0 0	1.04 1.18	5.36 6.04	2.33 2.61	0.55 0.68	1.3	1	1.3	2
Structural deficiency	4 4	0 0	1.08 1.29	5.96 7.12	3.03 3.61	0.74 0.91	39	77.5	77.5	77.5
Unknown	3 3	0 0	1.52 1.72	6.79 7.67	2.69 3.03	0.55 0.68	4.5	1	4.7	12
Vibration	1 1	0 0	0.46 0.53	2.45 2.75	1.11 1.22	0.18 0.23	1.5	1.5	1.5	1.5
Unknown	4 4	0 0	1.51 1.72	6.53 7.30	2.53 2.81	0.74 0.91	4	4	4	4
Overheating	1 1	0 0	0.46 0.53	2.45 2.75	1.11 1.22	0.18 0.23	-	-	-	-
Unknown	3 3	0 0	0.87 0.98	3.45 3.54	1.29 1.31	0.55 0.68	4	4	4	4
All modes	279 279	13.12 20.44	67.45 79.84	156.55 171.25	46.12 47.91	51.36 63.56	21.4	1	33.3	1140

Tab.4.5b Modalità di guasto motori elettrici

4.2.3 Modalità e cause guasto dei cuscinetti

Questo paragrafo vuole descrivere le modalità e le cause di guasto di cuscinetti. Si fa riferimento al materiale SKF, con immagini di repertorio. I danneggiamenti di un cuscinetto si distinguono in primari e secondari. Il primo danneggiamento (primario) provoca successivamente un altro danneggiamento (secondario). Spesso, a seguito del danneggiamento primario, il cuscinetto va scartato e sostituito poiché si generano un gioco interno eccessivo, vibrazioni e rumorosità. Non è da escludere il fatto che il danneggiamento risultante sia un mix tra primario e secondario. I danneggiamenti primari sono: **usura, impronte, riporti, fatica superficiale, corrosione e passaggio di corrente**. I danneggiamenti secondari sono: **sfaldature e fessure**.

L'usura genera delle impronte sulle piste e sulle sfere. Dalle figure di seguito riportate, si notano le superfici opache. Il grasso utilizzato risulta essere di color verdastro. L'usura il più delle volte è dovuta ad una scarsa pulizia nel momento in cui il cuscinetto viene montato. Dei residui di lavorazioni o contaminazioni possono entrare all'interno del cuscinetto causandone il danneggiamento. A tal proposito è necessario verificare l'integrità delle tenute.



Fig.4.3a Usura anello interno cuscinetto a sfere

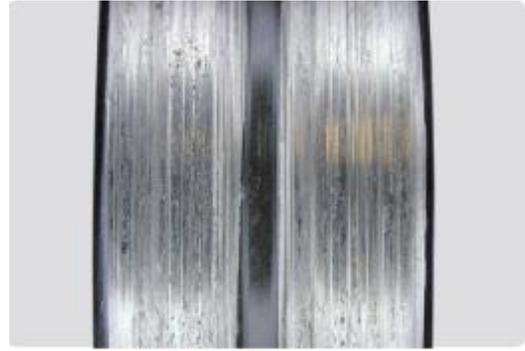


Fig.4.3b Usura anello esterno cuscinetto a sfere

Un'altra causa di usura può essere la lubrificazione insufficiente. Le superfici risultano lucidate e con l'aumentare dell'usura tendono ad assumere un colore bluastro.



Fig.4.4 Usura per scarsa lubrificazione

Infine, l'usura può essere generata da vibrazioni eccessive che in termini visivi si traducono in impronte nelle piste rettangolari (cuscinetti a rulli) o circolari (cuscinetti a sfere).

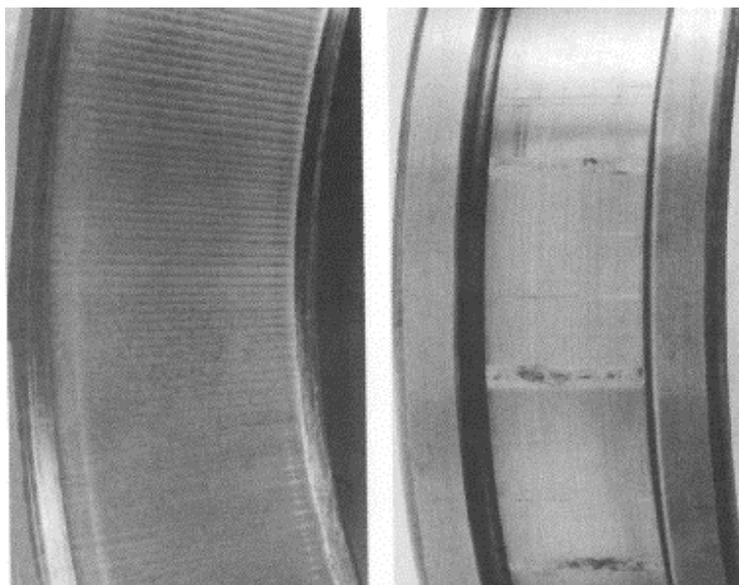


Fig.4.5 Usura causa vibrazioni

Il secondo modo di danneggiamento sono le impronte. Il risultato di tale danneggiamento sono dei segni evidenti negli anelli e nelle sfere. Ciò può essere dovuto a dei colpi ricevuti, dei sovraccarichi a cuscinetto fermo o sforzo di montaggio.

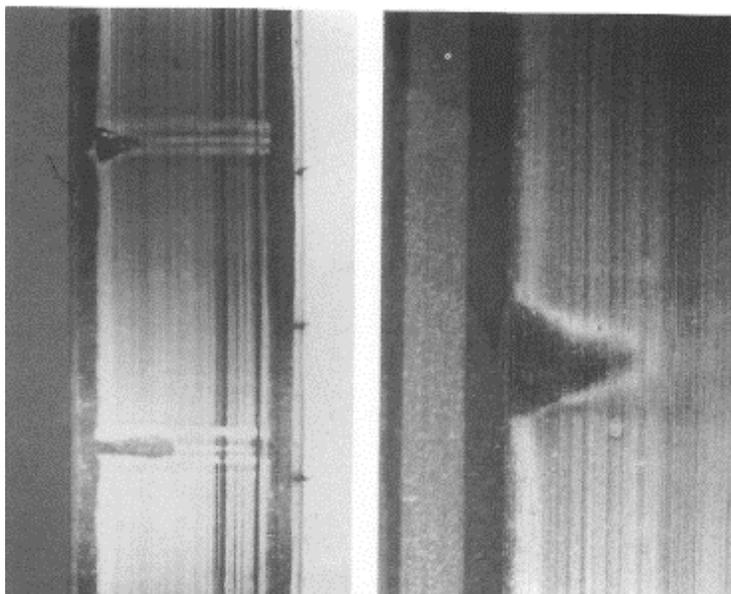


Fig.4.6a Impronte

Le impronte possono essere anche causate dalla presenza all'interno del cuscinetto dei corpi estranei.

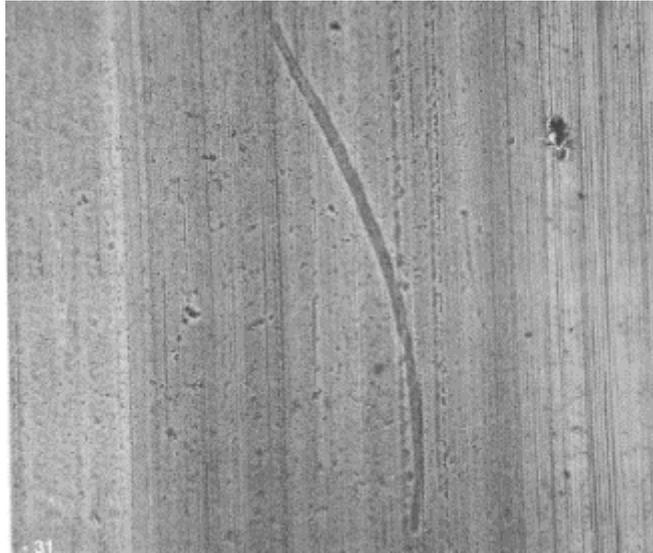


Fig.4.6b Impronte

A causa di una lubrificazione errata, può accadere che quando due superfici soggette ad un certo carico strisciano tra loro, si stacca del materiale di una superficie e si “riporta” sull’altra. Da qui ne discende il nome attribuito a tale fenomeno: “Riporto di materiale”. Nel momento in cui il materiale si distacca la temperatura aumenta e si generano delle saldature. Fenomeni di riporto si possono avere anche a causa di forti accelerazioni o a un elevato rapporto velocità di rotazione e forza applicata.

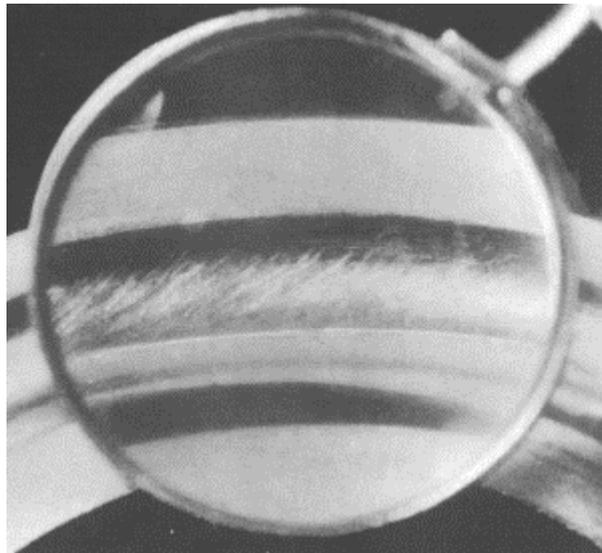


Fig.4.7a Riporto

A volte i fenomeni di riporto possono essere dovuti allo slittamento relativo tra anello e albero e nel caso in cui ciò dovesse verificarsi, occorre aumentare l'interferenza tra anello e sede del cuscinetto.



Fig.4.7b Riporto

Il successivo fenomeno che causa la rottura del cuscinetto è il fenomeno della fatica superficiale. Tale fenomeno è dovuto ad una scarsa lubrificazione. Il meato di lubrificante risulta essere troppo sottile, le creste della sfera o del rullo vengono a contatto con le creste delle piste generando delle piccole fessure o crateri non particolarmente profondi. Tale fenomeno è percepibile soltanto al microscopio.

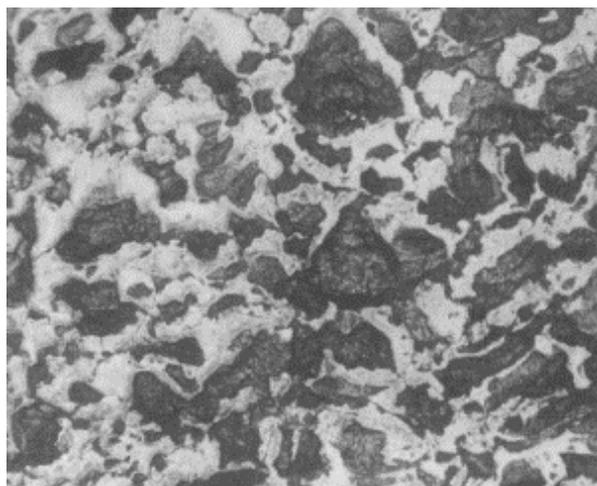


Fig.4.8 Fatica superficiale

Il meccanismo di rottura che si vuole adesso descrivere è la corrosione. Tale fenomeno si presenta nel momento in cui acqua o fluido corrosivo penetrano all'interno del cuscinetto provocando l'arrugginimento delle superfici.

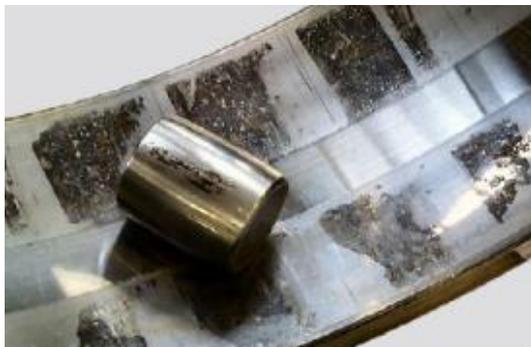


Fig.4.9a Corrosione



Fig.4.9b Corrosione

Un altro fenomeno che causa la rottura del cuscinetto è il passaggio di corrente. In questo caso, la corrente attraversa entrambi gli anelli e il corpo volvente. La temperatura aumenta ed è compresa tra la temperatura di rinvenimento e quella di fusione. Si genera un fenomeno simile alla saldatura con arco. Questo fenomeno si evidenzia con delle striature di color marrone. Anche i corpi volventi assumono un colore scuro.

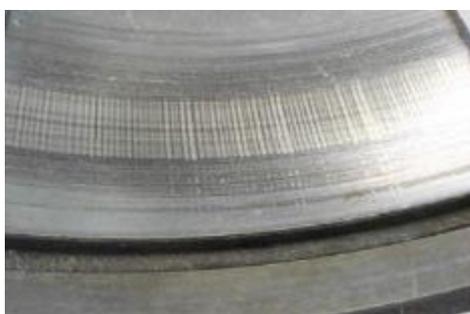
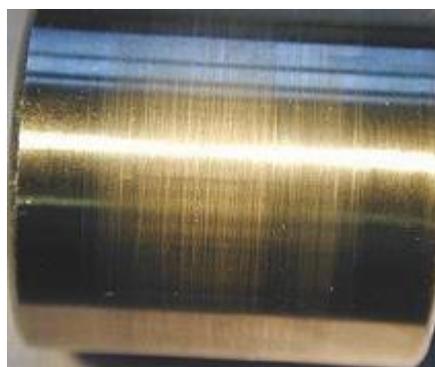
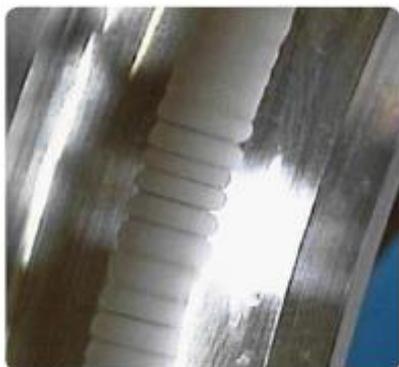


Fig.4.10 Passaggio di corrente

Si considerano adesso i danneggiamenti secondari. Nel momento in cui il cuscinetto raggiunge la sua vita utile comincia a sfaldarsi, diviene rumoroso e vibra. Talvolta la sfaldatura si verifica

prematuramente e ciò può essere dovuto ad un carico esterno eccessivamente alto o ad una eccessiva interferenza dell’anello interno o esterno.

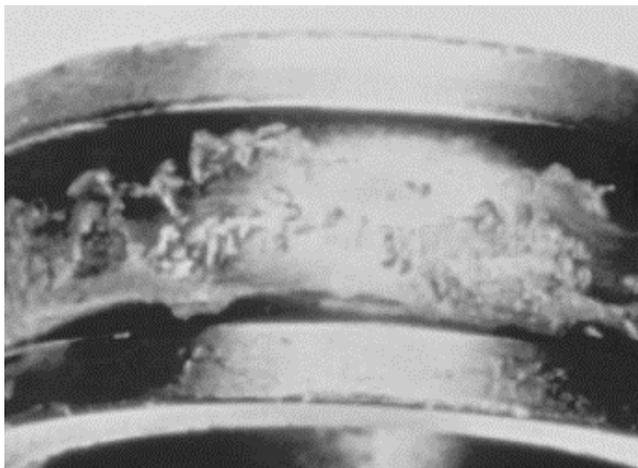


Fig.4.11 Sfaldamento

Il successivo metodo di danneggiamento secondario sono le fessure. Le fessure che si verificano sugli anelli del cuscinetto, il più delle volte si generano a causa di colpi inferti sugli anelli interno o esterno. Le fessure possono essere inoltre generate da un eccessivo forzamento (soprattutto se la sede è conica), da riporti o da ruggine di contatto. Visivamente si presenta come una frattura.



Fig.4.12 Frattura

4.3 Analisi FMECA e piano manutenzione macchine

Per una corretta analisi FMECA, una volta identificate le macchine più critiche e complesse mediante l’analisi delle criticità, si scompone la macchina stessa nei vari sistemi che la compongono, in modo da poter rilevare i pezzi più critici sui quali indagare ed intervenire.

Si considerano, inoltre, i meccanismi, le cause di guasto e i relativi effetti. La tecnica utilizzata è:” Machine Breakdown Structure”. La scomposizione viene effettuata su più livelli.

Rettificatrici

I sistemi che caratterizzano le rettificatrici sono i seguenti:

- Sistema idraulico;
- Sistema lubro-refrigerante;
- Sistema elettrico;
- Sistema meccanico;
- Sistema di filtraggio;
- Sistema di illuminazione e di sicurezza;

Considerando il sistema idraulico i componenti principali sono:

- Motori elettrici per l'alimentazione delle pompe;
- Pompe
- Valvole
- Elettrovalvole
- Filtri
- Serbatoio
- Fasci tubieri
- Tenute
- Guarnizioni
- Manometri per la rilevazione della pressione lungo i fasci tubieri
- Termometri per la rilevazione di pressione

Considerando il sistema di lubrorefrigerante i componenti principali sono:

- Serbatoio fluido lubrificante
- Fasci tubieri
- valvole
- Ugelli
- Manometri
- Termometri

Considerando il sistema meccanico i componenti principali sono:

- Contropunte
- Cinghie
- Motori elettrici per le movimentazioni
- Testa porta pezzo
- Volantino comando spostamento longitudinale tavola
- Volantino comando spostamento trasversale testa
- Tavola
- Magnete
- Ingranaggio di serraggio
- Banchina
- Pomolo per la regolazione dell'inclinazione della tavola
- Testa porta mola per rettifica esterna
- Blocco contropunta
- Testa portamola per rettifica esterna
- Blocco contropunta
- Testa portamola per rettifica esterna
- Testa portamola per rettifica interna
- Valvola per la regolazione della velocità di avanzamento radiale di sgrossatura
- Valvola per la regolazione della velocità di diamantatura
- Leva di marcia-arresto del movimento longitudinale della tavola
- Pomolo per la regolazione della velocità del movimento longitudinale della tavola
- Finecorsa

Considerando il sistema elettrico i componenti principali sono:

- Encoder
- Dinamo tachimetrica
- Circuiti elettrici
- Amperometri
- Conta ore
- Fusibili
- Potenzimetri
- Pressostati
- Pulsantiere

- Protezioni termiche
- Relè
- Termostati

Considerando il sistema di illuminazione e di sicurezza componenti principali sono:

- Lampade
- Portalampade
- Sistemi di sicurezza

Una volta realizzata l’analisi critica sui dati di rottura o di malfunzionamenti si possono identificare i componenti da attenzionare ai fini della realizzazione del piano manutentivo. Partendo dal sistema idraulico si osservano i componenti su cui porre attenzione. Sicuramente è necessario verificare il corretto funzionamento dei motori, parti fondamentali delle macchine rettificatrici. Il loro malfunzionamento, oltre ai guasti della macchina rettificatrice e dei componenti allo stesso correlati, porta ad assorbimenti energetici maggiori, quindi maggiori consumi e incremento di spese. Sintomi di malfunzionamento potrebbero essere un eccessivo assorbimento, un aumento della temperatura dello stesso, rumorosità. I filtri sono dei componenti importanti che vanno ispezionati e all’occorrenza cambiati e/o puliti. Non monitorare lo stato dei filtri può portare al grippaggio della pompa. Va controllato il livello dell’olio all’interno del serbatoio ed è necessario prestare la massima attenzione nel caso in cui il livello, a seguito di più controlli, diminuisce. Altri elementi di cui verificarne il corretto funzionamento, sono i termometri e le pompe. Quanto ai termometri, monitorare la temperatura dell’olio è indispensabile, poiché qualora la stessa fosse elevata, la probabilità di un malfunzionamento di valvole o pompe o un segnale della degradazione del fluido è alta.

Ed ancora, una pompa non funzionante manderebbe in crisi la macchina, in quanto il fluido non arriverebbe ai cilindri non movimentando lo stelo. Per quanto riguarda il sistema di lubrificazione bisogna monitorare il livello del serbatoio di lubrificazione e sostituire periodicamente il fluido lubrorefrigerante. È indispensabile fare attenzione sulle parti asciutte, condizione che indicherebbe un malfunzionamento del sistema di lubrificazione, in particolare parte della linea potrebbe essere otturata o spezzata. La causa di una scarsa lubrificazione è l’usura delle superfici. Un elemento del sistema meccanico da verificare con attenzione sono le guide. È necessario garantirne la pulizia e la lubrificazione poiché lo sporco che viene a depositarsi accelera l’usura degli organi di precisione inficiando la qualità del processo. Lo sporco eccessivo misto al lubrificante può dare origine a fenomeni di “stick-slip” generando

diminuzione di precisione nel processo di rettifica. L’ingranaggio di serraggio deve essere monitorato; infatti, periodicamente potrebbe essere valutato lo smontaggio e la pulizia, così come per la mola, gli ingranaggi e i pezzi filettati. Tutti gli organi rotanti vanno monitorati al fine di prevenire la rottura dei cuscinetti che in certi casi potrebbe causare la rottura di altri componenti causando il fermo macchina e ulteriori spese di manutenzione. Infine, ma non meno importanti sono i dispositivi di sicurezza, che devono essere costantemente controllati. Una volta esaminati i particolari critici si conduce l’analisi FMECA.

Si fa riferimento a quanto trattato nel paragrafo 2.4.

Si ricorda che:

- S “SEVERITY”: Impatto che ha il malfunzionamento o rottura
- O “OCCURRENCE”: La frequenza del malfunzionamento o rottura, identificabile dallo storico dei guasti o in maniera probabilistica
- D “DETECTABILITY”: possibilità di rendersi conto della tempistica di malfunzionamento o rottura.

Il prodotto dei tre fattori è noto come: RPN (Risk Priority Number) e rappresenta il rischio che può indurre un malfunzionamento o rottura.

$$RPN = S * O * D \quad (33)$$

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITÀ DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
RETTIFICATRICE	MOTORI	rottura o degrado dei cuscinetti e degli avvolgimenti	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di rettifica	5	5	8	200
	FILTRI	sporcizia accumulata	malfunzionamento e usura precoce della macchina	potrebbe inficiare la qualità del processo	5	3	6	90
	OLIO IMPIANTO IDRAULICO	degradazione	possibile rottura della macchina	interruzione del processo di rettifica	3	5	8	120
	TERMOMETRI	malfunzionamento o rottura	mancato monitoraggio temperatura olio	Qualità del processo potrebbe essere compromessa	1	2	6	105

	POMPE	cavitazione, degradazione organi interni quali cuscinetti o valvole, ecc...	olio non circola attraverso il circuito	interruzione del processo di rettifica	5	5	8	12
	VALVOLE	degrado organi interni, fughe di portata, orifizi otturati	malfunzionamento impianto idraulico	potrebbe inficiare la qualità del processo	3	5	7	105
	FLUIDO IMPIANTO DI LUBRIFICAZIONE	degradazione	mancata lubrificazione, degrado organi della macchina	potrebbe inficiare la qualità del processo	3	5	8	120
	GUIDE	usura per fatica o per mancanza di lubrificazione, grippaggio	malfunzionamento o arresto della macchina	qualità del processo	3	3	8	72
	INGRANAGGI	rottura per fatica	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di rettifica	2	7	7	98
	CINGHIE	degrado e rottura per fatica	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di rettifica	5	3	8	120
	MANDRINO E ALTI ORGANI ROTANTI	degrado e/o rottura cuscinetti	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di rettifica	5	4	8	160
	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	rottura	fermo macchina	sicurezza operatore	2	2	9	36

Tab.4.6 FMECA Rettificatrici

Di seguito si riporta il grafico di Pareto che permette di identificare prontamente i componenti più critici.

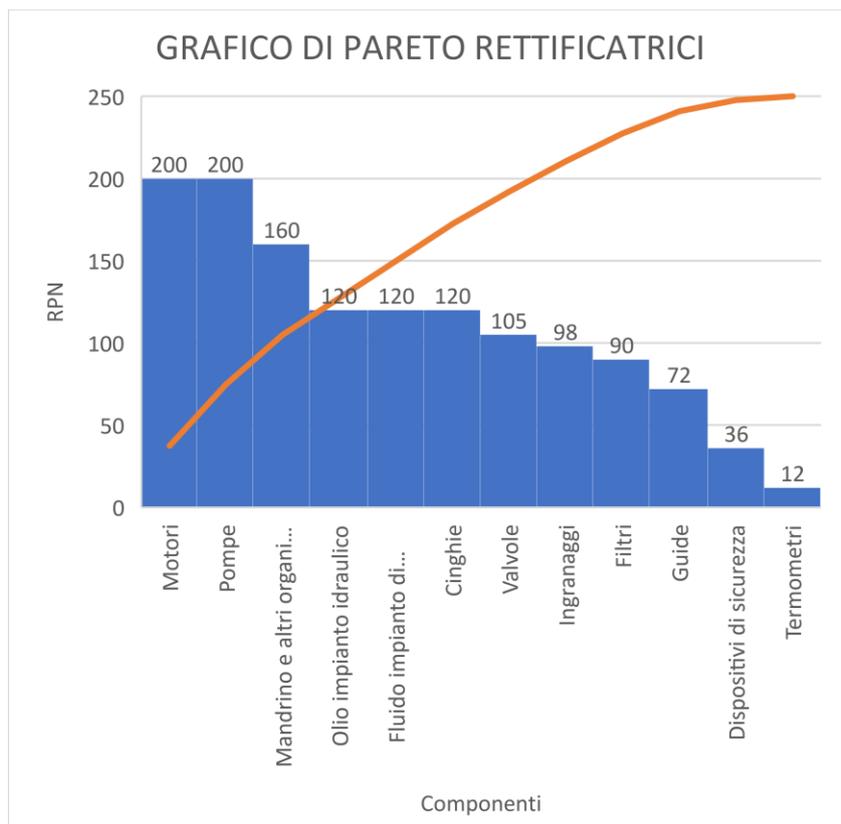


Fig.4.13 Pareto Rettificatrici

Fatta l'analisi FMECA si può procedere con la definizione del piano di manutenzione.

PIANO MANUTENZIONE RETTIFICATRICI											
N° INTERVENTO	COMPONENTE	AZIONE CORRETTIVA	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI FUNZIONAME	BIENNALE	QUANDO?
1	MOTORI ELETTRICI	eventuale revisione	analisi spettro vibrazioni								
2	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE DI LAVORO FRONTE MACCHINA-TAVOLO DI APPOGGIO	pulizia mediante utilizzo di stracci e detersivi	manuale								
3	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE LAVORO RETRO-MACCHINA	pulizia mediante utilizzo di stracci e detersivi	manuale								
4	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE ACCESSO VASCA DI RILANCIO	pulizia mediante utilizzo di stracci e detersivi	manuale								
5	AREA VANO INTERNO MACCHINA	pulizia mediante utilizzo pistola aria compressa	manuale								
6	VETRO PORTELLONE FRONTALE	pulizia mediante utilizzo di stracci e detersivi	manuale								
7	STRUTTURA ESTERNA CARTER	pulizia mediante utilizzo di	manuale								

		stracci e detergenti							
8	VASCA REFRIGERANTE	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						ogni volta che si effettua il rabbocco
9	RACCOGLITORE TRUCIOLI	svuotare il contenitor e dei trucioli il quale deve essere vuoto	manuale						
10	FILTRI CENTRALE OLEODINAMICA	pulizia filtri	manuale						
11	SERBATOI	controllo livello olio	visivo						
4	OLIO	cambio olio	manuale				1500/ 2000		
5	SERBATOI LUBRIFICAZIONE	controllo livello olio	visivo						
6	LUBRIFICAZIONE GUIDE	verificare corretta lubrificazi one	manuale/ visivo						
7	GUIDE	pulizia dettagliata guide	manuale						
8	MOLA, PORTA MOLA	controllo, pulizia	manuale						
9	VALVOLE	controllo valvole impianto	manuale/ visivo						

		idraulico e di lubrificazione								
10	TENUTE E GUARNIZIONI IMPIANTO IDRAULICO	controllo ed eventuale sostituzione	manuale							
11	INGRANAGGI E ORGANI FILETTATI	pulizia, eventuale ingrassaggio	manuale							
12	INGRANAGGIO DI SERRAGGIO	pulizia, eventuale ingrassaggio	manuale							
13		pulizia generale macchina	manuale							
14	TERMOMETRI E MANOMETRI (PRESSIONE OLIO 6BAR)	controllo ed eventuale sostituzione	visivo							
15	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	controllo, vedere sezione dedicata ai controlli	visivo							
16	SERBATOI OLIO E LUBRIFICANTE	pulizia	manuale							
17	BLOCCO CONTROPUNTE	controllo e pulizia	manuale/visivo							
18	CINGHIE	controllo stato	manuale/visivo							

19	MAGNETE	controllo e pulizia	manuale/visivo							
20	FINECORSA	controllo	manuale/visivo							a rottura

Tab.4.7 Piano manutenzione Rettificatrice

È stata trattata separatamente la manutenzione del depuratore di fluidi e delle pompe centrifughe. Si riportano di seguito in tabella 4.8,4.9 i piani.

PIANO MANUTENZIONE DEPURATORE DI FLUIDI							
N° INTERVENTO	COMPONENTE	AZIONE	METODO	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	OGNI 2000H DI FUNZIONAMENTO
1	CONTROLLO GRUPPO GALLEGGIANTE	regolazione secondo procedura sotto riportata	manuale				
2	PULIZIA VASCA	pulizia	manuale				
3	RIDUTTORI	eventuale rabbocco	manuale/visivo				
4	PULIZIA E CONTROLLO VENTOLE DI RAFFREDDAMENTO MOTORI	controllo e pulizia ed eventuale sostituzione di particolari	manuale/visivo				
5	CONTROLLO TAPPETO TRASPORTATORE	controllo stato delle viti, controllo gruppi di avanzamento e di rinvio	manuale/visivo				

Tab.4.8 Piano manutenzione Depuratore di fluidi

PIANO MANUTENZIONE POMPE CENTRIFUGHE							
N° INTERVENTO	COMPONENTE	AZIONE	METODO	SETTIMANALE	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MOTORE	analisi vibrazioni, revisione del motore	spettro vibrazioni				
2	GIUNTO ELASTICO	verificarne lo stato	manuale/ visivo				
3	GIRANTE	verificarne lo stato e il corretto funzionamento	manuale/ visivo				
4	CUSCINETTI	analisi vibrazioni	spettro vibrazioni				
5	TUBI ASPIRAZIONE E MANDATA	verificarne il passaggio	manuale				
6	VENTOLA	verificarne lo stato e il corretto funzionamento	manuale				
7	O-RING	verificarne lo stato	manuale				

Tab.4.9 Piano manutenzione Pompe centrifughe

CABER IMPIANTI: Lavatrice a catena

La lavatrice è composta dai seguenti gruppi:

- Ingresso;
- Lavaggio;
- Risciacquo
- Asciugatura
- Oliatura
- Uscita/scarico

I motori che consentono gli azionamenti della macchina sono:

- Motore gruppo traino
- Motore pompa filtro carta
- Motore pompa lavaggio vasca esterna
- Motore pompa risciacquo vasca esterna
- Motore pompa oliatura
- Motore ventilatore raffreddamento
- Motore ventilatore asciugatura
- Motore ventilatore aspiratore
- Motore aspiratore zona di carico
- Motore aspiratore zona di scarico

Pompe:

- Pompa autoadescante
- Pompa lavaggio vasca esterna
- Pompa risciacquo vasca esterna
- Pompa oliatura

Componente elettronico:

- Inverter rotazione catena della lavatrice
- Inverter esalatore
- Condizionatore quadro elettrico

Componenti meccanici:

- Giunto per catena

- Riduttore
- Supporti
- Catena di trasmissione giunto/traino
- Pistoni e cilindri per il consenso o non consenso del carico
- Cesti
- Catena traino lavatrice
- Valvole a 3 vie
- Valvole a sfera
- Valvole di scarico
- Elettrovalvola bistabile 5/2
- Elettrovalvola a 2 vie
- Elettrovalvole
- Regolatore di flusso
- Ugelli
- Tubazioni
- Vasca filtro carta
- Vasca risciacquo
- Vasca lavaggio
- Vasca oliatura
- Ventilatore asciugatura
- Ventilatore raffreddamento
- Ventilatore aspiratore
- Supporti orientabili a cuscinetto
- Barriere di sicurezza

Componenti di riscaldamento:

- Resistenze: vasca lavaggio, risciacquo, asciugatura

Sensori:

- Sensore di livello vasca di lavaggio
- Sensore di livello vasca di risciacquo
- Sensore di livello vasca oliatura
- Sensore controllo rotazione catena

- Sensore termico gruppo traino
- Sensore termico ventilatore asciugatura
- Sensore termico ventilatore termico
- Sensore termico pompa di lavaggio
- Sensore termico pompa risciacquo
- Sensore termico pompa oliatura
- Sensore termico pompa vasca filtro
- Sensori termici aspiratore vapori di in e out
- Sensore termico per controllo temperatura vasca lavaggio
- Sensore termico per controllo temperatura vasca risciacquo
- Sensore termico per controllo temperatura asciugatura
- Sensore termico motore avanzamento carta filtro
- Sensore per controllo presenza di pallet
- Sensore per controllo sporcizia della vasca carta sporca
- Sensore per il rallentamento catena per arresto in posizione
- Sensori posizione dei cilindri
- Sensori chiusura porte
- Sensore valvola di mandata da lavaggio verso filtro
- Sensore valvola di mandata da risciacquo verso filtro
- Sensore valvola di ritorno verso risciacquo
- Sensore reed

Di seguito si riporta l’analisi FMECA e il grafico di Pareto della lavatrice CABER

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
LAVATRICE A CATENA	MOTORE GRUPPO TRAINO	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140
	MOTORE POMPA FILTRO CARTA	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina	filtraggio non corretto	4	5	7	140
	MOTORE POMPA LAVAGGIO VASCA ESTERNA	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, interruzione servizio pompa	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140
	MOTORE POMPA RISCIAQUO VASCA ESTERNA	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, interruzione servizio pompa	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140
	MOTORE POMPA OLIATURA	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, interruzione servizio pompa	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140

Capitolo 4: “Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento”

	MOTORE VENTILATORE ASCIUGATURA	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, interruzione servizio ventilatore	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140
	MOTORE VENTILATORE ASPIRATORE	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, interruzione servizio ventilatore	interruzione o perdita di qualità del processo	4	5	7	140
	MOTORE ZONA DI CARICO	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti. difetti negli avvolgimenti.	malfunzionamento macchina, mancato carico	interruzione processo	4	5	7	140
	MOTORE ZONA DI SCARICO	possibile guasto cuscinetti, organi rotanti.	malfunzionamento macchina, mancato scarico	interruzione processo	4	5	7	140
	POMPA MINIBOXER	difetto o degradamento membrane, ostruzioni o difetti nei circuiti di alimentazione e/o mandata	movimentazione fluido errata	interruzione del processo con perdita di qualità	4	5	8	160
	POMPA PERISTALTICA	rottura tubo e/o rulli	dosaggio fluido errato	interruzione del processo con perdita di qualità	4	5	8	160
	SEPARATORE D’OLIO PNEUMATICO	filtro sporco o danneggiato	mancata separazione olio da acqua	possibile interruzione del processo con perdita di qualità	4	4	8	128

	DEPURATORE	malfunzionamento e/o rottura pompa di rilancio, malfunzionamento gruppo galleggiante	depurazione errata	possibile interruzione del processo con perdita di qualità	4	5	8	160
	ELETTROPOMPE CENTRIFUGHE	cuscinetti, tenute, o-ring danneggiati; tubi di aspirazione e/o mandata ostruiti. giunto danneggiato	fluido non movimentato	interruzione del processo	5	5	8	200
	COMPONENTI ELETTRONICI: INVERTER, ...	sensori malfunzionanti	malfunzionamento o arresto macchina	interruzione del processo	1	2	8	16
	GIUNTO PER CATENA	possibile rottura organi interni	malfunzionamento gruppo traino	interruzione processo	3	5	8	120
	RIDUTTORE AD INGRANAGGI CILINDRICI	rottura cuscinetti, ingranaggi, tenute	malfunzionamento gruppo traino	interruzione processo	3	5	8	120
	SUPPORTI	rottura cuscinetti	malfunzionamento gruppo traino	interruzione processo	3	4	8	96
	CATENA DI TRASMISSIONE GRUPPO TRAINO	rottura catena o mancanza di grasso lubrificante	malfunzionamento gruppo traino	interruzione processo	4	5	8	160
	PISTONI E CILINDRI PER IL CONSENSO O NON CONSENSO DEL CARICO	rottura tenute, finecorsa	consenso errato	interruzione processo	2	4	7	56
	VALVOLE ED ELETTROVALVOLE	rottura organi interni	malfunzionamento circuiti	possibile interruzione processo	2	5	7	70

	UGELLI	otturazione	malfunzionamento macchina	perdita di qualità del processo	5	4	8	160
	VASCHE	eccessiva sporcizia	malfunzionamento macchina	perdita di qualità del processo	2	3	7	42
	VENTILATORE ASCIUGATURA	malfunzionamento motore e/o cuscinetti	malfunzionamento macchina	possibile interruzione del processo e/o perdita di qualità del processo	4	4	7	112
	VENTILATORE	malfunzionamento motore e/o cuscinetti	malfunzionamento macchina, raffreddamento compromesso	possibile interruzione del processo e/o perdita di qualità del processo	4	4	7	112
	VENTILATORE ASPIRATORE	malfunzionamento motore e/o cuscinetti	malfunzionamento macchina	possibile interruzione del processo e/o perdita di qualità del processo	4	4	7	112
	BARRIERE DI SICUREZZA E DISPOSITIVI DI SICUREZZA	malfunzionamenti	sicurezza operatore	arresto processo	2	3	9	54

Tab.4.10 FMECA Lavatrice a catena

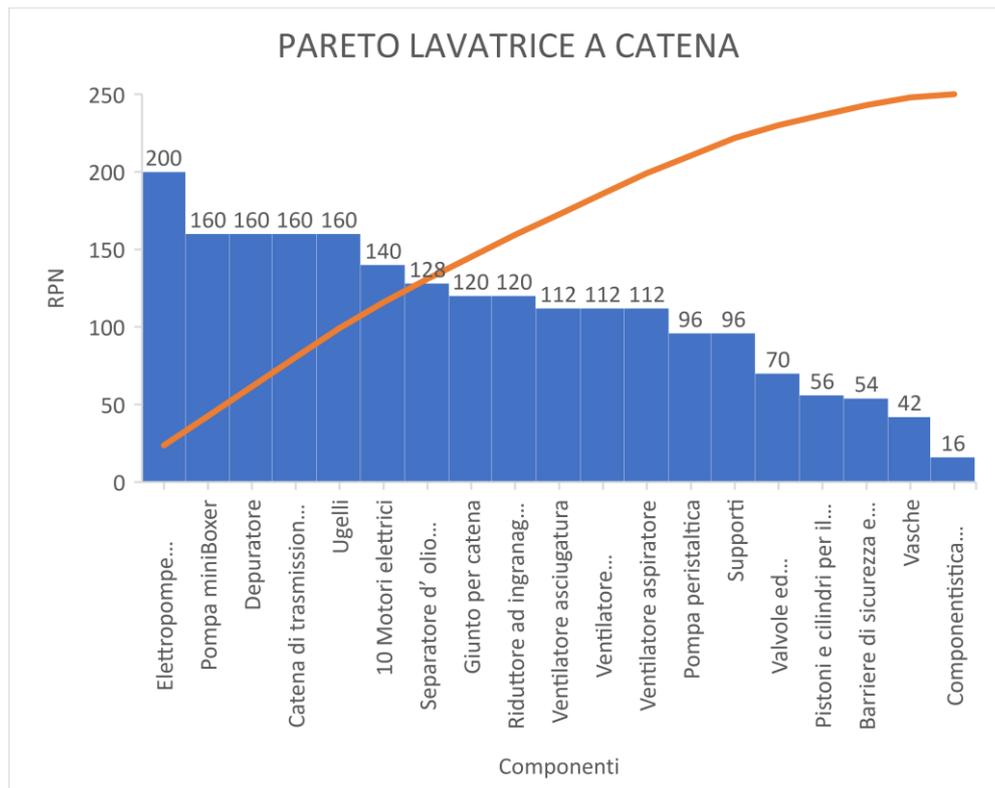


Fig.4.14 Pareto Lavatrice a catena

Dal risultato dell'analisi FMECA e seguendo la logica: Machine Breakdown Structure si scende nel dettaglio analizzando i componenti più critici quali:

- Pompa Boxer (a membrane)
- Pompa peristaltica
- Separatore d' olio pneumatico
- Depuratore
- Elettropompa centrifuga SH-FH
- Elettropompa centrifuga CO
- Riduttore ad ingranaggi cilindrici

Pompa pneumatica miniboxer50

Si analizza nello specifico la pompa miniBoxer usata per la movimentazione di fluidi con viscosità da 1 a 50000 cps. Funziona grazie all'azione data dall'aria che va a spingere il fluido verso il circuito di mandata ed in più movimenta l'albero e di conseguenza la membrana opposta. In questo modo si crea pressione negativa sull'aspirazione.

È importante tenere sotto controllo la pressione all'alimentazione la quale deve essere:

$$2Bar \leq p_{alimentazione} \leq 7Bar \quad (34)$$

Le membrane sono tra i componenti della pompa maggiormente soggetti ad usura per cui vanno attenzionate quando si provvede alla manutenzione della pompa.

Pompa peristaltica

La funzione della pompa peristaltica è dosare il fluido. Per esplicitarne il funzionamento si fa riferimento all’ immagine di seguito riportata tratta da Wikipedia.

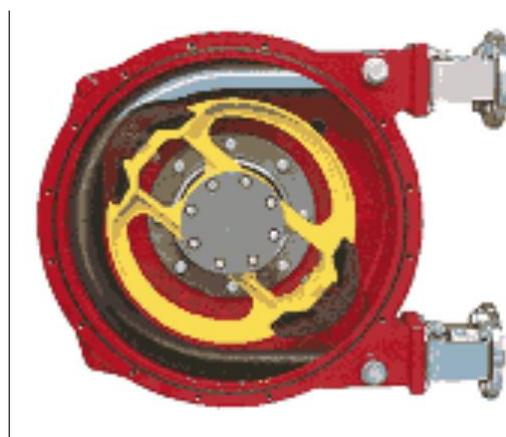


Fig.4.15 Pompa peristaltica

È formata da un albero rotante e da rulli, i quali vanno a deformare il tubo comprimendolo. Quando il tubo passa dalla condizione deformata, alla sua normale forma si produce un’aspirazione del fluido e quindi una pressione negativa. Si ottiene l’azione peristaltica e quindi la parzializzazione del fluido regolando la portata. Il funzionamento e la componentistica della pompa sono abbastanza semplici. Per il corretto funzionamento della pompa è sicuramente fondamentale controllare il livello del serbatoio da cui la pompa pesca fluido, in quanto sarebbe pericolosa la condizione in cui la pompa lavora a vuoto. Considerato che i fluidi con i quali la pompa lavora sono molto aggressivi e corrosivi, è necessario monitorare le guarnizioni e i collegamenti filettati che risentano molto della corrosione. La sezione di tubo che viene deformato ad ogni ciclo della pompa è soggetta ad usura, pertanto, va monitorato il suo stato. È necessario verificare le condizioni di pulizia delle valvole e del filtro.

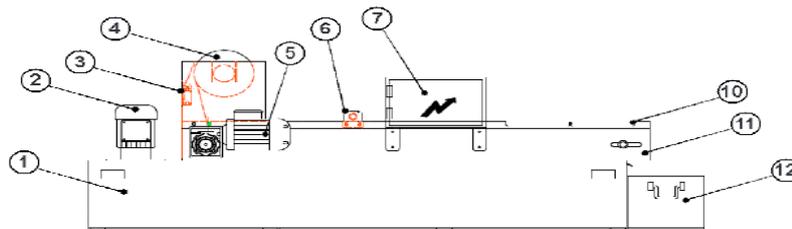
Separatore d’ olio pneumatico

È un dispositivo collegato alla pompa Boxer (precedentemente trattata) che invia al separatore il fluido e viene utilizzato per la separazione e il recupero dell’olio. Una soluzione di acqua mista ad olio, e movimentata da una pompa, entra nel separatore che ha un filtro con una struttura a nido d’ape. È così possibile, separare l’acqua dall’ olio. Il particolare da attenzionare

del separatore è il filtro, che deve essere pulito in modo tale da poter svolgere correttamente la sua funzione. Ogni mese ne è prevista la pulizia.

Depuratore di fluidi

Apparecchiatura usata per filtrare il fluido grazie al potere assorbente del filtro.



POS.	DESCRIZIONE
1	Vasca di raccolta liquido depurato
2	Pompa di rilancio liquido pulito alla macchina utensile
3	Dispositivo fine rotolo tessuto filtrante (Optional)
4	Rotolo tessuto filtrante
5	Motoriduttore depuratore ST
6	Gruppo galleggiante di avanzamento automatico tessuto filtrante.
7	Quadro elettrico di comando depuratore.
10A	Diffusore rompigitto standard per carico liquido refrigerante sporco.
10B	Diffusore rompigitto per carico mezzo pompa liquido refrigerante sporco (Optional)
11	Telaio depuratore ST
12	Vaschetta di raccolta fanghi

Fig.4.16 Depuratore di fluidi (1)

Un elemento da controllare è il gruppo galleggiante perché potrebbe intasarsi provocando il malfunzionamento del depuratore di fluidi; pertanto, si dovranno prevedere degli interventi di manutenzione per la pulizia e per il monitoraggio. La vasca va pulita e ripristinata nel momento in cui si effettua la sostituzione del liquido refrigerante. Vi è la presenza di un riduttore, il quale deve essere ispezionato controllando che non ci siano perdite d'olio. In tal caso si deve effettuare un rabbocco. Degli elementi critici sono i motori, gruppi di avanzamento e di rinvio e pertanto va previsto un intervento per controllarne lo stato e per verificare il funzionamento delle ventole di raffreddamento.

Elettropompe centrifughe CO e SH-FH

L' elettropompa è utilizzata per la movimentazione di fluido atto a lavare particolari meccanici in ambito Railway.

(1) Fonte fig.4.16: Materiale di riferimento Caber

I componenti da attenzionare sono:

- Motore
- Tenute
- Girante
- O- ring
- Giunto elastico
- Fasci tubieri: aspirazione e mandata
- Ventola
- Albero
- Cuscinetti

Potrebbe essere utile prevedere degli interventi per valutarne le incrostazioni.

Riduttore ad ingranaggi cilindrici

Particolari da considerare per una manutenzione ottimale:

- Olio e livello olio
- Cuscinetti
- Grasso dei cuscinetti
- Guarnizioni
- Anello di tenuta
- Guarnizioni

PIANO DI MANUTENZIONE LAVATRICE A CATENA								
N° INTERVENTO	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	FILTRO A CESTELLO	pulizia mediante utilizzo di stracci e detersivi	manuale					
2	CATENA E VASCHE	pulizia	manuale					
3	BARRIERE DI SICUREZZA	pulizia con panni di cotone inumiditi con	manuale					

		acqua. non esercitare pressione						
4	ELEMENTO SENSIBILE DEI TERMOSTATI	pulizia	manuale					
5	RESISTENZE DELLA VASCA	pulire e verificare le resistenze della vasca (svuotare preventivamente la vasca)	manuale					
6	RESISTENZE DEL FORNO	pulizia e verifica	manuale					
7	CATENA DI TRASMISSIONE	controllare la tensione della catena di trasmissione e, se necessario, tendere la catena	manuale					
8	REGOLATORE DI LIVELLO	aggiungere fluido se manca	visivo					
9	UGELLI SPRUZZATORI	controllare gli ugelli spruzzatori e, se necessario, smontarli per pulirli	manuale					
10	GRUPPO PNEUMATICO, CILINDRI DI CARICO E SCARICO	verificare il gruppo pneumatico, cilindri di carico e scarico	manuale					
11	POMPA FILTRO CARTA	sostituzione o smontaggio e verifica pompa filtro carta	manuale					
12	CONDIZIONATORE DELL'ARMADIO ELETTRICO	revisionare condizionatore dell'armadio elettrico	manuale					

13	SUPPORTI E LA CATENA DI TRASMISSIONE GIUNTO/TRAINO	ingrassare i supporti e la catena di trasmissione giunto/traino	manuale					
14	BATTERIA DI RAFFREDDAMENTO	revisionare batteria di raffreddamento	manuale					
15	ORGANI DI SICUREZZA	verificare il corretto funzionamento del sistema di sicurezza (pulsante di emergenza, fine corsa)	manuale					
16	MOTORI	analisi vibrazionale motori	analizzatore di spettro					
17	POMPE	analisi vibrazionale pompe	analizzatore di spettro					
18	VENTILATORI	analisi vibrazionale ventilatori	analizzatore di spettro					

Tab.4.11 Piano manutenzione Lavatrice a catena

PIANO DI MANUETENZIONE POMPE CENTRIFUGHE								
N° INTERVENTO	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MOTORE	revisione del motore	analisi spettro vibrazioni					
2	GIUNTO ELASTICO	verifica dello stato ed eventuale	manuale					

		sostituzione o revisione						
3	GIRANTE	verificarne lo stato e il corretto funzionamento	manuale					
4	CUSCINETTI	eventuale sostituzione	spettro vibrazioni					
5	TUBI SPIRAZIONE E MANDATA	pulizia e verifica del passaggio	manuale					
6	VENTOLA	verificarne lo stato e il corretto funzionamento. eventuale sostituzione o revisione	manuale					
7	O-RING	eventuale sostituzione	manuale					

Tab.4.12 Piano manutenzione Pompe centrifughe

MANUTENZIONE POMPA MINIBOXER								
N° INTERVENTO	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MEMBRANE	verificare stato membrane. Nel caso in cui sono degradate sostituirle	manuale					
2	CIRCUITO PRODOTTO	controllo del circuito prodotto	manuale					

3	CIRCUITO ARIA	controllo circuito dell'aria	manuale					
---	---------------	------------------------------	---------	--	--	--	--	--

Tab.4.13 Piano manutenzione Pompa MiniBoxer

Le operazioni 2 e 3 prevedono di:

- Scaricare il prodotto che si sta pompando e chiudere le valvole manuali di intercettazione prodotto aspirazione mandata;
- Far circolare un fluido di lavaggio, dopodiché scaricarlo e chiudere la valvola di intercettazione prodotto;
- Sezionare l'alimentazione dell'aria mediante l'apposita valvola a 3 vie ed assicurarsi che non ci siano pressioni residue;
- Sezionare l'alimentazione dell'aria a monte;
- Usare dispositivi di sicurezza in quanto vi è il pericolo di eiezione del fluido in pressione.

PIANO MANUTENZIONE POMPA PERISTALTICA								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	SERBATOIO	monitorare livello del serbatoio ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo					
2	CIRCUITO IDRAULICO	pulizia parte idraulica (valvole e filtro)	manuale					
3	GUARNIZIONI E COLLEGAMENTI FILETTATI(VITI)	verificare stato guarnizioni e collegamenti filettati(viti); eventuale sostituzione degli organi degradati (a causa di liquidi degradanti)	manuale/ visivo					
4	TUBO	verificare lo stato della sezione del tubo.	manuale/ visivo					

Tab.4.14 Piano manutenzione pompa peristaltica

PIANO MANUTENZIONE SEPARATORE D' OLIO									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	
1	FILTRO	pulizia e controllo dello stato del filtro; eventuale sostituzione filtro	manuale						
2	CONNESSIONI	verificare stato connessioni osservando se ci sono perdite	manuale/ visivo						
3	VASCA	pulizia vasca	manuale						

Tab.4.15 Piano manutenzione separatore d'olio

PIANO DI MANUTENZIONE RIDUTTORE CILINDRICO										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	TRIENNALE	QUINQUENNALE
1	OLIO	controllo olio e livello olio ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo							

2	GUARNIZIONI	controllo guarnizioni: ci sono perdite? sostituzione guarnizioni se necessario	manuale/ visivo							
3	CUSCINETTI	sostituire grasso cuscinetti	manuale							
4	ANELLO DI TENUTA	sostituzione	manuale							
5	OLIO SINTETICO	si veda grafico sotto	manuale							
6	CUSCINETTI	controllo vibrazioni e rumore cuscinetti	spettro vibrazioni							

Tab.4.16 Piano manutenzione riduttore cilindrico

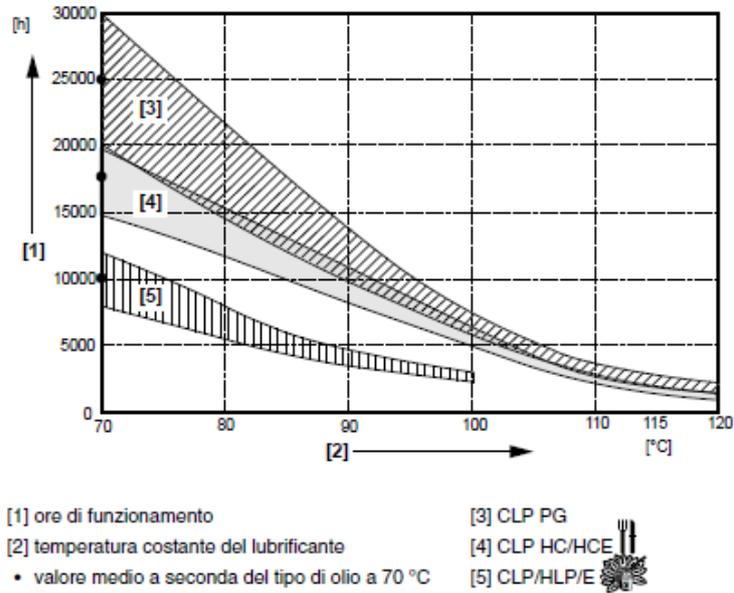


Fig.4.17 Intervalli di sostituzione lubrificante

PIANO DI MANUTENZIONE DEPURATORE DI FLUIDI									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	OGNI 2000H
1	GRUPPO GALLEGGIANTE	controllo gruppo galleggiante ed eventuale regolazione	manuale/visivo						
2	VASCA	pulizia vasca	manuale						
3	RIDUTTORI	eventuale rabbocco	manuale						
4	VENTOLE DI RAFFREDDAMENTO MOTORI	pulizia e controllo ventole di raffreddamento motori	manuale/visivo						
5	TAPPETO TRASPORTATORE	controllo tappeto trasportatore, controllo stato delle viti, controllo gruppi di avanzamento e di rinvio	manuale/visivo						

Tab.4.17 Piano manutenzione depuratore di fluidi

Equilibratrici Elettrorava e CEMB

La componentistica principale delle equilibratrici è la seguente:

- Motore elettrico
- Guide

- Dispositivi di serraggio a vite
- Viti
- Dispositivi elettronici
- Pulegge
- Cinghie
- Cuscinetti

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
EQUILIBRATRICE	MOTORE ELETTRICO	rottura o degrado dei cuscinetti e/o degli avvolgimenti...	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di equilibratura Perdita di qualità.	3	6	6	108
	GUIDE	degrado guide a causa di sporco depositato	possibile malfunzionamento	perdita di qualità processo di equilibratura	2	3	3	18
	DISPOSITIVI DI SERRAGGIO A VITE	usura	perdita precisione di posizionamento	perdita di qualità processo di equilibratura	3	3	5	45
	VITI	viti allentate	malfunzionamento macchina e vibrazioni	perdita di qualità processo di equilibratura	4	3	5	60
	DISPOSITIVI ELETTRONICI	rottura dispositivi	malfunzionamento o arresto macchina	possibile interruzione processo	1	3	6	18

	PULEGGE	usura	malfunzionamento macchina e vibrazioni	predita di qualità processo di equilibratura	2	3	5	30
	CINGHIE	usura	malfunzionamento macchina e vibrazioni	predita di qualità processo di equilibratura	5	3	6	90
	CUSCINETTI	usura	malfunzionamento macchina e vibrazioni	predita di qualità processo di equilibratura	3	5	6	90

Tab.4.18 Piano manutenzione Equilibratrici

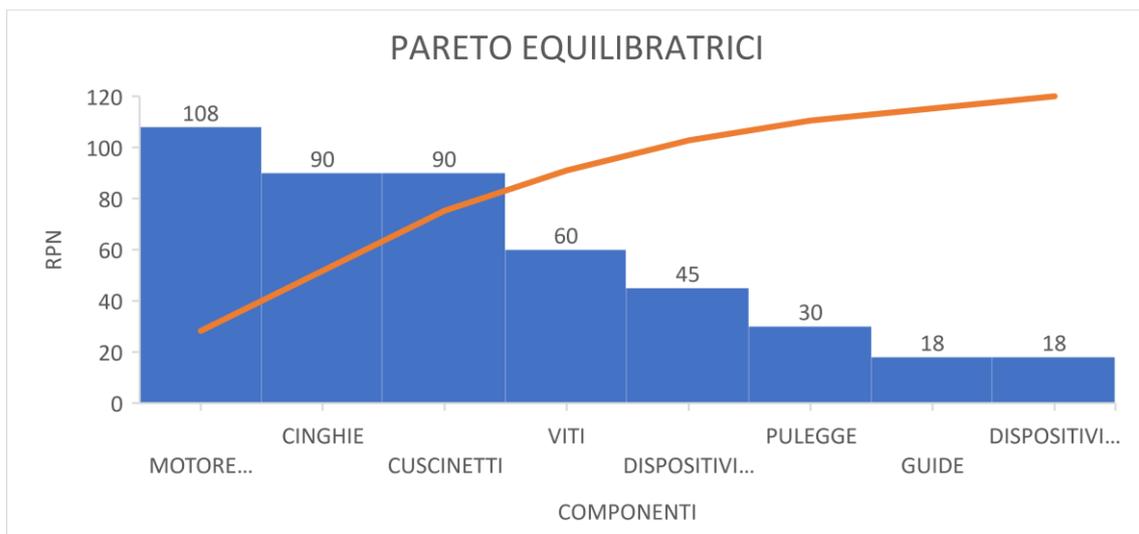


Fig.4.18 Pareto Equilibratrici

PIANO DI MANUTENZIONE EQUILIBRATRICI								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MOTORE ELETTRICO		analisi spettro vibrazioni					
2	GUIDE	pulizia sporco	manuale					
3	DISPOSITIVI DI SERRAGGIO A VITE	verificarne corretto funzionamento	manuale					
4	VITI	verificare che le viti siano serrate	manuale					
5	PULEGGE	verificare assenza di movimenti anomali	manuale/ visivo					
6	CINGHIE	verificarne integrità, nel caso in cui siano degradate sostituirle	manuale/ visivo					
7	CUSCINETTI	verificarne rumorosità e usura	manuale/ visivo					

Tab.4.19 Piano manutenzione Equilibratrici

Lavatrice Sirio

La lavatrice Sirio è composta dai seguenti componenti:

- Telaio
- Vasca
- Cabina
- Portellone
- Aspiratore
- Bancale anteriore
- Cesto
- Parte meccanica
- Parte idraulica: Pompa (a girante chiusa con motore monoblocco)
- Parte idraulica: Circuito interno (serie di tubi raccordati al collettore centrale)
- Parte idraulica: Ugelli
- Parte idraulica: Filtro in caduta
- Parte idraulica: Valvole di scarico fluido operativo, valvola di introduzione manuale, valvola ingresso automatico;
- Parte elettrica: Quadro
- Parte elettrica: Circuito dei comandi in bassa tensione
- Disoleatore

Una volta definiti i componenti si conduce l’analisi FMECA e si riporta il grafico di Pareto.

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
LAVATRICE SIRIO	MOTORE ELETTRICO	rottura o degrado dei cuscinetti e degli avvolgimenti	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo di rettifica	4	4	8	128

	FILTRI	sporcizia accumulata	malfunzionamento e usura precoce della macchina, corpi solidi non vengono fermati	possibile interruzione del processo e qualità del processo influenzata	6	4	7	168
	GALLEGGIANTE	galleggiante si blocca	degrado organi della macchina, blocco pompa e resistenze	possibile interruzione del processo e qualità del processo influenzata	5	4	7	140
	DISOLEATORE	si deposita sporco e grasso	malfunzionamento disoleatore. efficienza della macchina diminuisce	qualità del processo diminuisce	5	4	7	140
	RAMPE DI SPRUZZATURA	tubi si intasano	efficienza della macchina diminuisce	qualità del processo diminuisce	5	4	7	140
	UGELLI	passaggio si intasa	efficienza della macchina diminuisce	qualità del processo diminuisce	5	4	7	140
	VASCA	si deposita sporco	efficienza della macchina diminuisce	qualità del processo diminuisce	3	4	7	84
	GIUNTO	scarso ingrassaggio provoca usura	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	3	5	8	120

	PIGNONE CORONA, SLITTA CATENA	scarso ingrassaggio provoca usura	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	3	5	8	120
	RIDUTTORE	Usura, rottura organi, danneggiame nti tenute	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	3	5	8	120
	POMPA	rottura tenute, girante, cuscinetti, tubi di aspirazione e mandata	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	5	5	8	200
	RESISTENZE	usura, rottura	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	5	4	8	160
	VENTILATORI	possibile rottura delle ventole	efficienza della macchina diminuisce, con possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo. qualità del processo influenzata	5	4	8	160

Tab.4.20 FMECA Piano manutenzione Lavatrice Sirio

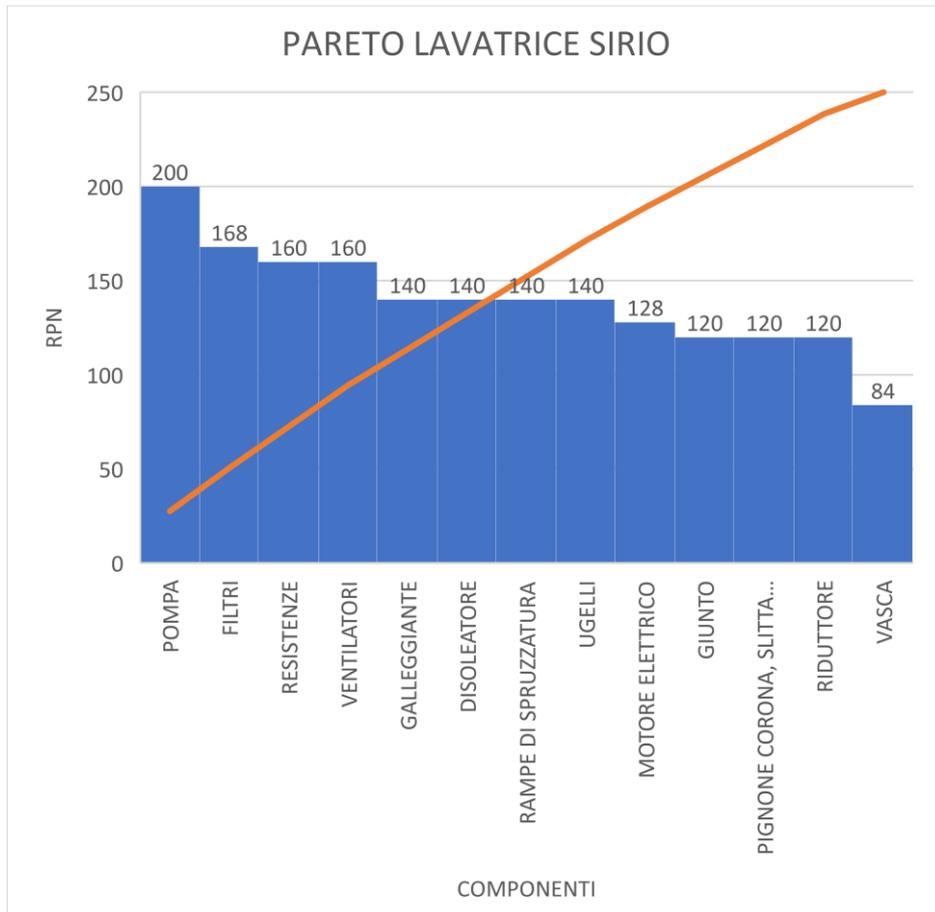


Fig.4.19 Pareto Lavatrice Sirio

PIANO MANUTENZIONE LAVATRICE SIRIO									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	FILTRO DI SCARICO DELLE ACQUE	pulizia, vedi nota	manuale						
2	GALLEGGIANTE	pulizia e controllo interno. Funge da sicurezza per pompe e resistenze.	manuale						
3	DISOLEATOLE	pulizia e controllo	manuale						

Capitolo 4: "Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento"

4	RAMPE DI SPRUZZATURA	spurgo	manuale						
5	UGELLI	pulizia	manuale						2/4 mesi
6	LAMIERATI INTERNI	pulizia	manuale						
7	SOLUZIONE PER IL LAVAGGIO	sostituirla	manuale						
8	VASCA SOLUZIONE	pulizia	manuale						
9	RESISTENZE	pulizia	manuale						
10	POMPA	pulizia aspirazione a vasca vuota	manuale						
11	GIUNTO, PIGNONE CORONA, SLITTA, CATENA	controllo, eventuale regolazione e ingrassaggio, o sostituzione	manuale						
12	RIDUTTORE	controllare che sia correttamente oleato	manuale						
13	POMPA	controllo tenuta, controllo girante, controllo bocca aspirazione	manuale						
14	VENTILATORI	controllo ventole (eventualmente sostituirla)	manuale						2/4 mesi

15	MOTORE	manutenzione predittiva	analisi spettro vibrazioni						
----	--------	----------------------------	----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Tab.4.21 Piano manutenzione Lavatrice Sirio

NOTE: Pulizie:

Filtro di scarico delle acque. Si tratta del primo blocco allo sporco. Esso è posto all' uscita del canale di scarico, ovvero tra il flusso di uscita dalla cabina e la vasca di raccolta (visibile aprendo il coperchio della vasca). Il filtro è del tipo a caduta e ferma i corpi solidi (trucioli, pezzi ...).

Fresatrice CNC

La Fresatrice CNC è composta dai seguenti componenti:

- Guide, pattini a rulli precaricati
- Controguide con applicazione di Turcite B.
- 3 motori elettrici
- Viti a ricircolo di sfere con chiocciola precaricata per la movimentazione lungo gli assi
- Contrappeso idraulico per il bilanciamento della testa
- Bancale
- Colonna
- Testa porta mensola
- Mensola che scorre su guide con 8 pattini a rulli precaricati
- Banco portaoggetti
- Mandrino portafrese
- Montante
- Testa a canotto
- Slitta
- Autocentrante
- Magazzino e cambio automatico dell' utensile
- Mandrino
- Cinghia di trasmissione mandrino
- Sistema idraulico
- Centralina bloccaggio utensile (MOBIL VELOCITE OIL E)
- Cilindro bilanciamento asse Z (MOBIL VACUOLINE 1405)

- Cuscinetti testa fissa / testa canotto (KLUBER ISOFLEZ LDS18 SPECIAL A)
- Motori elettrici
- Pompe a comando elettrico con serbatoio
- Filtri
- Valvole
- Manometri
- Termometri
- Sistema di lubrificazione centralizzato
- Sistema elettronico di diagnostica
- Coperture telescopiche
- Sistema di lettura con encoder
- Catena portacavi
- Impianto di climatizzazione con gruppo frigorifero
- Impianto di raffreddamento testa
- Sensori termici di tre assi, sul mandrino e sul supporto motore

Un impianto correlato alla macchina è l'evacuatore di trucioli. I componenti principali sono:

- Motore
- Elettropompa
- Gruppo motoriduttore
- Finecorsa (controllo e regolazione)
- Ventola di raffreddamento del motoriduttore
- Serbatoio raccolta liquidi
- Sistemi di protezione a bordo macchina
- Componenti idraulici: pompe, valvole, tenute, barometri...
- Componenti elettrici
- Vasca di raccolta (ricambio del liquido e controllo del livello)
- Tappeto (deve essere in tensione)
- Guide, pignoni (controllo no usura)
- Albero di rinvio
- Catena del tappeto (ben ingrassata)
- Limitatore di coppia

La macchina è dotata di un sistema di cambio utensili azionato da camma composto da:

- Cambiautensili
- Braccio portapinze cin pinze con bloccaggio automatico durante la rotazione
- Tavola rotante intermittente
- Magazzino portautensili a disco
- Motore
- Tamburo portacamme
- Camma
- Finecorsa
- Riduttore
- Gruppo pinza

La macchina è dotata di un sistema di refrigerazione composto da:

- Gruppo frigorifero (compressore + condensatore)
- Gruppo idraulico (tubi, serbatoio, pompe, valvole)
- Gruppo elettrico

I componenti dei gruppi sono: compressore, evaporatore, condensatore, valvola termostatica, ventilatore, pompa, indicatore di liquido e umidità, utenza, filtro disidratatore, serbatoio liquido.

Una parte importante della macchina da analizzare separatamente è la tavola a dividere modulare.

È composta da:

- Contropunta universale reversibile
- Contropunta fissa
- Impianto di pressurizzazione
- Depuratore
- Gruppo trattamento aria

Di seguito si riporta l'analisi FMECA.

Capitolo 4: “Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento”

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
FRESATRICE	GUIDE, PATTINI A RULLI PRECARICATI	usura guide e/o rulli	usura macchina	qualità del processo compromessa	3	2	7	42
	CONTROGUIDE	usura causata dal degradamento della turcite	usura macchina	qualità del processo compromessa	3	3	8	72
	MOTORI ELETTRICI	rottura cuscinetti o degradamento avvolgimenti	fermo macchina	interruzione processo	5	4	8	160
	VITI A RICIRCOLO DI SFERE CON CHIOCCIOLA PRECARICATA	usura sede sfere e/o sfere	usura macchina	qualità del processo compromessa	3	3	7	63
	CONTRAPPESO IDRAULICO PER IL BILANCIAMENTO DELLA TESTA	rottura componenti idraulici	possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	3	4	7	84
	TESTA PORTA MENSOLA	rottura organi meccanici	fermo macchina	interruzione del processo	4	3	8	96
	MANDRINO PORTA FRESE	rottura cuscinetti mandrino	fermo macchina	interruzione del processo	5	4	8	160
	SLITTA	usura	usura macchina	qualità del processo compromessa	3	3	7	63
	AUTOCENTRANTE	usura	usura macchina	qualità del processo compromessa	5	4	7	140
	MAGAZZINO E CAMBIO AUTOMATICO UTENSILE	usura sistema a camme e/o rottura organi meccanici	malfunzionamento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	3	3	7	63

Capitolo 4: “Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento”

	MANDRINO	rottura cuscinetti mandrino	fermo macchina	interruzione del processo	5	4	8	160
	CINGHIA DI TRASMISSIONE MANDRINO	usura cinghia e/o rottura	possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	5	2	8	80
	CENTRALINA IDRAULICA GENERALE	rottura pompe, filtri, valvole	possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	4	4	8	128
	CENTRALINA BLOCCAGGIO UTENSILE	rottura pompe, filtri, valvole	possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	4	4	8	128
	POMPE A COMANDO ELETTRICO CON SERBATOIO	rottura cuscinetti, girante, ...	possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	4	4	8	128
	SISTEMA LUBRIFICAZIONE CENTRALIZZATO	rottura pompe, filtri, valvole	usura macchina	qualità del processo compromessa	3	4	8	96
	SISTEMA ELETTRONICO DI DIAGNOSTICA	rottura sensori	malfunzio namento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	2	2	5	20
	IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE CON GRUPPO FRIGORIFERO	rottura compressore, condensatore o ventilatori	malfunzio namento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	4	4	8	128
	EVACUATORE DI TRUCIOLI	rottura o degrado componenti evacuatore di trucioli	malfunzio namento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo e qualità compromessa	4	4	7	112

	TAVOLA A DIVIDERE MODULARE	usura contropunte, rottura impianto trattamento aria (depuratore)	malfunzio namento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	2	4	7	56
--	----------------------------------	---	--	---	---	---	---	----

Tab.4.22 FMECA Fresatrice

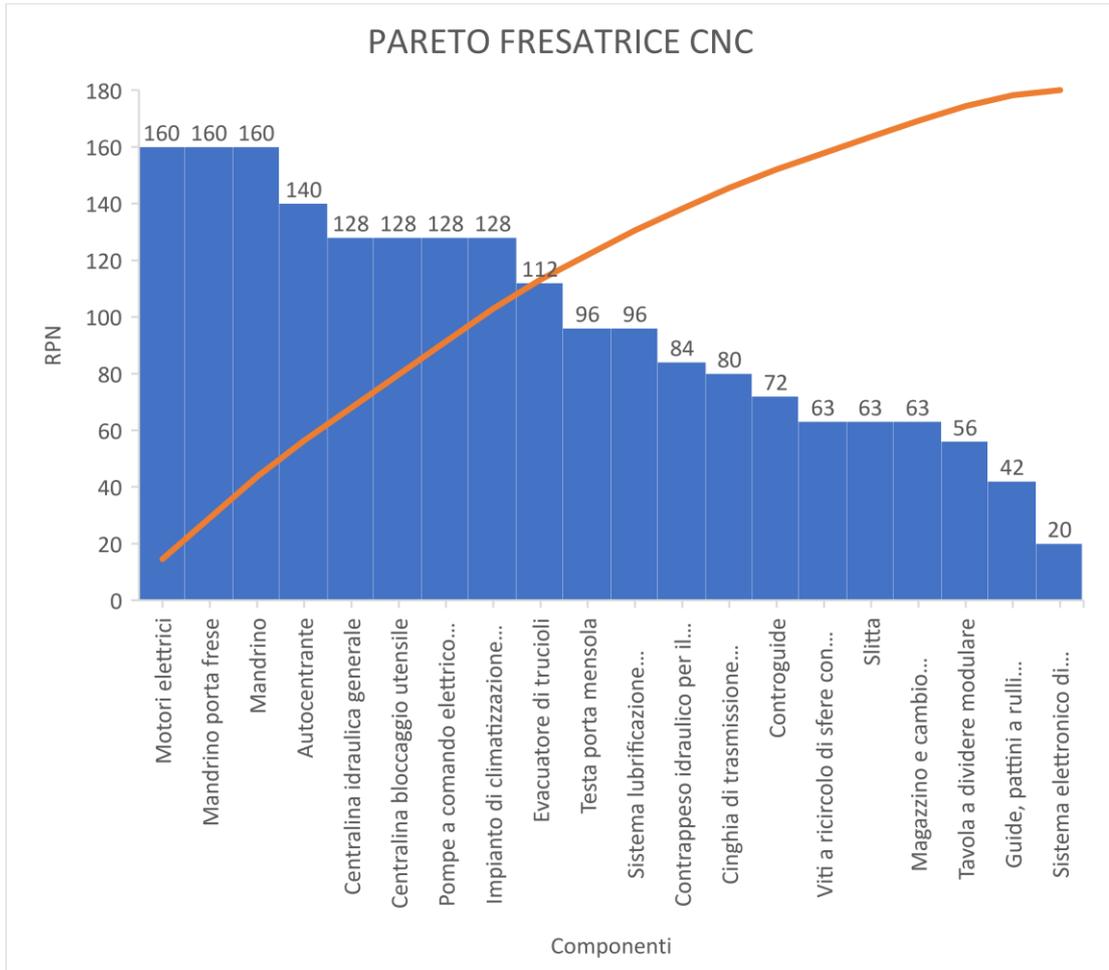


Fig.4.20 Pareto fresatrice

PIANO MANUTENZIONE FRESA CNC										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1		pulizia macchina, non ci devono essere trucioli di lavorazione	manuale							
2	GUIDE, SLITTE, PATTINI A RULLI PRECARICATI	controllo usura e lubrificazione	manuale/ visivo							
3	CONTROGUIDE	controllo usura e degrado della turcite	manuale/ visivo							
4	MOTORI ELETTRICI		analisi spettro vibrazioni							
5	MANDRINI		analisi spettro vibrazioni							
6	CINGHIA DI TRASMISSIONE MANDRINO	controllo usura ed eventuale sostituzione cinghia	manuale/ visivo							
7	SISTEMA IDRAULICO	cambio olio, controllo pompe (girante, albero, cuscinetti), filtri, valvole, manometri	manuale							
8	CENTRALINA BLOCCAGGIO UTENSILE	cambio olio	manuale							

9	CILINDRO BILANCIAMENTO ASSE Z	controllo lubrificazione	manuale							
---	-------------------------------------	-----------------------------	---------	--	--	--	--	--	--	--

Tab.4.23 Piano manutenzione Fresatrice

EVACUATORE DI TRUCIOLI										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1	MOTORE		analisi spettro vibrazioni							
2	ELETTROPOMPA	controllo girante	manuale/ visivo							
3	GRUPPO MOTORIDUTTORE	eventuale rabbocco	manuale/ visivo							
4	FINECORSA	controllo e regolazione	manuale/ visivo							
5	VENTOLA DI RAFFREDDAMENTO MOTORIDUTTORE	controllo usura	manuale/ visivo							
6	SERBATOIO RACCOLTA LIQUIDI	pulizia	manuale							

7	COMPONENTI IDRAULICI	controllo funzionamento pompa, filtri, valvole e manometri	manuale/visivo							
8	VASCA DI RACCOLTA	ricambio del liquido e controllo del livello	manuale							
9	TAPPETO	controllo tensione ed eventualmente metterla in tensione	manuale/visivo							
10	GUIDE E PIGNONI	controllo usura	manuale/visivo							
11	CATENA DEL TAPPETO	controllo che sia ben ingrassata, eventualmente ingrassarla	manuale/visivo							
12	LIMITATORE DI COPPIA	controllo funzionamento limitatore di coppia	manuale/visivo							

Tab.4.24 Piano manutenzione Evacuatore di trucioli

MANUTENZIONE AUTOCENTRANTE										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1	AUTOCENTRANTE	ingrassaggio	manuale							8/16h di lavoro

2	AUROCENFRANTE	smontaggio, pulizia controllo usura, grasso uniformemente distribuito	manuale visivo						
---	---------------	---	-------------------	--	--	--	--	--	--

Tab.4.25 Piano manutenzione autocentrante

PIANO DI MANUTENZIONE SISTEMA DI CAMBIO UTENSILE								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	SCATOLA	controllo che non ci siano perdite d'olio dalla scatola	visivo					
2	BRACCIO PORTAPINZE	controllo che l'asse non abbia gioco eccessivo, in caso controllo del meccanismo	manuale/ visivo					
3	MOTORI ELETTRICI E VENTILAZIONE	controllo e pulizia	manuale/ visivo					
4	GUARNIZIONI	controllo usura (se ci sono perdite possono essere rotte le guarnizioni)	manuale/ visivo					
5	CELLE PORTAUTENSILI	controllo usura	visivo					
6	GUIDE	lubrificazione	manuale					

7	TAVOLA ROTANTE	controllo assenza di perdite di olio	visivo					
8	LIMITATORE DI COPPIA	regolazione agendo sulla ghiera di regolazione	manuale					se si nota una rotazione anomala del magazzino o del portautensile
9	RULLO	controllare usura del rullo sui perni di bloccaggio, in caso procedere alla sostituzione	manuale/ visivo					

Tab.4.26 Piano manutenzione Sistema di cambio utensile

PIANO DI MANUTENZIONE REFRIGERATORI										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI	QUANDO?
1	CONDENSATORE	pulizia (la batteria alettata non deve presentare depositi di polvere o residui di lavorazione sulla superficie dell'alettatura)	manuale							
2	COMPRESSORE FRIGORIFERO	controllo vibrazioni e temperatura (20/70°C)	analisi termica e spettro vibrazionale							
3	VENTILATORI	controllo usura e rotazione	manuale/ visivo							

4	CARICA DI GAS	controllo attraverso l'indicatore, non si deve notare un passaggio continuo di bolle	visivo							
5	CARICA DI GAS	controllo centralina idraulica: motore, pompa, valvole e filtri	visivo							

Tab.4.27 Piano manutenzione Refrigeratori

PIANO MANUTENZIONE TAVOLA A DIVIDERE MODULARE										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1	OLIO	controllo livello olio ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo							
2	IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE	controllo funzionamento (scarico aria durante rotazione della tavola)	manuale/ visivo							
3		pulizia generale macchina	manuale							
4	GRUPPO TRATTAMENTO ARIA: DEPURATORE	sostituzione cartuccia coalescente	manuale							
5	GRUPPO TRATTAMENTO ARIA: LUBRIFICATORE	controllo ed eventuale rabbocco dell'olio	manuale/ visivo							

Tab.4.28 Piano manutenzione Tavola a dividere modulare

OPERAZIONE 1

Olio per rabbocco:

- AGIP: ACER 150
- BP: ENERGOL CS 150
- ESSO: NUTO 15
- MOBIL: MOBIL VACTRA OIL EXTRA HEAVY

OPERAZIONE 5

Olio per rabbocco:

- AGIP PSP 15
- API CIS 22
- BP ENERGOL HPL 22
- CASTROL NYSPIN AWS 22

Torni

I componenti principali dei torni sono:

- Sistema idraulico;
- Sistema di lubro-refrigerazione;
- Componenti meccanici di trasmissione (cinghie, ruote dentate...);
- Mandrino;
- Testa porta pezzo;
- Bancale;
- Sistema vite madrevite per il movimento orizzontale;
- Motore elettrico
- Dispositivi di sicurezza
- Sistema elettrico

Si riporta di seguito in tab.4.29 l’analisi FMECA

Capitolo 4: “Definizione piano manutentivo delle macchine dello stabilimento”

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
TORNIO	MOTORI ELETTRICI	usura, degrado o rottura dei cuscinetti o degli avvolgimenti	malfunzionamento e/o fermo macchina	possibile arresto del processo	3	3	5	45
	CENTRALINA IDRAULICA E SISTEMA DI TRASPORTO OLIO	rottura organi idraulici quali pompe, valvole, tubi, manometri...	malfunzionamento macchina, difficoltà nella movimentazione degli organi per la rettifica	qualità compromessa e possibile arresto del processo	4	4	5	80
	CENTRALINA LUBRIFICAZIONE GUIDE E SISTEMA DI TRASPORTO FLUIDO	rottura organi idraulici quali pompe, valvole, tubi, manometri...	malfunzionamento macchina, mancata lubrificazione	qualità compromessa e possibile arresto del processo	4	4	5	80
	SISTEMA REFRIGERANTE	rottura organi idraulici quali pompe, valvole, tubi, manometri...	mancata refrigerazione, malfunzionamento macchina e possibile usura precoce di altri componenti macchina	qualità compromessa	4	4	5	80
	SISTEMA PNEUMATICO	rottura compressore, valvole, tubi, raccordi...	malfunzionamento macchina	qualità compromessa e possibile arresto del processo	3	4	5	60
	PULSANTI E SISTEMI DI EMERGENZA	rottura sistemi di sicurezza	arresto macchina	arresto del processo	2	2	8	32

	MANDRINO	rottura cuscinetti, usura o rottura albero causa colpi imprevisti o fatica	malfunzionamento macchina, possibile fermo macchina	qualità compromessa	4	2	6	48
	AUTOCENTRANTE	usura	malfunzionamento macchina	qualità compromessa possibile arresto del processo	2	2	5	20
	INGRANAGGI	usura denti causa scarso ingrassaggio (grippaggio) o rottura per fatica	malfunzionamento macchina e possibile arresto macchina	qualità compromessa possibile arresto del processo	2	4	5	40
	CINGHIE	rottura e degrado	malfunzionamento macchina	qualità compromessa possibile arresto del processo	4	3	5	60
	GUIDE	usura possibile causa di scarsa lubrificazione	malfunzionamento macchina	qualità compromessa possibile arresto del processo	2	3	5	30
	PARTE ELETTRICA	rottura componentistica elettrica	arresto macchina	possibile arresto del processo	2	4	6	48

Tab.4.29 FMECA Tornio

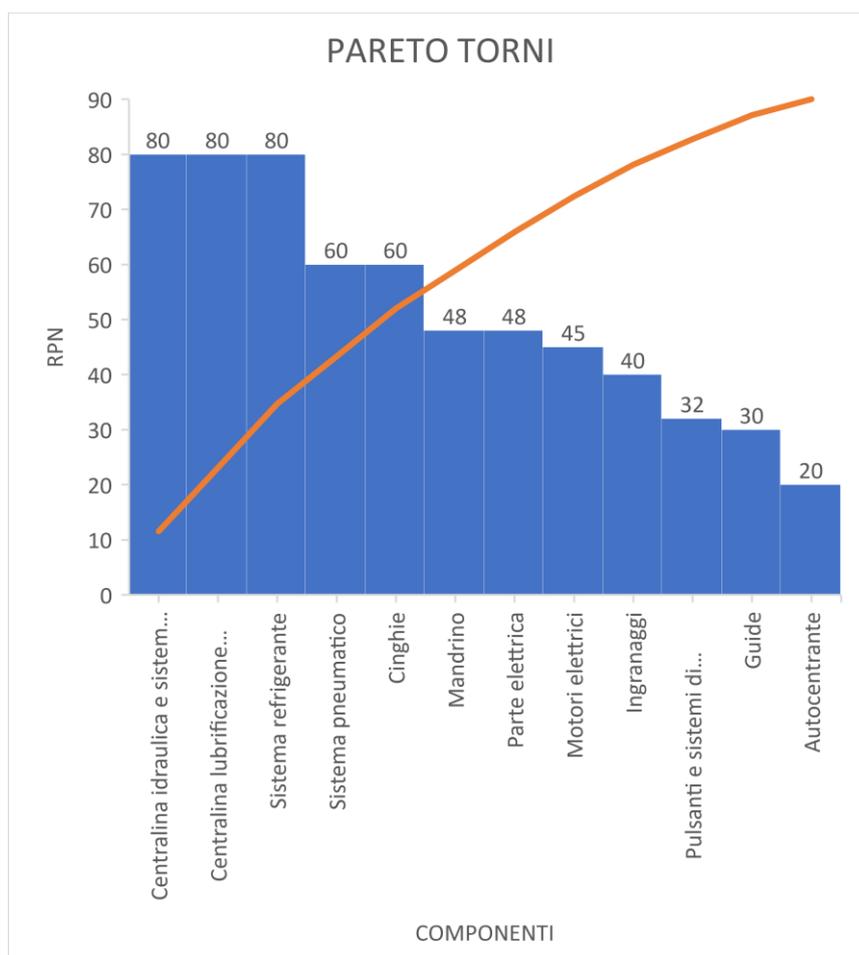


Fig.4.21 Pareto Torni

Si riporta il piano di manutenzione dei torni

PIANO MANUTENZIONE TORNII									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1		pulizia macchina (vedere note)	manuale						
2		controllo del rumore	utilizzo del fonometro						

3	MANDRINO	analisi spettro vibrazioni	analisi spettro vibrazioni						
4	MOTORI ELETTRICI	analisi spettro vibrazioni	analisi spettro vibrazioni						
5	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE DI LAVORO FRONTE MACCHINA- TAVOLO DI APPOGGIO	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						
6	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE LAVORO RETRO- MACCHINA	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						
7	PAVIMENTAZIONE E POSTAZIONE ACCESSO VASCA DI RILANCIO	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						
8	AREA VANO INTERNO MACCHINA	pulizia mediante utilizzo pistola aria compressa	manuale						
9	VETRO PORTELLONE FRONTALE	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						
10	STRUTTURA ESTERNA CARTER	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						
11	VASCA REFRIGERANTE	pulizia mediante utilizzo di stracci e detergenti	manuale						ogni volta che si effettua il rabbocco
12	RACCOGLITORE TRUCIOLI	svuotare il contenitore dei trucioli il quale deve essere vuoto	manuale						

13	MANOMETRO CENTRALINA IDRAULICA	controllo pressione (6bar)	visivo						
14	MANOMETRO CENTRALINA LUBRIFICAZIONE GUIDE	controllo pressione (4bar)	visivo						
15	FUNGO EMERGENZA QUADRO COMANDI	verificare il corretto funzionamento	manuale						
16	CHIAVETTA DI SICUREZZA CARTER CENTRALE, INIBIZIONE APERTURA CON ORGANI IN MOVIMENTO	verificare il corretto funzionamento	manuale						
17	COMANDO DI ACCENSIONE GENERALE MACCHINA	verificare il corretto funzionamento	manuale/ visivo						
18	VASCHETTA LUBRIFICAZIONE GUIDE	controllo livello ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo						
19	VASCHETTA REFRIGERANTE	controllo livello ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo						
20	VASCA OLIO CENTRALE IDRAULICA	controllo livello ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo						
21	PARTE IDRAULICA	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/ visivo						
22	PARTE PNEUMATICA	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/ visivo						

23	SISTEMA DI LUBRIFICAZIONE	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/visivo						
24	ORGANI IN MOVIMENTO	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/visivo						
25	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/visivo						
26	PULIZIA	controlli	manuale/visivo						
27	PARTE ELETTRICA	controlli ed eventuale sostituzione pezzi	manuale/visivo						

Tab.4.30 Piano manutenzione Torni

Di seguito si riportano i controlli che devono essere effettuati:

CONTROLLO DISPOSITIVI DI SICUREZZA:

- Ci sono fili elettrici collegati con morsetti volanti?
- Ci sono guaine elettriche danneggiate?
- Ci sono dei micro di sicurezza elusi o manomessi?
- I quadri e le cabine elettriche sono tutte dotati di chiusure funzionanti?
- L'interruttore generale della macchina funziona?
- Gli apparecchi connessi alla macchina sono tutti funzionanti?
- Tutti gli adesivi antinfortunistici sono esposti in modo corretto?

CONTROLLO PUNTI DI SICUREZZA

- Sicurezza porta anteriore
- Pulsante emergenza su quadro comando

CONTROLLO PULIZIA MACCHINA

- La macchina esternamente si presenta pulita?
- La macchina internamente si presenta complessivamente pulita?
- Sono presenti depositi di trucioli nella macchina?
- La centralina di rilancio di refrigerante è in ordine?
- I dispositivi di lubrificazione sono puliti e segnalati?

- Durante il normale funzionamento della macchina ci sono delle fuoriuscite di refrigerante dalla carenatura?

CONTROLLO PARTE ELETTRICA

- Ci sono variazioni rispetto al normale nei voltmetri, amperometri, termometri o altri strumenti installati?
- Ci sono lampadine o display bruciati?
- La pulsantiera è fissata correttamente e di facile utilizzo?
- Sono presenti fori non protetti sull'apparecchiatura elettrica?
- L'impiantistica elettrica è installata correttamente?
- Ci sono parti elettriche (guaine, cavi, scatole) danneggiate?
- Ci sono dei motori che sono particolarmente surriscaldati?
- L'impianto di condizionamento funziona correttamente?
- Tutte le bocchette di raffreddamento funzionamento sono efficienti?
- Le griglie di protezione delle ventole dei motori elettrici sono pulite?

CONTROLLO DEGLI ORGANI DI MOVIMENTO

CINGHIE:

- Ci sono delle cinghie danneggiate o sfilacciate?
- Il tensionamento delle cinghie è uniforme?
- I carter di protezione delle cinghie sono efficienti?

CATENE O RULLI:

- C'è malfunzionamento degli ingranaggi causato da catene troppo tese o non tese?
- Ci sono ingranaggi con denti usurati o mancanti?
- I carter copri-catena dei flex link sono efficienti e non danneggiati?

ALBERI CUSCINETTI E ACCOPPIAMENTI:

- Ci sono dei surriscaldamenti anomali degli elementi in rotazione?
- Sono presenti vibrazioni negli organi in rotazione?
- Sono presenti strani rumori dovuti a problemi di cuscinetti?
- Sono presenti disassamenti degli alberi?

MECCANISMI, RIDUTTORI E FRENI

- Vi sono particolari problemi riscontrati durante la fase di lavoro?
- I sistemi frenanti funzionano in modo regolare?
- I motoriduttori variabili sono tutti in ordine?

CONTROLLI LUBRIFICAZIONE

- I contenitori dei lubrificanti sono puliti ed in ordine?
- Su tutti i dispositivi di lubrificazione è etichettato il tipo di lubrificante?
- Tutti i livelli dei dispositivi di lubrificazione hanno indicato il livello di minimo e di massimo?
- Sono Presenti le istruzioni di utilizzo dei sistemi lubrificanti presenti sulla macchina?
- L'erogazione dell'olio è conforme alle istruzioni fornite?
- La lubrificazione standard rispetta i tipi e le quantità di lubrificante?
- Laddove sono ubicati i contenitori di olio o di grasso sono raggiungibili in modo agevole?
- Tutti i punti di rabbocco sono chiusi ermeticamente?

CONTROLLI PARTE IDRAULICA

- Sui serbatoi è indicato il fluido idraulico utilizzato?
- Sono visualizzati i livelli di minimo e di massimo?
- La temperatura del fluido è nei parametri di lavoro?
- Le pressioni di lavoro visualizzate sono conformi a quelle allegate nelle istruzioni?
- Sono indicati i valori limiti di minimo e massimo sui manometri?
- Si avvertono rumori insoliti provenire dal gruppo pompa?
- Ci sono delle perdite dei fluidi?
- Ci sono degli indizi che i fluidi siano contaminati dalla presenza di acqua, polvere?
- Tutti i punti di rabbocco sono chiusi ermeticamente?
- Ci sono perdite nei giunti o nei tubi flessibili?
- Ci sono giochi o allentamenti nei punti di raccordo?
- Ci sono tubi flessibili danneggiati?
- Lo stato della densità dei fluidi è nella norma?
- Tutti i regolatori di pressione sono efficienti?

CONTROLLO PARTE PNEUMATICA

- Ci sono perdite di aria o danneggiamenti nell'impianto?
- Ci sono dei trafiletti dai cilindri dell'aria?
- Ci sono dei trafiletti dall'equipaggiamento delle valvole?
- Durante il movimento dei cilindri ci sono problemi di scorrevolezza o danni alle aste?
- La pressione visualizzata sui manometri è conforme alle istruzioni macchina?
- Sono indicati sui manometri i limiti di minimo e di massimo?
- I filtri dell'aria posti sui regolatori sono puliti?
- I nebulizzatori olio impianto pneumatico sono in ordine?
- Ci sono parti allentate, vibrazioni o tubi piegati?
- Sono state dimenticate tubazioni non collegate?
- Ci sono allentamenti nei supporti dei tubi o nelle guarnizioni?
- Ci sono valvole danneggiate, rubinetti allentati?
- C'è difficoltà nel raggiungere i regolatori di pressione dell'impianto?
- Tutti i regolatori di pressione sono efficienti?

Segatrice

I componenti principali della macchina sono:

- Motore elettrico
- Sistema di raffreddamento
- Sistema idraulico
- Cinghie
- Ingranaggi
- Guide
- Sega
- Dispositivi di sicurezza (pulsante d'emergenza)

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
SEGATRICE	MOTORE ELETTRICO	rottura o degrado dei cuscinetti e/o degli avvolgimenti...	malfunzionamento o arresto della macchina	interruzione del processo; perdita di qualità.	5	4	7	140
	SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO	degrado del liquido di raffreddamento	possibile grippaggio e arresto macchina	qualità compromessa	3	3	7	63
	SISTEMA IDRAULICO	malfunzionamento organi idraulici: pompa, valvole, manometri. problematiche riscontrate: rottura coppa olio	Grippaggio e fermo macchina	interruzione del processo.	3	4	7	84
	CINGHIE	degrado e possibile rottura	fermo macchina	interruzione del processo	5	3	7	105
	INGRANAGGI	usura presumibilmente a causa di scarso ingrassaggio	malfunzionamento e possibile arresto della macchina	possibile interruzione del processo	2	4	7	56
	GUIDE	usura presumibilmente a causa di scarsa lubrificazione	malfunzionamento e possibile arresto della macchina	qualità compromessa	3	2	6	36

	SEGA	usura	malfunzionamento macchina	interruzione del processo.	5	1	8	40
	PULSANTE D'EMERGENZA	malfunzionamento	arresto macchina	interruzione del processo	2	1	9	18

Tab.4.31 FMECA Segatrice

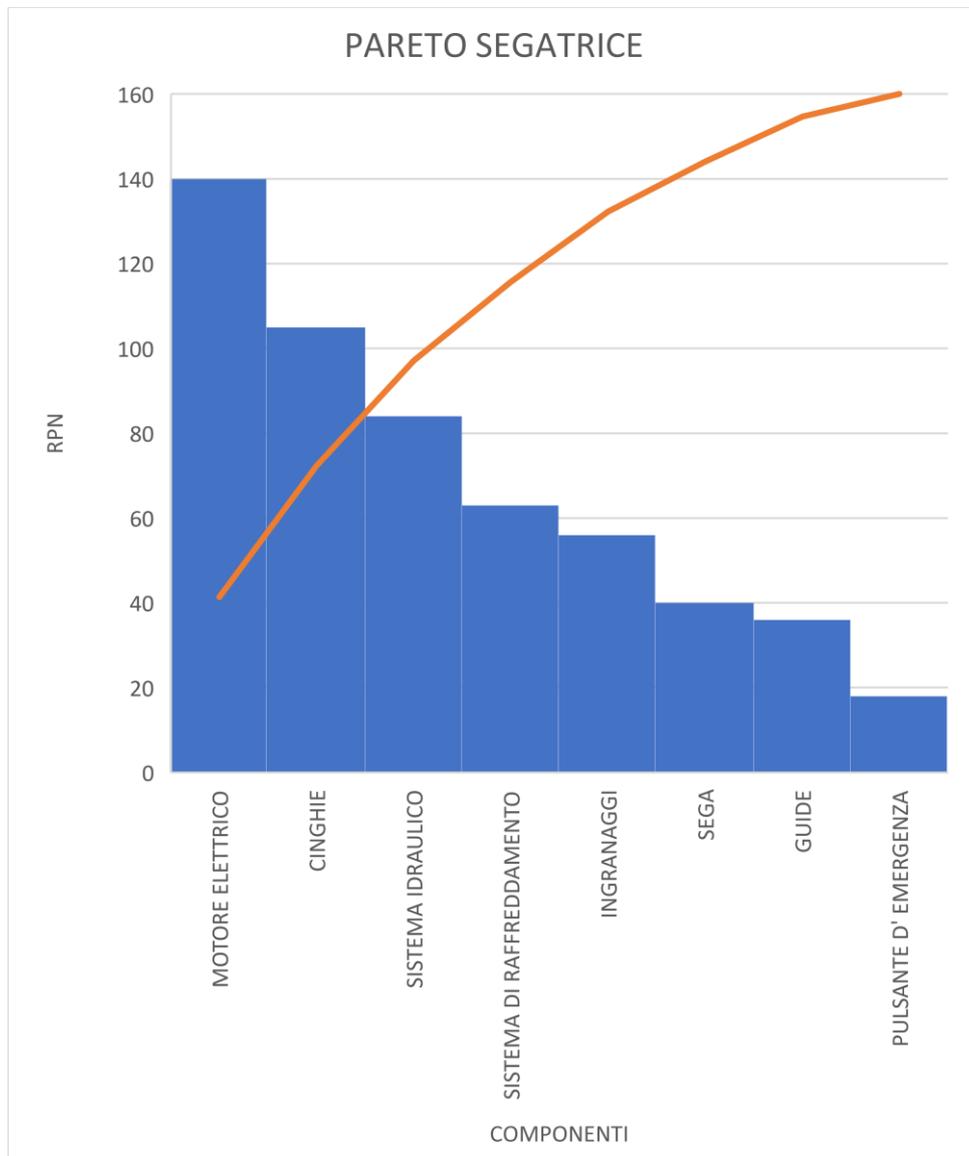


Fig.4.22 Pareto segatrice

PIANO MANUTENZIONE SEGATRICE									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	ORE
1	MOTORE ELETTRICO	controllo ed eventuale revisione	analisi spettro vibrazionale						
2	LIQUIDO RAFFREDDAMENTO	controllo livello (è presente la spia di controllo)	visivo						
3	COPPA DELL'OLIO	pulizia coppa dell'olio	manuale						
4	ANTIGELO	miscelarlo al liquido di raffreddamento	manuale						
5	LIVELLO OLIO IMPIANTO IDRAULICO	Controllo del livello. Eventuale rabbocco. Se si effettua manutenzione è necessario il controllo aerazione	visivo						
6	VASCA	cambio olio	manuale						2000
7	CINGHIE	controllo stato cinghie	manuale/ visivo						
8	INGRANAGGI	controllo livello ingranaggi dalla spia, in caso rabbocco	visivo						
9	GUIDE	lubrificazione delle guide delle piastre dell'arco, in caso di	manuale						

		funzionamento continuo							
10	GUIDE	lubrificazione dei mandrini di comando per la morsa di banco di avanzamento, del dispositivo di misurazione e delle slitte di avanzamento	manuale						
11	SEGA	sostituzione quando non è più efficiente	manuale						

Tab.4.32 Piano manutenzione Segatrice

Il livello dell'olio del sistema idraulico è visibile dalla spia di controllo quando l'arco è in posizione elevata. Il riempimento va effettuato tramite l'adeguata vite con olio idraulico.

L'aerazione del sistema idraulico è normalmente automatica; dopo riparazioni si deve allentare leggermente la vita esagonale interna M6 raggiungibile dall'apertura nella manovella del sistema idraulico universale.

Macchine prova giochi assiale

I componenti principali sono:

- Manometro e pulsante d'emergenza
- Rulli
- Stelo
- Giunto di accoppiamento a morsetto
- Tavola girevole
- Motore elettrico

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
MACCHINA PROVA GIOCHI ASSIALI	MANOMETRO PULSANTE DI EMERGENZA	rottura manometro	fermo macchina	interruzione del processo	4	2	9	72
	RULLI	usura	difficoltà nello spostamento dei pezzi	rallentamento del processo	2	1	3	6
	STELO	usura	possibile fermo macchina	qualità del processo compromessa	2	2	5	20
	GIUNTO DI ACCOPPIAMENTO A MORSETTO	rottura giunto	possibile fermo macchina	qualità del processo compromessa	4	3	6	72
	TAVOLA GIREVOLE	rottura cuscinetto	malfunzionament o e/o possibile fermo macchina	interruzione del processo	2	2	6	24
	MOTORE ELETTRICO	rottura o degrado dei cuscinetti e/o degli avvolgimenti ...	malfunzionament o e/o possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo e/o qualità del processo compromessa	4	2	6	48

Tab.4.33 FMECA Macchine prova giochi assiali

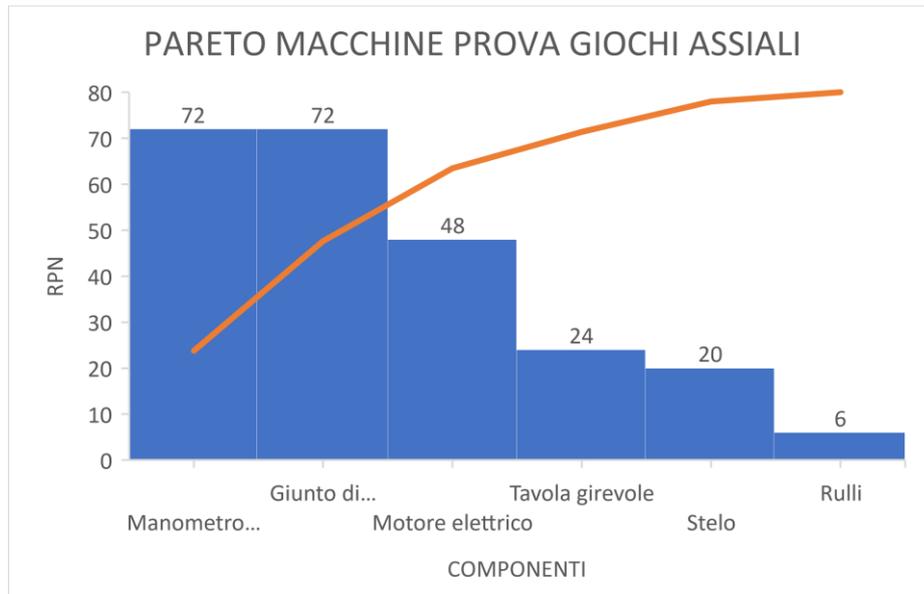


Fig.4.23 Pareto Macchine prova giochi assiali

PIANO MANUTENZIONE MACCHINA PROVA GIOCHI ASSIALE									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	MANOMETRO PULSANTE DI EMERGENZA	scarico condense e verifica funzionalità del pulsante di emergenza	manuale/ visivo						
2	RULLI	verifica del rotolamento	manuale/ visivo						
3	STELO	verifica lubrificazione	visivo						
4	GIUNTO DI ACCOPIAMENTO A MORSETTO	verifica integrità	manuale/ visivo						
5	TAVOLA GIREVOLE	cambio componente	manuale						a rottura
6	MOTORE ELETTRICO	cambio componente	manuale						a rottura

Tab.4.34 Piano manutenzione Prova giochi assiali

Presse

I componenti principali sono:

- Paraoli
- Stelo
- Centralina idraulica
- Filtro d’aspirazione
- Tubi idraulici
- Sistemi di sicurezza

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
PRESSE	PARAOILI	rottura, fuoriuscita olio	malfunzionamento usura stelo	qualità compromessa	4	2	6	48
	STELO	usura	malfunzionamento	qualità compromessa	2	2	6	24
	CENTRALINA IDRAULICA	malfunzionamento e/o rottura componentistica: pompa, motore pompa, filtri, valvole	malfunzionamento macchina e possibile fermo macchina	possibile interruzione del processo	4	3	7	84
	FILTRO D’ASPIRAZIONE	otturazione	malfunzionamento macchina	qualità compromessa e possibile interruzione del processo	3	3	7	63
	TUBI IDRAULICI	mancato serraggio	malfunzionamento macchina	possibile interruzione del processo	3	3	6	54
	SISTEMI DI SICUREZZA	rottura pulsanti di emergenza	fermo macchina	interruzione del processo	2	1	9	18

Tab.4.35 FMECA Presse

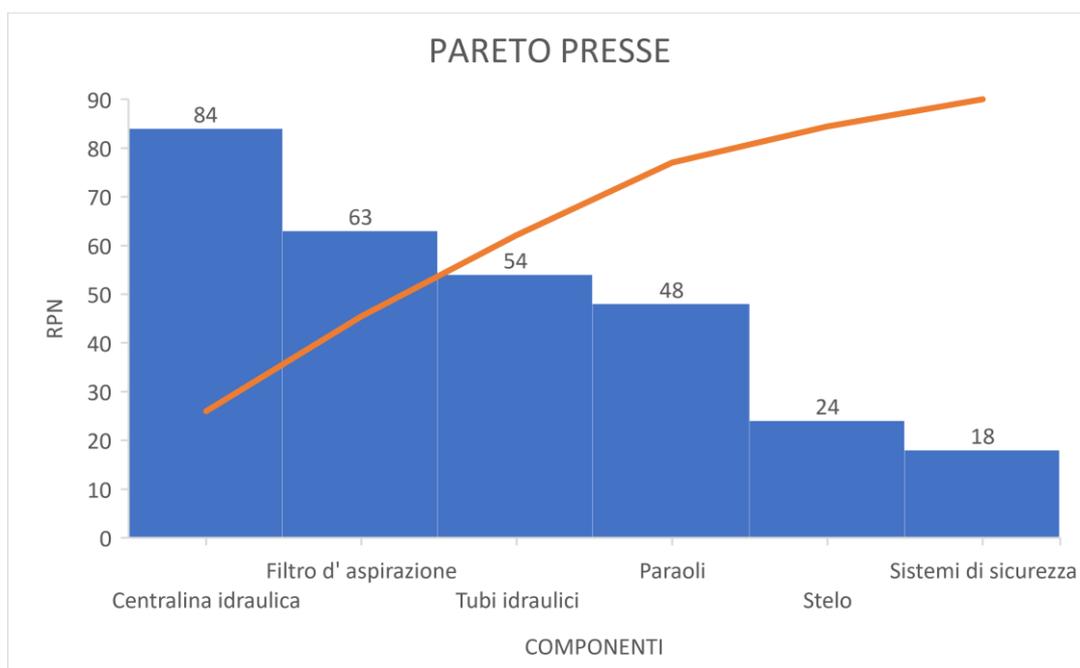


Fig.4.24 Pareto presse

PIANO MANUTENZIONE PRESSE										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1		controllo stelo per verificare assenza di perdite d'olio, eventuale sostituzione guarnizioni	visivo							
2	CENTRALINA IDRAULICA	sostituzione olio	manuale							1000h di utilizzo
3	FILTRO D'ASPIRAZIONE	sostituzione	manuale							al terzo cambio d'olio

4	TUBI IDRAULICI	verificare serraggio	manuale							1000h di utilizzo
5	SISTEMI DI SICUREZZA	verificarne il corretto funzionamento	manuale/visivo							

Tab.4.36 Piano manutenzione Presse

Centralina idraulica

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
CENTRALINA IDRAULICA	MOTORE	rottura avvolgimenti e/o cuscinetti	fermo macchina o malfunzionamento. Malfunzionamento o arresto pompa	interruzione del processo	5	4	7	140
	POMPA	rottura girante, cuscinetti, cavitazione	malfunzionamento e/o arresto macchina	interruzione del processo	5	4	7	140
	PULSANTIERA: FINECORSO, SENSORI DI LIVELLO	rottura sensori	arresto macchina	interruzione del processo	3	1	7	21
	VALVOLE	rottura organi interni, per esempio, otturatore o otturazioni luci di passaggio	malfunzionamento impianto	possibile interruzione del processo	2	4	7	56

	TUBI	serraggio errato	possibile fuoriuscita olio in pressione	possibile interruzione del processo	2	2	6	24
	PULSANTE D'EMERGENZA	rottura	arresto macchina	interruzione processo	2	1	9	18

Tab.4.37 FMECA Centralina idraulica

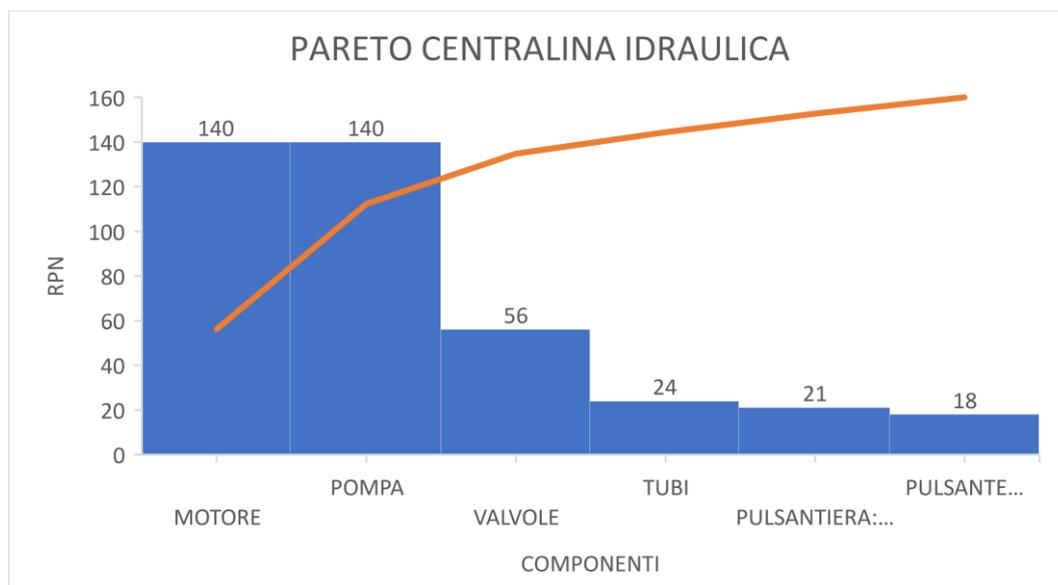


Fig.4.25 Pareto Centralina idraulica

PIANO DI MANUTENZIONE CENTRALINA IDRAULICA									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO
1	MOTORE, POMPA	manutenzione predittiva	analisi spettro vibrazioni						
2	OLIO SERBATOIO	cambio olio	manuale						1500
3	PULSANTIERE, SPIE: FINECORSA, SENSORI DI LIVELLO...	verifica funzionamento	manuale						
2	VALVOLE, FASCI TUBIERI	cambio olio	manuale						1500
4	PULSANTE DI EMERGENZA	Verifica funzionamento	manuale						

Tab.4.38 Piano manutenzione Centralina idraulica

Lapidelli

PIANO MANUTENZIONE LAPIDELLI										
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	H DI UTILIZZO	QUANDO?
1	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale	manuale/ visivo							

		sostituzione dei componenti compromessi								
2	PUNTI DI SICUREZZA	controllo secondo la procedura sotto riportata	manuale/ visivo							
3	PARTE ELETTRICA	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo							
4	PARTE IDRAULICA	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo							
5	PARTE MECCANICA	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo							
6	PARTE PNEUMATICA	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo							
7	ORGANI DI MOVIMENTO: CINGHIE	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei	manuale/ visivo							

		componenti compromessi							
8	ORGANI DI MOVIMENTO: CATENE O RULLI	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo						
9	ORGANI DI MOVIMENTO: ALBERI, CUSCINETTI E ACCOPPIAMENTI	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo						
10	ORGANI DI MOVIMENTO: MECCANISMI RIDUTTORI E FRENI	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo						
11	LUBRIFICAZIONE	controllo secondo la procedura sotto riportata; eventuale sostituzione dei componenti compromessi	manuale/ visivo						

Tab.4.39 Piano manutenzione Lapidelli

Sabbiatrice

MACCHINA	COMPONENTE	MODALITA' DI GUASTO	CAUSE SULLA MACCHINA	CAUSE SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
SABBIATRICE	MANOMETRO	rottura	visualizzazione della pressione errata o inesistente		1	1	4	4
	VALVOLE	rottura organi interni alla valvola	malfunzionamento macchina	possibile interruzione del processo	4	4	6	96
	UGELLI	otturazioni	malfunzionamento macchina	qualità del processo compromessa	6	3	6	108
	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	malfunzionamenti	arresto macchina	interruzione del processo	1	1	9	9

Tab.4.40 FMECA Sabbiatrice

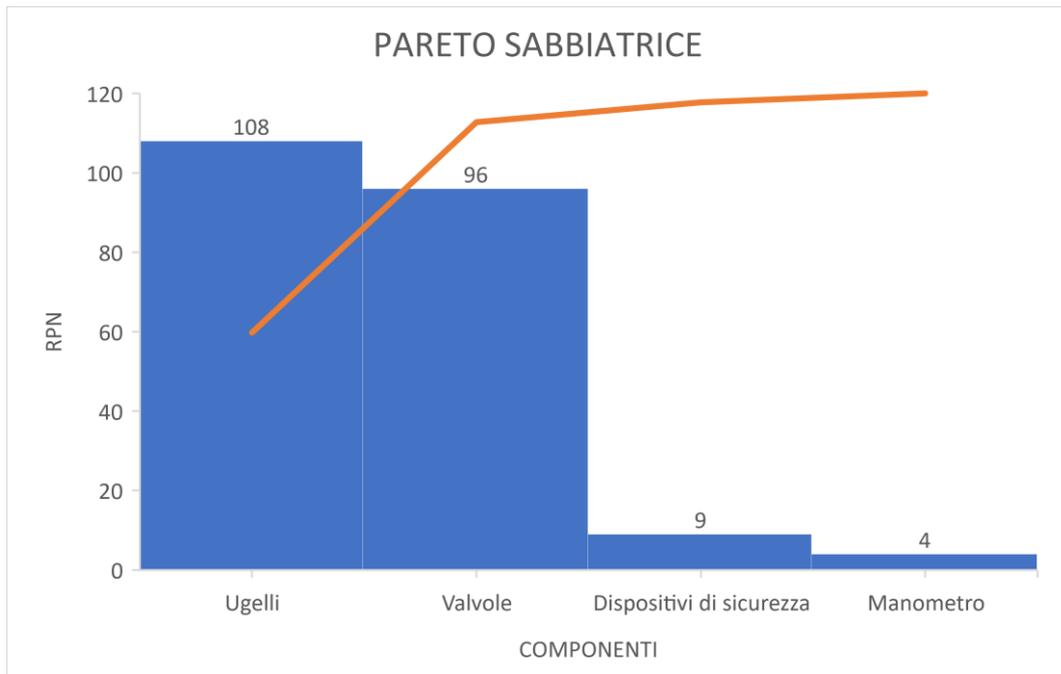


Fig.4.26 Pareto Sabbiatrice

PIANO DI MANUTENZIONE SABBIATRICE								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MANOMETRO	verifica corretto funzionamento	visivo					
2	VALVOLE	verifica corretto funzionamento	visivo					
3	UGELLI	verifica eventuali otturazioni	visivo					
4	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	verifica dispositivi di sicurezza	manuale/ visivo					

Tab.4.41 Piano manutenzione Sabbiatrice

Safety Kleen

PIANO DI MANUTENZIONE SAFETY KLEEN									
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	TRASDUTTORI	verificare corretto funzionamento	manuale						
2	SERBATOIO	controllo livello del liquido del serbatoio	visivo						
3	VALVOLE	sostituzione	manuale						A rottura
4	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	verificare corretto funzionamento	manuale/ visivo						

Tab.4.42 Piano manutenzione Safety kleen

Banco prova riduttori

PIANO DI MANUTENZIONE BANCO PROVA RIDUTTORI								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	MOTORE ELETTRICO	analisi spettro vibrazionale	spettro vibrazionale					
2	GUIDE MECCANICHE	controllo usura e lubrificazione	visivo					
3	SISTEMA VITE MADREVITE	controllo usura e lubrificazione	visivo					
4	IMPIANTO ELETTRICO	verifica connessioni, fili, guaine. Devono essere in perfette condizioni.	visivo/ manuale					
5	Dispositivi di sicurezza	verificare corretto funzionamento	manuale					

Tab.4.43 Banco prova riduttori

Elettroaspiratori

PIANO DI MANUTENZIONE ELETTROASPIRATORI FAVRETO								
N° OPERAZIONI	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	VENTOLA	verificare corretto funzionamento e controllo del cuscinetto	manuale/ visivo					
2	VASCHETTA	pulizia	manuale					

3	CAMERA D'ARIA	controllo e pulizia da eventuali incrostazioni	manuale/ visivo					
4	FASCIA DI CHIUSURA	pulizia	manuale					
5	IMPIANTO ELETTRICO	verifica connessioni, fili, guaine. devono essere in perfette condizioni.	visivo					

Tab.4.44 Piano manutenzione elettroaspiratori

Banco assemblaggio alberi

- Impianto idraulico
- Impianto elettrico
- Cilindro idraulico di spinta
- Telaio
- Bulloneria per fissare il telaio al pavimento
- Perno che permette il collegamento dell'albero al cilindro mediante culla di aggancio
- Dispositivi di sicurezza

PIANO MANUTENZIONE BANCO ASSEMBLAGGIO ALBERI								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	GG	SETT.	MESE	SEMESTRALE	ANNUALE
1	BANCO	pulizia del banco	manuale					
2	IMPIANTO IDRAULICO	si veda: manutenzione impianto idraulico						
3	TUBAZIONI, RACCORDI DEL CIRCUITO IDRAULICO	controllo stato ed eventuale sostituzione di particolari	manuale/ visivo					

4	PULSANTE DI EMERGENZA	verifica funzionamento	manuale					
5	LIVELLO OLIO	controllo livello ed eventuale rabbocco	manuale/ visivo					
6	TENUTA DEL CILINDRO IDRAULICO	verifica stato, valutare eventuale sostituzione	visivo					
7	BULLONI	verificare il serraggio	manuale					
8	IMPIANTO ELETTRICO	verifica connessioni, fili, guaine. devono essere in perfette condizioni	visivo					

Tab.4.45 Piano manutenzione banco assemblaggio alberi

Banco piantaggio guarnizioni

Per quanto riguarda il piano di manutenzione idraulico si fa riferimento al piano di manutenzione della centralina idraulica e al piano delle presse. Il banco è sostanzialmente una pressa.

Banchi di collaudo mandrini

PIANO MANUTENZIONE BANCHI DI COLLAUDO MANDRINI								
N° OPERAZIONE	COMPONENTI	AZIONE	METODO	SETT.	MESE	TRIMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	DISPOSITIVI DI SICUREZZA	controllo di corretto funzionamento con le porte chiuse, verifica del corretto funzionamento dei pulsanti di emergenza	manuale					
2	GRUPPO REFRIGERANTE	verifica corretto funzionamento refrigerante	manuale/ visivo					ad ogni utilizzo

3	INVERTER	(non necessita di particolare manutenzione)							
4	CENTRALINE ARIA OLIO	verifica valvole, ugelli e condotti	manuale/ visivo						
5	FILTRI AD Y	pulizia	manuale						
6	SPLIT	controllo	visivo						

Tab.4.46 Piano manutenzione banchi di collaudo mandrini

Infine, la tabella sottostante (tab.4.47) racchiude il piano di manutenzione delle macchine meno delicate la cui manutenzione risulta più semplice.

PIANO SEALJET E FORNO VOTSCH										
N° OPERAZIONE	MACCHINA	COMPONENTI	AZIONE	METODO	SETT.	MESE	TRIMESTRALE	SEMESTRALE	ANNUALE	QUANDO?
1	SEALJET	PULIZIA	eseguire pulizia macchina	manuale						
2		DISPOSITIVI DI SICUREZZA	verifica del corretto funzionamento	manuale						ad ogni utilizzo
3		MANDRINI EMOTORE ELETTRICO		analisi spetto vibrazionale (manutenzione predittiva)						
4	FORNO VOTSCH	RESISTENZE	pulizia incrostazioni	manuale						
5		DISPOSITIVI DI SICUREZZA	verifica del corretto funzionamento	manuale/ visivo						ad ogni utilizzo

Tab.4.47 Piano manutenzione SEALJET e forno VOTSCH

In sala metrologica sono presenti dei macchinari che effettuano misurazioni molto precise come ad es. la DEA GAMMA; tuttavia, considerata la loro sensibilità si è optato per il non utilizzo di tali macchine per fini manutentivi. Per avere costanza nella loro precisione vengono periodicamente controllate e calibrate da tecnici specializzati. Vi sono ancora, degli impianti

come ad esempio quello elettrico, quello dell'aria compressa, compressori e i macchinari di sollevamento come: carriponte, gru e montacarichi la cui manutenzione è affidata a ditte esterne. Una problematica che è stata considerata, soprattutto analizzando i dati storici è quella della reperibilità dei componenti di ricambio delle macchine. Come già detto più volte è fondamentale ridurre al minimo i fermi macchina. A tal proposito, vista la lunga attesa perché i pezzi pervengano in azienda (a volte diverse settimane), è stato scelto di definire i componenti più critici e stoccarli in magazzino. Di seguito si riporta una lista dei componenti più critici che vengono stoccati come parti di ricambio.

Lavatrice a catena:

- NR 1,00 POMLOW_ACC_0000052 TENUTA MECCANICA M7N/28-00 Q1Q1KGG D.28
- NR 1,00 POMLOW_ACC_0000049 TENUTA MECCANICA UNITEN 5K/22 XWXWQKW D.22
- NR 2,00 PNESMC_0000133 CILINDRO PNEUMATICO ISO D.63 CORSA 750mm -CP96SDB63-750C-XC68
- NR° 1,00 VALEFF_0000001 VALVOLA SFERA A 3 VIE SERIE GEMINI IN AISI 316 D.2" PASSAGGIO A "T" + Attuatore
- NR 1,00 VALEFF_0000002 BOX MICRO FINECORSA MECCANICI EFFEBI TIPO OCRSA GZ01BAEO
- NR 1,00 PNEAEV_0000001 ELETTRIVALVOLA ASCO BISTABILE 5/2 ATTACCO NAMUR - MOD: G551A002MS
- NR 9,00 RESCAB_0000004 RESISTENZA ARIA 2KW 230/400V AISI 321 D.10,3mm H=210mm DIS. RA20N_210_321_
- NR 1,00 POMLOW_0000227 POMPA ESHS 50-25/185 INOX 316LTENUTAKGG D.28 18.5 KW IE3 2P 400V 50 Hz

Sala metrologica:

- GRUPPO TRATTAMENTO ARIA IN SALA METROLOGICA

Macchina prova giochi assiali:

- GIUNTO DI ACCOPPIAMENTO A MORSETTO, ELETTRIVALVOLA PNEUMATICA BE4940, VISUALIZZATORE ANILAM WIZARD 211
- PIANO DI RISCONTRO

Presse:

- CILINDRO ENERPAC RR 1012 (10 TON.) CENTRALINA ENERPAC ZE 5410

4.3.1 Scheda di gestione della manutenzione

In questo paragrafo si vuole descrivere la scheda di manutenzione che deve essere compilata da ogni addetto alla manutenzione così da poter stimare i tempi, i costi di ogni intervento per poi definire gli indici KPI ed avere un quadro completo degli interventi.

OPERATORE ADDETTO ALLA MANUTENZIONE	MACCHINA	N° OPERAZIONE	TEMPO IMPIEGATO	PEZZI SOSTITUITI	COSTO PEZZI SOSTITUITI	ATTREZZATURA UTILIZZATA	DATA	EVENTUALI NOTE	ESITO OPERAZIONE	FIRMA

Tab.4.48 Scheda di manutenzione

4.4 Analisi FMECA del processo

In questo paragrafo si vuole fare l’analisi FMECA dei processi di revisione dei mandrini e dei cuscinetti ferroviari, nonché l’assemblaggio e la revisione alberi e i test dei riduttori. In prima battuta ci si occupa del processo di revisione mandrini. Vengono prese in considerazione le macchine principali adoperate per l’esecuzione del processo, e si conduce l’analisi critica FMECA al fine di identificare le macchine da osservare con particolare attenzione ai fini delle manutenzioni. Le cause e le modalità di guasto delle macchine nello specifico sono state trattate nel precedente paragrafo per cui l’analisi FMECA del processo considera: il processo, la macchina e la causa sul processo.

Le macchine in questione sono:

- TORNI
- RETTIFICATRICI
- LAPIDELLI
- EQUILIBRATRICI
- BANCHI PER TEST DI COLLAUDO

Grazie alla presenza di più torni, rettificatrici, lapidelli e banchi per test di collaudo, l’affidabilità dei sistemi aumenta.

PROCESSO	MACCHINA	CAUSA SUL PROCESSO	O	D	S	RPN
REVISIONE MANDRINI	TORNI	l'interruzione della tornitura implica la mancata lavorazione degli organi rotanti e quindi l'interruzione del processo	4	4	6	96
	RETTIFICATRICI	l'interruzione della rettifica implica la mancata lavorazione degli organi rotanti e quindi l'interruzione del processo	6	6	8	288
	LAPIDELLI	mancata lavorazione di lapidellatura, possibile interruzione del processo	5	5	6	150
	EQUILIBRATRICI	mancata equilibratura organi rotanti, interruzione del processo	5	5	8	200
	BANCHI PER TEST DI COLLAUDO	mancato collaudo, il pezzo finito non può essere spedito al cliente. Interruzione del processo	5	6	8	240
REVISIONE CUSCINETTI FERROVIARI	LAVATRICE CABER	i pezzi non vengono lavati a causa del malfunzionamento della macchina. interruzione del processo	7	6	8	336
	MISURATORI DI GIOCHI ASSIALI	i cuscinetti non possono essere misurati	4	4	8	128
REVISIONE E ASSEMBLAGGIO ALBERI E REVISIONE E TEST RIDUTTORI	BANCO ASSEMBLAGGIO ALBERI	interruzione del processo di assemblaggio	5	5	7	175
	BANCO TEST RIDUTTORI E APPLICAZIONI GENERALI	interruzione processo di test	3	3	6	54

Tab.4.49 FMECA Processi

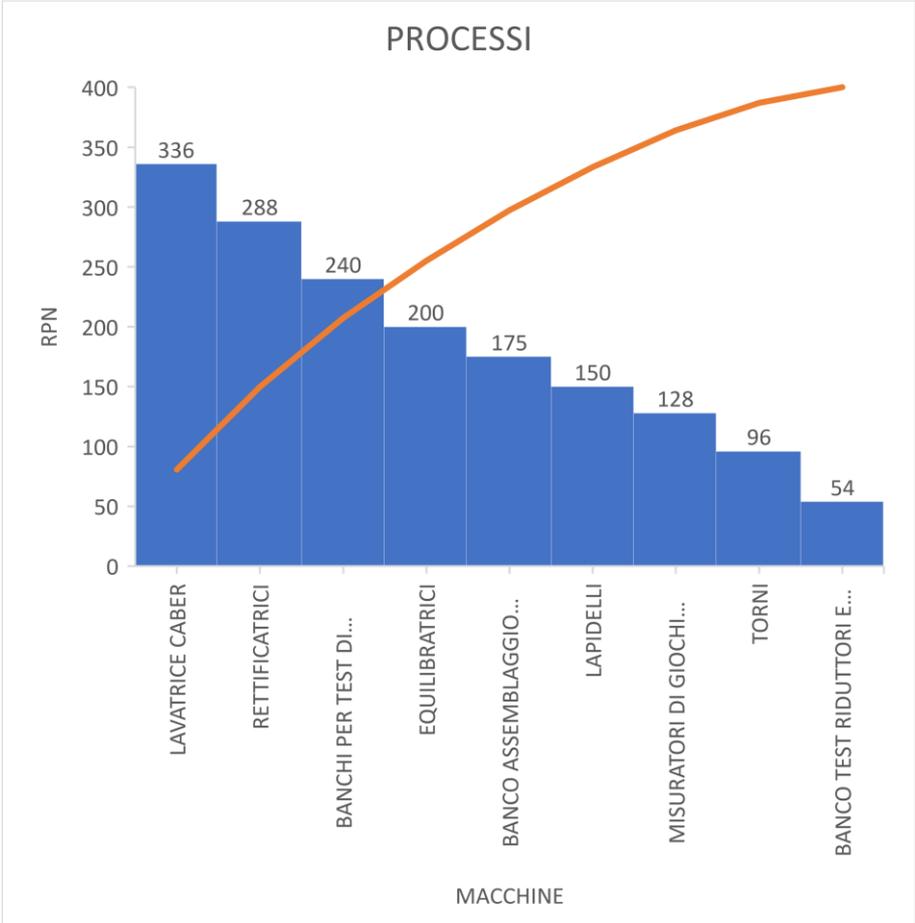


Fig.4.27 Pareto processi

Capitolo 5

Condition Monitoring vibrazionale

5.1 Tecnica del Condition Monitoring vibrazionale applicato ai mandrini

In questo paragrafo si vuole descrivere l'esperienza che è stata eseguita in Solution Factory riguardo l'analisi vibrazionale di elettro mandrini. Sono state condotte delle acquisizioni vibrazionali mediante il "Microlog" al fine di verificare il corretto funzionamento del mandrino e, in caso contrario, di identificarne le cause di malfunzionamento e gli eventuali danneggiamenti degli anelli interni, esterni, del corpo volvente e della gabbia dei cuscinetti analizzando lo spettro vibrazionale e l'involuppo.

Il mandrino in questione è un LKG 60 utilizzato per le rettifiche.

- Potenza (kW)=4,5kW
- Velocità massima (*rpm*)=60000 rpm
- Tensione (V)=350V
- Corrente(A)=12,2A
- Frequenza (Hz)=1000Hz
- N° poli=2
- Senso di rotazione = destro
- Postazione di lavoro = orizzontale
- Tipo di lubrificazione= aria olio
- Tipo di refrigerazione =acqua
- Tipo di attacco utensile = cilindrico

In fig.5.1 a,b,c si riportano le foto scattate durante il test effettuato.



Fig.5.1a Test LKG60



Fig.5.1b Test LKG60



Fig.5.1c Test LKG60

Gli strumenti utilizzati sono: il "Microlog SKF" per l'analisi FFT, gli accelerometri triassiali SKF e il software SKF utilizzato per la manutenzione predittiva. È importante definire la velocità di rotazione impostata e il punto di applicazione degli accelerometri, i quali sono stati messi in prossimità dei cuscinetti. E', inoltre, fondamentale, per il metodo dell'involuppo, indicare la tipologia dei cuscinetti che il mandrino monta. I cuscinetti sono: SKF 7003C e SKF 7004C, cuscinetti di precisione.

Si distinguono due lati:

- DE drive-end (lato motore)
- NDE non drive-end

Si riportano gli spettri della prova effettuata portando il mandrino ad una velocità pari a 10000rpm, considerando in ordinate prima la velocità, in un secondo momento l'accelerazione facendo la distinzione fra DE e NDE e, infine, il grafico dell'involuppo.

Capitolo 5: "Condition monitoring vibrazionale"

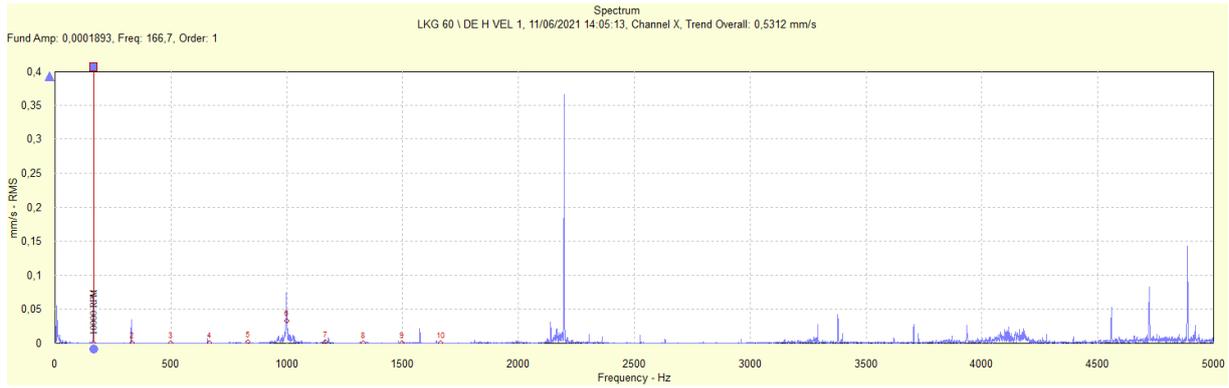


Fig.5.2 Spettro in velocità DE 10000rpm

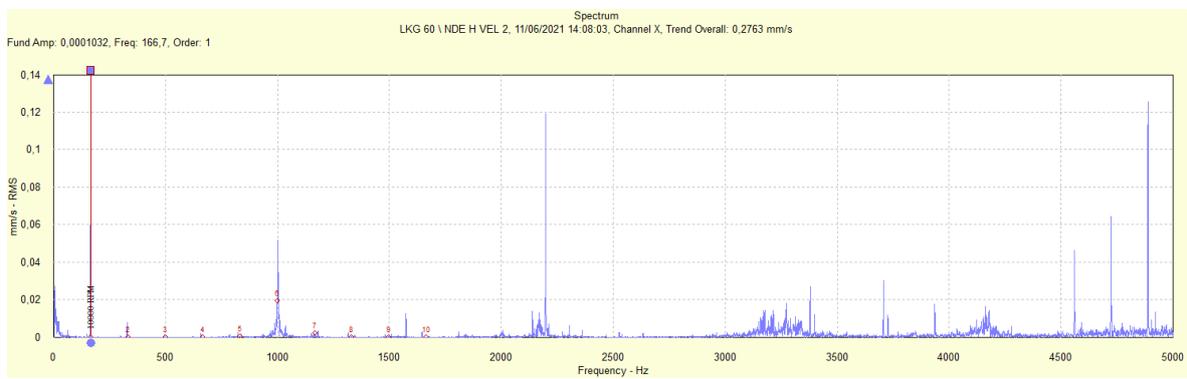


Fig.5.3 Spettro in velocità NDE 10000rpm

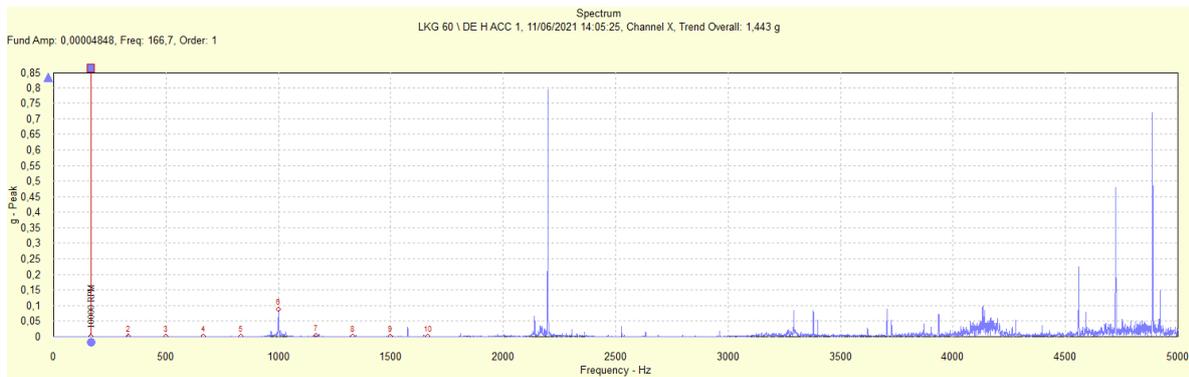


Fig.5.4 Spettro in accelerazione DE 10000rpm

Capitolo 5: "Condition monitoring vibrazionale"

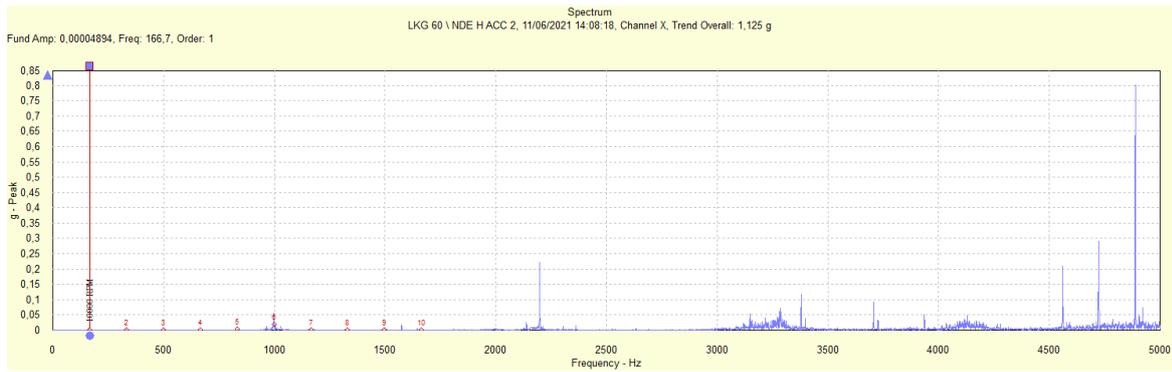


Fig.5.5 Spettro in accelerazione NDE 10000rpm

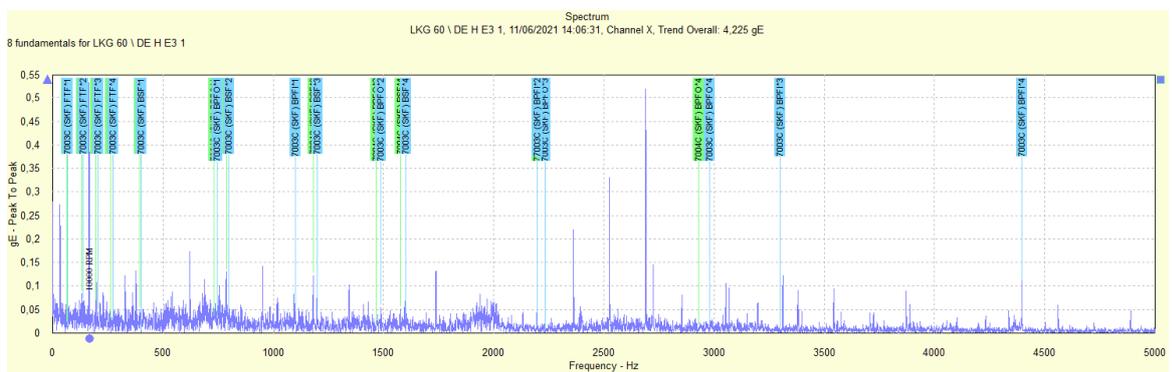


Fig.5.6 Involuppo DE 10000rpm

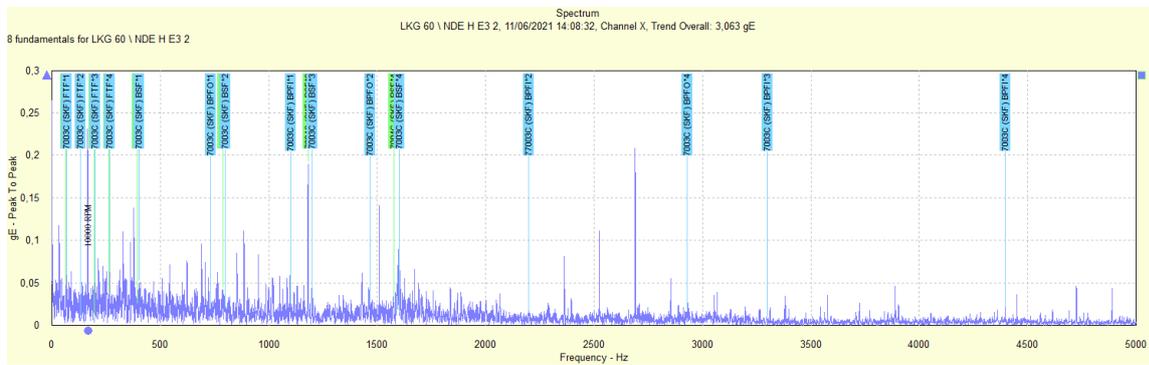


Fig.5.7 Involuppo NDE 10000 rpm

Si visualizzano adesso i grafici alla velocità: 15000rpm secondo la stessa logica usata precedentemente.

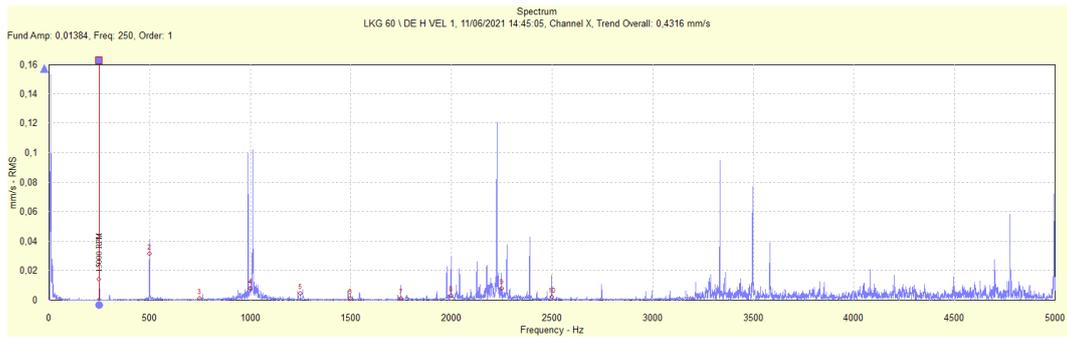


Fig.5.8 Spettro in velocità DE 15000rpm

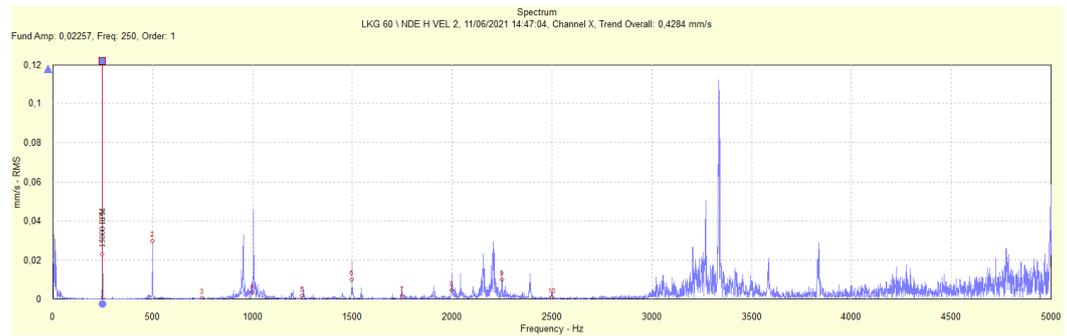


Fig.5.9 Spettro in velocità NDE 15000rpm

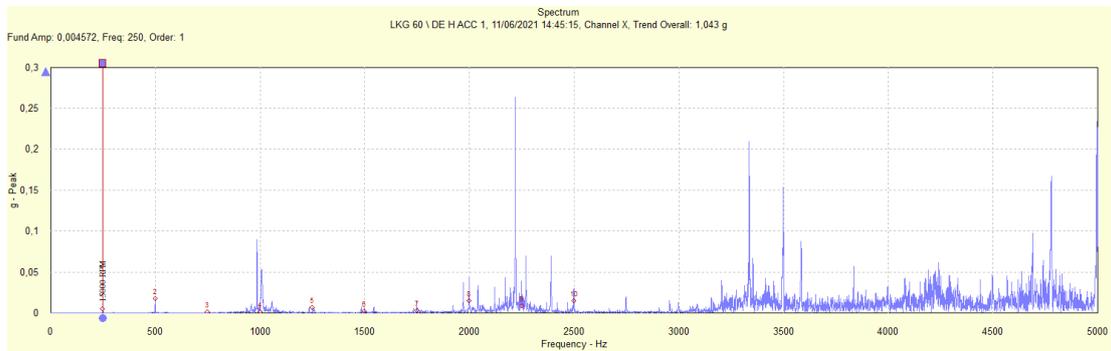


Fig.5.10 Spettro in accelerazione DE 15000rpm

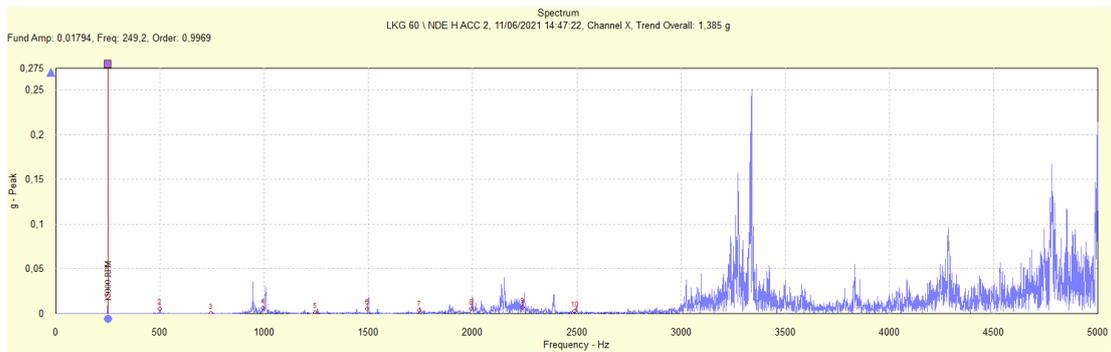


Fig.5.11 Spettro in accelerazione NDE 15000rpm

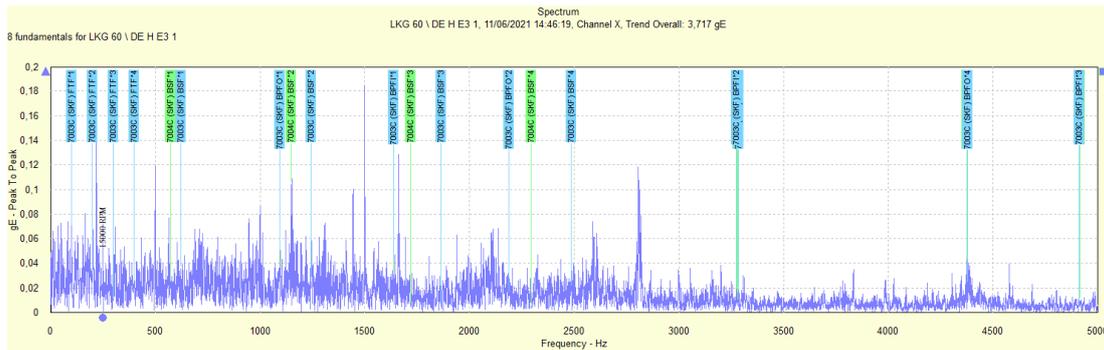


Fig.5.12 Inviluppo DE 15000rpm

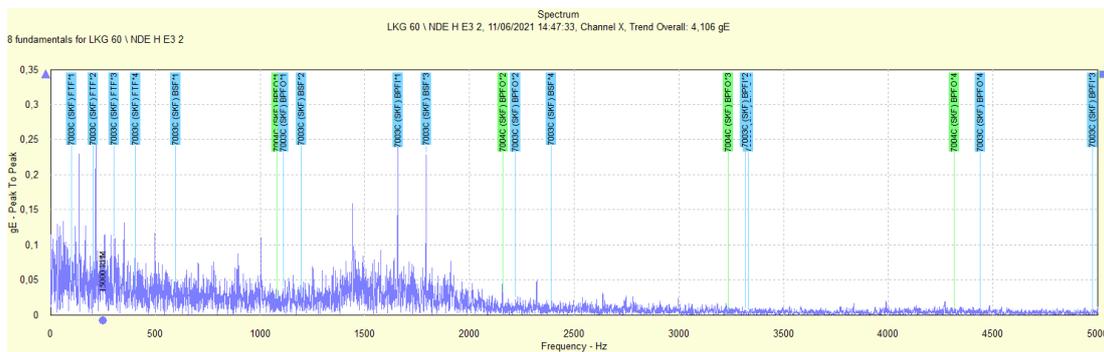


Fig.5.13 Inviluppo NDE 15000rpm

Si possono notare i picchi che caratterizzano la velocità di rotazione, in particolare ad una frequenza pari a 166,7Hz alla velocità di 10000rpm e 250Hz alla velocità di rotazione di 15000rpm. Si rilevano dei valori di ampiezza molto bassi sia nei grafici in velocità che in accelerazione. Questo sta ad indicare che il mandrino è in buone condizioni anche perché non si evidenziano sbilanciamenti, disallineamenti.

Per visualizzare lo stato dei cuscinetti si osservano i grafici di inviluppo. Alle frequenze caratteristiche dei difetti dei cuscinetti SKF 7003C e SKF 7004C non si notano danneggiamenti; non si notano picchi a tali frequenze; pertanto, si deduce che i cuscinetti sono in perfette condizioni. Nei grafici di inviluppo vengono rappresentate le prime 4 armoniche. Una osservazione importante da fare è la seguente: ci si accorge, che alle velocità di rotazione pari a 10000rpm si ha un picco tra i 2000Hz e 2500Hz. Alla velocità di rotazione pari a 15000rpm tale picco, sempre tra i 2000Hz e 2500Hz, diminuisce. Se fosse un picco dovuto a qualche danneggiamento alla velocità di 15000rpm, l'ampiezza, dovrebbe essere maggiore rispetto al picco riscontrato a 10000rpm. Si evince che si tratta di una risonanza del sistema pertanto è fortemente sconsigliato lavorare a 10000rpm.

MANDRINO DANNEGGIATO

Si tratta, adesso, l'analisi di un secondo mandrino. In questo caso, poiché si è in possesso di uno storico di dati è possibile fare un'analisi più accurata osservando come variano gli spettri nel tempo. Il mandrino durante le prove ha una velocità di rotazione pari a 1000rpm.

Si riportano di seguito i grafici in velocità, in particolare: lo spettro di velocità acquisito in data 03/06/2021, il Waterfall di velocità e il trend di velocità.

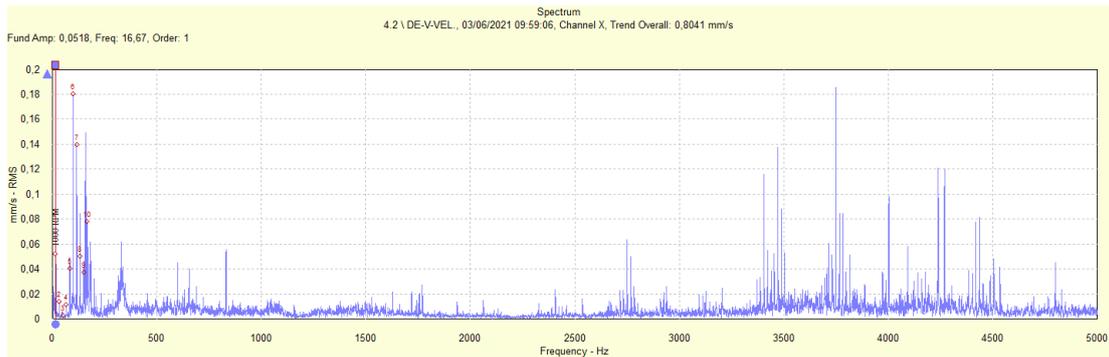


Fig.5.14 Spettro in velocità 1000rpm

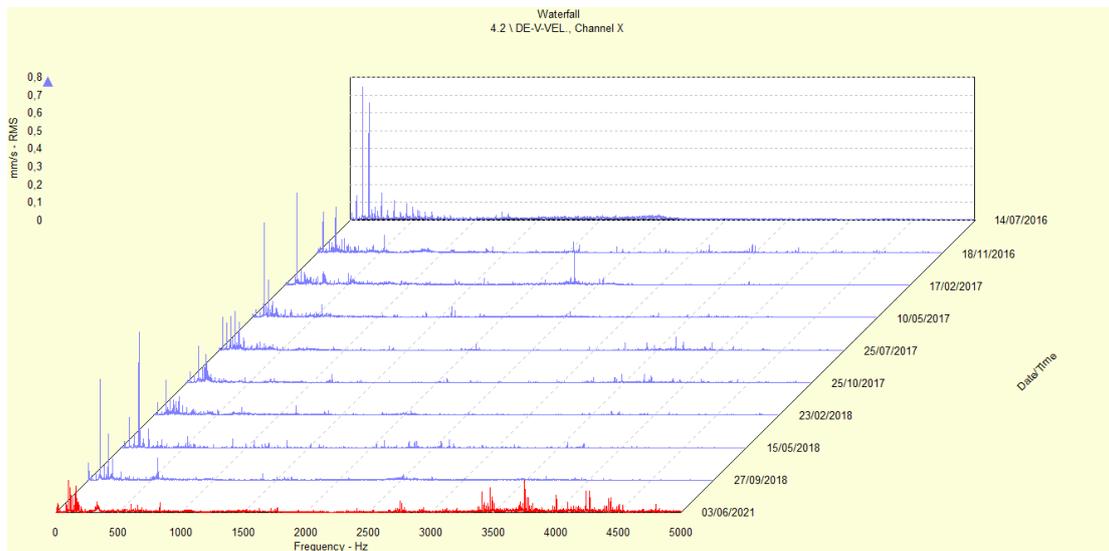


Fig.5.15 Waterfall velocità 1000rpm

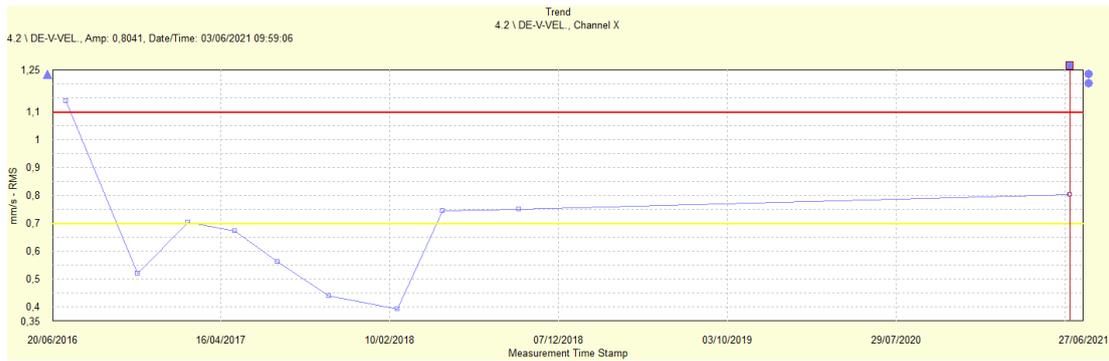


Fig.5.16 Trend velocità 1000rpm

Il mandrino risulta squilibrato. A 6X, 7X e 10X si notano dei picchi nello spettro.

Si noti la presenza di picchi accentuati alle frequenze che vanno da circa 3500Hz alla frequenza di circa 5000Hz. Tali picchi sono già un presunto indice di presenza di un malfunzionamento. La conferma viene fornita dal Waterfall di velocità. A tal proposito, si confrontano gli spettri del 03/06/2021 con gli altri spettri presenti nel grafico. È evidente che alle frequenze citate in precedenza, (03/06/2021 data ultimo controllo), si hanno dei picchi accentuati che non erano assolutamente presenti nelle altre date; ciò dimostra l'insorgere di un degrado del mandrino e di un suo sicuro danneggiamento futuro se non si interviene preventivamente eseguendo un ripristino. Considerando il Waterfall di velocità, si può vedere che quasi sicuramente tra il 14/07/2016 e il 18/11/2016 è stato eseguito un intervento di manutenzione poiché i picchi e il rumore di fondo diminuiscono visibilmente. Il trend di velocità rappresenta l'andamento del valore di Overall delle velocità nel tempo. La linea costante rossa, valore ricavato da norma ISO 10816-1 è il limite non superabile, la linea gialla è il valor di Overall medio di velocità. Si constata che nell'ultimo periodo si ha un aumento del trend; questo avvalorava ancor di più la tesi del degradamento. Si deduce come inizialmente è presente una drastica diminuzione del valore di vibrazione, questo si verifica in seguito all'intervento di manutenzione eseguito tra il 14/07/2016 e il 18/11/2016.

Si analizzano adesso i grafici considerando le accelerazioni.

Capitolo 5: "Condition monitoring vibrazionale"

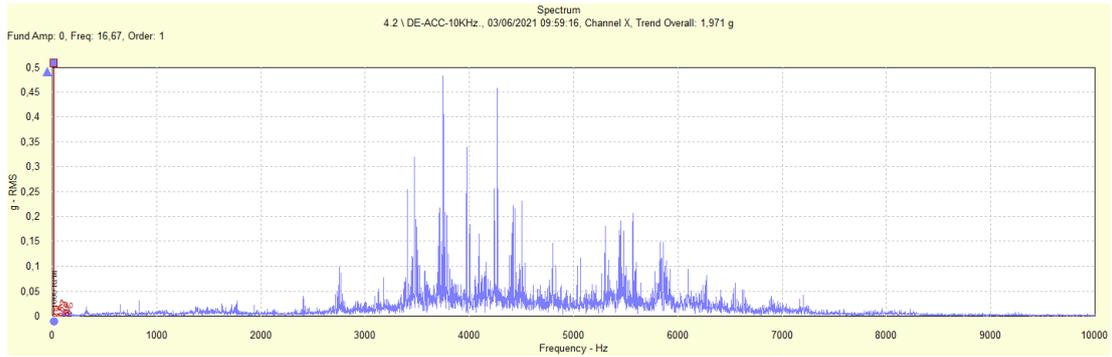


Fig.5.17 Spettro in accelerazione 1000rpm

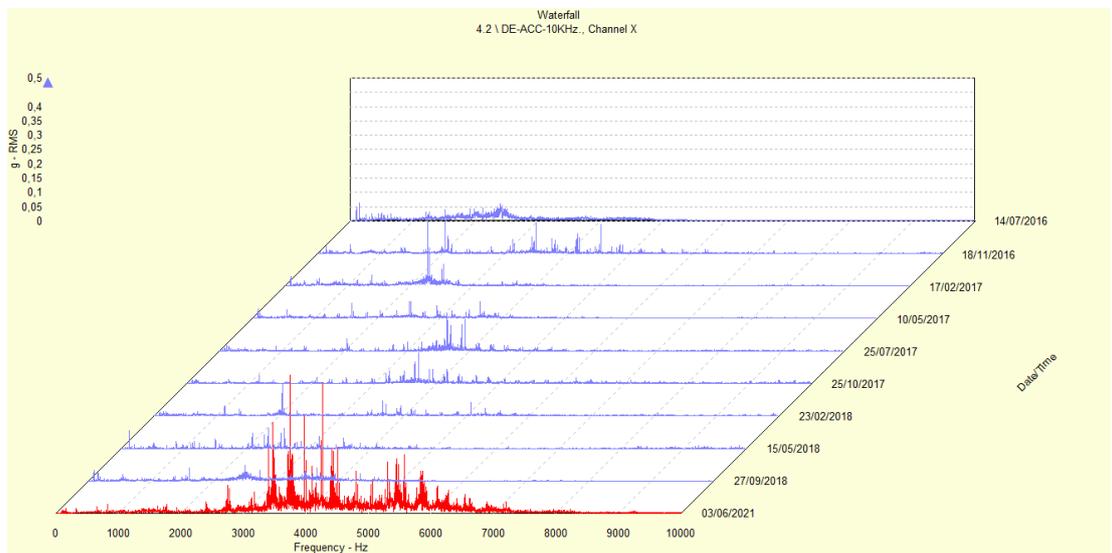


Fig.5.18 Waterfall accelerazione 1000rpm

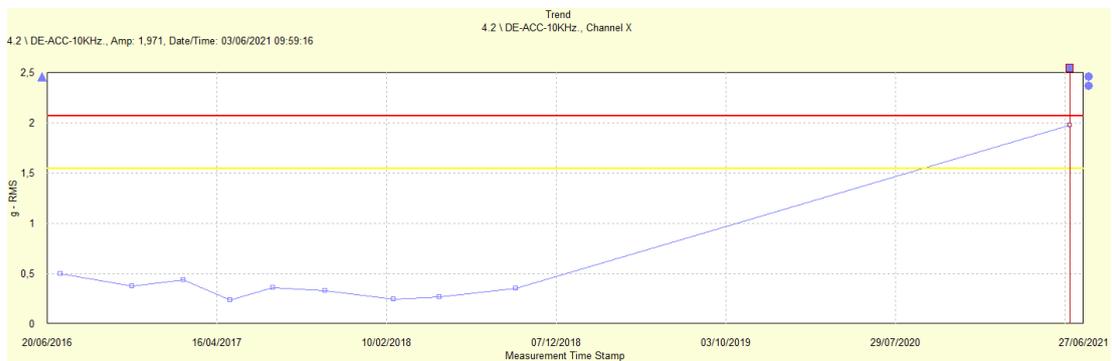


Fig.5.19 Trend accelerazione 1000rpm

I grafici in fig.5.17,5.18,5.19 sono coerenti con quanto visto nell'analisi delle velocità e valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza. I picchi sono ancora più evidenti e pronunciati. Il trend è in continua crescita. È evidente che il mandrino si sta danneggiando. Per capire se la causa delle vibrazioni sono dovute al danneggiamento dei cuscinetti o meno si esegue l'involuppo.

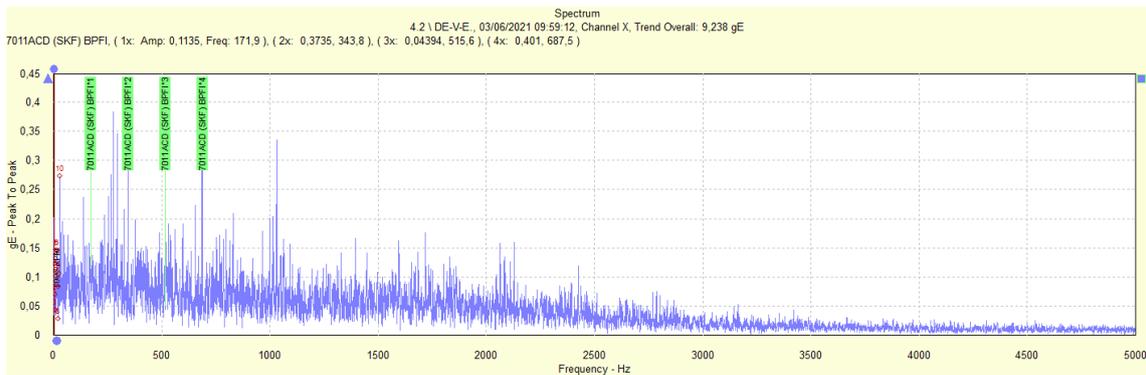


Fig.5.20 Involuppo 1000rpm

Si esegue uno zoom dell'involuppo (0-100Hz). In corrispondenza delle frequenze caratteristiche di anello esterno (BPF), in particolare la 2x e la 4x, si osservano dei picchi pronunciati, ciò dimostra che l'anello esterno dei cuscinetti è presumibilmente degradato.

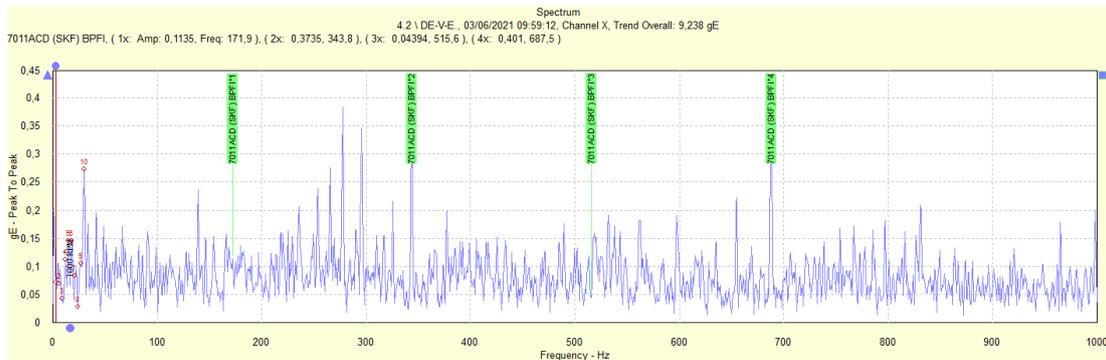


Fig.5.21 Zoom involuppo 1000rpm

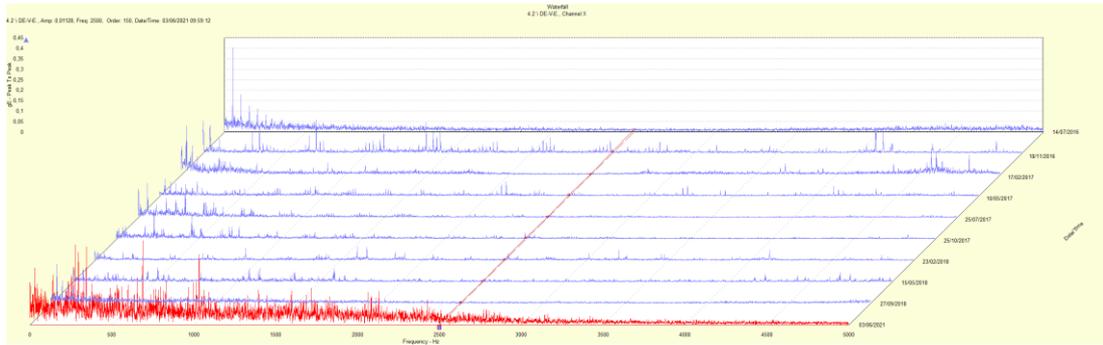


Fig.5.22 Waterfall inviluppo 1000rpm

In fig.5.22 si riporta il Waterfall di inviluppo dove si osserva lo storico dei dati. È evidente l’aumento pronunciato del rumore di fondo e dei picchi. Anche il valore medio delle vibrazioni è in netto aumento. Infine, per confermare la tesi del degrado dei cuscinetti si presenta in fig.5.23, il trend di inviluppo. Il valore massimo di vibrazione (linea rossa) è stato superato, pertanto, è necessario prevedere la sostituzione dei cuscinetti.

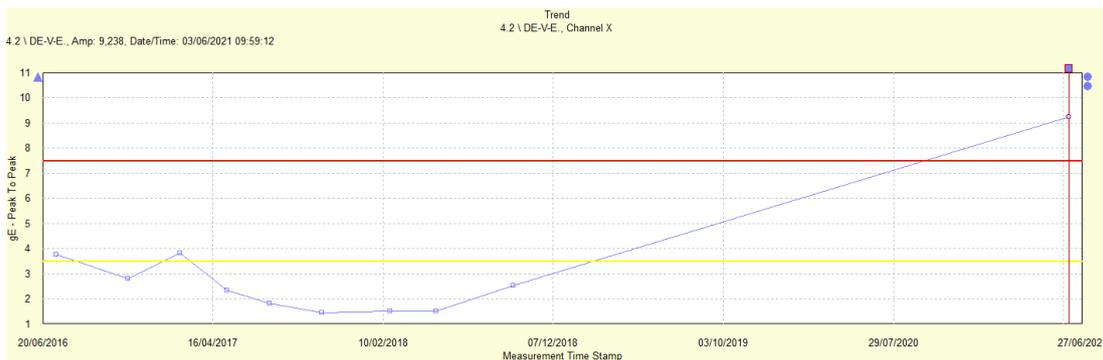


Fig.5.23 Trend inviluppo 1000rpm

Conclusioni

Il lavoro sin qui svolto, ha avuto come obiettivo la descrizione di un piano di gestione dell'archivio dei disegni dei mandrini e del piano di manutenzione di tutte le macchine. Grazie all'utilizzo della tecnica FMECA, attraverso un'accurata analisi delle macchine, è stato possibile circoscriverne analiticamente le criticità, al fine di porre massima attenzione laddove fossero necessari degli interventi manutentivi, considerando le modalità e le cause di guasto dei particolari più critici quali componenti idraulici (pompe, valvole, ...), motori elettrici e cuscinetti volventi.

In tale circostanza, infatti, sono stati definiti gli interventi manutentivi da effettuare e le tempistiche di intervento, ponendo particolare attenzione sulle criticità dei processi aziendali quali: revisione mandrini, revisione cuscinetti ferroviari, assemblaggio alberi e revisione e test riduttori. Successivamente, è stata sviluppata una manutenzione di tipo predittivo sui mandrini utilizzando la tecnica del condition monitoring vibrazionale.

È stata posta l'attenzione su due mandrini da rettifica. Si è osservato che uno risultava essere in buono stato e pertanto non necessitava di particolare attenzione; diversamente, per il secondo mandrino, essendo in cattivo stato, è stata prevista una revisione accurata con sostituzione dei cuscinetti ed equilibratura. Per l'analisi degli spettri e trend vibrazionali è stato utilizzato un software di proprietà SKF, con il quale è stato possibile generare diversi grafici: “spettro in velocità NDE”, “spettro in velocità DE”, “spettro in accelerazione NDE”, “spettro in accelerazione DE”, “inviluppo NDE”, “inviluppo DE”, “Waterfall velocità”, “Waterfall accelerazione”, “Waterfall inviluppo”, “trend velocità”, “trend accelerazione”, “trend inviluppo”.

In futuro, si è pensato di procedere alla realizzazione di un tipo di manutenzione di tipo predittivo per le macchine rotanti utilizzando la tecnica del condition monitoring gestita in remoto.

Inoltre, si vorrebbero gestire i banchi di collaudo mediante un PLC e le centraline SKF IMx in remoto così da prevenire i guasti e pianificare gli interventi manutentivi evitando i fermi macchina. Utilizzando la tecnica della diagnostica in remoto si vorrebbero rendere automatici i banchi di collaudo dei mandrini post revisione manutentiva. In questo modo, è possibile non solo effettuare una diagnosi da remoto ma anche gestire i banchi automaticamente.

È necessario, infine, calcolare periodicamente gli indici KPI per verificarne gli andamenti, in modo tale da poter tenere traccia della bontà del piano manutentivo, e ove fosse necessario apportare le dovute modifiche.

Bibliografia

- [1] L. Furlanetto, M. Garetti, M. Macchi, *Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi*, 2007
- [2] L. Furlanetto, M. Garetti, M. Macchi, *Principi generali di gestione della manutenzione*, 2006
- [3] L. Furlanetto, M. Garetti, M. Macchi, *Pianificazione, organizzazione e gestione tecnico-economica della manutenzione*, 2011
- [4] OREDA Participants, SINTEF Industrial Management, Det Norske Veritas (DNV), *Offshore Reliability Data Handbook, 4th Edition*, 2002
- [5] Dhillon, *Engineering approach*, 2002
- [6] C. Cesti SKF, *L'analisi delle vibrazioni nella manutenzione predittiva*, 1996
- [7] SKF, *Manuale per la manutenzione dei cuscinetti*, 1992
- [8] Jason Mais SKF, *Vibration Monitoring of Spindles*, 2008
- [9] SKF, *Danneggiamenti dei cuscinetti e le loro cause SKF*, 1994
- [10] A. Fasana, S. Marchesiello, *Meccanica delle vibrazioni*, 2006
- [11] S. Ierace, *Affidabilità, manutenibilità e disponibilità*
- [12] E. Cinalli, *Appunti di tecnologie e tecniche di installazione e manutenzione*
- [13] C. Delprete, D. Paolino, *Affidabilità, sicurezza e manutenzione per l'azienda*, 2016
- [14] M. Sorli, *Transducers*, 2020

“Bibliografia”

- [15] SKF, Bearing damage and failure analysis, 2014

- [16] SKF slide, Basi teoriche sulle vibrazioni, 2018

- [17] SKF slide, Processamento del segnale, 2018

- [18] SKF slide, Acquisizione dati, 2018

- [19] SKF slide, Analisi Danneggiamenti, 2018

- [20] SKF slide, Tecnica dell'involuppo, 2018

- [21] SKF slide, Real cases, 2018

- [22] SKF slide, Analisi Spettrale, 2018

- [23] SKF, La manutenzione predittiva basata sull'apprendimento automatico segna una svolta, 2020

- [24] Norma UNI 10366, 2007

- [25] Norma ISO 10816-1, 2007

- [26] R.C. Mishra, K. Pathak, Maintenance Engineering and Management, 2017

- [27] E.C. Fitch, Proactive Maintenance for Mechanical Systems, 2013

- [28] SKF, Strategie manutentive, 2021

- [29] SKF, Ing. Alessandro de Milato, Il processo di ottimizzazione degli asset, 2021

- [30] SKF, Introduzione all' RCM, 2021

- [31] SKF, Maintenance history review, 2021

“Bibliografia”

[32] SKF, Ing. Alessandro de Milato, Failure mode and effect analysis, 2021

[33] SKF, Ing. Alessandro de Milato, Analisi di criticità, 2021

[34] SKF, Ing. Alessandro de Milato, L'attitudine alle ispezioni, 2021

[35] SKF, Spare Parts Alignment Rationalization and Optimization, 2021

[36] Nicoletta Buora, Manutenzione predittiva, a piccoli passi: scenari e strategie, 2020