

POLITECNICO DI MILANO
Facoltà di Ingegneria dei Sistemi
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

Relatore: Ing. Marco Macchi

Co-relatore: Ing. Luca Fumagalli

Tesi di Laurea Magistrale di:

Claudio Calloni

Matricola 682869

Anno Accademico 2009/2010

Sommario

Nel lavoro, in seguito ad un tirocinio in azienda, è stata analizzata una macchina equilibratrice con l'obiettivo di consigliare ai compratori della stessa una lista ricambi. La scelta dei componenti di tale lista è stata fatta a partire da un'analisi FMECA applicata alla macchina bilanciatrice.

Abstract

In the following thesis, written after an internship in a balancing machine's factory, I had the goal to suggest a list of spare parts to the buyers of the company's product. The spare parts were chosen from the results of an application of a FMECA analysis.

Parole chiave

Macchina equilibratrice
FMECA
Gestione ricambi

Keywords

Balancing machine
FMECA
Spare part management

INDICE	5
Introduzione generale	9
Obiettivi del lavoro	9
Capitolo 1 – Introduzione	13
1.1 Presentazione dell'azienda e dei prodotti	13
1.1.1 Azienda	13
1.1.2 Prodotti	14
1.1.3 L'oggetto del lavoro	15
1.2 Introduzione teorica della FMECA	18
Capitolo 2 - Descrizione dell'analisi FMECA	27
2.1 Introduzione al lavoro svolto	27
2.1.1 Metodo	27
2.1.2 Terminologia	29
2.1.3 Scale degli indici	31
2.1.4 Scomposizione della macchina	34
2.2 Calcolo degli indici utili all'analisi FMECA	43
2.2.1 Raccolta dati per la costruzione degli indici	43
2.2.2 Descrizione delle interviste e difficoltà incontrate	44
2.3 Calcolo dell'indice di priorità di rischio	47
2.4 Individuazione dei componenti critici attraverso l'analisi	62
2.4.1 Descrizione dei ricambi principali e loro criticità	65

Capitolo 3 - Definizione della lista ricambi consigliata per la macchina BVK4	69
3.1 I ricambi consigliati secondo analisi FMECA e l'attuale lista ricambi di BS (situazione AS-IS)	69
3.2 Commento alle differenze tra la situazione AS-IS e la soluzione proposta	72
3.2.1 Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate nella FMECA	72
3.2.2 Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate critiche secondo la FMECA	74
3.2.3 Parti critiche nella FMECA ma non indicate nella lista AS-IS	77
3.3 Analisi economica legata alla scelta dei ricambi	79
3.3.1 Le diverse esigenze dei clienti	79
3.3.2 Il modello per la scelta dei ricambi	80
3.3.3 I dati necessari	81
3.4 Definizione della lista da utilizzare per la situazione TO-BE	86
3.5 Proposta di diverse offerte di ricambi per la macchina BVK4	89
Capitolo 4 – Conclusioni	93
4.1 Difficoltà incontrate	93
4.2 Commenti	94
4.3 Sviluppi futuri e prossime attività	94

4.3.1	Diversi livelli di servizio nella vendita dei ricambi	95
4.3.2	Estensione del modello della lista ricambi al caso del cliente con più macchine simili	95
	Nomenclatura e lista degli acronimi	97
	Bibliografia	97

Introduzione generale

L'azienda ha deciso di svolgere il progetto, di cui questa tesi è il riassunto, per acquisire le nozioni necessarie per applicare alle macchine che produce l'analisi FMECA. Gli obiettivi di massima di un progetto simile possono riguardare la conoscenza da parte dei progettisti dei punti deboli del macchinario, la definizione di una lista di ricambi consigliati a chi acquista l'attrezzatura o la proposta di un piano di manutenzione concordato con il cliente stesso, offerto come servizio accessorio all'acquisto.

Questo progetto è la continuazione di quello iniziato due anni prima con un altro lavoro di tesi volto a definire uno standard per la registrazione degli interventi manutentivi; per fare ciò è stato necessario scomporre secondo le direttive della FMECA la macchina usata come base per lo studio.

La macchina considerata, la BVK4, è un prodotto relativamente nuovo della Balance Systems ed è stata scelta come oggetto delle analisi per più motivi:

- concettualmente è molto simile anche alle macchine equilibratrici di altre famiglie e ne riprende alcuni componenti, ciò sarà utile quando si deciderà di ampliare l'analisi alle altre macchine;
- racchiude in sé le ultime novità in fatto di componentistica e sottoassiemi sviluppati in azienda: con la raccolta dati degli interventi anche presso i clienti si può avere un feedback più veloce ed efficace;
- un esemplare della macchina, per quanto più semplice di quelli forniti ai clienti, è presente in azienda e quindi ha permesso di studiare dal vivo ciò che altrimenti si sarebbe dovuto fare solamente con la documentazione tecnica.

L'analisi FMECA, nata a supporto della progettazione di sistemi complessi e sviluppata poi nell'ambito industriale come strumento per la manutenzione, è usata in questo caso come supporto prima per approfondire la conoscenza del comportamento della BVK4 e, in seguito a questo, per fornire un migliore servizio al cliente.

Obiettivi del lavoro

Come accennato in precedenza, l'azienda ha deciso di intraprendere questo progetto prima di tutto per cominciare ad applicare l'analisi FMECA ad un suo macchinario e contestualmente apprendere il metodo e le sue possibili applicazioni.

Uno degli obiettivi collaterali è quello di una migliore conoscenza del comportamento della macchina. Questo è possibile grazie alla definizione di uno standard di raccolta dati ma ancora prima alla formalizzazione dello studio affidabilistico, che obbliga le diverse professionalità aziendali a un confronto ed eventualmente a una discussione su questo aspetto. Uno dei punti di forza del metodo FMECA è, infatti, obbligare al confronto i diversi attori che intervengono in modo da facilitare la trasmissione della conoscenza all'interno dell'azienda.

Tramite la scomposizione, preesistente questo progetto, e la definizione e standardizzazione dei possibili guasti della macchina, sarà possibile la raccolta dei dati degli interventi manutentivi collezionando dati in maniera affidabile. A tale proposito nel lavoro precedente di tesi è stato sviluppato e qui completato un *report* (riportato nel paragrafo 2.2.2) per la raccolta dei dati di tutti gli interventi manutentivi.

Attraverso questa tabella il manutentore sarà guidato nella raccolta dati e tramite un'automatizzazione del foglio di calcolo queste informazioni potranno essere raccolte direttamente dal sistema informativo presente in azienda.

Oltre a questo, dopo l'analisi FMECA sarà possibile sviluppare un'analisi specifica relativa alle parti di ricambio e, in particolare, consigliare al cliente una lista di ricambi coerente con le indicazioni che la suddetta analisi FMECA fornisce. Al cliente verrà quindi proposta una lista di componenti da acquistare congiuntamente alla macchina per poter far fronte ai guasti più comuni. Inoltre, siccome non si può obbligare il cliente ad acquistare componenti critici, eventualmente molto costosi, invitandolo a tenerli in magazzino, sarà svolta una analisi economica volta a capire se è più conveniente per il cliente acquistare un componente al momento dell'acquisto della macchina o se è sufficiente richiederlo nel momento del guasto (paragrafo 3.4).

L'analisi economica proposta cerca la soluzione meno costosa tra due scenari di riferimento: il primo in cui il cliente tiene a magazzino tutti i componenti che l'analisi indica e, il secondo, quello in cui il cliente richiede all'azienda il ricambio nel momento in cui lo necessita.

La soluzione proposta confronta quindi i due scenari per ogni componente in modo da poter decidere presso quale magazzino sia più conveniente per il cliente tenere il ricambio.

Un'ultima idea, solo introdotta nel paragrafo finale 3.5 di questo lavoro, è quella di fornire al cliente diversi livelli di servizio nella fornitura di parti di ricambio a prescindere da quali egli abbia acquistato come primo equipaggiamento. I diversi livelli si distingueranno tra loro per il *lead time* e per il prezzo.

Questo è uno dei possibili sviluppi futuri di questo lavoro. È stato qui

brevemente descritto perché realizzabile con gli stessi dati a disposizione per l'analisi economica precedente. Nelle conclusioni saranno inoltre spiegate le possibili prossime attività conseguenti a questo lavoro.

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Presentazione dell'azienda e dei prodotti

1.1.1 Azienda

Il primo nucleo dell'azienda è nato nel 1975 quando l'attuale presidente ha fondato, assieme ad un gruppo di esperti di elettronica, software e meccanica, GT elettronica. L'azienda, allora poco più che artigianale, si prefiggeva l'obiettivo di fornire ai propri clienti soluzioni per le esigenze di equilibratura di corpi rotanti sia in esercizio che durante il processo di produzione.

Il loro obiettivo era di progettare, costruire, vendere e fare assistenza nei campi sopra citati e l'azienda, dopo il cambio di ragione sociale in Balance Systems S.r.l., ha mantenuto la sua presenza in tali aree focalizzandosi nella produzione di macchine automatiche, semiautomatiche e manuali per collaudo elettrico ed equilibratura di indotti e parti rotanti e di sistemi ausiliari di misura e controllo per macchine utensili.

La clientela è quindi principalmente costituita dall'industria dei motori elettrici, automobilistica, aeronautica, ferroviaria e da loro fornitori di parti; da fabbricanti di ventole e turbocompressori; da costruttori di macchine rettificatrici, di mandrini e portautensili, di cuscinetti, di stampi e dalle officine meccaniche di precisione.

L'azienda ad oggi ha uno stabilimento produttivo con direzione ed uffici, con una superficie coperta di 5500 metri quadrati in Pessano con Bornago (MI) con circa 80 dipendenti. Circa l'80% della produzione è esportato, anche attraverso una rete di distribuzione e servizio alla clientela garantita da una rete di uffici diretti e rappresentanti.

La *mission* dell'azienda è oggi quella di realizzare prodotti all'avanguardia tecnologica, atti a soddisfare le specifiche esigenze applicative; per fare questo, la struttura tecnica-progettuale è costituita da due gruppi: uno dedicato alla ricerca e sviluppo di meccanica / pneumatica, elettronica, *firmware* e *software*, l'altro per lo sviluppo delle singole commesse.

L'organizzazione si avvale di una rete di fornitori con la quale sviluppa congiuntamente parti meccaniche, lavorazioni e montaggi meccanici, cablaggi e montaggi elettrici, assemblaggi elettronici, trattamenti. All'interno dell'azienda poi vengono eseguite le fasi finali del ciclo produttivo, quali montaggi e assemblaggi finali, collaudi e tarature, imballi e spedizioni, installazioni presso

il cliente o l'utilizzatore.

1.1.2 Prodotti

Come già accennato nella presentazione dell'azienda, la produzione non è concentrata in un solo campo. I prodotti si possono suddividere nelle seguenti aree:

Sistemi ausiliari di misura e controllo

Principalmente per macchine utensili e centri di lavoro, sono sistemi che migliorano la qualità della produzione in virtù del fatto che automatizzano e danno un istantaneo *feedback* alla macchina a controllo numerico. Possono essere montati per analisi vibrazionali, di rumore e di rilevamento contatti, ma anche per misure o per equilibrare il porta utensile.

Macchine equilibratrici

Sono macchine costruite per produttori operanti nei seguenti campi: elettrodomestici, motori elettrici industriali, impiantistica civile, elettro utensili, componenti per automobili, macchine tessili, aeronautica, macchine utensili, macchine lavorazione legno. Le principali tipologie di prodotti lavorabili sono componenti rotanti di motori elettrici, ventole e mole, ma anche per esempio giroscopi per l'industria aeronautica e dischi freno per quella automobilistica.

Tutte le macchine comprendono una stazione sulla quale si può misurare lo squilibrio del pezzo, mentre per l'equilibratura si può procedere alla lavorazione meccanica, quindi con asportazione di truciolo o, se l'oggetto della lavorazione non lo consente, l'aggiunta di resine epossidiche (come nel caso di avvolgimenti per motori elettrici o ventole di plastica).

Le macchine si distinguono tra manuali, semiautomatiche ed automatiche a seconda del grado di automazione nel carico, movimentazione e scarico delle parti da lavorare.

Sistemi di collaudo

Sono sistemi multifunzione per il collaudo di motori elettrici, dimensioni e comportamento dinamico, o per prodotti finiti quali aspirapolvere elettrici, per i quali l'analisi vibrazionale è affiancata da un'analisi del rumore e dei transitori di accensione e spegnimento.

1.1.3 L'oggetto del lavoro

Questo lavoro è incentrato su una particolare famiglia di macchine equilibratrici automatiche le cui caratteristiche verranno qua di seguito brevemente descritte. La macchina in questione, sulla quale il lavoro è stato sviluppato, è la BVK4. È un modello che esiste in tante versioni quanti sono i clienti che lo hanno comprato, infatti la personalizzazione della macchina e l'aggiunta di automazione o funzionalità è indispensabile perché si possa introdurre la macchina in una linea produttiva.

È una macchina progettata per equilibrare componenti discoidali come dischi freno, dischi tamburo e volani di peso fino alla decina di chilogrammi e diametri fino a 400 millimetri. La lavorazione meccanica per la riduzione dello squilibrio è normalmente fresatura o foratura, perché per questi prodotti si preferisce l'asportazione di materiale e non l'aggiunta come per esempio avviene per piccoli rotori di motori elettrici.

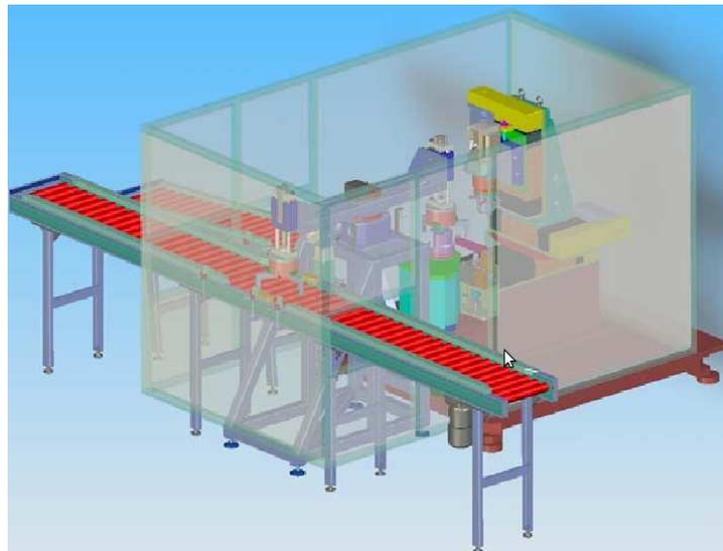


Figura 1 – Macchina automatica

Il ciclo macchina è generalmente composto dalle seguenti fasi:

- misura dello squilibrio,
- riduzione dello squilibrio tramite lavorazione meccanica per asportazione (foratura o fresatura),
- misura dello squilibrio residuo (ed eventuale rilavorazione).

Le macchine possono essere automatiche o manuali, in riferimento alla modalità di movimentazione delle parti. Secondo le richieste del cliente possono essere

inclusi automatismi per la movimentazione delle parti da lavorare, dai rulli per il carico e scarico della macchina ai robot per la movimentazione interna tra le stazioni.

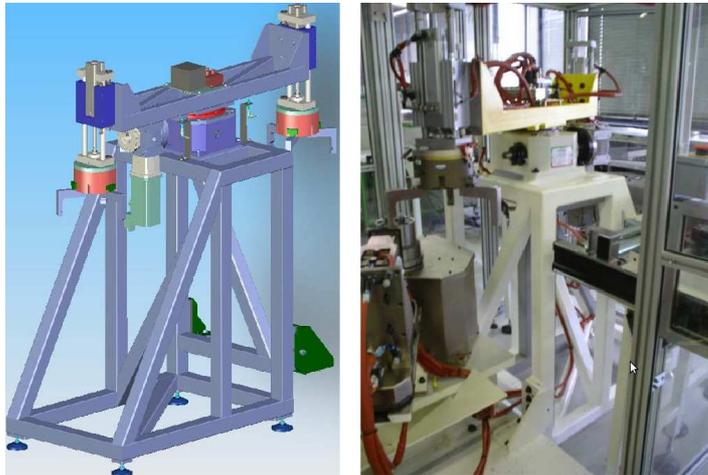


Figura 2 – Macchina automatica, crociera

A prescindere dalle personalizzazioni possibili che il cliente può richiedere per velocizzare il ciclo produttivo, tutte le macchine sono composte da:

Stazione di misura

Il pezzo è posto in rotazione da un “mandrino di misura” e attraverso rilevazioni effettuate da accelerometri, il software a bordo macchina calcola posizione e quantità dello squilibrio; il mandrino svolge le funzioni di sostegno, messa in rotazione e misura del pezzo. Nelle varianti più semplici della macchina il mandrino funge anche da posizionatore della stazione di lavorazione, mentre negli altri casi la stazione di lavorazione è fisicamente separata da quella di misura. Dove poi sono richiesti ritmi produttivi estremamente elevati, le stazioni di misura sono due (una per la misura dello squilibrio iniziale e una per quello residuo) e la movimentazione dei pezzi tra le tre stazioni è totalmente automatizzata.

Stazione di lavorazione

Queste macchine sono studiate per ridurre lo squilibrio per mezzo di asportazione di materiale; questa stazione quindi esegue le lavorazioni meccaniche guidate dalle indicazioni della misura di squilibrio ed è

generalmente una fresatrice a tre assi. Il pezzo è portato nella posizione di lavorazione da un posizionatore, mentre una o due pinze (a seconda delle forze in gioco) bloccano saldamente il pezzo durante il taglio.

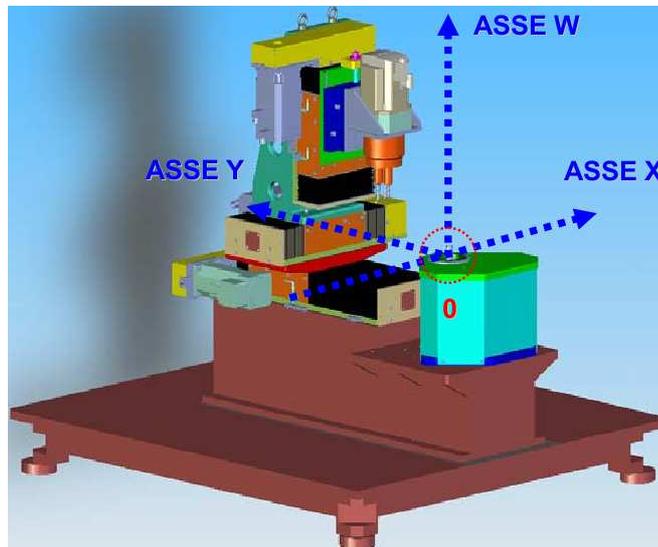


Figura 3 – Stazione di lavorazione

Elettronica di controllo

Questo componente è un unico sistema comprendente l'elettronica di controllo propriamente detta e i moduli di potenza che servono per comandare movimenti e lavorazioni.

È composta da processori, cavi e interfacce ma anche trasformatori ed elettrovalvole.

Terminale operatore

È un computer industriale tramite il quale gli utenti possono interfacciarsi con la macchina e controllarne le funzioni; se agli operatori di produzione è consentito lanciare le ricette di produzione e controllarne il corretto svolgimento, ai manutentori è lasciata più libertà in modo da poter effettuare interventi e procedure di test. È prevista anche la possibilità di compiere accessi al sistema da remoto, attraverso un modem.

La differenza tra le configurazioni totalmente manuali e quelle più automatizzate

della macchina sono fondamentalmente dovute alla movimentazione dei pezzi e alla separazione fisica di stazione di misura e stazione di lavorazione.

Per le macchine a cui è richiesto un basso ritmo produttivo il carico e lo scarico dei pezzi avviene manualmente, sull'unica postazione di misura e di lavorazione, attraverso porte di sicurezza aperte e chiuse anch'esse manualmente.

In altri casi, la macchina è costituita da due stazioni di misura e una di lavorazione: i pezzi entrano nella macchina attraverso un rullo, un braccio robotizzato carica i pezzi sulla prima stazione di misura e successivamente sulle altre stazioni. I pezzi sono poi portati all'esterno della macchina da un rullo di scarico.

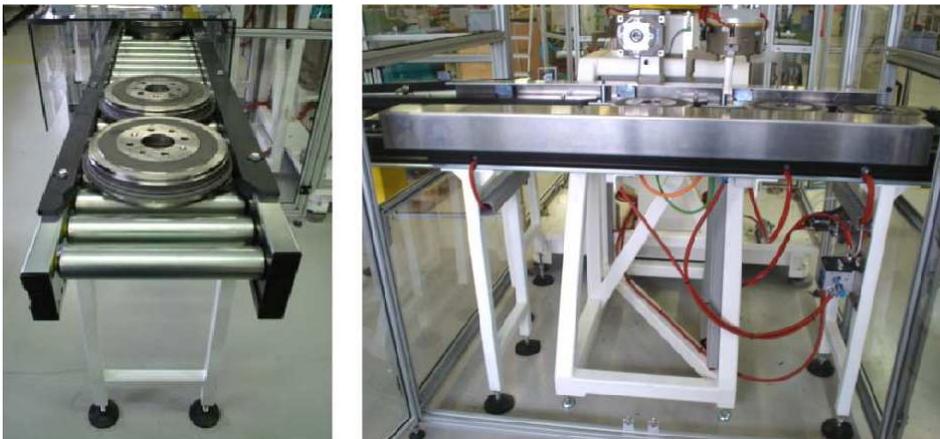


Figura 4 – Rulliera di carico

La macchina presente in azienda, nell'officina del reparto di ricerca e sviluppo non necessita di alcun automatismo per la movimentazione dei pezzi, in quanto è utilizzata solo per test di componenti e cicli di lavorazione. La stazione di lavorazione è equipaggiata con una fresatrice e il posizionatore è la stessa stazione di misura. È inoltre equipaggiata con due pinze blocca pezzo.

1.2 Introduzione teorica della FMECA

Qui di seguito sarà descritta la procedura che la norma “SAE J1739, section 5 POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR TOOLING & EQUIPMENT (Machinery FMEA)” suggerisce nel caso di applicazione della analisi FMEA nel caso di progettazione di una macchina o di un apparato per la riduzione della probabilità di guasti.

Fin dal principio, la norma, definisce il processo come un lavoro di squadra, il cui responsabile deve dialogare con tutte le funzioni aziendali, con il cliente e

con i fornitori dei componenti che l'oggetto dell'analisi monta. Il responsabile deve essere il catalizzatore e il facilitatore del movimento delle informazioni riguardanti il progetto MFMEA (Machinery Potential FMEA).

Questa tecnica analitica è usata per formalizzare, fin dalla progettazione, tutti i possibili *failure mode*, e con loro le cause e i meccanismi di guasto ad essi associati, che potrebbero occorrere durante l'utilizzo della macchina o dell'apparato. Dato che questa tecnica ha tra i suoi più comuni *output* la definizione di un piano di manutenzione preventivo, è necessaria la partecipazione al progetto delle funzioni aziendali che si occupano di manutenzione e *service*.

La MFMEA, con la sua totale applicazione, può:

- incrementare la probabilità che gli effetti de guasti sul cliente siano stati considerati fin dalla progettazione,
- fornire informazioni utili per pianificare un efficiente piano di manutenzione preventiva,
- migliorare l'affidabilità e la durata dei macchinari, riducendone il costo durante la vita utile,
- migliorare la manutenibilità riducendo i tempi degli interventi,
- migliorare la disponibilità della macchina incrementando l'affidabilità,
- sviluppare un elenco ordinato di rischi potenziali fornendo quindi delle priorità per le successive azioni.

Per sviluppare la MFMEA sono necessari alcuni documenti, formali ed informali. Innanzitutto vanno chiariti totalmente l'uso della macchina e le sue condizioni di lavoro. A disposizione del team, poi, ci devono essere manuali e disegni tecnici nonché informazioni affidabilistiche riguardanti la macchina ed i suoi componenti.

La squadra responsabile del progetto FMEA è anche responsabile della implementazione delle azioni correttive che essa suggerisce, nonché del costante aggiornamento della documentazione in modo da poter reiterare l'analisi puntando al miglioramento continuo.

Qui di seguito è presentata una tabella tipo con la quale si possono raccogliere i dati necessari per l'analisi con le relative descrizioni.

Tabella 1 – Machinery FMEA, tabella di raccolta dati

System _____ Subsystem _____ Component _____ program(s)/plant(s) _____ Core team _____	POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (MACHINERY FMEA)	FMEA number _____ Page _____ of _____ Prepared by _____ FMEA date (orig) _____ (rev) _____ Design responsibility _____ key date _____
--	---	--

Item Function	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	S e v e r e	C l a s s	Potential cause(s) / mechanism(s) of failure	O c c u r	Current machinery controls prevention	Current machinery controls detection	D e t e c t	R. P. N.	Recommendedd action(s)	Responsibility & target completion date	Action results					
													Actions taken	S e v	O c c	D e t	R. P. N.	

La parte alta della tabella è necessaria, oltre che per la tracciabilità del documento, per segnalare informazioni quali persone coinvolte e i tempi necessari, nonché a quale parte e sottoparte del sistema analizzato è relativa la tabella vera e propria.

La tabella vera e propria, invece, è composta dalle seguenti colonne.

Item/function

Contiene una semplice descrizione della funzione associata alla parte considerata. Se la parte assolve più funzioni, è buona norma considerarle separatamente. Per ogni funzione vanno indicate le prestazioni richieste.

Potential failure mode

Rappresenta la maniera nella quale la parte smette di assolvere la funzione ad essa richiesta. È quindi una descrizione della non conformità a svolgere quanto richiesto e può dipendere da un altro failure mode o può essere a sua volta causa di altri.

In questa lista vanno indicati tutti i *failure mode* potenziali, che, in quanto tali, sono quelli che potrebbero accadere anche se non è detto che ciò debba necessariamente succedere. In ogni caso, va considerato che la macchina stia funzionando correttamente, con materiali giusti e sin dalla sua installazione siano state seguite tutte le norme per il suo montaggio, regolazione e manutenzione.

Bisogna indicare sia le non conformità rispetto alle specifiche sia quelle rispetto alle aspettative del cliente.

Una lista non esaustiva di *failure mode* tipici è la seguente: piegato, rotto, usurato, sporco, deformato, corto circuito, circuito aperto.

Potential effects of failure

Gli effetti del guasto vanno indicati per lo specifico componente analizzato ed eventualmente riportati per l'insieme di cui fa parte. Vanno descritti come il cliente li può notare e va chiaramente indicato se ci possono essere effetti per la sicurezza o per gli operatori in generale.

Una lista non esaustiva di tipici effetti di guasto è la seguente: rottura della macchina, incremento del tempo di ciclo, output degradato, funzionamento intermittente, rumore eccessivo, perdita parziale o totale di funzionalità, eccessive vibrazioni.

Severity (S)

La severità è il grado associato all'effetto più serio di ciascun *failure mode*.

La norma suggerisce un criterio per assegnare il valore numerico al parametro "S". Il team deve concordare la *failure mode* scala prima di usarla nell'analisi, fermo restando che si tratta di una scala relativa unicamente all'oggetto dell'analisi.

La scala che la norma propone è la seguente.

Tabella 2 - Tabella della Severity (S) secondo la norma

Effect	Criteria: severity of Effect	Ranking
Hazardous – without warning	Very high severity ranking – Affects operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non-compliance with government regulations, without warning	10
Hazardous – with warning	High severity ranking – Affects operator, plant or maintenance personnel, safety and/or affects non-compliance with government regulations, with warning	9
Very high	Downtime of more than 8 hours or the production of defective parts for more than 4 hours	8
High	Downtime between 4 and 8 hours or the production of defective parts for more than 4 hours	7
Moderate	Downtime between 1 and 4 hours or the production of defective parts between 1 and 2 hours	6
Low	Downtime between 30 minutes and 1 hour or the production of defective parts for up than 1 hour	5
Very low	Downtime between 10 and 30 minutes but no production of defective parts	4
Minor	Downtime up to 10 minutes but no production of defective parts	3
Very minor	Process parameter variability not within specification limits, Adjustment or other process controls need to be taken during production. No downtime and no production of defective parts	2
None	Process parameter variability within specification limits. Adjustment or other process controls can be done during normal maintenance	1

Classification

Colonna opzionale nella quale evidenziare alti valori di severità o altro da segnalare al cliente.

Potential cause(s) / Mechanism(s) of failure

Le potenziali cause di guasto sono definite come il guasto potrebbe essere descritto in termini di qualcosa che potrebbe essere corretto o controllato. Vanno indicate tutte in quanto, solitamente, molte cause hanno effetto su di un unico failure mode e va studiato quali sono più facili da ridurre o controllare tramite una RCA; le cause vanno descritte al meglio per poter aiutare ed indirizzare i possibili rimedi.

Se invece una causa è esclusiva per un dato *failure mode* e si conosce il modo di controllarla, il processo FMEA per questa parte si può dire terminato.

Una lista non esaustiva di tipiche cause di guasto è la seguente: mancata o

inadatta lubrificazione, contaminazione, gioco, corrosione, fatica, abrasione, usura, deriva.

Occurrence (O)

È la probabilità che una potenziale causa di guasto si verifichi in un dato periodo di tempo. La modalità migliore per ridurre tale probabilità è agendo alla radice del problema modificando il progetto della parte.

Il valore numerico del grado non è proporzionale alla probabilità di guasto e serve unicamente ad assicurare la continuità delle rilevazioni nel tempo.

La scala che la norma propone è la seguente.

Tabella 3 – Tabella della Occurrence (O) secondo la norma

Criteria: possible number of failures within hours of operations		Criteria: possible number of failures within cycles of operation		Criteria: the reliability based on the user's required time	Rankin g
1 in 1	OR	1 in 90	OR	R(t)<1%: MTBF is about 10% of the user's required time	10
1 in 8		1 in 900		R(t)=5%: MTBF is about 30% of the user's required time	9
1 in 24		1 in 36000		R(t)=20%: MTBF is about 60% of the user's required time	8
1 in 80		1 in 90000		R(t)=37%: MTBF is equal to the user's required time	7
1 in 350		1 in 180000		R(t)=60%: MTBF is 2 times greater than the user's required time	6
1 in 1000		1 in 270000		R(t)=78%: MTBF is 4 times greater than the user's required time	5
1 in 2500		1 in 360000		R(t)=85%: MTBF is 6 times greater than the user's required time	4
1 in 5000		1 in 540000		R(t)=90%: MTBF is 10 times greater than the user's required time	3
1 in 10000		1 in 900000		R(t)=95%: MTBF is 20 times greater than the user's required time	2
1 in 25000		1 in more than 900000 cycles		R(t)=98%: MTBF is 50 times greater than the user's required time	1

Qualche appunto riguardante i termini in tabella:

- Lo *user's required time* è l'intervallo di tempo che la macchina deve funzionare senza guasti e va definito a seconda delle necessità del cliente.
- L'affidabilità (*reliability*) è, per definizione, la probabilità che la macchina funzioni, senza guasti, per l'intervallo di tempo richiesto alle condizioni di lavoro per la quale è stata progettata.
- I valori riferiti all'affidabilità sono riferiti alle condizioni che la macchina abbia un tasso di guasto costante e che sia riparabile.

Current machinery controls

Le due colonne contengono l'elenco di quelle attività di prevenzione, rilevamento, verifiche od altre attività necessarie al controllo dei failure mode e dei loro meccanismi o cause di guasto.

Tra i due approcci, prevenzione e rilevamento, è preferibile il primo in quanto potenzialmente può ridurre la probabilità di accadimento di un determinato failure mode.

Detection (D)

Nella scala della rilevabilità hanno grado più alto quelle cause di guasto che non possono essere riconosciute facilmente. Per ridurre il grado, generalmente, vanno pianificati i *machinery control* discussi precedentemente.

La scala che la norma propone è la seguente.

Tabella 4 - Tabella della Detection (D) secondo la norma

Detection	Criteria: likelihood of detection by design control	Ranking
Almost impossible	Design or machinery controls cannot detect a potential cause and subsequent failure, or there are no design or machinery controls	10
Very remote	Very remote chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	9
Remote	Remote chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery control will provide indication of failure	8
Very low	Design or machinery controls do not prevent the failure from occurring. Machinery controls will isolate the cause and subsequent failure mode after the failure has occurred	7
Low	Low chance that design or machinery controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery control will provide an indicator of imminent failure	6
Moderate	Medium chance design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent imminent failure	5
Moderately high	Moderately high chance design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent imminent failure	4
High	High chance design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls will prevent imminent failure and isolate the cause	3
Very high	Very high chance that design controls will detect a potential cause and subsequent failure mode. Machinery controls may not be required	2
Almost certain	Design controls almost certain to detect a potential cause and subsequent failure mode, machinery controls not required	1

Risk priority number (RPN)

È il prodotto tra i gradi di *Severity*, *Occurrence* e *Detection*. Serve per ordinare in base alla priorità le attività della FMEA

Recommended action(s)

Le prime azioni correttive vanno indirizzate ai componenti con elevata *Severity*, alto RPN o indicati direttamente dal *team* di lavoro. Scopo di queste azioni è ridurre, nell'ordine, *Severity*, *Occurrence* e *Detection*.

In generale se S ha un valore di 9 o 10 va data particolare attenzione al *failure mode* corrispondente indipendentemente dal valore del RPN.

Responsibility (for the recommended action)

Indicare la funzione aziendale, la persona responsabile dell'azione correttiva e i tempi previsti per la stessa.

Actions taken

Dopo l'implementazione di un'azione correttiva, indicare una breve descrizione di quanto fatto e la data di implementazione.

Revised ratings

Dopo che le azioni correttive e preventive sono state implementate, ricalcolare l'indice RPN. Con il consueto focus sul miglioramento continuo, questo nuovo valore sarà la base dalla quale ricominciare con l'analisi.

Capitolo 2

Descrizione dell'analisi FMECA

2.1 Introduzione al lavoro svolto

La metodologia utilizzata in questo lavoro è una procedura di analisi basata su due principi fondamentali.

Il primo è la scomposizione gerarchica dell'entità in sottogruppi a complessità decrescente fino a raggiungere il livello di dettaglio desiderato; si ottiene così uno schema ad albero rovesciato derivante da un meccanismo di scomposizione, in seguito meglio dettagliato.

Il secondo principio è la definizione di “modo, causa, meccanismo ed effetto del guasto”, in modo da analizzare l'affidabilità di ogni livello e avere un quadro completo di come si possono generare i guasti.

Nei seguenti paragrafi è spiegato e commentato come si è voluto introdurre in azienda il metodo, in maniera da poter rendere noto a tutte le persone coinvolte nel progetto prima la portata del metodo e poi i passi pratici per applicarlo.

2.1.1 Metodo

Il metodo, in generale, prevede che si affrontino le fasi di seguito elencate (in accordo a quanto spiegato nel capitolo 4 del libro [1]).

Scomposizione dell'entità

I livelli di scomposizione suggeriti sono i seguenti: entità, gruppi funzionali, sottoassiemi per operazioni elementari, componenti; nulla vieta però di fare, come nel caso in oggetto, più livelli.

La logica di scomposizione può essere fisico/strutturale o funzionale, ma è accettabile anche una combinazione delle due.

Individuazione dei modi, dei meccanismi e delle cause di guasto

È stato stilato un elenco di funzioni (o combinazione di funzioni dell'entità necessarie per fornire un dato servizio) eseguite dall'entità e dai componenti, per poi associare a ciascuna i modi di guasto che le competono e i componenti che

originano il guasto.

Per ogni modo di guasto, si cercano poi i meccanismi e le cause più probabili. È la base del piano di manutenzione, che per definizione nasce per eliminare o limitare meccanismi (degrado) e cause di guasto (circostanze che portano al guasto).

Con un “catalogo di cause di guasto”, si è cercata di standardizzare la descrizione delle cause riguardanti le entità in studio per evitare le ambiguità nelle descrizioni.

Individuazione degli effetti di guasto

Per ciascun modo di guasto, gli effetti (locali, superiori e finali) possono essere di varia natura: mancata sicurezza, mancata erogazione del servizio, mancata qualità, inefficienza di esercizio, impegno di materiali o personale di manutenzione (spesso valorizzati con il costo proprio o indotto di manutenzione).

Individuazione dei sintomi e dei metodi di rilevazione

Per le cause relative ad ogni modo di guasto, vanno individuati i sintomi premonitori o sintomi a guasto avvenuto: se esistono sintomi, sarà possibile pianificare una condizione/predittiva.

Per ogni sintomo, specie per i premonitori, vanno individuati i metodi di rilevazione (ispezioni sensoriali o strumentate, monitoraggio diagnostico, controllo di processo, test specialistici).

Analisi delle criticità

In questa fase si valorizza il rischio operativo legato a ciascun modo di guasto assegnandogli un indice di criticità (o di rischio, sono termini del tutto equivalenti per questa applicazione). L'indice può essere calcolato con più modalità a seconda della normativa di riferimento utilizzata: in questo caso il riferimento è alla SAE J1739 ma il metodo è semplificato in quanto si è deciso di non raccogliere dati relativi alla *detectability* dei guasti. Tale decisione è dovuta al fatto che fin dall'inizio era noto che non era possibile risalire, in alcun modo, ai valori di questo parametro per lo studio della BVK4.

Individuazione delle azioni correttive e pianificazione della manutenzione

A valle dell'analisi di criticità, selezionati modi di guasto e componenti critici, si passa alla fase propositiva dello studio FMECA: si ricercano le modalità per limitare o prevenire una causa di guasto.

Le azioni correttive sono di diversa natura e possono comprendere tra le altre cose modifiche di progetto, del processo, di una procedura o dei materiali utilizzati. Anche le modifiche rilevanti al progetto o la rimessa a nuovo dell'impianto o di una sua parte possono essere indicate, ma se eccedono i limiti di budget della manutenzione ordinaria, necessitano di una valutazione tecnica ed economica più ampia.

Sono tipicamente responsabilità della manutenzione i piccoli provvedimenti a carattere non periodico di manutenzione migliorativa, le revisioni al piano di manutenzione e le modifiche alle procedure di gestione dei ricambi.

2.1.2 Terminologia

Introdotta in linea di massima il metodo proposto, si è cercato di definire i principali termini utilizzati durante il progetto, per far chiarezza su eventuali dubbi sulla nomenclatura e per evitare che successive incomprensioni potessero falsare l'analisi.

È stato quindi proposto un glossario, qui di seguito riportato, utile da consultare in ogni momento da parte di tutti gli attori coinvolti nel progetto per essere certi che tutto il gruppo di lavoro parlasse lo stesso linguaggio.

Cause di guasto

È l'origine determinante che spiega il guasto, la circostanza che porta al guasto. Possono essere, per esempio, le rotture, usure, mancanze di lubrificazione/alimentazione, deformazioni, serraggi insufficienti, etc.

Le cause di guasto possono essere racchiuse in queste categorie:

- non adeguata progettazione,
- non adeguata fabbricazione,
- non adeguata installazione,
- usura (fatica, stress meccanico, consumo),
- utilizzazione scorretta (errata manovra),
- uso improprio (maltrattamento),
- errata manutenzione.

Questo elenco è utile anche in fase di ricerca delle possibili cause: sono le macro

aree all'interno delle quali è comodo catalogare le cause per definirne una lista standard utilizzabile per facilitare le revisioni successive.

Le cause di guasto sono anche distinguibili tra:

- aleatorie (o statisticamente prevedibili),
- sistematiche (o deterministicamente prevedibili).

Se le cause sono sistematiche, i guasti che esse provocano possono essere rimossi eliminando o controllandone il meccanismo di generazione: questa classificazione è quindi utile per la ricerca delle compensazioni.

Modo di guasto

Descrive il modo in cui si manifesta il guasto in una entità e il suo impatto sul sistema. Il guasto totale porta ad un'avaria completa, quello parziale ad una parziale e quello intermittente determina un'avaria totale o parziale ma intermittente.

Occorrenza

Indica la probabilità di accadimento stimata per il guasto.

Stando alle norme, può essere definita come rapporto tra l'MTBF del componente in esame rispetto al tempo richiesto T di funzionamento dell'entità, come valore dell'affidabilità R(T) definita esponenziale sempre rispetto al tempo T o come numero di guasti registrati per tempo (ore, ad esempio) di funzionamento.

Effetti di guasto

Sono le conseguenze che un guasto ha sulla funzionalità di un'entità. A parte questa definizione, molto ampia e generica, qui si ha a che fare con diverse tipologie di effetti, specificate di seguito.

Effetti locali

Gli effetti locali di una causa di guasto sono le degradazioni delle funzionalità operative o di sicurezza del componente o sottoinsieme considerato.

Effetti superiori

Gli effetti superiori di una causa di guasto sono le degradazioni delle funzionalità operative o di sicurezza del sottoassieme immediatamente superiore nella scomposizione a quello in esame.

Severità

E' l'effetto globale sulla macchina del guasto del componente, la gravità degli effetti del guasto.

In linea di principio, si assegna severità decrescente a effetti di mancata sicurezza, mancata produzione, mancata qualità, tempo impiegato per regolazioni e controlli.

Meccanismi di guasto

I meccanismi di generazione di un guasto sono i fenomeni naturali di degrado del funzionamento di un'entità che perdurando nel tempo possono portare al guasto della stessa.

Sono suddivisi in processi fisiologici di deterioramento ed invecchiamento (tutti i processi di trasformazione chimica, fisica, ecc che determinano l'insorgere di un fenomeno di guasto) e processi patologici di deterioramento (come errata progettazione o errato esercizio).

I processi di degrado sono cammini progressivi di alterazione delle caratteristiche iniziali dell'entità, il cui proseguire porta a stati di avaria parziale o completa.

Compensazioni / feedback

Sono tutte le possibili azioni correttive che si potrebbero intraprendere per limitare la severità e/o l'occorrenza di un guasto. Sono le indicazioni che verranno seguite nel momento in cui il guasto del componente in esame dovesse risultare tra quelli più critici.

Per un guasto di cui si conoscono meccanismi e categoria di causa, risulta abbastanza intuitivo indicare una possibile azione.

2.1.3 Scale degli indici

Le scale degli indici numerici utilizzati per calcolare la criticità dei componenti

meritano una descrizione che non si ferma alla semplice definizione. Non avendo a disposizione dati statistici riguardanti il comportamento della macchina, non si è potuta usare nessuna delle rigorose definizioni della norma. Non è stato ritenuto corretto, però, creare delle scale totalmente qualitative in quanto la loro somministrazione a persone diverse (con esperienza e sensibilità diverse) durante le interviste avrebbe creato problemi ed incomprensioni.

Severità

E' indicata con un valore rispetto ad una scala a punteggio così definita:

Tabella 5 - Tabella della severità (S) utilizzata nel lavoro

Severità	
1	Il guasto non inficia la produzione o il funzionamento della macchina a breve termine
2	Il guasto inficia la regolazione della macchina
3	Il guasto rallenta la produzione
4	Il guasto causa la creazione di scarti
6	Il guasto implica un fermo macchina $\leq 2h$
7	Il guasto implica un fermo macchina $2h < x \leq 8h$
8	Il guasto implica un fermo macchina $> 8h$
9	Il guasto implica produzione non conforme

Il primo commento da fare è relativo alla non totale linearità della scala: si è scelto di distanziare gli effetti che causano fermi di produzione da quelli che non li causano, per dar loro maggior peso.

Inoltre la severità maggiore di tutte è stata assegnata al caso in cui la macchina continua a produrre e a mandare avanti nella linea dei prodotti che non riconosce come scarti, ma che sicuramente non sono conformi alle richieste.

La severità minore è invece associata a tutti quei casi in cui anche in presenza di un guasto la produzione non viene intaccata almeno nel breve termine; ciò non significa che il guasto non debba essere segnalato.

Va inoltre specificato che un fermo macchina, per quanto breve, è molto diverso da quelle che possono essere considerate microfermate: queste ultime possiamo considerarle alla stregua di rallentamenti di produzione (nel caso trattato, troviamo questo in relazione alle regolazioni o pulizie di fotocellule e catarifrangenti: queste operazioni non necessitano della macchina ferma e quindi consideriamo che al più rallentino la produzione).

L'ultimo commento necessario è relativo alla durata del fermo macchina indicato in tabella; innanzitutto, sapendo di non poter tenere in una stessa classe

guasti che si possono riparare in brevissimo tempo con quelli che richiedono parecchio tempo e lavoro, abbiamo deciso di frammentarli.

Inoltre, i tempi riportati corrispondono indicativamente al tempo attivo di riparazione in condizioni di intervento preventivo, considerando quindi il tempo che mediamente viene impiegato per risolvere un problema, ipotizzando di conoscerlo e di sapere come risolverlo, avendo materiali e manutentori disponibili. Non corrisponde al down time relativo al guasto in esame, che normalmente comprende anche i tempi di ritardo gestionale, logistico e quello di diagnosi.

Occorrenza

Indica la probabilità di accadimento stimata per il guasto.

In mancanza di criteri certi e quantitativi (per esempio, nel caso in esame, per la mancanza di dati storici), si può utilizzare una scala qualitativa; nel nostro caso è la seguente:

Tabella 6 - Tabella della occorrenza (O) utilizzata nel lavoro

Occorrenza	
1	altamente improbabile (>10 anni)
2	improbabile (da 6 a 10 anni)
3	probabile (da 3 a 6 anni)
4	altamente probabile (<3 anni)

Abbiamo ipotizzato quindi che la macchina in questione abbia una vita utile di 15 anni, lavorando 3 turni al giorno per 200 giorni l'anno (15 anni sono un valore medio tra la vita possibile di una macchina standard "lasciata a se stessa", la cui durata si aggira attorno ai 10 anni, e una macchina continuamente revisionata e aggiornata, che può sopravvivere fino a 20 anni). Con queste ipotesi abbiamo specificato ogni quanto tempo, ipoteticamente, si possa verificare un guasto. Nel momento in cui venga rimediata la mancanza di dati storici, con queste indicazioni si potrebbe continuare ad utilizzare la stessa scala, a meno che non si veda che modificandola si possano avere vantaggi (per esempio ampliando il numero di classi).

La norma prevede di usare scale con uguali livelli, anche se questo non è un vincolo indispensabile per l'analisi; nel caso in esame, non avendo a disposizione dati storici per l'occorrenza sarebbe stato difficile usare una scala più frammentata. Di contro, per la severità si sono resi necessari molti più livelli differenti per distinguere le casistiche.

Con queste scale, quindi, a parità di severità il cambiare livello di occorrenza ha un grande impatto sul valore del rischio.

2.1.4 Scomposizione della macchina

Come accennato nel paragrafo relativo al metodo, presente in questo stesso capitolo, la macchina in esame va scomposta in più livelli.

La logica di scomposizione in generale può essere fisico/strutturale o funzionale, ma è accettabile anche una combinazione delle due.

L'entità è stata scomposta fino ad ottenere un albero rovesciato di *item* significativi per la manutenzione, quindi contenente tutti quegli oggetti che possono essere rimpiazzati o che possono essere tenuti sotto controllo. Non tutti i componenti presenti nella distinta base di una macchina, o i suoi sottoassiemi, sono in realtà indispensabili nell'analisi: nell'albero troveranno posto solo quegli item che secondo lo schema a blocchi riportato risulteranno significativi.

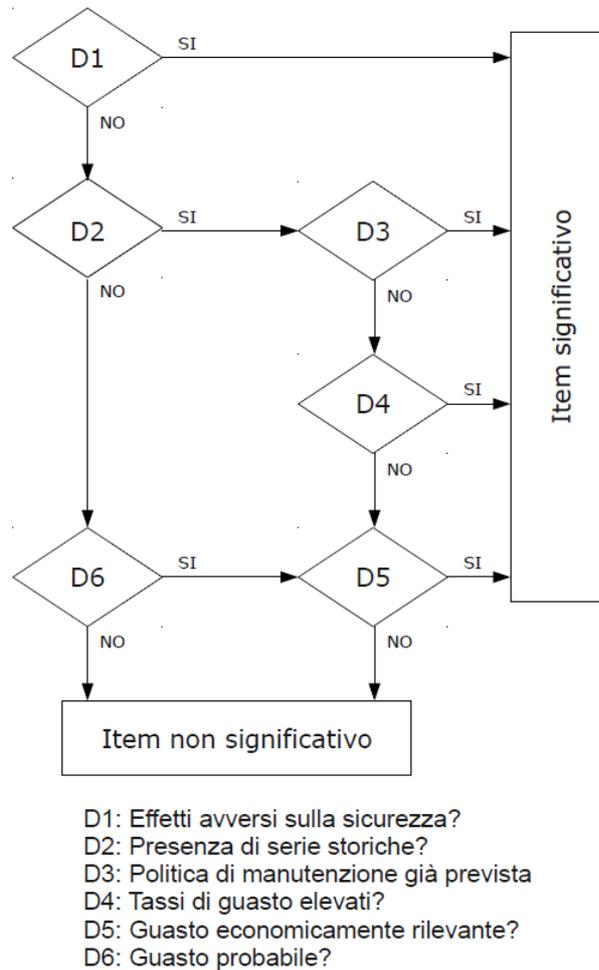


Figura 5 – Flow chart per la determinazione di item significativi

Per velocizzare la scomposizione, si può quindi partire dai gruppi funzionali e passare ad un livello inferiore solo se l'item in esame è significativo. Questo è possibile perché non possono essere significativi componenti facenti parte di sottoassiemi non significativi.

Il meccanismo di scomposizione porta a concentrarsi sulle parti dove si origina il guasto e a discriminare che livello interessa l'effetto.

Questo criterio è guidato dai compiti logistici di manutenzione.

Una questione da risolvere già in questa fase è quella relativa alla denominazione dei componenti e degli assiemi: la cosa migliore è usare quei nomi che compaiono sul manuale o sui disegni tecnici. In caso di incongruenza tra questi, è utile decidere quale usare e se possibile correggere i documenti che riportano gli altri nomi. Sono assolutamente da evitare i gerghi, per quanto

possano essere comprensibili per chi in quel momento sta svolgendo il lavoro, non è detto che i futuri utilizzatori del sistema li conoscano.

La scomposizione della BVK4 utilizzata in questo progetto è stata ereditata interamente da un lavoro di tesi in precedenza svolto in azienda, eseguita con le stesse indicazioni. Si è ritenuto quindi possibile utilizzare tale lavoro con delle lievi modifiche. Le modifiche, comunque minime, hanno riguardato per lo più dei raggruppamenti di componenti secondo il punto di vista strutturale o funzionale e qualche aggiunta o cancellazione di componenti.

Le aggiunte hanno riguardato componenti che nello scorso lavoro si ritenevano non significativi ma che nel corso delle interviste sono emersi, almeno, come parti di cui potrebbe essere interessante tenere traccia.

Le cancellazioni, analogamente alle aggiunte, hanno riguardato parti per le quali ci si è resi conto in corso d'opera che, anche se tenute in considerazione, non avrebbero apportato nessun elemento aggiuntivo al lavoro.

In generale la scomposizione non è fissa nel tempo. Pur non potendo essere stravolta, ad ogni iterazione dell'analisi FMECA è possibile aggiungere o togliere parti a seconda.

Nel caso in esame solo una volta si è deciso di scomporre un oggetto che viene in realtà sostituito in blocco in caso di guasto. Si tratta del gruppo elettrovalvole montato sul basamento (codice F1.3.2.2 nella scomposizione seguente) ed è stato fatto solo per indicare cosa comanda ciascuna valvola che lo compone. Infatti ad un diverso lavoro svolto, possono corrispondere diversi effetti. Questa complicazione, apparentemente poco utile per questa parte del lavoro, può essere molto utile in un eventuale ampliamento del progetto verso la ricerca della propagazione dei guasti.

Tabella 7 – Scomposizione della macchina

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV
F1.1. STAZIONE DI MISURA	F1.1.1. GRUPPO MANDRINO DI MISURA	F1.1.1.1. mandrino di misura	
		F1.1.1.2. motore mandrino di misura	
		F1.1.1.3. cinghia mandrino di misura	
		F1.1.1.4. pistone di blocco/sblocco	
		F1.1.1.5. sensore di pistone alto	
		F1.1.1.6. sensore di pistone basso	

		F1.1.1.7. adattatore	F1.1.1.7.1. cono pinza
			F1.1.1.7.2. espansore
			F1.1.1.7.3. gruppo bloccaggio
		F1.1.1.8. sistema di pressurizzazione	F1.1.1.8.1. filtri
			F1.1.1.8.2. regolat. di pressione
	F1.1.2. GRUPPO DI RILEVAMENTO SINCRONISMO	F1.1.2.1. sensore di sincronismo	
	F1.1.3. GRUPPI DI RILEVAMENTO SQUILIBRIO	F1.1.3.1. trasdutt. rilevam. piano 1	
		F1.1.3.2. trasdutt. rilevam. piano 2	
		F1.1.3.3. lamelle di supporto destro	
		F1.1.3.4. lamelle di supporto sinistro	
	F1.1.4. GRUPPO RILEVAMENTO PEZZO	F1.1.4.1. fotocellula di presenza pezzo	F1.1.4.1.1. fotocellula
			F1.1.4.1.2. catarifrangente
	F1.2. STAZIONE DI LAVORAZIONE	F1.2.1. GRUPPI DI BLOCCAGGIO PEZZO	F1.2.1.1. pinze di blocc. per lavoraz.
F1.2.1.1.2. cuscinetto			
F1.2.1.1.3. inserto			
F1.2.1.2. pistone di posizionamento			
F1.2.1.3. pistone di bloccaggio			
F1.2.1.4. sensore pinza blocc. aperta			
F1.2.1.5. sensore pinza blocc. chiusa			
F1.2.1.6. sensore gruppo lavoro			
F1.2.1.7. sensore gruppo riposo			
F1.2.1.8. guida di posizionamento			F1.2.1.8.1. slitta
		F1.2.1.8.2. pattino	
F1.2.2. GRUPPO TESTA DI LAVORAZIONE (ASSE_F)		F1.2.2.1. mandrino di lavorazione	
		F1.2.2.2. motore mandr. di lavoraz.	
		F1.2.2.3. riduttore mandr. di lavoraz.	
		F1.2.2.4. sensore di rotazione	
		F1.2.2.5. utensile	

		F1.2.2.6. portautensile	
		F1.2.2.7. cavo segnale/potenza	
F1.2.3. GRUPPI DI RILEVAMENTO DEL TOCCO	F1.2.3.1. sensore per rilev. del tocco		
F1.2.4. GRUPPI DI MOVIMENTAZIONE ASSI	F1.2.4.1. movimentazione asse W	F1.2.4.1.1. cavo segnale/potenza	
		F1.2.4.1.2. motore	
		F1.2.4.1.3. slitta	
		F1.2.4.1.4. pattino	
		F1.2.4.1.5. sensore fine corsa min	
		F1.2.4.1.6. sensore fine corsa max	
		F1.2.4.1.7. cinghia	
		F1.2.4.1.7. vite senza fine	
		F1.2.4.1.8. chiocciola	
A.2.4. GRUPPI DI MOVIMENTAZIONE ASSI	A.2.4.2. movimentazione asse X	F1.2.4.1.9. soffietto	
		A.2.4.2.1. cavo segnale/potenza	
		A.2.4.2.2. motore	
		A.2.4.2.3. slitta	
		A.2.4.2.4. pattino	
		A.2.4.2.5. sensore fine corsa min	
		A.2.4.2.6. sensore fine corsa max	
		A.2.4.2.7. cinghia	
		A.2.4.2.8. vite senza fine	
A.2.4.2.9. chiocciola			

			A.2.4.2.10. soffietto	
		A.2.4.3. movimentazione asse Y	A.2.4.3.1. cavo segnale/potenza	
			A.2.4.3.1. motore	
			A.2.4.3.1. slitta	
			A.2.4.3.1. pattino	
			A.2.4.3.1. sensore fine corsa min	
			A.2.4.3.1. sensore fine corsa max	
			A.2.4.3.1. cinghia	
			A.2.4.3.1. vite senza fine	
			A.2.4.3.1. chiocciola	
			A.2.4.3.1. soffietto	
	A.2.5. GRUPPI AUSILIARI	A.2.5.1. dispositivo di contropinta	A.2.5.1.1. pistone	
			A.2.5.1.2. sensore posiz. di riposo	
			A.2.5.1.3. sensore posiz. di lavoro	
			A.2.5.1.4. martinetto	
		A.2.5.2. cavo presa multipla sensori		
F1.3. SISTEMA DI CONTROLLO	F1.3.1. GRUPPO ELETTRONICO A90	F1.3.1.1. scambiatore di calore		
		F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext		
		F1.3.1.3. CPU		
		F1.3.1.4. scheda interfaccia I/O		
		F1.3.1.5. modulo di potenza	F1.3.1.5.1. modulo 0(asse W)	
			F1.3.1.5.2. modulo 1(asse Y)	
			F1.3.1.5.3. modulo 2(asse X)	
			F1.3.1.5.4. mod.3(asse mandr. di mis.)	
			F1.3.1.5.5. mod.4 (asse tavola rotante)	

		F1.3.1.5.6. mod.5 (asse F, mandr. di lav.)	
F1.3.2. GRUPPO PNEUMATICO	F1.3.2.1. tratt. aria midi	F1.3.3.1.1. pressostato	
		F1.3.2.1.2. regolat.di pressione	
	F1.3.2.2. gruppo elettrovalvole basamento (misura - lavorazione)	F1.3.2.2.1. cappello (contr. Elettronico)	
		F1.3.2.2.2. valv. 1 - mov. pinza	
		F1.3.2.2.3. valv. 3 - bloc/sbloc staz. di mis.	
		F1.3.2.2.4. valv.4 - controspinta	
		F1.3.2.2.5. valv. 5 - aspirazione tramoggia	
		F1.3.2.2.6. valv. 6 - libera	
	F1.3.2.3. gruppo elettrovalvole crociera	F1.3.2.3.1. cappello (contr. Elettronico)	
		F1.3.2.3.2. valvole	
	F1.3.2.4. gruppo elettrovalvole rulliera	F1.3.2.3.1. cappello (contr. Elettronico)	
		F1.3.2.3.2. valvole	
	F1.3.2.5. scarico rapido		
	F1.3.3. GRUPPO TERMINALE OPERATORE	F1.3.3.1. PC Embedded SU400	F1.3.3.1.1. hard disk
			F1.3.3.1.2. hardware
F1.3.3.2. Tastiera			
F1.3.3.3. Mouse			
F1.3.3.4. Modem			
F1.3.4. GRUPPO ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE	F1.3.4.1. Trasformatore di potenza		
	F1.3.4.2. Filtro di rete		
	F1.3.4.3. Trasformatore di servizio		
	F1.3.4.4. Alimentatore 24V		
	F1.3.4.5. Gruppo teleruttori		
	F1.3.4.6. Gruppo protettori		
	F1.3.4.7. Sezionatore principale		
	F1.3.4.8. I/O Remoto armadio	F1.3.4.8.1. CPU	
F1.3.4.8.2. schede I/O digitali			

			F1.3.4.8.3. schede I/O analogiche
			F1.3.4.8.4. schede con funzioni speciali
		F1.3.4.9. Contatore di servizio	
		F1.3.4.10. Fila di comandi(ext. ant.)	
		F1.3.4.11. Lampada di illuminazione	
F1.4. SISTEMA DI SICUREZZA	F1.4.1. GRUPPI BLOCCA PORTE	F1.4.1.1. bloc. porta frontale sx.	
		F1.4.1.2. bloc.porta frontale dx.	
		F1.4.1.3. bloc.porta laterale sx./1	
		F1.4.1.4. bloc.porta laterale sx./2	
		F1.4.1.5. bloc.porta laterale dx./1	
		F1.4.1.6. bloc.porta laterale dx./2	
	F1.4.2. GRUPPI EMERGENZA	F1.4.2.1. pulsante accesso frontale	
		F1.4.2.2. pulsante accesso lateral. sx.	
		F1.4.2.3. puls. accesso lateral. dx./1	
		F1.4.2.4. puls. accesso lateral. dx./2	
		F1.4.2.5. pulsante monitor	
	F1.4.3. CENTRALINA DI SICUREZZA	F1.4.3.1. generale	
		F1.4.3.2. sezionamento assi	
	F1.4.4. ATTUAZIONE CONTROLLO	F1.4.4.1. pistone destro	
		F1.4.4.2. pistone sinistro	
		F1.4.4.3. valvola apertura	
		F1.4.4.4. valvola chiusura	
	F1.5. SISTEMA A CROCIERA	F1.5.1. GRUPPO MECCANICO DI ROTAZIONE	F1.5.1.1. gruppo braccio centrale
F1.5.1.1.2. tavola rotante			
F1.5.1.1.3. motore tavola rotante			
F1.5.1.1.4. sensor.crociera posiz.1			
F1.5.1.1.5. sensor.extra corsa crociera			
F1.5.1.1.6. sensor.crociera posiz.3			
F1.5.2. GRUPPO DI		F1.5.2.1. gruppo pinza 1	F1.5.2.1.1. pinza

	PRESA RILASCIO PEZZI		F1.5.2.1.2. griffe	
			F1.5.2.1.3. slitta	
			F1.5.2.1.4. sensore pinza alto	
			F1.5.2.1.5. sensore pinza basso	
			F1.5.2.1.6. sensore pinza aperta	
			F1.5.2.1.7. sensore pinza chiusa	
			F1.5.2.2. gruppo pinza 2	F1.5.2.2.1. pinza
		F1.5.2.2.2. griffe		
		F1.5.2.2.3. slitta		
		F1.5.2.2.4. sensore pinza alto		
		F1.5.2.2.5. sensore pinza basso		
		F1.5.2.2.6. sensore pinza aperta		
		F1.5.2.2.7. sensore pinza chiusa		
		F1.5.3. GRUP. GEST.REMOTA CROCIERA	F1.5.3.1. gruppo gestione input	
F1.5.3.2. cavo interconnessione				
F1.6. RULLIERA DI CARICO/ SCARICO	F1.6.1. GRUPPO DI MOVIMENTAZ. PEZZI	F1.6.1.1. gruppo di rulliere	F1.5.1.1.1. rulli di trasporto	
			F1.5.1.1.2. catena di trasmiss.	
			F1.5.1.1.3. motore rulliera	
	F1.6.2. GRUPPO DI RILEVAMENT. PEZZI	F1.6.2.1. fotocel.singulariz.spezza-coda		F1.6.2.1.1. fotocellula
				F1.6.2.1.2. catarifrangente
		F1.6.2.2. fotocel. presenzF1.pz.alimentaz.		F1.6.2.2.1. fotocellula
				F1.6.2.2.2. catarifrangente
		F1.6.2.3. fotocel. catena di alim. piena		F1.6.2.3.1. fotocellula
				F1.6.2.3.2. catarifrangente
	F1.6.3. GRUPPO DI ARRESTO PEZZO	F1.6.3.1. sist. pneumat.di arresto pz.		F1.6.3.1.1. pistone
				F1.6.3.1.2. sensore
		F1.6.3.2. sist.pneumat.spezza coda		F1.6.3.2.1. pistone

		F1.6.3.2. gruppo di gest. rulliere	F1.6.3.2.1. gruppo di gestione input
F1.7. RULLIERA DI CARICO/ SCARICO	F1.7.1. GRUPPO DI MOVIMENTAZ. PEZZI	F1.7.1.1. gruppo di rulliere	F1.7.1.1.1. rulli di trasporto
	F1.7.2. GRUPPO DI RILEVAMENT. PEZZI	F1.7.2.1. fotocel.singolariz.spezza- coda	F1.7.2.1.1. fotocellula
			F1.7.2.1.2. catarifrangente
		F1.7.2.2. fotocel. Catena di scarto piena	F1.7.2.2.1. fotocellula
		F1.7.2.2.2. catarifrangente	
F1.8. SOFTWARE	F1.8.1. HMI (Human machine interface)	F1.8.1.1. software macchina	
		F1.8.1.2. sistema operativo	
		F1.8.1.3. dati	
		F1.8.1.4. database di supporto	

2.2 Calcolo degli indici utili all'analisi FMECA

Qui di seguito vengono descritte le informazioni che sono state necessarie e le modalità di raccolta. Alla fine del paragrafo 2.3 sarà poi riportata la tabella comprensiva di questi dati e del calcolo dell'indice di rischio.

2.2.1 Raccolta dati per la costruzione degli indici

La precedente tabella 7 mostra tutti i componenti che si è deciso di analizzare. L'obiettivo è di ordinarli secondo un indice di rischio che sarà ottenuto moltiplicando tra loro gli indici di occorrenza e di severità di un dato modo di guasto.

$$R = O \cdot S \quad (1)$$

Per l'occorrenza "O", definita la scala è praticamente immediato passare dall'indicazione soggettiva al valore numerico di probabilità di accadimento di ogni causa di guasto. Le indicazioni ottenute potranno essere viziate dalle sensazioni personali dell'intervistato, ma comunque il passaggio al valore numerico è rapido.

Per la severità "S", invece, il discorso è diverso: ogni causa di guasto può essere causata da meccanismi diversi (dei quali va tenuta traccia per la successiva ricerca delle compensazioni). Ogni causa darà luogo agli effetti locali, poi a quelli superiori e infine a quelli globali, cioè la severità definita sulla scala

presentata nel paragrafo 2.1.3.

2.2.2 Descrizione delle interviste e difficoltà incontrate

Le interviste sono state svolte dalla scomposizione e per quanto possibile ad ogni specialista è stata sottoposta la parte di sua competenza.

In sostanza, ci si è focalizzati sui componenti foglie dell'albero.

Per ogni componente è stato richiesto di esplicitare ogni possibile causa di guasto e la sua occorrenza (O). Non si è trattato di elencare solo ciò che è successo in passato, ma è stato eviscerato tutto quello che potrebbe accadere. A questo proposito, facendo riferimento alle categorie di cause di guasto si ha una sorta di guida per tralasciare meno cause possibili.

Partendo dal presupposto che l'obiettivo era di scoprire quali sono i guasti e quindi i componenti critici dal punto di vista affidabilistico, è stata la sensibilità dell'intervistato a far omettere quelle cause che, seppur possibili, hanno una probabilità di accadimento molto remota. In linea di principio andrebbero incluse tutte e poi trascurate in quanto con probabilità bassa (cioè non porteranno il componente ad essere critico); per questo motivo, cautelativamente, normalmente è meglio aggiungerle e controllare in una revisione successiva se ha realmente senso considerarle.

In questo particolare lavoro va tenuto conto che le cause serviranno anche per compilare le schede degli interventi di manutenzione: se una causa non apparirà nell'elenco, il *report* dell'intervento non potrà essere compilato a dovere. Questo *report* (Figura 6), sviluppato con la precedente tesi in azienda, è stato studiato per la raccolta dei dati che saranno utilizzati come input alle successive iterazioni dell'analisi FMECA oltre che per il rendiconto degli interventi effettuati dalla squadra di manutenzione.

Figura 6 - Modello di report degli interventi di manutenzione per la raccolta dati

Data: OPERATORE Tipo macchina: Tempo Attivo di Riparazione (TAR) [h]:
 Località: Nome: Numero seriale macchina: Tempo Fermo Macchina (DT) [h]:
 Cliente: Cognome: Job:
 Matricola:

CODICE FUNZIONALE	DESCRIZIONE FUNZIONALE	CODICE MAGAZZINO	STATO REVISIONE	MARCA	TIPO	CAUSA DI GUASTO	EFFETTI (locali) DI GUASTO	TEMPO DI FERMO MACCHINA (DT) [h]	TEMPO DI INTERVENTO (TAR parziale) [h]	TEMPO DI FUNZIONAMENTO (TBF) [h]	COMPONENTE IN GARANZIA	TIPO DI INTERVENTO

L'occorrenza potrebbe derivare da un'indicazione qualitativa, proveniente dall'esperienza personale dell'intervistato: in questo caso è utile prendere la decisione riguardo al valore confrontando le diverse professionalità e cercando di giungere ad una opinione comune.

In particolare, per i componenti elettronici e di potenza è stato in prima battuta intervistato un progettista elettronico, per i sistemi di sicurezza e il sistema pneumatico un progettista meccanico e per il resto il responsabile della manutenzione. Dopo questo primo passaggio si è resa necessaria una riunione con tutte le persone coinvolte e il responsabile della ricerca e sviluppo per appianare le differenze di vedute.

In presenza di dati quantitativi quali storici o MTBF, sarà più facile rapportarle alla scala dell'occorrenza.

Durante il primo "giro" di interviste dell'analisi, è plausibile che esistano poche indicazioni numeriche relative alla durata dei componenti, specie se nuovi e montati su una macchina di produzione solo di recente. Quando il sistema di raccolta dati dagli interventi di manutenzione (il *report* citato in questo stesso paragrafo) sarà basato su questa scomposizione e ci sarà una numerosità sufficiente dei dati, essi si potranno analizzare statisticamente e utilizzare per dare all'occorrenza valori quantitativi.

Sempre in relazione ad ogni componente, per ogni causa è stato necessario elencare i possibili effetti locali sul determinato componente, gli effetti sul livello appena superiore e la conseguenza che ciò ha sulle funzionalità della macchina. Quest'ultima è la severità (S).

È di primaria importanza cercare di fare in modo che per ogni componente, ad ogni effetto sia riconducibile una sola causa. Ad esempio, se l'eccessiva usura dei cuscinetti di un motore porta ad un blocco della funzionalità del motore stesso (come si bloccherebbe in seguito ad una rottura di un qualsiasi suo elemento, rendendone necessaria la sostituzione) tutte le cause assimilabili all'usura saranno equiparabili alla rottura e quest'ultima risulterà l'unica segnalata.

In questo modo si evita di dover distinguere, per esempio, diversi livelli di usura tra le cause e poi assegnare a tutte la stessa severità. Questo approccio è stato deciso durante le prime interviste con il responsabile di manutenzione nell'ottica di avere un'univoca corrispondenza tra cause ed effetti, per facilitare la futura compilazione dei *report* degli interventi.

Discorso diverso, nel caso in cui l'usura portasse solo ad un rallentamento del ciclo produttivo a causa dei rallentamenti del motore: l'usura porta a rallentamenti mentre la rottura ad un fermo macchina, sono cause distinguibili dai loro effetti.

Riguardo i meccanismi di guasto, è utile indicare per un'unica causa di guasto tutti i meccanismi che possono causarla: in questo modo ad ogni meccanismo corrisponderà un'azione correttiva. Per esempio, se un fermo macchina dovuto alla rottura di un motore elettrico (e questa rottura fosse l'unica causa indicata per questo componente) può essere dovuto sia alla normale usura dei cuscinetti che ad un anomalo surriscaldamento degli avvolgimenti, è opportuno indicare questi due meccanismi per poter formalizzare due distinte compensazioni.

Come detto più volte, non si avevano a disposizione valori statistici per definire coerentemente gli indici. Tutte le indicazioni, a parte qualche raro caso di indicazione di MTBF sul manuale tecnico del componente, sono influenzate dalle sensazioni personali dell'intervistato.

Esempi di questa probabile fonte di incoerenza, sono le indicazioni di un addetto alla manutenzione che ricordava assillanti telefonate di un cliente per un determinato componente o le indicazioni di affidabilità di una scheda elettronica fornite dal suo progettista (la vita utile calcolata via software con una simulazione si è rivelata maggiore di quello che in realtà si è verificato per le stesse schede montate sulle macchine)

Per evitare questi problemi, a seguito dell'intervista allo specialista (meccanico, elettronico, del service,...) si è proceduto a rivedere le indicazioni fornite assieme ad altre figure aziendali che possiedono una visione più di insieme quali il direttore della ricerca e sviluppo. In ultimo luogo va detto che non si è trattato semplicemente di una correzione dei dati raccolti ma di una interazione diretta tra primo e secondo intervistato per cercare di raggiungere una convergenza non solo sui valori numerici ma anche sulle cause e meccanismi. Per cercare di evitare di solamente mediare i diversi valori che i due intervistati hanno in precedenza proposto, durante queste riunioni si è cercato di ripetere da *tabula rasa* l'intervista per il componente in oggetto.

2.3 Calcolo dell'indice di priorità di rischio

Come detto in precedenza, l'indice di priorità di rischio è calcolato come il prodotto tra occorrenza e severità. Nella seguente tabella sono riportate le informazioni raccolte durante le interviste e i valori numerici degli indici qui sopra descritti.

Tabella 8 – Tabella riportante le informazioni raccolte durante le interviste e il calcolo di R

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	MODO	CAUSA	EFF. LOCALI	EFFETTO SUPER.	SEVER.	VALUTAZ. R		
									O	S	RISK (R=OxS)
F1.1. STAZIONE DI MISURA	F1.1.1. GRUPPO MANDRINO DI MISURA	F1.1.1.1. mandrino di misura	parziale	usura	vibrazioni	vibrazioni	scarti	2	4	8	
			totale	usura	rottura	blocco mandrino	fermi > 8h	1	8	8	
		F1.1.1.2. motore mandrino di misura	totale	usura	rottura motore	blocco mandrino	fermo 2h<x≤8h	1	7	7	
			intermittente	utilizzo scorretto	fermo motore	blocco motore	fermo ≤2h	2	6	12	
		F1.1.1.3. cinghia mandrino di misura	totale	utilizzo scorretto	rottura	blocco mandrino	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	blocco mandrino	fermo ≤2h	3	6	18	
		F1.1.1.4. pistone di blocco/sblocco	intermittente	usura	movim. nn corrett.	non corretto blocco/sblocco	scarti	1	4	4	
			totale	usura	fermo pistone	mancato blocco/sblocco	fermo 2h<x≤8h	1	7	7	
		F1.1.1.5. sensore di pistone alto	totale	usura	fermo pistone	blocco mandrino	fermo ≤2h	1	6	6	
		F1.1.1.6. sensore di pistone basso	totale	usura	fermo pistone	blocco mandrino	fermo ≤2h	1	6	6	
		F1.1.1.7. adattatore	F1.1.1.7.1. cono pinza	intermittente	usura	non fa presa	non corretto blocco/sblocco	scarti	1	4	4
			F1.1.1.7.2. espansore	intermittente	usura	non espande	non corretto blocco/sblocco	scarti	3	4	12
				totale	usura	non espande	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6
		F1.1.1.7.3. gruppo bloccaggio	intermittente	usura	gioco	errata lettura	scarti	2	4	8	
			totale	usura	non fa presa	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	2	6	12	
		F1.1.1.8. sistema di pressurizzazione	F1.1.1.8.1. filtri	parziale	utilizzo scorretto	blocco aria	contaminazione	niente	4	1	4
			F1.1.1.8.2. regolat. di pressione	parziale	usura	non regolazione	pressione errata	niente	1	1	1
F1.1.2. GRUPPO DI RILEVAMENTO SINCRONISMO	F1.1.2.1. sensore di sincronismo		totale	?	non legge	non rileva sincronismo	fermo ≤2h	3	6	18	

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

				totale	utilizzo scorretto	non legge	non rileva sincronismo	fermo ≤2h	4 6	24
F1.1.3. GRUPPI DI RILEVAMENTO SQUILIBRIO	F1.1.3.1. trasdutt. rilevam. piano 1			totale	usura	errata lettura	non rilevam squilibrio	produz. nn conf.	1 9	9
						errata lettura	tutti scarti	scarti	1 4	4
	F1.1.3.2. trasdutt. rilevam.piano 2			totale	usura	errata lettura	non rilevam squilibrio	produz. nn conf.	1 9	9
						errata lettura	tutti scarti	scarti	1 4	4
	F1.1.3.3. lamelle di supporto destro			totale	maltrattamento	rottura	non rilevam squilibrio	produz. nn conf.	1 9	9
F1.1.3.4. lamelle di supporto sinistro			totale	maltrattamento	rottura	non rilevam squilibrio	produz. nn conf.	1 9	9	
F1.1.4. GRUPPO RILEVAMENTO PEZZO	F1.1.4.1. fotocellula di presenza pezzo	F1.1.4.1.1. fotocellula		totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3 6	18
				intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12
		intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
	F1.1.4.1.2. catarifrangente		intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12	
		intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
F1.2. STAZIONE DI LAVORAZIONE	F1.2.1. GRUPPI DI BLOCCAGGIO PEZZO	F1.2.1.1. pinze di blocc. per lavoraz.	F1.2.1.1.1. cuneo	totale	usura	gioco	mancato blocco/sblocco	fermo 2h<x≤8h	1 7	7
			F1.2.1.1.2. cuscinetto	totale	usura	gioco	mancato blocco/sblocco	fermo 2h<x≤8h	1 7	7
			F1.2.1.1.3. inserto	totale	usura	gioco	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24
	F1.2.1.2. pistone di posizionamento		totale	usura	fermo pistone	mancato blocco/sblocco	fermo 2h<x≤8h	2 7	14	
	F1.2.1.3. pistone di bloccaggio		totale	usura	fermo pistone	mancato blocco/sblocco	fermo 2h<x≤8h	2 7	14	
	F1.2.1.4. sensore pinza blocc. aperta		totale	usura	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	3 6	18	
			totale	utilizzo scorretto	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24	
	F1.2.1.5. sensore pinza blocc. chiusa		totale	usura	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	3 6	18	
			totale	utilizzo scorretto	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24	
	F1.2.1.6. sensore gruppo lavoro		totale	usura	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	3 6	18	
		totale	utilizzo scorretto	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24		

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

	F1.2.1.7. sensore gruppo riposo		totale	usura	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	3 6	18	
			totale	utilizzo scorretto	non legge	mancato blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24	
	F1.2.1.8. guida di posizionamento	F1.2.1.8.1. slitta		intermittente	usura	gioco	rallentamento ciclo lavoraz	rallenta	2 3	6
				totale	usura	gioco	no raggiungim. posiz. lavoro	fermo 2h<x≤8h	2 7	14
		F1.2.1.8.2. pattino		intermittente	usura	gioco	rallentamento ciclo lavoraz	rallenta	2 3	6
				totale	usura	gioco	no raggiungim. posiz. lavoro	fermo 2h<x≤8h	2 7	14
	F1.2.2. GRUPPO TESTA DI LAVORAZIONE (ASSE_F)	F1.2.2.1. mandrino di lavorazione		parziale	usura	vibrazioni	vibrazioni	scarti	2 4	8
				totale	usura	rottura	blocco lavorazione	fermo 2h<x≤8h	1 7	7
F1.2.2.2. motore mandr. di lavoraz.			totale	usura	rottura motore	blocco lavorazione	fermo 2h<x≤8h	1 7	7	
			totale	utilizzo scorretto	fermo motore	blocco motore	fermo ≤2h	2 6	12	
F1.2.2.3. riduttore mandr. di lavoraz.			totale	usura	rumorosità	vibrazioni	fermo ≤2h	2 4	8	
			totale	usura	rottura	blocco lavorazione	fermo 2h<x≤8h	2 7	14	
F1.2.2.4. sensore di rotazione			totale	usura	non legge	blocco lavorazione	fermo ≤2h	3 6	18	
			totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco lavorazione	fermo ≤2h	4 6	24	
F1.2.2.5. utensile			parziale	usura	taglia/asporta nn corrett.	non corretta lavorazione	scarti	4 4	16	
			totale	usura	non taglia/asporta	non lavora	fermo ≤2h	2 6	12	
			totale	utilizzo scorretto	rottura	non lavora	fermo ≤2h	2 6	12	
F1.2.2.6. portautensile			totale	usura	rottura	non lavora	fermo ≤2h	1 6	6	
F1.2.2.7. cavo segnale/potenza			totale	usura	segnale intermittente	disturbi elettrici	fermo 2h<x≤8h	3 7	21	
			totale	usura	non trasmette	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1 7	7	
F1.2.3. GRUPPI DI RILEVAMENTO DEL TOCCO	F1.2.3.1. sensore per rilev. del tocco		parziale	usura	non legge (in produz.)	non lettura	scarti	2 4	8	
			intermittente	usura	non legge (in taratura)	non lettura	rallenta	2 3	6	
			parziale	utilizzo scorretto	non legge (in produz.)	non lettura	scarti	4 4	16	

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

			intermittente	utilizzo scorretto	non legge (in taratura)	non lettura	rallenta	4	3	12
F1.2.4. GRUPPI DI MOVIMENTAZIONE ASSI	F1.2.4.1. movimentazione asse W	F1.2.4.1.1. cavo segnale/potenza	totale	usura	segnale intermittente	disturbi elettrici	fermo 2h<x≤8h	3	7	21
			totale	usura	non trasmette	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		F1.2.4.1.2. motore	totale	usura	rottura motore	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
			totale	utilizzo scorretto	fermo motore	blocco motore	fermo ≤2h	2	6	12
		F1.2.4.1.3. slitta	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		F1.2.4.1.4. pattino	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		F1.2.4.1.5. sensore fine corsa min	totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
			totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
		F1.2.4.1.6. sensore fine corsa max	totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
			totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
		F1.2.4.1.7. cinghia	totale	utilizzo scorretto	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
			totale	usura	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
		F1.2.4.1.7. vite senza fine	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		F1.2.4.1.8. chiocciola	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
			parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
totale	usura		blocco asse	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7		
F1.2.4.1.9. soffietto	parziale	usura	permette contaminaz.	contaminazione asse	niente	3	1	3		
	parziale	usura	permette	contaminazione asse	niente	2	1	3		

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

A.2.4. GRUPPI DI MOVIMENTAZIONE ASSI	A.2.4.2. movimentazione asse X			contaminaz.			3	7	21
		totale	usura	segnale intermittente	disturbi elettrici	fermo 2h<x≤8h			
A.2.4.2.1. cavo segnale/potenza		totale	usura	non trasmette	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		totale	usura						
A.2.4.2.2. motore		totale	usura	rottura motore	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		totale	utilizzo scorretto	fermo motore	blocco motore	fermo ≤2h	2	6	12
A.2.4.2.3. slitta		parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	1	8	8
A.2.4.2.4. pattino		parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	1	8	8
A.2.4.2.5. sensore fine corsa min		totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
		totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
A.2.4.2.6. sensore fine corsa max		totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
		totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
A.2.4.2.7. cinghia		totale	utilizzo scorretto	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
		totale	usura	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
A.2.4.2.8. vite senza fine		parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	1	8	8
A.2.4.2.9. chiocciola		parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	1	8	8
A.2.4.2.10. soffietto		parziale	usura	permette contaminaz.	contaminazione asse	niente	3	1	3

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

		parziale	usura	permette contaminaz.	contaminazione asse	niente	2	1	2
A.2.4.3. movimentazione asse Y	A.2.4.3.1. cavo segnale/potenza	totale	usura	segnale intermittente	disturbi elettrici	fermo 2h<x≤8h	3	7	21
		totale	usura	non trasmette	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
	A.2.4.3.1. motore	totale	usura	rottura motore	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
		totale	utilizzo scorretto	fermo motore	blocco motore	fermo ≤2h	2	6	12
	A.2.4.3.1. slitta	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	2	4	8
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	2	8	16
	A.2.4.3.1. pattino	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	2	4	8
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	2	8	16
	A.2.4.3.1. sensore fine corsa min	totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
		totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
	A.2.4.3.1. sensore fine corsa max	totale	usura	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
		totale	utilizzo scorretto	non legge	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
	A.2.4.3.1. cinghia	totale	utilizzo scorretto	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	4	6	24
		totale	usura	rottura	blocco movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
	A.2.4.3.1. vite senza fine	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	2	4	8
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	2	8	16
	A.2.4.3.1. chiocciola	parziale	utilizzo scorretto	gioco	movimenti errati	scarti	1	4	4
		parziale	usura	gioco	movimenti errati	scarti	2	4	8
		totale	usura	blocco asse	blocco movimentazione	fermo >8h	2	8	16

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

			A.2.4.3.1. soffietto	parziale	usura	soffietto fessurato	contaminazione asse	niente	3	1	3
				parziale	usura	soffietto spaccato	contaminazione asse	niente	2	1	2
	A.2.5. GRUPPI AUSILIARI	A.2.5.1. dispositivo di contropinta	A.2.5.1.1. pistone	totale	usura	fermo pistone	mancata contropinta	fermo 2h<x≤8h	2	7	14
			A.2.5.1.2. sensore posiz. di riposo	totale	usura	non legge	mancata contropinta	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata contropinta	fermo ≤2h	4	6	24
			A.2.5.1.3. sensore posiz. di lavoro	totale	usura	non legge	mancata contropinta	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata contropinta	fermo ≤2h	4	6	24
			A.2.5.1.4. martinetto	parziale	usura	gioco	contropinta non efficace	scarti	2	4	8
		totale		usura	gioco	mancata contropinta	fermo 2h<x≤8h	2	7	14	
		A.2.5.2. cavo presa multipla sensori	totale	usura	segnale intermittente	disturbi elettrici	fermo 2h<x≤8h	3	7	21	
totale	usura		non trasmette	blocco movimentazione	fermo 2h<x≤8h	1	7	7			
F1.3. SISTEMA DI CONTROLLO	F1.3.1. GRUPPO ELETTRONICO A90	F1.3.1.1. scambiatore di calore	totale	usura	inefficienza gruppo	surriscald.(errori/blocco)	fermo ≤2h	1	6	6	
			totale	utilizzo scorretto	inefficienza gruppo	surriscald.(errori/blocco)	fermo ≤2h	1	6	6	
		F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext	totale	usura	blocco ventole	surriscald.(errori/blocco)	fermo ≤2h	3	6	18	
			totale	utilizzo scorretto	blocco ventole	surriscald.(errori/blocco)	fermo ≤2h	3	6	18	
		F1.3.1.3. CPU	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1	6	6	
		F1.3.1.4. scheda interfaccia I/O	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1	6	6	
		F1.3.1.5. modulo di potenza	F1.3.1.5.1. modulo 0(asse W)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	2	6	12
			F1.3.1.5.2. modulo 1(asse Y)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	2	6	12
			F1.3.1.5.3. modulo 2(asse X)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	2	6	12
			F1.3.1.5.4. mod.3(asse mandr. di mis.)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	3	6	18
			F1.3.1.5.5. mod.4 (asse tavola rotante)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	3	6	18
			F1.3.1.5.6. mod.5 (asse F, mandr. di lav.)	totale	usura	rottura scheda	blocco modulo	fermo ≤2h	3	6	18

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

F1.3.2. GRUPPO PNEUMATICO	F1.3.2.1. tratt. aria midi	F1.3.3.1.1. pressostato	totale	usura	rotto	nn funz. tratt. aria	fermo ≤2h	1 6	6
			parziale	utilizzo scorretto	alimenta con press. errata	no funz. allarme press.	scarti	2 4	8
		F1.3.2.1.2. regolat.di pressione	totale	usura	alimenta con press. errata	cattiva regolaz. press.	fermo ≤2h	1 6	6
			parziale	utilizzo scorretto	alimenta con press. errata	cattiva regolaz. press.	scarti	4 4	16
	F1.3.2.2. gruppo elettrovalvole basamento (misura - lavorazione)	F1.3.2.2.1. cappello (contr. Elettronico)	totale	usura	rottura gruppo	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
		F1.3.2.2.2. valv. 1 - mov. pinza	parziale	usura	ritardo di movimento	rallentamento movim.	scarti	2 3	6
			totale	usura	nessun movimento	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
		F1.3.2.2.3. valv. 3 - bloc/sbloc staz. di mis.	parziale	usura	ritardo di movimento	rallentamento movim.	scarti	2 3	6
			totale	usura	nessun movimento	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
		F1.3.2.2.4. valv.4 - controspinta	parziale	usura	ritardo di movimento	rallentamento movim.	scarti	2 3	6
			totale	usura	nessun movimento	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
	F1.3.2.2.5. valv. 5 - aspirazione tramoggia	totale	usura	nessun mov. deviatore	nessuna aspirazione	niente	2 1	2	
	F1.3.2.2.6. valv. 6 - libera	-	-	-	-	-	1 1	1	
	F1.3.2.3. gruppo elettrovalvole crociera	F1.3.2.3.1. cappello (contr. Elettronico)	totale	usura	rottura gruppo	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
		F1.3.2.3.2. valvole	intermittente	usura	ritardo di movimento	rallent. mov. rulliera	rallenta	2 3	6
			totale	usura	nessun movimento	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
	F1.3.2.4. gruppo elettrovalvole rulliera	F1.3.2.3.1. cappello (contr. Elettronico)	totale	usura	rottura gruppo	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
		F1.3.2.3.2. valvole	intermittente	usura	ritardo di movimento	rallent. movim. rulliera	rallenta	2 3	6
			totale	usura	nessun movimento	mancata moviment.	fermo ≤2h	2 6	12
	F1.3.2.5. scarico rapido		totale	usura	non svuota l'impianto	niente	niente	1 3	3
totale			usura	lascia aperto impianto	blocco	fermo ≤2h	1 4	4	
totale			usura	non svuota l'impianto	niente	niente	1 1	1	
totale			usura	lascia aperto impianto	blocco	fermo ≤2h	1 6	6	

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

	F1.3.3. GRUPPO TERMINALE OPERATORE	F1.3.3.1. PC Embedded SU400	F1.3.3.1.1. hard disk	totale	usura	rottura	blocco terminale	fermo ≤2h	2 6	12
			F1.3.3.1.2. hardware	totale	usura	rottura	blocco terminale	fermo ≤2h	4 6	24
		F1.3.3.2. Tastiera		totale	usura	rottura	niente	niente	4 1	4
		F1.3.3.3. Mouse		totale	usura	rottura	niente	niente	4 1	4
		F1.3.3.4. Modem		totale	usura	rottura	niente	niente	1 1	1
	F1.3.4. GRUPPO ELETTRICO DI ALIMENTAZIONE	F1.3.4.1. Trasformatore di potenza		totale	usura	interv. protezioni	non va	fermo ≤2h	1 6	6
				totale	usura	non funziona	non va	fermo ≤2h	1 6	6
		F1.3.4.2. Filtro di rete		totale	usura	rottura	saltano differenziali	fermo ≤2h	1 6	6
				totale	usura	non filtra	errori random	fermo ≤2h	1 6	6
		F1.3.4.3. Trasformatore di servizio		totale	usura	intervengono protezioni	non va	niente	1 1	1
				totale	usura	non funziona	non va	niente	1 1	1
F1.3.4.4. Alimentatore 24V			totale	usura	non va	non va elettronica	fermo ≤2h	1 6	6	
F1.3.4.5. Gruppo teleruttori			totale	usura	non funziona	non alimenta	fermo ≤2h	1 6	6	
F1.3.4.6. Gruppo protettori			totale	usura	non funziona	non alimenta	fermo ≤2h	1 6	6	
F1.3.4.7. Sezionatore principale			totale	uso improprio	rottura	non alimenta	fermo ≤2h	2 6	12	
F1.3.4.8. I/O Remoto armadio		F1.3.4.8.1. CPU	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1 6	6	
		F1.3.4.8.2. schede I/O digitali	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1 6	6	
		F1.3.4.8.3. schede I/O analogiche	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1 6	6	
		F1.3.4.8.4. schede con funzioni speciali	totale	usura	rottura scheda	blocco	fermo ≤2h	1 6	6	
F1.3.4.9. Contatore di servizio			totale	usura	non funziona	-	niente	1 1	1	
F1.3.4.10. Fila di comandi(ext. ant.)		totale	usura	non funziona	comandi non funzionanti	fermo ≤2h	1 6	6		
F1.3.4.11. Lampada di illuminazione		totale	usura	non funziona	mancata illuminazione	regolazione	3 2	6		
F1.4. SISTEMA DI	F1.4.1. GRUPPI BLOCCA PORTE	F1.4.1.1. bloc. porta frontale sx.		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4 6	24
						rottura	non blocco/sblocco	fermo	1 6	6
			totale	usura						6

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

SICUREZZA							≤2h				
	F1.4.1.2. bloc.porta frontale dx.		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.1.3. bloc.porta laterale sx./1		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.1.4. bloc.porta laterale sx./2		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.1.5. bloc.porta laterale dx./1		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.1.6. bloc.porta laterale dx./2		totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	4	6	24	
			totale	usura	rottura	non blocco/sblocco	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.2. GRUPPI EMERGENZA	F1.4.2.1. pulsante accesso frontale		totale	usura	rottura	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6
				totale	usura	circ. sempre aperto/chiuso	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6
F1.4.2.2. pulsante accesso lateral. sx.			totale	usura	rottura	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
			totale	usura	circ. sempre aperto/chiuso	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
F1.4.2.3. puls. accesso lateral. dx./1			totale	usura	rottura	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
			totale	usura	circ. sempre aperto/chiuso	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
F1.4.2.4. puls. accesso lateral. dx./2			totale	usura	rottura	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
			totale	usura	circ. sempre aperto/chiuso	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
F1.4.2.5. pulsante monitor			totale	usura	rottura	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
			totale	usura	circ. sempre aperto/chiuso	anomalia	fermo ≤2h	1	6	6	
F1.4.3. CENTRALINA DI SICUREZZA	F1.4.3.1. generale		totale	usura	rottura	blocco centralina	fermo ≤2h	1	6	6	
	F1.4.3.2. sezionamento assi		totale	usura	rottura	blocco centralina	fermo ≤2h	1	6	6	

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

	F1.4.4. ATTUAZIONE CONTROLLO	F1.4.4.1. pistone destro		totale	usura	fermo pistone	mancata attuazione	fermo ≤2h	1 6	6			
		F1.4.4.2. pistone sinistro		totale	usura	fermo pistone	mancata attuazione	fermo ≤2h	1 6	6			
		F1.4.4.3. valvola apertura		totale	usura	perdita aria	mancata apertura	fermo ≤2h	1 6	6			
		F1.4.4.4. valvola chiusura		totale	usura	perdita aria	mancata chiusura	fermo ≤2h	1 6	6			
F1.5. SISTEMA A CROCIERA	F1.5.1. GRUPPO MECCANICO DI ROTAZIONE	F1.5.1.1. gruppo braccio centrale	F1.5.1.1.1. giunto motore		totale	usura	nn trasmette moto	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	3 6	18		
			F1.5.1.1.2. tavola rotante		totale	usura	gioco	movimenti errati	fermo >8h	2 8	16		
			F1.5.1.1.3. motore tavola rotante		totale	usura	rottura motore	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	1 6	6		
					totale	utilizzo scorretto	fermo motore	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	2 6	12		
			F1.5.1.1.4. sensor.crociera posiz.1		totale	usura	non legge	nn control.croc.+mancata mov.	fermo 2h<x≤8h	3 7	21		
					totale	utilizzo scorretto	non legge	nn control.croc.+mancata mov.	fermo 2h<x≤8h	4 7	28		
			F1.5.1.1.5. sensor.extra corsa crociera		totale	usura	non legge	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	3 6	18		
					totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	4 6	24		
			F1.5.1.1.6. sensor.crociera posiz.3		totale	usura	non legge	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	3 6	18		
					totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata movimentaz.	fermo ≤2h	4 6	24		
			F1.5.2. GRUPPO DI PRESA RILASCIO PEZZI	F1.5.2.1. gruppo pinza 1	F1.5.2.1.1. pinza		totale	usura	non fa presa	mancata presa/rilascio	fermo 2h<x≤8h	3 7	21
					F1.5.2.1.2. griffe		totale	usura	non fa presa	mancata presa/rilascio	fermo 2h<x≤8h	3 7	21
	F1.5.2.1.3. slitta				totale	usura	no movim.attuatori	mancata movimentaz.pz.	fermo 2h<x≤8h	3 7	21		
	F1.5.2.1.4. sensore pinza alto				totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3 6	18		
		totale			utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4 6	24			
F1.5.2.1.5. sensore pinza basso		totale			usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3 6	18			
		totale			utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4 6	24			
F1.5.2.1.6. sensore pinza aperta		totale			usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3 6	18			
		totale	utilizzo	non legge	mancata presa/rilascio	fermo	4 6	24					

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

					scorretto			≤2h			
			F1.5.2.1.7. sensore pinza chiusa	totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4	6	24
		F1.5.2.2. gruppo pinza 2	F1.5.2.2.1. pinza	totale	usura	non fa presa	mancata presa/rilascio	fermo 2h<x≤8h	3	7	21
			F1.5.2.2.2. griffe	totale	usura	non fa presa	mancata presa/rilascio	fermo 2h<x≤8h	3	7	21
			F1.5.2.2.3. slitta	totale	usura	no movim.attuatori	mancata movimentaz.pz.	fermo 2h<x≤8h	3	7	21
			F1.5.2.2.4. sensore pinza alto	totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4	6	24
			F1.5.2.2.5. sensore pinza basso	totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4	6	24
			F1.5.2.2.6. sensore pinza aperta	totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3	6	18
				totale	utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4	6	24
			F1.5.2.2.7. sensore pinza chiusa	totale	usura	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	3	6	18
		totale		utilizzo scorretto	non legge	mancata presa/rilascio	fermo ≤2h	4	6	24	
	F1.5.3. GRUP. GEST.REMOTA CROCIERA	F1.5.3.1. gruppo gestione input		totale	usura	rottura gruppo	mancata movimentazione	fermo ≤2h	2	6	12
		F1.5.3.2. cavo interconnessione		totale	usura	no trasm. dati/potenz.	mancata movimentazione	fermo ≤2h	3	6	18
F1.6. RULLIERA DI CARICO/ SCARICO	F1.6.1. GRUPPO DI MOVIMENTAZ. PEZZI	F1.6.1.1. gruppo di rulliere	F1.5.1.1.1. rulli di trasporto	-	-	-	-	-	1	1	1
				-	-	-	-	-	1	1	1
			F1.5.1.1.2. catena di trasmiss.	-	-	-	-	-	1	1	1
				-	-	-	-	-	1	1	1
			F1.5.1.1.3. motore rulliera	totale	usura	rottura motore	ferma rulliera	fermo 2h<x≤8h	1	7	7
	F1.6.2. GRUPPO DI RILEVAMENT. PEZZI	F1.6.2.1. fotocel.singulariz.spezza-coda	F1.6.2.1.1. fotocellula	totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3	6	18
				intermitt ente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
				intermitt	utilizzo	non funziona	nn legge/legge sempre il	rallenta	4	3	12

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

				ente	scorretto		pz.						
				F1.6.2.1.2. catarifrangente	intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12	
					intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12	
				F1.6.2.2. fotocel. presenzF1. pz.alimentaz.	F1.6.2.2.1. fotocellula	totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3	6	18
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
					F1.6.2.2.2. catarifrangente	intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
				F1.6.2.3. fotocel. catena di alim. piena	F1.6.2.3.1. fotocellula	totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3	6	18
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
					F1.6.2.3.2. catarifrangente	intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
						intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12
				F1.6.3. GRUPPO DI ARRESTO PEZZO	F1.6.3.1. sist. pneumat.di arresto pz.	F1.6.3.1.1. pistone	intermittente	usura	movim. nn corretto	mancato arresto	produz.nn conf.	2	9
totale	usura	fermo pistone	mancato arresto				fermo ≤2h	2	6	12			
F1.6.3.1.2. sensore	totale	usura	non legge			mancato arresto	fermo ≤2h	3	6	18			
	totale	utilizzo scorretto	non legge			mancato arresto	fermo ≤2h	4	6	24			
F1.6.3.2. sist.pneumat.spezza coda	F1.6.3.2.1. pistone	totale	usura		fermo pistone	mancato arresto	fermo ≤2h	2	6	12			
F1.6.3.2. gruppo di gest. rulliere	F1.6.3.2.1. gruppo di gestione input	totale	usura		rottura gruppo	mancata movimentazione	fermo ≤2h	2	6	12			
F1.7. RULLIERA DI CARICO/ SCARICO	F1.7.1. GRUPPO DI MOVIMENTAZ. PEZZI	F1.7.1.1. gruppo di rulliere	F1.7.1.1.1. rulli di trasporto		-	-	-	-	-	1	1	1	
					-	-	-	-	-	1	1	1	
	F1.7.2. GRUPPO DI RILEVAMENT. PEZZI	F1.7.2.1. fotocel.singolariz.spezza-coda	F1.7.2.1.1. fotocellula	totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3	6	18		
				intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4	3	12		

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

		F1.7.2.1.2. catarifrangente	intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
			intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
			intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
		F1.7.2.2. fotocel. Catena di scarto piena	F1.7.2.2.1. fotocellula	totale	usura	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	fermo ≤2h	3 6	18	
				intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12	
				intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12	
				F1.7.2.2.2. catarifrangente	intermittente	utilizzo scorretto	non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12
		intermittente	utilizzo scorretto		non funziona	nn legge/legge sempre il pz.	rallenta	4 3	12		
		F1.8. SOFTWARE	F1.8.1. HMI (Human machine interface)	F1.8.1.1. software macchina	-	-	-	-	-	1 1	1
				F1.8.1.2. sistema operativo	-	-	non funziona	non funziona	fermo ≤2h	4 6	24
F1.8.1.3. dati	-			-	non funziona	non funziona	fermo ≤2h	3 6	18		
F1.8.1.4. database di supporto	-			-	non funziona	non funziona	fermo ≤2h	3 6	18		

2.4 Individuazione dei componenti critici attraverso l'analisi FMECA

La ricerca dei componenti critici è stata effettuata a partire dal valore di rischio R calcolato come prodotto tra severità e occorrenza del guasto. In realtà, poiché è molto complesso elaborare le scale in modo da poter sintetizzare con un solo indice le due indicazioni provenienti da O e S, si è preferito rappresentare su una matrice bidimensionale questi valori.

La matrice è stata poi suddivisa in aree ipotizzando per ogni zona una possibile tipologia di interventi.

Tabella 9 - Matrice di rischio

Occorrenza	4	4	8	12	16	24	28	32	36	
	3	3	6	9	12	18	21	24	27	
	2	2	4	6	8	12	14	16	18	
	1	1	2	3	4	6	7	8	9	
		1	2	3	4	6	7	8	9	
		Severità								

Area gialla: i componenti per i quali il solo valore di O è elevato possono essere considerati materiali di consumo, ma solo nel caso in cui la causa è associata ad una rottura.

Tabella 10 – Componenti compresi nell'area gialla della matrice di rischio

Codice FMECA	Nome	Posizione
F1.3.2.1.2	regolatore di pressione	controllo, pneumatico
F1.2.3.1	sensore per il rilevamento del tocco	lavorazione, tocco
F1.2.2.5	utensile	lavorazione, testa di lavorazione
F1.7.2.2.2	catarifrangente	rulliera scarto
F1.6.2.3.2	catarifrangente	rulliera c\s
F1.1.4.1.2	catarifrangente	misura, rilev pezzo
F1.6.2.1.2	catarifrangente	rulliera c\s
F1.7.2.1.2	catarifrangente	rulliera scarto
F1.6.2.2.2	catarifrangente	rulliera c\s
F1.1.1.8.1	filtri	misura, pressurizzazione

Area rosa: i componenti per i quali si rileva il valore massimo di severità, ma con una occorrenza molto bassa, sono semplicemente da controllare in modo continuativo in modo da evitare il guasto che, pur essendo molto poco probabile, può portare a conseguenze molto rilevanti dal punto di vista economico. Inoltre per questi componenti una stima lievemente diversa dell'occorrenza potrebbe cambiare di molto il valore del rischio a loro associato; anche per questa ragione è utile tenerli sotto controllo.

Tabella 11 – Componenti compresi nell'area rosa della matrice di rischio

Codice FMECA	Nome	Posizione
F1.6.3.1.1	pistone	rulliera c\s, arresto pezzo
F1.1.3.1	trasduttore di rilevamento squilibrio su piano 1	misura
F1.1.3.2	trasduttore di rilevamento squilibrio su piano 2	misura
F1.1.3.3	lamelle di supporto destro	misura
F1.1.3.4	lamelle di supporto sinistro	misura

Area rossa: il componente è invece definito critico quando la combinazione di severità ed occorrenza porta ad un valore elevato di rischio. Questi sono i componenti che andranno a far parte della lista ricambi.

Tabella 12 – Componenti compresi nell'area rossa della matrice di rischio

Codice FMECA	Nome	Posizione
F1.5.1.1.4	Sensore crociera posizione 1	crociera, rotazione
F1.2.1.1.3	inserto (<i>delle pinze di bloccaggio</i>)	lavorazione, bloccaggio pezzo
F1.2.4.1.5	sensore fine corsa min	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.1.6	sensore fine corsa max	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.1.7	cinghia	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.2.5	sensore fine corsa min	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.2.6	sensore fine corsa max	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.2.7	cinghia	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.3.5	sensore fine corsa min	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.3.6	sensore fine corsa max	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.3.7	cinghia	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.5.1.2	sensore posizione di riposo	lavorazione, contropinta
F1.2.5.1.3	sensore posizione di lavoro	lavorazione, contropinta
F1.3.3.1.2	hardware	terminale operatore
F1.5.1.1.5	Sensore extra corsa crociera	crociera, rotazione

F1.5.1.1.6	Sensore crociera posizione 3	crociera, rotazione
F1.5.2.1.4	Sensore pinza alto	crociera, pinze
F1.5.2.1.5	Sensore pinza basso	crociera, pinze
F1.5.2.1.6	Sensore pinza aperta	crociera, pinze
F1.5.2.1.7	Sensore pinza chiusa	crociera, pinze
F1.5.2.2.4	Sensore pinza alto	crociera, pinze
F1.5.2.2.5	Sensore pinza basso	crociera, pinze
F1.5.2.2.6	Sensore pinza aperta	crociera, pinze
F1.5.2.2.7	Sensore pinza chiusa	crociera, pinze
F1.6.3.1.2	sensore	rulliera c\s, arresto pezzo
F1.1.1.3	cinghia mandrino di misura	misura
F1.1.2.1	sensore di sincronismo	misura
F1.2.1.4	sensore pinza bloccaggio aperta	lavorazione, bloccaggio pezzo
F1.2.1.5	sensore pinza bloccaggio chiusa	lavorazione, bloccaggio pezzo
F1.2.1.6	sensore gruppo lavoro	lavorazione, bloccaggio pezzo
F1.2.1.7	sensore gruppo riposo	lavorazione, bloccaggio pezzo
F1.2.2.4	sensore di rotazione	lavorazione, testa di lav
F1.4.1.1	bloccaggio porta accesso frontale SX	sicurezza, blocca porte
F1.4.1.2	bloccaggio porta accesso frontale DX	sicurezza, blocca porte
F1.4.1.3	bloccaggio porta accesso laterale sinistro SX	sicurezza, blocca porte
F1.4.1.4	bloccaggio porta accesso laterale sinistro DX	sicurezza, blocca porte
F1.4.1.5	bloccaggio porta accesso laterale destro 1	sicurezza, blocca porte
F1.4.1.6	bloccaggio porta accesso laterale destro 2	sicurezza, blocca porte
F1.8.1.2	Sistema operativo	software
F1.2.4.1.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.2.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione assi
F1.2.4.3.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione assi
F1.5.2.1.1	pinza	crociera, pinze
F1.5.2.1.2	griffe	crociera, pinze
F1.5.2.1.3	slitta	crociera, pinze
F1.5.2.2.1	pinza	crociera, pinze
F1.5.2.2.2	griffe	crociera, pinze
F1.5.2.2.3	slitta	crociera, pinze
F1.2.2.7	cavo segnale/potenza	lavorazione, testa di lavorazione
F1.2.5.2	cavo presa multipla sensori	lavorazione, ausiliari
F1.1.4.1.1	fotocellula	misura, rilevamento pezzo
F1.3.1.5.4	modulo 3 (asse mandrino di misura)	modulo A90
F1.3.1.5.5	modulo 4 (asse tavola rotante)	modulo A90
F1.3.1.5.6	modulo 5 (asse F mandrino di lavorazione)	modulo A90
F1.5.1.1.1	giunto motore	crociera, braccio centrale
F1.6.2.1.1	fotocellula	rulliera c\s, rilevamento pezzi
F1.6.2.2.1	fotocellula	rulliera c\s, rilevamento pezzi
F1.6.2.3.1	fotocellula	rulliera c\s, rilevamento pezzi
F1.6.3.1.1	pistone	rulliera c\s, arresto pezzo

F1.7.2.1.1	fotocellula	rulliera scarto
F1.7.2.2.1	fotocellula	rulliera scarto
F1.3.1.2	ventole di raffreddamento esterne	A90
F1.5.3.2	cavo interconnessione	crociera
F1.8.1.3	Dati	software
F1.8.1.4	Database di supporto	software

2.4.1 Descrizione dei ricambi principali e loro criticità

F1.1.1.3 - F1.2.4.1.7 - F1.2.4.2.7 - F1.2.4.3.7 nelle stazioni di misura e lavorazione

Le cinghie di trasmissione montate sulla macchina possono essere a tutti gli effetti considerate materiale di consumo. Rottura per normale usura a parte, il loro ipotensionamento o ipertensionamento (il primo dovuto allo stress al quale è sottoposta ed il secondo dovuto più probabilmente ad errori di regolazioni e montaggio) possono causare vibrazioni o fermi. Per mantenere le cinghie in perfetta efficienza è d'obbligo un controllo visivo periodico, magari associato ai controlli effettuati ad inizio turno.

F1.1.4.1 nella stazione di misura

F1.6.2.1 - F1.6.2.2 - F1.6.2.3 - F1.7.2.1 - F1.7.2.7 nella rulliera di carico/scarico

Per quanto riguarda le accoppiate fotocellula/catarifrangente, le cause di guasto più comuni sono il disallineamento e la sporcizia accumulata su uno dei due. In entrambi i casi, pulizie e controlli con eventuali riposizionamenti o regolazioni ad inizio turno sono il modo migliore per tenere sotto controllo questi malfunzionamenti. Oltre ad inizio turno, è buona norma compiere queste operazioni ogni qual volta si effettuano sulle macchine manutenzioni ordinarie e straordinarie.

F1.1.1.1 nella stazione di misura

L'usura dei cuscinetti del mandrino di misura fa vibrare l'intera stazione di misura falsando potenzialmente tutte le misurazioni. Se per grosse vibrazioni dovute ad un'usura elevata le misure risultano palesemente sfalsate, per piccole entità è più facile effettuare un controllo con un campione (la cui misura è nota e con un'incertezza molto bassa) per poter scoprire il guasto a tempo debito.

F1.1.1.7.1 - F1.1.1.7.2 – F1.1.1.7.3 nella stazione di misura

Nell'adattatore, similmente al caso dei cuscinetti del mandrino, l'usura dei suoi componenti rende difficoltosa la misura in quanto rende impossibile il corretto blocco dei pezzi. Considerando che i pezzi da misurare e lavorare sono tendenzialmente più leggeri rispetto alla macchina ed a questi componenti, una loro precoce usura è più probabilmente dovuta a fenomeni quali impatti o errate movimentazioni (ad esempio in relazione ad una macchina a caricamento manuale). Come per il caso dei cuscinetti la misura d un pezzo campione potrebbe mettere in risalto una incipiente usura.

F1.2.1.8.1 – F1.2.1.8.2 nella stazione di lavorazione

Nella guida di posizionamento del bloccaggio pezzo, un non perfetto allineamento tra la slitta ed il pattino che portano la pinza di bloccaggio ne rallenta il suo movimento e conseguentemente la lavorazione (peggioramento in termini di tempo ciclo). A parte il caso di rottura di uno dei due, per il quale la parte perde tutta la sua funzionalità, è possibile monitorare la perdita di prestazioni semplicemente misurando la durata del posizionamento della pinza, magari effettuando questa operazione all'interno di un ciclo test.

F1.2.3.1 nella stazione di lavorazione

Il sensore di rilevamento del tocco serve come feedback alla macchina per avere un'ulteriore conferma di quando la testa di lavorazione raggiunge il pezzo. Senza questo la macchina dovrebbe basarsi unicamente sulle geometrie degli assi di lavorazione. Un suo non funzionamento lascerebbe alla lavorazione più incertezza e di conseguenza la possibilità di scarti. Se per riconoscerne la rottura sarebbe sufficiente un controllo manuale, per trovare un'eventuale staratura o cattiva regolazione, è opportuno controllare questo componente durante un ciclo test con un pezzo campione di geometrie note.

F1.2.4.1 - F1.2.4.2 – F1.2.4.3 nella stazione di lavorazione

I tre gruppi di movimentazione degli assi sono uguali tra loro in termini di componenti. L'unica differenza sta nel diverso utilizzo di uno di loro, l'asse verticale, che rimane fermo per tutta la durata delle lavorazioni su di un lotto: con una fresa sulla testa di lavorazione, la quota della testa stessa rimane sempre la stessa fino a che il pezzo da lavorare non cambia forma. Detto questo, le seguenti considerazioni varranno per i tre assi con la sola particolarità che per

l'asse verticale i fenomeni di usura saranno molto più lenti.

La coppia slitta/pattino si comporta similmente alla guida di posizionamento (F1.2.1.8.1 – F1.2.1.8.2).

Il cavo di segnale/potenza può essere affetto da ossidazione (principalmente i suoi contatti) che causa un rumore sul segnale elettrico e quindi una non corretta o non continuativa trasmissione dei dati. Considerando che la loro sostituzione non è immediata (vanno smontati parzialmente gli assi per cambiarli) è d'obbligo effettuare test di trasmissione e pulizia dei contatti in modo da eventualmente intervenire con la sostituzione quando la macchina è ferma già per altri motivi.

F1.2.5.2 nella stazione di lavorazione

La presa multipla sensori si comporta similmente ai cavi di segnale/potenza per quanto riguarda l'ossidazione dei contatti. Dei controlli periodici possono essere utili per tenere sotto controllo la degenerazione.

F1.3.1.1 – F1.3.1.2 nella stazione di controllo

Lo scambiatore di calore e le ventole di raffreddamento esterne in condizioni ambientali non estreme (temperature normali e poca sporcizia come polvere o liquidi) sono sovradimensionate. Urti o movimentazioni non effettuate a regola, essendo le ventole molto leggere, possono causarne squilibri che portano velocemente ad un cattivo raffreddamento.

Se per ovviare ad un malfunzionamento dello scambiatore di calore può essere sufficiente aprire la macchina per far meglio girare aria, per compensare un non funzionamento delle ventole esterne è necessaria una ventilazione forzata. Entrambi questi espedienti devono essere temporanei e pertanto non possono essere risolutivi: entrambi portano ad accumulare polverosità all'interno del gruppo elettronico.

F1.4.1 nel sistema di sicurezza

I blocchi porta per le macchine manuali durano molto poco tempo alle condizioni ipotizzate per la macchina in esame (poco più di un anno). Questo perché nelle macchine manuali le porta di sicurezza vanno aperte per ogni caricamento e per ogni scaricamento di un pezzo. Con i ritmi produttivi che una macchina (anche manuale) può raggiungere e considerando che l'apertura e la chiusura della porta in condizioni di stress e alienazione dell'operatore non sono le migliori per i deboli componenti di una porta di questo genere non è difficile

ipotizzare una vita molto breve di questi bloccaporta. Date queste considerazioni, è possibile pensare ad un controllo con eventuale sostituzione almeno di frequenza semestrale per macchine manuali.

F1.5.1.1.2 nel sistema a crociera

La tavola rotante è un componente che svolge una funzione simile a quella dei sopracitati pattino/slitta, con la differenza che in questo caso il movimento è rotazionale e serve per spostare i pezzi all'interno della macchina (per macchina automatiche o semiautomatiche). È un unico componente, e non separato come nei casi precedenti, perché è più complesso e venduto come pezzo unico. Un sub-componente interno usurato potrebbe rendere impossibili i movimenti della crociera e quindi i movimenti dei pezzi tra le stazioni: in queste condizioni il sistema a crociera va sostituito completamente.

. Questa operazione è molto lunga poiché il componente è poco raggiungibile ed è possibile smontarlo solo dopo aver smontato tutti le altre parti che la tavola normalmente muove. A causa della lunghezza di questa operazione, è opportuno effettuarla assieme ad altri interventi quando la macchina è ferma.

F1.6.3.1 nelle rulliere carico/scarico/scarti

Quando il pistone di arresto pezzo non svolge più la sua funzione correttamente, è possibile che i pezzi in coda per essere misurati e lavorati passino direttamente nella parte di scarico della macchina (nel caso di una macchina automatica). In caso di rottura del pistone o del sensore, il sistema a bordo macchina se ne accorge ed è possibile sostituire la parte, ma se non si arriva a rottura del pistone, esiste la possibilità, seppur remota, che siano mandati avanti pezzi non lavorati certamente non conformi. Solo l'intervento dell'operatore che ferma la macchina può evitare questo problema: è quindi necessario inserire questo controllo nei cicli test e nei controlli visivi (anche ad inizio turno) per minimizzare il possibile danno che questo guasto può causare.

Capitolo 3

Definizione della lista ricambi consigliata per la macchina BVK4

3.1 I ricambi consigliati secondo analisi FMECA e l'attuale lista ricambi di BS (situazione AS-IS)

I ricambi che l'analisi FMECA consiglia sono quelli presentati nelle tabelle 10, 11 e 12 del paragrafo 2.4.

La lista ricambi che l'azienda propone, la situazione AS-IS, è invece quella riportata nella seguente:

Tabella 13 – Lista ricambi AS-IS, come proposta da Balance Systems

Codice Balance Systems	Descrizione	Funzione
XXXXXXXX3A004XX0	griffa	Crociera: Chiude il pezzo per il trasporto nelle varie stazioni
XXXXXXXXMBBW0576	bussola per mandrini	Stazione di misura: trascinamento pezzo in rotazione
XXXXXXXX5B090000	mandrino	Stazione di misura: trascinamento pezzo in rotazione
XXXXXXXX7B001040	pastiglia/inserto	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXX4C055000	distanziale	Stazione di misura: posizionamento pezzo
XXXXXXXX00033-	motore brushless	Stazione di Misura: rotazione mandrino di misura
XXXXXXXXBR000361	motore brushless	Crociera: movimentazione tavola rotante
XXXXXXXXBR000370	motore brushless	Stazione di foratura: movimentazione asse X, Y
XXXXXXXXBR000371	motore brushless	Stazione di foratura: movimentazione asse W
XXXXXXXXBR00040-	motore brushless	Stazione di foratura: rotazione mandrino foratura
XXXXXXXX150755X	cinghia asse	Stazione di Misura: movimentazione asseZ

XXXXXXXXXB250780X	cinghia asse	Stazione di foratura: movimentazione asse X, Y e W
XXXXXXXXX5052201 5	coppia cuscinetti	Stazione di Foratura: supporto viti RDS assi X, Y e W
XXXXXXXXX11502020	coppia cuscinetti	Stazione di misura: mandrino di misura
XXXXXXXXX5047X012	cuscinetto	Stazione di Foratura: supporto puleggia assi X, Y e W
XXXXXXXXXT0000096	Modulo 16 ingressi	Crociera: Gruppo ingressi 0-15 Catena: Gruppo ingressi 0-15
XXXXXXXXX00000030	terminatore	Armadio: Separatore di alimentazione per moduli ingressi/uscite remoti
XXXXXXXXX00000035	Terminale 2 output	Armadio: Modulo 2 uscite
XXXXXXXXX00000039	accoppiatore CAN-OPEN E4B30	Armadio: Modulo CPU di controllo ingressi/uscite remoti
XXXXXXXXX00000067	Terminale 8 input	Armadio: Modulo 8 ingressi
XXXXXXXXX00000068	Terminale 8 output	Armadio: Modulo 8 uscite
XXXXXXXXX10CNMCFU	Punta elicoidale diam.10mm	Stazione di Foratura: punta foro spia
XXXXXXXXX13CNMCFU	Punta elicoidale diam.13mm	Stazione di Foratura: punta foro equilibratura
XXXXXXXXXXXX8487A0	Guarnizione	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXXXX31 06A0	Guarnizione	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXX45V687T0	Guarnizione	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX0003106X	OR	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXX0008487X	OR	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXX00000091	Alimentatore Trifase 24V 20A	Armadio: Alimentazione elettronica di controllo, attuatori
XXXXXXXXXC0000030	Terminale Video SU400	PC: PC interfaccia operatore
XXXXXXXXX00000000	Controllo 6 assi serie A90	Stazione di foratura: Elettronica di processo e di controllo potenza dei motori e misura squilibrio
XXXXXXXXX40000000	Manovella terminale	Terminale video: Manovella per movimentazione manuale assi
XXXXXXXXX40000001	Scheda manovella terminale	Terminale video: Scheda interfaccia per manovella
XXXXXXXXXST00012	Sensore PNP	Stazione di foratura: Morsa aperta/chiusa, morsa posizione lavoro/riposo, contrasto morsa in pos. lavoro/riposo

Claudio Calloni - Analisi FMECA applicata ad una macchina equilibratrice

XXXXXXXXST00043	Proximity PNP	Crociera: Pinza 1 e 2 alto/basso
XXXXXXXX0000007	Fotocellula	Stazione di foratura: presenza pezzo Catena alimentazione: presenza pezzo
XXXXXXXXL0000001	Sensore PNP M8X1	Stazione di foratura: Sensore bocchetta deviazione aspirazione Crociera: posizione 1 e 3
XXXXXXXXL0000005	Sensore PNP M8X1	Stazione di Misura: Sensore lettura giri
XXXXXXXXL0000032	Proximity PNP NC M8X1	Stazione di foratura: Reset asse Y - X - W Massima corsa asse X e W. Massima profondità asse Y Crociera: sensore extracorsa
XXXXXXXXL0000044	Proximity PNP M8X1	Crociera: Pinza 1 e 2 aperta/chiusa
XXXXXXXXF0000001	Sensore 4mm	Stazione di misura: pinza (controllo bloccaggio del pezzo)
XXXXXXXXS0000002	Indicatore laser	Stazione di foratura: riferimento per operazione di calibrazione
XXXXXXXX4C003000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse W
XXXXXXXX4C010000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X
XXXXXXXX4C011000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X
XXXXXXXX4C012000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse W
XXXXXXXX1A003000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y
XXXXXXXX1A003010	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y
XXXXXXXXCDC02000	Trasduttore di vibrazioni	Stazione di Misura: Rilevamento squilibrio
XXXXXXXXULT03010	Trasduttore Ultrasuoni 3 mt	Stazione di Foratura: sensore per determinare il punto zero di tocco delle punte
XXXXXXXX4A00500	Vite e chiocciola ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X e W
XXXXXXXX4A015XX	Guida con pattini ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X e W
XXXXXXXX1A015XX	Guida con pattini ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y
XXXXXXXX1B00100	Vite e chiocciola ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y
XXXXXXXX2016CT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo

XXXXXXXXX18026NT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX26026NT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX7B00900	Cuneo	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX0R16-064	Molla	Stazione di Misura: gruppo sblocco
XXXXXXXXX00T31340	Molla	Stazione di Foratura: richiamo bocchetta aspirazione
XXXXXXXXX00TT31390	Molla	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX0M15F25L	Riduttore	Crociera: riduttore per tavola rotante
XXXXXXXXX024X015	Rotella	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX0TA250AX	Tavola rotante	Crociera: rotazione crociera
XXXXXXXXX00000022	Filtro aspiratore	Aspiratore: filtro per aspiratore CFM T37
XXXXXXXXX160C1B8X	Pinza autocentrante a 3 griffe	Crociera: pinze di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXX50DNMNF0	Cilindro pneumatico	Pinze di bloccaggio: comando avanzamento pinze
XXXXXXXXX20DNMFF0	Cilindro pneumatico	Contrasto: comanda il contrasto del pezzo
XXXXXXXXX00UFMDF0	Unita' lineare	Crociera: movimentazione verticale pinze
XXXXXXXXX20DNMNF0	Cilindro pneumatico	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo

3.2 Commento alle differenze tra la situazione AS-IS e la soluzione proposta

Innanzitutto bisogna dire che la lista ricambi presente in azienda è stata definita senza alcun riferimento alla scomposizione fino a qui presentata in quanto precedente ad essa.

Per questo motivo, il confronto tra le due liste deve essere effettuato su vari livelli per distinguere le varie possibilità. Nei seguenti paragrafi sono presentate e commentate, dove necessario, le differenze.

3.2.1 Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate nella FMECA

In tabella sono mostrati quei ricambi forniti al cliente che però non sono state

considerate nella scomposizione.

Tabella 14 – Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate nella FMECA

Codice BS	Descrizione	Posizione
XXXXXXXXXXMBBW0576	bussola per mandrini	Stazione di misura: trascinamento pezzo in rotazione
XXXXXXXXXX4C055000	distanziale	Stazione di misura: posizionamento pezzo
XXXXXXXXXX5052201 5	coppia cuscinetti	Stazione di Foratura: supporto viti RDS assi X, Y e W
XXXXXXXXXX11502020	coppia cuscinetti	Stazione di misura: mandrino di misura
XXXXXXXXXX5047X012	cuscinetto	Stazione di Foratura: supporto puleggia assi X, Y e W
XXXXXXXXXX8487A0	Guarnizione	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXX31 06A0	Guarnizione	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXX45V687T0	Guarnizione	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX0003106X	OR	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXX0008487X	OR	Stazione di misura: per cilindro di sblocco
XXXXXXXXXX40000000	Manovella terminale	Terminale video: Manovella per movimentazione manuale assi
XXXXXXXXXX40000001	Scheda manovella terminale	Terminale video: Scheda interfaccia per manovella
XXXXXXXXXXS0000002	Indicatore laser	Stazione di foratura: riferimento per operazione di calibrazione
XXXXXXXXXX2016CT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX18026NT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX26026NT0	Bussola	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX0R16-064	Molla	Stazione di Misura: gruppo sblocco
XXXXXXXXXX00T31340	Molla	Stazione di Foratura: richiamo bocchetta aspirazione
XXXXXXXXXX00TT31390	Molla	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX024X015	Rotella	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX00000022	Filtro aspiratore	Aspiratore: filtro per aspiratore CFM T37
XXXXXXXXXX160C1B8X	Pinza autocentrante a 3 griffe	Crociera: pinze di bloccaggio pezzo
XXXXXXXXXX00UFMDF0	Unita' lineare	Crociera: movimentazione verticale pinze

Sono generalmente sotto componenti di altre parti che vengono sostituite in

blocco. Sono fornite come ricambi in quanto a volte il cliente stesso sostituisce la sola sottoparte guasta con un'altra per ripristinare la macchina.

Nel caso invece della manovella del terminale operatore e della sua scheda di interfaccia, non si ha loro traccia nella scomposizione perché componenti non più montati sulle nuove macchine ma presenti su alcuni modelli più vecchi.

L'indicatore laser, utile supporto in fase di calibrazione della macchina, non è montato su tutte le macchine per cui il discorso è simile a quello della manovella.

3.2.2 Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate critiche secondo la FMECA

Qui di seguito vengono riportate le possibili spiegazioni di perché l'azienda propone alcuni ricambi che nella FMECA non è risultato siano critici.

Tabella 15 – Parti in lista ricambi AS-IS ma non considerate critiche secondo la analisi FMECA

Codice BS	Descrizione	Posizione	Codice FMECA
XXXXXXXXX5B090000	mandrino	Stazione di misura: trascinamento pezzo in rotazione	F1.1.1.1
XXXXXXXXX00033-	motore brushless	Stazione di Misura: rotazione mandrino di misura	F1.1.1.2
XXXXXXXXXBR000361	motore brushless	Crociera: movimentazione tavola rotante	F1.5.1.1.3
XXXXXXXXXBR000370	motore brushless	Stazione di foratura: movimentazione asse X, Y	F1.2.4.2.2 – F1.2.4.3.2
XXXXXXXXXBR000371	motore brushless	Stazione di foratura: movimentazione asse W	F1.2.4.1.2
XXXXXXXXXBR00040-	motore brushless	Stazione di foratura: rotazione mandrino foratura	F1.2.2.2
XXXXXXXXXT0000096	Modulo 16 ingressi	Crociera: Gruppo ingressi 0-15 Catena: Gruppo ingressi 0-15	F1.5.3.1 – F1.6.4.1
XXXXXXXXX00000030	terminatore	Armadio: Separatore di alimentazione per moduli ingressi/uscite remoti	F1.3.4.8.2
XXXXXXXXX00000035	Terminale 2 output	Armadio: Modulo 2 uscite	F1.3.4.8.2

XXXXXXXXX00000039	accoppiatore CAN-OPEN E4B30	Armadio: Modulo CPU di controllo ingressi/uscite remoti	F1.3.4.8.2
XXXXXXXXX00000067	Terminale 8 input	Armadio: Modulo 8 ingressi	F1.3.4.8.2
XXXXXXXXX00000068	Terminale 8 output	Armadio: Modulo 8 uscite	F1.3.4.8.2
XXXXXXXXX00000091	Alimentatore Trifase 24V 20A	Armadio: Alimentazione elettronica di controllo, attuatori	F1.3.4.4
XXXXXXXXXF0000001	Sensore 4mm	Stazione di misura: pinza (controllo bloccaggio del pezzo)	F1.1.1.5 – F1.1.1.6
XXXXXXXXX4C003000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse W	F1.2.4.1.1.0
XXXXXXXXX4C010000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X	F1.2.4.2.1.0
XXXXXXXXX4C011000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X	F1.2.4.2.1.0
XXXXXXXXX4C012000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse W	F1.2.4.1.1.0
XXXXXXXXX1A003000	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y	F1.2.4.3.1.0
XXXXXXXXX1A003010	Soffietto	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y	F1.2.4.3.1.0
XXXXXXXXXULT03010	Trasduttore Ultrasuoni 3 mt	Stazione di Foratura: sensore per determinare il punto zero di tocco delle punte	F1.2.3.1
XXXXXXXXX4A00500	Vite e chiocciola ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X e W	F1.2.4.1.8 – F1.2.4.1.9 F1.2.4.2.8 – F1.2.4.2.9
XXXXXXXXX4A015XX	Guida con pattini ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse X e W	F1.2.4.1.3 – F1.2.4.1.4 F1.2.4.2.3 – F1.2.4.2.4
XXXXXXXXX1A015XX	Guida con pattini ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y	F1.2.4.3.3 – F1.2.4.3.4
XXXXXXXXX1B00100	Vite e chiocciola ricircolo di sfere	Stazione di Foratura: Movimentazione asse Y	F1.2.4.3.8 – F1.2.4.3.9
XXXXXXXXX50DNMNF0	Cilindro pneumatico	Pinze di bloccaggio: comando avanzamento pinze	F1.2.1.2

XXXXXXXXXX20DNMFF0	Cilindro pneumatico	Contrasto: comanda il contrasto del pezzo	F1.2.5.1.1
XXXXXXXXXX20DNMNF0	Cilindro pneumatico	Pinze di bloccaggio: comando di bloccaggio pezzo	F1.2.1.3

Il mandrino di misura non risulta critico per l'analisi, pur avendo un indice di severità pari ad 8, perché l'occorrenza associata alla rottura (in particolare dei suoi cuscinetti) è pari ad 1. Ciò significa che durante le interviste è emerso che i cuscinetti del mandrino di misura, unici componenti che ne possono causare la rottura, hanno una probabilità di guasto molto bassa, in contrasto col fatto che essi compaiono nella lista ricambi consigliata dall'azienda.

In questo caso, quindi, un piccolo errore di valutazione della probabilità di guasto potrebbe aver influito molto sul valore del coefficiente di rischio: con una O al gradino successivo il mandrino sarebbe infatti risultato ancora non critico ma con un valore di R molto prossimo a quello dei componenti critici.

I motori *brushless* montati sulla macchina sono presenti nella lista di Balance Systems anche se per la FMECA non sembrerebbero presentare alcuna criticità: la rottura del motore ha l'occorrenza più bassa, che pur se correlata ad una severità pari a 7, non rende il componente critico; l'altra causa (parametri software errati) è lievemente più frequente ma causa poco più di una microfermata. Considerando i valori di severità più attendibili di quelli di occorrenza, nella prossima revisione dell'analisi sarà opportuno verificare con fonti oggettive i valori delle probabilità di guasto.

I soffietti hanno per l'analisi FMECA un indice di severità pari ad 1: è stato considerato tale valore in quanto l'usura o la rottura (rispettivamente con indice di occorrenza 3 e 2) è vero che permettono a pulviscolo e trucioli di entrare in contatto con le parti in movimento ma non è detto che appena una fessura si apre nel soffietto anche gli organi in movimento si blocchino. Una severità del guasto più alta equivarrebbe ad ammettere che non si debbano sostituire i soffietti fino a che il guasto non si sia propagato anche ad altri componenti.

Per entrambi i cilindri pneumatici si registra un'occorrenza pari a 2 ed una severità di indice 7. Similmente a quanto detto per il mandrino di misura, un errore di valutazione della probabilità di guasto potrebbe aver causato la loro esclusione dai ricambi critici.

Gli altri componenti non citati hanno invece dei valori di criticità e occorrenza molto bassi, per i quali non può valere nessuno dei discorsi accennati in precedenza.

Per questi andrebbe rivista integralmente l'analisi FMECA per individuare se siano state dimenticate alcune cause di guasto o se gli indici siano troppo distanti dalla realtà. Congiuntamente a questo bisognerebbe capire perché sono stati inseriti in lista dall'azienda, se su base della domanda di componenti di ricambio o se anche per motivi più commerciali.

3.2.3 Parti critiche nella FMECA ma non indicate nella lista AS-IS

In questo paragrafo viene spiegato perché alcuni componenti che secondo l'analisi FMECA risultano critici oppure di consumo non sono stati considerati nella lista ricambi AS-IS.

Tabella 16 – Parti critiche nella FMECA ma non indicate nella lista AS-IS

Codice FMECA	Descrizione	Posizione
F1.1.1.8.1	filtri	misura, pressurizzazione mandrino
F1.1.3.3	lamelle di supporto destro	misura, rilevamento squilibrio
F1.1.3.4	lamelle di supporto sinistro	misura, rilevamento squilibrio
F1.2.2.7	cavo segnale/potenza	lavorazione, testa di lavorazione
F1.2.4.1.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione asse W
F1.2.4.2.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione asse X
F1.2.4.3.1	cavo segnale/potenza	lavorazione, movimentazione asse Y
F1.2.5.2	cavo presa multipla sensori	lavorazione, ausiliari
F1.3.1.2	ventole di raffreddamento esterne	controllo, A90
F1.3.1.5.4	modulo 3 (asse mandrino di misura)	controllo, A90
F1.3.1.5.5	modulo 4 (asse tavola rotante)	controllo, A90
F1.3.1.5.6	modulo 5 (asse F mandrino di lavorazione)	controllo, A90
F1.3.3.1.2	hardware	controllo, pneumatico
F1.3.3.2	tastiera	controllo, terminale operatore
F1.5.2.1.1	pinza	crociera, pinza 1
F1.5.2.1.3	slitta	crociera, pinza 1
F1.5.2.2.1	pinza	crociera, pinza 2
F1.5.2.2.3	slitta	crociera, pinza 2
F1.5.3.2	cavo interconnessione	crociera, gestione remota

F1.6.3.1.1	pistone	rulliera carico/scarico, rilevamento pezzi
F1.8.1.2	Sistema operativo	software
F1.8.1.3	Dati	software
F1.8.1.4	Database di supporto	software

I filtri del sistema di pressurizzazione del mandrino di misura, se otturati, rendono inefficiente la pressurizzazione e quindi probabile l'ingresso di contaminanti ambientali all'interno del mandrino. L'occorrenza di questa otturazione è molto alta (la massima possibile nella scala definita) ma la severità, per un discorso simile a quello fatto per i soffiati nel paragrafo precedente è minima. Non risulta quindi nella lista ricambi perché è sufficiente pulire il filtro e non necessita di sostituzione ad ogni otturazione.

Le lamelle di supporto della stazione di misura sono parti strutturali della macchina, il cui dimensionamento è sovrabbondante rispetto alle necessità e perciò la probabilità di un loro guasto è molto piccola; in caso di qualsiasi problema con esse, però, si ha produzione non conforme in quanto le misure potrebbero risultare falsate e non immediatamente riconosciute (accadimento con severità massima, nella scala definita). Non sono presenti nella lista AS-IS molto probabilmente perché anche nella FMECA sono state introdotte nell'analisi solo in un secondo momento perché è stata riconosciuta questa remota possibilità di produzione non conforme e prima di quel momento non si era mai pensato a queste lamelle come ricambi ma solo come supporti, come parti strutturali.

I componenti facenti parte del gruppo A90 non si possono trovare in lista perché la politica aziendale prevedeva la vendita di un modulo A90 completo come ricambio. Normalmente poi il cliente sostituiva la parte completa per poi rimandare in Balance Systems solo il componente da sostituire o revisionare. Questo avrebbe dovuto rendere più rapida la sostituzione e più confortevole la ricerca del componente da sostituire sul modulo completo smontato dalla macchina.

I cavi si segnale e potenza risultano critici in quanto la loro sostituzione non è breve e secondo le interviste la probabilità che si ossidino è elevata. Dato che la sostituzione è indispensabile solo in caso di rottura, la cui probabilità è minima, non sono mai stati considerata dall'azienda come ricambi. In caso di ossidazione dei contatti e conseguente malfunzionamento potrebbe essere sufficiente una loro pulizia e messa a punto invece della sostituzione come segnalato nella tabella della FMECA. Probabilmente è questo il motivo per cui non compaiono nella lista ricambi dell'azienda.

Il *software* di controllo risulta critico per la moltitudine di problemi o *bug* possibili, che però non sono direttamente correlati alla macchina ed alla produzione. Inoltre di un *software* non è possibile fornire un ricambio vero e proprio. Normalmente l'azienda fornisce al cliente un *tool* informatico per la rapida messa a punto e inizializzazione della parte informatica della macchina, considerando questa come una funzionalità aggiuntiva sull'elaboratore piuttosto che come un ricambio.

Pinze e slitte del sistema della crociera sono componenti critici per la FMECA ma non sono nella lista dell'azienda: in questo caso tali componenti non sono considerate parte vere e proprie della macchina ma parte dell'attrezzatura necessaria per ogni tipologia di prodotto che il cliente intende lavorare. Per questo motivo, generalmente, queste parti sono costruite su specifiche del cliente e non ha senso per Balance Systems gestire tutti questi componenti come ricambi, per ogni prodotto di ogni cliente.

3.3 Analisi economica legata alla scelta dei ricambi

A prescindere dal confronto effettuabile tra i componenti presenti nella lista ricambi utilizzata in azienda per la famiglia di macchine BVK4 e quella che risulta dall'analisi FMECA, può essere interessante decidere un metodo standard per definire la gestione dei ricambi a seconda del livello di servizio che il cliente richiede.

Si definiranno quindi dei criteri per stabilire quali ricambi sarà opportuno che il cliente tenga presso il suo magazzino e quali invece possano essere mantenuti a scorta nel magazzino ricambi dell'azienda pronti per essere spediti nel momento del bisogno.

3.3.1 Le diverse esigenze dei clienti

I due scenari base sui quali l'analisi qui di seguito presentata si basa sono i seguenti:

- il cliente tiene presso il proprio magazzino tutti i componenti che l'analisi indica,
- il cliente richiede a Balance Systems ciascun ricambio solo nel momento in cui lo necessita.

Naturalmente nessuna delle due opzioni così come sono state presentate è

percorribile.

La prima è molto dispendiosa per il cliente, come acquisto di componenti e come mantenimento a scorta degli stessi, ma gli fornisce una rapidissima capacità di far fronte ai guasti delle entità critiche, in quanto è sempre in possesso dei ricambi.

La seconda, associata ad una costante disponibilità di ricambi presso il magazzino dell'azienda, permette al cliente di non curare personalmente il magazzino ricambi e di ricevere tramite una spedizione urgente la parte necessaria. In questo caso il cliente risparmierebbe la gestione delle scorte a fronte delle spese di spedizione e del maggiore fermo macchina quando in attesa della spedizione.

La soluzione proposta confronta quindi i due scenari per ogni componente in modo da poter decidere presso quale magazzino sia più conveniente per il cliente tenerlo.

3.3.2 Il modello per la scelta dei ricambi

Verranno confrontati il costo di gestione del singolo ricambio, presso il magazzino del cliente, con il costo di non gestione dello stesso in modo da indicare dove sia più conveniente tenerlo.

Il ricambio qui considerato non è uno specifico “codice FMECA” ma il “codice BS” cui esso corrisponde. Per esempio, essendo montate sulla macchina quattro cinghie di trasmissione uguali, la probabilità che questo componente si guasti è quattro volte la probabilità che il singolo componente si guasti.

I risultati di questa analisi, che sembrano di effettiva utilità per il solo cliente, servono anche all'azienda per poter vedere come poter migliorare il servizio post vendita non considerando come una diversa linea di business la vendita dei ricambi ma integrandola nel *service* da fornire con la vendita della macchina.

Costo di gestione del ricambio

È calcolato come prodotto della probabilità che avvenga il guasto per il costo di ammortamento della macchina, per il tempo di fermo macchina (che avendo il ricambio a magazzino, sarà il tempo di riparazione). A questo sarà aggiunto il costo del ricambio per il tasso di possesso (il costo dell'interesse):

$$C_{gestione} = P \cdot C_{ammortamento} \cdot T_{riparazione} + C_{ricambio} \cdot t_{possesso} \quad (2)$$

Questa formulazione può essere affinata aggiungendo il costo dello spazio a magazzino che la parte occupa: se per un sensore lo spazio necessario può essere ininfluenza, per altre tipologie di ricambi questo potrebbe non essere così piccolo.

Costo di non gestione del ricambio

È invece il prodotto della probabilità che avvenga il guasto per il costo di ammortamento della macchina per il tempo di fermo macchina (che in questo caso comprende tutti i ritardi logistici, gli approvvigionamenti e infine la riparazione). A questo va aggiunto il costo della spedizione.

$$C_{nongestione} = P \cdot C_{ammortamento} \cdot T_{fermomacchina} + C_{spedizione} \quad (3).$$

3.3.3 I dati necessari

Le informazioni generali necessarie, per lo più ricavabili dalle informazioni presenti in azienda, sono le seguenti. Tutti i prezzi sono riferiti ad un costo di vendita della macchina di 100.

Costo di ammortamento della macchina

Necessario per il confronto dei tempi di fermo, è una stima del costo annuo della macchina per un cliente medio. Calcolato come il costo dell'ammortamento fiscale della macchina in 5 anni, è pari a 20.

Numero di ore lavorative annuali per la macchina

Per calcolare il costo orario di “inutilizzo” quando la macchina è ferma e anche per scalare la probabilità di guasto annuale a quella oraria. È ricavabile dalle indicazioni fornite nel paragrafo 2.1.3 della scala dell'occorrenza: la macchina lavora mediamente 200 giorni all'anno, per tre turni al giorno. Secondo queste indicazioni, la macchina lavora 4800 ore all'anno.

Tasso di possesso

Necessario per considerare il costo di mantenimento a scorta dei ricambi da parte del cliente, può essere considerato pari al ROI medio dei clienti, *return on*

investment, ricavabile dai bilanci delle imprese.

A titolo di esempio, è stato considerato il ROI di una grossa azienda, cliente della Balance Systems per il calcolo di questo parametro. Siccome gli ultimi anni sono stati problematici, se non di crisi, per molte aziende, questa condizione si riflette sul valore che serve nell'analisi; nell'ultimo anno disponibile, il 2009, il valore è del 4% mentre nell'anno precedente attorno all'11%. Dal 2005 al 2008, invece, era attorno al 16%. Per evitare di avere l'analisi falsata dalle particolari condizioni economiche del periodo, verranno proposti due scenari con valori diversi di tasso di possesso, fermo restando che il metodo resta lo stesso.

Costo dello spazio a magazzino

Necessario se nel costo di gestione consideriamo anche le dimensioni per pezzo. Presumendo, su indicazione dell'azienda, un costo annuo di 0,00125 al metro cubo (considerando che la macchina sia 100) e considerando le piccole dimensioni della maggior parte dei ricambi, non si ritiene opportuno complicare l'analisi del costo di gestione del ricambio con questa informazione.

Per ognuno dei ricambi considerati, serve invece:

Probabilità di guasto

Non avendo a disposizione dati migliori è ricavabile dalla tabella FMECA. Avendo solo quattro classi differenti, saranno distinti solo quattro livelli di probabilità di guasto. In particolare, per la classe 1 si considera che il guasto possa accadere una volta ogni 15 anni (secondo la scala, sono infatti quei guasti che possono capitare al più una volta nella vita della macchina). Per le altre classi si considera invece il valore medio dell'intervallo, quindi un guasto ogni otto anni per la classe 2, uno ogni quattro anni e mezzo per la 3 e un anno e mezzo per la 4.

Questi quattro livelli, scalati come probabilità oraria di guasto, saranno moltiplicati per il numero di parti con lo stesso codice magazzino montate sulla macchina.

Durata dell'intervento

Similmente alla probabilità di guasto, sarà ricavata dalla tabella FMECA. Non avendo però a disposizione la durata della sostituzione di ciascuna parte ma una generica suddivisione in classi di severità, ad ogni classe verrà associata una

durata media dell'intervento. In particolare viene ipotizzato un intervento di un'ora per tutti gli interventi segnati come più brevi di due ore, sei ore per gli interventi la cui durata è compresa tra due e otto ore e dodici ore per gli altri. Questo valore è esattamente quello considerato per la riparazione, mentre per il tempo di fermo macchina, a questo viene aggiunto il tempo della spedizione urgente.

Tempo di approvvigionamento

Per sapere quanto la macchina è destinata a rimanere ferma in attesa di una parte se non disponibile presso il magazzino Balance Systems. Non è indispensabile in questa parte del lavoro, ma utile per le proposte sviluppate nel capitolo 3.5.

Costo parte

Necessario per calcolare il costo di gestione in quanto il cliente per poter tenere a magazzino la parte dovrebbe acquistarla dall'azienda. Per riservatezza non potranno essere riportati in questo documento se non in riferimento al costo macchina pari a 100.

Dimensioni e peso

Fondamentali per sapere se la parte può essere rapidamente e facilmente spedita, nonché il costo della spedizione stessa. Sarebbe necessario anche per un eventuale calcolo del costo di immagazzinamento.

Il costo della spedizione è stato calcolato per ogni specifico codice, considerando un spedizione con corriere espresso in meno di 48 ore in ogni parte del mondo, il cui costo è la media pesata sulla distribuzione dei clienti dell'azienda nel mondo: un terzo in Europa, un terzo nelle Americhe e un terzo nell'Asia pacifica.

Nella tabella seguente, sono riportati i dati qui esposti, con nascosta l'indicazione del costo, come chiesto dall'azienda.

Tabella 17 – Dati necessari per l'analisi economi cadi confronto tra costi di gestione e di non gestione del ricambio presso il magazzino del cliente

# elementi sulla macchina	Codice FMECA e nome	Codice magazzino	probabilità di guasto cumulata [#h]	T _{riparazione} [h]	Dimensioni		Tempo di approvvigio namento [d]	Prezzo [% costo macchina]
					peso [g]	AxLxP [cm]		
1	F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext	2EVV00000008-1	4,6296E-05	1	100	10x10x5	60	0,0325
1	F1.3.3.1.2. hardware	XXXXXXXXXC000030	0,00013889	1	3000	35x40x15	60	3,1543
1	F1.5.1.1.2. tavola rotante	XXXXXXXXX0TA250AX	2,6042E-05	12	35000	40x30x15	60	4,0688
1	F1.6.3.1.1. pistone	XXXXXXXXX25DNMAF0	2,6042E-05	12	1000	15x100x5	45	0,3606
2	F1.5.2.1.1. - F1.5.2.2.1. pinza	XXXXXXXXX160C1B8X	9,2593E-05	6	22000	18x18x10	60	1,8219
2	F1.5.2.1.2. - F1.5.2.2.2. griffe (tassello)	XXXXXXXXX3A004XX0	9,2593E-05	6	50	12x10x2,5	45	0,4156
2	F1.5.2.1.3. - F1.5.2.2.3. slitta	7C040100UFMDF0	9,2593E-05	6	3000	30x8x13	30	1,2494
2	F1.2.2.7. - F1.2.4.1.1. cavo potenza	9A900070083005	9,2593E-05	6	700	30x30x5	30	0,0938
2	F1.2.4.2.1. - F1.2.4.3.1. cavo segnale	9A900070093005	9,2593E-05	6	700	30x30x5	30	0,0938
1	F1.2.5.2. cavo presa multipla sensori	9A900070022005	4,6296E-05	6	200	20x20x2	30	0,1513
1	F1.5.3.2. cavo interconnessione	2PNECAFST00039	4,6296E-05	1	125	20x20x2	30	0,0981
1	F1.1.2.1. sensore di sincronismo	XXXXXXXXXL000005	4,6296E-05	1	100	10x10x3	30	0,0788
6	F1.2.1.4. - F1.2.1.5. - F1.2.1.6. - F1.2.1.7. -	XXXXXXXXXST00012	0,00027778	1	100	10x10x3	30	0,1156

	F1.2.5.1.2. - F1.2.5.1.3. sensore							
4	F1.2.2.4. - F1.5.1.1.4. - F1.5.1.1.6. - F1.6.3.1.2. sensore	XXXXXXXXXXL0000 001	0,00018519	1	100	10x10x3	30	0,0425
7	F1.2.4.1.5. - F1.2.4.1.6. - F1.2.4.2.5. - F1.2.4.2.6. - F1.2.4.3.5. - F1.2.4.3.6. - F1.5.1.1.5. sensore fine corsa	XXXXXXXXXXL0000 032	0,00032407	1	100	10x10x3	30	0,0338
4	F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. - F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. sensore posizione pinza	XXXXXXXXXXST000 43	0,00018519	1	150	20x20x3	30	0,1819
4	F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. - F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. sensore pinza	XXXXXXXXXXL0000 044	0,00018519	1	100	10x10x3	30	0,0988
6	F1.1.4.1.1. - F1.6.2.1.1. - F1.6.2.2.1. - F1.6.2.3.1. - F1.7.2.1.1. - F1.7.2.2.1. fotocellula	XXXXXXXXXX00000 07	0,00027778	1	75	15x5x5	45	0,0969
6	F1.4.1.1. - F1.4.1.2. - F1.4.1.3. - F1.4.1.4. - F1.4.1.5. - F1.4.1.6. blocco porta	2SMEUCBPE00003	0,00083333	1	450	25x5x5	60	0,2538
4	F1.1.1.3. - F1.2.4.1.7. - F1.2.4.2.7. - F1.2.4.3.7. cinghia	XXXXXXXXXX1507 55X	0,00055556	1	100	10x10x3	15	0,0294

3.4 Definizione della lista da utilizzare per la situazione TO-BE

Non potendo riportare per segretezza i costi dei ricambi forniti dall'azienda, è riportato qui di seguito solamente quali componenti sono quelli che l'azienda consiglia di acquistare direttamente come primo equipaggiamento di ricambi.

Tale scelta sarà effettuata tramite il confronto del costo di gestione con quello di non gestione e nel caso che il primo sia minore del secondo, la parte sarà compresa nella lista ricambi.

Per quanto detto nel capoverso del “Tasso di possesso” del paragrafo 3.3.3, saranno riportati i due scenari citati.

Tabella 18 – Scenario 1: lista ricambi consigliata al cliente ipotizzando un ROI pari al 4%

Codice FMECA e nome	Codice magazzino
F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext	2EVV00000008-1
F1.5.1.1.2. tavola rotante	XXXXXXXXXX0TA250AX
F1.6.3.1.1. pistone	XXXXXXXXXX25DNMAF0
F1.5.2.1.1. - F1.5.2.2.1. pinza	XXXXXXXXXX160C1B8X
F1.5.2.1.2. - F1.5.2.2.2. griffe (tassello)	XXXXXXXXXX3A004XX0
F1.5.2.1.3. - F1.5.2.2.3. slitta	7C040100UFMDF0
F1.2.2.7. - F1.2.4.1.1. cavo potenza	9A900070083005
F1.2.4.2.1. - F1.2.4.3.1. cavo segnale	9A900070093005
F1.2.5.2. cavo presa multipla sensori	9A900070022005
F1.5.3.2. cavo interconnessione	2PNECAFST00039
F1.1.2.1. sensore di sincronismo	XXXXXXXXXXL0000005
F1.2.1.4. - F1.2.1.5. - F1.2.1.6. - F1.2.1.7. - F1.2.5.1.2. - F1.2.5.1.3. sensore	XXXXXXXXXXST00012
F1.2.2.4. - F1.5.1.1.4. - F1.5.1.1.6. - F1.6.3.1.2. sensore	XXXXXXXXXXL0000001
F1.2.4.1.5. - F1.2.4.1.6. - F1.2.4.2.5. - F1.2.4.2.6. - F1.2.4.3.5. - F1.2.4.3.6. - F1.5.1.1.5. sensore fine corsa	XXXXXXXXXXL0000032

F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. - F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. sensore posizione pinza	XXXXXXXXXXST00043
F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. - F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. sensore pinza	XXXXXXXXXXL0000044
F1.1.4.1.1. - F1.6.2.1.1. - F1.6.2.2.1. - F1.6.2.3.1. - F1.7.2.1.1. - F1.7.2.2.1. fotocellula	XXXXXXXXXX0000007
F1.4.1.1. - F1.4.1.2. - F1.4.1.3. - F1.4.1.4. - F1.4.1.5. - F1.4.1.6. blocco porta	2SMEUCBPE00003
F1.1.1.3. - F1.2.4.1.7. - F1.2.4.2.7. - F1.2.4.3.7. cinghia	XXXXXXXXXX150755X

Tabella 19 – Scenario 2: lista ricambi consigliata al cliente ipotizzando un ROI pari al 16%

Codice FMECA e nome	Codice magazzino
F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext	2EVV00000008-1
F1.5.2.1.1. - F1.5.2.2.1. pinza	XXXXXXXXXX160C1B8X
F1.2.2.7. - F1.2.4.1.1. cavo potenza	9A900070083005
F1.2.4.2.1. - F1.2.4.3.1. cavo segnale	9A900070093005
F1.2.5.2. cavo presa multipla sensori	9A900070022005
F1.5.3.2. cavo interconnessione	2PNECAFST00039
F1.1.2.1. sensore di sincronismo	XXXXXXXXXXL0000005
F1.2.1.4. - F1.2.1.5. - F1.2.1.6. - F1.2.1.7. - F1.2.5.1.2. - F1.2.5.1.3. sensore	XXXXXXXXXXST00012
F1.2.2.4. - F1.5.1.1.4. - F1.5.1.1.6. - F1.6.3.1.2. sensore	XXXXXXXXXXL0000001
F1.2.4.1.5. - F1.2.4.1.6. - F1.2.4.2.5. - F1.2.4.2.6. - F1.2.4.3.5. - F1.2.4.3.6. - F1.5.1.1.5. sensore fine corsa	XXXXXXXXXXL0000032
F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. - F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. sensore posizione pinza	XXXXXXXXXXST00043
F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. - F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. sensore pinza	XXXXXXXXXXL0000044

F1.1.4.1.1. - F1.6.2.1.1. - F1.6.2.2.1. - F1.6.2.3.1. - F1.7.2.1.1. - F1.7.2.2.1. fotocellula	XXXXXXXXXX0000007
F1.1.1.3. - F1.2.4.1.7. - F1.2.4.2.7. - F1.2.4.3.7. cinghia	XXXXXXXXXX150755X

Ricapitolando, il prezzo finale per la lista ricambi consigliata secondo l'analisi FMECA, nei due scenari ipotizzati, è questo:

Tabella 20 – Confronto del prezzo globale della lista ricambi consigliata al cliente in funzione dell'ipotesi sul ROI, in percentuale sul costo macchina

scenario	ROI	prezzo lista
1	4%	9,3169%
2	16%	2,9688%

Considerando che qualche componente è montato sulla macchina in più di una posizione, come già detto la probabilità di guasto è maggiore rispetto al caso di singolo componente.

Una possibile estensione è quindi quella di consigliare al cliente di tenere in magazzino più di una parte per far fronte a più guasti di uno stesso codice. Per affinare l'analisi in questa direzione, è necessario tenere conto della probabilità con la quale i guasti avvengono e la sua distribuzione. La distribuzione utile per questo genere di conti è la poissoniana poiché gli eventi di guasto possono essere considerati eventi discreti, indipendenti e rari.

Si introduce quindi una politica di mantenimento a scorta di più di una parte, fornendo quindi un livello di protezione P_s funzione del numero di componenti in magazzino.

$$P_s = \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(q\lambda t)^j \cdot e^{-q\lambda t}}{j!} \quad (4)$$

Dove

- λ tasso di guasto del materiale montato sul bene,
- q numero di materiali montati sul bene,
- t tempo logistico (tempo amministrativo + tempo di approvvigionamento)

- n numero di materiali di ricambio tenuti a stock (come livello obiettivo di reintegro della scorta)

Questa formulazione sarebbe stata utile anche per i conti svolti in precedenza, ma richiede di conoscere il tasso di guasto dei componenti. Tutto il lavoro svolto si basa invece su dati ottenuti da informazioni oggettive, quindi questa via non è stata percorribile.

3.5 Proposta di diverse offerte di ricambi per la macchina BVK4

Un discorso diverso da quello del primo equipaggiamento della macchina, è quello della vendita di ricambi su richiesta del cliente.

Verrà offerta al cliente la possibilità di acquistare ogni ricambio singolo, in qualsiasi momento, ad un prezzo che dipenderà dal livello di servizio che egli necessita.

In particolare si offriranno due possibili livelli di servizio:

Spedizione urgente

Il cliente richiede di avere, entro due giorni, una qualsiasi parte della lista. Per fornire questo servizio, l'azienda deve avere disponibile la parte presso il proprio magazzino per poterla inviare immediatamente tramite una spedizione urgente. Se non presente presso il magazzino dell'azienda, la parte deve comunque trovarsi tra il WIP dell'azienda che consente di prelevare tale parte per l'immediata spedizione.

Il costo di questa opzione dovrà riflettere i costi della spedizione, quelli del mantenimento a magazzino e avere un ricarico tale da disincentivare questa pratica. Il disincentivo della pratica si rende necessario per evitare che un cliente, a conoscenza di questa opzione, la sfrutti pesantemente; così facendo, in azienda si troverebbe a dover far fronte a tutte le emergenze dei clienti, rischiando spesso di andare in *stock-out*, dato che l'obiettivo di questa modalità non quello di fornire un magazzino aggiuntivo per i clienti ma solo una possibilità in più per gestire le emergenze.

$$C_{urgente} = \text{ricarico}_{urgente} \cdot (C_{parte} + C_{spedizioneurgente} + C_{magazzino}) \quad (5)$$

Dove:

$$C_{\text{magazzino}} = Vol_{\text{parte}} \cdot C_{\text{annuo,magazzino}} \cdot \frac{1}{P_{\text{guasto}}} \quad (6)$$

Considero qui che la parte rimanga in magazzino un tempo pari al MTBF ipotizzato nelle tabelle. È un valore basso rispetto al resto a causa delle piccole dimensioni dei componenti, ma vanno considerati.

Il ricarico sarà invece

$$Ricarico_{\text{urgente}} = 2$$

Il tempo di attesa per il cliente sarà di soli due giorni per ogni parte, il tempo impiegato della spedizione urgente.

Spedizione standard

Il cliente richiede una parte, senza alcuna urgenza, potendosi permettere di riceverla dopo un periodo di tempo che sarà la somma del *lead time* di approvvigionamento per Balance Systems e di una spedizione economica. Il costo di questa opzione sarà di gran lunga inferiore a quella precedente, in quanto non sarà conteggiato nessun ricarico maggiorato al prezzo del componente e non sarà necessario ricaricare sul cliente il servizio di mantenimento a scorta o di gestione dell'urgenza.

$$C_{\text{std}} = ricarico_{\text{std}} \cdot (C_{\text{parte}} + C_{\text{spedizionestd}}) \quad (7)$$

Il tempo di spedizione sarà invece:

$$T_{\text{spedizione}} = LT_{\text{approvvigionamento}} + T_{\text{spedizionestd}} \quad (8)$$

dove il tempo della spedizione standard è di 20 giorni lavorativi, quindi all'incirca 28 giorni solari. Sarà diverso per ogni componente in quanto ogni componente ha un diverso LT.

Il ricarico sarà invece

$$Ricarico_{\text{std}} = 1.$$

I dati necessari per calcolare i costi di queste opzioni sono gli stessi raccolti per l'analisi presentate nel paragrafo 3.3.

Non potendo riportare per riservatezza il listino dei prezzi dell'azienda, verrà riportato il solo costo globale dell'opzione urgente e di quella standard, considerando quindi che tutti i componenti siano acquistati con una o con l'altro livello di servizio.

Tabella 21 – Costo globale dei ricambi dei componenti critici a seconda del livello di servizio richiesto dal cliente, in percentuale sul costo macchina

livello di servizio	costo totale
urgente	28,07%
standard	12,67%

Nella tabella seguente, invece, sono riportati i tempi di attesa per il cliente a seconda del livello di servizio scelto.

Tabella 22 – Tempi di spedizione dei ricambi a seconda del livello di servizio richiesto dal cliente

Codice FMECA e nome	Codice magazzino	Tempo sped urgente [d]	Tempo sped std [d]
F1.3.1.2. ventole di raffredd. Ext	2EVV00000008-1	2	88
F1.3.3.1.2. hardware	XXXXXXXXXC0000030	2	88
F1.5.1.1.2. tavola rotante	XXXXXXXXX0TA250AX	2	88
F1.6.3.1.1. pistone	XXXXXXXXX25DNMAF0	2	73
F1.5.2.1.1. - F1.5.2.2.1. pinza	XXXXXXXXX160C1B8X	2	88
F1.5.2.1.2. - F1.5.2.2.2. griffe (tassello)	XXXXXXXXX3A004XX0	2	73
F1.5.2.1.3. - F1.5.2.2.3. slitta	7C040100UFMDF0	2	58
F1.2.2.7. - F1.2.4.1.1. cavo potenza	9A900070083005	2	58
F1.2.4.2.1. - F1.2.4.3.1. cavo segnale	9A900070093005	2	58

F1.2.5.2. cavo presa multipla sensori	9A900070022005	2	58
F1.5.3.2. cavo interconnessione	2PNECAFST00039	2	58
F1.1.2.1. sensore di sincronismo	XXXXXXXXXXL0000005	2	58
F1.2.1.4. - F1.2.1.5. - F1.2.1.6. - F1.2.1.7. - F1.2.5.1.2. - F1.2.5.1.3. sensore	XXXXXXXXXXST00012	2	58
F1.2.2.4. - F1.5.1.1.4. - F1.5.1.1.6. - F1.6.3.1.2. sensore	XXXXXXXXXXL0000001	2	58
F1.2.4.1.5. - F1.2.4.1.6. - F1.2.4.2.5. - F1.2.4.2.6. - F1.2.4.3.5. - F1.2.4.3.6. - F1.5.1.1.5. sensore fine corsa	XXXXXXXXXXL0000032	2	58
F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. - F1.5.2.1.4. - F1.5.2.1.5. sensore posizione pinza	XXXXXXXXXXST00043	2	58
F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. - F1.5.2.1.6. - F1.5.2.1.7. sensore pinza	XXXXXXXXXXL0000044	2	58
F1.1.4.1.1. - F1.6.2.1.1. - F1.6.2.2.1. - F1.6.2.3.1. - F1.7.2.1.1. - F1.7.2.2.1. fotocellula	XXXXXXXXXX0000007	2	73
F1.4.1.1. - F1.4.1.2. - F1.4.1.3. - F1.4.1.4. - F1.4.1.5. - F1.4.1.6. blocco porta	2SMEUCBPE00003	2	88
F1.1.1.3. - F1.2.4.1.7. - F1.2.4.2.7. - F1.2.4.3.7. cinghia	XXXXXXXXXX150755X	2	43

Capitolo 4

Conclusioni

4.1 Difficoltà incontrate

Il principale problema riscontrato all'inizio del progetto è stato quello della mancanza di dati storici relativi ai componenti della macchina.

Prima di decidere le modalità delle interviste è stata cercata la maniera più oggettiva possibile per risalire al comportamento affidabilistico dei componenti in esame.

In primo luogo sono stati ricercati sulla documentazione tecnica di ogni parte: data però la loro variegata provenienza, solo per alcuni era disponibile un valore di MTBF (alcuni dai manuali e altri dalle indicazioni fornite dai progettisti del pezzo, all'interno dell'azienda).

In seconda battuta è stata esplorata la via dei dati provenienti dal report che era stato implementato dal lavoro precedente di tesi. In questo caso la numerosità degli interventi non era sufficiente per estrarre nessun valore statistico.

L'ultima strada provata è stata quella dell'estrazione di dati affidabilistici a partire dall'analisi dei prelievi dal magazzino ricambi dell'azienda: in questo caso il primo scoglio è stato l'enorme quantità di dati, per lo più inutili perché riferiti ad una enorme quantità di componenti oltre a quelli analizzati nel progetto. Una volta filtrati solo quelli utili, si è visto che la loro numerosità era molto bassa (troppo bassa per fondare su di essi un'analisi statistica) e inoltre non esistevano indicazioni riguardo all'effettivo utilizzo come ricambio (in sostanza il prelievo da magazzino poteva anche corrispondere ad un utilizzo per la costruzione di una macchina in azienda).

Detto questo, si è deciso di optare per avere una base di dati soggettivi da richiedere a progettisti di componenti e manutentori e da confermare grazie all'intervento dei responsabili delle funzioni aziendali coinvolte nel progetto.

Un altro problema, amplificato dal lungo lavoro di interviste, è quello della denominazione dei componenti. Già riscontrato nel precedente lavoro di tesi, la scomposizione era già stata fatta cercando di uniformare le diverse denominazioni delle parti in uso in azienda. Durante le interviste e durante la ricerca di informazioni nella documentazione tecnica prodotta dall'azienda per la macchina, si sono riscontrati nomi diversi per indicare una singola parte.

In ciascuno di questi casi, si è cercato di appianare le divergenze definendo di volta in volta i nomi lasciando perdere il gergo interno aziendale e cercando di usare riferimenti a manuali e disegni tecnici.

Per quanto questo problema possa apparire marginale, più di una volta durante le interviste si è dovuto interrompere la ricerca dei dati per comprendere cosa davvero indicasse un nome presente nella scomposizione.

4.2 Commenti

La lista ricambi che viene presentata nel capitolo 3.4 è la lista dei componenti che viene consigliata al cliente, secondo questa analisi, nel momento dell'acquisto della macchina; tali ricambi devono far fronte ai guasti possibili più comuni coerentemente con l'analisi FMECA precedentemente descritta.

Per arrivare a definire la lista, sono stati effettuati tre passaggi fondamentali: la scomposizione dell'entità, la ricerca dei componenti critici e il confronto economico tra i costi di gestione del ricambio presso il magazzino del cliente e quelli di non gestione.

Per quest'ultimo passo si sono resi necessari dai economici aggiuntivi rispetto a quelli occorrenza del guasto e durata dell'intervento; in particolare, sono stati usati alcuni dati economici generali dell'azienda (spazio a magazzino o tasso di interesse) o della macchina (costo di ammortamento), nonché i dati di costo e logistici dei singoli ricambi.

Sono stati considerati due scenari con tasso di possesso diverso in quanto, avendo deciso di approssimare tale tasso con il ROI di un'azienda cliente tipo, è risultato che l'indicatore ha subito un notevole calo negli ultimi due anni a causa della situazione economica mondiale. Si è perciò deciso di tenere conto della situazione attuale, ma anche di ripetere lo stesso procedimento nel caso di una situazione economica più standard.

In generale, si nota una discrepanza con i ricambi consigliati fino ad ora all'azienda. I motivi sono molteplici. Balance Systems ha finora consigliato parti che nella scomposizione non sono nemmeno presenti in quanto il più delle volte sono sottoparti di codici considerati nella FMECA. In altri casi, le parti che l'azienda consiglia, sulla base delle richieste di tali parti come ricambi, hanno ottenuto durante l'analisi un basso valore di rischio: in questo caso il problema potrebbe essere dovuto alla soggettività dei dati utilizzati.

4.3 Sviluppi futuri e prossime attività

Il lavoro descritto in questo documento può rappresentare un primo passo verso

lo sviluppo del concetto di vendita di un prodotto-servizio. Lo sviluppo di questo concetto può aprire nuove possibilità di business per l'azienda, considerando che in questa maniera è possibile compensare la possibile diminuzione di ricavi nella vendita delle macchine con una espansione in questa parte del *business*.

Per l'azienda, infatti, la sola vendita del macchinario non è la principale fonte di guadagno, specie in un periodo economico come quello degli ultimi anni dove per vendere una macchina ha spesso dovuto rinunciare a parte del margine. Se però assieme ad essa si trova il modo di vendere un servizio, che sia la manutenzione o la sola vendita di ricambi, la ricerca del margine maggiore può essere spostata sulla parte di *service*.

4.3.1 Diversi livelli di servizio nella vendita dei ricambi

Nel paragrafo 3.5 è descritto uno dei possibili ampliamenti della gestione dei ricambi dal punto di vista dell'abbattimento dei costi per l'azienda senza ridurre il livello di servizio al cliente. È un primo tentativo di formalizzare un prezzo di vendita del ricambio secondo l'urgenza che il cliente necessita.

In questo caso sono stati definiti solo due livelli di servizio con costi e caratteristiche molto distanti tra loro: uno di massima urgenza, con consegna quasi immediata e prezzo molto alto e uno diametralmente opposto.

I possibili sviluppi futuri possono riguardare l'ampliamento del numero dei livelli di servizio proposti.

4.3.2 Estensione del modello della lista ricambi al caso del cliente con più macchine simili

Nel caso in cui il cliente abbia acquistato più macchine della stessa famiglia, potrebbe essere interessante sviluppare un modello simile a quello spiegato nel paragrafo 3.3 che però tenga conto del fatto che la soluzione ottimale non è quella di vendere al cliente una lista ricambi per ogni macchina fornita.

Tale analisi necessita però un approccio molto simile a quanto spiegato alla fine del paragrafo 3.4: è indispensabile, infatti, possedere informazioni quantitative molto dettagliate riguardo all'affidabilità di ogni componente per applicare metodi matematici fini.

Nomenclatura e lista degli acronimi

FMEA:	failure modes and effects analysis
FMECA:	failure modes, effects and criticality analysis
MTBF:	mean time between failures

Bibliografia

- [1] Furlanetto, Garetti, Macchi “Ingegneria della manutenzione”, 2007, Franco Angeli editore
- [2] Furlanetto, Garetti, Macchi “Principi generali di gestione della manutenzione”, 2006, Franco Angeli editore
- [3] SAE J1739, section 5 POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR TOOLING & EQUIPMENT (Machinery FMEA)
- [4] Balance Systems, Manuale d’uso e manutenzione BVK
- [5] Luigi Buzzi, Equilibratura, 1971, Edizioni CEMB