

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi e gestione del processo di manutenzione in
ambito aziendale**

**Analysis and management of the maintenance process
in a business setting**

RELATORE

Prof.ssa Cristiana Delprete

CANDIDATO

Francesca D'Alcamo

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

*A Diego, ai miei genitori, ai miei nonni,
ai miei zii Giuseppe e Simonetta*

Indice

Introduzione.....	III
CAPITOLO 1 Presentazione dell'azienda HSD S.p.A.	1
1.1 Il gruppo BIESSE	1
1.2 La divisione mecatronica: HSD S.p.A.	5
1.2.1 L'assetto organizzativo di HSD S.p.A.....	10
1.2.2 Lo stabilimento HSD S.p.A. in Italia.....	11
CAPITOLO 2 <i>Total Productive Maintenance</i> - TPM.....	16
CAPITOLO 3 Obiettivo	20
CAPITOLO 4 Metodi Applicati	22
4.1 Procedura operativa.....	22
4.2 Piano manutenzione lato azienda	25
4.3 Analisi FMECA (<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>)	28
4.4 Manutenzione Autonoma	34
4.4.1 <i>CILR</i> standard.....	36
CAPITOLO 5 Applicazione dei metodi	38
5.1 Processo di Manutenzione Ordinaria di HSD – Procedura Operativa.....	38
5.1.1 Manutenzione a Guasto.....	41
5.1.2 Manutenzione Preventiva	44
5.1.3 Software di supporto al processo di manutenzione ordinaria	51
5.1.4 Monitoraggio del processo di manutenzione ordinaria	53
5.2 Linee di assemblaggio: censimento dei beni.....	56
5.3 Stazioni di collaudo: analisi FMECA.....	57
5.3.1 Stazione di collaudo L03	58
5.3.2 Stazione controllo vibrazioni L03	70
5.3.3 Stazione di collaudo L05	78
5.3.4 Stazione di collaudo L09	86
5.3.5 Stazione di collaudo L01	93
5.3.6 Stazione di collaudo L07	103
5.3.7 Azioni correttive	113

5.4 Attività di Manutenzione Autonoma	119
Conclusioni.....	125
Bibliografia	127

Introduzione

Da più di 50 anni ad oggi, il Giappone è noto come la culla del “*lean thinking*”, allora nuova filosofia gestionale che nacque in risposta alle esigenze manifestate dal mercato ed ai problemi macroeconomici del paese. In seguito agli ottimi risultati che le più note case automobilistiche del paese ottennero dall’applicazione di questo nuovo modo di vedere la produzione, tale metodologia ed i suoi strumenti vennero studiati e quindi adottati dalle più grandi aziende nel mondo. I principi che stanno alla base del cosiddetto “pensiero snello” mostrano come l’ottica della produzione di massa, basata esclusivamente sull’utilizzo della “catena di montaggio” e della tecnologia per l’incremento della produttività, risulta ormai sorpassata dai principi volti al miglioramento continuo, alla ricerca della qualità totale e alla riduzione di tempi e costi, ottenibili tramite il coinvolgimento di tutte le persone, a tutti i livelli, ognuno per le proprie competenze, tramite l’integrazione di sistemi e strutture che permettano la partecipazione attiva e flessibile all’interno della realtà produttiva.

Al giorno d’oggi tutte le aziende, per mantenere o migliorare la propria posizione di mercato, hanno la necessità di seguire tali principi, e le più grandi hanno recepito il valore di questi strumenti e i benefici dei risultati ottenuti tanto da promuovere attività di training alle aziende più piccole e meno esperte che intendono abbracciare questa realtà.

Una delle metodologie *lean* è la *Total Productive Maintenance* (TPM) che rappresenta l’evoluzione della cosiddetta manutenzione preventiva, introdotta negli anni ’50 dalle aziende giapponesi eccellenti.

In quest’ottica, questo elaborato vuole portare alla luce le soluzioni e le metodologie della *Total Productive Maintenance* applicate nell’ambiente produttivo dello stabilimento di HSD S.p.A., facente parte di BIESSE Group, situato a Gradara (PU). HSD progetta e produce componenti tecnologicamente avanzati ad alta precisione per lavorazioni industriali di fresatura, foratura e taglio per un’ampia gamma di materiali e settori produttivi. In particolare, questo elaborato viene redatto nell’ufficio “Ingegneria di Processo”, ente aziendale avente come scopo intrinseco l’applicazione dei criteri della produzione snella ed il monitoraggio della loro efficacia ed efficienza ottenute ed ottenibili all’interno del proprio plant.

Il lavoro di tesi si focalizza sull’implementazione delle tecniche e degli strumenti forniti dalla *Total Productive Maintenance* e, in particolare, dai primi tre pilastri.

Preventivamente all'applicazione dei pilastri della TPM, si è resa necessaria la stesura di una procedura operativa di gestione della manutenzione, rispettando i principi del Sistema di Gestione per la Qualità, al fine di garantire uno standard di processo per le figure coinvolte nel processo di manutenzione. Tale procedura consente, quindi, una corretta implementazione dei pilastri della TPM.

Dopo una presentazione dell'azienda in cui il lavoro di tesi si è inserito, si presenterà più nel dettaglio il concetto di TPM, precisando i suoi obiettivi, i suoi pilastri e la filosofia sulla quale si fonda.

Successivamente, saranno presentati l'obiettivo del presente elaborato, comprensivo della situazione AS-IS aziendale, e i metodi applicati al fine di gestire la manutenzione ordinaria dell'azienda. In particolare, al fine di scegliere le strategie manutentive più adatte agli impianti, assume grande importanza l'analisi FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), che permette di indagare e approfondire il comportamento affidabilistico di un macchinario. L'analisi FMECA verrà condotta sui sistemi di collaudo dei prodotti presenti nelle linee produttive grazie ad interviste a soggetti aziendali responsabili del funzionamento di tali sistemi.

L'implementazione dei metodi forniti dal Sistema di Gestione per la Qualità e dalla TPM, renderà quindi possibile la stesura di una procedura di gestione della manutenzione aziendale, in cui saranno specificate le diverse tipologie di manutenzione adottate dall'azienda. Per perseguire l'obiettivo del miglioramento continuo, alla base della filosofia *lean*, la procedura prevederà anche una fase di archiviazione dei documenti e di monitoraggio degli indicatori di performance del processo.

A supporto della scelta delle attività di manutenzione preventiva, saranno condotte le analisi FMECA ai sistemi di collaudo da cui scaturiranno le opportune azioni correttive alle criticità riscontrate. Infine, per implementare la "Manutenzione Autonoma" derivante da uno dei pilastri della TPM, sarà presa a cantiere una linea di produzione, che rappresenterà la linea pilota per l'implementazione delle attività di manutenzione autonoma, svolte direttamente dall'operatore utilizzatore della macchina.

CAPITOLO 1

Presentazione dell'azienda HSD S.p.A.

HSD S.p.A., facente parte del Gruppo Biesse, è il secondo operatore mondiale nella progettazione, produzione e commercializzazione di elettromandrini e componenti tecnologicamente avanzati per macchine utensili destinate alla lavorazione del legno, metallo, materiali compositi, vetro e pietra, nei settori dell'arredamento e dell'edilizia, della robotica, dell'elettronica di consumo e dei settori automotive e aerospace nonché il leader mondiale nel segmento legno (fonte: Global Motor Spindles Market Analysis 2012 -2017 and Forecast 2018 -2023, Prudour Pvt. Ltd. Market Research, Febbraio 2018). All'interno di una struttura di 6500 mq organizzata secondo i principi della *lean production*, sviluppa un'ampia gamma di componenti meccatronici, tra cui elettromandrini e teste bi-rotative. HSD, attraverso l'Headquarters in Italia (Gradara-PU) e 4 filiali commerciali proprietarie localizzate in Germania, Cina, Stati Uniti e Corea del Sud, ossia i mercati dove sono concentrati alcuni dei principali produttori mondiali di macchine utensili, si pone l'obiettivo di garantire un servizio altamente qualificato in tempi brevi.

1.1 Il gruppo BIESSE

Biesse S.p.A nasce a Pesaro, nel 1969, per iniziativa imprenditoriale di Giancarlo Selci, proponendosi fin da subito come azienda moderna e altamente innovativa nel settore della progettazione, realizzazione e distribuzione di macchine utensili per la lavorazione del legno.

Sostenuta dal settore del mobile, concentrato nella provincia di Pesaro e in forte crescita fin dagli anni '50, Biesse riesce a ritagliarsi rapidamente uno spazio di primo piano come fornitore di macchinari ai mobilifici operanti all'interno del polo industriale marchigiano. Durante i primi anni di attività, Biesse S.p.A sviluppa tutta una serie di macchine con standard di produttività e affidabilità tali da permettergli molto rapidamente l'ingresso nello scenario internazionale e il successivo accesso al mercato mondiale intorno agli anni '80.

Nel 1978 viene lanciata sul mercato *Logic Control*, la prima macchina foratrice per il legno a controllo numerico al mondo e nel 1983 viene lanciata sul mercato *Rover*, primo centro di lavoro a controllo numerico per il legno: l'orientamento del prodotto si sposta dalla semplice macchina utensile a quella ad alto contenuto tecnologico, unione di automazione, meccanica ed elettronica.

Durante gli anni '80, a fronte di una continua evoluzione tecnologica, le esigenze dei clienti diventano sempre più complesse e sofisticate, la qualità ricercata è sempre più spinta e le specifiche richieste sempre più stringenti; la necessità di processi produttivi frammentati, guidati ciascuno da figure specialistiche della singola fase di lavorazione, portano Biesse S.p.A all'acquisizione di partecipazioni di maggioranza in società caratterizzate da produzioni complementari rispetto alla propria e alla costituzione di apposite società per lo sviluppo di prodotti ritenuti strategici per l'attività. In particolare, nel 1987 nasce Intermac per la progettazione, realizzazione e distribuzione di macchine per la lavorazione del vetro, della pietra e del metallo; successivamente, nel 1991, nasce l'unità di business Mechatronics per la progettazione, realizzazione e distribuzione di dispositivi elettromeccanici.

Parallelamente, prende avvio il processo di internazionalizzazione: nel 1989 c'è l'apertura della prima filiale all'estero, Biesse America, seguita poi da numerose altre aperture in tutto il mondo, a dimostrazione del crescente grado di internazionalizzazione della struttura dell'impresa, e della trasformazione di BIESSE in una realtà globale, molto più complessa rispetto all'azienda a conduzione familiare del decennio precedente.

Nel corso degli anni '90 il mercato della lavorazione del legno attraversa una fase di grande evoluzione: il settore, che tradizionalmente era stato popolato da moltissime piccole imprese specializzate in segmenti ben identificabili, inizia una fase di integrazione, trasformandosi in un universo costituito da un ristretto numero di grandi gruppi, in grado di offrire risposte globali ai clienti di tutto il mondo. La politica di penetrazione nei principali mercati esteri porta ad avere società commerciali in Spagna, Francia, Germania, Regno Unito e Svezia, oltre che negli Stati Uniti, Canada e Singapore, e uffici di rappresentanza in Russia, Malesia e Indonesia; il marchio Biesse si rafforza e nel 1996 ottiene la certificazione UNI EN ISO 9001 da RINA, uno dei principali Enti di Certificazione di Sistemi di Gestione per la Qualità.

Opportune scelte strategiche, investimenti ponderati e finalizzati alla crescita, nonché alla ricerca e sviluppo, hanno fatto di Biesse S.p.A una realtà dinamica e sempre all'avanguardia, confermandosi così tra i leader mondiali nei settori di competenza.

Successivamente, nei primi anni 2000, il gruppo Biesse ha avviato un processo di riorganizzazione della propria struttura attraverso l'acquisizione del 100% del capitale delle società controllate e la concentrazione delle attività produttive: nel giugno del 2001 Biesse S.p.A. è quotata in Borsa Italiana nel segmento STAR.

Ad oggi, il Gruppo vanta nel suo portfolio prodotti macchine e sistemi ad elevata complessità e con ottimo grado di personalizzazione, grazie anche al costante impegno in direzione della massima modularità, offrendo così soluzioni per tutte le esigenze industriali legate alla creazione di mobili ma anche serramenti, complementi d'arredo e, più in generale, nella lavorazione di legno, vetro, pietra, plastica e metallo. In particolare, il Gruppo offre soluzioni modulari che spaziano dalla progettazione di impianti tecnologici completi per la grande industria, alle singole macchine automatiche e centri di lavoro per la piccola e media impresa fino alla progettazione e vendita dei singoli componenti ad alto contenuto tecnologico su specifiche richieste del cliente, per un fatturato complessivo che, al 2017, si attesta intorno ai 600 mln€.

Entrando più nel dettaglio, attualmente il Gruppo è strutturato nelle seguenti divisioni:

- *BIESSE Wood Division*

E' il settore di business del Gruppo specializzato nella lavorazione del legno e dei suoi derivati. Dal 1969 progetta, produce e commercializza macchine, centri di lavoro e sistemi integrati, quindi una gamma completa di tecnologie e soluzioni rivolte al falegname e alla grande industria del mobile, del serramento e dei componenti in legno per l'edilizia. Da qualche anno è presente anche sul mercato con macchine per la lavorazione della plastica con soluzioni studiate ad hoc per un mercato in crescita. Contribuendo a circa il 60-70% del fatturato del gruppo, rappresenta il nucleo centrale, l'origine, da cui si sono poi sviluppate le altre divisioni.

- *INTERMAC Glass & Stone Division*

E' il settore di business del Gruppo specializzato nella lavorazione del vetro, pietra e metallo. Fondata a Pesaro nel 1987 sempre da Giancarlo Selci, progetta, produce e commercializza macchine e sistemi destinati alle aziende di trasformazione del vetro piano e della pietra e all'industria dell'arredamento, dell'edilizia e dell'automotive, arrivando rapidamente ad occupare una posizione di leadership nei settori di riferimento.

- *HSD Mechatronic Division*

E' l'unità di business specializzata nella mecatronica (frutto dell'integrazione di elementi meccanici ed elettronici), progetta e realizza dispositivi quali elettromandrini, teste a 5 assi, rinvii angolari e unità di foratura per centri di lavoro a controllo numerico. Nata sostanzialmente come fornitore per le aziende del Gruppo, negli anni è riuscita ad acquisire una posizione di rilievo nel contesto nazionale e internazionale all'interno dello specifico settore di appartenenza.

- *Diamut*

Diamut crea miscele di diamante e legante personalizzate per produrre utensili studiati sulla base delle singole esigenze del cliente, testando con attenzione ogni fase dello sviluppo del prodotto, dalla sua progettazione alla consegna. Nell'offerta Diamut, a ciascun macchinario corrisponde una combinazione ben definita di mole, realizzata con caratteristiche precise e testate sul campo. Gli utensili Diamut, ad elevata tecnologia, permettono di lavorare qualsiasi materiale, dalla pietra al cemento, dalla ceramica al vetro e ai materiali sintetici.

La costante crescita e la permeabilità nei mercati internazionali sono state supportate dallo sviluppo di una fitta rete di società controllate e filiali localizzate nei principali mercati strategici. Le 37 filiali nel mondo direttamente controllate garantiscono assistenza post-vendita specializzata ai clienti, svolgendo allo stesso tempo attività di studio dei mercati finalizzata allo sviluppo di nuovi prodotti. Il Gruppo Biesse impiega circa 3.500 dipendenti distribuiti tra le principali aree produttive situate a Pesaro, Alzate Brianza, Bangalore (primo stabilimento produttivo all'estero) e le filiali/sedi di rappresentanza in Europa, Canada, USA, Asia ed Australia, avvalendosi, inoltre, di oltre 300 tra rivenditori ed agenti, che rendono possibile la copertura di più di 120 paesi. L'applicazione di efficaci strumenti di condivisione e supporto tecnico-commerciale, abbinata ad un processo di formazione continua, hanno permesso negli anni di consolidare la partnership con quella che è oggi riconosciuta la migliore rete distributiva nei settori per il legno, il vetro e la pietra.

Biesse S.p.A, come accennato nell'introduzione al presente paragrafo, nasce in un contesto quale il "distretto del mobile" pesarese, caratterizzato da realtà di origini fortemente artigianali. In tale ambiente, il rapporto umano e la vicinanza al cliente erano

viste come un requisito fondamentale e Biesse, nella sua evoluzione, ha mantenuto questa intrinseca caratteristica, ovvero il suo essere locale, allargando negli anni i propri orizzonti con una visione, nonché anche una presenza, internazionale. A partire da queste considerazioni si può giungere all'attuale natura di Biesse S.p.A: una realtà locale e al tempo stesso globale, sempre vicina al cliente ovunque questo si trovi. La stessa logica di forte orientamento al cliente, in un mercato sempre più volubile e dinamico, ha accresciuto l'interesse verso nuovi modelli gestionali ed in particolare verso la filosofia *lean*; a partire dal 2008, è stato intrapreso un percorso evolutivo finalizzato alla trasformazione della società in una Lean Company in collaborazione con Porsche Consulting ed attivando numerosi programmi di condivisione ed applicazione delle principali metodologie e concetti della *Lean Manufacturing*. Gli obiettivi sono chiari: individuare ed eliminare gli sprechi, snellire i processi, ridurre i costi e aumentare la redditività al fine di migliorare le proprie performance sia internamente sia verso il cliente attraverso riduzioni dei costi e dei lead time, incrementi della qualità e la garanzia di un prodotto innovativo, personalizzato e ad alto contenuto tecnologico. L'impegno in questa direzione è tutt'oggi forte ed assiduo, all'interno degli stabilimenti produttivi di tutto il gruppo così come nel rapporto con i fornitori: un'attenta progettazione dell'intera catena del valore è lo strumento fondamentale per offrire ai propri partner prodotti e servizi all'avanguardia, sempre all'altezza delle aspettative.

1.2 La divisione meccatronica: HSD S.p.A.

HSD S.p.A, il cui nome è l'acronimo di "*High Speed Development*", è un'azienda giovane e dinamica, nata nel 1991, come divisione del Gruppo Biesse di Pesaro, del quale era la principale fornitrice.

L'attuale direttore generale, Fabrizio Pierini, è entrato a far parte dell'HSD nel 1995, quando le vendite ammontavano a poco più di 1 milione di euro e i dipendenti erano meno di 20. A quei tempi, l'HSD produceva elettromandrini¹ per la lavorazione del legno per il suo principale cliente, la Biesse, che produceva, come detto in precedenza, macchinari per il settore. Fin dai primi anni di attività, una sostenuta crescita ha caratterizzato questa

¹ L'elettromandrino di una macchina utensile è un albero rotante che ha la funzione principale di mettere in rotazione l'utensile così da generare il moto di lavoro. Può essere considerato il cuore delle attrezzature per macchine utensili ed è la parte che più direttamente accresce la sua precisione e la sua capacità di lavorazione.

realtà che, forte delle sue proposte tecnologicamente competitive ed economicamente concorrenziali, è riuscita ad acquisire una sempre crescente porzione di mercato. Infatti, fin dall'inizio, HSD aveva cominciato a vendere anche ai concorrenti della Biesse. *“Per noi è un complimento se altri costruttori di macchine per la lavorazione del legno giudicano i nostri prodotti così validi da acquistarli, ben sapendo che facciamo parte di un gruppo concorrente”*, dichiara Pierini.

Nel tempo HSD inizia a diversificare le proprie attività in diverse direzioni. In particolare, nel 2000 l'azienda si rese conto che l'eccessivo affidamento sul settore della lavorazione del legno avrebbe potuto rivelarsi una strategia poco prudente nel lungo termine. Il mercato dell'edilizia abitativa è ciclico e le aziende che si legano esclusivamente a questo settore risentono della stessa volatilità. Da qui la decisione di aprirsi a lavorazioni di altri materiali, come plastica, compositi e marmo, ricalcando, in modo indipendente, analoghe decisioni strategiche prese dalla Biesse. Inoltre, l'acquisizione e integrazione di MC meccanica, realizzate nel 2009, hanno consentito di ampliare ulteriormente la propria offerta, arricchendo il know-how aziendale. La passione per la meccanica, unita al forte orientamento alla soddisfazione della clientela, hanno reso HSD un'azienda florida e leader nel mondo nella produzione di elettromandrini, teste a 2 assi, rinvii angolari e unità di foratura CNC per la lavorazione del legno, alluminio, marmo, vetro e PVC, con una solida esperienza nei componenti elettronici che oggi si fondono con quelli meccanici, dando così vita all'azienda “Meccatronica”. HSD progetta e produce componenti tecnologicamente avanzati ad alta precisione per lavorazioni industriali di fresatura, foratura e taglio per un'ampia gamma di materiali e settori produttivi. I prodotti più rappresentativi sono Elettromandrini, Teste di Foratura, Servomotori con azionamento integrato e Gruppi multifunzione. In Figura 1.1 si riportano alcuni esempi di prodotti realizzati dall'azienda.



Figura 1.1: Esempi di prodotti realizzati da HSD S.p.A.

I fattori chiave della crescita di HSD sono il forte orientamento al cliente e la vicinanza alle sue esigenze in ogni momento, secondo una filosofia che, in linea con quella del Gruppo, ne esalta i principi cardine in ogni momento della quotidianità aziendale; la politica che ha permesso in pochi anni di conquistare un ruolo di rilievo nel mercato internazionale è senza dubbio la formula “*win-win*”: favorire un buon risultato del proprio cliente rappresenta la migliore garanzia di un rapporto solido e duraturo. L’efficacia di questo approccio ha accresciuto e consolidato l’importanza del marchio che conta oggi circa 350 dipendenti, un fatturato annuo che si attesta a quota 80 milioni di euro, e una produzione che per oltre il 50% è destinata al mercato esterno al Gruppo e che rende l’Azienda leader mondiale nella produzione di elettromandrini. Questo è il contesto industriale nel quale ci si è inseriti per realizzare il presente elaborato finale.

HSD vanta oggi un portfolio prodotti ricco ed ampiamente personalizzabile, caratterizzato da elettromandrini, gruppi aggregati, teste a forare, teste a 2 assi e smart motors. In particolare, la produzione dell’azienda può essere suddivisa in 4 macrocategorie, ciascuna delle quali ricca di diverse offerte, come mostra la Figura 1.2.

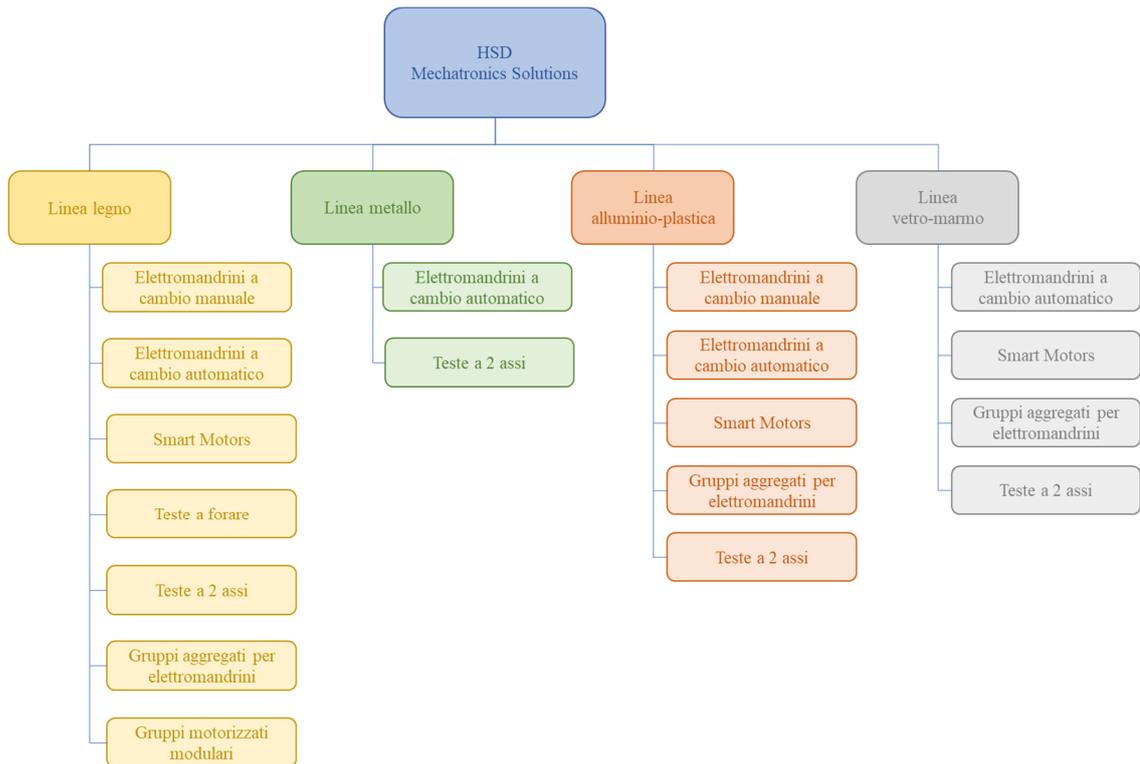


Figura 1.2: Albero degli articoli di HSD in funzione del settore d'impiego

- Linea legno: si tratta della prima macrofamiglia prodotta, che ancora oggi trova come primo cliente la divisione legno BIESSE. In questa linea si trovano:
 - *elettromandri a cambio manuale ed automatico*, raffreddati ad aria o a liquido e con potenze da 0 a 30 kW, che rappresentano le soluzioni di riferimento a livello globale;
 - *smart motors*: servo-motori in tecnologia brushless, nella cui gamma si trovano soluzioni con potenze da 50 a 200W e diversi rapporti di riduzione;
 - *gruppi aggregati per elettromandri*: l'offerta comprende modelli dedicati al taglio, fresatura e foratura, raffreddati ad aria o ad olio, e che consentono ad HSD di affermarsi come azienda leader su scala nazionale;
 - *teste a 2 assi*: la gamma spazia un vasto campo di applicazioni, dalle applicazioni leggere alle pesanti; l'impegno aziendale in questa direzione si è ulteriormente intensificato negli ultimi anni;
 - *teste di foratura cnc*: in questa sezione si trovano teste a mandrini indipendenti orizzontali, verticali, gruppi lama e combinazioni delle tipologie già indicate, prodotti che rappresentano l'eccellenza nel contesto nazionale;

- *gruppi motorizzati*: sono elementi economici ed estremamente flessibili, caratterizzati da una slitta ed un motore comune e numerose varianti di moduli testine con questi compatibili, che consentono di realizzare operazioni di foratura, fresatura e taglio;
 - *foratrici a mandrini multipli*: la famiglia di prodotti comprende soluzioni con trasmissioni ad ingranaggi, a denti dritti o elicoidali, o a cinghia dentata, con connessione al motore e attacchi punta realizzati secondo specifica cliente.
- Linea metallo: nasce dalla ambizione tecnologica aziendale, nonché dalla volontà di poter soddisfare le richieste di clienti che operano in diversi settori merceologici:
- *elettromandrini*: la gamma si compone di soluzioni a cambio automatico dell'utensile, raffreddati ad aria o ad olio, che ricoprono ampi range di coppie (fino a 224 Nm), potenze (fino a 50kW) e velocità di rotazione (fino a 50000 rpm);
 - *teste a 2 assi*: la gamma si compone di 2 prodotti, entrambi di ultima generazione, per applicazioni medie e pesanti.
- Linea alluminio e plastica: macrofamiglia nata dallo sviluppo, secondo le esigenze del caso, della linea di prodotti per il legno; si trovano quindi, con caratteristiche analoghe a quelle citate in precedenza, elettromandrini a cambio manuale ed automatico, teste a 2 assi, gruppi aggregati e smart motors.
- Linea marmo e vetro: una gamma prodotti costituita da soluzioni comuni alla linea metallo o comunque evoluzioni che ne mantengono le caratteristiche principali; fanno eccezione le proposte di gruppi aggregati dal know-how maturato nelle lavorazioni di elettromandrini a cambio automatico, teste a 2 assi, smart motors ed aggregati per applicazioni quali foratura, fresatura, taglio e molatura.

L'Azienda ha consolidato nel tempo le competenze necessarie a completare tutti gli stadi della realizzazione dei prodotti sopra indicati: dall'analisi preliminare, allo studio di soluzioni custom, alla progettazione dei singoli componenti, per giungere all'integrazione delle parti nel prodotto finale. Al fine di fronteggiare la crisi, che ha colpito con particolare vigore il segmento dei beni strumentali in cui anche HSD si colloca, è però necessario arricchire la propria offerta con soluzioni sempre nuove e diversificate, capaci

non solo di consolidare le richieste dei propri clienti ma anche di attrarne di nuovi, unico vero deterrente per proteggere il proprio business dai meccanismi che stanno affliggendo gran parte delle aziende. La risposta a queste necessità nasce da un crescente impegno dell'Ufficio Tecnico, affiancato dal reparto "Ricerca e Sviluppo". Tale divisione è costantemente impegnata nel perfezionamento dei prodotti a catalogo così come nella sperimentazione di soluzioni innovative, per continuare ad offrire ai partner dell'Azienda prodotti competitivi e d'avanguardia; per garantire un efficace trattenimento delle proprie soluzioni più innovative è sempre crescente l'interesse, da parte di HSD, di limitare l'outsourcing a favore di un ampliamento della produttività e della qualificazione delle procedure svolte nell'officina interna.

1.2.1 L'assetto organizzativo di HSD S.p.A.

Uno dei caratteri distintivi di HSD S.p.A è la capacità dimostrata, anche in questi anni difficili, di penetrare nei diversi mercati, a livello internazionale, guadagnando la fiducia di sempre nuove realtà e garantendo così un costante ampliamento del proprio portafoglio clienti e, diretta conseguenza, incrementando puntualmente il proprio fatturato annuo. Quest'ultimo risultato, in controtendenza con il trend mondiale, è sicuramente il più evidente indice dell'efficacia delle scelte operate. La fondamentale necessità di presenziare in ciascuno dei mercati di maggiore rilievo, che appare quindi come imprescindibile risorsa per avvicinare i nuovi clienti e consolidare rapporti già intrapresi, ha fatto nascere nel tempo le 3 filiali, *HSD USA*, *HSD Deutschland* e *HSD Shanghai* che, come sedi di rappresentanza, costituiscono punti di interfaccia con ciascuna delle aree geografiche di competenza. Inoltre, nell'ultimo anno, HSD ha rafforzato la propria presenza nei mercati internazionali con l'apertura di una nuova filiale di proprietà a Seoul, nel distretto di Ansan-si Gyeonggi-do, in Sud Corea. I vantaggi di questo presidio territoriale sono molteplici: da un team locale altamente specializzato in grado di fornire consulenza tecnico commerciale a qualsiasi livello ad uno stock di ricambi originali in pronta consegna ed un servizio post-vendita con tecnici locali specializzati e formati presso la casa madre in Italia.

Il livello di servizio ricopre sempre più spesso un ruolo di fondamentale discriminante e l' *after sales*, ancor più quando si tratta di beni strumentali, ne rappresenta uno dei punti cardine. La piena consapevolezza di ciò porta HSD ad un continuo rafforzamento della propria rete di assistenza post-vendita: l'importanza del ruolo delle filiali, nate come

canali preferenziali di vendita, è stata progressivamente accresciuta, sino a renderle dei veri punti di riferimento, nell'ambito di ricambistica e interventi, per i mercati di competenza.

Le quattro filiali ad oggi svolgono funzioni di interfaccia vendita, ricambistica e assistenza in loco, mentre progettazione, produzione e ripristino di prodotti resi sono attività interamente concentrate nella sede principale, in Italia. Come mostrato in Figura 1.3, le filiali rispondono direttamente alla Azienda italiana la quale, a sua volta, risulta controllata dalla capogruppo BIESSE.



Figura 1.3: Il network aziendale di HSD

HSD si conferma una delle poche realtà all'interno del proprio settore di riferimento a poter contare su un proprio network globale per supportare i clienti in tutto il mondo.

1.2.2 Lo stabilimento HSD S.p.A. in Italia

Il cuore della produzione di HSD, come accennato, è concentrato in Italia, nello stabilimento situato nei pressi di Gradara: è qui infatti che si concentra il know-how aziendale alla base di progettazione, assemblaggio del prodotto e riparazioni, nonché la gestione ed il coordinamento di tutte le attività svolte da terzisti e partner e la periodica valutazione, secondo gli standard aziendali, degli stessi. L'Azienda, infatti, affida una

frazione rilevante della realizzazione dei componenti a fornitori esterni, che devono quindi essere selezionati con attente procedure di qualifica e costantemente monitorati nel loro operato. La progettazione, l'assemblaggio ed i collaudi, così come accade per la produzione dei componenti più sensibili dal punto di vista tecnologico o innovativo, sono invece prevalentemente garantiti attraverso le risorse interne dei reparti Officina, Controllo Qualità e Linee di assemblaggio. Inizialmente, all'anno della sua fondazione, l'Azienda era ubicata presso la sede principale di Biesse, ma la crescita maturata dalla divisione, l'allargamento degli orizzonti di business e del portfolio clienti, nonché l'occasione nata dalla fusione con MC meccanica nel 2009, ne hanno giustificato un primo trasferimento, nello stesso anno, nello stabilimento di piazzale Alfio de Simoni, a pochi chilometri dalla capogruppo Biesse (Figura 1.4).

Nel 2015, avviene il secondo trasferimento nella sede attuale di Gradara, trasferimento considerato fondamentale per poter soddisfare un flusso di ordini sempre crescente che nella sede di Pesaro non si riusciva più ad affrontare con efficacia. Di fatto, con tale scelta l'azienda ha raddoppiato la capacità produttiva, passando da uno stabilimento di 3.300 m² a uno da 7.000 m², con conseguente incremento di personale che da quota 150 passa nel corso del tempo a 350 (Figura 1.5). Nel prossimo futuro, intorno al 2019, è previsto un ulteriore ampliamento a 12.000 m² e il conseguente raddoppio ulteriore della capacità produttiva.

Le premesse contenute nel presente paragrafo evidenziano come HSD, per dinamismo, efficacia delle politiche commerciali, qualità e competitività globale stia vivendo da tempo una costante crescita, interrotta nella singola occasione verificatasi tra fine 2008 e inizio 2009 (Figura 1.6). Alla flessione, durata solo pochi mesi, è seguita una immediata ripresa, particolarmente vigorosa nel biennio 2010-2011, che sta proseguendo anche oggi a ritmo incalzante: il risultato conseguito nell'anno 2017, in termini di fatturato, segna un +12,3% rispetto all'anno precedente, mentre il differenziale rispetto alla prestazione del 2012 è superiore al 50%. Questo quadro economico si traduce, a livello operativo, in un costante incremento della produttività richiesta alle linee ed in un continuo processo di espansione del portfolio prodotti, volta a garantire il trend crescente del risultato aziendale. Lo scopo di tale politica è, infatti, attrarre l'interesse di nuovi potenziali clienti grazie alla diversificazione dell'offerta, mantenendo come fattore comune la qualità HSD, elemento imprescindibile, unitamente ad un adeguato livello di servizio, ai fini del consolidamento dei rapporti già esistenti.



Figura 1.4: Evoluzione dello stabilimento negli anni

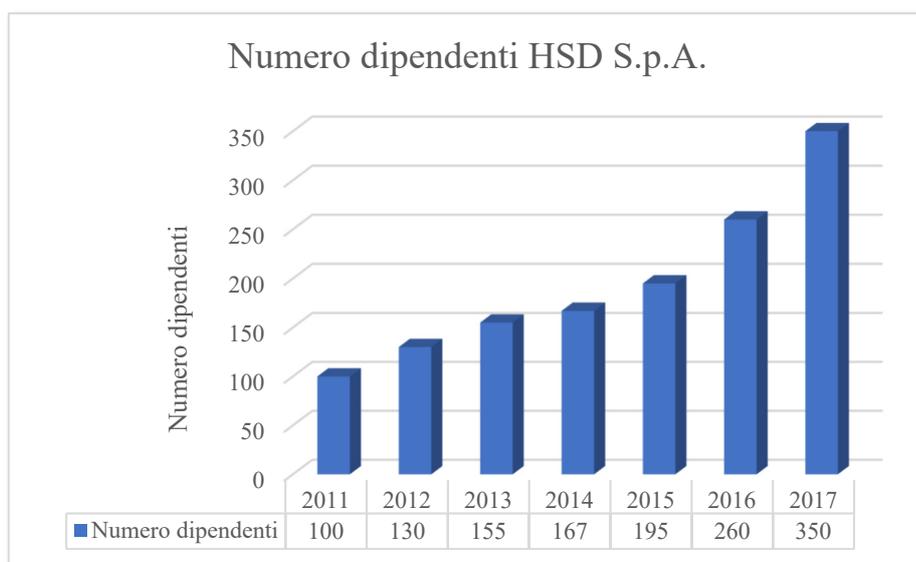


Figura 1.5: Numero dipendenti HSD S.p.A.

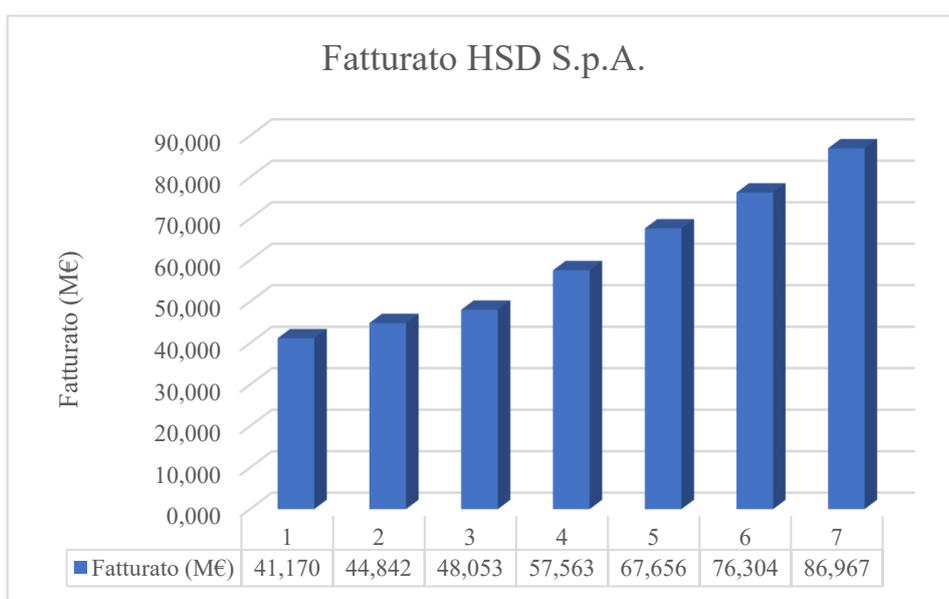


Figura 1.6: Fatturato HSD S.p.A.

Come evidenziano i grafici, la crescita di HSD è sicuramente da annoverare come un fatto più che positivo, premiante l'alto impegno profuso dall'azienda stessa.

Tale crescita ha creato la necessità per l'Azienda di progettare un piano di manutenzione che sia in grado di monitorare i macchinari presenti all'interno dello stabilimento, al fine di incrementare l'efficienza produttiva e migliorare la gestione del magazzino dei pezzi di ricambio. Un principio fondamentale per le aziende che, come HSD, decidono di adottare i principi della *Lean Manufacturing* è quello di poter contare sempre su impianti ben funzionanti per evitare al massimo qualunque fermo macchina, incidente o difettosità che portino a registrare uno spreco di qualsiasi genere.

Impianti affidabili sono il risultato di una buona manutenzione preventiva, capace di anticipare problemi e necessità future in modo da limitare al massimo la "perdita di tempo" legata a questa attività di supporto. La manutenzione in ambito *lean* si definisce *Total Productive Maintenance* (TPM) per sottolineare il concetto che persino un'attività accessoria come la manutenzione possa diventare "produttiva" se è in grado di supportare la produzione, assicurandole impianti sempre efficienti. È proprio in questo contesto che si inserisce il presente lavoro di tesi.

Layout dello stabilimento di HSD

Il layout dello stabilimento di Gradara è suddiviso nei seguenti reparti:

1. accettazione;
2. controllo qualità accettazione;
3. linee di assemblaggio;
4. area spedizione;
5. service;
6. ricerca e sviluppo;
7. lavorazioni meccaniche.

Il magazzino accettazione accoglie i componenti provenienti dai fornitori dell'azienda. È costituito da 10 magazzini verticali automatici che migliorano il flusso di lavoro e consentono lo stoccaggio di qualsiasi prodotto industriale. Allo stesso modo, l'area spedizioni, che accoglie i prodotti finiti dell'azienda, è costituito da un sistema di stoccaggio per moduli verticali automatici, in numero pari a quattro.

Il controllo qualità accettazione si occupa chiaramente dei piani di campionamento per il controllo in ingresso dei componenti provenienti dai fornitori di HSD.

Lo stabilimento è costituito dalle seguenti linee di assemblaggio:

- L01 – aggregati;
- L02 – teste birotative;
- L03 – elettromandrini ATC SP;
- L04 – teste a forare;
- L05 – elettromandrini ATC MP;
- L06 – gruppi direct drive;
- L07 – elettromandrini ATC HP;
- L08 – smart motors;
- L09 – elettromandrini MTC;
- L10 – elettromandrini speciali;
- L12 – teste birotative.

CAPITOLO 2

Total Productive Maintenance – TPM

La manutenzione produttiva^[1] (o migliorativa) consiste nell'insieme delle azioni volte a diminuire la criticità di funzionamento di un sistema (dispositivo, impianto, ecc.) e a migliorarne la manutenibilità allo scopo di aumentarne l'efficienza e ridurre i costi di manutenzione senza incrementare il valore patrimoniale. Questa tipologia di manutenzione si ottiene utilizzando, in modo opportunamente progettato, tutte le possibili strategie di manutenzione al fine di giungere all'integrazione delle funzioni manutentive mediante attività preventive, volte ad annullare i guasti imprevisti, attività di monitoraggio e attività di miglioramento del sistema. La manutenzione produttiva è quindi la somma di attività volte sia a ripristinare l'efficacia funzionale e operativa dei beni patrimoniali sia a migliorare tale efficacia, allungando in tal modo la vita utile del bene.

L'evoluzione della manutenzione produttiva è la *Total Productive Maintenance* (TPM), marchio registrato dal Japan Institute of Plant Maintenance volto a certificare il sistema produttivo. La TPM è una tecnica sviluppata in Giappone presso gli stabilimenti della Toyota Motor Company negli anni '70 e dagli anni '80 si è estesa in Occidente dove ha iniziato a essere adottata. L'innovatività dell'approccio consiste nella convinzione che ogni vincolo possa essere superato e ogni situazione migliorata, purché venga adottato un percorso migliorativo continuo, passo dopo passo.

La TPM^[2] è uno sforzo a livello dell'intera organizzazione tecnico produttiva aziendale per migliorare la qualità negli impianti e garantirne l'efficacia:

- *Total*, che compete a tutti / che mira ad eliminare ogni possibile difetto, anomalia e guasto;
- *Productive*, che riduce le cause di indisponibilità / che minimizza i problemi per la produzione;
- *Maintenance*, che mantiene gli impianti in buone condizioni d'uso / che conserva le macchine di produzione pulite e funzionanti.

Le attività della TPM^[3] consistono nel:

- progettare la manutenzione, cioè scegliere le strategie, definendo la sostituzione ottimizzata di apparecchiature e sottosistemi, la standardizzazione dei cicli e dei metodi di intervento, la definizione della gestione delle scorte a magazzino;
- migliorare l'efficacia e l'efficienza dei metodi e dei criteri manutentivi per incrementare l'affidabilità e la manutenibilità degli impianti, promuovendo azioni di individuazione, sviluppo e attuazione di modifiche impiantistiche che permettano l'eliminazione delle criticità;
- controllare il sistema mediante attività sistematiche di analisi dei guasti e monitoraggio, nell'ottica di migliorarne disponibilità e conservazione, verifica dei piani di manutenzione preventiva e programmata e degli interventi di modifica proposti, gestione dei dati di analisi dei guasti, verifica dell'avanzamento dei piani di manutenzione controllo del budget degli aspetti tecnico/economici.

La TPM mira a raggiungere un impiego più efficiente ed efficace degli impianti, a eliminare le perdite tramite prevenzione, unendo le persone dei differenti settori aziendali e richiedendo supporto e collaborazione da parte di tutti, a partire dalla direzione generale, con l'obiettivo di raggiungere le "zero perdite", attraverso attività basate su piccoli gruppi autonomi. La TPM si fonda su 8 attività (Figura 2.1):

1. Miglioramento specifico

Si concentra sul tentativo di risolvere i problemi partendo da un'analisi dettagliata e costituendo gruppi di lavoro dedicati che coinvolgono tutti i livelli.

2. Manutenzione autonoma

Si basa sul coinvolgimento del personale dedicato ai sistemi produttivi. Cerca di rendere abile l'operatore a eseguire auto-manutenzione sulla macchina per ridurre i fermo-macchina dovuti a degrado e negligenza.

3. Manutenzione pianificata

Mira a definire gli standard di ispezione e controllo e le tipologie manutentive necessarie a definire il piano di manutenzione, mantenere e ripristinare le specifiche di avvio del processo, migliorare le prestazioni per ottenere elevata disponibilità e affidabilità.

4. Manutenzione per la qualità

Costituisce l'insieme delle metodologie per gestire i sistemi produttivi, con l'obiettivo di prevenire la comparsa di difetti. Si basa su un'adeguata raccolta dei dati provenienti da tutto il sistema produttivo. Si attua attraverso passi che vanno

dall'analisi dei difetti, allo studio di contromisure e di miglioramenti, dalla validazione al consolidamento delle miglorie, alla redazione di appropriati standard di verifica.

5. Formazione e addestramento

Stabilisce e gestisce in modo standardizzato le attività di formazione svolte dall'azienda e che coinvolgono l'intero personale.

6. Sicurezza e ambiente

Sovraintende a tutte le procedure per la gestione dell'interazione dell'azienda con l'ambiente (Controllo Ambientale e Sicurezza Aziendale), integrando le normative vigenti con le procedure interne.

7. TPM d'impostazione

Definisce gli standard per la progettazione a tutti i livelli.

8. TPM uffici

Assimila le attività amministrative a quelle produttive ed estende i contenuti del TPM (così come avviene per il sistema qualità) a tutte le funzioni aziendali.

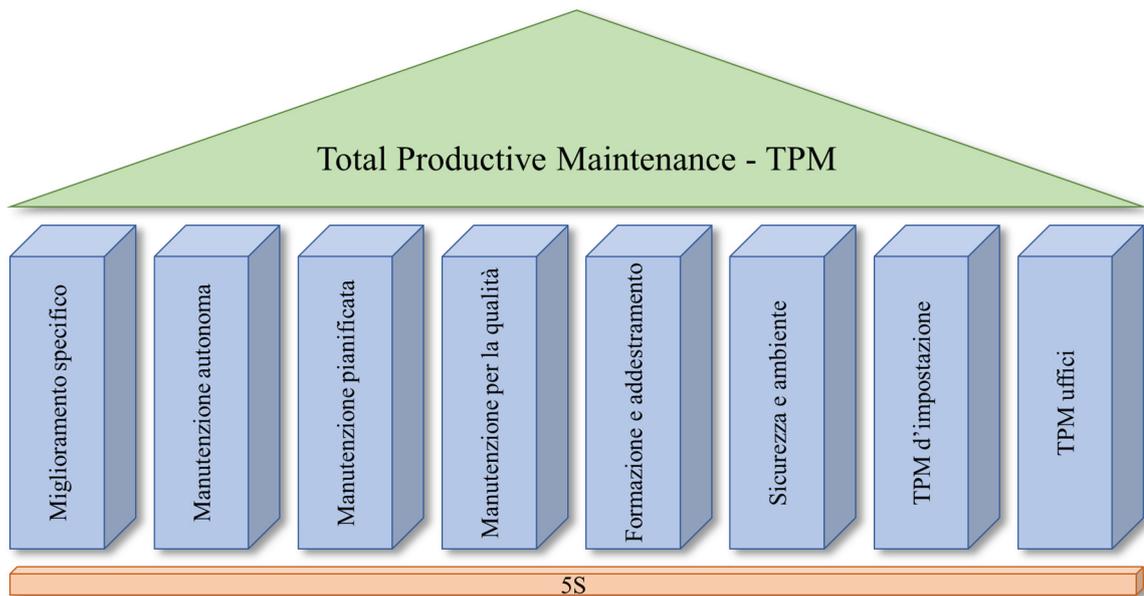


Figura 2.1: Pilastri della TPM

Le prime 4 attività (miglioramento specifico, manutenzione autonoma, manutenzione pianificata, manutenzione per la qualità) sono ritenute basilari e devono essere attivate nei primi 3 anni da quando si adotta un piano TPM; le rimanenti 4 (formazione e addestramento, sicurezza e ambiente, TPM d'impostazione, TPM uffici) possono essere

adottate una volta che in azienda si sia raggiunta una certa familiarità con il processo TPM.

La TPM fonda i suoi pilastri sullo strumento delle 5S^[4]: si tratta di un approccio che aiuta a rendere, per poi mantenere, pulita ed ordinata la postazione di lavoro, eseguendo semplici e frequenti azioni di miglioramento. Il nome deriva dalle 5 fasi in cui lo strumento si concretizza ed il concetto che ne sta alla base è quello di *definire un posto per ogni cosa per mantenere ogni cosa al suo posto*. Nel dettaglio, si individuano i seguenti step:

1. SEIRI (Separare): si chiede di rimuovere dalla postazione di lavoro tutto ciò che non è necessario (materiali, attrezzature, utensili) e di definire la frequenza con cui ciò che viene definito come “utile” venga effettivamente impiegato nell’esecuzione del processo di produzione. Per eseguire questa prima attività preliminare si organizza un’area detta “Area di quarantena”, in cui vanno riposti tutti gli articoli presenti nell’area in esame, ognuno etichettato con un tag che riporti la propria utilità;
2. SEITON (Ordinare): si chiede di stabilire un posto per ogni materiale, attrezzatura o strumento, in modo tale che ciascuno possa essere in grado di capire immediatamente dove trovare ogni cosa, in modo tale da eliminare i tempi impiegati per la ricerca di strumenti e materiale;
3. SEISO (Pulire): si chiede di eliminare polvere, sfridi di materiali, residui di componenti dall’area di lavoro in modo tale che, pulendo, si ispezioni la zona e si identifichino le fonti di sporco e le problematiche riguardanti la postazione;
4. SEIKETSU (Standardizzare): affinché le condizioni a questo punto raggiunte vengano poi mantenute, si chiede di definire e programmare attività standardizzate di ispezioni e pulizia;
5. SHITSUKE (Mantenere): una volta programmate le attività periodiche da eseguire, è necessario monitorare che queste vengano effettuate e utilizzare eventuali feedback per migliorare continuamente gli standard della postazione.

CAPITOLO 3

Obiettivo

L'obiettivo del progetto di tesi è quello di definire un processo di manutenzione ordinaria sostenibile per HSD, tenendo conto della situazione AS-IS dell'azienda.

HSD, attualmente, non dispone di una procedura per il processo di manutenzione ordinaria, nè preventiva nè a guasto. Esistono alcuni reparti o professionalità che si sono adoperate per implementare azioni di manutenzione preventiva, mentre la manutenzione a guasto viene gestita, su chiamata, dal manutentore o dai *Testing Engineer*, per i sistemi di collaudo delle linee di assemblaggio. Ciò comporta una mancata registrazione dei guasti, che non ne permette quindi un'analisi approfondita.

Per quanto riguarda la manutenzione preventiva, il reparto che maggiormente si adopera in tal senso è il reparto delle lavorazioni meccaniche; il capo reparto, infatti, ha definito, sulla base delle indicazioni del fornitore, delle check list di manutenzione preventiva, con frequenza giornaliera, settimanale, mensile o trimestrale. Per tali macchine, inoltre, sono previste delle attività di manutenzione programmata con il fornitore.

Il reparto linee di assemblaggio, invece, non ha per ora attuato un piano di manutenzione preventiva, ad eccezione dei sistemi di collaudo. Per tali macchine, infatti, i *Testing Engineer* hanno predisposto delle "operazioni di routine" a carico dell'operatore e delle attività di manutenzione preventiva di responsabilità degli stessi *Testing Engineer*. Per la restante parte della linea produttiva, invece, viene utilizzata una "Check list di Girolinea" per cercare di mantenere ordinata e pulita la linea stessa.

I problemi riscontrati nella gestione della manutenzione attuale sono i seguenti:

- assenza o incompletezza della manutenzione autonoma;
- assenza o incompletezza della manutenzione preventiva;
- mancata registrazione dei guasti;
- mancata analisi dei guasti;
- assenza di verifica delle attività manutentive, in particolare per le operazioni di routine che spesso non vengono realmente svolte dagli utilizzatori della macchina;
- assenza di documenti unificati a livello aziendale;
- responsabilità disperse.

La maggior parte della manutenzione delle macchine di HSD viene quindi effettuata dai fornitori esterni, con frequenze piuttosto basse (semestrali, annuali).

L'obiettivo del lavoro è quindi quello di creare una procedura che sia in grado di gestire il processo di manutenzione ordinaria dell'azienda, coinvolgendo tutti i reparti dello stabilimento. Il primo passo è stato quello di considerare le attuali attività manutentive come “*best practice*” aziendale per generare uno standard di processo a livello aziendale. Un piano di manutenzione efficace ed efficiente, però, fonda le sue basi sulla conoscenza del comportamento affidabilistico delle macchine. Per questo motivo, nonostante l'assenza di dati storici sui guasti, è stato possibile, tramite interviste ai *Testing Engineer*, analizzare i guasti di alcuni sistemi di collaudo delle linee produttive tramite FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*).

Infine, al fine di implementare il pilastro di Manutenzione Autonoma della TPM, sono state definite le attività di automanutenzione per la linea 3 del reparto linee di assemblaggio.

CAPITOLO 4

Metodi applicati

In questo paragrafo, sono presentati gli strumenti applicati al fine di implementare un sistema di gestione della manutenzione ordinaria dell'azienda. Tali strumenti sono forniti dai pilastri della TPM e dal Sistema di Gestione della Qualità ISO 9001:2015^[5].

4.1 Procedura operativa

Per costruire un Sistema di Gestione della Qualità^[6] è necessario avere ben chiari le attività da svolgere, enunciarle nella politica della qualità e renderle operative attraverso le procedure documentate dei processi caratterizzanti il contesto aziendale. L'approccio per processi è uno dei principi della qualità ed è espresso al punto §0.3 della norma UNI EN ISO 9001:2015 – Sistema di Gestione per la Qualità.

“Gestire” i processi significa utilizzare conoscenze, competenze, strumenti, tecniche e sistemi per pianificare, definire, visualizzare, misurare, controllare, raccogliere dati e per migliorare i processi, con l'obiettivo di soddisfare tutti i requisiti posti a monte (requisiti cogenti, requisiti del cliente, requisiti volontari, requisiti dell'organizzazione, ecc).

La norma sottolinea l'importanza dell'approccio per processi; citando testualmente un estratto del punto norma §0.3 – Approccio per processi:

“La presente norma internazionale promuove l'adozione di un approccio per processi nello sviluppare, attuare e migliorare l'efficacia di un sistema di gestione per la qualità, al fine di accrescere la soddisfazione del cliente attraverso il soddisfacimento dei requisiti del cliente stesso. Il punto 4.4 comprende specifici requisiti considerati essenziali per l'adozione di un approccio per processi.

Comprendere e gestire processi correlati come un sistema contribuisce all'efficacia e all'efficienza dell'organizzazione nel conseguire i propri risultati attesi. Questo approccio permette all'organizzazione di tenere sotto controllo le interrelazioni e le interdipendenze fra i processi del sistema, in modo che le prestazioni complessive dell'organizzazione stessa possano essere incrementate.

L'approccio per processi implica la definizione sistematica e la gestione dei processi e delle loro interazioni, in modo da conseguire i risultati attesi in conformità alla politica per la qualità e agli indirizzi strategici dell'organizzazione.

La gestione dei processi e del sistema nel suo complesso può essere realizzata utilizzando il ciclo PDCA (vedere punto 0.3.2), con un orientamento generale al risk based thinking (vedere punto 0.3.3), volto a cogliere le opportunità e a prevenire risultati indesiderati.

L'applicazione dell'approccio per processi all'interno di un sistema di gestione per la qualità permette:

- a) di comprendere i requisiti e di soddisfarli in modo coerente;*
- b) di considerare i processi in termini di valore aggiunto;*
- c) il conseguimento di efficaci prestazioni di processo;*
- d) il miglioramento dei processi sulla base della valutazione di dati e informazioni.”*

Le procedure sono alla base di un buon Sistema di Gestione della Qualità perché permettono di raggiungere l'obiettivo primario di una qualunque organizzazione: la standardizzazione dei processi.

Le procedure operative consistono in una descrizione delle attività necessarie per mantenere sotto controllo un preciso processo quale, per esempio, l'approvvigionamento, la gestione del magazzino, lo sviluppo prodotto, ecc. Tali procedure, infatti, sono elaborate con lo scopo di mantenere sotto costante controllo tutte le fasi costituenti un processo, che può avere influenza sulla gestione della qualità e, quindi, potrebbe essere causa di un'insoddisfazione del cliente o di un'inefficienza interna. La descrizione dei processi e delle attività deve essere semplice e chiara nei contenuti; per questo motivo, è necessario riportare:

- le modalità da seguire per svolgere l'attività;
- i criteri da soddisfare nello svolgimento delle attività;
- le responsabilità di chi deve effettuare specifiche azioni necessarie per lo svolgimento delle attività;
- la documentazione che deve essere prodotta per dimostrare che le attività previste sono state svolte, riportando l'esito di eventuali prove effettuate.

Le procedure operative riportano in genere i seguenti capitoli (Tabella 4.1):

Tabella 4.1: Capitoli procedura operativa

Capitoli	Descrizione
Scopo	<ul style="list-style-type: none"> • Viene indicato lo scopo che si prefigge la procedura, quali sono i requisiti che si intendono controllare con le modalità descritte
Registrazione delle modifiche	Contiene le informazioni relative a: <ul style="list-style-type: none"> • data di introduzione • numero dell'edizione/revisione • sintetica descrizione della modifica • fogli aggiornati/parte del documento aggiornata • visti di verifica e approvazione
Responsabilità	<ul style="list-style-type: none"> • Vengono indicate le responsabilità che sono attribuite alle funzioni aziendali nello svolgimento delle attività descritte nella Procedura Operativa
Sequenza delle attività	<ul style="list-style-type: none"> • Vengono illustrati i diagrammi di flusso descriventi le attività e le modalità operative mediante le quali si realizza il processo. Questo paragrafo può essere composto da più sottoparagrafi a seconda delle necessità
Evidenze oggettive	<ul style="list-style-type: none"> • Vengono identificate attraverso un titolo univoco, quando presenti, tutte le eventuali evidenze oggettive citate nella Procedura

Per poter realizzare un prodotto fornendo assicurazione del mantenimento nel tempo delle capacità di realizzazione di quella specifica fornitura, è necessario che siano mantenute sotto controllo anche le infrastrutture dell'organizzazione, ossia quei elementi che influiscono o possono influire sulle capacità di costanza della produzione. Sono considerate infrastrutture gli edifici, gli impianti operativi, gli spazi di lavoro, l'hardware, il software, gli strumenti e le attrezzature, i servizi di supporto, i trasporti, i sistemi informativi. È allora importante assicurare il controllo di tutte le infrastrutture o dei servizi acquistati, che si occupano di tali infrastrutture, quali i servizi di manutenzione sia degli immobili sia delle macchine operative.

Risulta, quindi, fondamentale la stesura di una procedura per la gestione del processo di manutenzione, nel rispetto del punto norma §7.1.3 – Infrastruttura, di seguito citata:

Infrastruttura

L'organizzazione deve determinare, mettere a disposizione e mantenere l'infrastruttura necessaria per il funzionamento dei suoi processi e per conseguire la conformità dei prodotti e servizi.

L'infrastruttura può comprendere:

- a) edifici e relativi impianti;*
- b) apparecchiature, compresi hardware e software;*
- c) risorse per il trasporto;*
- d) tecnologie dell'informazione e comunicazione.*

4.2 Piano manutenzione lato azienda

Il piano di manutenzione lato azienda consiste nella sequenza di operazioni e procedure che portano a identificare la migliore strategia di manutenzione da applicare al sistema (impianto, linea di produzione, ecc.) in esame. L'operazione di partenza di tale processo è il censimento dei beni, che ha lo scopo di stabilire quantità, localizzazione, tipologia dei beni presenti in azienda.

Dal censimento dei beni, si passa poi alla selezione dei beni che consente di individuare i beni per i quali sarà opportuno o meno effettuare manutenzione. Tale selezione viene fatta tenendo conto di:

- vincoli derivanti da norme o prescrizioni di sicurezza;
- criteri tecnici (manutenibilità);
- valutazioni economiche (costo manutenzione).

Il dettaglio della fase di selezione dei beni è presente in Figura 4.1.

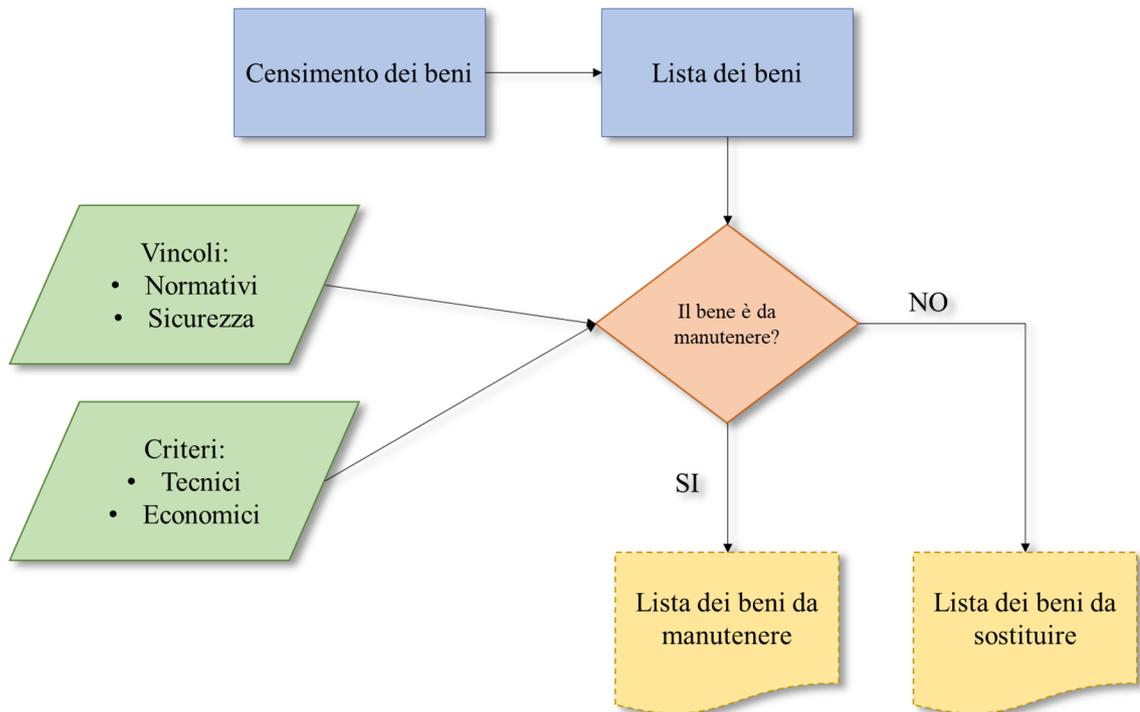


Figura 4.1: Fase di selezione dei beni

Al termine della fase di selezione dei beni sono disponibili:

- la lista dei beni da sostituire e per i quali non si prevede manutenzione;
- la lista dei beni da mantenere che nel corso della loro vita saranno soggetti a interventi di manutenzione.

I beni da mantenere devono essere sottoposti a un ulteriore livello di indagine per determinare l'esistenza di eventuali beni critici. L'indagine viene svolta in base a:

- vincoli derivanti da norme o prescrizioni tecniche;
- criteri tecnici (MTTF, MTTR, anagrafica degli interventi);
- considerazioni sugli effetti che il guasto del bene può comportare.

La Figura 4.2 mostra il dettaglio della fase di identificazione dei beni critici.

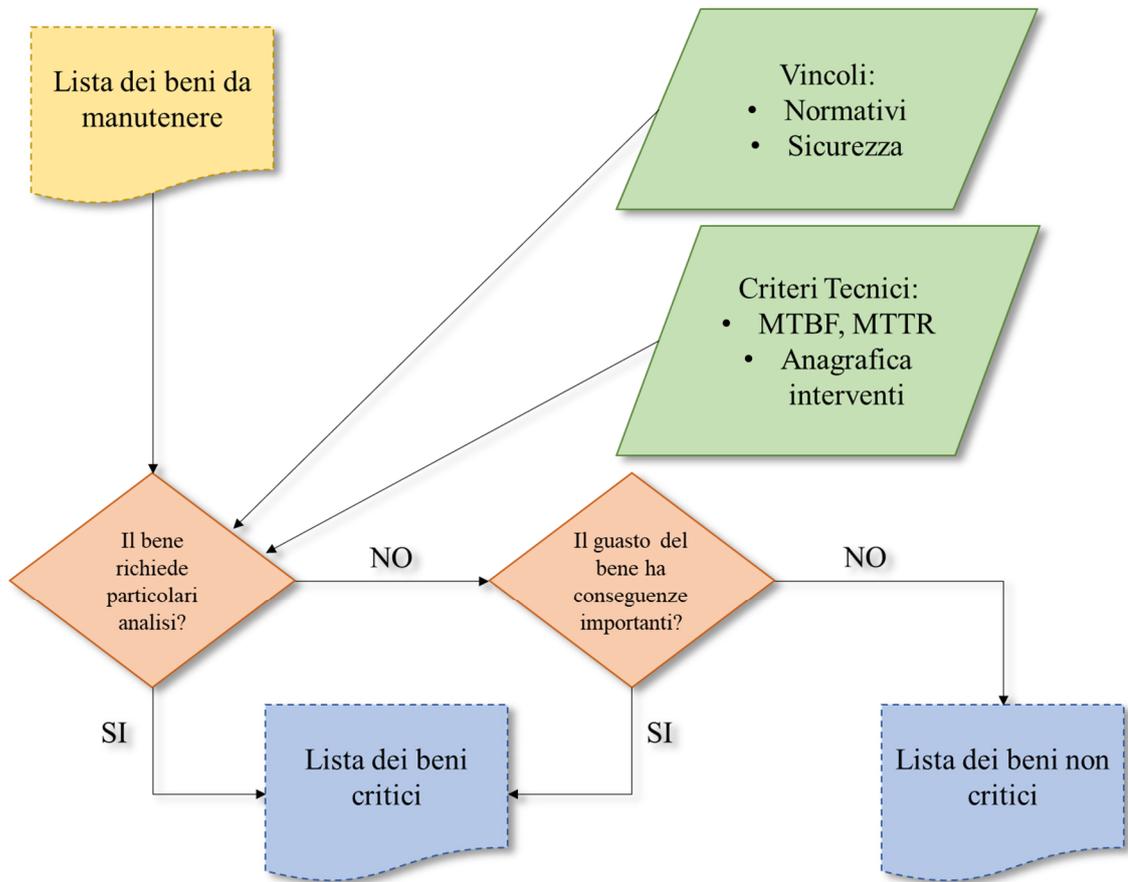


Figura 4.2: Fase di identificazione dei beni critici

Al termine di tale fase, si rendono quindi disponibili:

- la lista dei beni non critici che non richiedono ulteriori analisi e per i quali è possibile scegliere la tipologia manutentiva più idonea in base alle indicazioni suggerite dal fornitore;
- la lista dei beni critici che richiedono ulteriori approfondimenti e indagini (FMECA, FTA) per scegliere la strategia di manutenzione adatta a garantire i livelli ottimali di disponibilità e sicurezza.

Per effettuare la scelta delle strategie di manutenzione (Figura 4.3) si considerano i beni critici e si seguono le indicazioni che derivano dall'approfondimento d'indagine svolto su di essi. I criteri di selezione delle diverse strategie terranno anche conto dell'ispezionabilità e monitorabilità del bene e della sua eventuale previsione di durata.

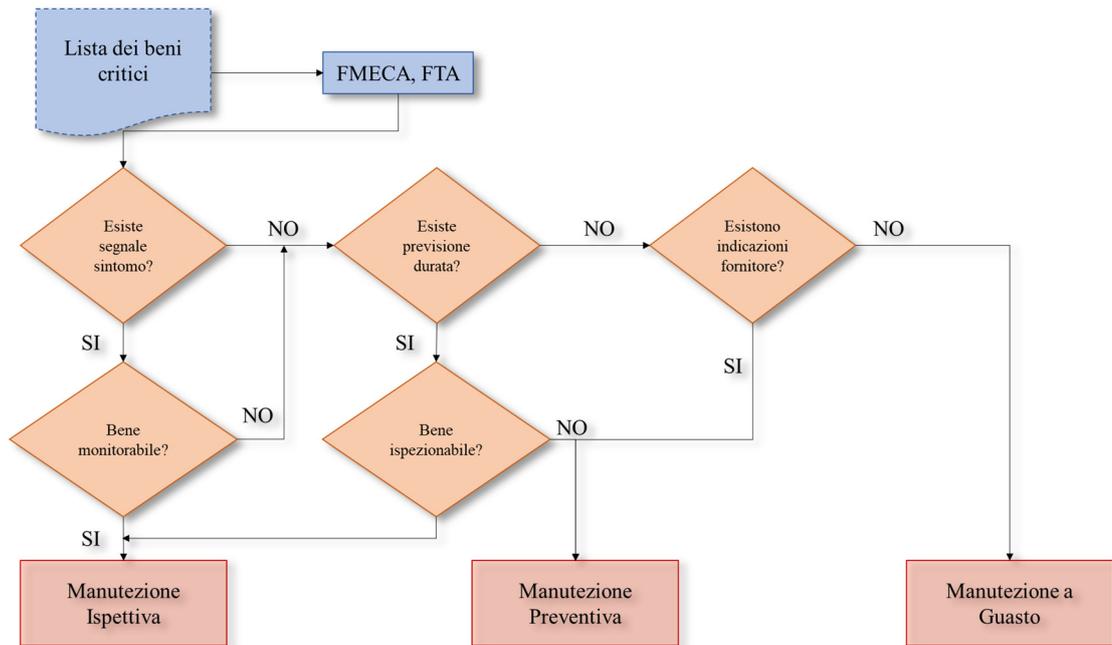


Figura 4.3: Scelta delle strategie di manutenzione

4.3 Analisi FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*)

L'analisi FMECA è uno strumento di analisi, a supporto della scelta delle strategie manutentive, che permette di indagare e approfondire il comportamento affidabilistico di un macchinario. L'analisi FMECA applicata in questo elaborato fa riferimento alla norma "MIL-STD-1629A"^[7]. Gli obiettivi della FMECA sono:

- 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.

La FMECA comprende:

1. una FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) che per ogni elemento del sistema analizza i modo di guasto, identificandone gli effetti sul sistema e sulle sue parti,

- sulla funzionalità, sul personale che utilizza il sistema, e specifica le cause che generano il singolo modo di guasto;
2. una valutazione della probabilità di guasto e del grado di criticità dei modi di guasti analizzati;
 3. la definizione del piano di manutenzione in base ai componenti critici.

La FMECA si ricava in 7 passi che portano alla costruzione di una tabella. I passi sono:

1. Definizione del sistema e costruzione dello schema affidabilistico

La prima fase dell'analisi consiste nella definizione dei "confini" del sistema poichè la sua corretta individuazione funzionale e fisica permette di caratterizzare e comprendere le sue interazioni con l'ambiente in cui opera. Per le parti costituenti il sistema è necessario individuarne la funzione e i modi di guasto. Più è dettagliata la scomposizione del sistema e maggiore è la possibilità di effettuare un'analisi accurata, ma aumenta anche il tempo necessario per l'analisi, la mole di informazioni da gestire e di conseguenza i costi. I criteri di scelta per definire il dettaglio a cui spingere la FMECA sono: tempo e risorse disponibili, conseguenze dei guasti e conoscenza del sistema. La logica di scomposizione può essere di diverso tipo: fisico-strutturale, funzionale o combinata.

Per la definizione degli *item* significativi costituenti il macchinario sotto analisi è stato utilizzato il *flow chart* in Figura 4.4. Per procedere alla scomposizione dell'elemento è, quindi, possibile partire dai gruppi funzionali e spingersi ad un livello di dettaglio inferiore solo se l'*item* in esame risulta significativo.

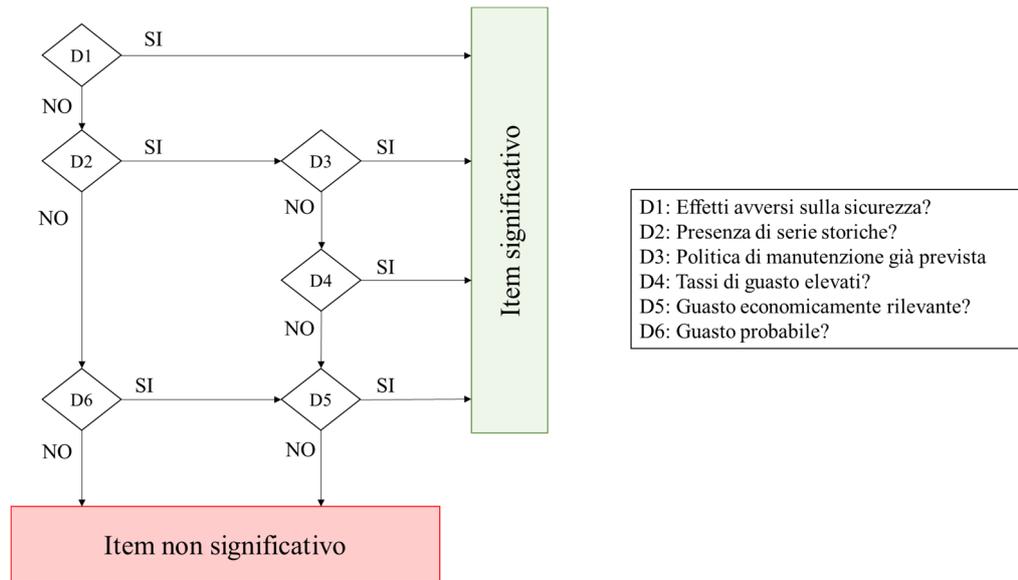


Figura 4.4: Flow chart per la definizione degli item significativi

2. Individuazione dei modi di guasto

Per tutte le unità che compaiono nello schema a blocchi del sistema devono essere identificati i più importanti modi di guasto, i loro effetti (sia a livello dell'unità esaminata sia a livello degli elementi superiori) e se e quali possibili sintomi ne accompagnano il manifestarsi. Per questo passo vengono utilizzate check-list per identificare le cause di ciascun modo di guasto.

3. Determinazione delle caratteristiche affidabilistiche

Per ogni unità si valuta il tasso di guasto λ e per ogni modo di guasto individuato per la singola unità si valuta la frequenza di accadimento α (% di accadimento del modo di guasto in esame rispetto al numero totale di guasti che accadono all'unità, ovvero la probabilità che il guasto occorso all'unità sia del tipo in esame). Il prodotto $\alpha\lambda$ è il tasso di guasto di quel particolare modo di guasto. In questa fase è importante tenere presente gli eventuali intervalli di manutenzione programmata durante la vita operativa del sistema: i valori di queste frequenze saranno minori di quelle di componenti non sottoposti a manutenzione programmata. È, inoltre, necessario, che le frequenze siano riportate su basi temporali significative,

4. Determinazione delle severità

Ogni modo di guasto deve essere valutato in termini dei peggiori effetti potenziali a esso attribuibili (ipotesi realistica per cui la valutazione del rischio vede il numero di guasti prevedibili a un livello ragionevolmente maggiore rispetto a quello predetto).

Per valutare gli effetti che ogni modo di guasto determina sul sistema, si valuta se il possibile modo di guasto ha conseguenze al livello superiore della scomposizione del sistema e se ne valuta l'eventuale "risalita" al sistema completo. A ciascun modo di guasto si assegna un indice di severità S . La norma "MIL-STD-1629A" definisce una scala di severità rappresentata in Tabella 4.2.

Tabella 4.2: Scala dell'indice di severità (S)

Tipo di guasto	Severità (S)
Molto critico: guasto che arresta il sistema rendendo non più possibile la produzione.	1
Critico: guasto che causa conseguenze arginabili che rendono la produzione possibile anche se a livelli ridotti.	0,7
Marginalmente critico: guasto che genera una maggiore quantità di scarto, ma la produzione non ne risente.	0,3
Poco critico: guasto che non crea conseguenze sul processo produttivo perchè si può isolare la parte di sistema danneggiata e utilizzare sistemi alternativi.	0,1

5. Determinazione delle criticità

In base al tasso di guasto λ relativo a ogni modo di guasto e all'indice di severità S , si calcola un indice di criticità:

$$C = S \cdot \alpha \lambda \quad (4.1)$$

La criticità è quindi un indice che misura gli effetti combinati delle conseguenze di un modo di guasto (severità S) e della sua frequenza di accadimento $\alpha\lambda$ (tasso di guasto di quel particolare modo di guasto).

6. Interventi correttivi

Si definiscono le azioni compensative o correttive da mettere in atto per i modi di guasto con maggiore criticità: modifiche di progetto, riprogettazione completa, interventi per rimuovere o ridurre i modi di guasto, indicazioni per la manutenzione.

Nel caso di riduzione dei modi di guasto le possibili strade da percorrere riguardano:

- riduzione della frequenza dei guasti (ad esempio, l'utilizzo di materiali di migliore qualità, sistemi con affidabilità maggiore);
- riduzione delle conseguenze del modo di guasto (ad esempio con l'introduzione di elementi di riduzione del rischio di guasto).

Le due alternative non sono in antitesi e possono essere entrambe utilizzate nella combinazione che ottimizza i risultati conseguibili.

7. Proposte per il piano di manutenzione

Sulla base delle informazioni raccolte durante i passi precedenti vengono formulati piani di intervento manutentivo capaci di risolvere i problemi evidenziati mediante:

- interventi di manutenzione migliorativa;
- adozione di politiche preventive su condizione (visite, rilievi);
- modifica delle procedure di gestione ricambi;
- creazione di sistemi stand-by;
- miglioramento dei metodi di riparazione.

Al termine dei passi descritti si giunge alla costruzione della tabella FMECA (Figura 4.5) con cui si può evidenziare il modo di guasto più critico.

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause	Effetti			Sintomi	Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=S\alpha\lambda$	Azioni e indicazioni
Codice	Nome				Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema						

Figura 4.5: Tabella FMECA

La prima parte della tabella riassume i passi 1 e 2 dell'analisi ed è caratterizzata dalle seguenti colonne:

- codice elemento: deve essere coerente con lo schema funzionale del sistema e deve permettere di individuare rapidamente ogni suo sottosistema e unità;
- nome elemento: oltre all'identificazione del componente in esame si può riportare anche il nome commerciale, il fornitore e il codice da esso utilizzato;
- funzione elemento: deve fornire una descrizione concisa della funzione del componente e delle sue interazioni con gli elementi con cui è interfacciato;
- modo di guasto: per ogni unità individuata nello schema funzionale devono essere ricercati i possibili modi di guasto;
- cause: per tutti i componenti presi in considerazione è necessario individuare le possibili cause di guasto (possono essere anche più di una per ogni modo);
- effetti a livello locale: che il modo di guasto ha sul corretto funzionamento del componente in esame (utile per mettere a punto eventuali azioni compensative);
- effetti a livello superiore: che il modo di guasto ha sull'entità a livello immediatamente superiore al componente nello schema funzionale;
- effetti a livello di sistema: che si potrebbero sul sistema avere nel caso di guasti multipli (cioè sia del componente in esame sia di altri);
- sintomi: descrizione concisa della funzione del componente, delle sue interazioni con gli altri elementi con cui è interfacciato e dei sintomi che possono dare l'indicazione dell'avvicinarsi dello specifico modo di guasto.

Per valutare la criticità del guasto si utilizza la matrice delle criticità (Figura 4.6). I termini che compaiono nella matrice sono il prodotto tra la severità del guasto e il peso dell'indisponibilità del sistema. La severità del guasto viene misurata utilizzando la scala sopra citata; anche le indisponibilità del sistema si possono raggruppare in classi a cui si associano opportuni pesi (Tabella 4.3).

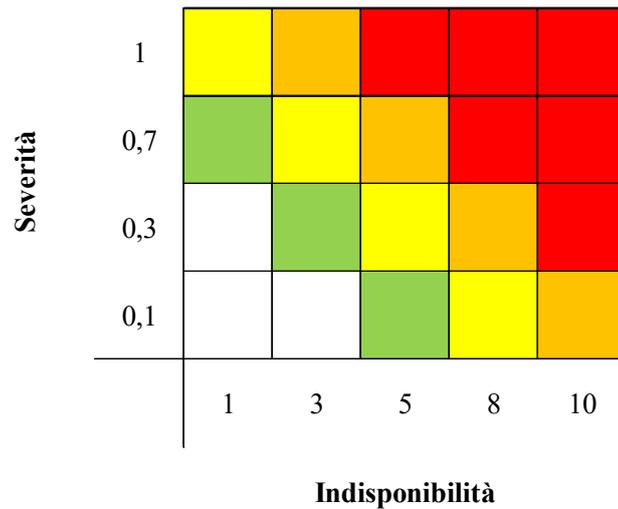


Figura 4.6: Matrice delle criticità

Tabella 4.3: Scala dell'indisponibilità del sistema

Indisponibilità	> 50 ore	50 ÷ 20 ore	20 ÷ 5 ore	5 ÷ 2 ore	< 2 ore
Classe	A	B	C	D	E
Peso	10	8	5	3	1

Tale suddivisione porta alla definizione di più casi di combinazione (20 in questo caso).

4.4 Manutenzione Autonoma

Il pilastro TPM di “Manutenzione Autonoma” guida alla definizione e programmazione di tutte quelle attività che gli operatori sono tenuti ad eseguire al fine di garantire nel tempo il mantenimento delle condizioni di base della macchina per azzerare i guasti dovuti alla mancanza di queste. La TPM e, in particolare, la Manutenzione Autonoma sono alla base del *World Class Manufacturing* (WCM), strategia sviluppata dal gruppo Fiat^[8].

Come ognuno dei pilastri, sono 7 gli step attraverso il quale la metodologia viene implementata, a partire da un'area modello, fino all'estensione sull'intero stabilimento. Di seguito verranno presentati i primi 3 step di pilastro in modo da poter fornire una visione più ampia nella quale poi andare ad inquadrare quanto applicato nel caso di studio. Il primo step di pilastro riguarda la pulizia iniziale e l'ispezione della macchina; gli obiettivi che vogliono essere traggurdati sono i seguenti:

- ✓ riportare la macchina nelle sue condizioni iniziali;
- ✓ identificare e segnalare tutte le anomalie riscontrate durante la pulizia e le aree di difficile accesso;
- ✓ rimuovere tutti gli oggetti non necessari, quindi riorganizzarli;
- ✓ creare un rapporto diretto tra la macchina e gli operatori che la conducono;
- ✓ definire per tutto questo un'area modello per l'implementazione di tutti i metodi e delle tecniche.

L'importanza di questo pilastro deriva dal fatto che per la mancanza di pulizia si possono avere perdite di diverso tipo:

- guasti della macchina: sporcizia e contaminazione da sfridi, trucioli o impurità possono provocare guasti agli organi rotanti esposti, alle parti traslanti, nei sistemi pneumatici ed idraulici e nella sensoristica e si possono verificare ostruzioni di condotte e sistemi di soffiaggio o aspirazione;
- logoramento della macchina: la presenza di sporcizia e impurità compromette anche la possibilità di identificare eventuali malfunzionamenti o anomalie, organi usurati, cricche insorgenti; la non identificazione di queste condizioni porta al logoramento precoce della macchina.
- difetti dei prodotti: la contaminazione di impurità nel processo produttivo può causare l'insorgenza di difetti nei prodotti in lavorazione (difetti di tipo estetico, funzionale, ecc.);
- perdite di velocità: sporcizia e sfridi aumentano la resistenza tra organi in moto relativo causando fermate della macchina, riduzione di velocità e dunque riduzione della capacità produttiva del processo.

L'aspetto fondamentale di questo pilastro è il coinvolgimento degli operatori, necessario per il raggiungimento dell'obiettivo dello zero per i guasti dovuti alla mancanza di condizioni di base della macchina. È necessario, infatti, che gli operatori comprendano l'importanza delle attività di pulizia non come fine a se stesse, ma come necessarie per l'ispezione della macchina stessa: gli operatori devono essere così educati all'individuazione di problemi meccanici, malfunzionamenti ed anomalie. In questo modo, ad essi viene permesso di incrementare le loro conoscenze riguardo la macchina che conducono o riguardo la postazione sulla quale lavorano, e vengono guidati all'acquisizione di quelle capacità che li porteranno ad essere in grado di eseguire quelle

operazioni di manutenzione di base quali, ad esempio, il cambio di filtri dell'aria, il rabbocco di grasso o lubrificanti o la sostituzione di componenti routinari.

In questo primo step si richiede di pulire completamente la macchina, eliminando sporczia, sfridi, componenti caduti, e qualsiasi tipo di contaminazione presente; una pulizia precisa e attenta permetterà contemporaneamente di ispezionare la macchina, identificando tutte le sorgenti di sporco, le aree di difficile accesso, eventuali parti danneggiate o malfunzionanti. In particolar modo devono essere oggetto di ispezione la struttura fisica della macchina, l'eventuale presenza di macchie d'olio, grasso o altro lubrificante, rivestimenti di parti e cablaggi, organi che producono vibrazioni o surriscaldamento, accessibilità di tutte le zone della macchina.

4.4.1 *CILR* standard

Una volta riportata la macchina alle sue condizioni di base, individuate le fonti di sporco e le zone di difficile accesso, tempificate le operazioni di pulizia, il metodo prevede la redazione di un piano di pulizia, ispezione, lubrificazione e serraggio di tipo provvisorio. Infatti, l'obiettivo che si ha nel secondo step del pilastro è quello di ridurre i tempi previsti per pulizia ed ispezione del 90%: è richiesto quindi, in questa fase, di mettere a punto tutte quelle azioni di contenimento dello sporco, di facilitazione dell'accesso a tutte le zone della macchina in modo che le azioni programmate di pulizia ed ispezione subiscano un abbattimento notevole dei loro tempi. Possono essere applicati sistemi di copertura delle zone dalle quali parte la contaminazione, facendo sempre in modo che i punti in cui le lavorazioni avvengono siano sempre visibili e ispezionabili (utilizzo di inserti in plexiglass), possono essere sostituiti pannelli che non permettono l'ispezione di organi di trasmissione o organi in movimento tramite pannelli con inserti trasparenti, possono essere tracciate linee continue su bulloni in modo da rendere veloce e semplice l'ispezione di eventuali parti da ri-serrare, possono essere applicati sistemi di lubrificazione automatica e quanto altro sia in grado di facilitare l'ispezione della macchina e la sua pulizia.

Una volta ottenuto questo obiettivo, nello step 3, il piano di pulizia, ispezione, lubrificazione e serraggio deve essere standardizzato in modo da essere eseguito dagli addetti.

Il documento in cui vengono pianificate, le attività di pulizia, ispezione, lubrificazione e serraggio è noto con la sigla "*CILR*" (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Re-tightening*).

A prescindere che si tratti del piano provvisorio o di quello redatto a seguito dell'ottenuto abbattimento dei tempi dedicati alle operazioni di pulizia, il CILR ha una forma e dei contenuti standard. Ciò che deve essere indicato in questo documento viene definito dalle 5W + 1H:

- *WHAT*: macchina oggetto di pulizia/ispezione/lubrificazione/ri-serraggio;
- *WHERE*: ubicazione della macchina oggetto di pulizia/ispezione/lubrificazione/ri-serraggio;
- *HOW*: modalità standard predefinita per l'esecuzione dell'attività (vanno indicati anche i dispositivi di sicurezza che devono essere impiegati);
- *WHEN*: tempo previsto per l'esecuzione dell'attività e frequenza con la quale essa deve essere ripetuta nell'arco del turno di lavoro, della giornata, della settimana o del mese;
- *WHO*: persona addetta all'esecuzione dell'attività (operatore della postazione, capolinea, caporeparto);
- *WHY*: risultati attesi dall'esecuzione dell'attività pianificata.

Considerando questa logica, è necessario quindi predefinire un template standard per la definizione di tali attività di manutenzione autonoma. Tale documento deve prevedere anche una schedulazione delle attività sulla base della frequenza stabilita per esse.

CAPITOLO 5

Applicazione dei metodi

5.1 Processo di Manutenzione Ordinaria di HSD – Procedura Operativa

Il primo passo per la gestione della manutenzione ordinaria è stato quello di redigere la procedura per il processo di manutenzione ordinaria di HSD. Il documento segue la stessa impostazione delle altre procedure aziendali ed è strutturato come segue:

1. scopo;
2. campo di applicazione;
3. riservatezza;
4. tempi di attuazione;
5. riferimenti;
6. definizioni;
7. descrizione del processo di manutenzione ordinaria;
8. registrazione e archiviazione dei documenti;
9. monitoraggio del processo.

Il processo di Manutenzione Ordinaria è caratterizzato da due processi in parallelo^{[9][10]} (Figura 5.1):

1. processo di Manutenzione a Guasto;
2. processo di Manutenzione Preventiva.

All'interno della Manutenzione a Guasto si trovano tutti quegli interventi manutentivi non programmati, che scaturiscono da un guasto o da una ispezione che non rispetta i limiti di accettabilità previsti dal piano manutentivo.

Il processo di Manutenzione Preventiva consta, a sua volta, di tre processi paralleli:

1. processo di Manutenzione Autonoma (di I livello);
2. processo di Manutenzione di II livello;
3. processo di Manutenzione Esterna.

La Manutenzione Autonoma, o automanutenzione, prevede il completamento di attività semplici, ma periodiche, eseguibili da personale non specializzato. Le attività sono

identificate e classificate con la sigla *CILR* (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Re-tightening*).

All'interno del processo di Manutenzione di II livello sono, invece, presenti quelle attività manutentive programmate con un intervallo di intervento maggiore e che richiedono competenze specializzate. In questa categoria rientrano gli interventi di sostituzione di parti di macchina o di apparecchiature, smontaggio di attrezzature, revisione macchine, ecc.

Infine, il processo di Manutenzione Esterna include quegli interventi manutentivi programmati a carico dell'azienda fornitrice del macchinario.

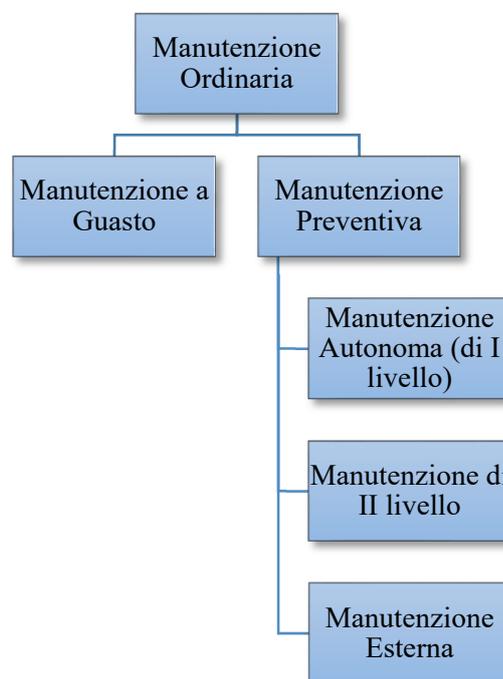


Figura 5.1: Struttura del processo di Manutenzione Ordinaria

Per ciascuno dei processi sopra citati, sono stati definiti:

- le attività: descrizione dei contenuti dell'attività che deve essere svolta;
- le responsabilità: i soggetti coinvolti e le relative responsabilità;
- gli input: insieme di elementi in entrata compresa la documentazione che deve essere disponibile al fine di garantire lo svolgimento efficiente ed efficace delle diverse attività;
- gli output: insieme di elementi in uscita compresa la documentazione che deve essere generata al fine di garantire lo svolgimento efficiente ed efficace delle diverse attività.

Il processo è stato rappresentato tramite un diagramma di flusso (*flow chart*) che permette la mappatura dinamica di un problema in termini di attività, operazioni e risorse necessarie e di prodotti ottenuti. Permette, inoltre, di evidenziare le trasformazioni dinamiche delle risorse materiali o informative e, in particolare, evidenzia:

- il flusso di un processo (input, attività e output);
- le responsabilità coinvolte;
- i documenti prodotti.

Le responsabilità coinvolte in ciascuna delle attività caratterizzanti il processo sono state assegnate utilizzando la matrice *RACI*, un acronimo che sta per:

- *Responsible*: identifica la risorsa che esegue l'attività (può essere più di 1);
“Chi esegue l'attività”
- *Accountable*: identifica la risorsa con delega e responsabilità di controllo/validazione dell'attività (deve essere unica / può coincidere con R);
“Chi ha l'autorità di approvare o disapprovare l'attività”
- *Consulted*: identifica la risorsa/e che possono/devono intervenire come consulto nell'attività (attivate da R). Il flusso di informazioni è bidirezionale;
“Di chi hai bisogno per eseguire l'attività”
- *Informed*: risorsa/e che possono/devono essere informate dal Responsible dell'attività solo per conoscenza. Il flusso di informazioni è unidirezionale;
“Chi deve essere informato”.

Per questioni di riservatezza dei documenti, nei paragrafi seguenti saranno descritti i processi omettendo i relativi *flow chart* e responsabilità coinvolte. La tabella utilizzata per mappare i processi è raffigurata in Figura 5.2.

FLUSSO	DESCRIZIONE ATTIVITA'	RACI	INPUT	OUTPUT

Figura 5.2: Tabella per mappatura processi

5.1.1 Manutenzione a Guasto

Il processo di Manutenzione a Guasto è stato strutturato in tre fasi (Figura 5.3).



Figura 5.3: Fasi del processo di Manutenzione a Guasto

La prima fase di segnalazione del guasto comprende le attività di segnalazione del guasto vera e propria e l'attività di contenimento del guasto. La segnalazione del guasto deve avvenire tramite la compilazione di un "Modulo Richiesta Intervento" (Figura 5.4), strutturato in modo tale da raccogliere le informazioni preliminari riguardanti l'evento di guasto. In particolare, si richiede se il guasto comporta un fermo macchina, che determina quindi una preliminare valutazione dell'urgenza di intervento, e se il guasto è permanente, ovvero se perdura nel tempo, oppure intermittente, ossia se si presenta in maniera instabile in diversi intervalli temporali.

Nella fase di valutazione del guasto, invece, il responsabile delle attività deve valutare la criticità del guasto rispetto al sistema in cui si inserisce, l'eventuale presenza di un contratto a chiamata con il fornitore del macchinario e le competenze interne per l'attività di ripristino dello stato di salute dell'item guasto. Questa fase permette di assegnare la

responsabilità dell'attività manutentiva ad un soggetto interno oppure esterno (ad esempio, il fornitore del macchinario).

Infine, la fase di manutenzione comporta il ripristino del macchinario da parte del soggetto a cui precedentemente è stata assegnata la responsabilità, con eventuale emissione della Richiesta di Acquisto (RdA). Inoltre, l'assegnazione della responsabilità alla ditta esterna potrebbe comportare il ripristino della macchina presso la casa madre e, di conseguenza, il flusso di processo prevede anche la possibilità di spedizione a quest'ultima.

EMESSO:		VERIFICATO:		APPROVATO:	
COSA	Oggetto del Guasto		DOVE	Reparto	
	Matricola			Linea di Produzione	
QUANDO	Data		CHI	Postazione	
	Ora			Richiedente	
Descrizione del guasto		Possibile causa del guasto		Fermo macchina	Tempo trascorso dal primo sintomo
				<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> Permanente
				<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Intermittente (Specificare gli intervalli temporali di funzionamento e di guasto)

Figura 5.4: Modulo Richiesta Intervento

5.1.2 Manutenzione Preventiva

Per rappresentare il processo di manutenzione preventiva sono stati mappati tre flussi di processo, uno per ciascuna tipologia di manutenzione sopra descritta.

Manutenzione Autonoma

Il processo di Manutenzione Autonoma prevede, per ciascun reparto e linea di assemblaggio, la definizione delle attività di automanutenzione che devono essere portate a termine dagli stessi operatori. Il documento predisposto per raccogliere tali attività è una “Check list di Manutenzione Autonoma” (Figura 5.5) in cui sono indicati:

- macchina/attrezzatura oggetto di manutenzione autonoma (*WHAT*);
- reparto, linea di assemblaggio, postazione in cui sono ubicate le macchine (*WHERE*);
- attività, modalità di esecuzione, criteri di accettabilità, azioni correttive possibili (*HOW*);
- frequenza (*WHEN*);
- firma del capo reparto o del capo turno responsabile degli operatori che devono eseguire l’automanutenzione (*WHO*).

Ciascuna attività deve essere caratterizzata da un colore che ne indichi la tipologia: *Cleaning, Inspection, Lubrication, Re-tightening*.

Le colonne della check list contenenti i criteri di accettabilità e le azioni correttive possibili sono state inserite per le attività di *Inspection*; tali attività, infatti, prevedono un controllo della condizione del componente che può avere esito negativo sulla base dei criteri di accettabilità e di conseguenza può presentarsi la necessità di un’attività correttiva.

La check list prevede anche un calendario mensile di pianificazione delle attività nel rispetto della frequenza stabilita; l’operatore dovrà apporre un simbolo in base a:

- l’attività è stata svolta;
- l’attività non è stata svolta per mancanza di tempo;
- l’attività non è stata svolta perchè non necessaria.

Quest’ultima opportunità di compilazione della check list fornisce all’operatore una maggiore responsabilizzazione nei confronti del macchinario con cui opera e permette di

far comprendere a colui che pianifica la manutenzione l'eventuale necessità di modificare le attività manutentive o la loro frequenza. Lo svolgimento dell'attività manutentiva è quindi chiaramente a carico dell'operatore.

Nell'ottica del miglioramento continuo dei processi, si utilizza il metodo di gestione iterativo "*Plan-Do-Check-Act*" (Ciclo di Deming); per questo motivo, viene predisposta anche un'attività di verifica delle operazioni di manutenzione autonoma da parte del capo reparto.

Manutenzione di II livello

La manutenzione di II livello coinvolge delle figure specializzate al fine di eseguire attività manutentive programmate di maggiore entità rispetto alla manutenzione autonoma.

La manutenzione di II livello può essere classificata in^[11]:

- manutenzione preventiva *use-based* (Figura 5.6): l'intervento di manutenzione preventiva si effettua a multipli fissati di un intervallo di durata t_p di operatività continua del sistema. Nel caso in cui il sistema si guasti prima di t_p , si effettua un intervento manutentivo occasionale al manifestarsi del guasto e il successivo intervento preventivo pianificato viene riposizionato dopo t_p unità di tempo dall'accadimento del guasto. I cicli di operatività non hanno quindi tutti la stessa durata in quanto a ogni intervento di manutenzione (preventiva oppure occasionale) il conteggio del tempo viene "riazzerato";

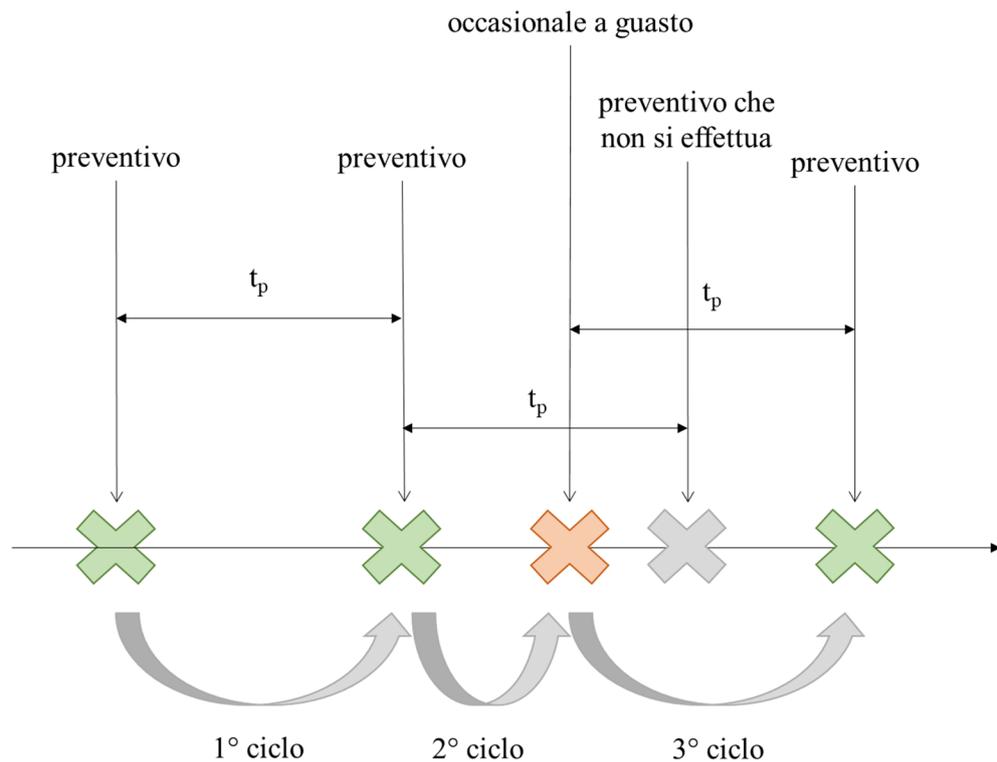


Figura 5.6: manutenzione *use-based*

- manutenzione preventiva *time-based* (Figura 5.7): la manutenzione preventiva è effettuata a intervalli regolari di tempo di durata t_p , indipendentemente dalla

numerosità degli interventi manutentivi a guasto eventualmente necessari nel corso dell'intervallo t_p . Il momento in cui si realizza la manutenzione preventiva è quindi indipendente da ciò che accade durante gli intervalli di tempo fra due interventi manutentivi preventivati;

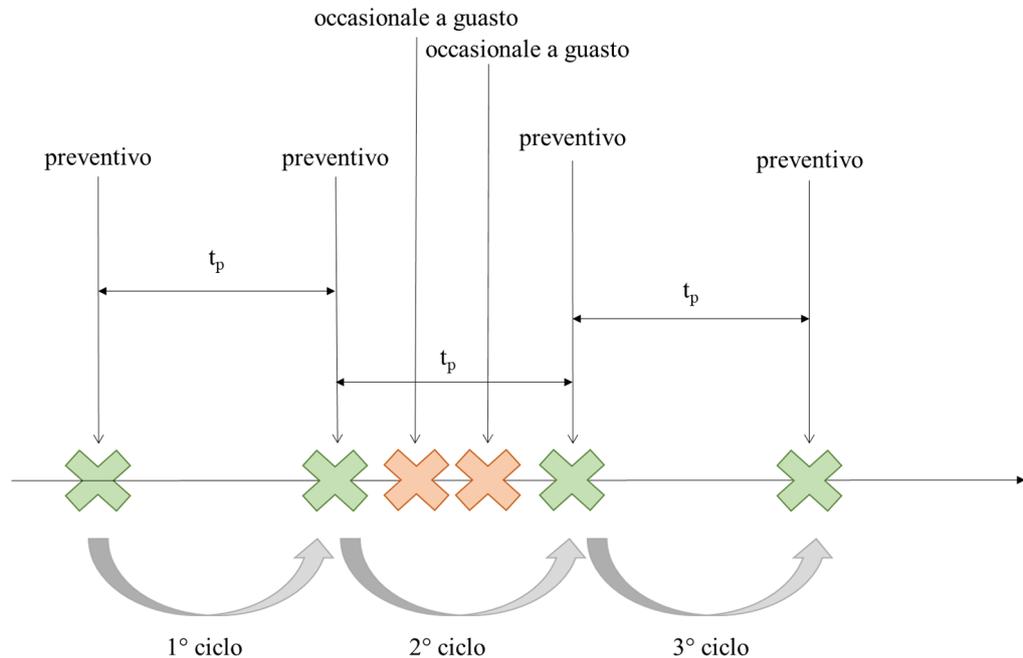


Figura 5.7: Manutenzione *time-based*

- manutenzione *condition-based*: è basata sul monitoraggio delle prestazioni di un'entità e/o dei parametri significativi per il suo funzionamento e sul controllo dei provvedimenti conseguentemente presi. L'intervento si effettua dopo aver verificato in maniera oggettiva che l'impianto abbia raggiunto il limite dell'avaria.

Il flusso di processo della manutenzione di II livello prevede la redazione di un'Istruzione Operativa (IOP) che contenga al suo interno la descrizione delle attività e la frequenza per ciascuna macchina o famiglia di macchine. In caso di manutenzione *condition-based* è necessario prevedere anche le modalità di misura della condizione (ad esempio, visiva o strumentale), i criteri di accettabilità e le eventuali azioni correttive da intraprendere se fosse superato il limite di accettabilità del controllo.

In ciascuna IOP è indicato anche il responsabile dell'attività manutentiva. Tale soggetto ha l'onere, nel momento in cui effettua la manutenzione programmata, di compilare una "Check list di Manutenzione" (Figura 5.8) per dare evidenza dell'attività e del suo esito.

Anche in questo caso, al fine di strutturare l'intervento manutentivo, la check list contiene le 5W che permettono la contestualizzazione dell'attività. Manca, invece, l'*HOW* perché incluso nelle istruzioni operative delle singole macchine a cui la check list fa riferimento *case-by-case*. In caso di manutenzione *condition-based*, è necessario dare evidenza dell'esito del controllo della condizione del componente; per tale motivo, la check list prevede un esito del controllo che può essere:

- “OK/no OK”, nel caso in cui la caratteristica sotto controllo sia misurata su scala nominale;
- un “Valore”, nel caso in cui la caratteristica sotto controllo sia misurata su scala di rapporto.

In caso di anomalie riscontrate, ovvero se il target definito nell'Istruzione Operativa non viene rispettato, il responsabile dell'attività deve segnalare le azioni correttive intraprese. Sempre nell'ottica del miglioramento continuo, si definisce una fase di verifica dell'attività manutentiva per un'eventuale ripianificazione.

Manutenzione Esterna

Il processo di Manutenzione Esterna fonda le sue radici nella stipulazione di un contratto con il fornitore della macchina che si assume la responsabilità di effettuare una manutenzione preventiva programmata, solitamente ad intervalli di tempo semestrali o annuali. Si tratta di interventi manutentivi che il personale interno all'azienda non ha le competenze di eseguire. Spesso tali manutenzioni sono anche necessarie al fine di rispettare le norme di sicurezza dell'infrastruttura.

Alla chiusura del lavoro, la ditta esterna ha l'onere di rilasciare un documento di rapporto di fine lavoro contenente la descrizione delle attività svolte e l'esito della manutenzione.

Esempi di infrastrutture soggette a manutenzione esterna sono:

- gru a bandiera e carroponti;
- carrelli elevatori;
- sistemi antincendio;
- impianto elettrico, pneumatico e idraulico;
- impianto termico;
- impianti di sollevamento;
- sala compressori;

- magazzini verticali (modula);
- macchine CNC presenti nel reparto lavorazioni meccaniche.

5.1.3 Software di supporto al processo di manutenzione ordinaria

Al fine di supportare il processo di manutenzione, è stato scelto di utilizzare il software Simpledo.net, che veniva già utilizzato in azienda dall'Ufficio Sicurezza, al fine di monitorare le attività di manutenzione da parte dei fornitori, nel rispetto delle norme di sicurezza vigenti.

Il software Simpledo permette, infatti, una suddivisione dello stabilimento in reparti (Figura 5.9) e la successiva creazione, all'interno del reparto di competenza, di un'anagrafica della macchina (Figura 5.10).

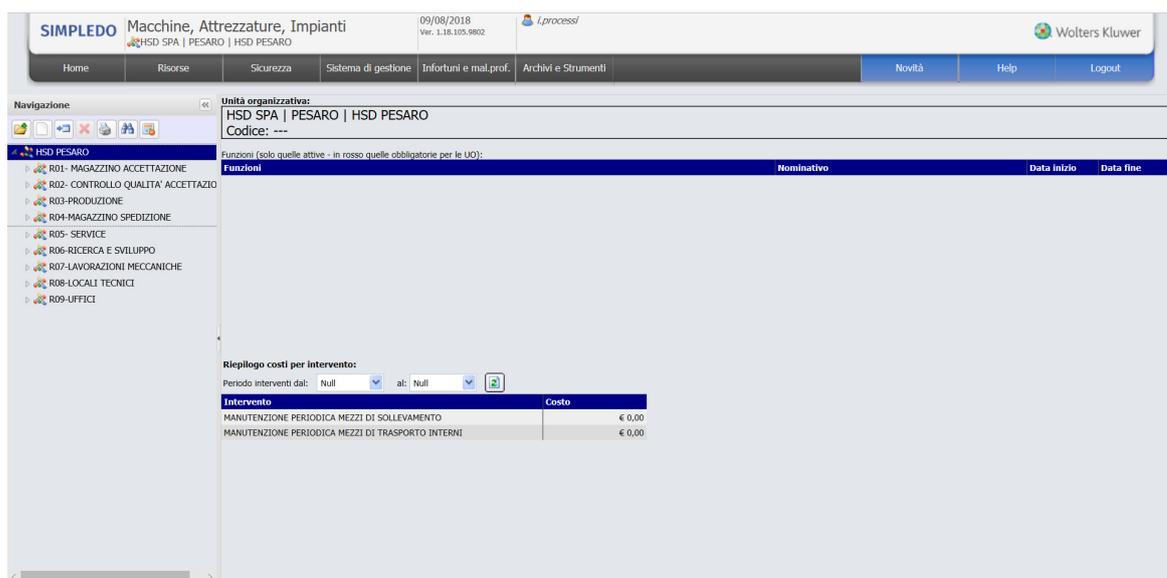


Figura 5.9: Software Simpledo – Reparti stabilimento

The screenshot displays the 'Dati generali' (General Data) section of the SIMPLEDO software. The interface includes a navigation pane on the left with a tree view of organizational units. The main area shows a form for a machine with the following details:

- Unità Org.:** HSD SPA | PESARO | HSD PESARO | R04-MAGAZZINO SPEDIZIONE
- Categoria:** Carrello elevatore Jungheinrich EFG 115
- Macchina:** Carrello elevatore Jungheinrich EFG 115
- Matricola:** FN 381954
- Fornitore:** JUNGHEINRICH
- Data fabbricazione:** 01/01/2006
- Data acquisto:** Null
- Data dismissione:** ---
- Tipologia:** Mezzi di trasporto interni
- Checkboxes:**
 - Marcatura CE
 - Macchinario non aziendale
 - Certificato CE
 - Manuale di istruzione/manutenzione presente
 - Temporaneamente fuori servizio
- Responsabili:** A table with columns for 'Funzione/incarico' and 'Nominativo' for three different roles (Responsabile 1, 2, 3).
- Presidio antincendio:**
- Note:** A text area for additional information.

Figura 5.10: Esempio anagrafica macchina

Grazie all'utilizzo del software, quindi, si rende possibile la creazione di un database macchine in grado di raccogliere tutte le informazioni riguardanti il piano di manutenzione predisposto, che sostituisce di conseguenza il precedente file Excel di elenco delle macchine utilizzato in azienda.

Al fine di censire le macchine, all'interno dell'anagrafica macchina-dati generali, è necessario compilare le seguenti informazioni:

- macchina: nome identificativo della macchina;
- matricola;
- tipologia;
- fabbricante;
- data fabbricazione: come data di fabbricazione si inserisce la data di installazione in azienda;
- marcatura CE;
- manuale di istruzione/manutenzione presente;
- data dismissione: in caso di dismissione inserire la data;
- responsabile: colui che deve presidiare in caso di manutenzione esterna o interna della macchina e che può essere contattato in caso di guasto della macchina.

Inoltre, nei "file associati" vengono caricati il manuale uso e manutenzione, se presente, e l'eventuale Istruzione Operativa necessaria per svolgere le manutenzioni di II livello.

Il software permette di pianificare e registrare le attività di manutenzione. Tutte le attività di manutenzione di II livello, esterna e a guasto devono essere registrate sul software, inserendo il responsabile della manutenzione e il costo della manutenzione. Si predispongono, inoltre, delle modalità di archiviazione dei documenti all'interno del software. In particolare, devono essere archiviate le Check list di Manutenzione e i report d'intervento da parte dei fornitori esterni, sia in caso di manutenzione preventiva che in caso di manutenzione correttiva.

5.1.4 Monitoraggio del processo di manutenzione ordinaria

Al fine di perseguire l'obiettivo del miglioramento continuo del processo richiesto dal primo pilastro della TPM, è necessario misurare le prestazioni degli impianti, indirizzare le azioni di miglioramento e monitorare l'efficacia di quelle intraprese. Per misurare le prestazioni del processo di manutenzione si definiscono dei *Key Performance Indicator* (KPI) di monitoraggio. Per individuare i KPI necessari per valutare le performance del processo, sono stati analizzati i *flow chart* al fine di identificare le possibili cause delle aree di criticità che determinano un "rallentamento" del processo e che sono fonte di inefficienza e inefficacia, tenendo conto anche dei KPI suggeriti dalla letteratura^{[12][13]}. I KPI individuati sono:

1. Mean Time Between Failures (Tabella 5.1);
2. Mean Time To Repair (Tabella 5.2);
3. Indice di Manutenzione Correttiva (Tabella 5.3).

Tabella 5.1: Mean Time Between Failures

Nome	Mean Time Between Failures (MTBF)
Descrizione	L'MTBF rappresenta il tempo atteso tra due guasti. È un'approssimazione di quanto tempo l'unità di lavoro dovrebbe durare prima di guastarsi.
Formula	$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TBF_i}{FE}$ <p>Dove: TTR = Time Between Failures (tempo tra due guasti) FE = Numero di Failure Event (evento di guasto) i = 1,...,n i-esimo evento di guasto</p>
Unità di misura	Tempo
Dominio	Min: 0 Max: infinito
Target	Più alto possibile
Oggetto dell'analisi	Unità di lavoro (macchina)
Note	L'MTBF è generalmente calcolato in ore. Ogni qualvolta si verifica un guasto, si calcola il nuovo MTBF relativo all'unità di lavoro.

Tabella 5.2: Mean Time To Repair

Nome	Mean Time To Repair (MTTR)
Descrizione	L'MTTR è il valore atteso del tempo al ripristino, dove il tempo al ripristino è l'intervallo di tempo durante il quale l'entità è in uno stato di indisponibilità a causa di un guasto.
Formula	$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TTR_i}{FE}$ <p>Dove: TTR = Time To Repair (tempo di ripristino di un guasto) FE = Numero di Failure Event (evento di guasto) i = 1,...,n i-esimo evento di guasto</p>
Unità di misura	Tempo
Dominio	Min: 0 Max: infinito
Target	Più basso possibile
Oggetto dell'analisi	Unità di lavoro (macchina)
Note	L'MTTR è generalmente calcolato in ore. Ogni qualvolta un guasto viene ripristinato, si calcola il nuovo MTTR relativo all'unità di lavoro.

Tabella 5.3: Indice di Manutenzione Correttiva

Nome	Indice di Manutenzione Correttiva (IMC)
Descrizione	L'indice di Manutenzione Correttiva rileva il peso degli interventi a guasto rispetto al totale delle attività manutentive su un'unità di lavoro (macchina). Tale rapporto mostra la mancanza di affidabilità del sistema.
Formula	$IMC = \frac{CMT}{CMT + PMT}$ <p>Dove: CMT = <i>Corrective Maintenance Time</i> = tempo totale della manutenzione correttiva (a guasto) PMT = <i>Preventive Maintenance Time</i> = tempo totale della manutenzione preventiva</p>
Unità di misura	%
Dominio	Min: 0 Max: 100
Target	Più basso possibile
Oggetto dell'analisi	Unità di lavoro (macchina)
Note	Questo rapporto dà l'idea del tempo trascorso in attività correttive rispetto all'intero tempo dedicato alla manutenzione. Si nota come una eccessiva manutenzione preventiva avrebbe un effetto di diminuzione dell'indice.

Per le linee di assemblaggio, inoltre, viene già monitorata l'efficienza tramite l'indice OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)^[14]. Tale indicatore permette di calcolare il rendimento globale di un impianto, classificando le diverse perdite di produzione (guasti, set-up, riduzioni di velocità, microfermate, scarti e rilavorazioni) e, pertanto, è affetto dalle performance del processo di manutenzione. La Figura 5.11 mostra il metodo di calcolo dell'indice OEE.

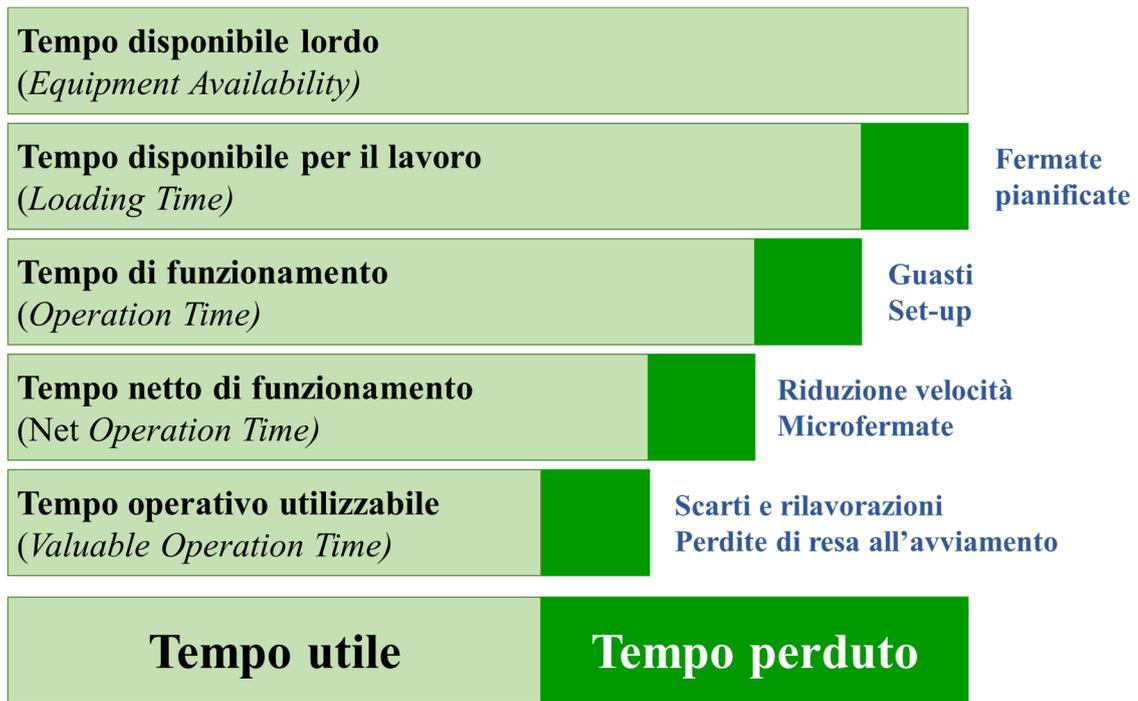


Figura 5.11: Metodo di calcolo dell'indice OEE

L'indice OEE viene calcolato per ciascuna linea di assemblaggio con la formula seguente:

$$OEE = \frac{\text{Tempo ciclo teorico} \cdot \text{Produzione buona}}{\text{Tempo disponibile}} \quad [\%] \quad (5.1)$$

Pertanto, una diminuzione dell'indice OEE potrebbe essere dovuta ad una riduzione delle performance del processo di manutenzione.

5.2 Linee di assemblaggio: censimento dei beni

Per il presente lavoro di tesi, la fase di identificazione dei beni da mantenere e dei beni critici si è concentrata sulle linee di assemblaggio, che rappresentano il *core business* dell'azienda. In questo paragrafo, per manutenzione si intende la manutenzione preventiva di II livello.

A partire dal censimento dei beni già presente in azienda, sono stati definiti i beni da mantenere e successivamente, all'interno di questi ultimi, i beni critici. Sono stati considerati beni critici, quegli *item* che, in caso di guasto, generano problemi di sicurezza e hanno un impatto considerevole sull'output della linea. Beni come ad esempio il fornetto per il riscaldamento dei cuscinetti non sono stati considerati critici, in quanto

possono essere sostituiti dall'utilizzo di una pistola termica senza causare impatti considerevoli sulla linea. Per gli *item* non critici, si predispone comunque una manutenzione autonoma in modo tale da mantenerne le condizioni di base iniziali e da monitorarne lo stato di salute.

Come descritto nel paragrafo 4.2, i beni critici richiedono ulteriori approfondimenti e indagini (FMECA, FTA) per scegliere la strategia di manutenzione più adatta. Tuttavia, la mancanza di un piano di manutenzione e di dati storici sui guasti delle macchine hanno ridotto i beni da approfondire tramite analisi FMECA. Tale analisi è stata quindi condotta sulla maggior parte delle stazioni di collaudo presenti nelle linee.

5.3 Stazioni di collaudo: analisi FMECA

L'analisi FMECA è stata condotta sulle stazioni di collaudo presenti nelle linee di assemblaggio. Infatti, nonostante la carenza di dati storici sui guasti, tramite interviste ai *Testing Engineer* presenti in azienda, è stato possibile derivare delle informazioni sui guasti che hanno reso possibile l'analisi. Tuttavia, è stato necessario considerare il tasso di guasto dei componenti costante nel tempo e pari al rapporto tra il numero di guasti e il tempo operativo di funzionamento della macchina:

$$\lambda = \frac{\text{Numero di guasti}}{\text{Tempo operativo}} \quad (5.2)$$

Per la scomposizione della macchina in item significativi, è stato utilizzato il *flow chart* di Figura 4.4. Sono stati considerati anche gli *item* il cui numero di guasti, a partire dal giorno dell'installazione sino al momento dell'analisi, è pari a zero. Tale decisione è stata presa al fine di avere una visione globale del sistema sotto esame, utile anche per un'analisi futura più approfondita. Inoltre, alcuni di questi *item* possono avere effetti avversi sulla sicurezza e di conseguenza è necessario monitorare il loro impatto sul sistema in esame. Questi componenti avranno chiaramente un indice di criticità pari a 0 e un'indisponibilità il cui peso risulterà essere pari a 1. Tuttavia, nonostante il peso dell'indisponibilità appartenga alla classe inferiore, alcuni di questi *item* sono caratterizzati da una severità elevata che rende necessaria l'individuazione di azioni correttive, come ad esempio la presenza di una scorta in magazzino.

La mancanza di dati storici che permettessero uno studio del comportamento affidabilistico del macchinario, ha reso necessario calcolare l'indisponibilità della macchina derivante da un dato modo di guasto nel modo seguente:

$$\text{Indisponibilità} = \text{Numero guasti} * \text{ore fermo macchina} \quad (5.3)$$

dove il numero di guasti rappresenta quante volte quel dato modo di guasto si è manifestato lungo il tempo di operatività della macchina. Le ore di fermo macchina tengono conto sia dei tempi ausiliari, che non attengono direttamente all'intervento manutentivo, sia dei tempi attivi di intervento. Fanno parte dei tempi ausiliari i tempi:

- logistici, di attesa e trasferimento degli addetti alla manutenzione e di reperimento dei materiali;
- tecnici, di individuazione e segnalazione del guasto.

Fanno invece parte dei tempi attivi, i tempi di:

- localizzazione del guasto;
- valutazione/diagnosi del guasto;
- riparazione.

Nei sotto-paragrafi successivi, i prodotti di HSD sottoposti ai test di collaudo verranno denominati con la sigla DUT (*Device Under Test*).

5.3.1 Stazione di collaudo L03

Il banco di collaudo mandrini automatici è stato concepito per realizzare il rodaggio di elettromandrini in modalità completamente automatica e non presidiata. Il rodaggio viene eseguito in modo automatico, gestito da un software appositamente realizzato.

Il banco è costituito da due slot separati, destinati al collaudo di un elettromandrino alla volta. Il piano di ogni slot è dotato di una matrice di fori che consente il fissaggio delle varie tipologie di elettromandrini che possono essere testati.

Il rodaggio viene effettuato sottoponendo gli elettromandrini a un ciclo a velocità crescenti secondo uno schema predefinito e misurando/monitorando mediante termocoppie la temperatura raggiunta sulla flangia anteriore (zona cuscinetti anteriori).

Alcuni piani di prova possono includere anche prove simulate di presa e rilascio utensile. L'operatore deve, leggendo il codice dell'elettromandrino in prova mediante apposito *barcode reader*, attivare la corretta sequenza di collaudo (piano di collaudo) precedentemente associata al codice dell'elettromandrino stesso.

Gli elettromandrini devono essere connessi:

- all'impianto pneumatico del banco (dotato di selettore di pressione 5.5 bar o 10 bar);
- per i soli elettromandrini raffreddati a liquido, all'impianto di raffreddamento acqua-aria;
- al connettore elettrico:
 - potenza motore;
 - sensore di temperatura interno al DUT;
 - sensori elettromandrino;
 - *field bus* (CAN I/O Link ENET);
 - termocoppie (esterne al DUT);
 - alimentazione elettroventole 220Vac o 24Vdc.

Il banco è dotato di :

- quadro elettrico posto nella parte inferiore;
- circuito pneumatico posto nella parte inferiore;
- uno scambiatore di calore acqua-aria posto nella parte posteriore;
- condizionatore posto nella parte posteriore.

Un'immagine complessiva della macchina è riportata in Figura 5.12.



Figura 5.12: Stazione di collaudo L03

Data la simmetria sono riportati i componenti principali presenti all'interno della cabina (Figura 5.13).

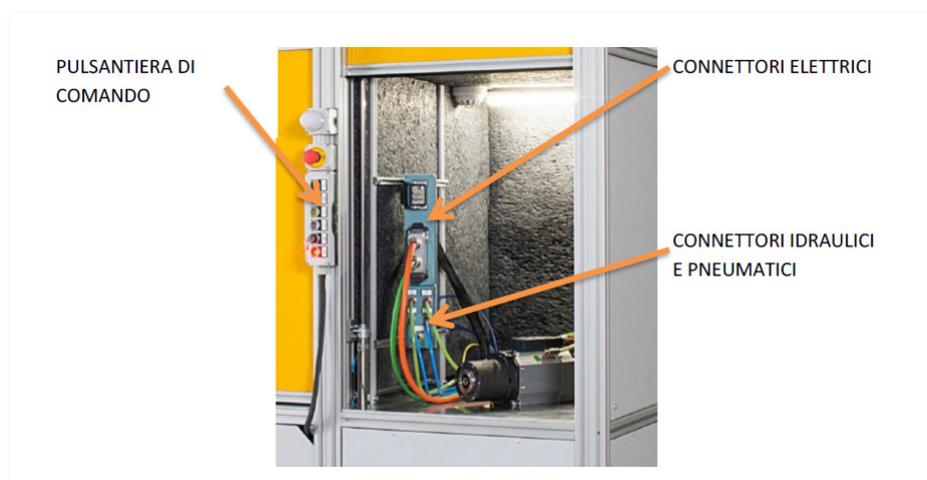


Figura 5.13: Elementi in cabina stazione di collaudo L03

Sono presenti due connettori elettrici (Figura 5.14) ai quali l'elettromandrino deve essere connesso durante la fase di preparazione al test, rispettivamente:

1. chiave di codifica;
2. cavo dell'elettromandrino.



Figura 5.14: Connettori elettrici

Lo slot di collaudo è dotato di un impianto idraulico, con scambiatore di calore, di un condizionatore d'aria, di un impianto pneumatico e di un impianto elettrico.

I connettori idraulici e pneumatici (Figura 5.15) sono costituiti dai seguenti attacchi:

- COOLING - Out: mandata liquido di raffreddamento;
- COOLING - In: ritorno liquido di raffreddamento;
- TOOL - HOLD: pneumatica presa utensile;
- TOOL - RELEASE: pneumatica rilascio utensile;
- AIR - OUT: pulizia pneumatico.



Figura 5.15: Connettori idraulici e pneumatici

Infine, ogni slot del banco è dotato di una pulsantiera di comando e di un *bar code reader* che hanno la funzione di interfaccia tra banco di collaudo e operatore.

Sull'impianto sono poi installati i seguenti dispositivi di sicurezza:

1. sezionatore generale;
2. switch sicurezza installato sulla porta della cabina di prova;
3. fungo di sicurezza;
4. sensore di fumo e temperature installato all'interno di ogni slot;
5. PLC di sicurezza.

In Tabella 5.4 è presentata la scomposizione in componenti significativi.

In Tabella 5.5, 5.6 e 5.7 si trova l'analisi FMECA della stazione di collaudo della linea 3. Come si può notare dal valore dell'indice di criticità, il modo di guasto maggiormente critico è la mancanza di potenza/comunicazione del cavo di interfaccia tra il DUT e la stazione. La causa di questo modo di guasto deriva principalmente dall'usura stessa del componente, ma anche da un utilizzo inappropriato da parte dell'operatore che potrebbe comportare un danneggiamento dei pin del cavo.

Tabella 5.4: Scomposizione della stazione di collaudo L03

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V
A1 Stazione collaudo L03	A1.1 Slot collaudo (2)	A1.1.1 Impianto idraulico	A1.1.1.1 Scambiatore di calore	
			A1.1.1.2 Comando impianto idraulico	
		A1.1.2 Condizionatore d'aria		
		A1.1.3 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	A1.1.3.1 Cavo fixture	
			A1.1.3.2 Cavo di interfaccia	
		A1.1.4 Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)		
		A1.1.5 Termocoppie	A1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente	
			A1.1.5.2 Termocoppia TBA (cuscinetti)	
		A1.1.6 Pneumatica	A1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione	
			A1.1.6.2 Elettrovalvole	
			A1.1.6.3 Regolatore di pressione	
			A1.1.6.4 Apertura porte	
		A1.1.7 Vibrazioni	A1.1.7.1 Accelerometro	
			A1.1.7.2 Cavo accelerometro	
			A1.1.7.3 Basetta magnetica	
		A1.1.8 Interfaccia operatore - slot	A1.1.8.1 Pistola bar code	
			A1.1.8.2 Pulsantiera	A1.1.8.2.1 Semaforo segnalazione
				A1.1.8.2.2 Pulsanti
		A1.1.9 Impianto elettrico	A1.1.9.1 Fusibili	
	A1.1.9.2 Relè			
A1.1.9.3 Teleruttore				
A1.1.10 Dispositivi di sicurezza	A1.1.10.1 Sensore di fumo			
	A1.1.10.2 PLC sicurezza			
A1.1.11 CompactRIO				
A1.2 Interfaccia operatore	A1.2.1 PC supervisore			

Tabella 5.5: FMECA stazione collaudo L03 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
A1.1.1.1	Scambiatore di calore	Raffreddamento del motore	Mancanza di portata	Mancata pulizia, Mancanza liquido di raffreddamento
			Mancanza di gas	Perdita della serpentina del circuito
			Mancanza di pressione	Malfunzionamento pompa, Mancanza liquido di raffreddamento
A1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Elettrovalvole che comandano l'avvio del raffreddamento	Mancanza di input a PLC	Usura
A1.1.2	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
A1.1.3.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
A1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
A1.1.4	Chiavi di codifica	Gestione dei diversi BUS e delle diverse tensioni di alimentazione delle ventole (24V 220V)	Mancanza di comunicazione	Utilizzo inappropriato
A1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
A1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
A1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
A1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
A1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
A1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
A1.1.7.1	Accelerometro	Sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Utilizzo inappropriato

A1.1.7.2	Cavo accelerometro	Cavo di connessione del sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Usura/utilizzo inappropriato
A1.1.7.3	Basetta magnetica	Punto di connessione tra il DUT e il sensore	Difficoltà nel fissaggio	Usura/utilizzo inappropriato
A1.1.8.1	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
A1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura
A1.1.8.2.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato
A1.1.9.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
A1.1.9.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
A1.1.9.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
A1.1.10.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
A1.1.10.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
A1.1.11	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
A1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo e operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.6: FMECA stazione di collaudo L03 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
A1.1.1.1	Scambiatore di calore	Circolazione liquido refrigerante ridotta	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza flusso di gas		Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza di flusso del liquido refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Commutazione impossibile	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.2	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante	Blocco del rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.3.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.4	Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione con BUS	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.6.3	Regolatore di pressione	Impossibilità di regolare la pressione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
A1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.7.1	Accelerometro	Guasto piezo	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.7.2	Cavo accelerometro	Guasto saldatura pin connettore	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.7.3	Basetta magnetica	Guasto magnete	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.8.1	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione

A1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.8.2.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.9.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
A1.1.9.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
A1.1.9.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
A1.1.10.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
A1.1.10.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
A1.1.11	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
A1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare
		Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare

Tabella 5.7: FMECA stazione di collaudo L03 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=Sa\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
A1.1.1.1	Scambiatore di calore	0,0131	0,9565	0,7	0,0088	1036	10
			0	0,7	0	0	1
			0,0435	0,7	0,0004	10	5
A1.1.1.2	Comando impianto idraulico	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.2	Condizionatore d'aria	0,0003	1	0,7	0,0002	9	5
A1.1.3.1	Cavo fixture	0,0007	1	0,7	0,0005	6	5
A1.1.3.2	Cavo di interfaccia	0,0313	1	0,7	0,0219	55	10
A1.1.4	Chiavi di codifica	0,0007	1	0,7	0,0005	0,5	1
A1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	0,0008	1	0,7	0,0006	0,58	1
A1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0,0006	1	0,7	0,0004	160	10
A1.1.6.2	Elettrovalvole	0,0017	1	0,7	0,0012	480	10

A1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	0	1	0	0	1
A1.1.6.4	Apertura porte	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.7.1	Accelerometro	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.7.2	Cavo accelerometro	0,0020	1	0,7	0,0014	3	3
A1.1.7.3	Basetta magnetica	0,0001	1	0,7	0,0001	0,17	1
A1.1.8.1	Pistola bar code	0,0002	1	0,7	0,0002	160	10
A1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.8.2.2	Pulsanti	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.9.1	Fusibili	0,0006	1	1	0,0006	5	3
A1.1.9.2	Relè	0	0	1	0	0	1
A1.1.9.3	Teleruttore	0	0	1	0	0	1
A1.1.10.1	Sensore di fumo	0	0	0,7	0	0	1
A1.1.10.2	PLC sicurezza	0	0	1	0	0	1
A1.1.11	CompactRIO	0	0	1	0	0	1
		0	0	1	0	0	1
A1.2.1	PC supervisore	0	0	0,1	0	0	1
		0	0	0,1	0	0	1

Considerando la matrice delle criticità presente in Figura 4.6 e i pesi di severità e indisponibilità di ciascun modo di guasto, i modi di guasto sono stati classificati nel modo seguente (Tabella 5.8):

Tabella 5.8: Classificazione modi di guasto stazione di collaudo L03

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.2 Stazione controllo vibrazioni L03

La stazione per il controllo vibrazioni della linea 3 ha la funzione di monitorare le vibrazioni del DUT sottoposto al controllo. Dal punto di vista della costruzione dello schema affidabilistico e dei modi di guasto, cause ed effetti del guasto si comporta come il banco di collaudo della stessa linea. La differenza consiste in una maggiore sollecitazione degli accelerometri e del cavo di interfaccia necessario per il collegamento del DUT dovuto alle prove effettuate per il controllo delle vibrazioni in rampa. Per questo motivo, i modi di guasto relativi a questi due componenti hanno un tasso di guasto più elevato.

In Tabella 5.9 è presentata la scomposizione in *item* significativi della stazione controllo vibrazioni in rampa. In Tabella 5.10, 5.11, 5.12 si trova l'analisi FMECA della stazione in esame. Prendendo in considerazione il valore dell'indice di criticità, l'analisi mostra come il modo di guasto maggiormente critico sia la mancanza di potenza/connessione del cavo di interfaccia, come accadeva già nella stazione di collaudo L03. In questo caso, l'indice di criticità è ulteriormente aumentato a causa della maggiore sollecitazione del cavo dovuta alla più elevata capacità oraria della stazione che comporta quindi un numero superiore di DUT che vengono collegati, tramite il cavo di interfaccia, alla stazione.

Tabella 5.9: Scomposizione della stazione controllo vibrazioni L03

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V
B1 Stazione controllo vibrazioni L03	B1.1 Slot collaudo (2)	B1.1.1 Impianto idraulico	B1.1.1.1 Scambiatore di calore	
			B1.1.1.2 Comando impianto idraulico	
		B1.1.2 Condizionatore d'aria		
		B1.1.3 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	B1.1.3.1 Cavo fixture	
			B1.1.3.2 Cavo di interfaccia	
		B1.1.4 Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)		
		B1.1.5 Termocoppie	B1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente	
			B1.1.5.2 Termocoppia TBA (cuscinetti)	
		B1.1.6 Pneumatica	B1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione	
			B1.1.6.2 Elettrovalvole	
			B1.1.6.3 Regolatore di pressione	
			B1.1.6.4 Apertura porte	
		B1.1.7 Vibrazioni	B1.1.7.1 Accelerometro	
			B1.1.7.2 Cavo accelerometro	
			B1.1.7.3 Basetta magnetica	
		B1.1.8 Interfaccia operatore - slot	B1.1.8.1 Pistola bar code	
			B1.1.8.2 Pulsantiera	B1.1.8.2.1 Semaforo segnalazione B1.1.8.2.2 Pulsanti
		B1.1.9 Impianto elettrico	B1.1.9.1 Fusibili	
			B1.1.9.2 Relè	
	B1.1.9.3 Teleruttore			
	B1.1.10 Dispositivi di sicurezza	B1.1.10.1 Sensore di fumo		
B1.1.10.2 PLC sicurezza				
B1.1.11 CompactRIO				
B1.2 Interfaccia operatore	B1.2.1 PC supervisore			

Tabella 5.10: FMECA stazione controllo vibrazioni L03 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
B1.1.1.1	Scambiatore di calore	Raffreddamento del motore	Mancanza di portata	Mancata pulizia, Mancanza liquido di raffreddamento
			Mancanza di gas	Perdita della serpentina del circuito
			Mancanza di pressione	Malfunzionamento pompa, Mancanza liquido di raffreddamento
B1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Elettrovalvole che comandano l'avvio del raffreddamento	Mancanza di input a PLC	Usura
B1.1.2	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
B1.1.3.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
B1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
B1.1.4	Chiavi di codifica	Gestione dei diversi BUS e delle diverse tensioni di alimentazione delle ventole (24V 220V)	Mancanza di comunicazione	Utilizzo inappropriato
B1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
B1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
B1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
B1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
B1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
B1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
B1.1.7.1	Accelerometro	Sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Utilizzo inappropriato
B1.1.7.2	Cavo accelerometro	Cavo di connessione del sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Usura/utilizzo inappropriato
B1.1.7.3	Basetta magnetica	Punto di connessione tra il DUT e il sensore	Difficoltà nel fissaggio	Usura/utilizzo inappropriato
B1.1.8.1	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
B1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura
B1.1.8.2.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato

B1.1.9.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
B1.1.9.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
B1.1.9.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
B1.1.10.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
B1.1.10.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
B1.1.11	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
B1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo e operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.11: FMECA stazione controllo vibrazioni L03 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
B1.1.1.1	Scambiatore di calore	Circolazione liquido refrigerante ridotta	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza flusso di gas		Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza di flusso del liquido refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Commutazione impossibile	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.2	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante	Blocco del rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.3.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.4	Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione con BUS	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.6.3	Regolatore di pressione	Impossibilità nella regolazione della pressione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
B1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.7.1	Accelerometro	Guasto piezo	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.7.2	Cavo accelerometro	Guasto saldatura pin connettore	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.7.3	Basetta magnetica	Guasto magnete	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.8.1	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione

B1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.8.2.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.9.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
B1.1.9.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
B1.1.9.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
B1.1.10.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
B1.1.10.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
B1.1.11	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
B1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare
		Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare

Tabella 5.12: FMECA stazione controllo vibrazioni L03 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=Sa\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
B1.1.1.1	Scambiatore di calore	0,0131	0,9565	0,7	0,0088	220	10
			0	0,7	0	0	1
			0,0435	0,7	0,0004	10	5
B1.1.1.2	Comando impianto idraulico	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.2	Condizionatore d'aria	0,0003	1	0,7	0,0002	9	5
B1.1.3.1	Cavo fixture	0,0007	1	0,7	0,0005	6	5
B1.1.3.2	Cavo di interfaccia	0,0435	1	0,7	0,0305	383	10
B1.1.4	Chiavi di codifica	0,0007	1	0,7	0,0005	0,5	1
B1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	0,0025	1	0,7	0,0018	1,83	1
B1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0,0006	1	0,7	0,0004	160	10
B1.1.6.2	Elettrovalvole	0,0017	1	0,7	0,0012	480	10
B1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	0	1	0	0	1

B1.1.6.4	Apertura porte	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.7.1	Accelerometro	0,0011	1	0,7	0,0008	1,67	1
B1.1.7.2	Cavo accelerometro	0,0020	1	0,7	0,0014	3	3
B1.1.7.3	Basetta magnetica	0,0001	1	0,7	0,0001	0,17	1
B1.1.8.1	Pistola bar code	0,0002	1	0,7	0,0002	160	10
B1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.8.2.2	Pulsanti	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.9.1	Fusibili	0,0006	1	1	0,0006	5	3
B1.1.9.2	Relè	0	0	1	0	0	1
B1.1.9.3	Teleruttore	0	0	1	0	0	1
B1.1.10.1	Sensore di fumo	0	0	0,7	0	0	1
B1.1.10.2	PLC sicurezza	0	0	1	0	0	1
B1.1.11	CompactRIO	0	0	1	0	0	1
			0	1	0	0	1
B1.2.1	PC supervisore	0	0	0,1	0	0	1
			0	0,1	0	0	1

La classificazione derivante dalla mappatura sulla matrice delle criticità è la seguente (Tabella 5.13):

Tabella 5.13: Classificazione modi di guasto stazione controllo vibrazioni L03

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.3 Stazione di collaudo L05

Il banco di collaudo della linea 5 si comporta come il banco di collaudo della linea 3 dal punto di vista della costruzione dello schema affidabilistico, nonchè nella definizione dei modi di guasto dei componenti, delle loro cause ed effetti. La differenza consiste in una maggiore sollecitazione del moltiplicatore di pressione e dello scambiatore di calore; infatti, i motori devono essere portati a 10 bar.

In Tabella 5.14 è presente la scomposizione della stazione di collaudo in *item* significativi. In Tabella 5.15, 5.16 e 5.17 si riporta invece l'analisi FMECA della stazione. Si riconferma, anche in questo caso, la criticità del cavo di interfaccia; tuttavia, si sottolinea l'aumento dell'indice di criticità per la mancanza di portata all'interno dello scambiatore di calore. La causa di tale modo di guasto è da ricercarsi nella mancata pulizia dei filtri e nel mancato rabbocco del liquido di raffreddamento.

Tabella 5.14: Scomposizione della stazione di collaudo L05

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V
C1 Stazione collaudo L05	C1.1 Slot collaudo (2)	C1.1.1 Impianto idraulico	C1.1.1.1 Scambiatore di calore	
			C1.1.1.2 Comando impianto idraulico	
		C1.1.2 Condizionatore d'aria		
		C1.1.3 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	C1.1.3.1 Cavo fixture	
			C1.1.3.2 Cavo di interfaccia	
		C1.1.4 Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)		
		C1.1.5 Termocoppie	C1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente	
			C1.1.5.2 Termocoppia TBA (cuscinetti)	
		C1.1.6 Pneumatica	C1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione	
			C1.1.6.2 Elettrovalvole	
			C1.1.6.3 Regolatore di pressione	
			C1.1.6.4 Apertura porte	
		C1.1.7 Vibrazioni	C1.1.7.1 Accelerometro	
			C1.1.7.2 Cavo accelerometro	
			C1.1.7.3 Basetta magnetica	
		C1.1.8 Interfaccia operatore slot	C1.1.8.1 Pistola bar code	
			C1.1.8.2 Pulsantiera	C1.1.8.2.1 Semaforo segnalazione C1.1.8.2.2 Pulsanti
		C1.1.9 Impianto elettrico	C1.1.9.1 Fusibili	
			C1.1.9.2 Relè	
			C1.1.9.3 Teleruttore	
	C1.1.10 Dispositivi di sicurezza	C1.1.10.1 Sensore di fumo		
		C1.1.10.2 PLC sicurezza		
	C1.1.11 CompactRIO			
C1.2 Interfaccia operatore	C1.2.1 PC supervisore			

Tabella 5.15: FMECA stazione di collaudo L05 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
C1.1.1.1	Scambiatore di calore	Raffreddamento del motore	Mancanza di portata	Mancata pulizia, Mancanza liquido di raffreddamento
			Mancanza di gas	Perdita della serpentina del circuito
			Mancanza di pressione	Malfunzionamento pompa, Mancanza liquido di raffreddamento
C1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Elettrovalvole che comandano l'avvio del raffreddamento	Mancanza di input a PLC	Usura
C1.1.2	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
C1.1.3.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
C1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
C1.1.4	Chiavi di codifica	Gestione dei diversi BUS e delle diverse tensioni di alimentazione delle ventole (24V 220V)	Mancanza di comunicazione	Utilizzo inappropriato
C1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
C1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
C1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
C1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
C1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
C1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
C1.1.7.1	Accelerometro	Sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Utilizzo inappropriato
C1.1.7.2	Cavo accelerometro	Cavo di connessione del sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Usura/utilizzo inappropriato
C1.1.7.3	Basetta magnetica	Punto di connessione tra il DUT e il sensore	Difficoltà nel fissaggio	Usura/utilizzo inappropriato
C1.1.8.1	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
C1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura

C1.1.8.2.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato
C1.1.9.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
C1.1.9.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
C1.1.9.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
C1.1.10.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
C1.1.10.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
C1.1.11	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
C1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo e operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.16: FMECA stazione di collaudo L05 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
C1.1.1.1	Scambiatore di calore	Circolazione liquido refrigerante ridotta	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza flusso di gas		Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza di flusso del liquido refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Commutazione impossibile	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.2	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante	Blocco del rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.3.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.4	Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione con BUS	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.6.3	Regolatore di pressione	Impossibilità nella regolazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
C1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.7.1	Accelerometro	Guasto piezo	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.7.2	Cavo accelerometro	Guasto saldatura pin connettore	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.7.3	Basetta magnetica	Guasto magnete	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.8.1	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione

C1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.8.2.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.9.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
C1.1.9.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
C1.1.9.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
C1.1.10.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
C1.1.10.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
C1.1.11	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
C1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare La stazione continua a funzionare

Tabella 5.17: FMECA stazione di collaudo L05 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=Sa\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
C1.1.1.1	Scambiatore di calore	0,0214	0,9734	0,7	0,0146	366	10
			0	0,7	0	0	1
			0,0266	0,7	0,0004	10	5
C1.1.1.2	Comando impianto idraulico	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.2	Condizionatore d'aria	0,0003	1	0,7	0,0002	9	5
C1.1.3.1	Cavo fixture	0,0007	1	0,7	0,0005	6	5
C1.1.3.2	Cavo di interfaccia	0,0313	1	0,7	0,0219	275	10
C1.1.4	Chiavi di codifica	0,0007	1	0,7	0,0005	0,5	1
C1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	0,0008	1	0,7	0,0006	0,58	1
C1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0,0011	1	0,7	0,0008	320	10
C1.1.6.2	Elettrovalvole	0,0017	1	0,7	0,0012	480	10

C1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	0	1	0	0	1
C1.1.6.4	Apertura porte	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.7.1	Accelerometro	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.7.2	Cavo accelerometro	0,0020	1	0,7	0,0014	3	3
C1.1.7.3	Basetta magnetica	0,0001	1	0,7	7,95E-05	0,17	1
C1.1.8.1	Pistola bar code	0,0002	1	0,7	0,0002	160	10
C1.1.8.2.1	Semaforo segnalazione	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.8.2.2	Pulsanti	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.9.1	Fusibili	0,0006	1	1	0,0006	5	3
C1.1.9.2	Relè	0	0	1	0	0	1
C1.1.9.3	Teleruttore	0	0	1	0	0	1
C1.1.10.1	Sensore di fumo	0	0	0,7	0	0	1
C1.1.10.2	PLC sicurezza	0	0	1	0	0	1
C1.1.11	CompactRIO	0	0	1	0	0	1
			0	1	0	0	1
C1.2.1	PC supervisore	0	0	0,1	0	0	1
			0	0,1	0	0	1

La mappatura dei modi di guasto sulla matrice delle criticità ha condotto al seguente risultato (Tabella 5.18):

Tabella 5.18: Classificazione modi di guasto stazione di collaudo L05

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.4 Stazione di collaudo L09

Il banco di collaudo della linea 9 si comporta come il banco di collaudo della linea 3 dal punto di vista della costruzione dello schema affidabilistico, nonchè nella definizione dei modi di guasto dei componenti, delle loro cause ed effetti. La differenza consiste in una minor sollecitazione dello scambiatore di calore e in una maggior sollecitazione della termocoppia TBA. Ciò accade perchè vengono rodati 10 DUT contemporaneamente. Inoltre, tale stazione di collaudo non effettua la prova vibrazioni, che viene effettuata successivamente su un altro centro di lavoro, e quindi non è dotata di accelerometri. In Tabella 5.19 è presente la scomposizione in componenti significativi della stazione di collaudo della linea 5. In Tabella 5.20, 5.21 e 5.22, è riportata l'analisi FMECA della stazione. Anche in questo caso, vista la similarità con le altre stazioni, si conferma come il cavo di interfaccia sia il componente maggiormente critico.

Tabella 5.19: Scomposizione della stazione di collaudo L09

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V	
D1 Stazione collaudo L09	D1.1 Slot collaudo (2)	D1.1.1 Impianto idraulico	D1.1.1.1 Scambiatore di calore		
			D1.1.1.2 Comando impianto idraulico		
		D1.1.2 Condizionatore d'aria			
		D1.1.3 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	D1.1.3.1 Cavo fixture		
			D1.1.3.2 Cavo di interfaccia		
		D1.1.4 Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)			
		D1.1.5 Termocoppie	D1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente		
			D1.1.5.2 Termocoppia TBA (cuscinetti)		
		D1.1.6 Pneumatica	D1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione		
			D1.1.6.2 Elettrovalvole		
			D1.1.6.3 Regolatore di pressione		
			D1.1.6.4 Apertura porte		
		D1.1.7 Interfaccia operatore slot	D1.1.7.1 Pistola bar code		
			D1.1.7.2 Pulsantiera	D1.1.7.2.1 Semaforo segnalazione	
				D1.1.7.2.2 Pulsanti	
		D1.1.8 Impianto elettrico	D1.1.8.1 Fusibili		
			D1.1.8.2 Relè		
			D1.1.8.3 Teleruttore		
		D1.1.9 Dispositivi di sicurezza	D1.1.9.1 Sensore di fumo		
	D1.1.9.2 PLC sicurezza				
D1.1.10 CompactRIO					
D1.2 Interfaccia operatore	D1.2.1 PC supervisore				

Tabella 5.20: FMECA stazione di collaudo L09 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
D1.1.1.1	Scambiatore di calore	Raffreddamento del motore	Mancanza di portata	Ostruzione del circuito, Mancata pulizia filtri, Mancanza liquido di raffreddamento
			Mancanza di gas	Perdita della serpentina del circuito
			Mancanza di pressione	Malfunzionamento pompa, Mancanza liquido di raffreddamento
D1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Elettrovalvole che comandano l'avvio del raffreddamento	Mancanza di input a PLC	Usura
D1.1.2	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
D1.1.3.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
D1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
D1.1.4	Chiavi di codifica	Gestione dei diversi BUS e delle diverse tensioni di alimentazione delle ventole (24V 220V)	Mancanza di comunicazione	Utilizzo inappropriato
D1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
D1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
D1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
D1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
D1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
D1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
D1.1.7.1	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
D1.1.7.2.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura

D1.1.7.2.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato
D1.1.8.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
D1.1.8.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
D1.1.8.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
D1.1.9.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
D1.1.9.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
D1.1.10	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
D1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo ed operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.21: FMECA stazione di collaudo L09 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
D1.1.1.1	Scambiatore di calore	Circolazione liquido refrigerante ridotta	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza flusso di gas		Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza di flusso del liquido refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Commutazione impossibile	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.2	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.3.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione

D1.1.4	Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione con BUS	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.6.3	Regolatore di pressione	Impossibilità nella regolazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
D1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.7.1	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.7.2.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.7.2.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.8.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
D1.1.8.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
D1.1.8.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
D1.1.9.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
D1.1.9.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
D1.1.10	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
D1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare
		Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare

Tabella 5.22: FMECA stazione di collaudo L09 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=S\alpha\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
D1.1.1.1	Scambiatore di calore	0,0016	0,6429	0,7	0,0007	18	5
			0	0,7	0	0	1
			0,3571	0,7	0,0004	10	5
D1.1.1.2	Comando impianto idraulico	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.2	Condizionatore d'aria	0,0003	1	0,7	0,0002	9	5
D1.1.3.1	Cavo fixture	0,0007	1	0,7	0,0005	6	5
D1.1.3.2	Cavo di interfaccia	0,0313	1	0,7	0,0219	275	10
D1.1.4	Chiavi di codifica	0,0007	1	0,7	0,0005	0,5	1
D1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	0,0025	1	0,7	0,0018	1,83	1
D1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0,0006	1	0,7	0,0004	160	10
D1.1.6.2	Elettrovalvole	0,0017	1	0,7	0,0012	480	10
D1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	0	1	0	0	1
D1.1.6.4	Apertura porte	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.7.1	Pistola bar code	0,0002	1	0,7	0,0002	160	10
D1.1.7.2.1	Semaforo segnalazione	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.7.2.2	Pulsanti	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.8.1	Fusibili	0,0006	1	1	0,0006	5	3
D1.1.8.2	Relè	0	0	1	0	0	1
D1.1.8.3	Teleruttore	0	0	1	0	0	1
D1.1.9.1	Sensore di fumo	0	0	0,7	0	0	1
D1.1.9.2	PLC sicurezza	0	0	1	0	0	1
D1.1.10	CompactRIO	0	0	1	0	0	1
			0	1	0	0	1
D1.2.1	PC supervisore	0	0	0,1	0	0	1
			0	0,1	0	0	1

Mappando i modi di guasto sulla matrice delle criticità, si ottiene la seguente classificazione dei modi di guasto (Tabella 5.23):

Tabella 5.23: Classificazione dei modi di guasto stazione di collaudo L09

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.5 Stazione di collaudo L01

Il banco di collaudo della linea 1 è concepito per realizzare il rodaggio degli aggregati in modalità completamente automatica e non presidiata. Il banco è costituito da due slot separati, destinati al collaudo di un DUT alla volta.

Il banco è dotato di un “Kit Rodaggio Aggregati” per il rodaggio degli aggregati. Con il “Kit Rodaggio Aggregati”, il rodaggio viene effettuato sottoponendo il DUT a cicli di prova secondo uno schema predefinito e misurando/monitorando mediante appositi sensori interni/esterni al DUT le condizioni di funzionamento (corrente, temperatura, vibrazioni, tempi di risposta, ecc.) Il Kit è comprensivo di una sovrastruttura adeguata a sorreggere un modello di mandrino con il quale testare gli aggregati.

Un’immagine complessiva della macchina è riportata in Figura 5.16.



Figura 5.16: Stazione di collaudo L01

Data la simmetria dei due slot, in Figura 5.17 sono riportati i componenti principali presenti all’interno della cabina.

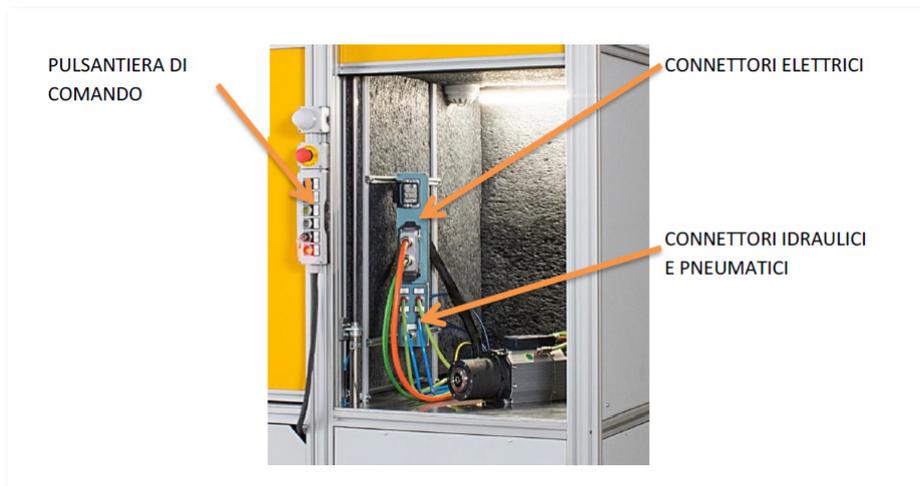


Figura 5.17: Elementi cabina stazione di collaudo L01

Sono presenti due connettori ai quali l'elettromandrino deve essere connesso durante la fase di preparazione al test, rispettivamente:

1. chiave di codifica;
2. cavo dell'elettromandrino.

Lo slot di collaudo è dotato di un impianto idraulico, con scambiatore di calore, di un condizionatore d'aria, di un impianto pneumatico e di un impianto elettrico.

I connettori idraulici e pneumatici sono costituiti dai seguenti attacchi:

- COOLING Out: mandata liquido di raffreddamento;
- COOLING In: ritorno liquido di raffreddamento;
- TOOL HOLD: pneumatica presa utensile;
- TOOL RELEASE: pneumatica rilascio utensile;
- AIR OUT: pulizia pneumatico.

Infine, ogni slot del banco è dotato di una pulsantiera di comando e di un bar code reader che hanno la funzione di interfaccia tra banco di collaudo e operatore. Sull'impianto sono poi installati i seguenti dispositivi di sicurezza:

1. sezionatore generale;
2. switch sicurezza installato sulla porta della cabina di prova;
3. fungo di sicurezza;
4. sensore di fumo e temperature installato all'interno di ogni slot;
5. PLC di sicurezza.

Poichè la stazione è utilizzata per il rodaggio degli aggregati, l'elettromandrino è fisso nello slot di rodaggio e può pertanto essere considerato uno dei componenti soggetto a

guasto. L'elettromandrino fisso, tuttavia, consente di ridurre i tassi di guasto di altri componenti poiché si riduce la manipolazione da parte degli operatori. Il cavo dell'accelerometro, invece, risulta più sollecitato perché è obbligatorio avvitare e svitare il connettore coassiale ogniqualvolta si debba rodare un aggregato.

La Tabella 5.24 mostra la scomposizione in *item* significativi della stazione di collaudo L01. In Tabella 5.25, 5.26 e 5.27 si trova l'analisi FMECA della stazione.

In questo caso, il componente maggiormente critico risultante dall'analisi è il cavo dell'accelerometro, che nel momento del guasto comporta una lettura errata delle vibrazioni del DUT. La causa di tale guasto è in primo luogo l'usura del componente stesso e, in secondo luogo, l'utilizzo inappropriato da parte dell'operatore che in sede di cablaggio comporta una rottura dei pin del cavo.

Tabella 5.24: Scomposizione della stazione di collaudo L01

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V
E1 Stazione collaudo L01	E1.1 Slot collaudo (2)	E1.1.1 Impianto idraulico	E1.1.1.1 Scambiatore di calore	
			E1.1.1.2 Comando impianto idraulico	
		E1.1.2 Condizionatore d'aria		
		E1.1.3 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	E1.1.3.1 Cavo fixture	
			E1.1.3.2 Cavo di interfaccia	
		E1.1.4 Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)		
		E1.1.5 Termocoppie	E1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente	
			E1.1.5.2 Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	
		E1.1.6 Pneumatica	E1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione	
			E1.1.6.2 Elettrovalvole	
			E1.1.6.3 Regolatore di pressione	
			E1.1.6.4 Apertura porte	
		E1.1.7 Vibrazioni	E1.1.7.1 Accelerometro	
			E1.1.7.2 Cavo accelerometro	
		E1.1.8 Fonometro		
		E1.1.9 Elettromandrini		
		E1.1.10 Interfaccia operatore - slot	E1.1.10.1 Pedale blocco/sblocco utensile	
			E1.1.10.2 Pistola bar code	
			E1.1.10.3 Pulsantiera	E1.1.10.3.1 Semaforo segnalazione E1.1.10.3.2 Pulsanti
		E1.1.11 Impianto elettrico	E1.1.11.1 Fusibili	
			E1.1.11.2 Relè	
			E1.1.11.3 Teleruttore	
		E1.1.12 Dispositivi di sicurezza	E1.1.12.1 Sensore di fumo	
			E1.1.12.2 PLC sicurezza	

		E1.1.13 CompactRIO		
	E1.2 Interfaccia operatore	E1.2.1 PC supervisore		

Tabella 5.25: FMECA stazione collaudo L01 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
E1.1.1.1	Scambiatore di calore	Raffreddamento del motore	Mancanza di portata	Ostruzione del circuito, Mancata pulizia filtri, Mancanza liquido di raffreddamento
			Mancanza di gas	Perdita della serpentina del circuito
			Mancanza di pressione	Malfunzionamento pompa, Mancanza liquido di raffreddamento
E1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Elettrovalvole che comandano l'avvio del raffreddamento	Mancanza di input a PLC	Usura
E1.1.2	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
E1.1.3.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
E1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
E1.1.4	Chiavi di codifica	Gestione dei diversi BUS e delle diverse tensioni di alimentazione delle ventole (24V 220V)	Mancanza di comunicazione	Utilizzo inappropriato
E1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
E1.1.5.2	Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
E1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
E1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
E1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
E1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
E1.1.7.1	Accelerometro	Sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Utilizzo inappropriato
E1.1.7.2	Cavo accelerometro	Cavo di connessione del sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Usura/utilizzo inappropriato

E1.1.8	Fonometro	Controllo rumorosità	Malfunzionamento alimentazione	Esaurimento batterie
E1.1.9	Elettromandri	Permette la rotazione dell'aggregato	Mancanza raffreddamento	Usura
E1.1.10.1	Pedale blocco/sblocco utensile	Aggancio/sgancio aggregato	Mancato input	Rottura (cablaggio)
E1.1.10.2	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
E1.1.10.3.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura
E1.1.10.3.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato
E1.1.11.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
E1.1.11.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
E1.1.11.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
E1.1.12.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
E1.1.12.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
E1.1.13	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
E1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo ed operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.26: FMECA stazione collaudo L01 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
E1.1.1.1	Scambiatore di calore	Circolazione liquido refrigerante ridotta	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza flusso di gas		Utilizzo ridotto della stazione
		Mancanza di flusso del liquido refrigerante		Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.1.2	Comando impianto idraulico	Commutazione impossibile	Mancato avvio dell'impianto idraulico	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.2	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante	Blocco del rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.3.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.3.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.4	Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione con BUS	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.5.2	Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.6.3	Regolatore di pressione		Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
E1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.7.1	Accelerometro	Guasto piezo	Blocco slot di rodaggio	Blocco del rodaggio
E1.1.7.2	Cavo accelerometro	Guasto saldatura pin connettore	Blocco slot di rodaggio	Blocco del rodaggio
E1.1.8	Fonometro	Impossibilità di accensione fonometro	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.9	Elettromandrini	Mancata rotazione	Blocco parziale slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.10.1	Pedale blocco/sblocco utensile	Impossibilità di sbloccare l'aggregato in modo ergonomico	Nessun effetto (presenza pulsante per sblocco utensile)	La stazione continua a funzionare
E1.1.10.2	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.10.3.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione

E1.1.10.3.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.11.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
E1.1.11.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
E1.1.11.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
E1.1.12.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
E1.1.12.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
E1.1.13	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot rodaggio	Blocco della stazione
E1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare
		Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare

Tabella 5.27: FMECA stazione collaudo L01 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=Sa\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
E1.1.1.1	Scambiatore di calore	0	0	0,7	0	0	1
			0	0,7	0	0	1
			0	0,7	0	0	1
E1.1.1.2	Comando impianto idraulico	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.2	Condizionatore d'aria	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.3.1	Cavo fixture	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.3.2	Cavo di interfaccia	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.4	Chiavi di codifica	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.5.2	Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.6.2	Elettrovalvole	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	0	1	0	0	1
E1.1.6.4	Apertura porte	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.7.1	Accelerometro	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.7.2	Cavo accelerometro	0,0044	1	0,7	0,0031	2,17	3

E1.1.8	Fonometro	0,0010	1	0,7	0,0007	168	10
E1.1.9	Elettromandrini	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.10.1	Pedale blocco/sblocco utensile	0	0	0,1	0	0	1
E1.1.10.2	Pistola bar code	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.10.3.1	Semaforo segnalazione	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.10.3.2	Pulsanti	0,0003	1	0,7	0,0002	80	10
E1.1.11.1	Fusibili	0	0	1	0	0	1
E1.1.11.2	Relè	0	0	1	0	0	1
E1.1.11.3	Teleruttore	0,0003	1	1	0,0003	32	8
E1.1.12.1	Sensore di fumo	0	0	0,7	0	0	1
E1.1.12.2	PLC sicurezza	0	0	1	0	0	1
E1.1.13	CompactRIO	0	0	1	0	0	1
			0	1	0	0	1
E1.2.1	PC supervisore	0	0	0,1	0	0	1
			0	0,1	0	0	1

La classificazione dei modi di guasto derivante dalla matrice delle criticità è la seguente (Tabella 5.28):

Tabella 5.28: Classificazione modi di guasto stazione di collaudo L01

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	
Fonometro	Malfunzionamento alimentazione	
Elettromandri	Mancanza raffreddamento	
Pedale blocco/sblocco utensile	Mancato input	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.6 Stazione di collaudo L07

Il banco di rodaggio e collaudo per motori elettrici “STEEL” è stato concepito per realizzare il rodaggio/collaudo ed equilibratura dinamica di motori elettrici della serie “STEEL” in modalità completamente automatica e non presidiata.

Il rodaggio viene eseguito in modo automatico, gestito da un software appositamente realizzato. Il banco è costituito da un unico slot.

Il rodaggio viene effettuato sottoponendo i motori a un ciclo a velocità crescenti secondo uno schema predefinito e misurando/monitorando i parametri caratteristici mediante il sistema di controllo ed acquisizione.

L’operatore deve, leggendo il codice dei motori in prova mediante apposito “*bar code reader*”, attivare la corretta sequenza di rodaggio/collaudo (piano di collaudo) precedentemente associata al codice del motore stesso. I test dei motori vengono effettuati sottoponendo gli elettromandri (DUT) ad un ciclo a velocità crescenti secondo uno schema predefinito e misurando/monitorando mediante termocoppie la temperatura raggiunta sulla flangia anteriore (zona cuscinetti anteriori) come riscontro per verificare il funzionamento della sonda interna, lo stato dei sensori ed effettuando alcune prove simulate di presa, rilascio utensile, monitoraggio vibrazioni e comparazione tra accelerometro interno ed esterno.

Il banco è dotato di:

- quadro elettrico;
- vano per box mobile;
- circuito pneumatico posto nella zona impianti;
- circuito oleodinamico posto nella zona impianti;
- condizionatore posto nella zona impianti.

Un’immagine complessiva della macchina è riportata in Figura 5.18.

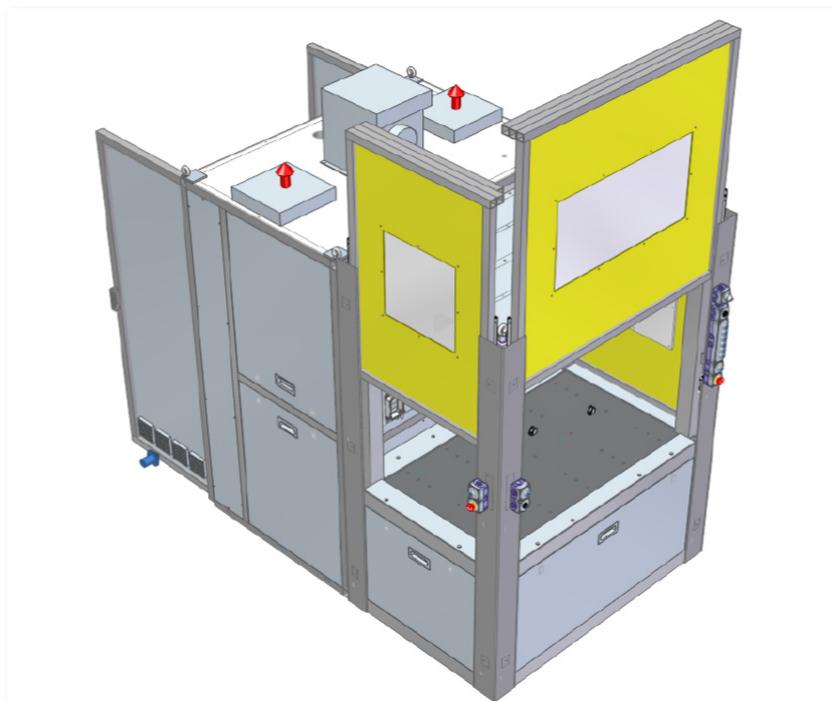


Figura 5.18: Stazione di collaudo L07

In Figura 5.19 sono riportati i componenti principali presenti all'interno della cabina.

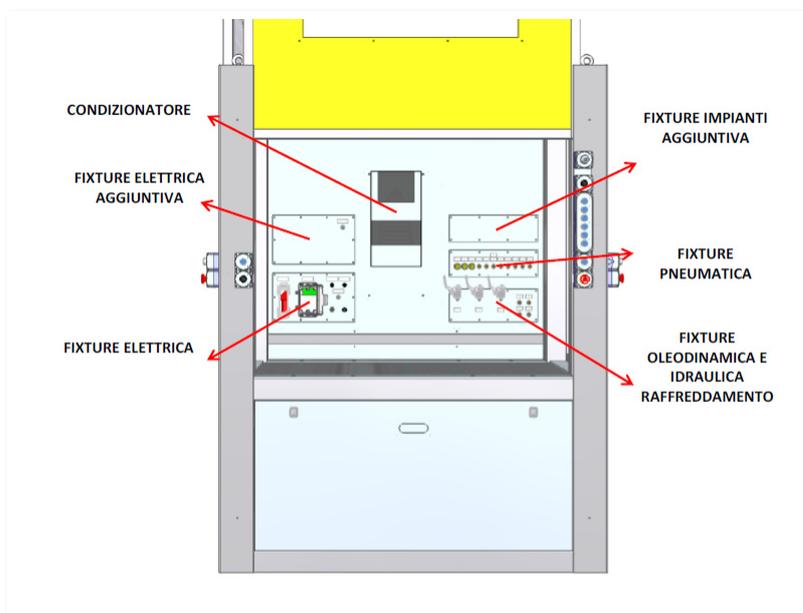


Figura 5.19: Componenti interni alla cabina stazione di collaudo L07

Nella Fixture elettrica (vedi Figura 3) sono presenti gli elementi elencati di seguito:

- connettori di segnale e potenza DUT:
 - segnali STEEL;

- potenza Mandrino Siemens 200 A;
- BNC accelerometri;
- termocoppia ambiente (T_{amb});
- termocoppia T_{ba} ;
- trecciola in rame per messa a terra DUT.

I connettori pneumatici sono costituiti dai seguenti attacchi:

- Pressurizz. EM: utenza pneumatica per pressurizzazione mandrino;
- Cone Cleaning: utenza pneumatica per pulizia cono;
- Servizio: utenza pneumatica per raccordo aria di servizio;
- Bear Lubr Man 1: utenza pneumatica per mandata 1 lubrificazione cuscinetti;
- Bear Lubr Man 2: utenza pneumatica per mandata 2 lubrificazione cuscinetti;
- Bear Lubr Rit: utenza pneumatica per ritorno lubrificazione cuscinetti;
- Tool Release: utenza pneumatica per rilascio utensile;
- Tool-Hold: utenza pneumatica per aggancio utensile.

I connettori idraulici sono costituiti dai seguenti attacchi:

- Cooling-IN EM: utenza idraulica per raffreddamento in ingresso elettromandrino;
- Cooling-OUT EM: utenza idraulica per raffreddamento in uscita elettromandrino.

I connettori oleodinamici sono costituiti dai seguenti attacchi:

- Olio-Tool-Hold: utenza oleodinamica per aggancio utensile;
- Olio-Tool-Release: utenza oleodinamica per rilascio utensile;
- Olio-Freno EM: utenza oleodinamica per freno elettromandrino.

Nel caso in esame, poichè la stazione è dotata di un solo slot di rodaggio, un guasto che causa il blocco dello slot comporta anche un blocco della stazione, aumentando quindi l'indice di severità di molti modi di guasto. In Tabella 5.29 si trova la scomposizione in *item* significativi della stazione di collaudo. In Tabella 5.30, 5.31 e 5.32, è riportata l'analisi FMECA.

Tabella 5.29: Scomposizione della stazione di collaudo L07

LIVELLO I	LIVELLO II	LIVELLO III	LIVELLO IV	LIVELLO V	LIVELLO VI
F1 Stazione collaudo L07	F1.1 Slot collaudo	F1.1.1 Impianto idraulico	F1.1.1.1 Chiller	F1.1.1.1.1 Filtro	
			F1.1.1.2 Impianto oleodinamico	F1.1.1.2.1 Centralina lubrificazione cuscinetti	F1.1.1.2.1.1 Vacuostato
				F1.1.1.2.2 Centralina blocco/sblocco utensile	F1.1.1.2.2.1 Regolatore proporzionale
					F1.1.1.2.2.2 Relè di input
		F1.1.2 Box azionamenti	F1.1.2.1 Induttanza		
			F1.1.2.2 Azionamenti		
		F1.1.3 Condizionatore d'aria			
		F1.1.4 Cavi (diversi codici in base alla famiglia di mandrini)	F1.1.4.1 Cavo fixture		
			F1.1.4.2 Cavo di interfaccia		
		F1.1.5 Termocoppie	F1.1.5.1 Termocoppia a T ambiente		
			F1.1.5.2 Termocoppia TBA (cuscinetti)		
		F1.1.6 Pneumatica	F1.1.6.1 Moltiplicatore di pressione		
			F1.1.6.2 Elettrovalvole		
			F1.1.6.3 Regolatore di pressione		
			F1.1.6.4 Apertura porte		
		F1.1.7 Allungamento albero	F1.1.7.1 Testina sensore		
			F1.1.7.2 Amplificatore		
		F1.1.8 Vibrazioni	F1.1.8.1 Fotocellula laser		
			F1.1.8.2 Accelerometro		
			F1.1.8.3 Cavo accelerometro		
			F1.1.8.4 Basetta magnetica		
		F1.1.9 Interfaccia operatore slot	F1.1.9.1 Pistola bar code		
			F1.1.9.2 Pulsantiera	F1.1.9.2.1 Semaforo segnalazione	
				F1.1.9.2.2 Pulsanti	

	F1.1.10 Impianto elettrico	F1.1.10.1 Fusibili		
		F1.1.10.2 Relè		
		F1.1.10.3 Teleruttore		
	F1.1.11 Dispositivi di sicurezza	F1.1.11.1 Sensore di fumo		
		F1.1.11.2 PLC sicurezza		
	F1.1.12 CompactRIO			
F1.2 Interfaccia operatore	F1.2.1 PC supervisore			

Tabella 5.30: Analisi FMECA stazione di collaudo L07 (Parte 1)

Elemento		Funzione	Modo di guasto	Cause
Codice FMECA	Nome			
F1.1.1.1.1	Filtro	Filtraggio liquido di raffreddamento per evitare guasto della pompa e la contaminazione del circuito interno al mandrino	Cartuccia interna intasata	Mancata manutenzione
F1.1.1.2.1.1	Vacuostato	Aspirazione olio in eccesso presente nel circuito dei cuscinetti	Mancata aspirazione	Usura
F1.1.1.2.2.1	Regolatore proporzionale	Regolazione automatica della pressione	Impossibilità di regolazione della pressione	Usura
F1.1.1.2.2.2	Relè di input	Mancato switch elettrovalvole	Impossibilità di utilizzare più di una elettrovalvola	Usura, sovracorrente
F1.1.1.2.2.3	Filtro	Filtraggio olio per sblocco/blocco utensile per evitare guasto della pompa e la contaminazione del circuito interno al mandrino	Cartuccia interna intasata	Mancata manutenzione
F1.1.2.1	Induttanza	Dissipare la corrente assorbita	Sovratemperatura	Mancato raffreddamento e sovracorrente
F1.1.2.2	Azionamenti	Pilotaggio elettromandrino	Sovratemperatura	Mancato raffreddamento, Errata parametrizzazione, Usura
F1.1.3	Condizionatore d'aria	Mantiene la T ambiente in un range prestabilito	Accensione a temperatura indesiderata	Rottura termostato
F1.1.4.1	Cavo fixture	Alimentazione potenza e segnali mandrino	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
F1.1.4.2	Cavo di interfaccia	Cavo di connessione DUT stazione	Mancanza di potenza/comunicazione	Usura, utilizzo inappropriato
F1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Termocoppia per il controllo della temperatura ambiente	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura
F1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Termocoppia applicata esternamente al mandrino per controllo temperatura cuscinetti	Lettura errata temperatura	Rottura cavo, rottura connettore, rottura bulbo di lettura

F1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Dispositivo per ottenere fino a 12 bar per utenza espulsione utensile	Mancanza di alta pressione	Usura
F1.1.6.2	Elettrovalvole	Dispositivi per il comando dell'azionamento delle utenze pneumatiche	Mancanza di input a PLC	Usura
F1.1.6.3	Regolatore di pressione	Dispositivo per regolazione automatica della pressione delle utenze pneumatiche	Difficoltà nella regolazione	Mancata manutenzione, mancata pulizia filtri
F1.1.6.4	Apertura porte	Pistoni pneumatici per l'apertura verticale delle porte	Grippaggio pistone	Usura
F1.1.7.1	Testina sensore	Misurare la distanza tra la testina e il componente metallico	Lettura mancante o errata	Usura, guasto accidentale
F1.1.7.2	Amplificatore	Elabora il segnale generato dalla testina	Lettura mancante o errata	Usura, guasto accidentale
F1.1.8.1	Fotocellula laser	Lettura velocità di rotazione del DUT	Lettura mancante o errata	Usura, guasto accidentale
F1.1.8.2	Accelerometro	Sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Utilizzo inappropriato
F1.1.8.3	Cavo accelerometro	Cavo di connessione del sensore per il controllo delle vibrazioni	Lettura errata	Usura/utilizzo inappropriato
F1.1.8.4	Basetta magnetica	Punto di connessione tra il DUT e il sensore	Difficoltà nel fissaggio	Usura/utilizzo inappropriato
F1.1.9.1	Pistola bar code	Lettura del codice a barre del DUT	Mancata lettura del codice	Rottura
F1.1.9.2.1	Semaforo segnalazione	Segnalazione dello stato del rodaggio	Segnale luminoso basso o assente	Rottura
F1.1.9.2.2	Pulsanti	Pulsanti che svolgono le seguenti funzioni: apertura porte, star test, reset slot, pausa test	Il pulsante non svolge la sua funzione	Rottura/utilizzo inappropriato
F1.1.10.1	Fusibili	Protezioni per i sovraccarichi	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
F1.1.10.2	Relè	Deviatore elettromagnetico	Mancanza flusso elettrico	Sovracorrente
F1.1.10.3	Teleruttore	Dispositivo ad azionamento capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti in condizioni di sovraccarico	Mancata apertura dei contatti	Usura
F1.1.11.1	Sensore di fumo	Impianto rilevamento incendio	Falso allarme/mancato allarme	Usura/mancata manutenzione
F1.1.11.2	PLC sicurezza	Gestione dei sistemi di sicurezza della stazione	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Rottura
F1.1.12	CompactRIO	Controllo che gestisce tutti i collaudi eseguiti all'interno della macchina	La macchina non esegue nessun collaudo	Rottura totale
			Mancata esecuzione di determinati collaudi	Rottura parziale (danneggiamento di una determinata scheda di acquisizione)
F1.2.1	PC supervisore	Interfaccia tra controllo ed operatore	Potenza di calcolo ridotta	Rottura
			Assenza rete	Problemi tecnici alla rete aziendale

Tabella 5.31: Analisi FMECA stazione di collaudo L07 (Parte 2)

Elemento		Effetti		
Codice FMECA	Nome	Livello locale	Livello superiore	Livello di sistema
F1.1.1.1.1	Filtro	Mancanza di portata	Errore chiller	Blocco della stazione
F1.1.1.2.1.1	Vacuostato	Mancanza pressione	Errore centralina	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.1.2.2.1	Regolatore proporzionale	Pressione fissa non regolabile	Errore centralina	Blocco della stazione
F1.1.1.2.2.2	Relè di input	Mancata accensione	Errore centralina	Blocco della stazione
F1.1.1.2.2.3	Filtro	Mancanza di portata	Errore centralina	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.2.1	Induttanza	Assorbimento di corrente eccessivo	Errore box azionamenti	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.2.2	Azionamenti	Mancata accensione	Errore box azionamenti	Blocco della stazione
F1.1.3	Condizionatore d'aria	Mancato azionamento unità refrigerante	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.4.1	Cavo fixture	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Blocco della stazione
F1.1.4.2	Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza, mancanza comunicazione con bus, mancanza comunicazione con sensori	Guasto scheda di acquisizione	Blocco della stazione
F1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	Sovratemperatura DUT	Sovratemperatura slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	Sovratemperatura DUT	Guasto scheda di acquisizione	Blocco della stazione
F1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	Grippaggio e stallo pistone	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.6.2	Elettrovalvole	Impossibilità di effettuare il cambio utensile	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.6.3	Regolatore di pressione	Impossibilità nella regolazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.6.4	Apertura porte	Mancato scorrimento nel cilindro	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.7.1	Testina sensore	Lettura mancante o errata	Test allungamento albero non effettuabile	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.7.2	Amplificatore	Lettura mancante o errata	Test allungamento albero non effettuabile	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.8.1	Fotocellula laser	Lettura mancante o errata	Impossibilità di equilibrare	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.8.2	Accelerometro	Guasto piezo	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.8.3	Cavo accelerometro	Guasto saldatura pin connettore	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione

F1.1.8.4	Basetta magnetica	Guasto magnete	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.9.1	Pistola bar code	Impossibilità di leggere codice tecnico e serial number del DUT	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.9.2.1	Semaforo segnalazione	Difficoltà nella lettura dello stato di rodaggio	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.9.2.2	Pulsanti	Mancanza di input allo slot	Blocco slot rodaggio	Utilizzo ridotto della stazione
F1.1.10.1	Fusibili	Mancanza di corrente	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.10.2	Relè	Mancanza di corrente	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.10.3	Teleruttore	Mancanza di corrente	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.11.1	Sensore di fumo	Segnalazione errata	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.11.2	PLC sicurezza	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.1.12	CompactRIO	Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
		Mancanza di input, mancanza di alimentazione	Blocco slot di rodaggio	Blocco della stazione
F1.2.1	PC supervisore	Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare
		Mancanza diagnostica	Mancanza diagnostica di rodaggio	La stazione continua a funzionare

Tabella 5.32: Analisi FMECA stazione di collaudo L07 (Parte 3)

Elemento		Tasso di guasto elemento λ	Frequenza modo di guasto α	Severità S	Criticità $C=Sa\lambda$	Indisponibilità (h)	Peso Indisponibilità
Codice FMECA	Nome						
F1.1.1.1.1	Filtro	0,0029	1	1	0,0029	11	5
F1.1.1.2.1.1	Vacuostato	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.1.2.2.1	Regolatore proporzionale	0,0003	1	1	0,0003	80	10
F1.1.1.2.2.2	Relè di input	0,0003	1	1	0,0003	32	8
F1.1.1.2.2.3	Filtro	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.2.1	Induttanza	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.2.2	Azionamenti	0	1	1	0	0	1
F1.1.3	Condizionatore d'aria	0	1	1	0	0	1
F1.1.4.1	Cavo fixture	0	1	1	0	0	1
F1.1.4.2	Cavo di interfaccia	0	1	1	0	0	1

F1.1.5.1	Termocoppia a T ambiente	0	1	1	0	0	1
F1.1.5.2	Termocoppia TBA (cuscinetti)	0	1	1	0	0	1
F1.1.6.1	Moltiplicatore di pressione	0,0003	1	1	0,0003	32	8
F1.1.6.2	Elettrovalvole	0,0005	1	1	0,0005	64	10
F1.1.6.3	Regolatore di pressione	0	1	1	0	0	1
F1.1.6.4	Apertura porte	0	1,0000	1	0	0	1
F1.1.7.1	Testina sensore	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.7.2	Amplificatore	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.8.1	Fotocellula laser	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.8.2	Accelerometro	0	1	1	0	0	1
F1.1.8.3	Cavo accelerometro	0	1	1	0	0	1
F1.1.8.4	Basetta magnetica	0	1	1	0	0	1
F1.1.9.1	Pistola bar code	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.9.2.1	Semaforo segnalazione	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.9.2.2	Pulsanti	0	1	0,7	0	0	1
F1.1.10.1	Fusibili	0	1	1	0	0	1
F1.1.10.2	Relè	0,0005	1	1	0,0005	1	1
F1.1.10.3	Teleruttore	0	1	1	0	0	1
F1.1.11.1	Sensore di fumo	0	1	1	0	0	1
F1.1.11.2	PLC sicurezza	0	1	1	0	0	1
F1.1.12	CompactRIO	0	1	1	0	0	1
		0	1	1	0	0	1
F1.2.1	PC supervisore	0	1	0,1	0	0	1
		0	1	0,1	0	0	1

La mappatura dei modi di guasti sulla matrice delle criticità conduce alla seguente classificazione dei modi di guasto (Tabella 5.33):

Tabella 5.33: Classificazione dei modi di guasto stazione di collaudo L07

ITEM	MODO DI GUASTO	CLASSIFICAZIONE
Filtro	Cartuccia interna intasata	
Vacuostato	Mancata aspirazione	
Regolatore proporzionale	Impossibilità di regolazione della pressione	
Relè di input	Impossibilità di utilizzare più di una elettrovalvola	
Filtro	Cartuccia interna intasata	
Induttanza	Sovratemperatura	
Azionamenti	Sovratemperatura	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Testina sensore	Lettura mancante o errata	
Amplificatore	Lettura mancante o errata	
Fotocellula laser	Lettura mancante o errata	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	
Relè	Mancanza flusso elettrico	
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

5.3.7 Azioni correttive

In seguito alla classificazione dei modi di guasto effettuata tramite la matrice delle criticità, si definiscono le possibili azioni correttive da intraprendere per ridurre tali criticità. In particolare, le azioni correttive proposte sono:

- attività di pulizia e/o rabbocco di liquidi;
- manutenzione preventiva *condition-based* per quei componenti facilmente ispezionabili per cui è possibile monitorarne le performance e lo stato di usura;
- manutenzione preventiva *use-based* per i componenti con vita utile definita dal fornitore sulla base delle ore di operatività;
- scorta di magazzino per quei componenti con indisponibilità bassa, ma elevata severità; per tali componenti, infatti, la probabilità di accadimento del modo di guasto è molto bassa, ma in caso di guasto hanno un impatto importante sul sistema;
- servizio di *fast replacement* con il fornitore per quei componenti con vita utile infinita, definita dal fornitore stesso.

In Tabella 5.34 sono presentate le azioni correttive per la stazione di collaudo e la stazione controllo vibrazioni in rampa della linea 3 e per la stazione di collaudo della linea 5. Per queste tre macchine, infatti, l'analisi FMECA ha condotto alla medesima classificazione delle criticità dei modi di guasto.

Tabella 5.34: Azioni correttive stazione di collaudo L03, stazione controllo vibrazioni L03 e stazione di collaudo L05

ITEM	MODO DI GUASTO	AZIONI CORRETTIVE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	Pulizia filtri, serbatoio e circuito
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	Controllo livello liquido refrigerante
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	Pulizia griglie di raffreddamento, controllo funzionamento termostato
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	Controllo stato di usura dei pin del cavo
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	Scorta di magazzino
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	Scorta di magazzino
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	Scorta di magazzino
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Relè	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	Scorta di magazzino
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	Servizio di <i>fast replacement</i>
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

Per la stazione di collaudo della linea 9, le azioni correttive (Tabella 5.35) sono le medesime delle stazioni precedentemente presentate, ad eccezione dei componenti che non sono presenti in questa stazione (accelerometro e cavo accelerometro).

Tabella 5.35: Azioni correttive stazione di collaudo L09

ITEM	MODO DI GUASTO	AZIONI CORRETTIVE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	Pulizia filtri, serbatoio e circuito
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	Controllo livello liquido refrigerante
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	Pulizia griglie di raffreddamento, controllo funzionamento termostato
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	Controllo stato di usura dei pin del cavo
Chiavi di codifica (differenziate per tensione alimentazione ventola e BUS)	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	Scorta di magazzino
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	Scorta di magazzino
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Relè	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	Scorta di magazzino
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	Servizio di <i>fast replacement</i>
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

Per quanto riguarda la stazione di collaudo della linea 1 si sottolinea come molti componenti abbiano tasso di guasto nullo. Ciò accade perchè si tratta di una stazione per il rodaggio degli aggregati, per cui l'elettromandrino fisso consente di ridurre molte delle problematiche presenti nelle altre stazioni di collaudo. Le azioni correttive proposte sono presentate in Tabella 5.36.

Tabella 5.36: Azioni correttive stazione di collaudo L01

ITEM	MODO DI GUASTO	AZIONI CORRETTIVE
Scambiatore di calore	Mancanza di portata	
	Mancanza di gas	
	Mancanza di pressione	
Comando impianto idraulico	Mancanza di input a PLC	
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	
Chiavi di codifica	Mancanza di comunicazione	
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	
Termocoppia TBA (Su corpo Aggregato)	Lettura errata temperatura	
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	Scorta di magazzino
Apertura porte	Grippaggio pistone	
Accelerometro	Lettura errata	
Cavo accelerometro	Lettura errata	Scorta di magazzino
Fonometro	Malfuzionamento alimentazione	Servizio di <i>fast replacement</i>
Elettromandri	Mancanza raffreddamento	
Pedale blocco/sblocco utensile	Mancato input	
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	Scorta di magazzino
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Relè	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	Scorta di magazzino
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	Servizio di <i>fast replacement</i>
PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

Infine, la Tabella 5.37 mostra le azioni correttive proposte per la stazione di collaudo della linea 7.

Tabella 5.37: Azioni correttive stazione di collaudo L07

ITEM	MODO DI GUASTO	AZIONI CORRETTIVE
Filtro	Cartuccia interna intasata	Pulizia filtri, serbatoio e circuito
Vacuostato	Mancata aspirazione	
Regolatore proporzionale	Impossibilità di regolazione della pressione	Servizio di <i>fast replacement</i>
Relè di input	Impossibilità di utilizzare più di una elettrovalvola	Scorta di magazzino
Filtro	Cartuccia interna intasata	
Induttanza	Sovratemperatura	
Azionamenti	Sovratemperatura	Servizio di <i>fast replacement</i>
Condizionatore d'aria	Accensione a temperatura indesiderata	Pulizia griglie di raffreddamento, controllo funzionamento termostato
Cavo fixture	Mancanza di potenza/comunicazione	Controllo stato di usura dei pin del cavo
Cavo di interfaccia	Mancanza di potenza/comunicazione	Controllo stato di usura dei pin del cavo
Termocoppia a T ambiente	Lettura errata temperatura	Scorta di magazzino
Termocoppia TBA (cuscinetti)	Lettura errata temperatura	Scorta
Moltiplicatore di pressione	Mancanza di alta pressione	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Elettrovalvole	Mancanza di input a PLC	Manutenzione preventiva <i>use-based</i>
Regolatore di pressione	Difficoltà nella regolazione	Scorta di magazzino
Apertura porte	Grippaggio pistone	Servizio di <i>fast replacement</i>
Testina sensore	Lettura mancante o errata	
Amplificatore	Lettura mancante o errata	
Fotocellula laser	Lettura mancante o errata	
Accelerometro	Lettura errata	Scorta di magazzino
Cavo accelerometro	Lettura errata	Scorta di magazzino
Basetta magnetica	Difficoltà nel fissaggio	Scorta di magazzino
Pistola bar code	Mancata lettura del codice	
Semaforo segnalazione	Segnale luminoso basso o assente	
Pulsanti	Il pulsante non svolge la sua funzione	
Fusibili	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Relè	Mancanza flusso elettrico	Scorta di magazzino
Teleruttore	Mancata apertura dei contatti	Scorta di magazzino
Sensore di fumo	Falso allarme/mancato allarme	Servizio di <i>fast replacement</i>
PLC sicurezza	Impossibilità nell'eseguire qualsiasi tipo di collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
CompactRIO	La macchina non esegue nessun collaudo	Servizio di <i>fast replacement</i>
	Mancata esecuzione di determinati collaudi	Servizio di <i>fast replacement</i>

PC supervisore	Potenza di calcolo ridotta	
	Assenza rete	

Per i componenti soggetti a manutenzione preventiva del tipo *use-based* (elettrovalvole e moltiplicatore di pressione) è stata calcolata la convenienza economica di tale tipo di attività manutentiva rispetto ad una manutenzione a guasto, sia nel caso in cui sia presente il componente a magazzino sia nel caso in cui sia necessario l'approvvigionamento.

Il costo unitario di un singolo intervento a guasto è pari a:

$$C_O = C_{pz} + C_{mnd} + C_{ineff} \quad (5.4)$$

dove C_{pz} è il costo del materiale necessario alla manutenzione, C_{mnd} il costo della manodopera e C_{ineff} è il costo dell'inefficienza per fermo-macchina.

Il costo unitario di un singolo intervento preventivo è pari a:

$$C_P = C_{pz} + C_{mnd} \quad (5.5)$$

Considerando che i componenti in questione hanno una vita utile definita dal fornitore, risulta conveniente anticipare il raggiungimento di tale vita utile con un intervento preventivo di sostituzione del componente dato che la probabilità che si guasti prima del raggiungimento di tale vita utile è pressochè nulla.

Per la stima dei costi delle due tipologie di manutenzione, i costi sono stati definiti nel modo seguente:

- C_{pz} è il costo del ricambio;
- C_{mnd} è dato dal costo orario della manodopera per le ore dedicate all'attività di manutenzione;
- C_{ineff} è dato dal mancato fatturato derivante dal fermo-macchina calcolato sulla base dell'output giornaliero programmato.

Il costo dell'inefficienza aumenta nel caso in cui il ricambio non sia presente a magazzino poichè il tempo di fermo-macchina aumenta all'aumentare del *lead time* di approvvigionamento.

In Tabella 5.38 e 5.39 sono presenti le stime dei costi dei singoli interventi manutentivi per le elettrovalvole e il moltiplicatore di pressione.

Tabella 5.38: Stima del costo dell'intervento manutentivo per le elettrovalvole

Elettrovalvole	Tipologia di manutenzione		
	A guasto (senza scorta)	A guasto (con scorta)	Preventiva
Stazione collaudo L03	22.727,17 €	777,31 €	69,25 €
Stazione controllo vibrazioni L03	78.650,37 €	2.524,91 €	69,25 €
Stazione collaudo L05	16.405,25 €	579,75 €	69,25 €
Stazione collaudo L09	3.942,21 €	190,28 €	69,25 €
Stazione collaudo L07	14.998,21 €	535,78 €	69,25 €

Tabella 5.39: Stima del costo dell'intervento manutentivo per il moltiplicatore di pressione

Moltiplicatore di pressione	Tipologia di manutenzione		
	A guasto (senza scorta)	A guasto (con scorta)	Preventiva
Stazione collaudo L03	23.017,17 €	1.067,31 €	359,25 €
Stazione controllo vibrazioni L03	78.940,37 €	2.814,91 €	359,25 €
Stazione collaudo L05	16.695,89 €	869,77 €	359,25 €
Stazione collaudo L09	4.232,21 €	480,28 €	359,25 €
Stazione collaudo L07	15.288,21 €	825,78 €	359,25 €

Come si può notare dalla stima dei costi, l'intervento preventivo ha un costo nettamente inferiore rispetto all'intervento a guasto, in particolar modo per quelle stazioni il cui output giornaliero programmato è maggiore e, di conseguenza, il mancato fatturato è superiore in caso di fermo-macchina.

5.4 Attività di Manutenzione Autonoma

Si è deciso di iniziare l'implementazione della Manutenzione Autonoma in una delle linee di assemblaggio dello stabilimento, la linea 3, che rappresenterà la linea pilota per la restante parte delle linee del reparto.

La linea 3 è quella che garantisce il più elevato fatturato aziendale e un fermo linea causerebbe di conseguenza una maggiore perdita. Risulta quindi fondamentale mantenere nel tempo le condizioni di base dei macchinari e delle postazioni di lavoro al fine di ridurre la probabilità di guasto.

Sono state analizzate le postazioni di lavoro e gli step del processo al fine di individuare le fonti di sporco e gli elementi che necessitano di ispezione, lubrificazione e ri-serraggio. Questa analisi ha lo scopo di definire le operazioni di Manutenzione Autonoma al fine di mantenere nel tempo le condizioni di base delle macchine, nell'ottica di minimizzare (annullare nel lungo periodo) i guasti dovuti alla mancanza delle condizioni di base.

Si definiscono, innanzitutto, delle operazioni di manutenzione autonoma per le postazioni di lavoro (Figura 5.20), costituite dal banco di lavoro e dalla struttura. Per l'intera postazione di lavoro sono necessarie attività di pulizia e, in aggiunta per la struttura, attività di serraggio delle viti che tendono ad allentarsi in quanto la struttura, in molte postazioni, è soggetta a vibrazioni.

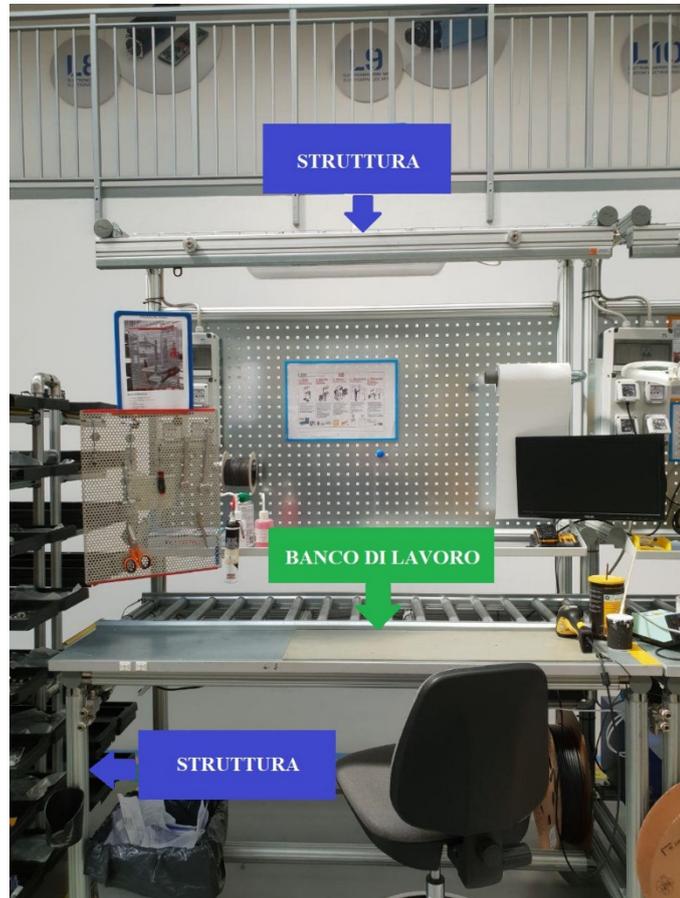


Figura 5.20: Postazione di lavoro

La Figura 5.21 mostra il layout della linea 3. Le macchine e attrezzature prese in considerazione per definire le attività di automanutenzione sono le seguenti:

1. marcatrice;
2. morsa pneumatica;
3. banco regolatore quota pinza;
4. equilibratrice;
5. E.D.C. che esegue le prove di sicurezza elettrica previste dalle norme europee (Direttiva macchine norme EN 60204-1);
6. stazioni di collaudo;
7. stazione controllo vibrazioni in rampa;

8. computest, che esegue ulteriori prove di collaudo e che contiene al suo interno una macchina E.D.C.

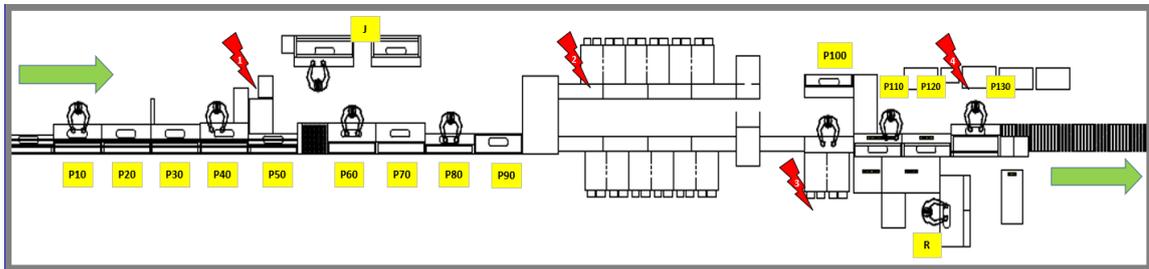


Figura 5.21: Layout linea 03

La Check list di Manutenzione Autonoma prevede la definizione della postazione in cui è ubicata la macchina.

Ciascun macchinario e attrezzatura è stato analizzando al fine di comprendere se ci potessero essere delle fonti di sporco e di conseguenza delle attività di pulizia da effettuare periodicamente. In particolare, si definiscono le seguenti attività:

- pulizia delle guide di scorrimento della morsa pneumatica per evitare il formarsi di depositi e residui di grasso che potrebbero comprometterne il corretto funzionamento;
- pulizia della cinghia di trascinamento dell'equilibratrice per evitare un'usura precoce a causa di depositi e problemi di lettura dello squilibrio dovuti a slittamenti della cinghia sul rotante;
- pulizia fotocellule e catarifrangenti dell'equilibratrice poichè eventuali depositi potrebbero compromettere la lettura dello squilibrio;
- pulizia dell'area di lavoro delle stazioni di collaudo e della stazione controllo vibrazioni in rampa;
- pulizia delle griglie del sistema di condizionamento e degli scambiatori acqua aria delle stazioni di collaudo e della stazione controllo vibrazioni in rampa per eliminare le impurità, come suggerito dalle azioni correttive dell'analisi FMECA.

Le attività di pulizia prevedono una modalità di esecuzione e una frequenza previste nella Check list di Manutenzione Autonoma.

Analogamente, devono essere individuate le attività di ispezione per verificare il corretto funzionamento degli item costituenti le macchine e il loro stato di usura. Nel caso specifico vengono pianificate:

- controllo corretta marcatura della marcatrice per assicurarsi che tutti i caratteri vengano marcati in modo completo;
- controllo stato di usura gomma anti rotazione rotore della morsa pneumatica;
- controllo scorrimento parti mobili, funzionalità contrasti e sportelli e relative valvole interbloccate del banco regolatore quota pinza;
- controllo filtri dell'aria dell'equilibratrice;
- esecuzione diagnostico per prove di efficienza terra, isolamento, rigidità sull'E.D.C.;
- controllo stato di usura pinza di prova relativa alla misura del filo di terra dell'E.D.C.;
- controllo integrità degli accessori di rodaggio delle stazioni di collaudo e della stazione controllo vibrazioni;
- controllo integrità delle parti elettriche (cavi di rodaggio e sonde di temperatura) delle stazioni di collaudo e controllo vibrazioni, come suggerito dalle azioni correttive derivanti dall'analisi FMECA;
- controllo del livello dei contenitori con il liquido di condensa condizionatori delle stazioni di collaudo e controllo vibrazioni,
- controllo del funzionamento delle barriere del computest.

Per queste attività vengono definiti, oltre alla modalità di esecuzione e alla frequenza, dei criteri di accettabilità superati i quali scatta l'azione correttiva segnalata in check list.

L'unica macchina che necessita di operazioni di lubrificazione è l'equilibratrice. In particolare, il manuale uso e manutenzione suggerisce la lubrificazione giornaliera dei rulli degli equipaggi e delle guide sul bancale e la lubrificazione settimanale delle guide dei supporti. Nella modalità di esecuzione di queste due attività è inserita la tipologia di olio e di grasso necessari nel rispetto della tabella lubrificanti presente nel manuale. Inoltre, è stata considerata come operazione di *lubrication* anche l'attività di rabbocco del liquido di raffreddamento delle stazioni di collaudo e della stazione controllo vibrazioni in rampa. Tale attività scaturisce direttamente dall'analisi FMECA svolta sulle stazioni. Infine, si predispone un'attività di serraggio delle viti e dei bulloni del banco regolatore quota pinza.

La Check list di Manutenzione Autonoma redatta è riportata in Figura 5.22 e in Figura 5.23.

HSD [®] MECHATRONICS		Check list di Manutenzione Autonoma											M-Q-																
													Rev:00																
Macchina/attrezzatura			Reparto	PRODUZIONE	Linea L3	Anno			Mese	Settimana					Settimana														
Nome	Matricola	Postazione	N°	Attività		Modalità di esecuzione	Criteri di accettabilità	Azione correttiva possibile	Frequenza	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Postazione di lavoro		Tutte	1	Pulizia della postazione di lavoro: banco di lavoro, struttura		Con acqua saponata	-	-	Giornaliera																				
			2	Serraggio viti della struttura		Strumentale	9,7 Nm	-	Mensile																				
Marcatrice	7347	P10	3	Controllo corretta marcatura		Visiva	Tutti i caratteri completi	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
Morsa pneumatica	2015007 2012003 2012002	P20, P30, P3	4	Controllo stato di usura gomma anti rotazione rotore		Visiva	Usura <50% della superficie utile	Sostituzione gomma	Settimanale																				
			5	Pulizia delle guide di scorrimento		Con stracci asciutti	-	Lubrificazione con olio	Settimanale																				
Banco regolatore quota pinza		P40	6	Controllo scorrimento delle parti mobili		Funzionale	-	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
			7	Controllo funzionalità contrasti e relative micro valvole interbloccate		Funzionale	-	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
			8	Controllo funzionalità sportelli e relative micro valvole interbloccate		Funzionale	-	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
			9	Serraggio viti e bulloni		Strumentale	-	-	Settimanale																				
Equilibratrice	108155	P50	10	Pulizia cinghia di trascinamento		Con stracci asciutti	-	-	Giornaliera																				
			11	Pulizia pannelli in Lexan, fotocellule e catarifrangenti		Con stracci e acqua saponata	-	-	Settimanale																				
			12	Lubrificazione rulli degli equipaggi e guide sul bancale		Olio ISO/UNI G68	-	-	Giornaliera																				
			13	Lubrificazione guide dei supporti		Grasso di tipo ISO/UNI XM2	-	-	Settimanale																				
			14	Controllo filtri dell'aria		Visiva	No sporcizia e perdita di olio	Pulizia dei filtri con aria compressa	Settimanale																				
Note																													
Legenda Giorni pianificati o attività Esecuzione attività V OK X KO NA Non Applicabile			Attività di: <i>Cleaning</i> <i>Inspection</i> <i>Lubrication</i> <i>Re-tightening</i>			Approvazione, esito sintetico e Firma da parte del CR Firma CT/CR																							

Figura 5.22: Check list di Manutenzione Autonoma linea 03 (Parte 1)

		Check list di Manutenzione Autonoma										M-Q-																	
												Rev:00																	
Macchina/attrezzatura			Reparto PRODUZIONE		Linea L3		Anno	Mese	Settimana					Settimana															
Nome	Matricola	Postazione	N°	Attività		Modalità di esecuzione	Criteri di accettabilità	Azione correttiva possibile	Frequenza	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
E.D.C.	10323 10062	P90, P130	15	Esecuzione diagnostico su sistemi per prove di efficienza terra, isolamento, rigidità		Vedi IoP	Vedi IoP	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
			16	Controllo stato di usura pinza di prova relativa alla misura del filo di terra		Visiva	Assenza deterioramenti che compromettano la prova	Intervento manutenzione	Settimanale																				
Stazioni di collaudo		P100 (6)	17	Pulizia area di lavoro (slot di prova, rulliera, cassette)		Con stracci umidi	-	-	Giornaliera																				
			18	Controllo integrità accessori di rodaggio: - calibri di prova; -calotte; -chiavi di codifica; tubi aria		Visiva	Assenza deterioramenti che compromettano la prova	Sostituzione	Giornaliera																				
			19	Controllo integrità parti elettriche: -cavi di rodaggio; -sonde di temperatura		Visiva	Assenza deterioramenti che compromettano la prova	Sostituzione	Giornaliera																				
			20	Rabbocco liquido di raffreddamento		Con liquido di raffreddamento	-	-	Giornaliera																				
			21	Controllo contenitori liquido di condensa condizionatori		Visiva	Riempimento < del 70% del contenitore	Svuotamento contenitori	Giornaliera																				
Banco controllo vibrazioni		P100	22	Pulizia parte posteriore stazioni: - griglie sistema di condizionamento; -griglie scambiatori acqua aria e resti di eventuali sversamenti		Con aria compressa	-	-	Settimanale																				
			23	Pulizia area di lavoro (slot di prova, rulliera, cassette)		Con stracci umidi	-	-	Giornaliera																				
			24	Controllo integrità accessori di rodaggio: - calibri di prova; -calotte; -chiavi di codifica; tubi aria		Visiva	Assenza deterioramenti che compromettano la prova	Sostituzione	Giornaliera																				
			25	Controllo integrità parti elettriche: -cavi di rodaggio; -sonde di temperatura		Visiva	Assenza deterioramenti che compromettano la prova	Sostituzione	Giornaliera																				
			26	Rabbocco liquido di raffreddamento		Con liquido di raffreddamento	-	-	Giornaliera																				
Computest		P130	27	Controllo contenitori liquido di condensa condizionatori		Visiva	Riempimento < del 70% del contenitore	Svuotamento contenitori	Giornaliera																				
			28	Pulizia parte posteriore stazioni: - griglie sistema di condizionamento; -griglie scambiatori acqua aria e resti di eventuali sversamenti		Con aria compressa	-	-	Settimanale																				
			29	Funzionamento barriere: verificare che il led rosso si accenda se le barriere vengono attraversate		Funzionale	Funzionamento led rosso	Intervento manutenzione	Giornaliera																				
			30	Funzionamento barriere: verificare lo stacco della potenza una volta attraversate le barriere con relativo segnale di pericolo		Funzionale	Funzionamento segnale pericolo	Intervento manutenzione	Settimanale																				
Note										Firma CT/CR																			
Legenda Giorni pianificazione attività Esecuzione attività V OK X KO NA Non Applicabile		Attività di: <i>Cleaning</i> <i>Inspection</i> <i>Lubrication</i> <i>Re-tightening</i>			Approvazione, esito sintetico e Firma da parte del CR																								

Figura 5.23: Check list di Manutenzione Autonoma linea 03 (Parte 2)

Conclusioni

Il presente elaborato di tesi ha permesso la definizione di un *work-flow* di attività per la gestione del processo di manutenzione ordinaria di HSD S.p.A.

Una procedura operativa di gestione del processo rende, infatti, possibile il monitoraggio del processo stesso tramite gli indicatori di performance proposti e l'analisi delle criticità dei macchinari presenti nei diversi reparti dell'azienda. La definizione del flusso delle attività rende, inoltre, possibile l'attribuzione delle responsabilità aziendali, in modo tale da evitare problemi di responsabilità diffusa che necessariamente creano ritardi e incongruenze specialmente in caso di interventi manutentivi correttivi in seguito ad un guasto. In aggiunta, l'utilizzo di un software a supporto del processo di manutenzione permette da un lato la pianificazione delle attività di manutenzione programmata, dall'altro la registrazione degli interventi manutentivi sia a guasto che preventivi. Il database che si verrà a creare utilizzando tale software permetterà in futuro un'analisi puntuale dei guasti dei macchinari di HSD. Infatti, la principale difficoltà riscontrata inizialmente per il progetto di tesi è stata la mancanza di dati storici relativi ai componenti delle macchine. Tale mancanza ha reso necessaria un'analisi focalizzata sui sistemi di collaudo delle linee di assemblaggio dell'azienda; l'analisi è stata possibile grazie alle interviste ai *Testing Engineer* che giornalmente si occupano dell'efficienza e dell'efficacia delle stazioni di collaudo. Si tratta chiaramente di dati soggettivi che però permettono un'analisi preliminare utile all'azienda per implementare le prime attività di manutenzione preventiva.

La *Total Productive Maintenance*, come detto, è uno sforzo a livello aziendale al fine di migliorare la qualità degli impianti e garantirne l'efficacia. Proprio perchè si tratta di un'attività di responsabilità dell'intera organizzazione, assume particolare importanza l'utilizzatore stesso della macchina. L'operatore diventa quindi responsabile delle attività di manutenzione autonoma, uno dei *pillars* della TPM. Di conseguenza, la procedura prevede anche un processo per la gestione della manutenzione autonoma, che permette di pianificare le attività tramite una check list. Il lavoro di tesi si è anche focalizzato sulla definizione di tali attività per la linea 3 del reparto produttivo. A partire dalle indicazioni fornite dai produttori tramite il manuale di uso e manutenzione, i macchinari sono stati analizzati al fine di indagare possibili fonti di sporco. Inoltre, grazie alle analisi FMECA svolte sulle stazioni di collaudo, sono state definite delle attività manutentive del tipo

condition-based di competenza degli operatori stessi. L'implementazione della manutenzione autonoma nella linea 3 fungerà da pilota per le restanti linee del reparto e successivamente per i restanti reparti dello stabilimento.

Il lavoro descritto nel presente elaborato può quindi rappresentare un primo ed importante passo per una corretta gestione della manutenzione a livello aziendale. L'utilizzo della procedura operativa getta le basi per future analisi dei guasti di tutti i macchinari presenti in azienda con l'obiettivo di classificarli sulla base della loro criticità, derivante dal comportamento affidabilistico, e definire le opportune strategie di manutenzione.

Bibliografia

- [1] Suzuki T., *TPM in Process Industries*, Productivity Press, 1° edizione 1994;
- [2] Faragò A. Dalla Via S., TPM: la manutenzione in ottica lean, *Logistica Management*, pp. 44-52, Settembre 2016;
- [3] Shen C., Discussion on key successful factors of TPM in enterprises, *Journal of Applied Research and Technology*, Volume 13, Issue 3, pp. 425-427, Giugno 2015;
- [4] Borris S., *Total Productive Maintenance – Proven strategies and techniques to keep equipment running at peak efficiency*, Chapter 6, pp. 153-182, McGraw-Hill, 2006;
- [5] UNI EN ISO 9001:2015, *Sistemi di gestione per la qualità*;
- [6] Grisot D., *La gestione della qualità. Capire e applicare la norma ISO 9001*, Tecniche nuove, 2011;
- [7] MIL-STD-1629A, *Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*, 1980;
- [8] Amadio A., *World Class Manufacturing. I pilastri, la dinamica e l'evoluzione di un modello eccellente orientato dalla Lean Manufacturing e dai costi*, Franco Angeli Editore, 2017;
- [9] UNI EN 13306:2017, *Maintenance – Maintenance terminology*;
- [10] Salonen A., *Formulation of maintenance strategies*, Mälardalen University Press Licentiate Theses No. 100, 2009;
- [11] Furlanetto L. Garetti M. Macchi M., *Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi*, Franco Angeli Editore, 2007;
- [12] ISO 22400-2:2014+A1:2017, *Automation systems and integration - Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. Part 2: Definitions and descriptions*;
- [13] Parida A. Kumar U., *Maintenance Productivity and Performance Measurement*, Handb. Maint. Manag. Eng., pp. 17–41, 2009.
- [14] Borris S., *Total Productive Maintenance – Proven strategies and techniques to keep equipment running at peak efficiency*, Chapter 1, pp. 15-43, McGraw-Hill, 2006;