

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria della Produzione Industriale e dell'Innovazione Tecnologica

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della Produzione

Tesi di Laurea Magistrale

L'IMPLEMENTAZIONE DELLA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE

PRESSO LA AVIO AERO S.r.l.

LO STABILIMENTO DI RIVALTA DI TORINO.



Relatore:

Prof. Massimo Rossetto

Candidato:

Stefano Gusinu

Dicembre 2020

*Alla mia Famiglia,
in particolar modo ai miei genitori
ed i miei fratelli....
Grazie di cuore.*

Abstract

Il seguente lavoro di tesi è stato sviluppato in seguito al conseguimento del tirocinio formativo, previsto nel corso di laurea Magistrale di Ingegneria della Produzione Industriale e dell'Innovazione Tecnologica, presso la Avio Aero s.r.l. (GE Aviation business).

Localizzato presso lo stabilimento di Rivalta di Torino, Sede principale dell'azienda, qui vengono prodotti, assemblati e testati i vari componenti delle trasmissioni degli aeromobili prodotti dall'azienda madre GE e da altre aziende che lavorano con Avio Aero S.r.l., attraverso diversi modelli di contratto di lavoro a seconda delle necessità produttive.

L'attività del tirocinio si è basata sull'implementazione del modello della **TPM**, Total Productive Maintenance, all'interno dell'azienda. La schedulazione programmata e approvata, per il 2020, prevedeva l'implementazione del suddetto modello su almeno 20 macchine e un successivo ampliamento del programma su tutte le macchine critiche negli anni successivi.

La scelta delle 20 macchine che necessitavano con maggiore urgenza questo tipo di manutenzione, tra le 160 già catalogate come "*critiche*"¹ all'interno del parco macchine, venne eseguita tramite un continuo monitoraggio giornaliero dei KPI delle stesse, e l'utilizzo di un'analisi **TGPC**, acronimo per l'analisi che tramite la definizione degli indici di **Time to repair**, **Grado di influenza**, **Probabilità di guasto** e **Criticità del componente**, fornisce, una classificazione univoca per le macchine di tutto lo stabilimento. L'implementazione della manutenzione TPM non si limita solo all'esecuzione delle operazioni sulle macchine. Questa, infatti, include anche un corso di formazione dei lavoratori, su come agire al meglio per eseguire la manutenzione TPM sulle loro macchine e ottimizzare i processi, al fine di creare una cultura del TPM all'interno dell'impianto e un senso di appartenenza e proprietà, al fine di migliorare l'efficacia delle operazioni.

Un secondo aspetto legato alla manutenzione, prevedeva anche l'implementazione di un servizio di gestione degli avvisi di manutenzione delle macchine tramite l'utilizzo di un software, grazie al quale i tempi di comunicazione e gestione degli avvisi di manutenzione si sarebbero ridotti notevolmente, con conseguente riduzione dei tempi di fermo macchina, ritardi nella produzione e relative perdite economiche.

¹ Vengono identificati come "*macchinari critici*" quelli che, se dovessero fermarsi a causa di un guasto,

creerebbero un fermo di un'intera linea produttiva o di un processo con un elevato output di pezzi.

Sommario

Abstract	4
Indice delle Figure.....	8
Capitolo I: L’Azienda.....	12
Avio Aero S.r.l (a GE Aviation Business).....	12
Chi sono.....	12
Storia.....	14
Gli Stabilimenti	16
Capitolo II: La Manutenzione	23
Introduzione.....	23
La Manutenzione Straordinaria	27
1. La Manutenzione Migliorativa	27
2. La Manutenzione Preventiva di rilievo.....	28
3. La Manutenzione Incidentale	29
La Manutenzione Ordinaria.....	30
1. La Manutenzione Preventiva minore.....	31
2. La Manutenzione Correttiva.....	38
Differenze ed Applicazione delle Strategie	40
Capitolo III: I KPI	42
Introduzione.....	42
Gli Indicatori di Prestazione nella Manutenzione	44
L’Affidabilità.....	45
L’affidabilità generale	46
L’Affidabilità dei Sistemi.....	47
Strumenti per le analisi Affidabilistiche.....	50
Il tasso di Guasto	56
MTTR.....	59
MTTF	59
MTBF	59
OEE	60
Qualità	62
Azioni migliorative della qualità	64
Capitolo IV: Lean Manufacturing	68
Tecniche di supporto del Lean Thinking.....	71
Le 5S.....	72
Visual management	73

Just in Time	73
Fishbone Concept	75
Poka Yoke	75
SMED	76
Kanban.....	79
Six Sigma.....	80
Fasi di applicazione del Six Sigma.....	82
Benefici del Six Sigma	84
TPM.....	85
Conclusioni.....	86
Capitolo V: La Total Productive Maintenance.....	87
Introduzione.....	87
Gli 8 Pilastri del TPM.....	89
Miglioramento specifico dei Macchinari.....	89
Manutenzione Autonoma	92
Manutenzione Programmata.....	93
Formazione ed Addestramento.....	94
Manutenzione Qualità.....	95
TPM negli Uffici	95
Sicurezza e amministrazione	96
Le 5S.....	97
Classificazione dei macchinari	98
TPM e Lean production.....	101
Capitolo VI: L'Applicazione del TPM nello stabilimento di Rivalta di Torino.....	103
Introduzione.....	103
Definizione macchina critica	104
Step 1 AM.....	106
Step 2 AM.....	109
Step 1 PM	111
Step 3 AM.....	115
Step 2 PM	124
STEP 3 PM.....	131
Miglioramenti Qualità	133
Osservazioni ed analisi finali.....	137
Conclusioni.....	141
Appendici	144

Appendice I: Esempio Ispezione post Pulizia di un componente della macchina.....	144
Appendice II: Esempi ECRS	148
Appendice III: PDCA	149
Ringraziamenti	151
Bibliografia.....	156

Indice delle Figure

Figura 1- Lo Stabilimento di Borgareto di Beinasco.....	16
Figura 2- Lo Stabilimento di Rivalta di Torino.....	17
Figura 3-Lo Stabilimento di Cameri, Novara.....	19
Figura 4- Lo stabilimento di Pomigliano d’Arco, Napoli	20
Figura 5- Lo Stabilimento di Brindisi	21
Figura 6- “Energy Factory Bari” Logo	22
Figura 7- Stratebie manutentive in base alla classificazione dei componenti	40
Figura 8 Funzione di densità di Probabilità(13).....	45
Figura 9 Diagramma della Vasca da bagno (13)	57
Figura 10- OEE Definition.	60
Figura 11- La casa della Lean (19).....	71
Figura 12- Ishikawa Diagram	75
Figura 13 esempi di tramutazione da ruoli generici a cinture o altri titoli (38)	82
Figura 14- Applicazione Fiat Avio (26).....	84
Figura 15- esempio applicazione 5s per strumenti di Lavoro	97
Figura 16- Alcuni trucchi per prevenire lo sporco ricorrente e i danni del deterioramento.....	97
Figura 17 - Contenimento truciolo – convogliamento del truciolo.....	97
Figura 18- metodo per la determinazione del punteggio TGPC (33)	99
Figura 19- Classificazione TGPC.....	100
Figura 20- Individuazione della macchina critica su cui eseguire L'attività manutentiva	104
Figura 21- Machine Overview	105
Figura 22- Esempio controllo evasione cartellini AM.....	107
Figura 23-Mappa dei guasti per mancanza di condizioni di base- AM.....	108
Figura 24- sorgente di sporco DOPO	109
Figura 25- Sorgente di sporco PRIMA.....	109
Figura 26- Analisi dati per la definizione calendario AM.....	110
Figura 27- Ripristino degrado Accelerato.....	112
Figura 28- Classificazione componenti.....	113
Figura 29- Esempio attività ECRS.....	116
Figura 30- Standard Rivalta	117
Figura 31- Esempio SAMP	118
Figura 32- Nuovo Calendario AM (1).....	121
Figura 33- Nuovo Calendario AM (2).....	122
Figura 34- Mappa guasti, Fronte	124
Figura 35- Mappa Guasti, Retro	124
Figura 36- Stratificazione Guasti Elettrici e Meccanici	125
Figura 37- Analisi Stratificazione guasti.....	126
Figura 38- Stratificazione causa radice.....	127
Figura 39- Analisi dati guasto WK 1 - WK 30	129
Figura 40- Contromisure per Insufficienza di Manutenzione.....	130
Figura 41- Machine Ledger.....	131
Figura 42- Analisi Affidabilità asse X Prima	133
Figura 43- Gabbie a rulli Asse X prima.....	134
Figura 44- Gabbie a rulli Asse X Dopo	135

Figura 45. Analisi Affidabilità Asse X, Dopo.....	135
Figura 46- Quality Notification	136
Figura 47- Confronto KPI 2019-2020.....	137
Figura 48- Analisi esecuzione attività AM week 30.....	139
Figura 49- Previsioni e analisi tipologie manutenzione.....	140

Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad una grande frenesia evolutiva degli scenari operativi aziendali, i quali hanno portato le aziende a dover rivedere i loro modelli gestionali al fine di poter garantire un livello di qualità e performance sempre migliori e poter tenere il passo con i loro competitors, in un mondo in cui la digitalizzazione e la globalizzazione richiedono livelli di efficienza sempre maggiori.

Per poter garantire questi livelli di produzione, i vecchi modelli gestionali basati sulle produzioni Occidentali risultavano essere ormai obsoleti per un novo mercato Globalizzato come quello in cui cisi trova attualmente. Le maggiori aziende hanno iniziato a volgere lo sguardo in altre direzioni e adottare nuovi modelli gestionali, spesso utilizzando puramente o come base, i modelli gestionali Giapponesi, in quanto ritenuti notevolmente avanzati rispetto ai vecchi modelli canonici. Tali modelli, che includono, ma non si limitano a KAIZEN, JIT², TQM³, TPS⁴, SIX σ⁵ sono stati utilizzati ed applicati con modalità e strumenti customizzati a seconda delle necessità aziendali per poter implementare al meglio la “Lean Production”.

Anche la General Electric, con particolare attenzione alla sezione Aviation di cui la Avio Aero S.p.a. fa parte, procede a passi da gigante nell’implementazione della “Lean Production” all’interno dei suoi stabilimenti, con notevoli successi all’interno dello stabilimento principale di Rivalta di Torino, presso il quale si è svolto il mio Tirocinio Formativo da cui è stato sviluppato questo elaborato.

Come verrà ampiamente descritto nelle pagine successive, il raggiungimento di una produzione “snella” può essere raggiunto solo tramite macchinari perfettamente funzionanti, al fine di poter assorbire l’elevata variabilità della domanda ed ottenere un livello di produzione ottimale in qualsiasi momento. Questo requisito indispensabile può essere raggiunto all’interno dell’azienda grazie all’implementazione della TPM⁶- Total Productive Maintenance, la quale risulta essere perfettamente allineata con gli obiettivi della produzione snella.

In passato la manutenzione veniva vista esclusivamente come un costo obbligatorio da sostenere al fine di poter proseguire la produzione, con l’introduzione del Lean Thinking, questa

² Just In Time

³ Total Quality Maintenance

⁴ Total Production System

⁵ Six Sigma

⁶ Total Productive Maintenance

viene rivalutata in un'ottica totalmente diversa. L'implementazione del TPM mira ad ottenere tempi di consegna ridotti con elevata qualità ed un costo ridotto. Questo risulta essere possibile in quanto l'obiettivo del TPM risulta essere il raggiungimento della massima efficienza tramite l'eliminazione dei tempi di fermo macchina e l'incremento dell'affidabilità. Al fine di poter valutare le variazioni della produzione ed eventuali migliorie, L'OEE⁷ risulta essere, attualmente, il miglior indicatore disponibile per il monitoraggio dei dati e la definizione dei punti di miglioramento. Un secondo Strumento molto importante ed utile per l'applicazione del TPM risulta essere l'implementazione della Manutenzione Autonoma, la quale, essendo uno degli 8 pilastri del TPM risulta indispensabile per una corretta implementazione del TPM. Questo tipo di manutenzione viene implementata al fine di introdurre un nuovo metodo di pensiero aziendale e una nuova cultura in particolare per il personale di linea, per il quale si va a creare un senso di proprietà del macchinario, in modo che l'operatore lo possa trattare come se fosse suo, andando ad instaurare una nuova mentalità che si potrebbe esprimere in questi termini, "devo essere io a prendermi cura della mia macchina".

Al fine di poter ottenere risultati concreti nell'applicazione del TPM, l'Autonomous Maintenance risulta essere non sufficiente, ad essa infatti si va ad affiancare la Professional Maintenance, il cui scopo risulta essere quello di monitorare gli impianti/macchinari e tramite una serie di analisi tecniche, determinare quali componenti risultano essere più critici nella macchina ed agire di conseguenza al fine di eliminare le microfermate e una parte delle rotture, con relativi fermi.

In seguito, dopo una descrizione dettagliata dell'azienda Avio Aero S.p.a., e dei processi svolti all'interno dei vari stabilimenti, saranno affrontate le tematiche del nuovo modello gestionale della Lean Production, TPM e relativo Lean Thinking, al fine di poter descrivere al meglio le attività svolte all'interno dell'azienda durante il Tirocinio formativo e raccontare al meglio quali sono le applicazioni dei nuovi modelli gestionali, in un mondo reale.

⁷ Overall Equipment Effectiveness

Capitolo I: L'Azienda

Avio Aero S.r.l (a GE Aviation Business)

Chi sono

Le origini di Avio Aero risalgono al 1908 e da oltre un secolo l'azienda è protagonista di numerose sfide tecnologiche. Attraverso continui investimenti in ricerca e sviluppo e grazie a una consolidata rete di relazioni con le principali università e centri di ricerca internazionali, Avio Aero ha sviluppato un'eccellenza tecnologica e manifatturiera riconosciuta a livello globale: un traguardo testimoniato dalle partnership siglate con i principali operatori mondiali del settore aeronautico.

Avio Aero è un business di GE Aviation che opera nella progettazione, produzione e manutenzione di componenti e sistemi per l'aeronautica civile e militare. Mettendo a disposizione dei clienti soluzioni tecnologiche innovative per rispondere velocemente ai continui cambiamenti richiesti dal mercato: additive manufacturing, rapid prototyping, ma anche tecnologie dedicate alla produzione di trasmissioni, turbine e combustori. La sfida è quella di sviluppare nuove tecnologie per applicazioni su architetture in grado di ridurre i consumi energetici, rendere i motori aerei sempre più leggeri e consentire migliori prestazioni.

Attraverso continui investimenti in ricerca e sviluppo e grazie a una consolidata rete di relazioni con le principali università e i centri di ricerca internazionali, Avio Aereo ha sviluppato un'eccellenza tecnologica e manifatturiera riconosciuta a livello globale: un traguardo testimoniato dalle partnership siglate con i principali operatori mondiali del settore aeronautico.

Dispone di una squadra di oltre 5.200 persone, di cui 4.500 lavorano in Italia. La sede principale è a Rivalta di Torino, dove c'è anche il più grande insediamento produttivo. Altri importanti stabilimenti italiani sono a Brindisi, Pomigliano d'Arco (Napoli) e Cameri (Novara) mentre, all'estero, dispone di uno stabilimento produttivo e un test center in Polonia.

Per far crescere la produttività e la competitività dell'industria è necessario sfruttare le opportunità offerte dalla digitalizzazione. Attraverso quella che è stata chiamata 'Brilliant Factory', ossia la 'Fabbrica Intelligente', un luogo di produzione che può continuamente auto-migliorare

i propri prodotti e processi, tramite la raccolta, la trasmissione e l'analisi di dati in tempo reale. La Brilliant Factory di Avio Aero è caratterizzata da un ciclo di sviluppo del prodotto più veloce e dal miglioramento dell'efficienza produttiva. In questo contesto, gioca un ruolo fondamentale l'Advance manufacturing e, ancor più nello specifico, l'additive manufacturing che vede coinvolta Avio Aero in prima linea grazie allo stabilimento di Cameri, uno tra i più grandi al mondo interamente dedicati alla produzione additiva.

In Puglia, insieme al Politecnico di Bari, è stato sviluppato un nuovo laboratorio, l'Apulia Development Centre for Additive Repair, per sviluppare procedure di riparazione per componenti di motori aeronautici mediante tecnologie innovative basate anche su sistemi laser. Insieme al Politecnico di Torino, invece, è stato creato il TAL - Turin Additive Laboratory - un laboratorio congiunto nato per collaborare su tematiche di ricerca strategiche per il settore aeronautico come, ad esempio, l'individuazione di nuovi materiali destinati a questa tecnologia di produzione.⁸

⁸ (34)

Storia

L'azienda nasce nel 1908 come la sezione aviazione della FIAT. In quel periodo, l'aeronautica era un settore pionieristico, tuttavia molto promettente per notevoli sviluppi sia in campo civile che militare. In quell'anno venne costruito il primo motore aeronautico con produzione in serie della famosa casa automobilistica italiana, il FIAT SA 8/75. Si trattava di un motore da 3,2 Litri, 8 cilindri a V raffreddato ad aria, derivato dei motori delle auto da competizione e riusciva a sprigionare una potenza di 50 CV (37 KW). Con il passare degli anni e lo scoppio della Prima guerra mondiale, la produzione militare ebbe il sopravvento e la Fiat iniziò a diversificare la sua azienda, creando così nel 1918 la FIAT AVIAZIONE.

Dopo le prime progettazioni pionieristiche di motori per aereo dell'inizio del XX secolo, sostenute da Giovanni Agnelli e dal direttore tecnico della Fiat Guido Fornaca contro il parere di consiglieri troppo prudenti nei confronti delle nuove tecnologie e aree di attività, la produzione aeronautica fu avviata su basi industriali durante la Grande Guerra, quando nel 1916, per rispondere alle commesse militari, fu costituita la Società Italiana Aviazione, trasformata nel 1918 nella Sezione Aviazione della Fiat. Il primo motore aeronautico prodotto in serie in oltre 1 000 esemplari, l'A.10, fu montato tra il 1914 e il 1915 su molti velivoli tra i quali i "FARMAN MF 11", in seguito prodotti su licenza, e i trimotori Caproni da bombardamento Ca.32 e Ca.33.

Al termine del conflitto, le risorse tecniche e produttive accumulate durante la guerra furono indirizzate al nascente settore dei velivoli commerciali e grazie al buon livello tecnico e all'affidabilità raggiunti dai motori, gli aerei Fiat riuscirono ad ottenere una serie di primati mondiali.

Nel 1961 Fiat Aviazione assunse il ruolo di capocommessa italiana per il velivolo NATO F 104 G, allacciando in questa circostanza rapporti di collaborazione con l'Alfa Romeo Avio di Pomigliano d'Arco, che faceva capo a Finmeccanica. Anche Alfa Romeo Avio, dalla metà degli anni cinquanta sotto la guida dell'ingegner Stefanutti, aveva intensificato i rapporti di collaborazione nella motoristica aeronautica con Rolls-Royce e General Electric.

Nel 1969 Fiat e Finmeccanica diedero vita ad "Aeritalia", cui Fiat consegnò le attività relative ai velivoli. In seguito, attraverso svariate collaborazioni internazionali, Pomigliano si specializzò nella realizzazione dei componenti della "parte calda" dei motori a getto e nella revisione dei motori a uso civile. Le attività in Fiat si concentrarono invece sui motori aeronautici e sulle

trasmissioni per elicotteri, riunite nel 1976 in Fiat Aviazione, con 3 700 dipendenti e centri di produzione a Torino e Brindisi.

Con il passare degli anni, Avio ha potuto così incamminarsi sulla strada di una crescente internazionalizzazione, collocandosi tra i maggiori protagonisti mondiali nel campo della progettazione e produzione di componenti e moduli per la propulsione aerospaziale. Nel 2001, venne fondata la Avio Polska, con sede a Bielsko-Biala, Polonia.

Nel 2003 il gruppo Fiat, alle prese con la crisi del settore automobilistico, vendette Fiat Avio S.p.A. a un consorzio formato per il 70% dal fondo americano The Carlyle Group e per il 30% da Finmeccanica S.p.A. Fiat Avio fu valutata all'epoca 1,5 miliardi di euro e cambiò ragione sociale in Avio S.p.A.

Nell'agosto 2006 il fondo inglese CINVEN ha annunciato l'acquisizione di Avio S.p.A. da Carlyle per un valore complessivo di 2,57 miliardi di €. ⁹

A dicembre 2012 arriva l'annuncio della firma di un accordo per l'acquisizione da parte di General Electric della divisione aeronautica di Avio Spa. L'acquisto viene concretizzato il 1° agosto 2013 per un costo pari a 3,3 miliardi di euro e determina la scissione tra la divisione spazio di Avio, che continua ad essere proprietà di Cinven e Leonardo, e la divisione aerea dell'azienda che prende il nome di Avio Aero e diventa così un business di GE Aviation.¹⁰

Nel corso di oltre un secolo di storia, Avio Aero ha sviluppato un ruolo di primo piano, partecipando ai maggiori programmi aeronautici internazionali, in collaborazione con i principali motoristi mondiali tra cui Pratt & Whitney, Rolls-Royce e Safran, che allo stesso tempo ne costituiscono anche alcuni tra i maggiori clienti.

Avio Aero è presente con i propri prodotti sui principali velivoli: dai business jet al trasporto regionale sino ai motori per velivoli a medio e lungo raggio dei principali costruttori mondiali. L'azienda opera nella progettazione, nello sviluppo e realizzazione di trasmissioni meccaniche e di potenza, turbine di bassa pressione e combustori che, grazie alla comprovata affidabilità, sono installati sui motori dei principali velivoli che operano in tutto il mondo.

⁹ (35)

¹⁰ (36)

Gli Stabilimenti

La Avio Aero S.r.l. è una società appartenente al gruppo GE Aviation, divisione del settore aviazione della multinazionale General Electric. L'azienda italiana detiene diversi stabilimenti, 8 per la precisione, di cui 7 in Italia ed uno in Polonia. Questi sono ubicati in posizioni strategiche al fine di poter garantire un livello di produzione il più fluido possibile.

STABILIMENTO DI BORGARETTO DI BEINASCO

Trasmissioni meccaniche e Sand Casting



Figura 1- Lo Stabilimento di Borgaretto di Beinasco

Lo stabilimento di Borgaretto conta due centri di produzione separati, il primo è dedicato al processo di fusione, in cui partendo dalla Sabbia fino alla colata in lega di alluminio e magnesio si realizzano componenti specifici. ed è qui che la produzione dei componenti della Avio Aero S.r.l ha inizio

Qui si producono gli Housing per serbatoi e pompe olio e trasmissioni meccaniche per i maggiori programmi dell'aviazione militare. Nell'area di colata di magnesio si realizzano componenti per applicazioni specifiche, come la scatola del motore EJ200 che equipaggia il Typhoon, le quali richiedono resistenze a sollecitazioni estreme, pur garantendo un peso notevolmente ridotto.

Il secondo stabilimento invece, risulta dedicato per la seconda fase della produzione dei componenti, qui infatti vengono svolte le attività di finitura dei particolari, quali trattamenti termici, saldature e collaudi.

Attualmente questo stabilimento si estende su un'area di 30.000 mq e impiega circa 250 dipendenti nella produzione dei main Housing delle trasmissioni di potenza per motori aerei quali TP400, PW1100 e GE9x

STABILIMENTO RIVALTA DI TORINO

Trasmissioni Meccaniche e Direzione Generale



Figura 2- Lo Stabilimento di Rivalta di Torino

Sede centrale di Avio Aero, e polo innovativo della società con circa 2.100 dipendenti ed una superficie di 123.000 mq, in questo stabilimento vengono prodotti componenti per motori aerei quali ad esempio TP400, PW1100, PW1500, LM6000, CH53, AS365, V2500, GENx, LM2500, EJ200, T700, TRENT900, SaM146 e GE9X. Lavorazioni sugli ingranaggi, come processi speciali, Lab, e Press Quenching, lavorazioni sui componenti rotanti quali discs machining tech (broaching), plasma coating; automated deburring, brazing e lavorazioni meccaniche ed assemblaggio degli Ingranaggi di potenza

Oltre le varie attività sopra citate, lo stabilimento di Rivalta di Torino ospita la sede della Direzione Generale del gruppo e svolge attività di Ricerca e Sviluppo al fine di produrre pezzi sempre più all'avanguardia.

In particolare, nello stabilimento di Rivalta di Torino vengono progettati e prodotti trasmissioni di potenza, Comando Accessori, Moduli di turbina a bassa pressione, componenti rotanti per motori aerei, sistemi di Automazione e Simulazione Elettronica. All'interno dello stabilimento vengono consegnate le scatole delle trasmissioni provenienti dalla fonderia dello stabilimento di Borgaretto, sopra citato, ed iniziano le varie lavorazioni sugli stessi, la produzione degli ingranaggi e i test strutturali e qualitativi, necessari per poter garantire la consegna di un prodotto di elevata qualità equipaggiati sui principali velivoli del mondo.

Inoltre, è sempre da questo stabilimento che partono tutte le iniziative che vedono partecipare la Avio Aero nei principali programmi di ricerca e sviluppo a livello europeo quali Horizon 2020 e Clean Sky.

LO STABILIMENTO DI BIELSKO-BIALA, POLONIA

Lo stabilimento Avio Aero di Bielsko Biala, in Polonia, si sviluppa su un'area di 24.000 mq e dispone di 550 dipendenti circa. Il sito è specializzato nel design e nello sviluppo di componenti e moduli per motori aeronautici. In particolare, qui si producono pale statoriche e rotoriche per turbine di bassa pressione destinate ai motori civili e militari tra cui il GE90, il GENx 1 e 2b, il CFM56, il T700, il PW308 e il LEAP. Proprio di quest'ultimo, qui si producono i nozzles della turbina di bassa pressione e le pale turbina statoriche per gli stadi 3, 4 e 5 su tutte e tre le versioni del motore (LEAP-1A, -1B e -1C).

LO STABILIMENTO DI TORINO, SANGONE

Lo stabilimento del Sangone è uno dei siti sperimentali di Avio Aero e, da oltre 60 anni, qui si effettuano prove di sviluppo e certificazione di motori, moduli e componenti dei maggiori programmi dell'aviazione civile e militare. Il sito è attualmente focalizzato sulle prove sperimentali di gearbox di potenza, accessory gearboxes, accessory drive trains e moduli accessori come pompe olio. Per questi moduli vengono effettuati severi test dimensionali e strutturali come vibration survey, endurance, attitude, torsional dynamics e start mode, anche tramite l'utilizzo di telemetria al fine di poter evidenziare al meglio il comportamento dei componenti durante le sollecitazioni. Nel sito vengono anche eseguite prove fluidodinamiche e aeroacustiche su diversi banchi compreso un turbine cold flow test cell, prove meccaniche su componenti in un laboratorio, prove motore su turboshaft, design e applicazione di strumentazione in un laboratorio dedicato.

Visto il suo ambito di lavoro sperimentale, lo stabilimento di Sangone dispone di un'area di 15.000mq in cui lavorano circa 50 dipendenti, i quali devono possedere una notevole esperienza e preparazione per poter gestire un settore di tale delicatezza, dove vengono gestite le attività

di Test per ADT, ETS, TP400 PGB, PW814 AGB e pompa olio. In questo stabilimento vengono eseguite le attività di Test motore e vari componenti nei laboratori di meccanica e fluidodinamica, Turbine Cold flow Test

LO STABILIMENTO DI CAMERI, NOVARA



Figura 3-Lo Stabilimento di Cameri, Novara

Lo stabilimento Avio Aero di Cameri venne inaugurato alla fine del 2013, in questo stabilimento è possibile disporre fino a 40 macchine atte alla realizzazione di componenti di motori aeronautici tramite l'utilizzo della tecnologia "Additive Manufacturing", meglio nota come "Stampa 3D", la quale consente di realizzare, partendo da un modello digitale, oggetti di qualunque forma attraverso l'aggregazione di polveri di speciali leghe metalliche. Lo stabilimento dispone inoltre di un Atomizzatore, il quale consente la produzione di speciali leghe metalliche come l'Alluminiuro di Titanio (TiAl).

All'interno dello stabilimento di Avio Aero di Cameri, vengono utilizzate 2 tipi di tecnologie per la creazione dei componenti sviluppati con speciali leghe metalliche:

- EBM¹¹ questo impiega un fascio di elettroni nel processo di fusione delle polveri. Per tali produzioni, si utilizzano polveri metalliche di leghe di TiAl e materiali intermetallici composti prevalentemente da Titanio e Alluminio. L'utilizzo dell'Alluminiuro di Titanio consente una riduzione della componente peso pari al 50% rispetto ad altre leghe metalliche.

¹¹ Electron Beam Melting

- DMLM¹², la quale consiste nell'utilizzo di un raggio laser al fine di raggiungere la fusione delle polveri metalliche.

Considerato il ridotto numero di macchinari necessari per la produzione, lo stabilimento occupa una superficie di “soli” 2.400mq e dispone di 20 dipendenti, i quali si occupano di lavorazioni con tecnologia “additive Manufacturing” e lavorazioni con polveri TiAl con le tecnologie EBM per TiAl Blades allo stadio 5 e 6 e air oil separator. Inoltre, viene utilizzata sempre nello stesso campo la tecnologia DMLM per processi di ricerca e sviluppo in collaborazione con i reparti di Ingegneria. All'interno dello stabilimento, come sopra citato viene inoltre utilizzato il Gas Atomizzatore per la produzione di polveri TiAl

LO STABILIMENTO DI POMIGLIANO D'ARCO, NAPOLI

CRO, Turbomacchine



Figura 4- Lo stabilimento di Pomigliano d'Arco, Napoli

Lo stabilimento Avio Aero di Pomigliano d'Arco conta ben 3 centri di prodotto e la sala prova motori più grande d'Europa, con un totale di 84.000mq di superficie utilizzata e circa 1.100 dipendenti.

Da oltre 30 anni, in questi stabilimenti si producono le pale statoriche e rotoriche della turbina di bassa pressione e le camere di combustione per i maggiori programmi dell'aviazione civile e militare come il GENx, GE9x, EJ200 e il nuovissimo LEAP, per il quale viene prodotto in esclusiva il combustore con innovativa camera a doppia parete. È inoltre la sede dei servizi di CRO (Component Repair and Overhaul), ovvero delle attività di revisione di componenti progettati e prodotti da Avio Aero.

¹² Direct Metal Laser Melting

In questa sede, infine, confluiscono tutti i componenti della turbina di bassa pressione del GE9X per l'assemblaggio.

LO STABILIMENTO DI BRINDISI

Test, Case & Frames, MRO



Figura 5- Lo Stabilimento di Brindisi

Lo stabilimento Avio Aero di Brindisi è storicamente dedicato alle attività di assemblaggio e manutenzione di motori aeronautici, soprattutto a supporto dell'Aeronautica Militare Italiana. Qui si assembla e si fa la manutenzione del motore EJ200 dell'Eurofighter, ma anche di altri motori come lo SPEV, montato sui velivoli AMX della Forza Aerea Brasiliana. È anche la sede delle attività di progettazione e realizzazione di componenti per turbine aero derivate, ovvero che derivano dai motori aerei ma vengono utilizzate per applicazioni industriali e marine: parliamo delle turbine della famiglia LM2500, installate a bordo di unità navali come le fregate FREMM o le navi Cavour e Orizzonte della Marina Militare Italiana.

Nel sito, inoltre, Avio Aero produce componenti della turbina di bassa pressione per entrambe le versioni del motore civile GEnx. dal 2018; infine, all'interno dello stabilimento è stata realizzata una nuova area dedicata alla produzione additiva. Attualmente si estende su un'area di 54.000 mq e impiega circa 700 dipendenti.

STABILIMENTI AUSILIARI

Oltre gli stabilimenti sopra citati, la Avio Aero dispone di due stabilimenti ausiliari, uno Roma per la gestione delle relazioni Istituzionali ed una energy Factory a Bari.

Quest'ultimo è Laboratorio Multidisciplinare realizzato da Avio Aero ed il Politecnico di Bari, denominato "Energy Factory Bari" (EFB), sviluppato per l'attuazione di attività di ricerca, sviluppo tecnologico e innovazione in ambiti di comune interesse, nei settori dell'aerospazio e dell'energia.

Il laboratorio ha sede operativa e di rappresentanza all'interno del campus universitario, mentre l'attività di ricerca sperimentale si avvarrà di alcuni laboratori del Politecnico già esistenti presso il Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica e il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Gestionale, i cui ricercatori sono direttamente coinvolti nelle attività previste dall'accordo.



Figura 6- "Energy Factory Bari" Logo

Il laboratorio ha lo scopo di coordinare le attività di ricerca comuni, individuare temi di interesse per la crescita del Distretto Tecnologico dell'Aeronautica pugliese, monitorare il panorama scientifico internazionale per l'individuazione di spunti di innovazione, creare un settore di competenze e risorse umane integrate anche al fine di razionalizzare le risorse comuni nel rispetto delle linee di ricerca di interesse delle Parti.

Le aree di ricerca coinvolte nell'accordo riguardano le Macchine elettriche ad elevata velocità, i Convertitori di potenza ad elevata frequenza, i Sistemi di controllo, la Termofluidodinamica delle macchine e dei sistemi per l'energia, la Progettazione meccanica e costruzione di macchine.

Capitolo II: La Manutenzione

Introduzione

Qualunque sia il settore professionale nel quale una azienda opera, dipende in modo diretto da macchine e dispositivi al fine di poter assolvere alle attività. Per poter fare affidamento su questi macchinari, in modo che questi garantiscano la continuità della produzione con la certezza che non si verifichino interruzioni e/o rallentamenti della stessa, risulta indispensabile una corretta organizzazione delle attività manutentive della singola macchina e dell'intero stabilimento.

Il Termine Manutenzione viene descritto come, “la scienza che finalizza le attività umane ad un impiego Economico e Sostenibile delle Risorse, nella Progettazione e nella gestione dei sistemi antropizzati e nella conservazione dei sistemi naturali”. Inoltre, la sua definizione, secondo la norma UNI 10147 del 1993 con riferimento al punto 3.1 descrive brevemente la manutenzione come, “la combinazione di tutte le tecniche amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare una entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta” (1).

Tenendo in considerazione le descrizioni sopra citate, risulta molto semplice notare le analogie di tali azioni con quelle eseguite da tutti noi al fine di poterci assicurare un corretto funzionamento del nostro organismo. Infatti, si potrebbe prendere in considerazione la somiglianza di questi due fenomeni e analizzare le analogie tra i diversi elementi costruttivi delle macchine e quelli del corpo umano, al fine di verificare quali elementi esistenti all'interno dei macchinari possono essere realmente paragonati ai rispettivi elementi del corpo umano e una volta identificati, provare a identificare la correlazione tra i possibili sintomi che si verificano su tali componenti, ritenuti analoghi.

Corpo Umano	Componente Macchina
Cuore	Motore
Ossa	Struttura e Assi
Cervello	Funzioni di Controllo
Muscoli e tendini	Connessioni
Reni	Filtri
Sangue	Carburante, Lubrificante
Pressione Sanguigna	Pressione Macchinario
Occhi	Strumenti
Braccia	Movimentazioni, Leve, Connessioni
Altri Organi	Altri componenti Importanti.

Tabella 1- Analogie tra il corpo Umano e i componenti della Macchina

Sintomi Corpo Umano	Sintomi Machina
Intossicazioni	Impurità
Emorragia	Perdite Olio
Aritmia	Vibrazioni, errato Bilanciamento
Frattura	Rottura Albero
Cecità	Strumentazione Danneggiata
Debolezza	Deterioramento Generale
Ulcere Gastriche	Corrosione

Tabella 2 - Analogie tra i sintomi del corpo umano e quelli della Macchina

Come si evince quindi dal prologo precedente, Lo scopo della manutenzione risulta essere quello di ripristinare la macchina alle condizioni di lavoro ottimali per studiarne i dati relativi al malfunzionamento che hanno portato al guasto, al fine di poter prevenire un secondo guasto della macchina in breve tempo per le medesime cause. Nel corso degli anni, gli studi riguardanti la manutenzione, hanno evidenziato che il principale problema di un impianto, risulta essere il corretto utilizzo dei macchinari e degli strumenti affiancati da una manutenzione corretta ed organizzata.

Prima di essere considerata, nella forma predittiva, il Sacro Graal dell'industria 4.0, la manutenzione non godeva di largo credito tra le imprese. Era reputata un mero centro di costo, più che un investimento. Un grave errore: non c'è dubbio che possa contribuire alla produttività degli impianti e alla competitività dell'azienda. Lo si capisce ragionando a contrario. In tema di **efficienza**, i guasti, e quindi le fermate non programmate, hanno un impatto estremamente negativo, perché non permettono l'organizzazione della produzione delle fasi successive a quella coinvolta, né la pianificazione del lavoro; l'urgenza dell'acquisto dei pezzi sostitutivi comporta inoltre il loro reperimento a prezzi non concorrenziali. Le fermate programmate, invece, avvengono sempre tra un ciclo e l'altro, secondo piani precisi e con i ricambi pronti. (2)

Tutte le strumentazioni, macchinari inclusi, sono progettati per essere affidabili al fine di evitare rotture e fermi delle macchine. Tuttavia, sebbene la macchina sia composta da un discreto numero di componenti, quando anche solo 1 componente si rompe o si guasta, questa viene definita come guasta¹³. Fortunatamente nel mondo della manutenzione qualsiasi componente può essere riparato, il problema principale nell'applicazione delle varie strategie di manutenzione, risulta essere come farlo in modo economico.

Tenendo in considerazione che per manutenzione, ci si riferisce alla combinazione di tutte le azioni, siano queste tecniche, gestionali o amministrative, atte al mantenimento o al miglioramento al fine di riportare il macchinario in condizioni ottimali al fine di poter eseguire la funzione richiesta, è possibile suddividere le tipologie di Manutenzione in due principali categorie in base alla funzione richiesta. Queste riguardano infatti, il contenuto dei lavori che la macchina dovrà svolgere e la finalità degli stessi.

Per garantire quindi che il componente lavori al meglio e che la corretta strategia manutentiva sia applicata, è necessario classificare le suddette strategie in due macrocategorie a seconda dello scopo per cui queste vengono utilizzate:

- *La Manutenzione Ordinaria*, si occupa di tutte quelle attività di manutenzione che possono essere programmate in un determinato periodo di tempo. Questa comprende diversi sottogruppi, categorizzati in base alle diverse strategie, per ottenere il miglior risultato. In particolare, include le strategie atte alla manutenzione Correttiva e Manutenzione Preventiva minore. Si tratta quindi di operazioni di manutenzione limitata a piccoli interventi di routine e prevenzione del guasto applicabili durante il ciclo vita del macchinario come:

¹³ Caso in cui il componente sia considerato come "critico".

- il mantenimento delle condizioni di base e dell'integrità originale del macchinario;
- il contenimento del normale degrado dovuto all'usura;
- la prevenzione di eventi accidentali e le eventuali strategie per far fronte agli stessi

(3)

- *La Manutenzione Straordinaria* invece, comprende tutte le restanti strategie di manutenzione che non possono essere pianificate, come la manutenzione Migliorativa e Manutenzione Preventiva di rilievo, atte ad incrementare il valore dei sistemi e prolungarne la longevità.

Vedremo in seguito nel dettaglio le principali differenze riguardanti le strategie sopracitate e i loro metodi e campi di applicazione.

La Manutenzione Straordinaria

La Manutenzione Straordinaria viene definita come l'insieme delle strategie Manutentive, al fine di migliorare o incrementare il valore delle macchine e/o dei sistemi a cui tali strategie vengono applicate. Questa non ha infatti lo scopo di mantenere nel tempo il livello di disponibilità (compito invece che è assegnato alle azioni manutentive che fanno capo alla Manutenzione ordinaria) ma, come dice la parola stessa, ha proprio un carattere di straordinarietà, ossia interviene nelle grandi manutenzioni ai sistemi, specie quelli che debbono funzionare a ciclo continuo, affinché fra un periodo e l'altro di intervento ci siano problemi minimi di deriva e di avaria, in genere coperti con ridondanze o riconfigurazioni del sistema al fine di prolungarne la longevità. (4)

La maggiore longevità dei sistemi, sia fisica, sia tecnologica, permette infatti di ripartire su un maggior numero di annualità i costi di acquisto, ai quali nel tempo si aggiungono anche i costi della Manutenzione straordinaria che va ad incrementare il valore patrimoniale da sottoporre alla procedura di ammortamento.

Questo approccio manutentivo viene applicato all'interno del mondo lavorativo tramite tre principali strategie di manutenzione: (5)

1. La Manutenzione Migliorativa

Indicata anche come Manutenzione Proattiva, dalla sua traduzione dall'inglese, la manutenzione migliorativa viene definita come una politica di manutenzione atto al continuo miglioramento della macchina o del sistema in esame. Questa prevede un regolare intervento di revisione finalizzato all'applicazione di migliorie varie al fine di incrementare il valore e/o la prestazione del sistema. Motivo per cui, questa strategia di manutenzione viene definita come la più squisita

Tenendo ciò a mente, è facile notare la totale contrapposizione con la manutenzione Correttiva (descritta in seguito), la quale ha lo scopo di riportare la macchina ai livelli di produzione originali, ma senza incrementarne il valore e/o le prestazioni.

Come si evince facilmente dal nome, la manutenzione proattiva non nasce da un guasto o un fermo macchina, ma da una necessità rilevata dal manutentore e dall'operatore di migliorare le funzioni della macchina al fine di poter gestire i livelli di servizio offerti dai nuovi macchinari in commercio. Una volta iniziato il processo migliorativo, questo rimarrà attivo in perpetuo con una strategia di miglioramento continuo della macchina.

Questa strategia trova il suo principale punto di applicazione all'interno di quegli stabilimenti, i quali si occupano della produzione di componenti a livello prototipale; per questo, almeno a livello industriale, o in quei settori dove si riscontrano sistemi dalle caratteristiche analoghe (complessità unita a bassissima serializzazione), la Manutenzione migliorativa è così importante al punto che è uno degli elementi centrali della Total Productive Maintenance. (6) (5)

2. La Manutenzione Preventiva di rilievo

Questo tipo di manutenzione, la quale verrà descritta nel dettaglio nel campo delle manutenzioni ordinarie, si occupa di una strategia manutentiva atta alla sostituzione, revisione o riparazione dei singoli componenti prima che questi arrivino ad un punto di cedimento e si arrivi ad una condizione di guasto.

La principale differenza tra la Manutenzione Preventiva di rilievo e quella minore, risulta essere la stessa che dà origine alla differenziazione della manutenzione ordinaria da quella straordinaria, ovvero; La manutenzione preventiva di rilievo si occupa della sostituzione, revisione o riparazione dei componenti che potrebbero generare dei fermi. Tuttavia, tali operazioni vanno ad apportare delle modifiche alla macchina o al sistema in cui tali componenti si trovano, incrementandone il valore o la produttività degli stessi e ne prolungano la longevità. Per quanto riguarda la Manutenzione preventiva minore, si può brevemente descrivere come l'insieme delle azioni atte al mantenimento delle condizioni iniziali della macchina. Tale strategia verrà ampiamente descritta in seguito all'interno delle strategie di Manutenzione Ordinaria.

(5)

3. La Manutenzione Incidentale

Volgarmente detta “a Rottura”, si tratta di un tipo di manutenzione la quale viene applicata su componenti rotti, danneggiati o in qualunque forma non utilizzabili per il proseguimento delle lavorazioni, generando così un Fermo Machina. Tale fermo, può essere dato dalla rottura di un singolo componente o da più componenti, i quali con l’andare del tempo cedono improvvisamente a causa di diversi fattori che possono essere dovuti al loro normale utilizzo, come l’Usura o altri fattori dovuti ad un utilizzo errato del macchinario, come elevate sollecitazioni o scarso mantenimento delle adeguate condizioni di lavoro.

Nonostante la totale imprevedibilità del momento esatto in cui un componente potrebbe rompersi, questo tipo di manutenzione viene comunque utilizzato come strategia manutentiva all’interno delle aziende, infatti trova applicazione per:

- Componenti i quali non vanno a creare un fermo macchina;
- Casi in cui i costi derivanti dall’eventuale implementazione di una manutenzione preventiva, siano maggiori delle perdite relative al fermo mezzo causato della rottura;
- Casi in cui la rottura di tali componenti non comporta rischi in termini di sicurezza.

Tenendo in considerazione quanto precedentemente citato, possiamo identificare due tipi di Manutenzione “a Rottura”:

- La più classica e naturale risulta essere la Manutenzione “a Rottura” NON Pianificata, la quale viene eseguita quando un componente o una strumentazione in un tempo improvviso tende a cedere e/o non garantire più il suo normale funzionamento di lavoro. Questo tipo di manutenzione viene eseguita in tutte le aziende del mondo, in quanto si basa su un fattore di imprevedibilità del momento in cui il componente andrà a crollare, ma avendo comunque la certezza che nel corso della vita utile del componente, questo evento si andrà a verificare.
- Il Secondo tipo di manutenzione “a Rottura”, viene considerata come pianificata. Questo tipo di manutenzione, viene applicata su tutti quei componenti per i quali il costo relativo alla manutenzione dei suddetti risulti essere troppo elevato rispetto alle perdite causate dalla loro sostituzione quando questi arriveranno a fine vita. Questa strategia viene definita come *Run To Failure (RTF)*¹⁴. (3) (5)

¹⁴ Strategia di Manutenzione in cui il componente viene utilizzato fino al raggiungimento del termine della sua vita utile, al fine di ridurre i costi di manutenzione del macchinario.

La Manutenzione Ordinaria

Definita come una delle due Macrocategorie delle strategie manutentive, la manutenzione ordinaria rappresenta l'insieme delle attività manutentive aventi come scopo il ripristino di un sistema o di un suo componente da uno stato di avaria, allo stato di buon funzionamento precedente all'insorgere del problema. Va però specificato che, al fine di poter essere definita come manutenzione ordinaria, tali operazioni di ripristino delle condizioni iniziali, non devono in alcun modo modificare o migliorare le funzioni svolte dal sistema, tanto meno dovranno incrementarne il valore o migliorarne e prestazioni, precedenti allo stato di avaria.

Questa tipologia di manutenzione ha come scopo quindi il solo mantenimento delle condizioni di lavoro della macchina e il suo monitoraggio al fine di prevenirne il degrado. Questo viene eseguito attraverso l'attuazione di procedure e strategie manutentive selezionate a seconda del tipo di attività che deve essere svolta, tra quelle che vedremo in seguito. L'attuazione di tali strategie avviene tramite:

- l'esecuzione di piani manutentivi di manutenzione ciclica, preventiva, predittiva e secondo condizione, basandosi sulle modalità definite dalle norme *UNI9910*¹⁵ (ormai abrogata), *UNI10147*¹⁶; e la *EN13306*¹⁷.
- La necessità di ottimizzazione della disponibilità del bene e la sua efficienza, tramite l'esecuzione di piccoli interventi di miglioramento o di piccole modifiche che non vanno però ad incrementare il valore patrimoniale del bene.
- La rilevazione di Guasti o Avarie, tramite l'applicazione di strategie manutentive a guasto o manutenzione correttiva come definita nella *UNI9910*.

Va sottolineato che tali interventi dovranno essere sempre congrui con le linee guida definite in precedenza affinché possano essere definite come facenti parte della manutenzione ordinaria.

Tra i vari tipi di manutenzione pianificata, tenendo in considerazione le motivazioni ed i campi di applicazione delle varie strategie, è possibile risalire a due macrocategorie, La manutenzione Preventiva e la Manutenzione Correttiva. (7) (8)

¹⁵ *Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio*; abrogata nel 2016 senza sostituzione.

¹⁶ *Manutenzione*; include Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni (1 ott. 2003)

¹⁷ *Manutenzione, Terminologia*; La norma specifica i termini generici e le loro definizioni per le aree tecniche, amministrative e gestionali della manutenzione.

1. La Manutenzione Preventiva minore

La Manutenzione Preventiva, viene definita come “una politica di manutenzione che si prefigge l'obiettivo di eseguire un intervento manutentivo di "revisione", "sostituzione" o "riparazione", prima che nel componente si manifesti il guasto. L'obbiettivo principale di queste strategie manutentive risulta essere quello di riportare la macchina alle sue condizioni iniziali di lavoro, senza incrementare in alcun modo la sua capacità produttiva. Al fine di poter assolvere al meglio tale compito, la manutenzione preventiva, può essere suddivisa in diverse strategie, in base all'approccio manutentivo che viene utilizzato su un determinato macchinario in un determinato tempo.

la manutenzione predittiva non è la pietra filosofale dell'industria 4.0.¹⁸ Certo, misurare l'aumento del degrado di un componente di una macchina e prevedere il momento del guasto con l'analisi dei dati è un bel passo in avanti: grazie a modelli matematici, possiamo agire prima che la produzione si inceppi.

Ma, attualmente, non esistono soluzioni preconfezionate valide per tutti i casi. Occorre individuare gli asset critici, i sensori giusti, gli algoritmi esatti. Di questi ultimi, in circolazione ce ne sono migliaia: se si sceglie quello sbagliato, il sistema non funziona. Servono soldi e specifiche competenze interne, anche per l'interpretazione dei risultati.

¹⁸ La quarta rivoluzione industriale; https://it.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0#:~:text=Il%20termine%20Industria%204.0%20indica,la%20qualit%C3%A0%20produttiva%20degli%20impianti.

1) La Manutenzione Periodica (Time Based Maintenance)

Definita come Time Based Maintenance, ovvero manutenzione periodica, questo tipo di manutenzione viene eseguita in modo ciclico e periodico sulla macchina, con una frequenza basata sull'utilizzo della stessa, al fine di poter evitare possibili fermi mezzi o rotture dei componenti della stessa.

Sebbene questa strategia manutentiva risulti essere difficile da applicare, in quanto, a causa del normale deterioramento delle condizioni di base risulta essere molto complicato prevedere la rottura dei componenti, e la relativa frequenza con la quale questi devono essere sostituiti, tale strategia risulta essere un ottimo alleato e punto di partenza per l'applicazione di una seconda strategia manutentiva che verrà illustrata in seguito, La Manutenzione Predittiva (Condition Based Maintenance).

Riprendendo il discorso sulla Manutenzione Periodica (TBM), possiamo verificare come questa strategia viene utilizzata principalmente per le attrezzature soggette ai controlli periodici di sicurezza (sistemi antincendio, valvole di sicurezza, carri ponte ecc.), da parte di specifici enti atti alla verifica della sicurezza sul lavoro. Inoltre, prevede applicazioni anche per attività manutentive atte alla sostituzione periodica di componenti ausiliari alla macchina come filtri, spazzole, cinghie dentate e altri componenti soggetti ad usura.

In conclusione, possiamo affermare che, sebbene con l'utilizzo di tale strategia non si vada ad utilizzare a pieno la vita utile del componente, in quanto viene sostituito prima del termine della stessa, basandosi sul grado di usura generale e che quindi potrebbe verificarsi un'esecuzione della stessa attività manutentiva nonostante questa non risulti essere necessaria, Questa attività produce diversi vantaggi.

In particolare si può facilmente verificare una riduzione dei fermi macchina dovuti alla rottura dei componenti; Risulta inoltre possibile pianificare le attività manutentive in modo da poter eseguire le operazioni in modo economico, ad esempio durante la pausa pranzo al fine di impattare al minimo la produzione e utilizzare al massimo le risorse disponibili, rispettando il vincolo per cui questo tipo di manutenzione viene eseguita solo ed esclusivamente se il suo costo di esecuzione risulta essere inferiore al costo totale che il fermo della macchina potrebbe produrre se la manutenzione periodica non venisse eseguita.

II) La Manutenzione Ciclica (*Hit Based Maintenance*)

Per una corretta descrizione ed una più semplice comprensione di questa strategia manutentiva, possiamo affiancarci alla strategia della manutenzione periodica, precedentemente Illustrata. Queste, infatti, posseggono una modalità di applicazione molto simile, ma non uguale. La manutenzione periodica vista in precedenza, utilizza un andamento temporale definito per la pianificazione delle sue attività manutentive, ovvero si basa su un lasso di tempo predeterminato in fase di pianificazione delle attività manutentive. La manutenzione Ciclica invece, si basa sull'effettivo utilizzo dei componenti e la loro usura.

L'utilizzo di tale strategia risulta utile per quel tipo di produzioni in cui sono presenti stagionalità di produzione e relative chiusure o livelli di produzione minori. Infatti, se prendessimo in considerazione un'azienda con tali particolarità di produzione, alla quale vengono applicate le due strategie TBM e HBM su due macchina perfettamente identiche, noteremo che ad un tempo **T** definito di 300h, la percentuale di usura del componente risulterà essere molto bassa, creando così un inutile utilizzo di risorse per l'esecuzione della strategia TBM su componenti perfettamente funzionanti. Se invece dovessimo tenere in considerazione la Strategia HBM, i componenti verranno sostituiti sempre al termine della loro vita utile, ovvero quando verrà raggiunta una percentuale di usura limite prefissata dall'azienda in base al componente in considerazione.

Il livello di usura da tenere in considerazione non è sempre lo stesso. Infatti, a seconda della funzione del macchinario, è possibile tenere in considerazione diversi elementi per definire il grado di usura del componente. Alcuni esempi possono essere il numero di "colpi" di una pressa idraulica, oppure il numero di movimenti di un braccio robotico o di un piatto trasportatore. In base alla loro funzione e alla loro frequenza di ripetizione, deve essere definita una corretta e ponderata strategia manutentiva atta al raggiungimento del massimo utilizzo del componente garantendo un livello di qualità costante nel tempo.

Tuttavia, va specificato che la strategia di manutenzione ciclica HBM, non può essere sempre applicata. La sostituzione dell'olio Motore delle nostre automobili risulta essere un facile esempio. Infatti, dal nostro libretto di uso e manutenzione, nella sezione dedicata possiamo leggere che il nostro olio motore *deve essere sostituito ogni anno o ogni 10.000 km*, al fine di poter garantire una corretta lubrificazione del nostro motore. Questo semplice esempio, quindi, sta ad indicare che la scelta del corretto metodo manutentivo non è unica ma dipende dall'utilizzo che viene fatto della macchina.

III) La Manutenzione Autonoma

Pilastro fondamentale della Total Productive Maintenance (TPM) e del World Class Manufacturing (WCM), la manutenzione autonoma, definita anche come Auto manutenzione, rappresenta un approccio completamente diverso alle attività manutentive utilizzate nelle altre strategie. In questo caso, infatti, la manutenzione non viene eseguita dagli operai specializzati, ma dall'operatore stesso. Quest'ultimo utilizzando i suoi cinque sensi e basandosi su frequenze di esecuzione periodiche definite in precedenza, dovrà eseguire una serie di controlli sulla macchina su cui lavora, al fine di verificarne il corretto stato degli impianti che alimentano la macchina ed il corretto funzionamento della stessa.

Si può facilmente evidenziare quindi, che, questa strategia nasce dall'idea di una possibile instaurazione di un senso di proprietà della macchina da parte dell'operatore, in modo da incrementare l'interesse da parte di quest'ultimo nel monitoraggio delle principali fonti di guasto e indicatori della macchina al fine di poter garantire un servizio continuativo. Al fine di poter fornire un'idea più chiara e definita di questa strategia, si pensi ad essa come alle normali verifiche eseguite da noi stessi sulle nostre automobili, (controllo livello liquido refrigerante, usura delle gomme, usura dei freni, ecc.). Come in questo caso, anche nella manutenzione autonoma, l'operatore verificherà il corretto funzionamento della macchina tramite la verifica dei vari indicatori presenti sulla stessa e tramite l'utilizzo dei cinque sensi che lo aiuteranno a verificare la presenza di eventuali funzionamenti errati della macchina.

Va inoltre specificato che l'utilizzo di questa strategia garantisce un incremento della longevità della macchina e dei suoi componenti, riducendo sostanzialmente il costo della manutenzione. Tale risparmio è possibile grazie al fatto che non risulta necessario utilizzare una squadra di operai specializzati, ma semplicemente l'operatore macchina, il quale si trova già sulla macchina per eseguire il suo lavoro.

L'argomento verrà trattato in maniera più profonda e dettagliata nei capitoli successivi relativi alla Total Productive Maintenance e alla sua applicazione. (9)

IV) Ispezione e Riparazione

Come la Manutenzione Autonoma, anche questa strategia di Ispezione e Riparazione risulta essere uno dei principali componendi della Total Productive Maintenance, la quale verrà ampiamente descritta in seguito.

Questa strategia si occupa di eseguire periodicamente delle ispezioni sui componenti delle macchine e successivamente definire quali di questi componenti esaminati risultano essere usurati o ancora utilizzabili per la produzione. Si evince facilmente quindi che tale strategia manutentiva risulta essere un mix tra la manutenzione periodica (TBM) e la Manutenzione Correttiva (CM). Tale affermazione deriva dal fatto che, come la TBM, anche questa strategia esegue manutenzioni periodiche ad un tempo definito **T** e che come la Manutenzione correttiva CM, dopo l'ispezione risulta essere necessaria una verifica e decisione se il pezzo è affidabile o no e se non lo è, risulta necessaria l'azione di manutenzione del pezzo/componente.

Un esempio potrebbe essere il controllo della temperatura su due componenti in strisciamento. Supponendo una corretta temperatura di lavoro di 45°C, ed un intervallo di tempo $T=8h$ tra le varie misurazioni¹⁹, se il componente riferisce una temperatura pari o inferiore a quella stabilita, il pezzo viene catalogato come funzionante, in caso contrario verrà eseguita un'azione manutentiva al fine di evitare un deterioramento della macchina e una perdita della qualità dovuta al surriscaldamento dei componenti.

¹⁹ I dati indicati sono da considerare utili a solo scopo dimostrativo ed esplicativo della strategia manutentiva. Non si basano su esperimenti o fatti realmente accaduti.

V) Condition Based Maintenance

Tale strategia di manutenzione, segue una logica tale per cui ogni componente prima di arrivare al suo punto di rottura, evidenzia dei sintomi, i quali possono essere utilizzati come campanello d'allarme in modo da evitare la rottura dello stesso e poter agire sulla macchina/componente per tempo evitando così il fermo macchina. L'approccio più efficiente che è possibile applicare per questa strategia risulta essere quello di basarsi sui reali sintomi della macchina e non su dati statistici. Questo, infatti permette di ottenere una maggiore focalizzazione e migliore gestione temporale delle attività, incrementando così la disponibilità tecnica della macchina.

Per poter essere analizzati e catalogati, i sintomi sviluppati dalla macchina devono essere in primo luogo misurati, questo consentirà inoltre di poter definire il grado di degradazione dei componenti; ad esempio, i rumori emessi dallo strisciamento di due componenti, vibrazioni dovute al cedimento dei cuscinetti e così via. Tali segnali, identificati come sintomi, possono essere classificati in 6 principali categorie al fine di facilitare l'identificazione dei componenti usurati e la procedura di ripristino delle condizioni ottimali di lavoro.

- Vibrazioni e presenza di Rumori
- Elevato consumo energetico
- Prodotto affetto da problemi (non relativo alla qualità)
- Contaminazioni dei lubrificanti e/o dei liquidi refrigeranti
- Emissione di temperatura
- Perdite di lubrificante e/o liquido refrigerante

Tali sintomi vengono analizzati giornalmente dagli operatori macchina, i quali, disponendo di un'elevata conoscenza della stessa, possono facilmente identificare un errato funzionamento grazie alla determinazione di vibrazioni, errate temperature, rumori e così via. Occorre tuttavia specificare che la determinazione della causa radice che va a definire e determinare il problema relativo all'errato funzionamento della macchina, necessita di analisi più approfondite, le quali verranno eseguite da una squadra di Manutenzione adeguatamente addestrata per poter determinare tali non conformità.

Sebbene questa tipologia di manutenzione sia molto utile, occorre ricordare il principale problema dell'esecuzione di una buona manutenzione, ovvero lo svolgimento della stessa in modo Economico. Tale condizione viene raggiunta con il soddisfacimento delle seguenti

equazioni, $C_i < C_p$ $C_p < C_f$. Tenendo in considerazione tale condizione, la Manutenzione su condizione (CBM), viene eseguita solo ed esclusivamente se il costo della singola ispezione (**Ci**), atta alla determinazione del guasto, risulta essere inferiore al costo totale dell'intervento preventivo (**Cp**) e se quest'ultimo risulta essere inferiore del costo totale del fermo macchina (**Cf**).

In conclusione, possiamo affermare che, sebbene per l'applicazione di tale strategia sia necessaria una profonda conoscenza della macchina, al fine di poter determinare quali siano i parametri limite da tenere in considerazione, in un periodo di tempo sufficiente a determinare un andamento del macchinario e le varie procedure da applicare per una corretta esecuzione della stessa, tale strategia manutentiva presenta diversi vantaggi. Visto il suo metodo di applicazione, se si considera che la maggior parte delle ispezioni vengono eseguite tramite l'utilizzo dei cinque sensi, essa può produrre notevoli risultati con un utilizzo minimo di risorse economiche. Inoltre, tale strategia può essere preventivamente programmata, garantendo così un ottimo coordinamento tra i reparti, una maggiore efficienza nell'esecuzione e la sicurezza di un adeguata disponibilità sui pezzi di ricambio necessari in caso di anomalie. Tutti questi punti di forza riguardano solo l'aspetto esecutivo della strategia, ma i migliori risultano essere quelli relativi alla sua produttività. Infatti, grazie ad essa è possibile constatare l'avanzamento del degrado della macchina e prevenire il fermo della stessa, massimizzando così la sua Disponibilità Tecnica e la vita utile dei componenti.

2. La Manutenzione Correttiva

Nonostante venga definita come una strategia manutentiva, questa potrebbe essere meglio associata ad una modalità di esecuzione da eseguire durante il processo manutentivo al fine di migliorare le macchine.

Lo scopo della manutenzione correttiva risulta essere quello di garantire un incremento della manutenibilità e affidabilità della macchina. Questa, non viene utilizzata in ogni situazione, ma solo ed esclusivamente per casi di rilievo come una debolezza di progetto del macchinario, problemi rilevanti o molto ricorrenti. Considerando il grado di importanza delle operazioni che dovranno essere eseguite, risulta obbligatoria l'esecuzione di un'analisi Costi/benefici prima dell'applicazione della strategia.

Al fine di poter eseguire al meglio le attività manutentive, vengono utilizzati diversi strumenti ausiliari, per far sì che la produzione si riduca in quantità minime, eseguendo le attività manutentive nei momenti in cui la produzione sarebbe ferma o ridotta (notte, weekend, pause pranzo, ecc.). Risultano inoltre disponibili due strumenti importantissimi, i quali possono essere utilizzati senza dover ricorrere al fermo della macchina. Questi sono l'utilizzo della strategia manutentiva di Ispezione e Riparazione, precedentemente descritta; e l'utilizzo dei cartellini di Manutenzione Autonoma (AM Tag). Lo scopo di quest'ultimo, risulta essere quello di notificare agli operatori eventuali anomalie nella macchina, verificate tramite un errato posizionamento degli indicatori o tramite l'utilizzo dei cinque sensi.

Utilizzando questa metodologia, è possibile identificare per tempo quali sono le operazioni da eseguire e pianificare l'esecuzione delle operazioni di ripristino delle condizioni ottimali di lavoro, garantendo così un lasso di tempo adeguato a poter garantire la presenza dei componenti di ricambio.

In conclusione, sebbene la sua applicazione non sia semplice, in quanto:

- la definizione della causa radice potrebbe essere errata;
- Potrebbero sopraggiungere complicazioni inattese;
- La miglioria di un componente potrebbe generare un secondo problema su un altro;
- L'applicazione della strategia potrebbe essere lunga e costosa;
- Non è garantito nessun miglioramento;

L'applicazione della Manutenzione Correttiva (CM), potrebbe avere dei riscontri positivi considerevoli, infatti, la sua applicazione può portare alla soluzione di un problema molto serio o ricorrente, semplicemente definendo la corretta causa radice. Inoltre, alcune modifiche risultano essere estremamente economiche e funzionali, garantendo la ripresa della produzione in tempi ridotti e costi minimi.

Differenze ed Applicazione delle Strategie

Tenendo in considerazione quanto fin qui definito, è stato ritenuto che possa giovare alla piena comprensione dell'argomento, la possibilità di un esempio pratico nella vita comune delle varie strategie manutentive. Per far ciò si è deciso di tenere in considerazione alcuni dei componenti delle automobili.

Esecuzione intervento manutentivo	Esempio		Tipologia di manutenzione da utilizzare
A Rottura		Sostituzione Lampadine quando queste si rovinano.	Breakdown Maintenance (a Rottura)
Prima Della Rottura		Sostituzione delle Pastiglie dei freni dopo un predefinito numero di Km percorsi.	Manutenzione periodica o Manutenzione Ciclica
		Sostituzione delle Pastiglie dei freni al raggiungimento di una certa soglia di usura.	Manutenzione Predittiva
Miglioria della macchina e del metodo manutentivo	Sostituzione delle pastiglia dei freni alla notifica da parte del Sistema di controllo e gestione dell'autoveicolo. In particolare la presenza dei sensori di usura delle pastiglia hanno eliminato la necessità di dover eseguire delle verifiche sulle stesse.		Manutenzione Correttiva

Un altro fattore molto importante da analizzare risulta essere la classificazione dei componenti ed il momento in cui la strategia manutentiva viene eseguita. Infatti, come illustrato nel grafico, possiamo notare come, a seconda della classificazione dei vari componenti, a seconda se si tratti di componenti di Primaria importanza per la produzione o di secondaria importanza, viene eseguita una diversa strategia manutentiva. Tale classificazione, verrà definita nel dettaglio nei capitoli successivi.

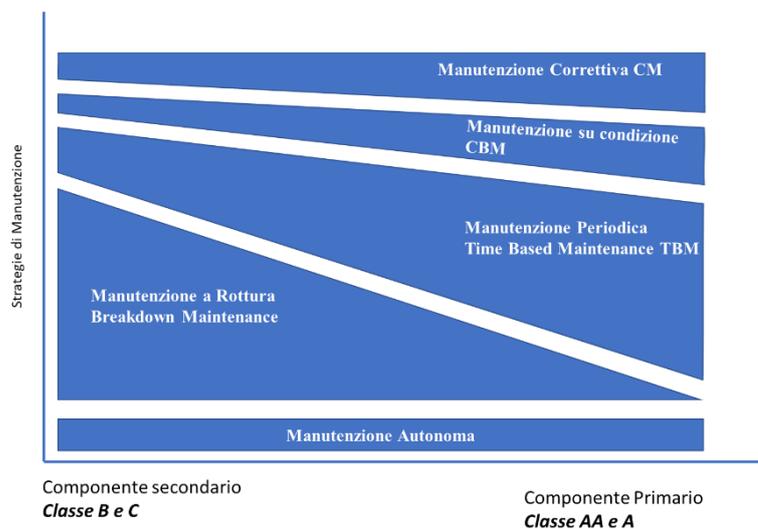


Figura 7- Strategie manutentive in base alla classificazione dei componenti

Va inoltre definito che le tempistiche di esecuzione di tali strategie variano in base alla tipologia delle stesse. In particolare, la manutenzione Periodica, viene eseguita in un tempo t prestabilito, prima che si vada ad intaccare l'affidabilità del componente. La manutenzione su condizione e quella correttiva invece, vengono eseguite dopo il superamento della vita media del componente, ma dopo una verifica delle condizioni del componente stesso. Infine, La manutenzione a rottura viene eseguita quando il componente risulta essere ormai inutilizzabile in quanto rotto e necessita una sostituzione.

Capitolo III: I KPI

Introduzione

Acronimo definito dall'inglese di Key Performance Indicator, in Italiano Indicatore chiave di Prestazione (ICE), costituiscono una fetta di sostanziale importanza delle informazioni necessarie per la definizione del modello di Business che l'azienda intende seguire ed i metodi utilizzati per farlo.

Ma cosa è essenzialmente un Indice chiave di Prestazione o KPI? La sua definizione base potrebbe essere data come “una misura quantificabile che una società utilizza per determinare in quale misura gli obiettivi operativi e strategici prefissati vengono raggiunti”. Tenendo in considerazione tale descrizione però, è facile notare come diverse aziende necessitino di diversi KPI, a seconda delle loro priorità e strategie; tuttavia, risulta essere comune per le aziende di uno stesso settore, condividere gli stessi indicatori di prestazione.

Come accennato in precedenza, i KPI possono essere scelti in modo arbitrario, al fine di poter essere il più utile possibile per determinare i fattori principali dell'andamento aziendale. Tuttavia, qualsiasi sia l'indicatore che verrà scelto, è necessario che questo soddisfi delle condizioni di base affinché venga catalogato come tale. Ogni Indice di prestazione deve possedere:

- *Quantificabilità*, al fine di poter essere utilizzato in forma numerica;
- *Praticità*, per poter essere inserito facilmente nei processi aziendali;
- *Operatività*, al fine di potersi relazionare nel suo contesto pratico e definirne un andamento effettivo;
- *Direzionalità*, al fine di poter definire eventuali migliorie o peggioramenti da parte dell'azienda.
- *Scadenze temporali predefinite*, al fine di poter suddividere il processo in diversi checkpoint
- *Fondamenta su dati legittimi*, al fine di poter fornire un contesto reale che rispecchi gli obiettivi di business

Una volta tenuti in considerazione tali requisiti, l'azienda deve decidere quali KPI risultano essere i più adatti alla rappresentazione e allo sviluppo del proprio modello di business.

Al momento di scegliere i giusti indicatori chiave di prestazione, una società dovrebbe iniziare esaminando i fattori che il management utilizza nella gestione del business, successivamente risulta necessario considerare e stabilire se questi fattori aiutano a valutare il progresso della società in base alle strategie indicate, e se permettono anche a coloro che leggono i rapporti di fare valutazioni simili all'esterno. Infatti, Anche se gli standard del settore sono importanti, le aziende non devono necessariamente scegliere KPI simili a quelli dei loro colleghi di business. È più importante invece scoprire quanto gli indicatori siano rilevanti per l'azienda o la sua unità / divisione.

Va specificato inoltre che non è definito un numero specifico di KPI da utilizzare o di cui un'azienda ha bisogno, tuttavia, il numero di questi è generalmente compreso tra le quattro e le dieci unità. Un numero ridotto, infatti, favorisce un miglior focus e una migliore scrematura gerarchica delle operazioni da eseguire in base al loro grado di rilevanza nella produzione e nello sviluppo del business, con tempi e costi ridotti.

In conclusione, possiamo affermare che l'impiego di KPI si inserisce nel più ampio contesto del controllo di gestione, infatti, questi possono essere usati non solo come uno strumento di controllo delle performance, ma anche come uno strumento di pianificazione che aiuta a programmare le attività future in un'ottica di miglioramento; laddove sussistono scostamenti tra obiettivi attesi e risultati ottenuti, dove il management può intraprendere le azioni necessarie per correggere il gap. (10)

Gli Indicatori di Prestazione nella Manutenzione

La norma UNI EN ISO 15341:2019 – “Indicatori di prestazione della manutenzione (KPI)”, descrive un sistema per la gestione degli indicatori di manutenzione atti a misurarne le prestazioni nel quadro di fattori d'influenza quali gli aspetti economici, tecnici ed organizzativi, per valutare e migliorare la sua efficienza ed efficacia al fine di raggiungere l'eccellenza nella manutenzione dei beni tecnici. (11)

Considerando la notevole differenza a livello gestionale ed organizzativo, la norma definisce le principali linee guida differenziate a seconda della tipologia che si applica, nel caso questa sia di tipo Ordinaria o Straordinaria. Questo garantisce inoltre una differenziazione in ambito tecnico-economico per le due tipologie di manutenzione definendone il confine.

La norma agisce quindi su tutti i settori sottoposti a manutenzione e ad ogni livello, generando così un valore aggiunto che permette di:

- Eseguire Benchmark interni ed esterni;
- Definire e misurare lo stato del bene;
- Eseguire analisi dei punti di forza e di debolezza;
- Misurare ed analizzare le variazioni nel tempo;
- Definire azioni di miglioramento tramite pianificazione;
- Definire quali obiettivi si vogliono raggiungere con le attività manutentive;

In tutta la norma vengono definite sei principali famiglie di KPI, le quali vengono descritte con quattro aree di applicazione ciascuna. Questo fa sì che siano presenti almeno 20 KPI per ogni area, e un totale quindi di 183 KPI relativi alla manutenzione.

Considerando che la descrizione di tutti gli indicatori risulterebbe essere molto lunga, prolissa e non pertinente al percorso descrittivo di questo lavoro di tesi, verranno analizzati solo i principali indicatori utilizzati durante il periodo del tirocinio formativo su cui si basa questo testo.

L'Affidabilità

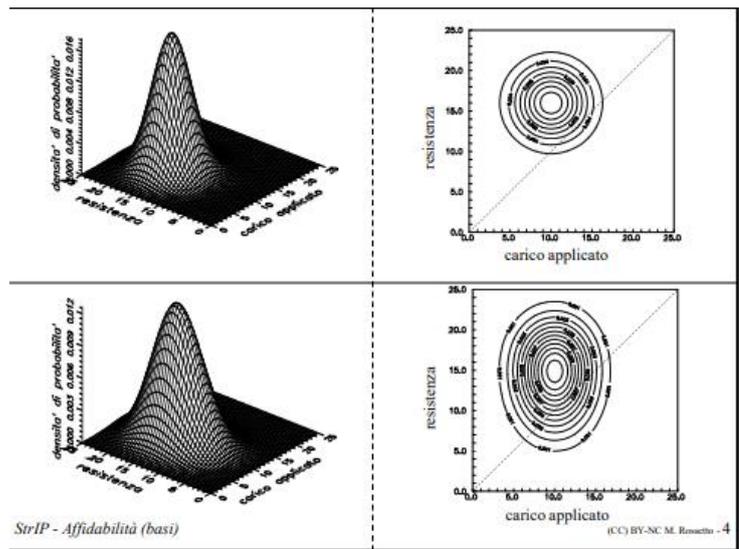
Esistono diverse definizioni relative all'affidabilità, tuttavia, tenendo in considerazione la norma UNI 9910, abrogata nel 2016 e inglobata nella UNI 11063, l'affidabilità viene descritta come: *"L'attitudine di una entità a svolgere la funzione richiesta in condizioni date per un dato intervallo di tempo."* (12)

Esaminando tale definizione, possiamo dire che l'affidabilità risulta essere legata a determinate e specifiche condizioni, *sviluppate in funzione del tempo*, per questo infatti viene espressa come probabilità statistica **R** (0% - 100%) relativa alla durata del componente in analisi.

Al fine di poter fornire una più chiara definizione di cosa sia l'affidabilità, prendiamo ora in considerazione la Probabilità di guasto **Q**, questa infatti risulta essere, per definizione, il complemento a 1 dell'affidabilità. Considerando le variabili **S** sollecitazione variabile a seconda dell'utente, **σ** come resistenza variabile a seconda del pezzo in funzionamento e la variabile ausiliaria $Z = \sigma - s$, è possibile definire per quali condizioni il pezzo si guasta e per quali risulta affidabile.

Infatti, tale relazione impone che se $Z > 0$ il pezzo sarà integro in quanto la resistenza sarà stata maggiore delle sollecitazioni ricevute; Nel caso contrario invece, ovvero $Z \leq 0$ il pezzo cederà in quanto le sollecitazioni ricevute hanno superato il limite della resistenza massima sopportabile dal pezzo.

Si definisce quindi la Probabilità di guasto $Q = \int_{-\infty}^0 f(z) dz$ e di conseguenza la relativa Affidabilità $R = 1 - Q = \int_0^{+\infty} f(z) dz$. Come possiamo vedere nella Figura 8, la funzione di densità di probabilità sarà quindi data dal valore puntuale in $f(z) = \frac{dQ(z)}{dz} = -\frac{dR(z)}{dz}$ in cui ad ogni livello,



rappresentato da un'ellisse, corrisponderà una probabilità.

Figura 8 Funzione di densità di Probabilità (13)

Considerando quanto detto in precedenza come introduzione, possiamo ora definire le principali equazioni per la definizione dell'affidabilità dei vari tipi di sistema.

L'affidabilità generale

Questa viene definita come la probabilità che due eventi separati e distinti, avvengano insieme, quindi considerando due eventi separati a e b, in cui $a = p(S \leq s \leq S + ds = f_s(s)ds$ e $b = p(\sigma > S) = \int_s^{+\infty} f_\sigma(\sigma)d\sigma$, possiamo definire come probabilità di affidabilità generale di tale sistema $p(ab) = dR = f_s(S) * ds * \int_s^{+\infty} f_\sigma(\sigma)d\sigma = f_s(S)(\int_s^{+\infty} \{f_\sigma(\sigma)d\sigma\}dS$ e quindi la sua affidabilità come $R = \int dR = \int_{-\infty}^{+\infty} f_s(S)(\int_s^{+\infty} f_\sigma(\sigma)d\sigma)dS$

Tuttavia, questo risulta essere un solo modo per determinare l'affidabilità generale di un sistema, ma ne esistono diversi, i quali vengono applicati in diverse situazioni a seconda dell'affidabilità finale richiesta ed il campo di applicazione su cui si sta lavorando. I principali metodi infatti sono:

- *Metodo algebrico normale* (utilizzabile solo se S e σ seguono una distribuzione normale);
- *Metodo di Montecarlo*: Note le distribuzioni di S e σ , si generano N coppie di numeri casuali A_i A_j distribuiti uniformemente fra 0 e 1. A questi valori si associano le probabilità di avere un determinato valore di sollecitazione e di resistenza. Quindi si risale (numericamente o graficamente) ai valori di S_i e σ_j che soddisfano alle equazioni: $\int_{-\infty}^{S_i} f_s(S)dS = A_i$; $\int_{-\infty}^{\sigma_j} f_\sigma(\sigma)d\sigma = A_j$ E l'affidabilità è calcolata come $R = \frac{N(\sigma_i > S_j)}{N_0}$ ovvero il numero di volte in cui la resistenza è maggiore della sollecitazione fratto il numero totale di tentativi. Va comunque specificato che tale metodo tende al risultato esatto solo per un numero elevato di tentativi. (13)
- Trasformazione di Mellin;
- Integrazione numerica;

L'Affidabilità dei Sistemi

Nel caso precedente, sono state analizzate e definite le modalità per il calcolo dell'affidabilità generale di un sistema.

Tale caso, tuttavia, risulta molto utile solo come base di partenza, in quanto, nel mondo reale, esistono diverse tipologie di sistemi, i quali, viste le sostanziali modalità di funzionamento, necessitano di diversi metodi per la definizione della loro affidabilità.

In generale vengono definiti tre principali tipi di sistemi elementari:

- *Sistema in serie*: in questo caso il sistema è guasto quando anche uno solo dei suoi componenti è guasto;
- *Sistema in parallelo*: il sistema è definito guasto quando sono guasti tutti i componenti;
- *Sistema con riserva stand-By*: il sistema dispone di un elemento di riserva secondario (CS), il quale include l'elemento di controllo C e un sistema di commutazione S. Questi viene inserito nel sistema quando quello in servizio viene definito non più affidabile.

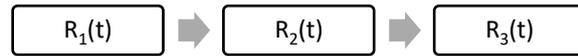
Questa tipologia di sistema può essere definita in tre casi:

- *Ridondanza fredda*: L'elemento di riserva entrerà in funzione nel momento S in cui si guasta l'elemento in servizio con affidabilità $R(S)=1$;
- *Ridondanza Calda*: L'elemento di riserva entra in funzione al momento S in cui si guasta l'elemento in servizio con affidabilità $R(S)<1$;
Va specificato inoltre che, la legge dell'affidabilità non varia al variare dell'elemento in servizio.
- *Ridondanza Tiepida*: L'elemento di riserva entra in funzione al momento S in cui si guasta l'elemento in servizio con affidabilità $R(S)>1$;
In questo caso però, la legge di affidabilità varia prima e dopo l'intervento.

Affidabilità dei sistemi in Serie

Un sistema, definito “in Serie” risulta essere composto da n componenti indipendenti²⁰ tra loro, ognuno dei quali possiede un’affidabilità

R_n^{21} , determinata in un istante di tempo t .

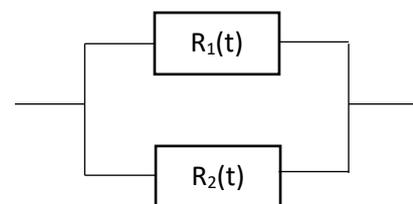


Tenendo questo in considerazione, come descritto dall’equazione, $R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$, è facile osservare come la probabilità generale che il sistema sia in funzione è definita dalla probabilità che tutti gli elementi funzionino al tempo t . Inoltre, tale equazione si semplifica nel caso in cui tutti gli elementi abbiano uguale affidabilità R_c^{22} . infatti, in tale situazione, l’affidabilità totale del sistema sarà definita semplicemente da $R_S = R_c^n$.

Nel corso degli anni, attraverso diverse prove, sperimentazioni ed esempi di vita reale, si è studiato come, l’affidabilità di un sistema meccanico in serie è definita dall’affidabilità del componente più debole, ovvero quello con affidabilità minore. Questo dipende dal fatto che, in generale, i componenti di un sistema meccanico non sono indipendenti fra loro. In questo caso, se si suppone ad esempio di possedere tre componenti con diversa resistenza costante nel tempo, sottoposti alla stessa sollecitazione di carico, il sistema risulterà guasto nel momento in cui la sollecitazione S supererà la resistenza del componente più debole, mentre gli altri due componenti saranno integri. L’affidabilità del sistema sarà data quindi da $R_S^{23} = \min(R_c)$.

Affidabilità dei sistemi in Parallelo

Questa disposizione dei componenti fornisce una maggiore garanzia sul funzionamento continuo del macchinario. Esistono principalmente due disposizioni per i sistemi in parallelo, differenziate dal metodo in cui i componenti sono disposti, utilizzati e dal modo in cui il



²⁰ I componenti di un sistema vengono definiti indipendenti tra loro quando le condizioni di funzionamento di uno dei componenti non ha nessuna influenza sulla probabilità di guasto degli altri

²¹ Affidabilità del componente n-esimo

²² Affidabilità del componente

²³ Affidabilità del sistema

sistema risente della rottura di uno di questi componenti. In base a tale differenziazione, vengono definiti i sistemi in parallelo a *Componenti Indipendenti* ed i sistemi in parallelo a *Componenti Dipendenti*.

Nel primo caso, ovvero dei *sistemi in parallelo a componenti Indipendenti*, i componenti funzionano contemporaneamente ed ognuno dei componenti è in grado di fornire la prestazione richiesta, senza influenzare la prestazione e/o il tasso di guasto dell'altro. Sapendo quindi che il tasso di guasto $Q=1-R$ e tenendo in considerazione che $Q_s=Q_1*Q_2$, ne segue che l'affidabilità del sistema in parallelo è definita da $R_s = 1 - Q_s = 1 - \prod_1^n(1 - R_i)$. e nel caso l'affidabilità sia identica per tutti i componenti, $R_s = 1 - (1 - R)^n$.

In conclusione, si può notare come a parità di affidabilità, questa struttura, garantisce che all'aumentare del numero dei componenti aumenterà anche la sua affidabilità.

Il secondo caso invece, presenta i sistemi in parallelo a componenti dipendenti. Come facilmente intuibile dalla sua descrizione, in questo caso la rottura di un componente determina il funzionamento dell'altro e ne modifica l'affidabilità nel tempo in quanto questi sarà maggiormente sollecitato. Infatti, in tale situazione supponendo di possedere due motori funzionanti in parallelo, nel caso del cedimento di uno dei due motori, il secondo dovrà lavorare a sufficienza per ricoprire la sua porzione di lavoro ed inoltre compensare la quantità di lavoro non eseguita del primo motore che ha ceduto. In questo caso, l'affidabilità viene determinata calcolando la stessa fino al momento della rottura, con le sollecitazioni e le resistenze di entrambi i motori, successivamente invece verrà calcolata una seconda affidabilità relativa al funzionamento del singolo motore con le relative sollecitazioni, maggiorate a causa del cedimento del primo motore.

Esistono inoltre altre differenti possibilità di differenziazione dei sistemi in parallelo e di quelli in serie a seconda della loro funzione e/o disposizione.

- *sistemi in parallelo K/n*; in questo caso, si considera un sistema di n componenti, questo viene definito funzionante, finché risultano essere funzionanti almeno K componenti. L'affidabilità di tale sistema risulta essere facilmente calcolabile, infatti se tutti i singoli componenti sono indipendenti e identici, Cioè R uguale per tutti, è possibile definire l'affidabilità tramite la distribuzione binomiale: $R_s(k, n, R) = \sum_{r=k}^n \binom{n}{r} R^r (1 - R)^{n-r}$.
- *Serie di Paralleli*: Si tratta di due o più componenti in parallelo disposti in serie. Per la determinazione dell'affidabilità di tale sistema, occorre determinare prima il valore

dell'affidabilità dei due paralleli, $1 - (1 - R_c)^2$ e successivamente li moltiplico per la determinazione del valore dell'affidabilità della serie

- *Paralleli in serie*: calcolo prima i valori delle 2 serie R_c^2 e poi calcolo il sistema in parallelo con $1 - (1 - R_c)^2$

Strumenti per le analisi Affidabilistiche

Ora che è stata definita l'affidabilità ed i metodi per la sua determinazione nei diversi sistemi, possiamo introdurre quali sono i principali metodi per analizzare, migliorare e risolvere i problemi relativi alla qualità e all'affidabilità all'interno di un'azienda. Queste, infatti, possono ricorrere a diverse metodologie per analizzare quanto un componente o un sistema da loro utilizzato sia effettivamente affidabile. La scelta di tali metodi viene effettuata in base all'utilizzo che viene fatto del componente e/o del sistema all'interno dell'azienda e quale grado di affidabilità è richiesto dallo stesso.

Tra queste tipologie di analisi, è possibile definire due macrocategorie, *Le analisi affidabilistiche NON strutturate* e *Le analisi affidabilistiche Strutturate*. Queste, differenziano tra loro dal fatto che le prime non necessitano di una struttura fisica per la determinazione della causa radice che ha prodotto il guasto, ma si basano principalmente su concetti teorici e verifiche sulle operazioni svolte.

Analisi Affidabilistiche NON strutturate

In questa sezione sono racchiuse le principali analisi definite come non strutturate, questa include:

- *Check-list*: Si tratta di una serie di voci che l'operatore, basandosi sull'esperienza aziendale, deve controllare e verificare all'interno delle operazioni da svolgere. Si tratta normalmente di una lista molto formale, la quale include tutte le operazioni di verifica che devono essere eseguite per il raggiungimento di un risultato affidabilistico ottimale.
- *Diagrammi di Pareto*: Questi, si basano sul principio redatto da Vilfredo Pareto. Tale principio, si basava sulla ricerca della distribuzione della ricchezza in un paese, ed indicava come l'80% di tale ricchezza fosse generalmente distribuita nel 20% della

popolazione di tale paese, ovvero 1/5 della popolazione deteneva i 4/5 della ricchezza totale. Tale studio venne successivamente applicato in diversi ambiti economici e sociali, per definire dove fosse realmente necessario un maggiore dispendio di risorse al fine di massimizzare il risultato. Tenendo in considerazione quanto sopra citato, risulta semplice intuire che tale approccio sia stato utilizzato anche nell'ambito della manutenzione. Infatti, tale approccio garantisce l'identificazione del 20% dei componenti maggiormente affetti che generano l'80% dei difetti e/o guasti, ed in base a tali considerazioni gestire un'adeguata azione manutentiva degli stessi.

- 5 Whys: si tratta di un approccio interattivo atto alla determinazione della causa radice che ha generato il guasto. In particolare, il suo funzionamento è descritto come la ripetizione per 5 volte della domanda "perché", in quanto statisticamente descritto come in numero adeguato di iterazioni al fine di determinare la causa radice del guasto.
- Brainstormig: si tratta di un incontro di gruppo, atto alla discussione di possibili idee differenti al fine di poter definire quali siano le cause radice del guasto e definire adeguati piani manutentive.
- Diagrammi di Ishikawa (Fishbone): Inventato dal Dott. Ishikawa, viene definito in diversi modi come, diagramma causa-effetto, o anche a lisca di pesce, in inglese Fishbone. Tale diagramma, viene sviluppato basandosi sulla definizione dei principali sintomi sviluppati e in base a questi, si esegue un processo a ritroso al fine di definire le possibili cause che hanno generato tali effetti ed il relativo fermo della macchina.

Analisi affidabilistiche strutturate

Queste racchiudono:

- Fault Tree Analysis (FTA): Si tratta di un'analisi definita tramite un metodo deduttivo. Ovvero, partendo da un guasto del sistema, questo viene messo in relazione con i possibili guasti dei singoli componenti al fine di identificare quali sono quelli che potrebbero aver generato il suddetto guasto ed applicare le giuste contromisure al fine di ripristinare la produttività della macchina ed evitare che questo possa presentarsi in un secondo momento. Tale approccio viene eseguito in maniera schematica, rappresentando i vari concatenamenti attraverso cui il guasto si propaga nei singoli componenti, creando così una struttura simile ad un albero da cui prende il nome tale strategia.

- Failure Model and Effects Analysis (FMEA) Al contrario del FTA, tale strategia si basa su un approccio completamente opposto. Infatti, questo si basa sulla identificazione di potenziali fonti di guasto che potrebbero esistere sia in fase di produzione che di processo del prodotto, al fine di analizzare i possibili effetti e programmare eventuali azioni risolutive. Tale intervento, quindi, risulta essere sviluppato per incrementare l'affidabilità del sistema, tramite l'evidenziazione delle priorità di intervento dei singoli componenti. Va specificato, che l'utilizzo del FMEA, non sostituisce una buona produzione, anzi, il suo scopo risulta proprio quello di migliorare il processo produttivo tramite una migliore conoscenza della macchina al fine di ridurre le possibili fonti di guasto.
- Failure Model Effect and Criticality Analysis (FMECA): Si tratta sostanzialmente di un'evoluzione del metodo FMEA. In particolare, partendo dalla definizione delle modalità di guasto definite dalla FMEA, si va a definire quale sia la probabilità che l'effetto in analisi provochi un determinato effetto con una certa gravità sulla macchina. Per ottenere un miglior risultato, gli effetti vengono catalogati in quattro classi principali, *Catastrofico, critico, marginale e minore*. (13) Tali classi hanno lo scopo di definire quale sia la criticità del guasto in caso di accadimento, e possono essere applicate dal punto di vista dell'azienda o del cliente a seconda del contesto in cui si sta lavorando.

Prove di affidabilità

Vengono definite come, delle prove in cui un campione di componenti che vogliono essere immessi sul mercato, vengono sottoposti a delle sollecitazioni maggiori al fine di valutarne la loro reazione nel tempo. Questo garantisce la determinazione di una probabile vita utile del componente e la determinazione di una risposta sicura da parte del componente quanto sollecitata con carichi maggiori. Esistono diverse tipologie di prove affidabilistiche, le più importanti sono:

- *Campione Completo*: consiste nel mettere in prova l'intero campione e verificarne il funzionamento fino al momento in cui questi si romperanno. Sebbene riesca a fornire un risultato molto preciso, tale approccio risulta essere molto lungo e di conseguenza molto costoso.
- *Campione Sospeso*: partendo dal principio del metodo precedente, tutti i provini vengono messi in prova, tuttavia in questo metodo la fine della prova è determinata quando:

- si arriva ad un tempo massimo t_p a cui tutti i provini sono stati sottoposti e se ne verifica il numero di quelli ancora funzionanti, *Campione Sospeso Troncato*
- La prova va avanti finché non si determina la rottura di almeno m componenti. Il principale vantaggio di questo approccio è che garantisce un numero adeguato di componenti danneggiati. Si tratta del *campione sospeso Censurato*.
- *Campione Incompleto*: Partendo sempre dal concetto del primo caso, si è studiato, che nonostante io riempio il macchinario per eseguire le prove di affidabilità, una volta che un componente si rompe, uno slot di tale macchinario, risulterà inutilizzato, generando comunque delle spese, senza nessun profitto o vantaggio. Si è deciso quindi di eseguire un approccio differente, ovvero, eseguire la sostituzione dei componenti in prova, ogni qual volta questo si rompa, fino all'arrivo ad un tempo di prova t_p prestabilito. Questo comporta che, a differenza dei campioni sospesi, vi possono essere degli elementi con un tempo di funzionamento senza guasti inferiore al tempo di guasto di altri componenti.
- *Sudden death*: Per l'utilizzo di tale metodologia, si suddivide il campione da analizzare n in k gruppi di m elementi ciascuno. Eseguendo le prove di affidabilità su tali gruppi di elementi, la prova di un gruppo viene interrotta quando il primo degli elementi si guasta. Si ottiene quindi una valutazione dell'affidabilità in tempi ridotti rispetto alle altre metodologie di valutazione, a scapito però della sua precisione.
- *Success run*: Tenendo in considerazione l'affidabilità obiettivo R , definita a livello aziendale, lo scopo di tale metodologia, è quello di determinare che l'affidabilità effettiva R_{eff} dei componenti, risulti essere maggiore o uguale dell'affidabilità obiettivo descritta dall'azienda. Considerando n elementi, questi vengono messi in prova per un tempo t , precedentemente stabilito, e si verifica che prima del termine della prova stessa si siano verificati al più k guasti, dove k indica il numero massimo di guasti ammissibile al fine di preservare la relazione $R_{eff} \geq R$. Se realmente si ottengono al più k guasti, è possibile affermare che $R_{eff} \geq R$ con una fiducia tanto maggiore, tanto era minore la probabilità che questo accedesse.

Va comunque considerato, che tali prove richiedono un notevole lasso di tempo per essere eseguite, e spesso le aziende non dispongono di tempistiche così lunghe per il lancio dei loro prodotti. Al fine di ovviare a tale problema, vengono eseguite delle prove con condizioni di prova differenti, al fine di ottenere il risultato in un tempo inferiore. Tali prove si suddividono in due macrocategorie:

- *Le prove accelerate qualitative:* atte all'individuazione di cedimenti e possibili metodi di cedimento da parte del componente, senza cercare di stimare la sua vita utile. Tale tipologia viene normalmente definita come:
 - *Elephant Test; Torture Test; HALT (Highly Accelerated Life Testing); HAST (Highly accelerated Stress Testing); Shake and Bake Test.*
- *Le Prove Accelerate Quantitative:* Lo scopo di tale approccio, risulta essere quello di determinare la vita utile del componente. Infatti, questa utilizza un'analisi dei dati relativi a delle prove accelerate, i quali una volta estrapolati, devono definire la corretta correlazione tra i dati delle prove e la probabile vita utile con sollecitazioni normali. I principali metodi sono:
 - *Aumento della frequenza:* considerando componenti soggetti a diversi livelli di frequenze di utilizzo, questo deve garantire un corretto utilizzo per un tempo adeguato. Per fare ciò, vengono eseguite delle prove con frequenze di funzionamento notevolmente superiori, senza però modificare le condizioni di utilizzo rispetto alla condizione normale.
 - *Aumento delle sollecitazioni:* in tale operazione, si cerca di accelerare i tempi per ottenere una rottura, utilizzando un sovraccarico. Tale operazione però, non è così semplice, infatti, per poter ottenere un test attendibile, il sovraccarico deve essere ben dimensionato, in modo che questo sia superiore al carico specifico di servizio, MA inferiore al limite di progetto.
 - *Inasprimento delle condizioni ambientali:* Questa tipologia di sollecitazioni prevede un utilizzo dei componenti in condizioni di utilizzo standard per quanto riguarda la sollecitazione normale, tuttavia essendo essi sottoposti ad un ambiente di lavoro notevolmente sollecitato dalle condizioni ambientali, risulta necessario testare la durata di tali componenti in quelle condizioni. Per fare ciò vengono utilizzati diversi modelli:
 - *Modello di Arrhenius:* sviluppato come metodo per la determinazione della velocità delle reazioni chimiche, ha trovato un notevole utilizzo per le prove di affidabilità accelerate. In particolare, viene utilizzato per il test di componenti sottoposti ad elevate temperature, garantendo così un test capace di analizzare due variabili.
 - *Modello IPL (inverse Power Law):* si basa sullo stesso principio del modello di Arrhenius, tuttavia, viene utilizzato per l'analisi di due variabili che non comprendano sollecitazioni di tipo termico.

- *Modelli con due fattori acceleranti,*
 - *Modello T-H:* nato come variante del modello di Arrhenius, questo viene utilizzato quando i fattori acceleranti sono la Temperatura (T) e l'Umidità (H).
 - *Modello T-NT:* partendo dal modello precedente, nel caso i fattori acceleranti siano la Temperatura e un altro accelerante che non sia l'umidità, è possibile utilizzare questo modello. Generato come interazione tra il modello di Arrhenius e il Modello IPL, garantisce l'utilizzo per la determinazione dell'affidabilità di un componente soggetto a 3 fonti di deterioramento differenti.
- *Prove secondo piani statistici con numero di prove ridotto:* esistono diverse tipologie di prove per questa sezione, una di queste, risulta essere il Modello Staircase. Introdotto da Dixon negli USA, Tale modello prevede che, non è importante quando avviene la rottura del componente, ma soltanto che partendo da un valore della variabile, e si va ad aggiungere un valore prestabilito costante, da cui "scalino", si possono ottenere due situazioni che corrispondono a due decisioni da prendere. Nel caso in cui il componente si sia rotto, si eseguirà nuovamente il test riducendo la sollecitazione di uno scalino; Se invece il componente non si rompe, si effettuerà nuovamente il test con una sollecitazione superiore si uno scalino. Nonostante richieda la conclusione della prova precedente per iniziare la successiva, tale metodo garantisce la stima di un elevatissimo numero di parametri con appena 15 prove.

Il tasso di Guasto

Il punto principale su cui si basa l'affidabilità, è che è funzione del tempo. Tenendo questo in considerazione, occorre specificare che anche per il singolo componente come per i sistemi complessi, la sollecitazione varia nel tempo in modo casuale, generando così una distribuzione delle sollecitazioni nel tempo, incrementando a primo avviso la difficoltà nella determinazione dell'affidabilità stessa. Nonostante questo, la risoluzione risulta abbastanza semplice se si analizza il fenomeno in modo empirico. Infatti, come detto in precedenza, il componente arriverà a rottura o guasto quando le sollecitazioni superano la resistenza, qualsiasi sia la distribuzione delle sollecitazioni e della resistenza.

Questo ci permette quindi di affermare che, una volta analizzati i guasti e determinata la loro distribuzione al variare del tempo, la determinazione del tasso di guasto risulta essere un facile esercizio come la determinazione del numero dei componenti guasti nel tempo. Ricordando ora la relazione per cui l'affidabilità $R=1-Q$, (R = affidabilità, Q = probabilità di guasto) ovvero va ad indicare il numero dei componenti funzionanti al tempo t rispetto al numero dei componenti iniziali, la determinazione della stessa ad un tempo t risulterà facilmente eseguibile. Possiamo quindi affermare che il tasso di guasto è legato all'affidabilità, infatti se conosco uno posso determinare l'altro.

Il tasso di guasto viene quindi definito come il rapporto tra gli oggetti che si guastano in un intervallo $t+dt$ e quelli ancora in funzione al momento t . $\lambda(t: t + dt) = \frac{1}{dt} \frac{\Delta N}{N_t} = \frac{\Delta N}{dt * N_0} \frac{1}{R(t)}$.

Dopo diversi studi, è stato definito che il miglior metodo per la rappresentazione dell'andamento del tasso di guasto risulta essere la distribuzione di Weibull, in quanto dipendente dall'andamento del parametro di forma $\beta^{24} = \frac{E_z^{25}}{D_z^{26}}$.

²⁴ Indice di sicurezza/ Parametro di forma

²⁵ media della distribuzione normale

²⁶ Deviazione standard della distribuzione normale.

Seguendo la distribuzione di weibull, il tasso di guasto genera un andamento definito come tipico per un generico componente meccanico dalla forma molto particolare, come visibile nella Figura 9, tale per cui viene anche definito come Vasca da Bagno.

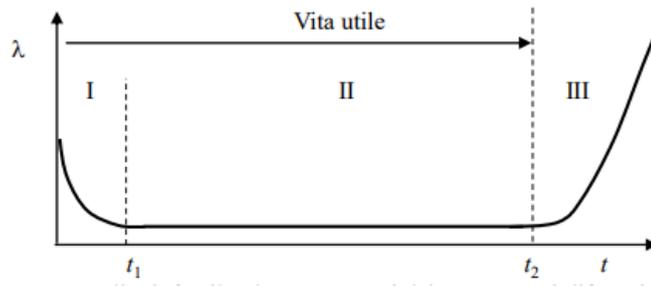


Figura 9 Diagramma della Vasca da bagno (13)

Come possiamo notare nel diagramma dell'andamento del tasso di guasto per un tipico componente meccanico, tale andamento è descritto in tre fasi principali, le quali determinano, la causa del guasto in base al periodo della vita del componente ed al relativo parametro di forma β .

- Nella prima fase, Zona I, si ha un parametro di forma $\beta < 1$ ed i guasti vengono catalogati come "Mortalità Infantile". Questi guasti sono dovuti da componenti difettosi già dalla fase di produzione o a causa di errori di assemblaggio, tuttavia questi guasti possono essere risolti dal punto di vista del cliente, effettuando una buona analisi durante il collaudo o con provvedimenti adeguati in fase di produzione al fine di ridurre la deviazione standard e quindi l'incertezza. Il tasso di guasto in questa zona risulta essere molto alto nella prima fase, quella di lancio, per poi decrescere tendendo a un valore costante.
- La Zona II invece, detiene un fattore di forma $\beta = 1$ ed un conseguente tasso di guasto costante, quindi in ogni momento è presente la stessa probabilità di accadimento del guasto (sui componenti ancora funzionanti), i quali sono principalmente descritti come guasti accidentali. In questa fase risulta impossibile eseguire modifiche di progetto, azioni di collaudo o provvedimenti in fase di produzione in quanto le spese generate da tali interventi risulterebbero superiori ai costi relativi ai guasti. Questa zona tende a far risaltare quei prodotti per cui la resistenza risulta essere leggermente inferiore rispetto alla media, specialmente nei casi in cui si hanno sollecitazioni leggermente superiori. Tenendo in considerazione ora alcuni aspetti tecnici, in questa zona possiamo notare un'affidabilità decrescente nel tempo con legge esponenziale, inoltre, considerando che il fattore di forma $\beta = 1$ implica un tasso di guasto $\lambda = 1/\alpha^{27}$, di conseguenza una vita caratteristica breve comporterà un tasso di guasto maggiore e viceversa.
- L'unione di queste due zone I+II, viene generalmente chiamata *vita utile*, ovvero il periodo per cui l'azienda prevede il corretto funzionamento del componente/bene, se usato

²⁷ Vita caratteristica del componente

nelle corrette condizioni di utilizzo. Questa zona risulta essere molto importante, infatti in base ad essa vengono definite le strategie relative alla durata della garanzia del bene/componente prodotto. Di norma la garanzia viene pensata e sviluppata in modo da poter garantire il superamento della Zona I, questo garantirà una generale approvazione da parte dei clienti, senza generare però costi aggiuntivi “non dovuti”. Occorre ricordare tuttavia che una maggiore garanzia potrebbe produrre notevoli vantaggi dal punto di vista commerciale ed un notevole miglioramento dell’immagine aziendale.

- Zona III, si tratta della fine della vita del componente, in essa vengono evidenziati particolarmente i problemi di usura, fatica e degradazione dovuti al normale utilizzo del componente. Risulta comunque possibile eseguire migliorie in ambito progettuale, di produzione o collaudo al fine di estendere la vita di tali componenti. Un esempio potrebbe essere la normale manutenzione degli aerei, questi infatti con frequenza ciclica, ogni volta che raggiungono il monte ore prestabilito, devono obbligatoriamente eseguire le azioni di manutenzione. In questi casi, nel caso vengano identificate delle piccole imperfezioni, non problematiche in termini di sicurezza, subiscono delle azioni che portano al miglioramento del componente fino al momento in cui il degrado non eccede il limite per cui il componente deve essere sostituito.

In conclusione, il tasso di guasto risulta essere definito dalla costanza o dalla varianza delle sollecitazioni e relativa resistenza, tuttavia è possibile monitorare tali andamenti con gli studi appropriati. Il diagramma della vasca da bagno fornisce un andamento generale dei guasti, ma al fine di poter utilizzare le informazioni relative ai guasti, risultano necessarie informazioni più dettagliate e con lassi di tempo minori e maggiormente focalizzate. Per questi motivi, sono stati studiati ed introdotti altri KPI come l’MTTF²⁸, MTTR²⁹, MTBM³⁰, MTBF³¹, utili per generare una migliore analisi dell’andamento della vita del componente e prolungarla.

Tali indici saranno analizzati singolarmente nelle pagine successive.

²⁸ Mean Time To Failure – vita media o tempo medio fino al guasto

²⁹ Mean Time To Repair – fermo mezzo o tempo medio tra due riparazioni

³⁰ Mean Time Between Maintenance – tempo di attività o tempo medio tra due manutenzioni

³¹ Mean Time Between Failure – vita media tra due Guasti consecutivi

MTTR

Acronimo Inglese dei termini Main Time To Repair, ovvero Tempo medio alla riparazione, questo indice di performance, definisce quale sia il tempo medio necessario all'azienda per completare una riparazione su un componente guasto. Tale strumento, risulta molto utile nella definizione della misura dell'efficienza della manutenzione. Infatti, minore sarà il risultato di tale indice, migliore sarà l'efficienza della manutenzione. Tale indice è generalmente espresso in ore e comprende il tempo di riparazione, sia attivo che passivo, i tempi di attesa dei ricambi ed i tempi di attesa di eventuali operai specializzati. Tale indice, viene definito in maniera algebrica tramite la relazione: $MTTR = \frac{\text{Tempo totale di riparazione}}{\text{numero di riparazioni}}$ (14)

MTTF

Dall'acronimo inglese Main Time To Failure, Tale indice, definisce quale sia il tempo medio tra due guasti della macchina o di un componente sotto analisi. Definisce quindi quale è il tempo medio in cui la macchina lavora senza interruzioni, ovvero la sua vita media. A seconda dei casi, tale indicatore può assumere diverse declinazioni, ad esempio, se si tratta di componenti che vengono selezionati come non validi in caso di malfunzionamento, tale indice potrebbe indicare il tempo medio al primo guasto, tramutando così nel MTTF, ovvero Main Time To First Failure. Al fine di poter incrementare tale valore ed ottenere quindi una vita media nella macchina notevolmente più lunga, molte aziende definiscono politiche di partnership con i costruttori degli impianti e delle macchine, al fine di ottimizzare i costi.

MTBF

Main Time Between Failures, rappresenta il tempo medio che ci si aspetta di attendere tra l'inizio di un guasto ed un altro. Considerando quanto detto in precedenza, anche questo indicatore, secondo alcune fonti, potrebbe essere considerato come una particolare condizione dell'MTTF, applicato però a componenti in cui il processo di riparazione è funzionalmente ed

economicamente possibile, come ad esempio i sistemi complessi. Tale indicatore viene definito algebricamente tramite la relazione $MTBF = \frac{\text{Tempo Macchina in Laoro} - \text{tempo fermo macchina}}{\text{numero totale dei fermi macchina}}$ (14)

OEE

Come i precedenti anche in questo caso si tratta di un acronimo inglese, ovvero L'Overall Equipment Effectiveness. Tale indice fornisce una misura dell'efficienza generale e globale della macchina. In un mondo teorico, la macchina dovrebbe produrre alla massima velocità per tutto il tempo al fine di poter raggiungere la massima efficienza, senza però compromettere la sua efficienza qualitativa dei prodotti. Tuttavia, tale macchina utopistica non esiste, in quanto sebbene alcuni macchinari possano sopportare una produzione ad alti livelli, dopo un certo tempo di produzione, si va a generare un fermo macchina dovuto a diverse cause, la maggior parte delle volte a causa di pezzi difettosi. Tali perdite qualitative, in concomitanza con perdite di disponibilità e prestazioni, sono generati da una perdita di efficienza del macchinario, la quale viene misurata appunto con l'OEE.

La definizione di tale indice viene eseguita in modo analitico, prendendo in considerazione tutte le voci che possono essere definire l'efficienza della macchina. Partendo dal tempo totale in cui la macchina potrebbe lavorare, si vanno a definire quali sono i tempi in cui la macchina ha realmente lavorato e prodotto dei componenti e quali sono stati invece i suoi tempi di fermo. Come primo step, si va a definire quale è stato il tempo operativo dell'impianto e quello non utilizzato, questo ci servirà per definire la pianificazione della produzione e quindi il PPT (Planned Production Time), ovvero il tempo di produzione pianificato e le fermate pianificate. Da queste, è possibile definire la disponibilità effettiva della macchina RAT (Real Available Time) e le perdite do-

vute da cause varie M (loss due to other Causes). Procedendo con le definizioni

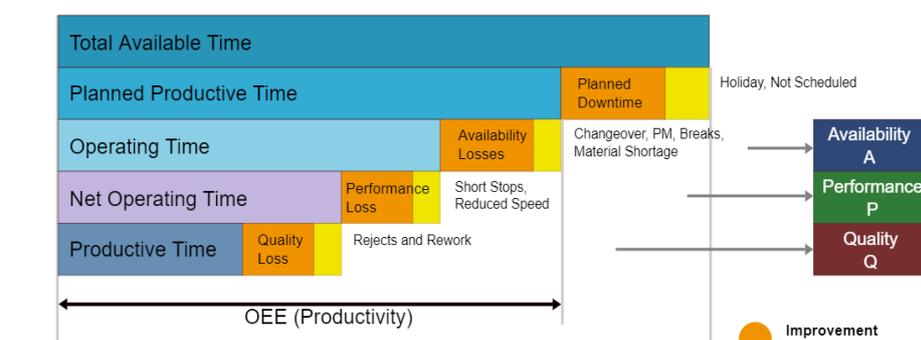


Figura 10- OEE Definition.

piramidali dei vari indicatori di efficienza che compongono il tempo totale, Il RAT, viene definito, dal tempo di operatività OT (operating time), indicato anche come disponibilità tecnica, sommato alle perdite dovute ai fermi macchina A (Down Time Loss). L'operation Time a sua volta, risulta essere composto da due componenti, il (Net Operation Time) NOT, sommato alle perdite di velocità dovute al calo della performance P (speed losses). ed infine, abbiamo il tempo di piena produzione FPT (Fully Productive Time), il quale sommato alle perdite di qualità Q (Quality Losses), generano il NOT.

Ora che abbiamo definito tutte le voci che vanno a comporre il tempo totale, è possibile determinare, quali sono utili per la determinazione dell'indice di efficienza OEE.

Partendo dalla definizione della sua equazione $OEE = (M * A * P * Q) * 100$, dove:

$$\begin{aligned}
 - M &= \frac{PTT - T_{Other Losses}}{PTT} = \frac{RAT}{PPT}, \\
 - A &= \frac{RAT - T_{Downtime}}{RAT} = \frac{OT}{RAT}; \\
 - P &= \frac{OT - T_{Speed losses}}{OT} = \frac{NOT}{OT}; \\
 - Q &= \frac{NOT - T_{Quality}}{NOT} = \frac{FPT}{NOT};
 \end{aligned}$$

possiamo notare come gli indici tenuti in considerazione sono quelli che generano dei tempi di non produzione e quindi una riduzione dell'efficienza della macchina. Tuttavia, considerando i metodi di determinazione di tali indici, e le loro semplificazioni una volta inseriti nella formula generale, è facile identificare come, l'OEE, sarà determinato da

$$\frac{\text{Tempo ciclo} * N^{\circ} \text{elementi buoni}}{\text{Tempo di produzione programmato (PPT)}} * 100 = \frac{\text{Tempo di produzione dei componenti buoni}}{PPT} * 100,$$

nel caso si tenga in considerazione il tempo di produzione, mentre sarà determinato dal

$$\frac{N^{\circ} \text{ di pezzi buoni}}{N^{\circ} \text{ dei pezzi totali producibili}} * 100, \text{ nel caso in cui si tengano in considerazione in numero di}$$

pezzi.

Qualità

La Normativa ISO UNI EN 9000:2005 definisce la qualità come, "il grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfa i requisiti" (15).

Tale concetto ha avuto diverse interpretazioni nel corso degli anni, partendo dal semplice collaudo finale nei primi anni del 900, fino alla politica del Total Quality Management, utilizzata ai nostri giorni. Tutti questi concetti ed evoluzioni di essi negli anni, hanno comunque lo stesso scopo, ovvero garantire al cliente un elevato livello di soddisfazione in ogni momento. Lo scopo finale di tutte le metodologie e gli approcci qualitativi, risulta essere sempre quello di generare un prodotto di qualità ideale. Tuttavia, essendo questo appunto un concetto ideale, questo non esiste, ma si tende ad ottenere diversi livelli di qualità su diversi componenti a seconda del livello richiesto dal mercato.

All'interno delle aziende, il termine qualità viene tradotto come un miglioramento continuo dei diversi settori dell'azienda (produzione, gestione, fornitura, ecc.), affiancato ad una riduzione dei costi. Tali migliorie sono necessarie per eliminare gli errori interni aziendali dovuti ad un errata gestione delle attività e relativi tempi morti, i quali vanno a generare degli sprechi di risorse aziendali che potrebbero essere utilizzate in modi migliori. Un altro punto chiave che ci porta alla produzione di sprechi, è l'assenza o l'errata procedura di raccolta dei feedback dall'impianto, quanto fa sì che le misure utilizzate per la miglioria del processo non siano adeguate e non si produca così un reale miglioramento, con la relativa perdita del soddisfacimento del cliente.

La procedura di miglioramento dell'azienda e della relativa qualità di produzione è un procedimento molto complesso, il quale necessita non solo di risorse adeguate, sia materiali che economiche, ma anche di personale altamente formato, che garantisca un corretto utilizzo delle risorse aziendali, al fine di produrre un miglioramento.

Il termine Qualità, infatti, non si riferisce ad un singolo campo di applicazione, ma bensì a qualsiasi oggetto e servizio. Un esempio di applicazione della valutazione dei diversi livelli di qualità potrebbe essere la suddivisione degli studenti universitari di un corso, basandosi sui loro voti agli esami. Suddividendo le valutazioni per classe con un delta di tolleranza, è possibile definire le varie classi di qualità. Supponendo un delta di 3 punti, escluso il primo, avremo risultati di classe F, ovvero insufficiente per valutazioni \leq al 17, la prima classe utile, risulterà

quindi la Classe E, con valutazione di punteggi dal 18 al 20 inclusi, tale valutazione andrà avanti fino alla prima classe ovvero la classe A, con valutazioni di punteggio 30 e 30 e lode.

Per quanto riguarda i processi produttivi, la loro qualità viene definita attraverso l'indice di capacità di processo C_p . tale indice fornisce le informazioni relative alla capacità di un sistema produttivo di produrre o meno, dei pezzi che si trovano all'interno delle tolleranze richieste e quindi in grado di fornire un elevato soddisfacimento del cliente. Considerando una distribuzione normale, viene determinato come $C_p = \frac{USL - LSL}{6*\sigma} = \frac{2*\Delta}{6*\sigma} = \frac{\Delta}{3*\sigma}$ nel caso in cui si abbia una tolleranza equivalente per entrambi i limiti, mentre si utilizzerà la sua variante, sostituendo il valore differente come limite massimo o minimo e dividendo per 3σ anziché per 6σ , nel caso in cui tali limiti non siano uguali. Tale approccio impone che il target della produzione abbia la varianza pari ad $1/3$ della tolleranza. Considerando che il processo sia centrato, ovvero che la media di produzione coincide con il target, è possibile valutare gli scarti tramite il rapporto tra la tolleranza Δ e la deviazione standard σ .

Tale informazione fornisce un importante punto da approfondire e valutare, infatti la centratura del processo garantisce una migliore gestione del processo e la definizione di un migliore ciclo produttivo. Al fine di poter valutare tale indice, introduciamo ora l'indice C_{pk} , il quale, basandosi sulla definizione dell'indice C_p , tramite le adeguate modifiche, determina la bontà del processo di un prodotto non centrato. $C_{pk} = \min\left\{\frac{USL-\mu}{3*\sigma}; \frac{\mu-LSL}{3*\sigma}\right\}$ se analizziamo tale equazione, possiamo notare come la bontà del processo venga identificata dal valore minore tra il discostamento della media effettiva dal limite inferiore o superiore fratto tre volte la deviazione standard.

Va specificato, che tale indice non determina la centratura del processo, ma bensì la capacità di questo rispetto a quella teoricamente raggiungibile se fosse centrato. Grazie ad esso, nel caso fosse conosciuta anche la distanza tra la media ed il target, è possibile determinare il numero degli scarti ed il numero minimo di difettosità della produzione.

Perdita di qualità

Per poter generare un processo di alta qualità e per poter migliorare quelli esistenti, occorre che gli esperti del settore riescano a definire quali sono le fonti di perdita in termini di qualità del processo. Esistono principalmente due ipotesi a riguardo:

- la prima, indica come solo gli scarti generino delle perdite. Si tratta quindi di una perdita puramente economica, dovuta al fatto che nel caso l'azienda dovesse produrre degli scarti, questi non andrebbero a generare dei profitti.
- una seconda ipotesi invece, definisce che non si ha una perdita economica solo con gli scarti, ma che tale perdita è proporzionale man mano che ci si allontana dal target di produzione. Tale ipotesi definisce come la distanza dal target di produzione implica una riduzione della qualità del prodotto ed un relativo calo del soddisfacimento dei clienti, portando così l'azienda ad una perdita del risultato finale della qualità, ovvero il soddisfacimento del cliente stesso.

Azioni migliorative della qualità

Tenendo in considerazione le due ipotesi descritte in precedenza riguardanti le perdite di qualità, è possibile attuare delle contromisure per ovviare a tali riduzioni. Infatti, è come facilmente intuibile, l'azienda può migliorare la propria produzione al fine di portare il suo valore medio di produzione il più vicino possibile al valore di target, $\mu \rightarrow m$; oppure potrebbe lavorare per la riduzione della sua deviazione standard σ per ridurre al minimo la perdita di qualità. Tuttavia, occorre tenere in considerazione che un miglioramento qualitativo, comporta delle spese economiche, e che per essere considerato come migliorativo, il processo deve comunque essere economicamente competitivo e mirare quindi alla riduzione dei costi di non qualità.

La qualità del prodotto, deve essere vista in ottica del cliente, e in base ad esso l'azienda deve analizzare tutte le possibili fonti di riduzione della stessa al fine di poter generare dei piani di miglioramento. Considerando le diverse metodologie di utilizzo del prodotto da parte dei clienti, risulta utile considerare la risposta di un sistema con un diagramma P. Tale diagramma ci permette di analizzare le quattro principali fonti di fattori che potrebbero generare delle perdite di qualità:

- *Fattori di Segnale (M)*: si tratta di quel tipo di segnali che vengono impostati dall'utilizzatore al fine di ottenere la risposta desiderata. Si tratta principalmente di segnali on/off, i quali possono essere singoli o multipli.
- *Fattori di Rumore (X)*: questa tipologia racchiude quella tipologia di parametri che non possono essere controllati in fase di utilizzo, i quali però modificano la risposta desiderata a seconda della loro variazione. Tali parametri possono essere di due tipi:
 - *Controllabili* nella fase di sperimentazione
 - *Non controllabili* nella fase di sperimentazione, questi vengono anche definiti come "*noise factors*" ovvero fattori di rumore.
 - Per quanto riguarda i singoli prodotti, possono dipendere da diversi fattori. infatti, i noise factors esterni, indicano l'influenza di elementi esterni che vanno a modificare la risposta del sistema (temperatura, umidità, vibrazioni ecc..). I noise factors unit to unit indicano delle variazioni del processo produttivo e nelle proprietà dei materiali (accoppiamenti, rigidità ecc..). L'ultima tipologia di tali fattori, è il deterioramento, ovvero la normale perdita di prestazioni dovuta al passare del tempo.
 - Mentre per i processi si possono riscontrare dei fattori di rumore come la *non conformità del processo, process drift, noise factors esterni*.
- *Fattori di Controllo (C)*: si tratta di parametri di personalizzazione e miglioria che possono essere scelti dal progettista al fine di ottenere la risposta desiderata, va però specificato che tali "personalizzazioni" non devono influenzare (in modo sostanziale) il costo del prodotto.
- *Fattori di Tolleranza (T)*: del tutto analoghi ai precedenti, differenziano da questi per il fatto che le modifiche eseguite con questo scopo, vanno ad impattare notevolmente sul costo del componente o del processo. Un esempio potrebbe essere l'utilizzo di un materiale più rifinito o più nobile al fine di incrementare la durata del prodotto.

Tali strategie, tengono sotto controllo l'aspetto della progettazione dei componenti e ne modificano lo stesso al fine di ridurre le perdite qualitative, per quanto riguarda l'aspetto economico invece, risulta necessario utilizzare una o più *strategie di mercato*. Tali strategie tendono a minimizzare un determinato parametro al fine di ridurre le perdite, in particolare, possiamo distinguere tre principali strategie:

1. *Delocalizzazione*: tale strategia punta alla minimizzazione del costo di fabbricazione, ottenendo però un livello di produzione con qualità equivalente a quella dei concorrenti;

2. La seconda strategia riprende il concetto della prima, invertendo però il proprio “dare avere”, infatti questa si basa sulla minimizzazione delle perdite di qualità mantenendo però lo stesso costo di produzione della concorrenza.
3. La terza e ultima strategia, si basa su un mix delle due precedenti, ovvero punta alla minimizzazione della somma delle perdite di qualità e del costo di produzione. Tale strategia, è molto importante, in quanto detiene parecchi vantaggi, ma anche molti rischi. Questa viene utilizzata nel caso in cui un’azienda deve vendere molti prodotti allo stesso cliente o quando il fattore tempo risulta determinante.

Una volta definita la strategia che si intende utilizzare, risulta obbligatoria la definizione degli step per la progettazione del nuovo prodotto. Questa può essere definita in tre step principali:

- *Concept Design*: la progettazione concettuale, ovvero la fase di definizione ed esame di tutte le possibili idee e soluzioni che portano alla funzione richiesta. In questa fase, occorre dare molta importanza all’aspetto economico, e prediligere sempre la soluzione che a parità di risultato, genera i costi minori.
- *Parameter Design*: una volta definito il progetto, occorre definire gli standard e i parametri che questo deve seguire per il raggiungimento dell’obiettivo. In questa fase, è possibile utilizzare alcune delle tecniche del *Robust Design*, le quali permettono di minimizzare la sensibilità di risposta ai fattori di rumore ed un migliore posizionamento della media sul target.
- *Tolerance Design*: questa fase viene utilizzata nel caso in cui i parametri definiti nello step precedente non risultino compatibili o conformi con il risultato finale. In questo caso, occorre definire parametri più severi, i quali però vanno ad influenzare sostanzialmente i costi.

Finora, sono state illustrate le varie metodologie per la migioria degli aspetti relativi alla progettazione. Vedremo ora invece quelle atte alla migioria qualitativa degli aspetti legati alle fasi produttive. Si tratta di tre strategie principali:

- 1) *Detection and Correction*: si tratta di tecniche il cui scopo è il controllo della produzione e l’applicazione delle relative azioni correttive su di esso.
- 2) *Feedforward Control*: tale strategia viene utilizzata per la compensazione e la riduzione dei problemi noti. Un esempio potrebbe essere la riduzione del numero di giri o una diversa posizione della mola durante le fasi di rettifica del pezzo, questo fa sì che la vita utile della mola sia maggiore e di conseguenza riduce i costi di produzione.

- 3) *Screening*: nel caso in cui ci si trovi nella situazione dove la capacità di processo risulta essere bassa, tale strategia può essere applicata per l'eliminazione o la riparazione dei pezzi fuori tolleranza. Va però considerato che la sua applicazione potrebbe generare dei costi notevolmente alti.

Capitolo IV: Lean Manufacturing

Definito dalla terminologia inglese, la produzione snella è una filosofia manageriale la quale negli ultimi anni si è imposta sempre più nel mondo produttivo. Questo fenomeno si è sviluppato in seguito alla constatazione dei notevoli risultati che possono essere ottenuti con l'utilizzo di tale filosofia. Questi, infatti, non si basano solo sul raggiungimento dell'obiettivo in maniera snella, con le sole risorse essenziali, con processi eccellenti lungo l'intera catena del valore e quindi con il minimo spreco. Si tratta inoltre di un modello di pensiero differente, atto alla comprensione della realtà aziendale in cui ci si trova e alla sua corretta gestione. Tenendo in considerazione quanto proposto negli anni dalla Toyota, primo grande pioniere di tale filosofia, *“la produttività dipende dal modo in cui avanzano i processi e non vuol dire spargere una gran quantità di sudore”* (16)

Il primo punto da cui partire per definire al meglio tale filosofia, è che *il cliente non acquista un prodotto ma bensì la soddisfazione di un bisogno*. Tale soddisfazione è data dal miglior compromesso fra qualità, prezzo e puntualità di consegna. Incrementando così la percezione del valore di ciò che il cliente desidera. Tale filosofia, inoltre, ha impattato notevolmente l'approccio dei magazzini e dei tempi di consegna, infatti, con la sua implementazione le consegne necessitano una schedulazione impeccabile al fine di evitare un sovraccarico del magazzino e ritardi nelle consegne al cliente. Di conseguenza il magazzino deve essere pronto a gestire i carichi relativi a tali consegne e smaltire tutta l'offerta seguendo al meglio l'andamento della domanda. Con l'applicazione della Lean Manufacturing, si può infatti gestire meglio anche l'andamento di quest'ultima, la quale risulta necessitare sempre più di una notevole flessibilità e produzioni in piccoli lotti personalizzati. In conclusione, è necessario un drastico cambiamento di pensiero dal *“produrre per vendere”* al *“produrre perché si vende”*.

Ulteriori componenti da tenere in considerazione sono i costi e la qualità, i quali necessitano moltissime attenzioni al fine di produrre l'eccellenza, e i profitti aziendali. Questo punto risulta essere molto importante, in quanto con l'applicazione della metodologia del Miglioramento Continuo, significherebbe il miglioramento del rapporto tra le quantità vendute e le risorse impiegate per ottenere tali prodotti (stock, risorse umane, materiali, ecc..). Per far sì che tale miglioramento sia possibile, è necessario che vengano individuate tutte le possibili fonti di riduzione della produzione come colli di bottiglia e variabilità di processo, al fine di analizzarli al

meglio e ridurre al minimo le limitazioni imposte da tali componenti introducendo il pensiero del “*fare sempre meglio*”.

Tenendo a mente quanto introdotto finora, il Lean Thinking, si basa su cinque concetti principali:

- *Creare più valore*: Tramite un’analisi del processo, devono essere definite le azioni più importanti ed indispensabili che devono essere eseguite per il raggiungimento dell’ecceellenza, dislocando, delocalizzando e/o acquistando a prezzi più competitivi i componenti che non risultano parte dei processi “Core”.
- *Analizzare il valore lungo tutto il processo aziendale*: si tratta di un’analisi dettagliata di tutto il processo produttivo, dalla progettazione alla gestione fino alla consegna al cliente, considerando anche le fonti di approvvigionamento e mappando ogni singolo passaggio di ogni fase. In questo modo sarà possibile identificare eventuali punti deboli del flusso del prodotto ed eliminarli per incrementare il valore totale.
- *Organizzare il processo “a Flusso”*: si tratta della riduzione dei processi burocratici, delle barriere fittizie e della parcellizzazione che fanno sì che il processo sia notevolmente più lungo di quanto non sia effettivamente necessario. Eliminando queste sovrastrutture organizzative, riducendo la burocrazia ecc., l’azienda può focalizzarsi al meglio sull’obiettivo da perseguire garantendo risultati migliori in minor tempo.
- *Installare un’organizzazione “pull”*: con tale approccio si va a prediligere il fatto che la domanda “tira” la produzione all’interno del processo, prediligendo una produzione just in time per il cliente.
- *Perseguire la perfezione con il continuo Miglioramento (Kaizen³²)*: si tratta di uno dei principali punti che l’azienda deve conseguire, per questo è necessario che siano coinvolti tutti gli attori principali. Questi devono possedere uno stile di pensiero atto ad affrontare i problemi e conseguire grandi risultati in modo costante. Queste persone, grazie ai principali concetti di Leadership, creatività, coinvolgimento ecc. dovranno coinvolgere tutto lo stabilimento con piani eseguibili per ottenere un miglioramento continuo di tutta l’azienda. In conclusine, si tratta quindi di una ricerca ed eliminazione degli sprechi e delle perdite tramite un’analisi dettagliata di tutte le attività produttive, al fine di eliminare o ridurre quelle che non generano valore (17)

³² Composizione di due termini giapponesi Kai: Cambiamento, miglioramento; Zen: Buono, migliore

Considerando quanto visto finora, possiamo affermare che uno dei principali obiettivi del Lean manufacturing risulta essere la riduzione degli sprechi e delle perdite. Tale concetto prevede quindi l'eliminazione di tutte quelle attività che non giovano al miglioramento del valore del prodotto. Queste possono essere suddivise in tre categorie, Quelle che non forniscono nessun valore aggiunto e non sono necessarie per il processo, quelle che pur producendo nessun valore aggiunto, risultano comunque indispensabili per il processo, e quelle che creano un valore aggiunto misurabile e quantificabile.

Al fine di dare una maggiore comprensione dell'argomento, risulta necessario aprire una piccola parentesi sulla definizione di spreco. Il termine spreco, definito in giapponese come "muda", va ad indicare tutte quelle attività la cui esecuzione non genera nessun valore aggiunto o risultano improduttive. tali fonti di spreco non sono tutte uguali e generano perdite di diverse tipologie. È ritenuto opportuno quindi, definire quali sono le macrocategorie in cui questi sono suddivisi. Secondo Taiichi Ohno, si possono identificare sette principali categorie o tipologie in cui si possono raggruppare i vari sprechi presenti in un processo aziendale.

1. *Spreco per sovrapproduzione.* Deriva dal fatto che produrre di più o non in sincronia con quanto richiesto dal cliente è uno spreco perché non immediatamente vendibile e inoltre sottrae risorse ad altre attività invece immediatamente vendibili.
2. *Spreco per tempi di attesa.* Il materiale in attesa genera inventario, spreco di risorse.
3. *Spreco per trasporti.* L'attività di trasporto non aggiunge alcun valore al prodotto, nessun cliente sarebbe disposto a pagarla.
4. *Spreco dovuto al processo.* Le operazioni che si eseguono potrebbero non essere ottimizzate e contenere in sé un basso valore aggiunto che deve essere migliorato perché intrinsecamente contenente sprechi.
5. *Spreco dovuto alle scorte.*
6. *Spreco per movimenti.* Durante le lavorazioni si potrebbero eseguire movimenti non adeguati, inutili, migliorabili con conseguente spreco associato.
7. *Spreco per non qualità.* Naturalmente tutto ciò che non presenta qualità adeguata (scarti, rilavorazioni, controlli aggiuntivi ecc.) rappresenta uno spreco (17)

Seguendo il pensiero fondato da Taiichi Ohno, ideatore della filosofia Lean e del pensiero Toyota, gli sprechi tendono ad essere nascosti e questo fa sì che il miglioramento continuo dell'azienda sia più faticoso del previsto. Se si vuole procedere con l'applicazione della filosofia

Lean ed il miglioramento continuo, nessun difetto deve essere nascosto, ognuno di essi deve essere portato alla luce per poter eliminare gli sprechi e migliorare la qualità del processo e del prodotto. Per far chiarezza su questo punto si ritiene opportuno riportare una frase contenuta nel libro pubblicato da *Yoshihito Wakamatsu*, il più grande esponente della cultura Toyota: *“la qualità si crea nei processi”*. *La qualità non migliora rendendo più severi i controlli. I controlli servono solo a rigettare i prodotti difettosi. Ciò che è importante è la capacità della linea di fabbricare buoni prodotti. Ogni volta che si verifica un difetto, bisogna ripetersi più volte perché e distruggere le vere cause. Con questa ripetizione si migliora la capacità di creare prodotti buoni. È questo che si intende quando si dice che la "qualità si crea nei processi"*. (16)

Tecniche di supporto del Lean Thinking

Considerando quanto introdotto finora, il Lean Thinking si occupa di migliorare continuamente tutte le fasi del processo al fine di minimizzare gli sprechi ed incrementare il valore aggiunto del prodotto. Esistono diverse metodologie per l'applicazione di tale filosofia, tuttavia in questa sezione verranno introdotti solo le metodologie di base per l'ottenimento del risultato.

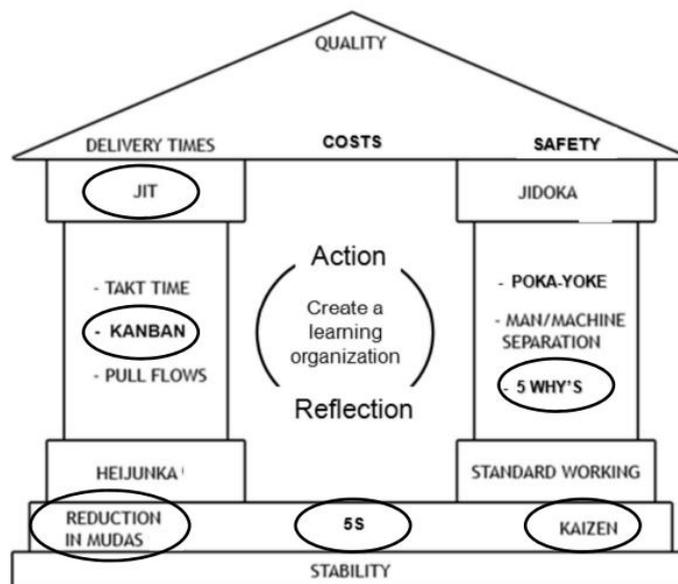


Figura 11- La casa della Lean (19)

Le 5S

Si tratta di una metodologia utilizzata dalle aziende al fine raggiungere l'eccellenza, con il miglioramento delle postazioni di lavoro. Questo risulta possibile grazie ad un sistema metodico di organizzazione, pulizia e ordine. La definizione della metodologia, deriva dalla sua composizione, infatti, questo strumento utilizza 5 operazioni il cui nome, di origine giapponese, inizia per s; queste operazioni risultano indispensabili da eseguire per ottenere un risultato eccellente.

- *Seiri*: “*separare*”, indica l'azione di separare ed eliminare le cose inutili da quelle utili, per fare ciò, risulta necessario quindi eseguire un'adeguata pulizia della postazione di lavoro ed una successiva classificazione degli oggetti presenti.
- *Seiton*: “*sistemare*”, tale operazione comporta l'azione di sistemare tutte le cose utili in modo congruo e ordinato, eliminando quello che non risulta necessario, in modo tale che siano facilmente reperibili ed utilizzabili da tutti e possano essere rimesse al loro posto specifico da chiunque le utilizzi.
- *Seiso*: “*pulire*”, tenere pulito il posto di lavoro garantisce un corretto funzionamento degli strumenti ed una migliore presentazione della postazione stessa. Tale fase, infatti, comporta non solo la pulizia effettiva, ma anche la ricerca delle possibili fonti di sporco al fine di curarle e prevenire il proliferarsi di tali condizioni.
- *Seiketsu*: “*standardizzare*”, implica la standardizzazione delle metodologie operative corrette e la successiva comunicazione di tali metodologie standardizzate a tutti in modo semplice ed efficiente. Un processo standardizzato risulterà facilmente gestibile in quanto ben compreso da tutti, un processo gestito in modo personale invece sarà comprensibile solo dai pochi che già lo conoscono, con la conseguente riduzione del suo miglioramento. (es. check list)
- *Shituke*: “*Sostenere*”, si tratta di una funzione legante per le altre 4s, infatti definisce il rispetto degli standard stabiliti e l'applicazione delle 4S precedenti per l'ottenimento del miglioramento continuo. (18)

Le applicazioni di tale metodologia verranno presentate in seguito nell'esempio di processo relativo all'ultimo capitolo di questo lavoro di tesi.

Visual management

Si tratta di una metodologia per la comunicazione e la gestione delle informazioni tramite comunicazioni prevalentemente grafiche. Infatti, con essa si garantisce la piena visibilità dell'avanzamento degli stati del processo, in tempo reale. Tale forma di comunicazione consente di stabilire lo stato del processo ed applicare le relative migliorie in tempi notevolmente ridotti. Un esempio di applicazione di questa strategia, potrebbe essere il semaforo di produzione di una macchina, o le aree colorate per contrassegnare una posizione specifica di un componente.

Just in Time

In questo caso non si parla di semplici migliorie estetiche per la facilitazione del lavoro, ma di una vera e propria strategia di produzione. Tale strategia prevede la realizzazione del prodotto giusto, al momento giusto, nelle quantità richieste e nelle condizioni pattuite. Tale strategia, come visto in precedenza, richiede l'applicazione di un sistema "pull", ovvero la produzione è trainata dalla domanda a valle.

Basandoci sul metodo Toyota, è possibile definire quali sono i principali metodi e principi dell'applicazione del JIT.:

- *Ridurre le scorte*: non è necessario produrre un materiale o un componente che non è necessario in questo momento, tale componente verrà prodotto quando sarà necessario alla produzione. Questo fa sì che le giacenze vengano ridotte con la conseguente riduzione dei costi di gestione e di magazzino.
- *Network di fabbriche focalizzate*: tale strategia di produzione predilige un insieme di piccole fabbriche focalizzate sulla produzione di un certo tipo di componente. Questo garantisce una produzione più rapida del prodotto finale e una notevole riduzione della burocrazia necessaria per la produzione.
- *Group Technology*: si basa su un principio di raggruppamento dei componenti simili e una relativa organizzazione del processo in celle di lavoro specializzate. Tale

organizzazione garantisce una riduzione dei tempi, delle giacenze e del numero di addetti, generando così un notevole risparmio in termini economici e di tempo.

- *Qualità alla fonte*: Tale principio prevede di studiare il processo per la realizzazione di un prodotto di qualità sin dal principio in modo da evitare modifiche successive e ottenere un prodotto di elevata qualità. Un metodo per garantire un corretto funzionamento di tale strategia risulta l'addebito di responsabilità sugli operatori per la qualità del prodotto.
- *Produzione JIT*: viene prodotto solo ed esclusivamente ciò che è strettamente necessario, questo fa sì che si possano evitare sprechi e sforzi generati dalla produzione di componenti che non verranno utilizzati, anzi andranno a gravare sull'azienda con i loro costi di immagazzinamento e gestione.
- *Minimizzazione dei tempi di riattrezzaggio*: considerando la modalità di produzione a piccoli lotti focalizzati, come definito in precedenza, tali macchinari devono essere in grado di produrre un mix di prodotti in tempi molto brevi. Per far sì che questo sia possibile, è necessario che le macchine abbiano tempi di riattrezzaggio sostanzialmente ridotti, come ad esempio i centri di lavoro, i quali posseggono una molteplicità di utensili e attrezzi per l'esecuzione di diverse tipologie di lavori.
- *Rispetto per le persone*: Un ambiente di lavoro positivo, garantisce una produzione migliore. Tenendo in considerazione questo, le aziende devono incentivare un ambiente di lavoro di questo tipo, creando riunioni settimanali per coinvolgere le persone, contratti a lungo termine con i fornitori, agevolare le relazioni dei vari dipendenti lavoratori con le aree di gestione.
- *Sistemi kanban*: verranno definiti in seguito.
- *Livellamento della produzione*: gestione del carico di lavoro per evitare un sovraccarico in un'area e il fermo delle macchine in un'altra. (19)

Fishbone Concept

Il concetto di tale strumento risulta quello di studiare e sviluppare una mappa del processo, con aree di buffering specializzate, atte all'asservimento ed il buon funzionamento del flusso della produzione con la tecnica del just in time. Grazie all'utilizzo di tale strumento, infatti, è possibile sincronizzare al meglio

le linee secondarie dei vari componenti della linea, con la linea di produzione principale in modo da evitare ritardi nella produzione ed ottenere così un flusso di produzione perfettamente sincronizzato. Si garantisce quindi una notevole riduzione dei tempi morti di produzione, con le relative riduzioni in ambito economico per le voci di costo relative all'ec-

cesso di inventario e ai ritardi di produzione.

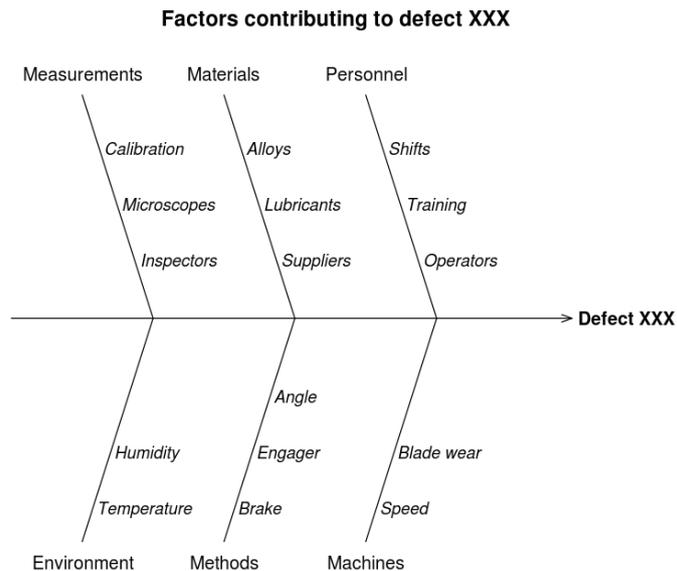


Figura 12- Ishikawa Diagram

Poka Yoke

L'idea di base di tale strategia risulta presente nel mondo da moltissimi anni, tuttavia la sua attuazione ed utilizzo per fini di miglioramento della qualità e riduzione dei difetti è attribuita all'ingegnere giapponese Shiego Shingo. Egli, infatti, ha utilizzato un semplice concetto per il raggiungimento di un obiettivo importantissimo nel campo manifatturiero, ovvero la possibilità di raggiungere una produzione con zero difetti e possibilmente eliminare i controlli di qualità. La prima bozza di tale pensiero era chiamata internazionalmente "*fool-proofing*" ovvero "*a prova di stupido*", tuttavia come facilmente intuibile, tale definizione creò non poche reazioni

da parte degli operai in quanto termine offensivo nei loro confronti. Si passò così alla nuova denominazione del termine, utilizzando due parole di origine giapponese. *Yokeru* la cui traduzione significa “evitare”, *Poka* il quale indica “errori involontari o inavvertiti”, generando così la nuova terminologia *Poka-Yoke* definita come “a prova di errore”. (20)

Il concetto di applicazione di tale strategia risulta quello di rispettare l’intelligenza delle persone e riconoscere che l’ambiente di lavoro potrebbe presentare molteplici opportunità di errori involontari, i quali andranno ovviamente a generare delle perdite di qualità e difetti di produzione. Per poter garantire che questo non accada o per lo meno evitare ogni possibile errore umano dovuto a tali situazioni, l’applicazione di tale strategia fa sì che ogni operazione eseguita dall’operatore sia ampiamente descritta in ogni suo passaggio in modo chiaro e definito.

Partendo da una dei principali errori commessi dagli operatori, infatti, si va a definire quali siano tutte le operazioni da svolgere in un definito progetto e basandosi sui risultati delle analisi degli errori, si definisce un libro guida per l’esecuzione delle stesse in modo corretto. L’applicazione di tale sistema deve garantire un miglioramento, quindi il libro guida deve essere facilmente comprensibile, mostrando l’operazione da eseguire nel modo più semplice e diretto possibile, ad esempio tramite differenziazione delle operazioni da eseguire con l’utilizzo di colori diversi, targhette identificative per particolari tipi di liquidi da utilizzare (olio, emulsione, ecc.). Tuttavia, tale operazione non ha alcun senso se questa non viene esposta e compresa agli operatori che dovranno applicarla. Infatti, ogni operazione migliorativa del Poka-Yoke deve essere definita con gli operatori stessi e una volta definito il piano di applicazione, questo deve essere esposto ai vari operatori macchina per garantire la migliore applicazione dello stesso.³³

SMED

Acronimo di *Single Minute Exchange of Die*, viene definito in italiano come “cambio stampi in minuti da una sola cifra”. Lo scopo di tale metodologia è la riduzione, in modo drastico dei tempi di set-up delle macchine.

Sviluppato dal dott. Shingo, egli impiegò ben 19 anni per la realizzazione e perfezionamento di tale strategia. Il concetto nacque quando egli notò che due importanti concetti alla base dello

³³ Alcuni esempi di tale strategia verranno definiti in seguito nel capitolo VI, relativo all’applicazione delle strategie in azienda

SMED sono applicati in tutte le aziende e potevano essere migliorati. Tali concetti riguardano le modalità di set-up delle macchine:

1. Esistono due tipologie di set-up delle macchine, *il set-up interno*, in quale definisce che le operazioni devono essere svolte necessariamente a macchina ferma; ed il *set-up esterno*, che definisce le operazioni che possono essere svolte anche mentre la macchina lavora.
2. Si potrebbe ottenere una notevole riduzione dei tempi di set-up con il relativo incremento dei tempi di operatività delle macchine, spostando il più possibile le operazioni di set-up da interne ad esterne. (21)

L'utilizzo di tale strategia prevede quindi lo studio delle modalità di set-up delle macchine, al fine di favorire poi una modalità di set-up esterna, per quanto possibile, in modo da ridurre i tempi dello stesso ad un valore di minuti a singola cifra, ovvero inferiore ai 10 minuti. Va sottolineato che questo non è sempre raggiungibile, tuttavia l'implementazione dello SMED porterebbe comunque ad una notevole riduzione dei tempi di set-up, generando così un notevole incremento della produttività delle macchine.

Considerando ora le modalità in cui i clienti richiedono i loro prodotti, ovvero con una notevole varietà, livelli qualitativi elevati velocità di spedizione, lo SMED risulta essere uno strumento molto efficace per incontrare le necessità dei clienti ed al contempo ridurre sprechi e incrementare la profittabilità della produzione a Lotti.

Lo SMED risulta inoltre un fattore incredibilmente positivo, non solo per le aziende e i clienti, ma anche per gli operatori. Infatti, esso garantisce postazioni di lavoro più sicure ed un'attività giornaliera più fluida, dovuta alla semplificazione delle operazioni. In particolare, questi benefici son dovuti ad una postazione meno intasata di lavoro e di conseguenza non risulta necessario tenere vicine tutte le attrezzature necessarie per il set-up per tempi lunghi.

La metodologia di applicazione di tale sistema, si basa su tre step principali, per poter procedere ad essi però è necessaria un'analisi del set-up nella fase precedente all'implementazione della strategia. Questa viene fatta tramite un monitoraggio e rilievo, tramite registrazioni video dell'intera operazione di set-up, a questa segue una discussione con gli operatori addetti a tale funzione per comprenderne al meglio il funzionamento e definire quindi tramite uno studio approfondito i tempi e i movimenti di ogni operazione.

Ora che tali studi hanno fornito tutte le informazioni necessarie, è possibile implementare la nuova strategia tramite i suoi tre step:

1. Separazione tra fasi *interne* ed *esterne*;
2. Spostamento e conversione delle fasi interne in fasi esterne;
3. Ottimizzazione delle operazioni di Set-up.

Kanban

Definito dal giapponese, “*Cartellino*”; “*Segnale*”, questa strategia viene fondata all’interno della filosofia Toyota come elemento portante per la gestione dell’utilizzo dei materiali e del loro metodo di gestione del flusso per evitare un fermo della produzione. Tenendo in considerazione il “The APICS Dictionary” questo viene definito come “*a method of just-in-time production that uses standard containers or lot sizes with a single card attached to each*”, ovvero “*una metodologia o un metodo di applicazione del sistema JIT, il quale si basa sull’utilizzo di contenitori standard o lotti a quali viene attaccato un cartellino*” (22)

Sviluppata in Giappone negli anni ’70, la sua etimologia indica un sistema di controllo e gestione della produzione al fine di evidenziare le operazioni svolte. Grazie a tale comunicazione, è possibile definire un linguaggio di comunicazione tra la macchina operatrice e i sistemi di rifornimento a monte che devono garantire il soddisfacimento del fabbisogno della macchina. Infatti, tenendo in considerazione un sistema di produzione “pull”, la produzione è basata su un sistema di reintegro dei beni consumati dalla macchina a valle al fine di poter così garantire una produzione nelle quantità giuste al momento giusto.

Prendendo sotto esame ora il cartellino, ognuno di essi è definito da una serie di codici univoci, i quali definiscono ogni aspetto di quel lotto di materiale (nome fornitore, luogo della consegna, N° disegno del pezzo, tipo di macchinario, quantità nel contenitore ecc..). Quando il lotto è vuoto, quel codice viene scannerizzato e il lotto sostituito con uno pieno a cui viene attaccato nuovamente quel cartellino, il quale ne indica ogni dettaglio del contenuto e il numero di pezzo contenuti. In questa tipologia di produzione, il contenitore viene definito come livello di rioridino, ovvero il livello minimo a cui si può arrivare prima che la produzione vada in deficit di materie prime, senza però creare un surplus. (19)

Tale sistema definisce quindi un metodo di lavoro molto efficiente, in particolar per il mantenimento ed il potenziamento del sistema “Pull”, ogni scheda Kanban definisce il numero di contenitori necessari alla produzione che scorrono avanti e indietro tra fornitore e cliente. Dove, ciascun contenitore definisce il lotto minimo di produzione ed il numero di questi risulta essere direttamente proporzionale alla quantità WIP³⁴ del sistema.

³⁴ Work in Process: materiale in corso di lavorazione

Six Sigma

Ideato e definito da *Mikel Harry* alla fine degli anni '80, presso gli stabilimenti della Motorola, tale strategia ottiene un riconoscimento mondiale grazie al suo utilizzo presso la General Electric alla metà degli anni '90, quando si evolse da una metodologia per il miglioramento del processo fino ad una filosofia di produzione aziendale. Questa viene infatti definita come la migliore scoperta in ambito qualitativo degli ultimi tempi, creando una notevole riduzione della spesa economica aziendale e del tempo dedicato per la gestione della stessa, garantendo al contempo, un livello di produzione superiore, riduzione dei tempi ciclo, migliore soddisfacimento del cliente ecc... Nel corso degli anni la metodologia del six Sigma si è evoluta considerevolmente, da un metodo per la definizione del livello qualitativo del prodotto basato su un approccio statistico, fino alla struttura di miglioramento continuo attuale.

Esistono diverse definizioni di questa strategia, sviluppate in diversi anni da diversi autori, al fine di illustrare il pieno funzionamento della metodologia, viene riportata la seguente: “A comprehensive and flexible system for achieving, sustaining and maximizing business success. Six Sigma is uniquely driven by close understanding of customer needs, disciplined use of facts, data, and statistical analysis, and diligent attention to managing, improving, and reinventing business processes” (23) Ovvero, “Un sistema completo e flessibile per raggiungere, sostenere e massimizzare il successo aziendale. Six Sigma è guidato unicamente da una profonda comprensione delle esigenze dei clienti, da un uso disciplinato di fatti, dati e analisi statistiche e da un'attenzione diligente alla gestione, al miglioramento e alla reinvenzione dei processi aziendali”

Una definizione di tale genere, per quanto chiara e definita non garantisce la piena comprensione dello scopo del six sigma. Per raggiungere tale obiettivo, occorre definire quale sia lo scopo di tale strategia e perché questo è importante. In questo caso si parla come scopo del six sigma, dell'ottenimento di una difettosità della produzione pari a 3.4 parti per milione, affiancato ad un miglioramento continuo dell'azienda. Introdotto da Motorola nel 1985, al fine di contrastare la competizione giapponese, questi impostarono il loro obiettivo in modo che la variabilità del processo, misurata come deviazione standard (σ), fosse $\pm 1/6$ della tolleranza ammessa. Successivamente, dopo un'attenta analisi, venne definito che il processo poteva essere succube di fonti di disturbo che facessero variare la media di circa 1.5 deviazioni standard dal target del processo. Dalla fattorizzazione di tali risultati, si ottenne un risultato altamente

inaspettato, infatti se prima con una metodologia 3 sigma si potevano ottenere 66810 difetti per milione, con questa nuova metodologia si ottenne una drastica riduzione delle difettosità fino a 3.4 difetti per milione (24)

Va comunque considerato che tale strategia non risulta essere applicabile a tutti i tipi di produzione, infatti, sebbene questa strategia si basi sul miglioramento continuo del processo al fine di ottenere il miglior risultato possibile per l'azienda, la sua applicazione potrebbe generare dei costi economicamente non sostenibili per il miglioramento del processo. In particolare, nel caso in cui un normale processo venga sviluppato con strategia 3 sigma, risulterà relativamente semplice ed economico instaurare un processo 4 sigma, tuttavia il passaggio di altre due deviazioni standard fino al raggiungimento del six sigma, risulterà complesso e molto costoso da implementare.

Tenendo in considerazione quanto introdotto finora, la metodologia del six sigma, può essere definita come una metodologia di problem solving strutturata, la quale prevede l'esecuzione di interventi mirati per periodi relativamente brevi (3-4 mesi), al fine di individuare quali sono le persone e le attività coinvolte con le relative responsabilità. Partendo da queste, tramite l'applicazione delle attività con un percorso definito, con strumenti come il DMAIC ed il DMADV, si garantisce un intensivo utilizzo delle metodologie di gestione della qualità. Va però specificato, che tale metodologia consente il suo funzionamento solo ed esclusivamente se nell'azienda il concetto di leadership è ben conosciuto, definito ed applicato. Infatti, per poter ottenere il risultato desiderato, l'organizzazione aziendale deve agire come un tutt'uno al fine di poter implementare la strategia six sigma in tutta l'azienda con sistema Top-Down.

La struttura organizzativa del six sigma va ad abbracciare tutti i ruoli aziendali, ricercando i migliori talenti aziendali e utilizzare i risultati all'interno del processo del six sigma, come base per gli avanzamenti professionali dei lavoratori. Per poter suddividere al meglio questi compiti, è stata definita una gerarchia in base alla conoscenza del processo del six sigma, ognuno di questi comporta notevole differenza in ambito delle mansioni da eseguire e delle conoscenze necessarie.

- *Green Belt*: si tratta del ruolo base riconosciuto come conoscitore della strategia del six sigma, si tratta di personale che viene dedicato al processo del six sigma solo parzialmente o per un periodo di tempo ridotto, in media questi conducono 1-2 progetti all'anno in quanto non esperti del settore.

- *Black Belt*: al contrario dei Green Belt, questa tipologia di personale gestisce di continuo i progetti six sigma, in quanto esperti del settore. La loro funzione principale è quella di lavorare insieme ad altri membri sotto forma di team al fine del raggiungimento dello scopo comune del miglioramento di qualità.
- *Master Black Belt*: perfettamente in grado di eseguire la gestione dei progetti tramite il loro pieno controllo del metodo e degli strumenti del six sigma. Queste figure rappresentano i mentori delle Black Belt.
- *Sponsor*: si tratta di responsabili del gruppo, i quali supportano operativamente i progetti. Questi vengono affiancati dalle black Belt
- *Champions*: responsabili del processo e di funzione, sono il top della scala gerarchica, eseguono le loro funzioni affiancati dalle Master Black Belt (25)

1	Leadership Council	Quality Council, Six sigma Steering Committee
2	Sponsor	Champion, Process Owner
3	Implementation leader	Six Sigma Director, Quality Leader, Master Black Belt
4	Coach	Master Black Belt or Black Belt
5	Team Leader	Black Belt or Green Belt
6	Team Member	Team Member or Green Belt
7	Process Owner	Sponsor or Champion

Figura 13 esempi di tramutazione da ruoli generici a cinture o altri titoli (38)

Fasi di applicazione del Six Sigma

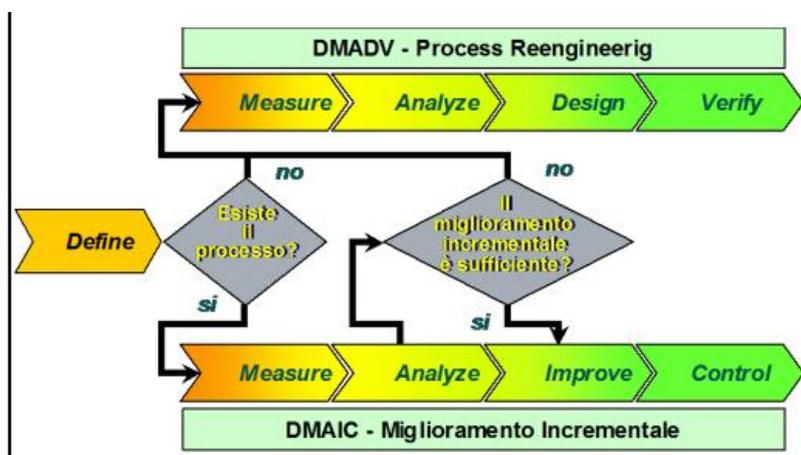
Ora che abbiamo visto le varie origini e definizioni di questa strategia, risulta opportuno definire quali sono i metodi di applicazione utilizzati. In particolare, si possono definire due principali metodi di applicazione del six sigma, Il DMADV ed il DMAIC. Entrambi risultano molto utilizzati, sebbene abbiano scopi differenti. Infatti:

- il DMADV definisce le esigenze del cliente per il prodotto o servizio richiesto, al fine di determinare un modello di business appropriato al soddisfacimento delle esigenze dei clienti.

- *Define*: in questa fase viene sviluppato il piano da eseguire per l'esecuzione del progetto, inclusi i rischi, la definizione del personale e dell'obiettivo finale.
 - *Measure*: tramite analisi di mercato ed elementi statistici, si definiscono i punti critici qualitativi ed i fabbisogni dei clienti.
 - *Analyze*: Si analizza la fattibilità del progetto, tramite analisi per la definizione dei passaggi critici per la qualità e diagrammi causa effetto o fishbone, al fine di raggiungere le richieste del cliente e soddisfarlo al meglio.
 - *Design*: in questa fase si esegue un progetto dettagliato del miglior design possibile di quanto discusso fino alle fasi precedenti, al fine di soddisfare le richieste del cliente.
 - *Verify*: fase di verifica e controllo, utile per la verifica di tutti i processi e verificare la fattibilità generale del progetto e la sua capacità di raggiungere i fabbisogni del cliente.
- mentre il DMAIC definisce un processo aziendale con le sue prestazioni attuali e se questo risulta realmente applicabile, al fine di sviluppare un piano di miglioramento continuo aziendale ed eliminare o ridurre così i difetti.
- *Define*: come nel caso precedente, anche in questo caso, si tratta di una fase di definizione degli obiettivi e del risultato atteso dal cliente, sia questo interno o esterno.
 - *Measure*: fase di determinazione della performance attuale del processo.
 - *Analyze*: Fase di analisi di tutto il processo e dei suoi componenti al fine di determinare le sue cause radice per un futuro miglioramento.
 - *Improve*: Una volta definiti i processi, le fasi o parti di essi che creano difetti, si procede all'eliminazione di questi, al fine di incrementare la produzione e la qualità.
 - *Control*: Fase di verifica e controllo delle prestazioni future, atto alla definizione di possibili cause di difetto nel nuovo processo.

Possiamo quindi notare, come i due metodi di applicazione, risultino essere molto simili tra loro. Come abbiamo detto in precedenza, la principale differenza nella scelta di uno dei due metodi, riguarda la tipologia di processo che si vuole analizzare e migliorare con la strategia del six sigma. Stando a quanto illustrato finora, il sistema DMADV, viene utilizzato quando si ha a che fare con un nuovo processo, mentre il DMAIC, viene applicato quando si intende migliorare un processo esistente.

Con un'analisi più dettagliata però possiamo notare come le due strategie, non essendo così diverse fra loro, potrebbero essere utilizzate erroneamente. Infatti, come illustrato nella Figura 14, partendo dalla fase di definizione comune ad entrambi i processi, si arriva ad una domanda base, in cui si potrebbe ottenere una prima separazione. Se il processo non esiste si proseguirà direttamente con la struttura DMADV, mentre se questo esiste si procederà con la struttura DAMIC. Tuttavia, nel caso ci si ritrovi in questa situazione, per definire al meglio quale utilizzare occorre attendere il termine della fase di analisi, oltre la quale sarà necessario porsi una seconda domanda fondamentale, “il miglioramento incrementale è sufficiente?”. In caso di risposta affermativa, si procederà con la struttura DMAIC, per un normale miglioramento incre-



mentale. In caso contrario, si procederà alla ridefinizione generale del processo di produzione, passando da una strategia DMAIC ad una DMADV. (25)

Figura 14- Applicazione Fiat Avio (26)

Benefici del Six Sigma

Come visto finora, l'applicazione del six sigma detiene moltissime componenti, ma quali sono i benefici nell'applicazione di tale strategia?

1. *Maggiore redditività e migliore performance finanziaria:* grazie all'utilizzo di processi con minore difettosità e con un miglioramento continuo, si avrà una riduzione delle perdite qualitative e di quelle operazionali, seguite da una riduzione dei costi di rilavorazione e scarsa qualità. Questi andranno a generare metodi di produzione sempre migliori e meno costosi, contribuendo alla creazione di ricavi e risparmi notevoli, i quali andranno ad incrementare il reddito aziendale.
2. *Riduzione dei costi di qualità e non produttività:* Tali costi risultano essere i maggiori di tutti. Se si prende in considerazione un qualsiasi processo, se un componente non raggiunge le qualità necessarie per superare i test relativi alla qualità, questo dovrà

essere gettato via. Tale operazione va a generare un costo notevole sull'azienda, in quanto oltre al mancato guadagno dovuto ad un pezzo che non è possibile mettere sul mercato, l'azienda dovrà sopportare i costi di produzione legati ad un pezzo che non verrà utilizzato. Grazie alla strategia del six sigma invece, è possibile ridurre tale difettosità e la relativa perdita economica dovuta al costo di qualità

3. *Maggiore fedeltà dei clienti*: il motivo principale per cui un cliente cambia produttore, risulta essere l'insoddisfazione dai loro prodotti. Tenendo in considerazione questo punto è facile osservare come, considerando che uno degli obiettivi principali del six sigma risulta essere proprio il soddisfacimento del cliente, tale strategia risulta essere la migliore per sopperire queste perdite.
4. *Miglioramenti produttivi*: l'implementazione di questa strategia genera tempi di lavoro molto meno stressanti per i dipendenti e tempi ciclo più brevi. Come analizzato da diversi studi, un dipendente felice, genera una maggiore e migliore produttività di uno stressato ed infelice. È quindi compito del suo datore di lavoro garantire un ambiente di lavoro privo di stress. L'implementazione del six sigma, fa sì che l'operatore possa gestirsi al meglio il suo tempo, riducendo al minimo le fonti di stress. Incrementando così la sua motivazione ad eseguire un lavoro migliore, in un tempo ottimale con tempi ciclo ridotti. (27)

TPM

“Total Productive Maintenance”, Questa voce, sebbene definita come tecnica di supporto del Lean thinking, sarà definita in un capitolo a sé stante in quanto argomento principale della fase successiva di definizione delle operazioni eseguite durante il tirocinio curriculare su cui si basa questo lavoro di tesi.

Conclusioni

L'approccio del six sigma detiene un elevatissimo potenziale per il miglioramento del valore aggiunto e del vantaggio rispetto ai propri concorrenti. La sua applicazione, infatti, ha fatto sì che queste aziende potessero sviluppare un incremento della loro performance e del loro livello qualitativo a dir poco straordinario. Generando notevoli vantaggi come, la riduzione di costi, l'incremento della produttività, ed il miglioramento continuo dell'azienda in modo sostenibile, dal punto di vista operativo ed aziendale, ed una miglioria nell'ambiente di lavoro, garantito dagli operai. Tutte queste migliori fanno sì che il Six Sigma sia una delle armi principali per la riduzione dei difetti e l'incremento della soddisfazione del cliente.

Capitolo V: La Total Productive Maintenance

Introduzione

La manutenzione preventiva venne esportata dall'America al Giappone negli anni '50, da quel momento, varie aziende hanno iniziato a studiare alcuni perfezionamenti di tale strategia e cercare di migliorarne i risultati. Grazie a due decenni di sviluppi riguardanti processi automatici e sofisticati, il Giappone introduce il nuovo sistema manutentivo, un mix tra automazione, ambienti simulati, miglioramento continuo e produzioni Just-in Time, creando così un approccio manutentivo innovativo e rivoluzionario, chiamato "*Total Productive Maintenance, TPM*" (28)

Definito come una manutenzione totale per l'intero processo produttivo, questa strategia si basa su una maggiore attenzione ai dipendenti ai macchinari al fine di raggiungere l'obiettivo finale di migliorare la produttività. Questo sarà possibile tramite il raggiungimento di un livello di produzione che garantisca una perdita pari a zero e migliori i metodi di produzione. Questa strategia fu introdotta nel 1971 dal *The Japan Institute of Plant Maintenance*, che dopo un'analisi profonda e adeguata, la introdusse presso la "*Nippon Electrical Equipements Co., Ltd*" attualmente conosciuta come *Denso Corporation*. (29)

Dopo la sua prima applicazione in Giappone, il TPM viene utilizzato da moltissime aziende. Le prime ad implementarlo furono principalmente aziende del settore automobilistico (es. Toyota, Nissan, Mazda), successivamente il suo utilizzo si ampliò anche ad aziende di altri settori, Tuttavia, finora nessuno aveva utilizzato la metodologia al meglio delle sue capacità. Infatti, questa veniva applicata solo ed esclusivamente in aziende manifatturiere e nella sola sezione produttiva. Solo in seguito venne scoperto che un'applicazione della stessa strategia in tutti i livelli aziendali, poteva produrre benefici non indifferenti sia come aspetto logistico che economico. In questa fase, infatti, vennero definiti i due principali step dell'applicazione del TPM:

- *La Fase uno*: prevede l'implementazione della strategia solo ed esclusivamente nel reparto produttivo dell'azienda.

- *La Fase due*: Prevede che una volta eseguita una corretta instaurazione del processo nella fase produttiva, si vada ad ampliare la strategia a tutta l'azienda, includendo così tutti i reparti (Sviluppo, Amministrazione, Vendite e produzione)

Da quel momento la strategia del TPM ebbe un vero e proprio Boom, con un'espansione non solo nelle aziende Giapponesi, ma in tutto il mondo, venendo introdotta in diverse compagnie con sede in Europa, U.S.A, Asia, Sud America ecc...

Questo grande successo nacque dal fatto che il TPM garantiva dei risultati tangibili alle aziende in cui veniva applicato. In particolare, tale strategia garantiva notevoli vantaggi come la riduzione dei fermi mezzi, dei tempi ciclo e delle rotture dei componenti. Inoltre, garantiva un maggiore coinvolgimento degli operatori, una maggiore produttività ed un notevole miglioramento della qualità totale di produzione. L'applicazione di tale strategia però non aveva delle migliorie solo sulla produzione, infatti grazie ad essa si poteva ottenere un posto di lavoro più pulito, ordinato e sicuro, con il rispettivo miglioramento della felicità e della produttività degli operatori.

Tale strategia possiede, come spesso accade, molte definizioni, quella riportata sulla normativa internazionale la definisce come, *L'insieme di azioni volte alla prevenzione, al miglioramento continuo e al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione al conduttore dell'impianto/macchinario, avvalendosi del rilevamento di dati e della diagnostica sulla entità da mantenere.* (30)

Grazie all'applicazione di questa strategia, sarebbe stato possibile raggiungere 5 importantissimi punti definiti dal JIPM. Tuttavia, la prima definizione della strategia, venne introdotta nel 1971³⁵, e si basava su un approccio per reparti e non per l'intera azienda. In seguito all'implementazione in così larga scala del TPM, nel 1989 il JIPM introdusse una nuova definizione dei 5 traguardi raggiungibili con il TPM: (28)

1. l'obiettivo aziendale deve essere definito come l'impiego più efficiente dell'impianto;
2. L'organizzazione aziendale deve essere sviluppata in modo da prevenire qualsiasi tipo di perdite o difetti, Implementando un sistema di PM globale al fine di migliorare la vita dell'impianto.
3. Tutti i Reparti aziendali devono essere inclusi nell'area di applicazione della strategia;

4. Tutti devono partecipare, ogni risorsa umana, sia essa facente parte dell'amministrazione, reparto vendite, area produzione ecc. deve essere coinvolta nel progetto.
5. Organizzazione dei progetti in piccoli gruppi al fine di ridurre al minimo il numero di errori e garantire l'obiettivo di *Zero Perdite*.

Gli 8 Pilastri del TPM

Seguendo quanto introdotto fin qui, il TPM implica una strategia applicata a tutta l'azienda, in ogni suo livello al fine di ridurre lo spreco e le perdite che potrebbero ridurre l'efficienza. Questo comporta un incremento del valore aggiunto per l'efficienza ed in tempo di produzione e di conseguenza, genera un miglioramento qualitativo. Tenendo a mente questi importantissimi

punti chiave, Il padre di tale strategia *Seiichi Nakajima*, definì la stessa, come fondata su 8 pilastri principali, il cui funzionamento in modo uniforme garantisce una corretta applicazione del TPM.



Miglioramento specifico dei Macchinari

L'utilizzo di tali linee guida fa sì che ci si possa focalizzare su un miglioramento sia delle persone che degli impianti, generando così un Miglioramento aziendale totale. In passato era sufficiente basarsi sull'azione manutentiva degli operai specializzati, questi conoscevano a fondo la macchina e la maggior parte delle volte i difetti erano minimi, come minima era la complessità dei macchinari utilizzati. Al giorno d'oggi l'avanzamento tecnologico, la globalizzazione, un mercato che pretende prodotti di qualità sempre superiore in quantità ridotta e tempi molto brevi, le normali macchine non riescono più ad essere sufficienti. Di conseguenza le aziende hanno

eseguito investimenti enormi sullo sviluppo tecnologico della loro produzione, installando centri di lavoro estremamente costosi al fine di poter garantire i livelli di produzione. Tale miglioria però ha generato un diverso problema dal punto di vista manutentivo, il fermo di questi macchinari risulta essere estremamente costoso per l'impianto e non sempre tali fermi son generati da piccoli interventi. Per far sì che questi fermi possano presentarsi il meno possibile, la strategia del TPM fa in modo che gli operatori vengano coinvolti nel processo come proprietari e responsabili dei loro macchinari al fine di ottenere una nuova cultura aziendale che si potrebbe esprimere come: *“Devo essere io a prendermi cura della mia macchina!”* (31)

L'implementazione di tale filosofia e scuola di pensiero, ha lo scopo di modificare il tipo di approccio che un operatore ha con la sua macchina, un pensiero che accetta le perdite all'interno del processo, non è in linea con il processo del TPM, per questo occorre modificare il pensiero degli operatori sulle perdite. Frasi del tipo *“è una cosa da niente, oppure, ma è normale che ci siano delle perdite”*, generano in automatico un pensiero negativo che porta alla mancata esecuzione di tutte le attività che possono evitare una perdita di produzione dell'impianto. Dopo un'attenta analisi, è stato definito che le perdite produttive degli impianti, sono generate da sei casi principali:

1. *Perdite per guasti*: Perdite di tempo che si verificano nonostante l'applicazione dei corretti sistemi manutentivi, ma un utilizzo errato della macchina.
2. *Perdite per attrezzaggi e regolazioni*: Tempi necessari per eseguire gli attrezzaggi e le regolazioni pre-lavorazione. Questi tempi a volte risultano essere più lunghi del tempo di lavorazione stesso, vista la necessità di utilizzare componenti particolari.
3. *Perdite per funzionamenti a vuoto e microfermate*: si tratta di fermi molto brevi e piccoli, tuttavia molto frequenti. L'esistenza di tali fermi, fa sì che l'operatore debba costantemente verificare la corretta esecuzione del lavoro e in caso non lo fosse deve sbloccare la macchina dalla situazione di stallo, creando così una possibile situazione di pericolo oltre alla riduzione generale di tempi di lavoro.
4. *Perdite per riduzione di velocità*: nel caso in cui ci si trovi a lavorare con un parco macchine datato, potrebbe capitare che alcune macchine necessitino di dover lavorare a velocità inferiori rispetto ad altri macchinari più nuovi. Di conseguenza si creerà una differenza nei tempi di produzione tra le diverse macchine
5. *Perdite per difetti e riparazioni*: Molto spesso sono generati durante gli orari di straordinario o momenti in cui l'operatore è stanco o stressato. Si tratta di una perdita dovuta ad una precipitazione del livello qualitativo dei pezzi prodotti. Tale riduzione di qualità

fa sì che i componenti prodotti debbano essere eliminati o rilavorati, creando delle lavorazioni non previste e di conseguenza delle perdite.

6. *Perdite di resa all'avviamento*: Tale perdita definisce il tempo necessario per avviare il macchinario, potrebbe essere molto breve in caso di macchinari semplici, come un tornio, o molto lunga in caso di macchinari complessi come dei forni o macchinari per i processi speciali. L'esempio più semplice che potremmo fare per questa tipologia di perdite è rappresentato dal tempo che ognuno di noi impiega la mattina per essere completamente sveglio ed operativo.

Lo scopo finale della strategia del TPM risulta essere proprio quello della riduzione o eliminazione delle sei grandi perdite. Per ottenere tale risultato, viene consigliato di applicare il TPM nei momenti in cui si lavora maggiormente, questo aiuterà a definire i motivi per cui si sta lavorando così male. Al fine di poter effettuare una tale valutazione, risulta opportuno utilizzare un sistema per la verifica di tale andamento. Questo si chiama *Efficienza Globale dei Macchinari*³⁶, e determina lo stato di salute delle macchine e di conseguenza la loro efficacia nelle lavorazioni. Esse si determina tramite la seguente equazione:

$$\text{Efficienza Globale} = \text{Disponibilità pratica} * \text{efficienza Prestazioni} * \text{indice qualità}$$

Grazie ad essa è possibile determinare i tempi persi con le sei grandi perdite. Considerando inoltre che tali fermi o perdite generano un enorme perdita a livello economico, è premura dell'operatore risolvere nel minor tempo possibile tali funzionamenti errati al fine di ottenere l'obiettivo del TPM *Zero Perdite*. Se analizziamo in fondo le sei grandi perdite e gli effetti da esse generate, possiamo notare come le prime due voci, vadano ad affliggere la *Disponibilità*, le seconde due, Affliggono l'*Efficienza*, e le ultime due la *Qualità*.

³⁶ Identificato in precedenza come indice di performance OEE.

Manutenzione Autonoma

Questo tipo di manutenzione indica tutto quell'insieme di attività svolte dall'operatore per prendersi cura personalmente della propria macchina. Questo comprende attività di ispezione quotidiana dell'impianto, verifica dei livelli di lubrificazione, sostituzione componenti e riparazioni atti alla scoperta in modo precoce di eventuali anomalie o malfunzionamenti che potrebbero generare un guasto.

L'implementazione di questa strategia manutentiva implica un salto di qualità ed un cambio di filosofia rispetto al passato. L'esecuzione della manutenzione non spetta più solo ai manutentori ma anche agli operatori che utilizzano la macchina e ne conoscono il funzionamento meglio di chiunque altro, introducendo così il concetto di proprietà del macchinario e la cultura verso gli operatori il cui pensiero deve essere *“Sono io a prendermi cura della mia macchina”*.

Tra le definizioni fornite fin qui è stato espresso che sarà compito degli operatori eseguire i vari interventi manutentivi, tuttavia non è chiaro fino a che punto l'operatore può eseguire l'intervento e quando invece sarà necessario contattare i manutentori. Al fine poter definire tali limiti, la procedura di AM si basa su 7 step progressivi, suddivisi tra loro da un lasso di tempo abbastanza lungo da poter definire quali siano i risultati e come procedere per il prossimo in modo efficiente. La verifica del completamento e corretta esecuzione viene eseguita al termine di ogni step dai supervisori, i quali, tramite apposite liste di controllo *Check-list*, eseguono una verifica delle migliorie raggiunte e determinano se l'esecuzione dell'attività ha prodotto i risultati richiesti. Questi step sono:

1. *Ispezione e Pulizia*: Si tratta della prima attività, in cui si procede alla pulizia del macchinario al fine di poter eseguire una corretta ispezione e facilitare l'identificazione di eventuali inconvenienti.
2. *Contromisure per l'origine dello sporco e posti di difficile accesso*: Azioni atte alla prevenzione di accumulo di sporco nella macchina e facilitazione dell'esecuzione delle attività tramite il miglioramento dei punti di difficile accesso, riducendone così anche i tempi di esecuzione.
3. *Elaborazione degli standard di pulizia e lubrificazione provvisori*: elaborazione delle informazioni per definire un programma di esecuzione delle azioni di pulizia e lubrificazione con frequenze stabilite e ridurre così i tempi di esecuzione.

4. *Ispezione generale*: Formazione delle competenze tecniche necessarie per l'esecuzione delle attività di ispezione sul macchinario e individuazione delle imperfezioni tramite un programma di ispezione e ripristino.
5. *Ispezione autonoma*: Elaborazione ed esecuzione delle liste atte alla verifica e controllo dell'ispezione autonoma.
6. *Gestione del mantenimento*: Basandosi sui dati fin qui originati, si esegue una standardizzazione dei processi per la gestione dei vari reparti e creazione di un sistema manutentivo completo (Standard ispezione, standard gestione dati, attrezzature, ecc.).
7. *Gestione autonoma Completa*: Analisi del tempo tra guasti MTBF in modo continuo e definizione degli obiettivi che si intendono raggiungere ed il relativo miglioramento.

Nei grandi impianti dove vengono eseguite notevoli modifiche in un tempo ridotto, tramite l'esecuzione di attività manutentive molto drastiche, si ottengono sempre dei risultati in scala maggiore rispetto alle migliorie relative all'automantenzione. Questa però avendo un approccio simile alla medicina tradizionale cinese, tende a portare piccole migliorie, durature nel tempo, garantendo un ridotto ma continuo miglioramento della macchina e degli operatori.

Manutenzione Programmata

Questa procedura include tutte quelle azioni manutentive programmate nel tempo la cui esecuzione permette un risultato strutturato nel tempo ed una riduzione dei fermi mezzi per l'esecuzione della stessa. Tuttavia, per poter garantire tali risultati, occorre eseguire una corretta pianificazione dell'esecuzione delle attività, in quanto una strategia errata potrebbe generare un aumento dei costi dovuti all'esecuzione di operazioni non necessarie.

Questa strategia è stata esplicitata in tutte le sue definizioni e sottocategorie, nei capitoli precedenti nella definizione delle tipologie di manutenzione.

Formazione ed Addestramento

La formazione degli operatori definisce un aspetto molto importante per l'azienda. In fase di assunzione, l'azienda ricerca sempre del personale qualificato o che abbia le conoscenze base per l'esecuzione delle operazioni. Tuttavia, questo non è sempre disponibile e risulta nell'interesse dell'azienda definire un piano di formazione dei suoi dipendenti al fine di migliorare le loro capacità produttive e di conseguenza quelle aziendali.

La strategia utilizzata dalle aziende per la formazione del personale si basa su quattro step principali, definiti dalla tipologia e livello di formazione dell'operatore:

- Lo step uno definisce gli operatori nel momento in cui non si conoscono a priori quali siano le conoscenze necessarie per l'esecuzione delle attività. Si tratta normalmente della prima fase di accesso in azienda in cui il dipendente deve essere totalmente formato.
- Il secondo step definisce la fase successiva, ovvero quando dopo un adeguata formazione teorica, l'operatore ha acquisito le competenze teoriche. Tuttavia, risulta ancora sprovvisto delle competenze pratiche per poter applicare le varie nozioni acquisite.
- Il terzo step semplifica il problema dello step precedente, ovvero si ottiene quando a seguito di un adeguato periodo di tempo l'operatore ha acquisito la padronanza esatta delle attività prima conosciute solo in modo teorico e le può applicare sul campo. Tuttavia, essendo questo parte di una realtà più grande, è necessario che l'operatore sia in grado di poter trasmettere tali conoscenze a coloro che seguiranno il processo dopo di lui.
- L'ultimo step riguarda proprio la completa padronanza delle informazioni da parte dell'operatore e la possibilità di questo di poter formare altri dipendenti e favorire la crescita aziendale.

Si può notare quindi come il processo si basi su un ciclo di formazione autonoma all'interno dell'impianto tra gli stessi dipendenti, facilitando così la progressione dell'azienda e riducendo al minimo le spese per la formazione, con un risultato di pari livello.

Manutenzione Qualità

Questo pilastro si basa sulla riduzione della perdita di qualità percepita dal cliente. Questo, agisce tramite l'applicazione di adeguate strategie manutentive, verifiche e ispezione delle macchine, al fine di identificare il livello qualitativo di produzione delle macchine e poter operare in anticipo sui componenti che ne riducono le prestazioni in tale ottica.

Si tratta quindi di un'attività mirata alla riduzione dei difetti tramite analisi continue e periodiche sui componenti critici delle macchine che generano delle non conformità di produzione e di conseguenza, l'esecuzione di rilavorazioni o produzione di scarti, non utili alla produzione in quanto non generano nessun valore aggiunto.

TPM negli Uffici

Questo pilastro si basa sull'applicazione della strategia del TPM all'interno degli uffici. Si tratta quindi di una revisione delle modalità di esecuzione delle attività amministrative del processo, al fine di garantire un livello di produzione con perdite minime. Va specificato che si tratta di un'attività la cui esecuzione segue tutte le altre introdotte nei pilastri precedenti (automanutenzione, Kaizen, 5S, Programmata e qualità).

Si può notare quindi che tale strategia si basi sulla riduzione al minimo delle sei grandi perdite, precedentemente introdotte e dei loro effetti sulla produzione. Alcuni esempi potrebbero essere la creazione di programmi di esecuzione della manutenzione nei momenti in cui l'operatore è in pausa pranzo o la verifica delle attività per eliminare quelle ripetitive.

Si tratta quindi di un importante strumento amministrativo per combattere il principale avversario del TPM e della Lean Manufacturing, *il Muda*.

Sicurezza e amministrazione

Come in ogni lavoro, è necessario eseguire tutte le operazioni seguendo le relative procedure e norme di sicurezza. Questo pilastro della TPM definisce infatti che tutte le attività descritte negli altri pilasti vengano eseguite seguendo tutte le normative di sicurezza e ne garantisce la definizione in ogni passaggio.

Si deve creare quindi un livello di consapevolezza negli operatori per l'esecuzione delle attività, tramite corsi di formazione relativi alla sicurezza, le procedure da eseguire in fase di lavorazione e di emergenza, i vari dispositivi di protezione individuale da utilizzare in produzione e non e come identificarli nei relativi avvisi.

Si tratta quindi di un pilastro importantissimo del TPM, in quanto ha come scopo il raggiungimento dell'indice di ZERO incidenti, ZERO danni sulla salute e ZERO incendi, garantendo così la sanità e la sicurezza del personale aziendale.

Le 5S

Sebbene queste siano state introdotte ed abbondantemente descritte in precedenza nel relativo capitolo, in questa sezione vedremo alcuni esempi della sua applicazione.

L'applicazione di tale strategia consente l'esecuzione dei lavori in maniera semplificata, garantendo delle postazioni di lavoro ordinate, pulite e semplificate. Tutto questo fa sì che la produzione ne possa giovare nella sua riduzione dei tempi esecuzione delle fasi di preparazione da

parte dell'operatore. Infatti, una volta definite ed applicate tutte e cinque le fasi della strategia, l'operatore non dovrà più perdere del tempo per la ricerca degli strumenti necessari, anzi questi saranno ben visibili e disponibili per lui in qualsiasi momento, come visibile nella Figura 15.

Esempi di sistemazione a bordo macchina



Figura 15- esempio applicazione 5s per strumenti di Lavoro

Nel caso in cui invece la strategia debba essere applicata alla macchina o all'ambiente di lavoro, esistono diverse possibilità di applicazione, la maggior parte delle quali tende all'eliminazione delle aree in cui si concentra e accumula lo sporco, al fine di migliorare la raccolta e creare un ambiente pulito, riducendo i rischi di usura e corrosione. Alcuni esempi di tali applicazioni possono essere notati nelle figure 16 e 17.

Figura 16- Alcuni trucchi per prevenire lo sporco ricorrente e i danni del deterioramento

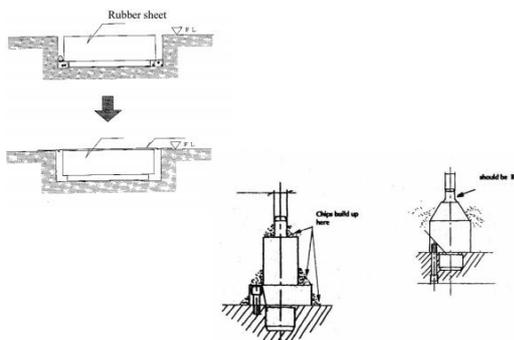
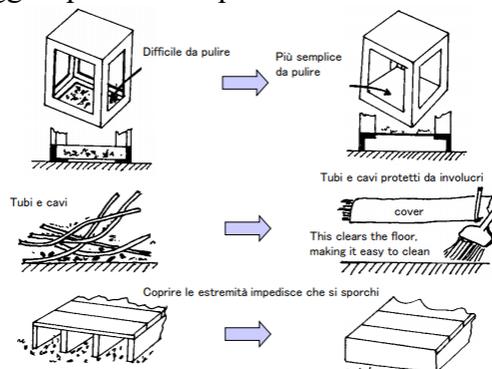


Figura 17 - Contenimento truciolo – convogliamento del truciolo

In conclusione, l'applicazione delle 5S, garantisce un ambiente di lavoro più sicuro, pulito ed efficiente, incrementando di conseguenza anche la motivazione dell'operatore nell'esecuzione del lavoro

(32)

Classificazione dei macchinari

Questa voce rappresenta un aspetto fondamentale dell'organizzazione aziendale, il suo utilizzo garantisce una definizione delle priorità produttive, un'ottimizzazione delle risorse manutentive disponibili in azienda ed allo stesso tempo una migliore definizione del target aziendale che si intende raggiungere. Da tale classificazione, si arriva alla definizione di quattro aree, AA, A, B, C, definite tramite un processo di classificazione basato sull'impatto della macchina sulla produzione, in termini di costi, di qualità e di livelli di produzione.

Per poter fornire una migliore comprensione dell'argomento, utilizzeremo come esempio di applicazione la metodologia utilizzata all'interno dello stabilimento di Rivalta di Torino della Avio Aero S.r.l. Questa metodologia, denominata TGPC, si basa sulla valutazione a punti per determinare il livello di importanza dei componenti o dei macchinari.

Il metodo si basa su diversi aspetti della macchina in analisi, garantendo così il supporto di diverse persone alla metodologia e di conseguenza delle valutazioni specifiche per ogni area in analisi. Si tratta quindi di un lavoro di squadra focalizzato sulla produzione di un unico risultato, in cui ogni gruppo di persone, esperta nel settore, definirà l'influenza del macchinario in esame in base al parametro sotto esame, definendone così un punteggio.

Tuttavia, come possiamo notare nella figura 15, al fine di ottenere una classificazione il più obbiettiva possibile, la definizione dei punteggi viene eseguita tramite delle scale prestabilite, lasciando alla squadra che esegue l'analisi un'area di manovra per la definizione del punteggio molto piccola, la quale però deve essere definita con cura.

La definizione di tali punteggi definisce un passaggio molto importante per l'organizzazione aziendale, in quanto ogni punteggio definisce un'area critica di produzione, ed in base ad esso una macchina potrebbe ricevere risorse non necessarie, le quali potrebbero generare ritardi nel sistema manutentivo e in quello di produzione.

In particolare, vengono analizzate quattro gruppi di voci principali, da cui si ottiene la denominazione del metodo di classificazione:

- *Time to Repair (T)*: Precedentemente introdotto negli indici di performance, l'MTTR definisce in tempo medio necessario per riparare la macchina ovvero, il tempo medio in cui la macchina sarà ferma o non in produzione.

- *Grado di Influenza (G)*: Questa voce comprende diversi punteggi che vanno ad influire su quello finale. Questa sezione considera tutte quelle voci che vanno ad influenzare il livello di produzione della macchina in ogni suo aspetto. Come visibile nell'esempio sottostante, questo include: *Carico della macchina, indice di qualità, costo di non Qualità, impatto sulla produzione, effetto dei guasti sulla sicurezza delle persone, effetto dei guasti sull'ambiente di lavoro.*
- *Probabilità di guasto (P)*: questo dato viene definito tramite l'indice di performance MTBF espresso in ore, tale indice, come descritto in precedenza nella sezione apposita relativa agli indici di performance, definisce il tempo medio tra l'accadimento di due guasti, ovvero il tempo medio di operatività della macchina.
- *Criticità del componente (C)*: In base al punto in cui il macchinario si trova nella linea di produzione, questo potrebbe avere un livello di criticità maggiore, per esempio nel caso in cui un guasto di quest'ultima possa generare un collo di bottiglia o un blocco della produzione.

How TGPC works

ID	#	Item	Guidelines	Score limits
Time to Repair (T)	1	MTTR [h]	MTTR<0,5h = 1; 1h<MTTR<2,5h = 5; MTTR>10h = 30	1 to 30
Grade of Influence (G)	2	Machine Load	Load<60% = 1; 75%<Load<90% = 3; Load>95% = 5	1 to 30 (1 to 5 per item)
	3	Quality Index (effects on product quality in terms of scraps)	Low = 1 -> Very High = 5 according to historical data	
	4	Costs of Non-Quality	Low = 1 -> Very High = 5 according to historical data	
	5	Impact on Yield (scraps and defects produced)	Low = 1 -> Very High = 5 according to historical data	
	6	Failures affect people safety	Low = 1 -> Very High = 5 according to historical data and EHS risk assessment	
	7	Failures affect environment	Low = 1 -> Very High = 5 according to historical data and EHS risk assessment	
Probability of Failure (P)	8	MTBF [h]	MTBF<135h = 50; 270h<MTBF<500h = 20; MTBF>1000 = 10	10 to 50
Criticality of Equipment (C)	9	Criticality of equipment to match deliveries target	Low = 10 -> Very High = 50 considering if the equipment is a SPOf, constraint or bottleneck. Consider if the equipment performs critical operations (i.e. P11TF12 etc...)	10 to 50



Figura 18- metodo per la determinazione del punteggio TGPC (33)

Ora che abbiamo definito come si esegue l'assegnazione dei punteggi per ogni area sotto esame, possiamo definire come si arriva alla classificazione finale.

Partendo dai punteggi ottenuti da ogni singola area *T*, *G*, *P*, *C*, come mostrato in precedenza, si esegue una somma dei punteggi sopra citati, ottenendo un punteggio totale di tutte le aree critiche del macchinario in esame. A

Score (T+G+P+C)	TGPC Ranking (Class)
> 130	AA
130 - 110	A
110 - 90	B
< 90	C

Figura 19- Classificazione TGPC

questo punto si va a determinare la classe di criticità di appartenenza della macchina tramite una classificazione a gradini definita nella Figura 19.

Come possiamo notare ogni area è definita da un'area di punteggio a cui è assegnata una criticità definita tramite lettere e colore, in modo da applicare al meglio i sistemi del Poka-Yoke definiti in precedenza. Questa classificazione ci aiuterà a definire per quali macchine risulta importante una maggiore attenzione nella definizione della manutenzione e i conseguenti rischi e potenziali perdite nel caso di rottura e quindi di un fermo imprevisto.

Una volta definita tale classificazione, si esegue un confronto con il Diagramma di Pareto, in modo da definire quali tra le macchine includano rischi maggiori per la produzione e poter determinare quindi un piano di azione per le attività di miglioramento continuo, partendo da quei macchinari con indice TGPC maggiore appunto e quindi più rischiosi.

TPM e Lean production

Tenendo in considerazione quanto visto finora, è facile comprendere come i principi della Total Productive Maintenance, trovino un facile riscontro negli obiettivi del Lean Manufacturing. Entrambi puntano alla riduzione degli sprechi e l'incremento della vita utile del macchinario in modo da ridurre le fermate e di conseguenza i tempi di non produttività.

Come introdotto in precedenza, il livello attualmente richiesto dal mercato prevede una produzione di qualità elevata, a costi e tempi di spedizione ridotti. Tenendo in considerazione tale concetto, la Lean Production tende ad eliminare ogni tipo di spreco al fine di ottenere il risultato, tuttavia occorre notare che lo spreco prodotto in fase di produzione, detiene un forte legame con la disponibilità di produzione dell'impianto. In caso di esecuzione di lavori in scarse condizioni di utilizzo della macchina, si andrebbero a generare dei prodotti non conformi ai livelli di qualità previsti e di conseguenza, questi andrebbero a generare delle rilavorazioni e perdite economiche, definite con sprechi. Una corretta manutenzione del macchinario potrebbe prevenire l'accadimento di tali situazioni, riducendo così la variabilità del numero dei difetti prodotti riducendoli al minimo.

In conclusione, si potrebbe affermare che il TPM e la Lean Production, siano due elementi fondamentali per l'implementazione di una struttura di produzione aziendale innovativa ed efficiente. Uno lavora come supporto dell'altro e viceversa al fine di garantire una produzione priva di sprechi, difetti, rilavorazioni e fermi mezzi involontari dovuti ad un errato utilizzo della macchina o una errata strategia manutentiva. Il corretto utilizzo di queste strategie potrebbe garantire notevoli benefici alla produzione aziendale. In particolare:

- In termini di produzione:
 - o Incremento della Produttività aziendale netta per 1.5/2 volte in più;
 - o Riduzione delle rotture impreviste dei componenti da 1/10 fino a 1/250 del valore iniziale;
 - o Incremento dell'OEE dell'impianto fino a due volte il livello attuale;
- In termini di Qualità:
 - o Riduzione del numero di prodotti difettosi del 90%
 - o Riduzione delle lamentele dei clienti del 75%
- In termini di costo si registra una riduzione fino al 30%
- In termini di sicurezza:

- Zero incidenti che possano creare dei fermi macchina;
- Zero incidenti per impatti ambientali o inquinamenti.
- Miglioramenti in termini motivazionali per gli operatori con un incremento dei suggerimenti per il miglioramento della produzione fino a dieci volte superiore.

Esistono inoltre dei miglioramenti intangibili, quindi non quantificabili come quelli espressi in precedenza, ma altrettanto positivi.

- Indipendenza di produzione: gli operatori sono proprietari delle macchine e instaurando la cultura del TPM questi inizieranno a prendersi cura delle proprie macchine in modo autonomo senza che sia necessaria una pianificazione delle operazioni o un ordine da parte dei superiori.
- Instaurazione di una mentalità più positiva volta al completamento delle operazioni, tramite la riduzione delle rotture e difetti.
- Miglioramento delle postazioni di lavoro, da condizioni di lavoro in ambienti sporchi e sudici alle nuove postazioni ordinate e pulite.
- Un ambiente pulito e ordinato migliora l'immagine aziendale nei confronti dei clienti, i quali saranno più disponibili alla conclusione dell'ordine o incrementare quelli già in atto.

Capitolo VI: L'Applicazione del TPM nello stabilimento di Rivalta di Torino

Introduzione

Ora che sono state fatte tutte le premesse necessarie e garantito una conoscenza base della materia su cui si basa questo lavoro di tesi, è possibile esprimere quali sono tutti i passaggi utilizzati all'interno della *Avio Aero S.r.l (a GE Aviation Business)*, per l'implementazione della struttura della Total Productive Maintenance sui suoi macchinari. Questo step rappresenta la parte principale di questo lavoro di tesi, ovvero l'applicazione pratica dei concetti teorici visti finora e l'esperienza lavorativa all'interno di una realtà aziendale totalmente sconosciuta.

Come ampiamente descritto in precedenza nel capitolo I, L'Azienda, *Avio Aero S.r.l. (a GE Aviation Business)*, è un'azienda di origine italiana, leader nel settore dell'aviazione. Essa, infatti, può vantare notevoli livelli di produzione di componenti meccanici per velivoli di diverse dimensioni e partnership internazionali con i maggiori produttori mondiali. In questo caso, prenderemo in considerazione la sede dove è stata eseguita l'esperienza di tirocinio, ovvero la sede di *Rivalta di Torino*. Tale sede, come visto in precedenza, risulta essere la sede centrale e polo innovativo di tutta l'azienda.

Al fine di poter garantire una piena comprensione dei vari passaggi, ogni elemento verrà esaminato a fondo seguendo la logica del processo migliorativo eseguito in azienda. Questo sarà basato su dati di lavoro reali, gentilmente forniti e deliberati dal punto di vista legale da parte dell'azienda.

L'approccio esecutivo dell'applicazione della strategia del TPM all'interno dell'azienda prevede l'utilizzo di un'implementazione per step delle varie fasi. Differenziate in base al fatto se queste comportano azioni di manutenzione autonoma, o di manutenzione programmata.

Definizione macchina critica

A seguito della programmazione aziendale sul numero di macchine da sottoporre alla metodologia del TPM, ricordando i concetti introdotti finora solo in modo teorico, si procede ora all'esplicazione della metodologia in cui la suddetta strategia è stata applicata ed introdotta all'interno dello stabilimento di Rivalta di Torino.

La prima fase in assoluto per la determinazione dell'inizio di un cantiere manutentivo riguarda la scelta del macchinario su cui tale azione dovrà essere eseguita. Richiamando quanto introdotto in precedenza sui metodi di classificazione delle macchine, l'azienda definisce quale sia la macchina su cui eseguire le attività manutentive, basandosi proprio su quell'analisi.

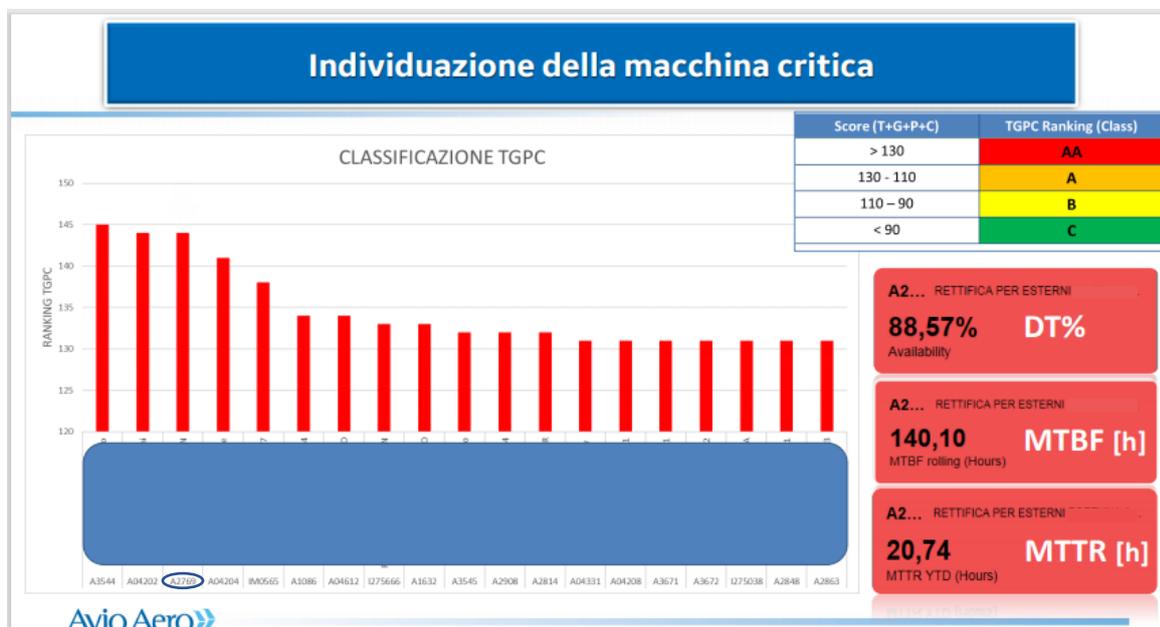


Figura 20- Individuazione della macchina critica su cui eseguire L'attività manutentiva

Infatti, come evidenziato dalla Figura 20, tramite l'analisi TGPC, ed un successivo confronto con il metodo di Pareto, si determina quale sia la macchina più critica, ovvero quella che in caso di improvvisa rottura potrebbe generare i maggiori danni.

In questo particolare caso, la scelta di tale macchinario è ricaduta su una macchina atta alla *Rettifica per esterni*, selezionato come esempio descrittivo in quanto seguito ed eseguito, in tutto il suo processo durante il periodo del tirocinio formativo su cui si basa questo lavoro. Tale macchinario, risulta essere uno dei primi tre a subire l'implementazione della metodologia della

Total Productive Maintenance all'interno dello stabilimento di Rivalta di Torino. La strategia, infatti, è stata introdotta al termine del 2019, e ha come obiettivo lo scopo di raggiungere la sua completa installazione su almeno 20 macchine delle oltre 700 presenti all'interno dello stabilimento, entro il termine del 2020³⁷.

Una volta definita la macchina su cui dovrà essere eseguita l'attività, tramite appositi software di gestione aziendale, si va a definire quali siano i tre principali indici di performance della macchina. In particolare, *L'MTTR; La Disponibilità tecnica; e L'MTBF*, questi serviranno per definire il punto di partenza della criticità della macchina e la piena comprensione dell'andamento della macchina in relazione ai guasti.

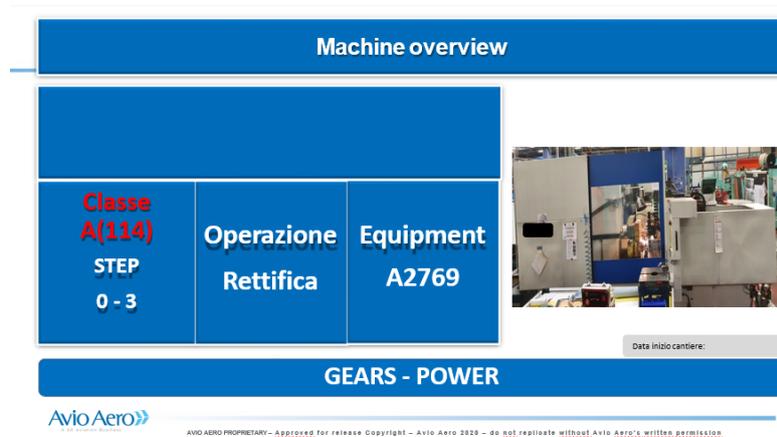


Figura 21- Machine Overview

La seconda fase dello step zero, riguarda la definizione della classe e di tutti i dati della macchina. In particolare, sarà definita la sua classificazione TGPC, il tipo di operazione eseguita dalla macchina, la sua

targa identificativa e la sua cella di appartenenza. Inoltre al fine di garantire una corretta applicazione delle strategie aziendali come il Poka-Yoke, l'intera pagina è definita con il colore Blu, utilizzato come indicatore della tipologia manutentiva in corso, in questo caso, la manutenzione Autonoma, e un'immagine al fine di facilitare il riconoscimento della macchina.

L'ultima fase dello step zero, prevede la definizione di un calendario di incontri, relativo all'esecuzione delle attività di miglioramento eseguite sulla macchina seguendo la metodologia PDCA³⁸. Questo ci permetterà di definire un piano di azione per l'applicazione dei vari step della manutenzione autonoma ed in base ad esso, definire il punto di partenza delle azioni di manutenzione programmata. Come verrà espresso anche in seguito, questa tipologia di manutenzione, prevede che le fasi di PM abbiano inizio in modo contemporaneo alle fasi di AM, con le fasi di cartellinatura, salvo poi fermarsi fino al completamento della fase 3 di AM per la ripresa delle attività.

³⁷ Obiettivo originale, successivamente ridefinito a causa delle limitazioni dovute alla chiusura aziendale nel periodo relativo al Sars-cov2 (COVID-19)

³⁸ Plan-Do-Check-Act, tale metodologia sarà definita nelle appendici.

Step 1 AM

La prima fase prevede la definizione del gruppo di lavoro e la prima fermata del cantiere. In questa fase verranno applicate le principali strategie della manutenzione autonoma, in particolare, la più importante di tutte risulterà essere la fase di ispezione e pulizia.

Come introdotto in precedenza infatti, in manutenzione la pulizia non risulta essere solo una pulizia esterna ed interna del macchinario, ma anche un'ottima opportunità per eseguire un'ispezione generale del macchinario e verificare la presenza di eventuali anomalie. In un ambiente produttivo come quello della Avio Aero S.r.l, la presenza di polvere di truciolo e olio sono una normalità, visto il loro settore di produzione. Tuttavia, grazie alla nuova strategia, tale situazione dovrebbe migliorare.

Dopo aver anticipatamente definito il punto di incontro, si incontra il gruppo di lavoro che andrà ad operare sulla macchina. La prima fase riguarda il coinvolgimento del gruppo e la definizione dei piccoli gruppi, grazie ad una lezione su quali siano le attività giornaliere da eseguire, e la definizione dei gruppi di lavoro. In questa sezione della giornata, vengono fornite tutte le conoscenze necessarie per il processo di miglioramento previsto sulla macchina e come verranno successivamente strutturate le prossime lezioni. Risulta molto importante in questa fase, rivolgere particolare attenzione al livello di apprendimento degli operai, in quanto saranno loro a dover prendersi cura della macchina in futuro e risulta quindi molto importante che questi comprendano a pieno tutta la strategia.

Quando termina la prima fase teorica, ogni gruppo provvede alla pulizia ed una profonda ispezione della sua zona della macchina. In questo modo sarà possibile determinare le anomalie e nel caso in cui una di queste venga riscontrata, si applicherà un cartellino (AM-Tag), sul quale verranno indicate le varie indicazioni e particolarità relative all'anomalia. Queste saranno risolte immediatamente, se possibile, in caso contrario, saranno registrate e successivamente affrontate tramite azioni programmate.

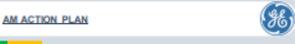
Durante la fase di verifica, si va a ricercare tutte quelle condizioni che non sono definite come "normali" per il corretto funzionamento della macchina, in particolare: *Sporco, Usura, Vibrazioni, Perdite, Ruggine o graffi, rumori anomali o surriscaldamenti, giochi, inclinazioni, odori, rotture*. Tale riscontro verrà eseguito tramite l'utilizzo dei 5 sensi, ma per poterlo fare, è necessario che la macchina sia pulita.

Una volta eseguita la fase di cartellinatura della macchina, si procede con la verifica delle operazioni risolvibili in modo immediato e con la registrazione di quelle che dovranno essere eseguite in seguito. Da questo momento la gestione del lavoro avverrà principalmente dall'ufficio in quanto ci si occuperà della gestione di tutte le operazioni tramite computer. La fase successiva, infatti, riguarda la registrazione di tutti i cartellini, per realizzare un modello per l'analisi dell'avanzamento delle evasioni dei cartellini emessi in fase di ispezione e suddividerli per tipo in base all'anomalia riscontrata.

Per far sì che un cartellino sia evaso però occorre rispettare diversi criteri, in particolare si deve essere certi che ogni azione prevista da quel cartellino sia stata effettuata. Bisogna anche valutare se l'operazione è sufficiente a risolvere il problema. Per essere sicuri di aver eseguito un buon lavoro ogni cartellino prevede un'operazione di verifica e definizione della *Root Cause*, ovvero la causa radice che lo ha generato. Questo lavoro prevede un coinvolgimento di diversi reparti aziendali ed i relativi esperti del settore, che seguendo le modalità di lavoro a piccoli gruppi previsti dalla strategia, consentirà il raggiungimento dell'obiettivo, la definizione della causa radice.

Il coinvolgimento del personale e degli operai gioca un ruolo importantissimo in questa fase. Infatti, sebbene alcune macchine presentino un elevato livello di sporcizia ed una notevole semplicità per il raggiungimento di tali condizioni, occorre instaurare in loro una nuova cultura per il mantenimento delle condizioni di base.

Tag (2/2)



		Progress Thermometer		85%				
#	Issue	Action	Attore	Progress Update	Target due date	Progress	Status	Comments
11	Mancata controllo avviso serbatoio (macchinale via fuori con generatore)	Marcare pulsante	Trevian D.	verificare chiusura e marcare posizione	WK42	█	ON-GOIN	
12	Cavi a terra (postazione carica Schuler)	Procurare avvolgi cavo	Guarini / Massa	avvolgi cavo da comprare	WK44	█	ON-GOIN	
13	Tuttolo in cabina (richio usura parti sensibili della macchina)	Abilitare nell'etichetta 'a must' per evitare contaminazione/usura	Trevian D.	verificare con DMG	WK45	█	ON-GOIN	
14	Straggio viti laterali difficile da controllare	disinserire in manutenzione preventiva	Zaccaro R.	-	WK41	█	ULTIMO	
15	Motore lubrificatore guasto	Indagare con DMG periodicità di intervento pulizia periodica, indagare perché accade.	Massa D.	verificare con DMG + G.	WK43	█	ON-GOIN	
16	Motore pompa sporco	Indagare con DMG periodicità di intervento pulizia periodica, indagare perché accade.	Massa D.	verificare con DMG + G.	WK43	█	ON-GOIN	
17	Indicatore per rabbocco grasso ingarbiato	Rabbocco periodico al posto dell'operazione.	Zaccaro R.	INVERTIRE ETICHETTE E PROCEDERE CON AM (rabbocco settimanale)	WK42	█	ULTIMO	
18	Mancata accessibilità al motore trapezoidale	Modifica strutturale: (Fornitura in linea. Consultare DMG (D. Paquette)	-	-	-	█	SOSPESO	
19	Non ispezionabilità dell'ingranaggio (controllo verifiche movimenti)	Modifica strutturale: (Fornitura in linea. Consultare DMG (D. Paquette)	-	-	-	█	SOSPESO	
20	Non ispezionabilità dell'ingranaggio (controllo CENTRALE che sincronizza i moti delle 4 macchine (verifica movimenti)	Modifica (strutturale- (Fornitura in linea. Consultare DMG (D. Paquette)	Massa D.	verificare con DMG. Se ok, effettuare intervento (Trevian)	WK44	█	ON-GOIN	



AVIOAERO PROPRIETARY- Approved for release Copyright - Avio Aero 2020 - do not replicate without Avio Aero's written permission

16

Figura 22- Esempio controllo evasione cartellini AM

Ora che son state definite tutte le operazioni, risulta necessario introdurre un'azione di gestione per l'analisi dei dati relativi ai cartellini che sono stati emessi. In particolare, si evidenzieranno le differenti cause che hanno generato il cartellino, individuando le principali *sorgenti di sporco* e definendo le *zone di difficile accesso o ispezionabilità*, in modo da programmare delle azioni di miglioramento relative ai cartellini emessi al fine di facilitare l'esecuzione delle operazioni produttive e manutentive.

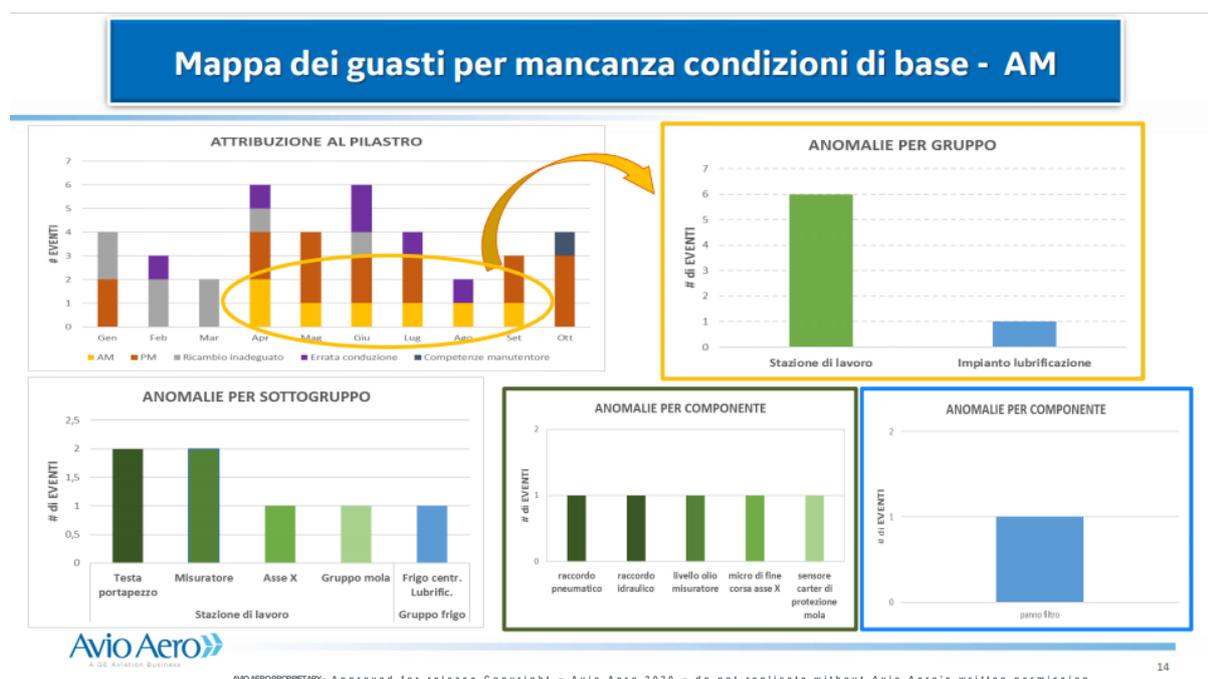


Figura 23-Mappa dei guasti per mancanza di condizioni di base- AM

Un'ultima differenziazione che viene eseguita in questa fase, riguarda la mappatura dei guasti per *mancanza di condizioni di base*³⁹, ovvero quei guasti che si sono generati a causa del degrado della macchina o del suo funzionamento in condizioni non previste. Tale analisi permetterà di definire le aree più colpite della macchina e studiare eventuali azioni correttive e migliorative future.

Alcuni esempi dell'applicazione di questa fase sono definiti nell'Appendice 0.

³⁹ Figura 23-Mappa dei guasti per mancanza di condizioni di base- AM

Step 2 AM

Una volta che si è in possesso di tutti i dati relativi alla macchina ed è stata stilata una mappatura delle aree di difficile accesso e fonti di sporco, occorre adottare delle contromisure al fine di ottenere un miglioramento per il futuro. In questa fase, infatti, ci si occuperà principalmente di due punti:

- *Eliminazione delle sorgenti dello sporco e delle zone di difficile accesso:* Basandosi sulle informazioni raccolte nella fase precedente, si eseguono le varie migliorie, al fine di facilitare l'utilizzo della macchina e verificarne il suo corretto funzionamento. In particolare, si vanno ad eseguire delle migliorie relative alla pulizia della macchina, installando elementi di pulizia o modificando il flusso di quelli già esistenti al fine di evitare l'accumulo di morchia⁴⁰, o sporco in generale. Per quanto riguarda le zone di difficile accesso ed ispezione invece, si eseguiranno delle attività di modifica dell'impianto, al fine di garantire, per quanto strutturalmente possibile per la macchina, un utilizzo facilitato dell'impianto stesso. In tale fase, se necessario, a discrezione dell'azienda, è possibile che venga decisa anche una miglioria estetica della macchina, questa garantirà non solo una migliore protezione della stessa da usura, ruggine e degrado, ma anche una migliore immagine ed un senso di miglioramento effettivo per gli operai.



Figura 24- sorgente di sporco DOPO

Figura 25- Sorgente di sporco PRIMA

- *Stesura del calendario provvisorio delle attività di automanutenzione:* in contemporanea alle azioni migliorative (*Kaizen*), viste poco sopra, negli uffici relativi alla gestione delle attività manutentive, vengono generati dei calendari per le attività di

⁴⁰ Qualsiasi sedimento nerastro e grasso, utilizzato in ambito di produzione per indicare il mix di truciolo, olio ed emulsioni che si vanno a formare durante la fase di lavorazione.

automantenzione, questi garantiranno un continuo controllo della macchina e contemporaneamente la prevenzione dal ritorno alle condizioni di degrado precedenti all'intervento. Per poter generare tale calendario, è necessario che si analizzino il numero di AM-Tag emessi ed evasi, il numero di ore di fermo macchina ecc. al fine di generare un calendario che garantisca l'esecuzione delle attività al momento giusto, generando un miglioramento della macchina, senza però eseguire attività non richieste o non necessarie, generando costi aggiuntivi. Tale calendario, che verrà poi emesso in versione definitiva nella fase 3, comprende quindi una serie di operazioni che l'operatore deve eseguire, per poter mantenere le condizioni di base della macchina ed un suo corretto utilizzo. Tali operazioni saranno differenziate in base alla loro tipologia e frequenza, generando un percorso di esecuzione delle attività ottimizzato.

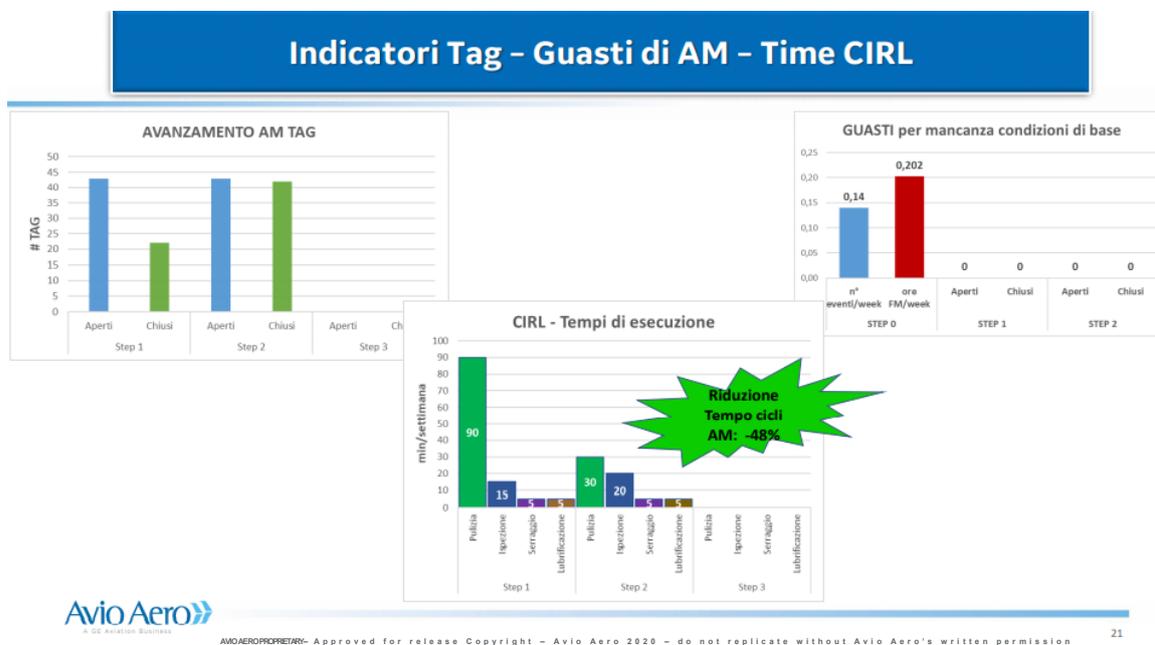


Figura 26- Analisi dati per la definizione calendario AM

Come si può facilmente evincere dalle figure riportate in questo capitolo e da quelle presenti in appendice, le attività eseguite su questa macchina sono state sostanziali, in particolare, nella “Figura 25- Sorgente di sporco PRIMA”, e nella “Figura 24- sorgente di sporco DOPO”, si evidenzia il fantastico lavoro eseguito per la rimozione della morchia e sporco presenti nella vasca di lavaggio. In particolare, durante la fermata iniziale si è notato un eccessivo accumulo di morchia nel vascone di raccolta relativo, e si è aperto un cartellino per una sua miglioria. Tramite il team di manutenzione e gli operatori macchina, è stato studiato un nuovo sistema di lavaggio, in grado di garantire l'adeguato flusso di acqua per poter ottenere il livello di pulizia richiesto, evidentemente non ottenuto tramite il sistema di lavaggio

originale. Questa però risulta essere solo una delle migliorie eseguite, in appendice, saranno descritti altri due esempi chiave che hanno creato un notevole miglioramento della macchina. Infatti, come si evince nell'analisi dei dati per la creazione del calendario di AM, le migliorie in questi due step sono state poderose, garantendo una riduzione del tempo ciclo di automanutenzione del 48%.

Step 1 PM

Seguendo un approccio di come devono essere eseguite le attività durante l'implementazione della strategia in azienda, il processo continua cambiando tipologia di attività, passando dalle attività di automanutenzione al primo step di Professional Maintenance, di modo che l'ultima fase di AM e la PM collaborino al fine di ottenere un risultato migliore. Questa tipologia di attività non risulta focalizzata sul mantenimento delle condizioni iniziali di lavoro, bensì sull'analisi dei dati che hanno generato i guasti per determinare le loro cause radice e risolverle tramite l'implementazione di azioni manutentive programmate al fine di evitare l'accadimento di tali situazioni.

Partendo dall'analisi dei dati della macchina ottenuti dalla prima fermata e dalle prime due fasi di AM, in particolare i KPI della macchina e le attività eseguite, le attività di questo step risultano essere principalmente tre.:

- Ripristino delle condizioni di base al fine di evitare un degrado accelerato
- Analisi del prima e dopo per determinare quali siano stati effettivamente le migliorie
- Classificazione dei componenti

Questi tre punti permettono di eseguire una prima analisi della macchina ed analizzarne i componenti più critici al fine di poter apportare le corrette migliorie future per far sì che la situazione attuale non si ripresenti nuovamente. Questo sarà possibile tramite un'attenta analisi che determinerà le attività di manutenzione preventiva e/o programmata necessarie per il futuro

Ripristino degrado accelerato



Figura 27- Ripristino degrado Accelerato

Nella Figura 27- Ripristino degrado Accelerato Figura 27 possiamo identificare due delle tre fasi che compongono il primo step di PM. La condizione di degrado accelerato, visibile nelle figure in alto, bordate di rosso, indica tutte quelle condizioni in cui, a causa di un ambiente svantaggioso, la macchina tende a degradarsi.

Nella Figura 27 sono disponibili tre esempi di degrado accelerato successivamente risolti all'interno dello stabilimento di Rivalta di Torino, sulla stessa macchina per rettifiche per esterni introdotta in precedenza. La prima immagine mostra come la guaina di protezione dei collegamenti elettrici del motore del filtro dell'olio sia in un avanzato stato di degrado. Tale situazione è dovuta all'ambiente di lavoro, in quanto gli oli utilizzati dalla macchina tendevano a raggiungere la superficie su cui si poggia la suddetta guaina, degradandone l'integrità. Al fine di apportare una miglioria ed evitarne il degrado in modo così rapido, ci si è mossi in cerca di eventuali perdite di olio, il quale poteva andare a generare un maggiore degrado delle guaine, generando un importante rischio di malfunzionamenti ed il relativo rischio per la sicurezza in caso di un degrado molto avanzato. Una volta identificare delle micro-perdite dal filtro, si è provveduto alla sua riparazione ed alla sostituzione della guaina ormai deteriorata.

Il secondo esempio, ci mostra invece la centralina di lubrificazione della macchina, questa, vista la sua posizione molto esposta ed il suo posizionamento in un ambiente corrosivo, si mostra molto sporca e non dispone degli indicatori del corretto range di funzionamento. Tali indicatori risultano essere importantissimi, in quanto forniscono un'indicazione, chiara e precisa, su quale

sia il livello di funzionamento corretto. Al fine di poter eseguire le lavorazioni in sicurezza, tramite un adeguata pianificazione delle attività e dopo uno studio approfondito per la definizione di quali fossero i reali limiti di funzionamento, si è provveduto alla creazione dei nuovi indici di lavoro, garantendo così una produzione a livelli standardizzati ed una più facile segnalazione in caso di lavorazioni fuori range.

L'ultimo esempio riportato in figura riguarda l'azione di verniciatura della macchina; tale azione permette di eseguire una totale rimozione della vecchia vernice e di eventuali ruggine o altre fonti di degrado, per poi essere nuovamente verniciata e fornire così un nuovo e migliore strato di protezione per la macchina.

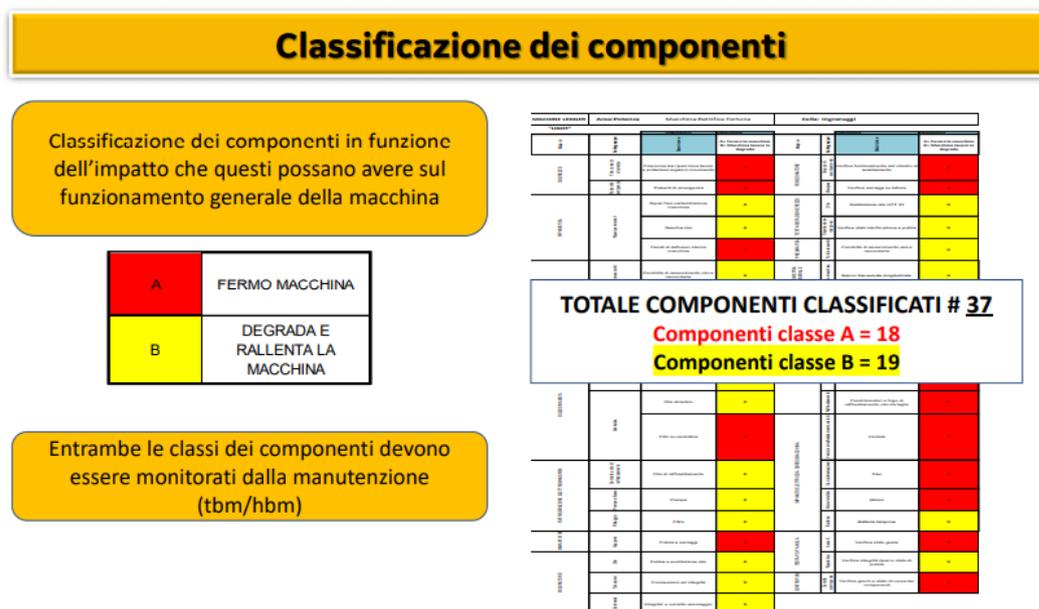


Figura 28- Classificazione componenti

L'ultima fase del primo step di PM riguarda l'esecuzione di una classificazione dei componenti. Questa analisi risulta essere molto dettagliata e richiede molto tempo, infatti la sua applicazione necessita della conoscenza approfondita di ogni componente della macchina, delle funzioni che questo esegue e quale potrebbe essere la reazione del sistema in caso questo si guasti.

Partendo dalla definizione di tutti i componenti della macchina il cui non funzionamento potrebbe comportare delle modifiche al livello di produzione o al funzionamento generale della macchina, si esegue un'analisi, per definire se tali componenti potrebbero essere classificati come:

- *Componenti di classe A:* include tutti quei componenti i quali, in caso di anomalia, potrebbero generare un fermo macchina;

- *Componenti di classe B*: tutti quei componenti che in caso di anomalia potrebbero generare dei degradi o rallentamenti sulla macchina.

Tenendo in considerazione queste linee guida, tramite l'aiuto dei professionisti e dei manuali macchina, si è proceduto all'analisi della macchina in processo manutentivo, riscontrando un totale di 37 componenti classificati come "critici", i quali sono stati poi successivamente suddivisi in 18 componenti di classe A, e 19 componenti di classe B. Dal momento della loro identificazione, si è iniziato un processo di analisi e ispezione tramite TBM e HBM di tutti i 37 componenti critici, al fine di evitare un fermo di tali componenti e la relativa perdita di produzione.

Questa classificazione sarà molto utile nel prossimo step, ovvero l'implementazione dell'ultimo step di AM. Infatti, considerando che in esso sarà necessario definire il calendario finale di automanutenzione, la conoscenza di quali siano i componenti critici da tenere sotto particolare osservazione aiuterà a definire un miglior calendario di automanutenzione per ridurre le probabilità di fermo da parte di quel componente.

Step 3 AM

Il termine del secondo step di AM e del primo di PM porta al completamento della fase di ripristino delle condizioni iniziali della macchina e della sua messa in funzione in condizioni di lavoro facilitate per gli operatori. Inoltre, essendo disponibile un calendario provvisorio delle attività da eseguire, è possibile analizzare il processo con gli operatori e definirne la fattibilità.

Questo step conclusivo delle azioni di automanutenzione da eseguire si concentra in due punti principali per il raggiungimento di una condizione di lavoro che coinvolge gli operatori e li rende responsabili delle macchine su cui lavorano. Per poter raggiungere tale obiettivo è però necessaria l'implementazione di tutte le migliorie applicabili suggerite dagli operatori e dal team di lavoro che ha eseguito l'attività sulla macchina per ottenere un livello di produzione elevato.

Basandosi sul calendario provvisorio delle attività, viene eseguito un corso di formazione con gli operai e i loro supervisori. Questo garantisce un pieno coinvolgimento degli stessi e fornisce una notevole opportunità per esplicitare il funzionamento delle attività, ricevere eventuali suggerimenti per migliorie o modifiche e fornire agli operatori stessi una motivazione per eseguire le operazioni in modo corretto. Tale attività è stata svolta nel nostro caso con un incontro con tutti gli operatori che lavorano sulla macchina, i loro supervisori, il team di lavoro che ha eseguito le operazioni sulla macchina ed il team di manutenzione che ne ha curato lo sviluppo e le attività di miglioramento. In questa fase si sono evidenziate tutte le attività eseguite, con i relativi miglioramenti sulla produzione e sull'organizzazione del lavoro, seguita da una fase di domande in cui veniva richiesto agli operatori macchina, ovvero coloro che effettivamente eseguono le lavorazioni sulla stessa e che conoscono la macchina meglio di chiunque altro, quale fosse la loro opinione sulle migliorie e se avessero riscontrato alcune discrepanze tra le scelte effettuate e l'effettiva applicazione di queste in fase di produzione. Grazie a questo colloqui è stato possibile definire quali fossero i punti ancora carenti sulla macchina e sviluppare un piano di miglioramento. In questo momento si dà inizio al processo di applicazione dei *Tool*⁴¹ ECRS,

Si tratta di una delle due fasi che generano lo step 3 di AM. Definito dall'acronimo di *Elimina, Combina, Riduci e Semplifica*, questi strumenti garantiscono la riduzione dei tempi per l'esecuzione delle attività di AM. Partendo da quanto definito dalle attività incluse nel calendario di

⁴¹ Dall'inglese: Strumento

AM, analizzato con tutte le persone facenti parte del processo, si vanno ad analizzare ed identificare quali potrebbero essere le eventuali migliorie per una più semplice esecuzione delle attività, ottenendo così un'esecuzione più rapida delle stesse.

Al fine di poter fornire una maggiore comprensione di questa attività, riportiamo un esempio di applicazione della stessa durante la fase di applicazione della strategia. In questo caso, a seguito dell'incontro con il personale, venne riscontrato come le ventole di raffreddamento delle pompe idrauliche, essendo disposte in verticale, riscontravano un accumulo di sporco nella parte superiore, dovuto alle normali polveri presenti nell'aria. Tuttavia, tale accumulo poteva essere una fonte di guasto, in quanto con il passare del tempo la ventola avrebbe potuto spingere tale sporco all'interno della pompa tramite il sistema di raffreddamento, generandone un funzionamento errato. La normale procedura, prevedeva lo smontaggio e pulizia della griglia superiore al fine di eliminare lo sporco presente sulla ventola. Tale operazione, per quanto efficace, comporta un notevole dispendio di tempo e l'esecuzione della stessa solo a macchina ferma

Al fine di ovviare a tale situazione si è deciso di applicare dei panni in feltro di colore azzurro. La funzione di questi risultava essere quella di filtrare l'aria in ingresso alla ventola al fine di eliminare lo sporco ed al contempo, facilitare la verifica dell'accumulo di sporco visto il colore molto chiaro. Inoltre, essendo questi sostituibili ed intercambiabili, non necessitano nessun fermo macchina, ma semplicemente che un operatore, quando viene notato un livello di sporco superiore ai livelli di accettabilità, esegua l'operazione di sostituzione tirando il vecchio panno ed installando il nuovo, tramite il velcro installato sulla pompa.

Figura 29- Esempio attività ECRS

Si può facilmente evincere quindi la notevole riduzione di tempo nell'esecuzione dell'operazione, da diversi minuti fino ad un tempo di esecuzione della nuova strategia in meno di un minuto. Tale riduzione nei tempi di attività garantisce un tempo



disponibile per la produzione maggiore e di conseguenza una riduzione del tempo di non produzione.

Viene precisato inoltre che con tale miglioria si andrà ovviamente a modificare la portata di aria in ingresso alla ventola di raffreddamento. Questa modifica per quanto minima, genera un incremento nella potenza richiesta dalla suddetta pompa con un relativo incremento del suo consumo energetico. Tuttavia, la sua riduzione della quantità di aria aspirata risulta essere minima e l'incremento del consumo energetico relativo ad un maggiore sforzo della pompa irrisorio, se confrontato con la riduzione dei costi di non produzione relativi ai precedenti interventi di pulizia delle ventole.

Altri esempi di tale strategia sono riportati nelle appendici a scopo illustrativo.

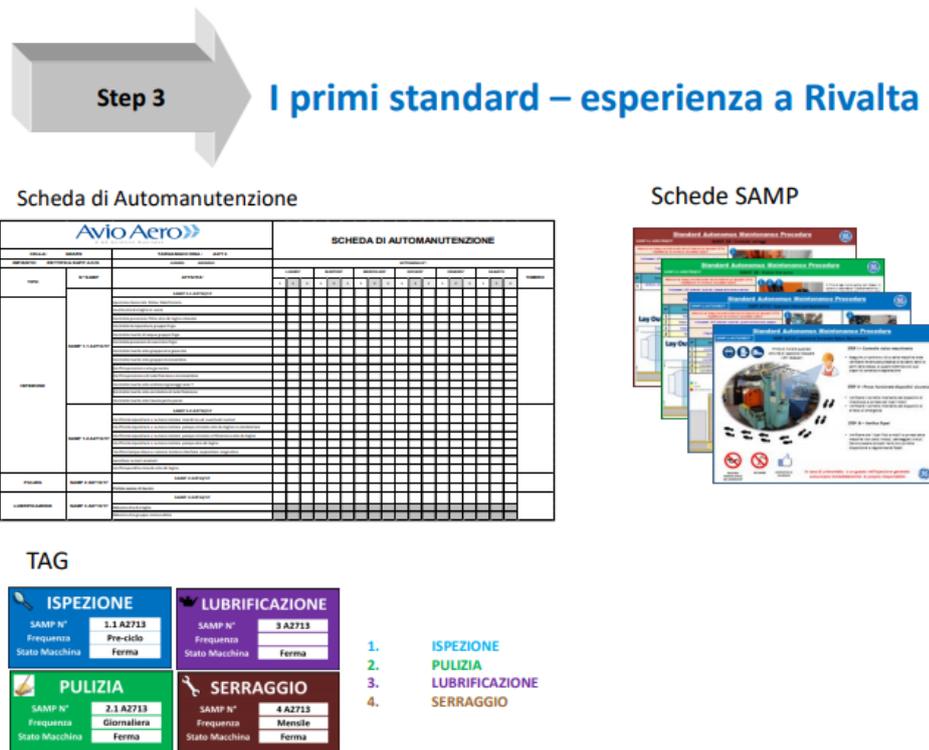


Figura 30- Standard Rivalta

Il secondo ed ultimo punto dello step 3 di AM, in questo caso corrispondente con l'ultima attività di AM eseguita sulla macchina, comprende la creazione di un sistema standardizzato al fine di ottenere un calendario definitivo delle attività di automanutenzione.

Analizzando la Figura 30, si notano i quattro principali punti standardizzati della procedura di Rivalta di Torino. In particolare, partendo dalla prima immagine, in alto a sinistra, si può vedere la prima struttura standardizzata del calendario definitivo delle attività di AM. Questo includeva

una lista di tutte le attività da eseguire, catalogate per gruppi ed un calendario dove gli operatori potessero indicare i giorni in cui queste attività venivano svolte. Tuttavia, si trattava solo di un primo approccio, infatti sorse subito un problema molto importante, ovvero, non tutti gli operai riuscivano a ricordare la frequenza di esecuzione delle attività ed inoltre la compilazione risultava monotona e poteva facilmente indurre l'operatore all'errore. Al fine di poter garantire un più semplice approccio all'utilizzo di tale sistema di gestione, tenendo in considerazione quanto introdotto finora, vengono generate delle schede *SAMP (Standard Autonomus Maintenance Procedure) Illustrate in alto a destra*. Queste, includono ogni singola attività di manutenzione autonoma che dovrà essere eseguita sulla macchina al fine di poterne garantire il funzionamento nel tempo e limitare il normale degrado della macchina, il quale andrebbe a creare delle perdite, come introdotto nei capitoli precedenti.

Come possiamo notare nella Figura 30 in particolare nell'area in alto a destra, le schede SAMP, sono differenziate per colore, in particolare, se consideriamo la legenda definita nell'area in basso della stessa figura, possiamo facilmente notare quale sia la loro suddivisione (Blu = Ispezione; Verde = Pulizia; Bordeaux = Serraggi; Viola = Lubrificazione;). Queste schede, contengono le varie attività che sono definite nel calendario di automanutenzione, tuttavia, avendo un

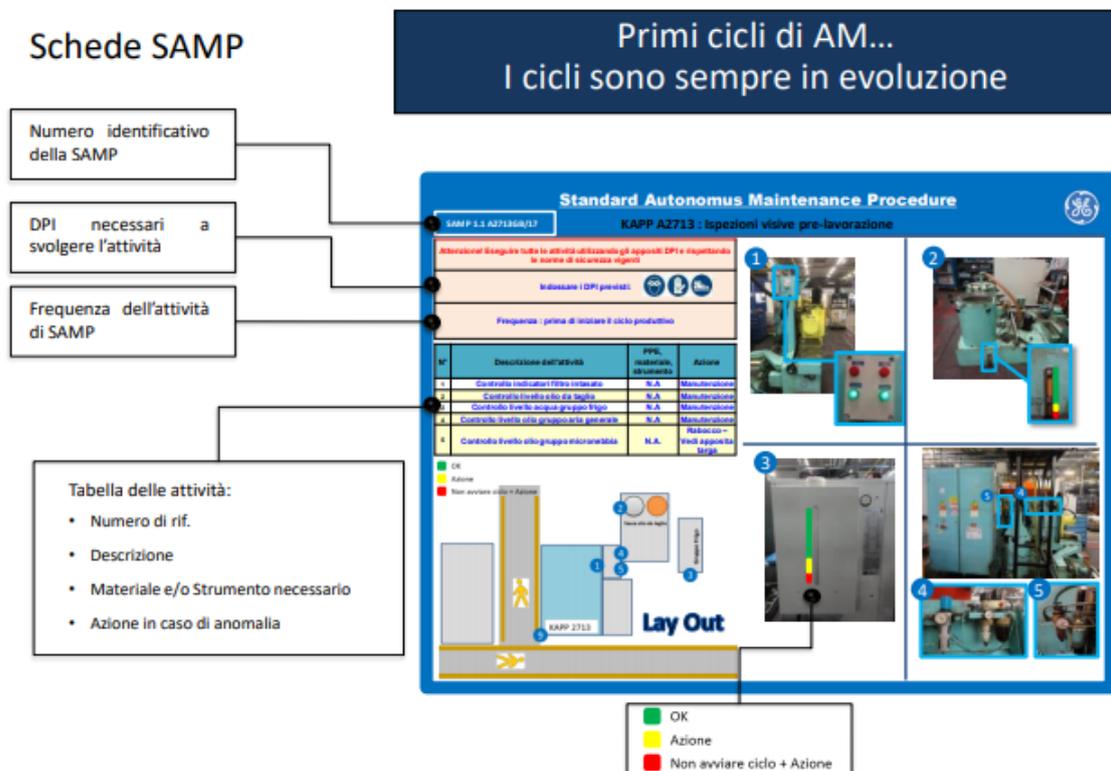


Figura 31- Esempio SAMP

maggiore dettaglio e definizione dell'attività che deve essere eseguita, consentono una maggiore comprensione per l'operatore.

Prendiamo come esempio la Figura 31 in cui sono definite tutte le informazioni presenti all'interno della scheda SAMP. Possiamo notare come, pur essendo una prima bozza di lavoro, questa fornisca abbastanza elementi informativi per l'esecuzione del lavoro in modo semplice e di facile comprensione, come esplicito nella teoria del Poka-Yoke, introdotta in precedenza. In particolare, si evince una particolare attenzione alla facile identificazione delle operazioni da eseguire, tramite codici univoci per ogni macchina e relative operazioni, per le quali è indicata anche la frequenza di esecuzione. Per ognuna di queste, inoltre, viene indicato il punto in cui l'attività deve essere eseguita, indicando il numero dell'operazione sul layout della macchina ed eseguendo una maggiore focalizzazione per ogni operazione, tramite una foto che indica il punto esatto in cui l'operazione deve essere svolta. In queste immagini, in caso siano presenti dei valori di riferimento, questi vengono riportati con segnalazioni semaforiche per indicare il corretto valore che si deve raggiungere per poter garantire la produzione.

Tali schede rappresentano una parte fondamentale delle operazioni di AM, il loro studio permette l'esecuzione delle stesse in maniera più efficiente, ed esempio tramite un percorso ottimizzato, con cui eseguendo un solo giro intorno alla macchina si possono eseguire tutte le operazioni, o tramite la differenziazione per gruppi in base ai componenti in esame. Ad esse si affiancano i cartellini TAG, visti in Figura 30, i quali affiancandosi ai dati inseriti nelle SAMP indicano il punto in cui deve essere svolta l'attività, garantendo una maggiore facilità di esecuzione delle operazioni da parte dell'operatore addetto ad esse.

Possiamo notare quindi che i tre componenti standardizzati facciano in realtà parte di un unico metodo, in particolare vediamo come i cartellini TAG, indichino la posizione delle attività da eseguire, le quali sono riportate sulle schede SAMP che ne esplicano la metodologia di esecuzione, le quali a loro volta, sono inserite nel calendario delle azioni di AM dove dovrà essere riportato il completamento delle stesse.

Possiamo concludere questa sezione di attività di automanutenzione, introducendo una delle nozioni principali del TPM e del Lean Thinking che sono state applicate in questa fase, il miglioramento continuo. Sebbene ci sia stato un notevole miglioramento in ambito produttivo, dell'esecuzione delle attività e della riduzione del tempo ciclo, l'implementazione della fase finale dello step 3 delle attività di AM, in questo caso aveva per noi una fantastica sorpresa che ha generato un notevole incremento nella motivazione degli operatori macchina. Dopo

l'applicazione di tutte le attività descritte in precedenza, sono state eseguite delle analisi relative all'effettiva esecuzione delle operazioni, tuttavia non erano così sorprendenti come ci aspettavamo. In particolare, si notò una riduzione nel tempo della compilazione del calendario delle attività, che indirettamente generava una mancata esecuzione delle operazioni. Al fine di poter definire la causa radice di tale mancata esecuzione, venne organizzato un incontro informale con gli operatori al fine di poter comprendere quale fosse la reale causa delle loro inadempienze. In quel momento ci rendemmo conto come nonostante il sistema fosse migliorato in ogni suo settore, la sua implementazione aveva richiesto del tempo, generando una discrepanza nei metodi utilizzati per i diversi strumenti. In particolare, le schede SAMP e i cartellini TAG, essendo stati sviluppati in un tempo successivo al calendario, disponevano di una separazione per tipologia e per colore per facilitarne l'individuazione e l'esecuzione. Tale attività però non era stata implementata nel calendario delle attività di automanutenzione, il quale risultando un semplice

lista di operazioni in bianco e nero rendeva la sua compilazione monotona e non interattiva, soprattutto per quanto riguardava le frequenze di esecuzione, in quanto non riportate.

Si procedette quindi ad uno studio di un nuovo calendario che riprendesse quanto introdotto con le schede SAMP ed i cartellini TAG. Il risultato fu incomparabile, infatti, la sua introduzione fece sì che non solo le attività fossero eseguite, ma fu introdotto al contempo un metodo indiretto per la valutazione se queste attività venissero svolte o meno.

Il risultato finale, riportato nella Figura 32, disponeva della stessa differenziazione utilizzata negli altri due strumenti, garantendo così un più semplice approccio per l'operatore. In esso sono riportati anche i gruppi di appartenenza per ogni singola attività, la scheda SAMP di riferimento ed il loro codice univoco con le quali sono state identificate. Un' ulteriore differenziazione venne fatta in base alla loro frequenza di esecuzione, in cui sebbene le attività fossero raggruppate per tipologia, vennero suddivise in base alla loro frequenza di esecuzione, in modo da non indurre l'operatore ad eseguire operazioni non necessarie.

Un ulteriore semplificazione si ottenne nella seconda parte del calendario, ovvero quella adibita alla compilazione da parte dell'operatore. Si passò da una normale griglia vuota in cui l'operatore apponeva un timbro nel caso in cui l'operazione fosse stata svolta ad un sistema, visibile

Avio Aero		Depositi di protezione individuale		Personale Autorizzato		Personale Formato Automantenitore								
Stato Macchina	Fase / condizione	Gruppo	Componente	Tipo Manutenzione	Programma Manutenzione	Attività	Come	Riferimento Layout	Presenza	Operatore	Autore	Verifica		
Stand-By	PRE-LAVORAZIONE	Stazione di Lavoro	Fungo di Emergenza	ISPEZIONE	I.G01	Verificare corretto funzionamento Fungo di emergenza	Vedi Scheda di Manutenzione AZ769/G8/20	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro			I.G02	Ispezione Generale Status Macchinario	controllo Visivo e Verifica dei Ripari	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20					
		Gruppo Refrigerante	Rubinetto		I.G03	Controllare Apertura dei rubinetti (2) dell'impianto refrigerante	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Stazione di Lavoro	Rubinetto		I.G04	Controllare apertura dei rubinetti o per il lavaggio barile e canali	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
Attiva	IN LAVORAZIONE	Stazione di Lavoro	Portellone Principale		I.G05	Verificare in fase di lavorazione il portellone principale sia bloccato	Vedi Scheda di Manutenzione AZ769/G8/20	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro	Portellone Posteriore Laterale		I.G06	Verificare in fase di lavorazione il portellone sabbizzato	Vedi Scheda di Manutenzione AZ769/G8/20	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20					
		Centrali di Lubrificazione			I.G07	Controllare pressione delle centrali di lubrificazione	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Gruppo Filtro			I.G08	Controllare il valore sul termistato filtro	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Gruppo Filtro			I.G09	Controllare il livello dell'olio di raffreddamento del filtro	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Centralina Idraulica			I.G10	Controllare la pressione della centralina idraulica	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Stazione di Lavoro	Gruppo Pneumatico		I.G11	Controllare la pressione del gruppo pneumatico	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Stazione di Lavoro	Motori Pompa		I.G12	Controllare il stato dei panni filtro sui motori delle pompe	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Armadio elettrico	Condizionatore		I.G13	Condizionatore elettrico - Controllo Termistato e panni Filtrare	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
		Stazione di Lavoro	Cinghii di Trascinazione-Mola		I.G14	Controllo visivo stato delle cinghii di trascinazione	Miavo	Miavo	I.G	Vedi Schede di Manutenzione I.G. e 270008.20				
FERMA	PRIMA FASE DI EMERGENZA: PRIMA DI ESEGUIRE LE OPERAZIONI	Stazione di Lavoro		PULIZIA	P.S.01	Pulitura di lavorimetro macchina	Vedi SAMP P.S.AZ769/G8/20		Vedi Schede P.S. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro	Consolle di Comando		P.S.02	Pulire la consolle di comando	Vedi SAMP P.S.AZ769/G8/20		Vedi Schede P.S. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro	Saldato Pannopila Mola		P.M.01	Pulire la scatola pannopila mola	Vedi SAMP P.M. AZ769/G8/20		Vedi Schede P.M. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro	Barile e canali di flusso		P.M.02	Pulire il barile e i canali di deflusso refrigerante	Vedi SAMP P.M. AZ769/G8/20		Vedi Schede P.M. e 270008.20					
ATTIVA	PRE-LAVORAZIONE	Stazione di Lavoro	Tastatore	SERRAGGIO	S.S.01	Controllare il serraggio dei 2 Proximty del Tastatore	Vedi SAMP S.S. AZ769/G8/20		Vedi Schede S.S. e 270008.20					
ATTIVA	IN LAVORAZIONE	Centralina Lubrificatore		LUBRIFICAZIONE	L.G01	Controllare il livello olio della centralina di lubrificazione	Miavo	Miavo	Vedi Schede L.G. e 270008.20					
		Centralina Idraulica			L.G02	Controllare il livello olio della centralina idraulica	Miavo	Miavo	Vedi Schede L.G. e 270008.20					
STAND-BY	PRE-LAVORAZIONE	Stazione di Lavoro	Misuratore		L.G03	Controllare livello olio del Misuratore	Miavo	Miavo	Vedi Schede L.G. e 270008.20					
FERMA	POST-LAVORAZIONE	Stazione di Lavoro	Lubrificatore		L.S01	Controllare il livello olio del lubrificatore	Miavo	Miavo	Vedi Schede L.S. e 270008.20					
		Stazione di Lavoro	Testa Portapezzo		L.S02	Controllare il livello olio su testa portapezzo	Miavo	Miavo	Vedi Schede L.S. e 270008.20					
Ferma	POST-LAVORAZIONE	Centrali di Lubrificazione			ISM01	Svuotare le centrali di Lubrificazione ed eseguire pulizia	Vedi SAMP L.S.M. AZ769/G8/20		Vedi Schede L.S.M. e 270008.20					

Figura 32- Nuovo Calendario AM (1)

nella Figura 33, in cui venne indicato il giorno in cui l'operazione doveva essere svolta, tramite il triangolo in basso,

Questa metodologia permette non solo una più facile intuizione delle attività che devono essere svolte, ma fornisce all'operatore anche le informazioni relative alla tipologia di attività che si deve eseguire e per quale gruppo. Si può notare infatti che oltre alla normale classificazione per colori che indicano il gruppo di operazioni e le relative schede, viene specificata la loro frequenza e, in modo particolare, si nota la differenziazione dei colori nei triangoli che indicano il giorno in cui si deve eseguire l'attività.

- I triangoli *Gialli*, indicano quell'insieme di attività atte al mantenimento della macchina nelle sue condizioni di base per il proseguo delle lavorazioni. Si tratta quindi di attività manutentive pianificate.
- I triangoli *Verdi*, indicano quell'insieme di azioni di ordine e pulizia, utili al fine di mantenere la macchina in uno stato ottimale al fine di ridurre il numero di micro-fermate della macchina.
- I Triangoli *Fuxia* definiscono quell'insieme di attività che potrebbero generare una variazione sulla qualità di produzione. Risulta molto

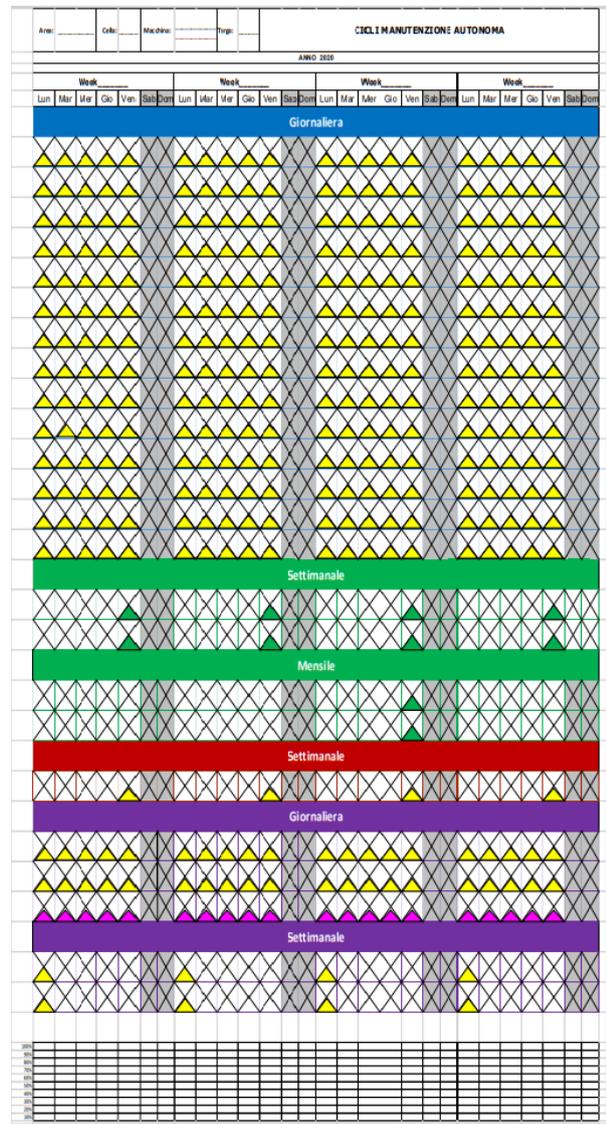


Figura 33- Nuovo Calendario AM (2)

importante quindi prestare una maggiore attenzione a queste in quanto una perdita di qualità genererebbe costi aggiuntivi elevati e di conseguenza degli sprechi.

La creazione di questo calendario ha permesso una notevole semplificazione per gli operatori, essendo questo molto intuitivo, facilitava notevolmente la sua compilazione e inoltre

permetteva la verifica delle operazioni eseguite, in quanto la griglia sottostante doveva indicare la percentuale delle operazioni eseguite e gli altri tre triangoli presenti indicavano eventuali errori.

Infatti, tenendo in considerazione il singolo quadrato diviso in quattro triangoli, quello inferiore, precompilato, indicava quando fare l'attività e la tipologia di questa, gli altri tre andavano compilati in base all'esito dell'operazione. Nel caso in cui l'operazione fosse stata eseguita in modo corretto senza nessuna complicazione, l'operatore avrebbe dovuto colorare di nero il triangolo superiore. Se invece si riscontrava un piccolo difetto facilmente risolvibile, l'operatore avrebbe dovuto risolvere tale difetto, e indicare in Blu il triangolo a sinistra, in quale indica l'esecuzione di una piccola lavorazione non bloccante. Ovviamente in questo caso l'operatore avrebbe anche dovuto specificare tramite cartellino quale fosse l'attività eseguita ed il problema che l'ha resa necessaria. L'ultima opzione riguardava il caso in cui si presentasse un fermo macchina e l'operazione non potesse essere eseguita fino al termine di tale situazione. In questo caso l'operatore avrebbe dovuto indicare in Rosso il triangolo a destra e specificare quale fosse il guasto, in caso la macchina fosse ferma da diverso tempo. In caso contrario, contattare la manutenzione per la riparazione della stessa.

Una volta raggiunto questo livello, le attività di AM volgono al termine, secondo la politica aziendale adottata, tuttavia utilizzando il processo del miglioramento continuo, tramite l'esecuzione delle attività previste nel calendario, è possibile identificare eventuali guasti e migliorarli, ma tale procedura sarà esplicitata in seguito con i processi delle fasi di PM.

Step 2 PM

Il termine delle attività di AM e l'inizio di questa fase segna una parte molto importante nel processo di implementazione della strategia. Tale importanza è data dal fatto che da questo momento, l'operatore è coinvolto nel processo in modo totale. Da qui in avanti, infatti, molte delle attività comprendono l'analisi eseguita dall'operatore e gli errori o difetti da lui riportati. Va però specificato che, a differenza delle altre fasi in cui alcune attività potevano essere svolte in parallelo, in questo step, è necessario seguire un filo logico ed una linea di esecuzione delle attività.

A questo punto delle attività, sono state definite quali sono le parti della macchina più usurate, siano stati quali siano stati i guasti di quella macchina, tramite gli archivi storici e si è iniziato ad applicare alcune misure di automanutenzione per evitare che questi possano ripresentarsi. Tuttavia, alcune volte una semplice automanutenzione potrebbe non essere sufficiente, altri componenti potrebbero generare la rottura del componente e risulta essere compito della manutenzione definire quali siano le cause effettive ed applicare le migliorie adeguate a far sì che non si verificano tali fermi.

La prima fase riguarda l'analisi dei dati storici della macchina con l'individuazione di quali sono stati i guasti più frequenti e la mappatura sulla macchina. Tramite l'utilizzo di uno schema o un'immagine della macchina, come definito nella Figura 34 e nella Figura 35, si indica quale sia il punto in cui si è verificato il guasto in modo da determinare quale potrebbe essere

l'area critica. Questa operazione viene eseguita dall'operatore, in quanto dispone di una conoscenza della macchina maggiore e potrebbe definire quale sia la causa del guasto proprio tramite tale conoscenza. Il coinvolgimento degli operatori risulta quindi indispensabile, in particolare per questa fase di definizione ed analisi.

La Mappatura dei guasti rappresenta la prima fase di questo Step, fornisce tutte le informazioni necessarie



Figura 34- Mappa guasti, Fronte



Figura 35- Mappa Guasti, Retro

per eseguire un'analisi approfondita e ponderata che possa definire quali siano le cause dei fermi e generare dei programmi di attività manutentive per eseguire la migioria ed evitare i fermi macchina.

Una volta definite quali siano le aree della macchina che riscontrano il maggior numero di difetti, si procede con un'analisi dei dati storici della macchina. Grazie all'utilizzo di un software di gestione aziendale, si esegue un tracciamento di tutti i fermi della macchina, il quale viene sviluppato su un arco temporale di almeno un anno per poter garantire un risultato affidabile.

Il software, tramite le adeguate impostazioni riporta quali siano state tutte le segnalazioni per cui la macchina è rimasta ferma nell'arco di tempo definito, e le riporta in una tabella Excel per poterne facilitare l'elaborazione. Partendo da questi dati, essi vengono ordinati in base alla durata del fermo macchina che hanno generato in modo da intuire subito quali sono quelli che hanno maggiore impatto sulla macchina e poter definire un digramma di Pareto, precedentemente descritto, in cui sia facile definire quale sia il 20% dei componenti critici per la produzione che genera l'80% dei fermi di tale macchina.

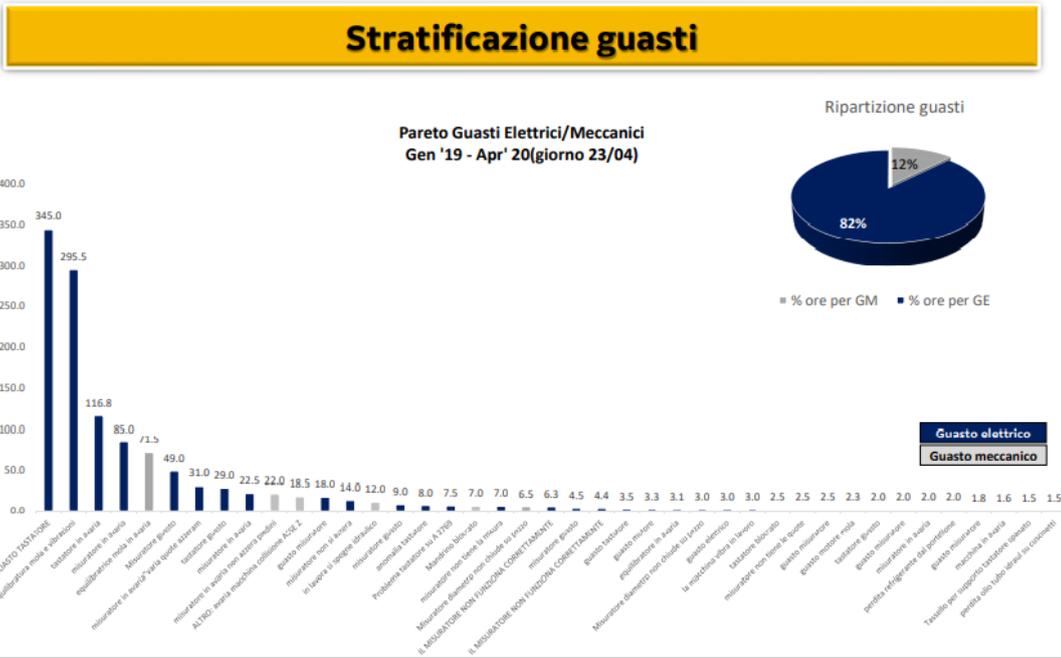


Figura 36- Stratificazione Guasti Elettrici e Meccanici

La suddetta classificazione però risulta efficace solo in parte, in quanto i guasti potrebbero essere generati da diversi fattori, per cui alla Avio Aero si è adottata prima suddivisione dei guasti, come indicato in Figura 36, per poter determinare quali fossero di natura Elettrica e quali

di natura Meccanica. Questa definizione fornisce un metodo per l'organizzazione del lavoro e l'assegnazione di ogni guasto alla corretta squadra manutentiva, che ne conosce al meglio le strategie di risoluzione.

Definite le due principali famiglie di appartenenza dei guasti, e la loro presenza percentuale sul totale dei guasti, si procede con una seconda analisi, più approfondita, al fine di poter definire quali siano i componenti che creano il maggior numero di ore di fermo macchina.

Per poter eseguire tale definizione, si analizzano singolarmente i guasti tramite il software di gestione aziendale precedentemente indicato, dove sono stati registrati, al fine di poter determinare quale sia stata l'effettiva causa che li ha generati e risalire al componente principale che ha causato il fermo della macchina. Si esegue quindi un percorso a ritroso sul gruppo della macchina che ha generato il fermo, fino alla definizione, tramite le varie azioni di riparazione eseguite sulla macchina per la comprensione di quale fosse il componente critico e indicarne il nome, il gruppo, ed il suo sottogruppo di appartenenza. Tale distinzione sarà utile, non solo per l'esecuzione di attività manutentive, ma anche per lo sviluppo di analisi statistiche sui gruppi maggiormente sollecitati ed affetti da guasti della macchina.

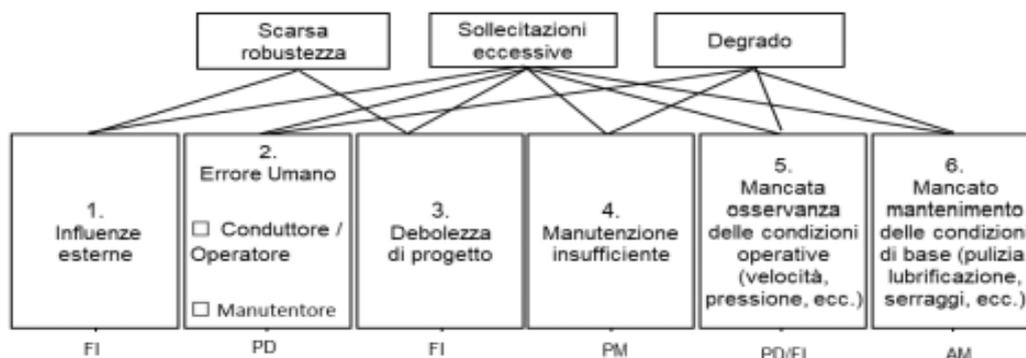


Figura 37- Analisi Stratificazione guasti

Questa analisi viene definita *Stratificazione Causa Radice*, ovvero un'analisi basata su un processo ben definito per determinare la causa principale che ha generato il fermo. Come possiamo vedere nella Figura 37, si procede con l'identificazione della tipologia del guasto, ricercando, quale delle tre categorie elencate, rappresenti maggiormente la causa del guasto. Tuttavia, tale definizione non è così semplice, infatti, per arrivare a definire a quale delle tre famiglie appartenga il guasto, viene normalmente applicato il metodo dei "5 WHY'S". Definita dall'inglese "5 Perché", si tratta di un meccanismo ridondante in cui definito un guasto, secondo degli studi statistici, si arriva alla definizione della causa che lo ha generato, dopo essersi chiesti per cinque

volte la domanda “perché?” all’accadimento di tale situazione. Come anticipato, il metodo si basa su studi statistici, i quali potrebbero non garantire il risultato con cinque interazioni, infatti potrebbe verificarsi una situazione favorevole in cui si raggiunge la definizione dopo due o tre interazioni, velocizzando il processo, come potrebbe verificarsi un caso in cui dopo le cinque interazioni non si sia ancora definita la causa radice in cui occorrerà quindi incrementare il numero delle stesse fino alla determinazione.

Una volta analizzato il guasto, possiamo definire quale sia la sua classe che definisce la causa radice, tra le tre indicate, ovvero *Scarsa Robustezza*, *Sollecitazioni eccessive* e *Degrado*. Queste 3 aiutano nell’esecuzione del processo per la stratificazione dei guasti in quanto si trovano poco prima del livello finale che determina la causa radice. Va specificato che nella prima fase di analisi in cui viene eseguita la stratificazione tra Guasti elettrici e Meccanici, ad ogni guasto viene assegnato un gruppo di appartenenza iniziale su cui si evolve poi tutta la stratificazione che stiamo introducendo ora. Da questi gruppi, si definisce quale sia la possibile causa in base ai commenti degli operatori e quale fosse il componente che ha generato il guasto. Successivamente, si provvede all’applicazione del metodo dei 5 *Why’s*, e la definizione della famiglia di appartenenza del componente.

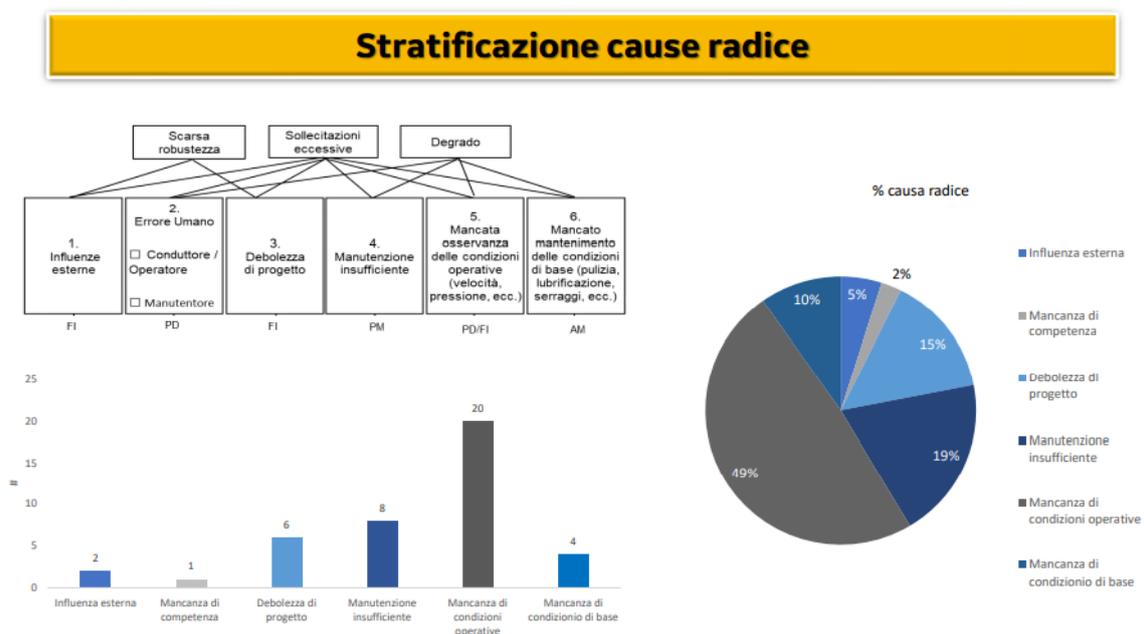


Figura 38- Stratificazione causa radice

L’ultima fase riguarda la determinazione, tramite un’analisi incrociata dei dati disponibili, della causa radice, o meglio a che gruppo tale causa può essere assegnato. Tenendo in considerazione sempre la Figura 37, si definisce a quale dei sei gruppi principali corrisponde la creazione di tale

guasto ed in base ad asse, si procede con la assegnazione della tipologia di manutenzione adatta per fare in modo che tale fermo non si verifichi nuovamente sulla macchina. L'esecuzione delle attività di miglioramento viene ovviamente applicata basandosi su due analisi quantitative importantissime.

- Il diagramma di Pareto, indicato nella Figura 36, in cui si identifica la prima stratificazione dei guasti tra le tipologie dei guasti Elettrici e Meccanici ed il loro peso sulla produzione
- Il diagramma Quantitativo illustrato in Figura 38, in cui viene definita la principale causa che determina il fermo delle macchine.

In questo caso, dopo aver eseguito tutto il processo di analisi, venne definito come i problemi principali fossero tre, indirettamente collegati tra loro, creando così un totale di 1221 ore di fermo macchina e 41 fermate, di cui 20 furono attribuite ad una *mancata osservanza delle condizioni operative*. Va inoltre precisato che delle 1221 ore di fermo, 1179 sono state definite dai soli tre componenti critici della macchina e 42 ore da errori casuali o microfermate. Possiamo notare quindi come, in caso di eliminazione dei guasti dei tre principali componenti critici e considerando lo stesso lasso di tempo di 68 settimane, si otterrebbe un tasso di guasto pari a circa 37 min alla settimana, ovvero 5.30 minuti al giorno. Un tasso abbondantemente accettabile in un livello di produzione così elevato, ma comunque migliorabile.

Ora che abbiamo a disposizione tutti i dati necessari, si procede all'esecuzione delle analisi EWO, *Emergency Work Orders*. Questa tipologia di analisi, prevede che ogni guasto che crea un fermo mezzo superiore ad un certo numero di ore, definito dall'azienda, sia analizzato a fondo, con diverse metodologie, al fine di coinvolgere più persone possibile e determinarne la causa radice. Tale analisi è definita in vari passaggi descrittivi sul fermo macchina, i componenti interessati e la definizione di tutta la strategia utilizzata. Tale livello di analisi, in quanto più elevato richiede l'intervento di diverse strategie come, il 5Why's, precedentemente introdotto, l'analisi del manutentore integrata nel sistema di gestione aziendale, le 5W+1H, e la definizione della causa radice tramite un'analisi che ha come base quella della definizione delle cause radice dei normali fermi macchina, ma in questo caso necessita di un'analisi più approfondita e si estende la analisi ad un livello più profondo.

Tali analisi, ricoprono tutta l'analisi già eseguita sul macchinario, per ogni singolo componente, applicando tutte le strategie di miglioramento focalizzato come kaizen ordinari e straordinari. Va precisato però che tale metodologia risulta essere molto dispendiosa e complessa e non viene

eseguita per tutti i guasti, ma solo per quelli che creano un maggior numero di ore di fermo macchina nell’impianto. Nel caso della Avio Aero, considerando la loro area di lavoro, la delicatezza e la professionalità dei processi, questa tipologia di analisi veniva eseguita su tutti quei componenti che superavano un numero di ore inferiore alla doppia cifra. Tuttavia, possedendo un impianto abbastanza produttivo il numero di EWO rimase sempre molto ridotto, come visibile nella Figura 39, il numero di EWO emesse alla settimana 30 del 2020 risultava essere di sole 128 analisi di cui 120 completate e le 8 rimanenti eseguite con una perfetta schedulazione.

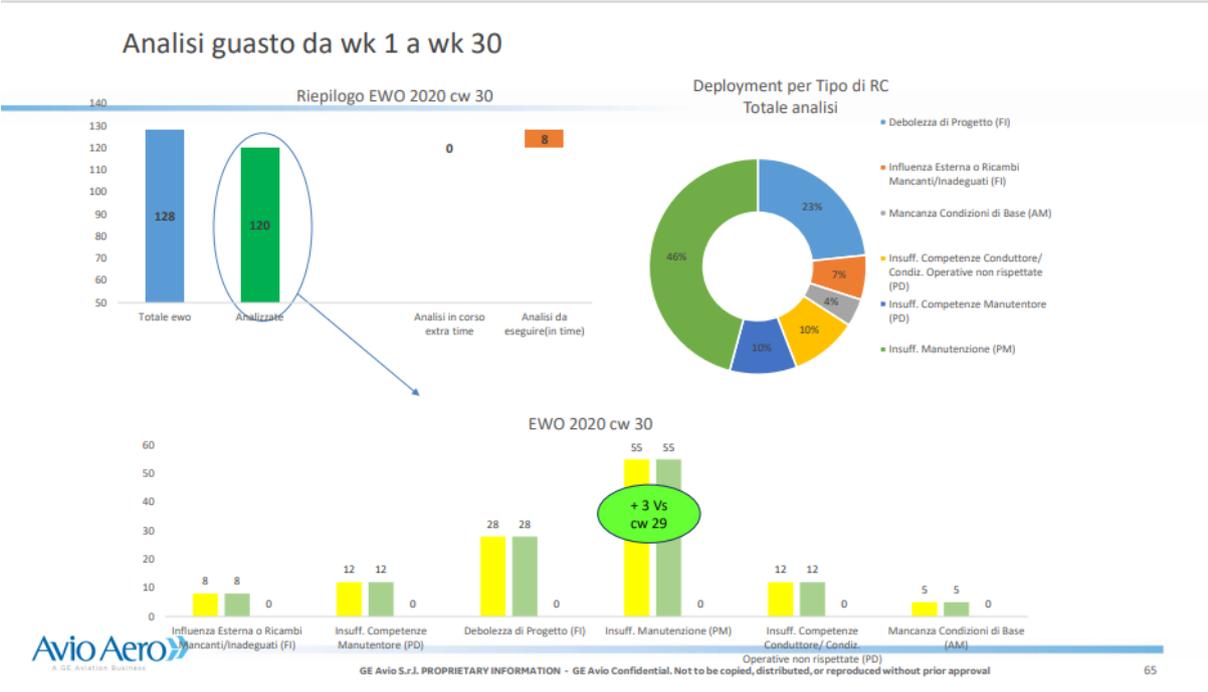


Figura 39- Analisi dati guasto WK 1 - WK 30

Partendo da questi dati, si esegue una nuova analisi per definire quale sia la causa radice che determina il maggior numero di analisi EWO all’interno dell’impianto di Rivalta di Torino. Dopo aver eseguito tutte le analisi necessarie, tenendo come base le varie metodologie espresse in precedenza, si è potuto valutare come, il maggior numero di analisi EWO e quindi di fermate di notevole durata, avevano origine da un’insufficienza di manutenzione dei macchinari, i quali ormai in gran parte obsoleti, necessitano di azioni manutentive superiori o con maggiore frequenza.

Tenendo come base di partenza questi dati, si è quindi iniziata una fase di verifica e miglioramento delle macchine che avevano generato le 55 analisi EWO con causa radice di insufficienza di manutenzione. A queste sono state applicate in alcuni casi delle migliorie per la sostituzione di componenti degradati o parzialmente funzionanti e come visibile nella Figura 40 si son

generati 25 nuovi cicli di manutenzione preventiva per verificare l'effettivo andamento del degrado dei componenti critici e ridurre al minimo il numero delle fermate per insufficienza di manutenzione su di esse.

Su questo lavoro, possiamo ammettere inoltre che il lavoro è stato eseguito in maniera egregia, in quanto, come visibile nella Figura 40, il numero di guasti relativi a quei componenti critici su cui si è eseguita l'attività di miglioramento si è ridotta drasticamente, con un numero attuale di guasti pari a ZERO

Contromisure per "insufficienza di manutenzione"

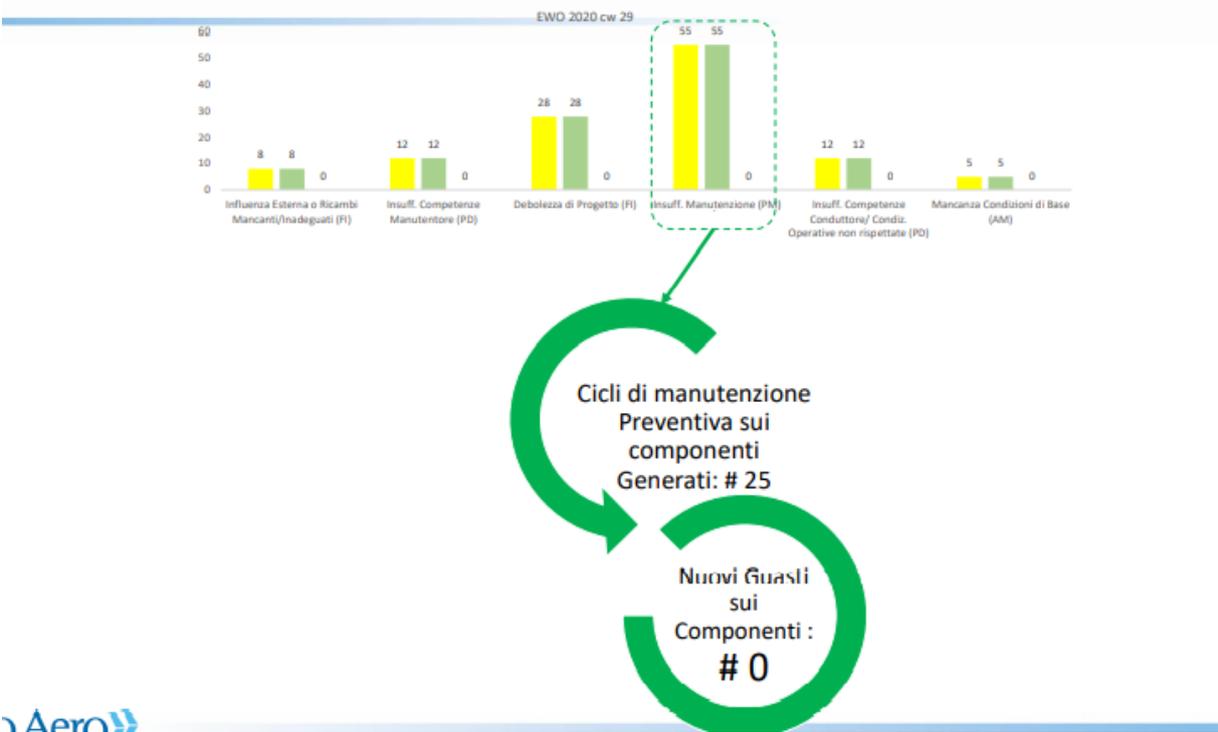


Figura 40- Contromisure per Insufficienza di Manutenzione

viene assegnata una definizione riguardo a come debba essere svolta l'attività manutentiva, e la tipologia di quest'ultima.

Tale decisione, assieme alla definizione della frequenza, necessita di un adeguato tempo per l'analisi e lo studio delle informazioni fin qui raccolte, e poter così definire quale sia la migliore strategia manutentiva da applicare su un determinato componente. Per quanto riguarda invece la definizione della frequenza di esecuzione di tali attività, si tiene conto in particolar modo della definizione fatta per lo stesso nel calendario di AM, specialmente se il componente in questione è stato identificato come uno dei quali il cui malfunzionamento potrebbe generare delle perdite di qualità. In questo caso la frequenza di esecuzione delle attività manutentive sarà ovviamente maggiore, al fine di poter garantire una efficienza di produzione maggiore e nessuna perdita di qualità.

La definizione delle frequenze di esecuzione risulta essere un argomento molto delicato e necessita di un esperto del settore che conosca a fondo tutti i componenti della macchina ed i loro tempi di deterioramento, entro i quali deve essere eseguita l'attività. Tuttavia, nel nostro caso alla Avio Aero, tale definizione venne eseguita con il coinvolgimento di più persone, esperti nelle diverse aree operative dell'impianto ed in diversi settori, in modo da ottenere un risultato più affidabile possibile e poter garantire il corretto funzionamento delle macchine nel tempo.

L'ultima parte di questa strategia però non riguarda solo la creazione del Machine Ledger, oltre ad esso vanno definiti i giorni esatti in cui le attività manutentive dovranno essere eseguite, tramite una schedulazione dettagliata da applicare nel sistema di gestione aziendale utilizzato in azienda. Questo garantirà una programmazione delle attività manutentive e di conseguenza, per i motivi indicati nella sezione dedicata alla manutenzione programmata, si otterranno i benefici della manutenzione con un utilizzo minimo di tempo che dovrebbe essere adibito alla produzione e di conseguenza una perdita minima del livello produttivo ed economico.

Per l'esecuzione di questa organizzazione, non risulta necessario il coinvolgimento di moltissime persone, solo degli uffici deputati alla gestione di quella particolare area di lavoro e del software di gestione, nel quale sono stati inseriti tutti i cicli manutentivi. Basandosi sulle vecchie schedulazioni e organizzando le nuove con accorpamenti ad alcune già esistenti, si potrebbe ottenere un'attività manutentiva con zero perdite produttive.

Miglioramenti Qualità

Come introdotto in precedenza, la qualità gioca un ruolo molto importante nella manutenzione e nella produzione. Uno degli scopi del TPM e del Lean Manufacturing, risulta essere proprio la riduzione delle perdite di non qualità in quanto creano delle rilavorazioni e di conseguenza degli scarti o perdite produttive.

Nel corso dell'esperienza in azienda, durante la fase di applicazione del TPM, in cui la macchina si trovava sotto osservazione per definire i suoi guasti maggiori ed i suoi indici di performance qualitativi, venne notato un notevole disturbo nella precisione di esecuzione delle lavorazioni. Tale anomalia non poteva essere però associata ad un semplice errore umano in quanto questo veniva ripetuto più volte, generando rilavorazioni e difficoltà nell'esecuzione del lavoro per gli operatori macchina. Venne quindi deciso di aprire un cantiere relativo a tale errore e definire quali fossero le cause scatenanti di tale fenomeno. Risulta molto importante sottolineare che al cantiere parteciparono diverse squadre in quanto l'errore non era bene definito e poteva essere generato da diversi fattori.

Una volta eseguita un'analisi completa e dettagliata del processo della macchina, analizzando i punti e le lavorazioni in cui l'errore aveva un maggiore tasso di accadimento, tramite diversi brainstorming, si arrivò alla definizione di alcune possibili cause e si verificò la presenza di tali errori. Venne definito che il problema fosse originato da un errato movimento dell'asse X, la cui affidabilità era diminuita negli anni fino ad arrivare ad un livello attuale molto basso, non adeguato alla produzione in atto.

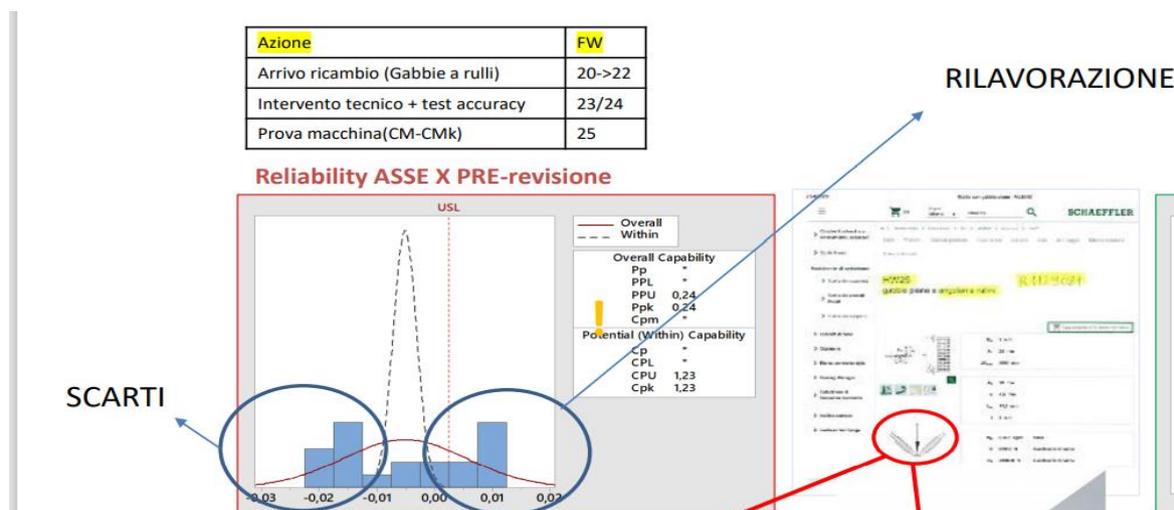


Figura 42- Analisi Affidabilità asse X Prima

Come possiamo notare nella Figura 42, gli indici di affidabilità della macchina avevano raggiunto dei livelli ridicolmente bassi. Si nota infatti come la distribuzione sia molto bassa e rilassata, indicando una maggiore deviazione standard e variabilità, dando vita ad un maggior numero di elementi considerati fuori dal limite superiore e inferiore di affidabilità USL ed LSL, generando delle rilavorazioni in caso di pezzi oltre il limite superiore USL, in quanto era ancora presente del materiale da asportare e degli scarti in caso di elementi prodotti con diametri inferiori a quelli previsti dalla produzione e quindi non più utilizzabili. In entrambi i casi si è comunque in presenza di produzioni non utili all'azienda, le quali creano delle spese non previste in quanto non vengono raggiunti i limiti qualitativi.

Si può notare inoltre come gli indici di affidabilità della macchina *PPU* e *PPK*, e gli indici di affidabilità del componente *CPU* e *CPK*, siano decisamente bassi a causa di tale rilassamento della distribuzione, e la relativa perdita di qualità. Si veda infatti come la popolazione esterna al limite USL sia maggiore rispetto a quella interna.

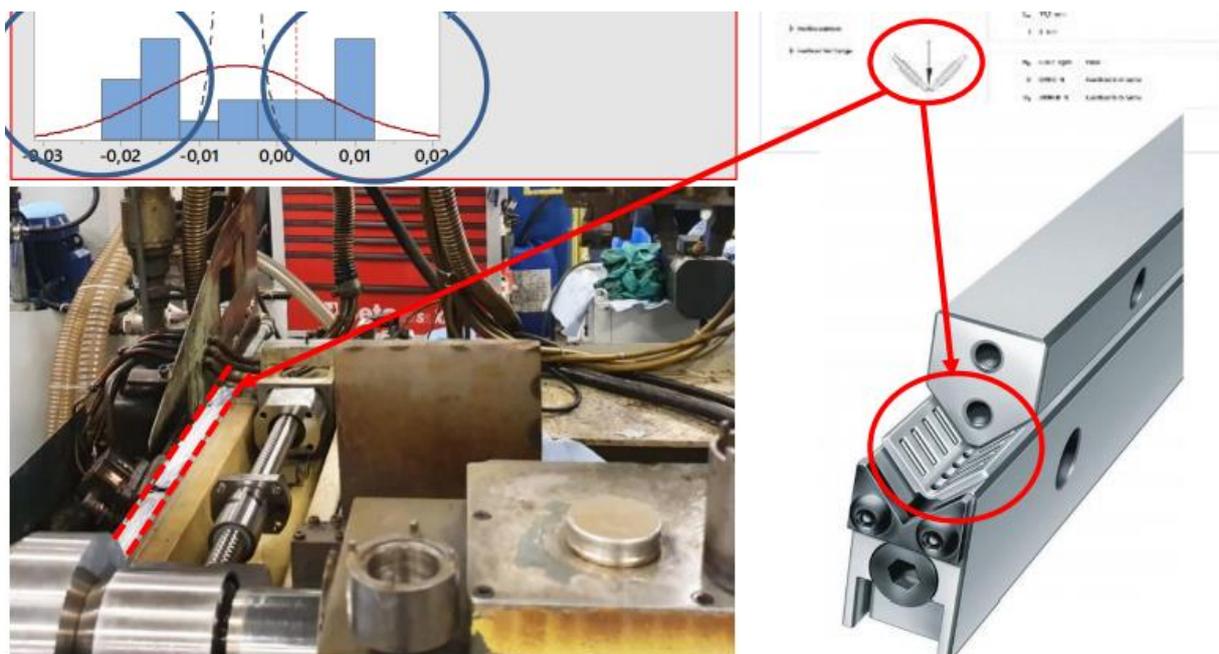


Figura 43- Gabbie a rulli Asse X prima

Visti tali dati, si decise quindi di eseguire una sostituzione delle gabbie a rulli presenti nelle guide relative all'asse X in quanto come visibile nella Figura 43, ormai usurate, non utilizzabili in produzione e non predisposte a fornire il livello qualitativo richiesto. Si stilò quindi un calendario di attività seguendo le tempistiche necessarie per l'arrivo del nuovo componente, la sostituzione e la verifica del funzionamento, per un totale di cinque settimane, di cui tre sarebbero servite solo per la recezione del componente.

La sostituzione delle gabbie a rulli fu un successo, una volta eseguito il posizionamento e la sostituzione venne indicato in modo ancora maggiore quale fosse il livello di usura delle vecchie gabbie a rulli installate sulla macchina e si comprese la motivazione del calo del livello qualitativo della produzione.



Figura 44- Gabbie a rulli Asse X Dopo

Una volta eseguita la completa sostituzione dei componenti difettosi, ed eseguito il ripristino della macchina, dopo aver eseguito tutte le prove necessarie, venne eseguita anche una prova di affidabilità della macchina. Questa consisteva, come nel caso precedente nell'eseguire sempre la stessa lavorazione su un numero definito di provini ed analizzarne i risultati al fine di verificare quale fosse l'affidabilità e la ripetibilità della macchina. Al contrario del test precedente, questo fu un vero successo. Infatti, come visibile nella Figura 45, l'andamento della distribuzione presenta una

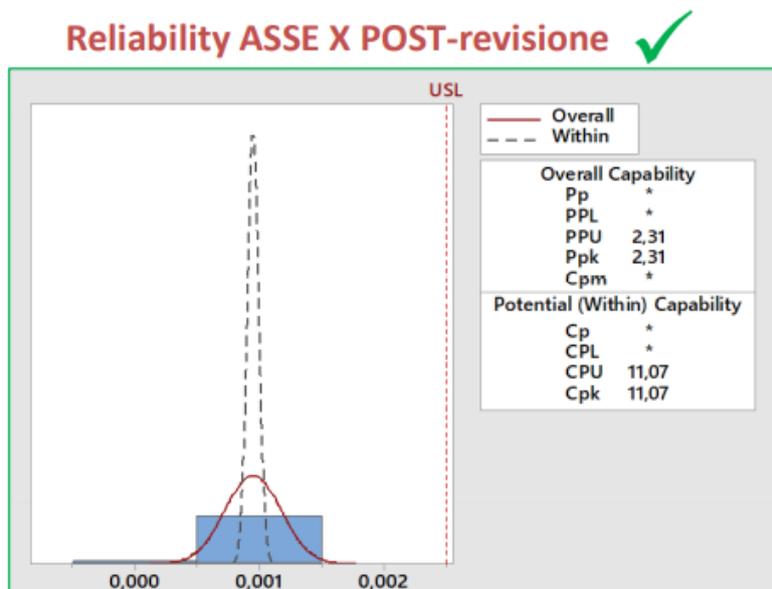


Figura 45. Analisi Affidabilità Asse X, Dopo

distribuzione presenta una forma molto più appuntita, indicandone la notevole riduzione della deviazione standard e di conseguenza della variabilità. Inoltre, la popolazione dei pezzi prodotti e verificati, si trova ampiamente all'interno dei limiti produttivi, generando un livello di scarti e rilavorazioni pari a ZERO.

Un ulteriore punto che ha subito una miglioria di proporzioni non indifferenti, riguarda gli indici di affidabilità *PPU*, *Ppk*, *CPU* e *Cpk*. Se confrontiamo infatti gli indici attuali, con quelli che

venivano presentati prima della sostituzione delle gabbie rulli, possiamo notare un incremento pari all'862.5% per i primi due indici, relativi all'affidabilità generale e dell'800% per quanto riguarda gli indici relativi all'affidabilità potenziale.

Etichette di riga	Somma di Round Grinding	Somma di Scarti [€]	Somma di Difetti [€]
Conici	28.97%	37.16%	15.96%
Power	26.47%	28.17%	21.18%
Alberi	18.68%	19.41%	17.98%
Cilindrici	25.89%	15.27%	44.88%

Figura 46- Quality Notification

In conclusione, possiamo affermare che l'intervento di miglioria sia stato eseguito in modo impeccabile, considerando soprattutto il livello di incremento di affidabilità ottenuto. Inoltre, tali dati forniscono delle informazioni ancora più rassicuranti se si considera che la macchina in analisi rappresentava il 20% del totale delle spese della sua area di produzione.

Se consideriamo le informazioni relative alla qualità di produzione di tutto l'impianto, precedenti all'intervento, indicate nella Figura 46, possiamo notare come tra le quattro diverse aree produttive in cui è stato suddiviso l'intero stabilimento di Rivalta di Torino, l'area produttiva di potenza, (evidenziata in giallo) in cui opera la macchina in analisi, custodisce il 26.47% delle attività di rettifica dell'impianto. Si può notare però come i macchinari di tale area contribuiscano alle spese relative agli scarti con un indice del 28.17% e difetti con un indice del 21.18%, superando quindi 1/5 dei costi totali della produzione dell'intero stabilimento di Rivalta di Torino, in quella singola area produttiva.

Osservazioni ed analisi finali

La conclusione di questa descrizione di come è stato applicata questa metodologia all'interno dell'azienda, non potrebbe terminare con niente di diverso da un'analisi finale dei risultati ottenuti, in quanto nonostante fin qui il processo sia stato introdotto come un metodo innovativo, per essere certi che questo funzioni, occorre verificarne l'apporto di alcune migliorie.

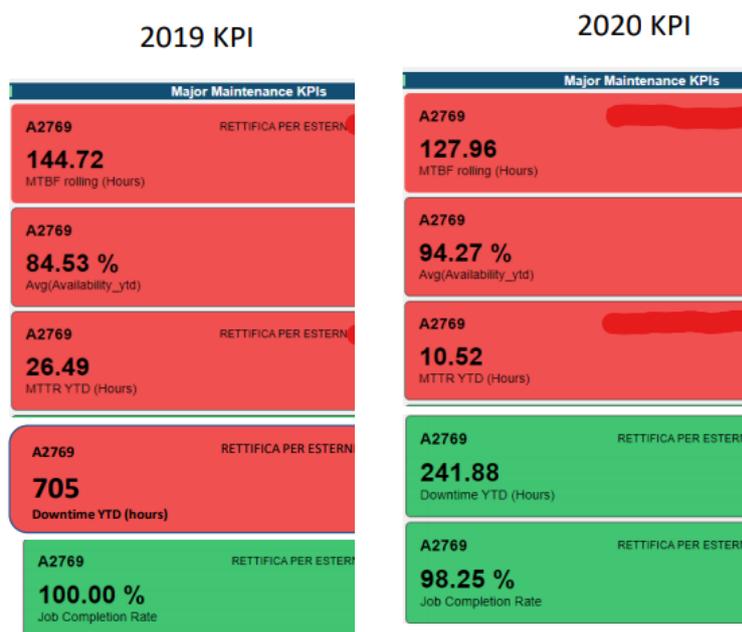


Figura 47- Confronto KPI 2019-2020

Nel nostro caso le migliorie ottenute sono state diverse, e seguendo la logica del processo di implementazione del TPM, queste saranno esposte iniziando dall'andamento dei KPI dal 2019 fino ad agosto 2020. Questo lasso di tempo è stato scelto in quanto va a riprendere un periodo precedente ad ogni miglioria eseguita sulla macchina ed uno successivo a tutto il processo introdotto nelle pagine precedenti.

Come possiamo notare nella Figura 47, la macchina ha ottenuto dei miglioramenti in quasi tutti gli indici di efficienza, ad eccezione:

- dell'indice di completamento del lavoro, il quale ha riscontrato una leggerissima perdita dell'1.75%, tuttavia risulta ancora ampiamente all'interno dei canoni di produzione ottimali della macchina.
- Del Mean Time Between Failures, (MTBF), ovvero il tempo medio tra due guasti. Questo valore a causa delle diverse complicazioni riscontrate in precedenza con l'analisi dei guasti, relativo ai guasti del tastatore, misuratore ed equilibratore, hanno generato una riduzione dell'MTBF dell'11.6%. Tuttavia, viste le nuove migliorie, è prevista un notevole incremento di tale indice.

Escludendo questi due indicatori, la macchina ha subito delle notevoli migliorie.

Come possiamo vedere, la riga successiva che indica la disponibilità tecnica della macchina mostra un incremento di quasi 10 punti percentuali. Tale miglioria è dovuta ad un altro indice indicato in tabella, L'MTTR, ovvero il tempo medio di riparazione. Questo indice, abbiamo visto vada ad indicare il tempo medio in cui la macchina sta ferma durante il guasto. In questo caso, possiamo notare come tale indice abbia subito un notevole ribasso, fino al 60.3% in meno in un solo anno. Infatti, se ricondiamo l'equazione per la definizione della disponibilità tecnica e assumiamo che il principio per cui se preso in un certo intervallo l'indice MTBF potrebbe essere usato come se fosse l'indice MTTF, originariamente inserito nella equazione, otteniamo che una riduzione dell'MTTR produce un incremento della disponibilità tecnica del macchinario.

L'ultimo indice che possiamo analizzare dalla Figura 47, indica il Down time totale, ovvero il tempo totale in cui la macchina è stata ferma dal 1° gennaio dell'anno in considerazione. Le due voci, per quanto non pienamente paragonabili, in quanto la prima tiene conto di un intero anno, mentre la seconda solo fino ad agosto, evidenzia comunque una riduzione della stessa voce. Nel 2019 sono state accumulate 705 ore di fermo macchina in 12 mesi di esame, generando così un fermo medio di 58ore e 45 min al mese. Se ora prendiamo in considerazione i dati relativi al 2020, notiamo in fermo macchina totale di 241.88 ore in 8 mesi di esame. Si ottengono quindi 30 ore e 14 min di fermo al mese, con una riduzione di ben 28 ore e 30 min al mese di fermo macchina, che viene utilizzato in produzione.

Un altro importante traguardo è stato raggiunto nella fase di analisi dei guasti ed emissione dei relativi programmi manutentivi. In particolare, se teniamo in considerazione l'analisi dei guasti e delle EWO necessarie per la creazione delle manutenzioni programmate, come illustrato nella Figura 40, si può notare come delle 55 segnalazioni EWO per insufficienza di manutenzione, solo 25 hanno avuto necessità di creazione di un'attività di manutenzione preventiva, ed una volta create, su di esse si son riscontrati un numero di guasti pari a ZERO.

Un altro importante traguardo raggiunto dall'applicazione della strategia riguarda la possibilità di verificare la percentuale di esecuzione delle attività di automanutenzione previste dalle schede SAMP tramite la compilazione del calendario. Tale verifica è possibile in quanto le attività devono essere segnalate come eseguite nel calendario e nel caso non vengano eseguite, se ne conosce la motivazione. In attesa del servizio online per tale verifica, periodicamente un addetto alla manutenzione verifica lo stato di completamento della scheda e ne riporta i valori su un software per l'analisi dei dati della macchina che ne definisce la percentuale di

applicazione giornaliero e settimanale, per poi registrarne un andamento e risolvere eventuali problemi che potrebbero insorgere nella compilazione o esecuzione delle attività. Un esempio

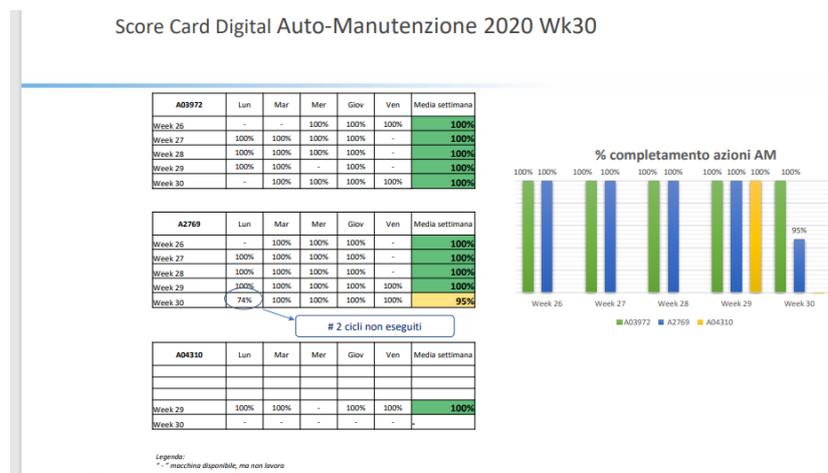


Figura 48- Analisi esecuzione attività AM week 30

della registrazione di questi dati è riportato nella Figura 48, in cui si fa riferimento all'analisi degli indici nella settimana 30 del 2020.

Si può notare come proprio per la macchina analizzata durante il processo esplicativo, nell'ultima settimana si fossero registrate delle riduzioni

nella compilazione del calendario, riducendo la percentuale di completamento. Tale indice, è stato poi analizzato dagli uffici di manutenzione che insieme agli operatori hanno definito quali strategie adottare per loro soluzione.

Un ultimo sguardo per le migliorie va dato agli indici di manutenzione di tutto l'impianto. In particolare, tenendo in considerazione la Figura 49, possiamo notare in alto a sinistra come la previsione per il 2019 fosse il raggiungimento di una percentuale di manutenzione a guasto pari al 77% del totale e di una manutenzione professionale (programmata, pianificata o Automanutenzione) pari al 23 %. Al termine del 2019 si riscontra un raggiungimento del target ed un miglioramento del 1% rispetto a quanto richiesto.

Per l'anno in corso, visti i notevoli risultati ottenuti, l'azienda ha impostato dei valori di soglia 70-30. Per quanto non semplice da ottenere, l'azienda è riuscita ad ottenere una riduzione del 5% sulle manutenzioni a Guasto solo nel primo trimestre del 2020, raggiungendo una quota del:

- 71 % di manutenzioni eseguite a guasto;
- il 20% riguardava manutenzioni preventive con un incremento del 5% sul 2019
- Il 7% riguardava le manutenzioni preventive che persero l'1% sul 2019
- Il 2% riguardava azioni di Automanutenzione, con un incremento dell'1% rispetto al 2019

Queste informazioni risultano essere molto incoraggianti, in quanto possiamo notare come nei primi tre mesi in cui l'azienda ha potuto lavorare in maniera positiva, ha raggiunto il target

Monitoring BM/PM
 TARGET BM/PM 2020: 70%-30%
 2019 TY: 77%-23%

- tipo
- Correttive AM
 - Guasti
 - Preventive
 - Programmate

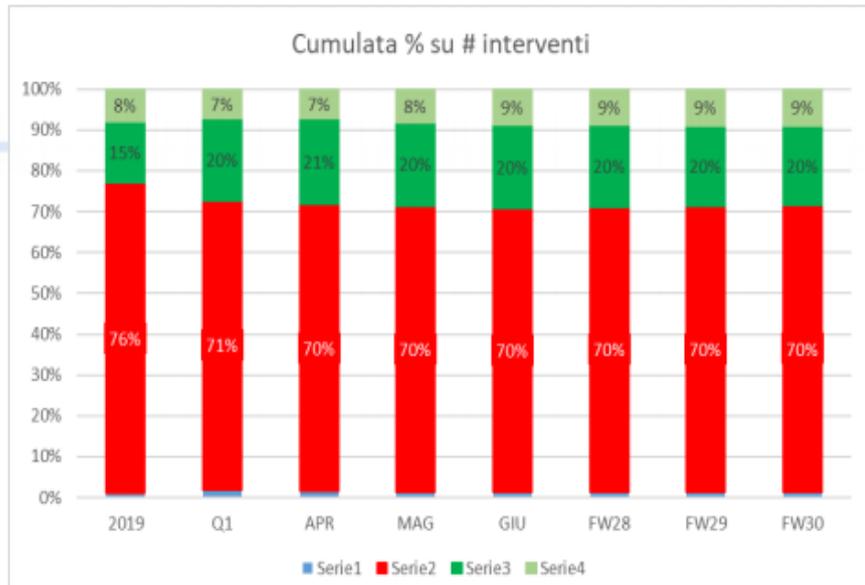


Figura 49- Previsioni e analisi tipologie manutenzione

annuale in un tempo di soli tre mesi. Per poi stabilizzarsi sui soli valori necessari per il soddisfacimento aziendale nei mesi successivi in cui la produzione subì una notevole riduzione. Questa diversificazione degli interventi ha fatto sì che si potesse avere una maggiore gestione dei guasti che si verificano nell'impianto e di conseguenza poter schedare le azioni necessarie per non gravare sugli indici di produzione dell'impianto

Conclusioni

Sebbene le attività di AM dovrebbero raggiungere lo step 7 per la loro completa esecuzione, la decisione aziendale su questo primo insediamento della metodologia del TPM, prevedeva l'implementazione solo dei primi tre step sia per la AM che per la PM. Tale decisione per quanto possa sembrare insensata, ha delle fondamenta ponderate e progettate con uno scopo chiaro e definito. Lo scopo dell'azienda, infatti, non è quello di ottenere subito un risultato eccezionale, ma quello di creare una nuova cultura del lavoro ad ogni livello della società. Questa strategia è stata ritenuta, infatti, migliore perché l'inserimento di un processo complesso totalmente sconosciuto potrebbe generare uno scontento degli operai e necessiterebbe di molto più tempo per essere compreso e perfettamente applicato da questi. Un inserimento graduale invece, genera una comprensione della strategia ed una facilitazione nell'inserimento dei successivi step nella seconda fase del processo.

Nonostante siano stati eseguiti solo tre dei sette step per l'insediamento della strategia completa, abbiamo evidenziato nelle pagine precedenti quali siano stati i risultati e possiamo affermare che sono stati molto più che positivi, viste le notevoli riduzioni in termini di costo e il raggiungimento del target aziendale richiesto in termini di differenziazione delle strategie manutentive, le quali permetteranno una maggiore gestione e programmazione delle attività manutentive in futuro e una riduzione dei costi e spese di gestione.

Possiamo concludere questo elaborato quindi dicendo che, viste tutte le definizioni teoriche introdotte nei capitoli precedenti, le varie strategie e strumenti disponibili per l'applicazione della Total Productive Maintenance, il lavoro fin qui eseguito rappresenta una solida base di partenza su cui sviluppare il progetto aziendale futuro per la crescita ed incremento dell'innovazione della stessa. Abbiamo visto infatti come sebbene fosse il primo approccio alla strategia, si è cercato di applicare al meglio tutti gli strumenti a disposizione, utilizzando il meglio della Lean Manufacturing e del pensiero TPM.

In particolare, va precisata l'importanza del coinvolgimento di tutto il personale aziendale, in quanto solo grazie a tale coinvolgimento è stato possibile ottenere un livello di comunicazione così elevata che ha garantito i risultati indicati nelle pagine precedenti. In particolar modo l'implementazione delle strategie di AM, hanno come fondamenta il coinvolgimento dell'operatore macchina, il quale detiene la conoscenza maggiore della macchina e ne comprende a pieno il funzionamento. La possibilità di applicare quelle strategie così definite e concentrate sul difetto

è da attribuire in particolar modo a loro e agli Ingegneri aziendali, esperti nel settore che definiscono le cause dei problemi indicati dagli operatori. Vediamo quindi per la prima volta una collaborazione costruttiva delle varie parti che seguendo la metodologia del TPM della divisione del lavoro in piccoli gruppi garantisce risultati di un certo livello.

Ovviamente tale approccio venne istituito anche all'interno degli uffici atti alla gestione della componente tecnica e anche in questo caso, la collaborazione con tutti i livelli può essere notata, in particolar modo durante la creazione del calendario di AM e della classificazione dei componenti. Un ufficio, per quanto preparato in ambito tecnico dovrebbe sempre prediligere una pianificazione basata sulle conoscenze sia teoriche da lui fornite che pratiche, fornite dagli operatori e ingegneri della manutenzione.

Abbiamo inoltre potuto analizzare come la presenza di un guasto possa affliggere la produzione, riducendo l'affidabilità della macchina e la qualità di produzione, dando vita a sprechi e rilavorazioni dei componenti. Possiamo notare quindi come la perdita di qualità di una fonte di *Muda* e tenendo in considerazione gli approcci del Lean Thinking e del Six Sigma, l'azienda deve ridurre tali sprechi al minimo, in quanto generatori di costi ma non di Valore aggiunto per l'azienda.

Tale approccio di riduzione degli sprechi, come esposto abbondantemente in precedenza, ha fatto sì che le aziende pensassero non solo alla riduzione di essi quando sono già presenti, ma ad una loro prevenzione tramite le attività manutentive preventive, programmate e in modo particolare di Automanutenzione. Queste, infatti, permettono un controllo giornaliero che sebbene sia minimo, garantisce che la macchina si trovi sempre nelle condizioni di lavoro ottimali, riducendo così, in modo drastico e mirato, le probabilità di incorrere in un guasto della macchina.

Ma cosa è in sostanza quindi il TPM, solo una serie di norme da applicare per il raggiungimento di uno scopo, o qualcosa di più?

Partendo da questo quesito, questa tesi ha cercato di esporre quali fossero tutte le definizioni tecniche necessarie per la comprensione della sezione tecnica e teorica, aggiungendo però un esempio di un intero processo, il cui scopo non è solo quello di ottenere un miglioramento sulla macchina, ma anche un miglioramento dell'azienda. Durante le fasi applicative del processo, in quanto molto lungo, ci si interfaccia con una notevole quantità di persone, tutti con ruoli e storie differenti da raccontare e con cui poter creare un rapporto di lavoro per il futuro, generando una coesione di informazioni e risorse utilissime a livello aziendale e personale.

Ogni persona tende ad apprendere in modo più semplice tramite normali conversazioni con i colleghi, e una volta instaurata una cultura di condivisione ed apprendimento, risulterà sempre più semplice poter migliorare i processi aziendali tramite la motivazione e l'entusiasmo dei dipendenti. Non si avrà quindi la solita produzione grigia e monotona, ma una più allegra e colorata, diversificata e a prova di qualsiasi errore.

Per concludere quindi, la risposta alla domanda introdotta pocanzi è quindi che sì, il TPM rappresenta una strategia innovativa di produzione per il miglioramento degli indici aziendali, ma anche molto di più. Si tratta di una metodologia per la creazione di una nuova cultura aziendale adamantina, che raggiunge tutti i livelli della società aziendale e ne migliora ogni suo aspetto, tramite il coinvolgimento totale delle persone, riducendone le disparità.

Appendici

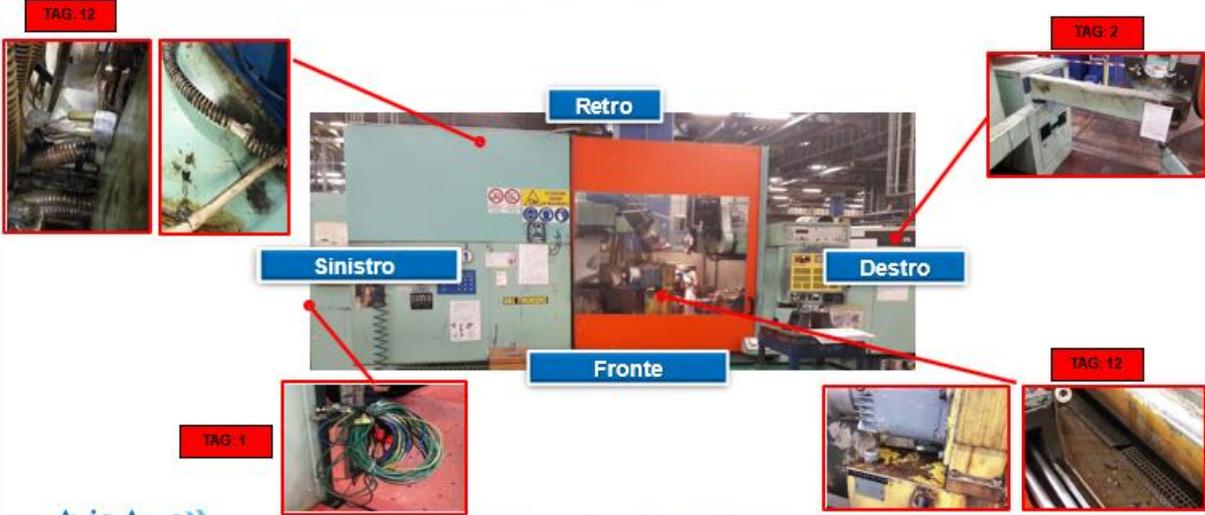
Appendice I: Esempio Ispezione post Pulizia di un componente della macchina

Al fine di poter fornire una completa comprensione di quali siano i punti ed i parametri da tenere in considerazione, viene fornita di seguito una lista di quali siano i punti da verificare durante una ispezione di una unità idraulica, Classificati in base al senso con cui questi vengono identificati.:

- *Vista, osservo*: Sporco, Perdite, Pressioni, componenti appropriati, livello olio, quantità e colore dell'olio, presenza di fori.
- *Udito, sento*: Pompe, Motori, Elettrovalvole, Tubature.
- *Tatto, Tocco per verificare la presenza di*: vibrazioni, surriscaldamento, allentamento dadi o viti, perdite olio, integrità dei condotti delle tubature.
- *Olfatto: Annuso per verificare la presenza di*: odori non conformi al normale, bruciato.
- *Rimuovo e osservo*: la presenza di usura tra gli accoppiamenti, libertà passaggio aria, integrità ed eventuale sporco nei filtri dell'olio o di aspirazione, sporcizia nel serbatoio.

Si allegano inoltre alcune immagini relative al cantiere con alcuni esempi di cartellinatura e migliorie della macchina, seguendo i parametri e le procedure indicate nel relativo capitolo dei primi Step di AM.

Mapa delle sorgenti dello sporco

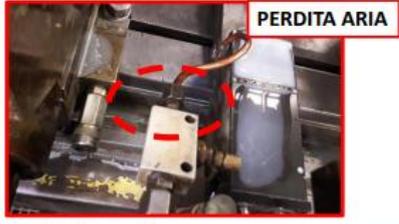


AVIO AERO PROPRIETARY - Approved for release Copyright - Avio Aero 2020 - do not replicate without Avio Aero's written permission

Step 1 - Esempi di mancanza di condizioni di base

FRONTE

RETRO



AVIO AERO PROPRIETARY - Approved for release Copyright - Avio Aero 2020 - do not replicate without Avio Aero's written permission

Esempio di ripristino condizioni di base

PRIMA

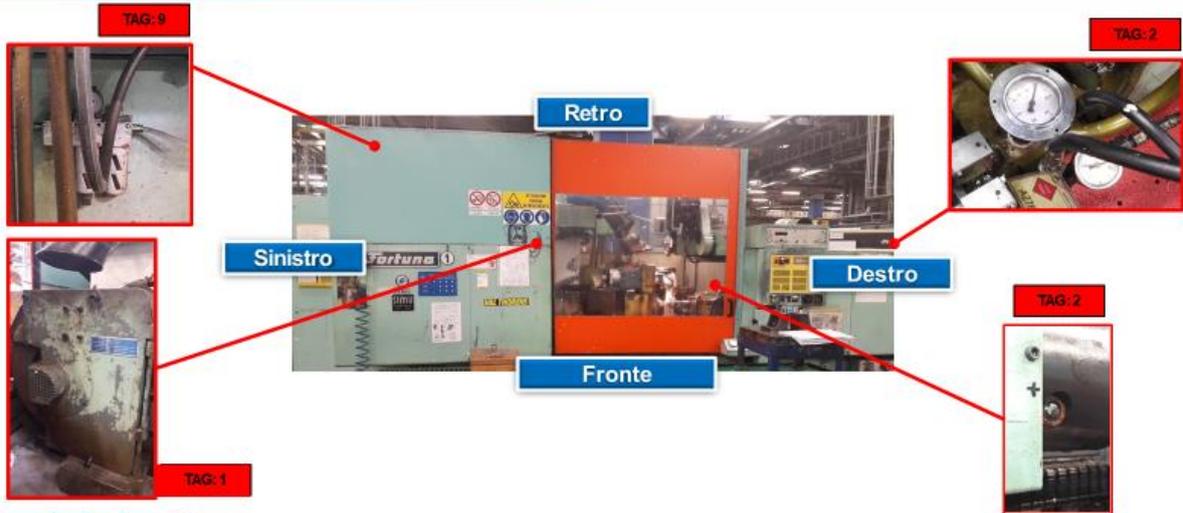


DOPO



AVIO AERO PROPRIETARY – Approved for release Copyright – Avio Aero 2020 – do not replicate without Avio Aero's written permission

Mappa delle zone di difficile accesso/ispezionabilità



AVIO AERO PROPRIETARY – Approved for release Copyright – Avio Aero 2020 – do not replicate without Avio Aero's written permission

Step 1 - Esempi di difficile accesso/ispezionabilità

FRONTE



RETRO



DESTRA



AVIO AERO PROPRIETARY - Approved for release Copyright - Avio Aero 2020 - do not replicate without Avio Aero's written permission

Esempio di ripristino ispezionabilità

PRIMA



DOPO



AVIO AERO PROPRIETARY - Approved for release Copyright - Avio Aero 2020 - do not replicate without Avio Aero's written permission

Appendice II: Esempi ECRS

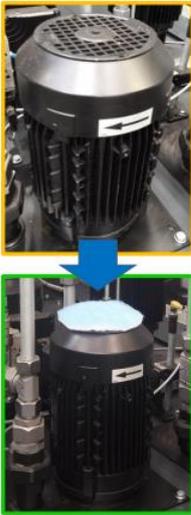
ECRS

E = Elimina
C = Combina
R = Riduci
S = Semplifica

↓

Riduzione tempo per attività di AM

Riduci



Semplifica





GE Avio S.r.l. PROPRIETARY INFORMATION - GE Avio Confidential. Not to be copied, distributed, or reproduced without prior approval

23

Nell'immagine qui sopra, possiamo notare il primo esempio "riduci", precedentemente descritto nella sua fase di applicazione e due esempi dell'attività "Semplifica".

Possiamo vedere come in entrambi i casi si vada ad indicare tramite un marcatore, quale sia la posizione corretta della vite, una volta raggiunto il livello di serraggio corretto. In questo modo, nel caso in cui una vite dovesse svitarsi, questo possa essere notato con rapidità ed evitare problemi, di produzione o in casi estremi di sicurezza.

Appendice III: PDCA

Definito anche come la “*Ruota di Deming*”, viene considerato come la base del management. Si definisce in quattro fasi **Plan-Do-Check-Act**, ovvero Pianificare, fare, verificare, Agire. Venne definito da William Edwards Deming per il miglioramento continuo in ambito qualitativo, fino al raggiungimento del suo massimo e arrivare quindi alla piena soddisfazione del cliente.

Plan

Questa fase si basa sulla pianificazione delle attività da eseguire, partendo da una serie di domande per definire la posizione attuale e l’obiettivo da raggiungere e in quale finestra di tempo si intende raggiungere il risultato.

DO

Fase applicativa della strategia, in essa vengono eseguite le attività pianificate nella fase precedente, completando tutte le operazioni pianificate.

Check

Controllo e verifica delle attività ed operazioni eseguite, tale attività comprende la verifica dei risultati, degli output e l’esecuzione di un confronto con i valori previsti prima dell’attività al fine di avviare una valutazione rapida delle performance dell’attività svolta

ACT

Tale fase comporta una fase di azione o rimedio, ovvero basandoci sui risultati ottenuti finora si eseguiranno operazioni di migliorie nei processi in cui non sono stati ottenuti i risultati sperati e si va a definirne le cause per poter generare dei piani di miglioramento delle attività per le prossime attività.

Ringraziamenti

Il presente lavoro di tesi segna la fine di un percorso importantissimo della mia vita che mi ha dato l'opportunità di poter crescere, migliorare e testare le mie capacità nelle situazioni più disparate. Questa avventura iniziò ben sei anni fa, in un momento in cui dovetti prendere una delle decisioni più importanti della mia vita, ovvero quale fosse secondo me la strada da imboccare per raggiungere il sogno di una conoscenza professionale maggiore per poter affrontare al meglio gli anni a venire.

Partendo da una semplice sfida o scommessa contro me stesso per la nuova avventura in una città metropolitana come Torino, ed ancora più in là quando venne la volta delle due esperienze in Irlanda, ci furono ovviamente diversi momenti che racchiudono delle emozioni molto forti e importanti che hanno segnato in modo particolare questo percorso universitario. Ognuna di queste è per me abbinato ad una persona speciale che mi ha sostenuto, aiutato, appoggiato ed a volte si è anche opposto ad alcune mie decisioni al fine di potermi dare un consiglio o invitarmi a rifletterci su con maggiore attenzione.

Partendo dal principio che sono veramente grato a chiunque abbia contribuito anche se in parte minima al raggiungimento di questo risultato, ritengo che una gratificazione personale per coloro i quali si sono dimostrati essere di veri amici e mi abbiano sostenuto in questi sei lunghi anni sia degna di nota.

Il primo ringraziamento va al mio relatore, il Prof. Massimo Rossetto, il quale ha svolto un lavoro egregio nella verifica del mio elaborato, fornendo dei consigli preziosissimi, sia nel corso della mia carriera universitaria, nel ruolo di insegnante che in questo momento di conclusione come relatore della mia tesi.

Un ringraziamento speciale va a tutti i professori universitari, assistenti, tecnici di laboratorio, segreteria e personale della biblioteca del politecnico di Torino per il loro aiuto alla comprensione e sostegno negli argomenti più complessi. A loro devo la mia preparazione attuale e faccio i miei migliori auguri per un futuro roseo e pianeggiante.

Ovviamente non potrei dimenticare di ringraziare tutti i dipendenti della Avio Aero S.r.l., azienda promotrice del tirocinio senza i quali non sarebbe stato possibile realizzare questo lavoro di tesi e comprendere così in fondo quali siano le reali procedure di gestione di un'azienda. Di questi vorrei spendere delle particolari parole per ringraziare i miei due inseparabili colleghi

Alessio e Giuseppe, su cui ho sempre potuto contare per le spiegazioni sul campo e un approccio amichevole e gentile. Tutto l'ufficio di manutenzione dello stabilimento di Rivalta di Torino, dagli operatori che sono i massimi esperti nell'esecuzione del proprio lavoro, tutti gli addetti alle varie fasi, e i miei colleghi dell'ufficio *Paolo, Luigi, Ivan, Loris, Massimo, Andrea, Il boss Enrico*, e un ringraziamento molto speciale ai miei Tutor *Luca e Riccardo*, i quali hanno speso tempo, fatica e pazienza per potermi formare in ogni aspetto per poter comprendere i processi in analisi e poterli applicare.

Citando testualmente le sue parole “non si è coinquilini se prima non si è amici”, un grazie è d'obbligo al Piova, sempre presente e disponibile per dare una mano e farsi una bevuta da via Colombo ai club di Londra.

Un ringraziamento va ad Andrea, il trentino con il cuore sardo, per avermi supportato in questi anni come amico e coinquilino e aver condiviso ore di studio, cene, serate e pelate improvvise per rendere questi anni qualcosa di epico DC.

Alla mitica CREV, che nonostante la lontananza dell'ultimo anno ha dimostrato di essere una compagnia di amici insuperabile, in particolar modo tra questi un grazie speciale va a Daniel e Lorenzo, “Bighinoso de istansia e cumpanzoso de coro chi ana sempre dimostrau cantu si alede un omine beru de ispirutu Sardu”.

Un grazie al mitico Stefanuccio, collega, amico e assaggiatore fidato di tutte le prove di cucina di questi anni, “perché la soddisfazione di un buon piatto è dividerla con chi la sa apprezzare”. “mangia a mamma”.

Un grazie alla mia carissima amica Franca, per le serate di chiacchiere, relax e tranquillità nel mio paese natale, un appoggio sicuro tra quei lunghissimi caffè di cui ci si dimentica anche dell'esistenza.

Ai miei amici di sempre Cau, Vannini, Carta, e Michele con cui abbiamo condiviso le maggiori e diverse esperienze di vita fin dall'infanzia e hanno reso possibile, tramite il loro supporto e motivazione che questo giorno potesse essere realtà.

Un ringraziamento va al mio “Jonathan Livingston”, Simone. A lui che ha sempre condiviso la mia idea di viaggiare, affrontare l'esperienza dell'avventura lontano da casa per incrementare il proprio bagaglio culturale, senza mai aver paura di voltarsi e pentirsi delle sue scelte.

Un grazie importantissimo alla mia amica Daniela la quale nonostante il mio caratteraccio, sia sempre lì pronta dare una mano in ogni momento e mostrare come un'intesa vincente possa andare contro ogni pregiudizio.

Ovviamente non potrei esimermi dal volgere uno speciale omaggio e ringraziamento a mio "Compare" Alex, con cui posso vantare un'amicizia lunga 25 anni e non basterebbero le righe di queste pagine per descriverne i pregi e le motivazioni, che hanno fatto in modo che potessi rivedere in lui tutti i pregi e le motivazioni che definiscono un vero amico e una persona di cuore.

Mi preme fortemente porgere un ringraziamento postumo al mio carissimo compagno di avventure e "scorribande" Gianpietro. Perché nonostante siano sempre i migliori ad andar via troppo presto, il tuo ricordo vivrà sempre in me e ti ricorderò per sempre come la persona più solare e felice che abbia mai conosciuto. Sarò per sempre onorato di averti potuto chiamare Amico.

Un grazie Immenso al grandissimo Alexandu Iulian Simon, con cui ho condiviso questa bellissima esperienza universitaria fin dal primo giorno di lezione in quel lontano autunno del 2014 fino alla sua conclusione quest'anno. Questo ringraziamento, per quanto breve, è per me molto importante. Perché non importa quanto sia grande la tua famiglia, ma quando la vita ti sorride e ti mette davanti una persona come lui, sai di aver trovato un nuovo fratello.

Ultimo della lista di amici, ma sicuramente non per importanza, ci tengo a ringraziare il mio carissimo amico Alessandro. Sempre presente nella mia vita fin da quando ho memoria in tutti i momenti che la hanno attraversata e sono più che orgoglioso nel dire che, se nella vita i veri amici si possono contare sulle dita di una mano, lui è sicuramente uno di quelli che può essere considerato come tale.

Un ringraziamento speciale va dato ai miei familiari, partendo dai miei zii Lina e Gianni, che hanno sempre sostenuto le mie scelte e mi hanno motivato in modo esemplare per il raggiungimento di questo titolo così importante.

Un grazie a Zia Nanna che nonostante la distanza geografica dalla famiglia, ma sicuramente non emotiva, ha sempre provveduto a fornirmi il suo affetto e i racconti delle esperienze di vita di una persona solare, felice e "spigliata", come lei.

Un grazie a Zia Graziella, mio padrino Piero e miei Cugini Noemi e Riccardo, che hanno rappresentato e continuano a rappresentare una parte importantissima della mia vita, fornendo tutto il loro appoggio e motivazione nei diversi momenti di questi anni. In particolare, a mio padrino Piero, che sin dai primi momenti della mia vita ha provveduto a prendersi una grandissima responsabilità nei miei confronti e che ha sempre fatto più del necessario per essere considerato come un padrino speciale.

Un ringraziamento di cuore a Padrino Marongiu, il quale ha sempre provveduto a dimostrare di essere oltre che un grandissimo padrino, un mentore, un amico ed un compagno di avventure inestimabile. Grazie per avermi spronato a raggiungere traguardi sempre più grossi ed essere un punto di riferimento ed un motivatore di così grande importanza.

A mia Madrina, Compare Tonino e mio cugino Ale, per esser stati sempre presenti nella mia vita avermi sostenuto in modo particolare nella mia carriera scolastica, e nella vita privata per il raggiungimento di questo grande traguardo. In particolare, un grazie enorme va a mia Madrina, zia, Comare, per essersi sempre presa cura di me come una seconda madre e a cui sono immensamente grato per tutto ciò che ha fatto e fa continuamente per me.

Un ringraziamento a mio figlioccio Agostino, per avermi dato la gioia e l'onore di poter essere per lui una figura così importante nella sua vita e per cui spero di svolgere una funzione di faro per rammentargli che con un po' di forza di volontà si può raggiungere ogni traguardo e da cui son sicuro di potermi aspettare grandi risultati.

Non posso ovviamente esimermi dal ringraziare i miei favolosi Nonni, Laura, Pietrina e Giovanni, per rappresentare quella solida base di famiglia di cui tutti abbiamo bisogno e per la loro continua motivazione nei miei confronti per raggiungere i miei obiettivi ed essere felice.

Gli ultimi ringraziamenti li lascio a coloro i quali son sempre al mio fianco in ogni momento, la mia famiglia. Alla piccola Irene, per portare allegria in ogni momento all'interno della nostra casa e scaricare tutte le pressioni, per cui spero un radioso futuro ed una magnifica carriera universitaria e lavorativa. A mio fratello Pietro, che ha deciso di intraprendere la carriera ingegneristica da poco e a cui auguro il raggiungimento dei suoi traguardi più grandi. Un grazie a mia sorella Laura, per avermi supportato nella mia vita universitaria e per la sua incredibile pazienza, perché sebbene tra noi sembri sempre una continua lite tra cane e gatto, l'amore tra fratelli deve essere così per non essere noioso e monotono. A mio Fratello Giovanni, per avermi fornito sempre i consigli giusti e con cui posso vantare un rapporto non solo di fratello ma anche

di migliore amico dal primo giorno della mia vita e su cui son sicuro di poter contare in qualsiasi momento e situazione.

Il ringraziamento più grande in assoluto va ai miei genitori, a mia Madre Cristian e mio padre Raimondo, per aver reso possibile tutto questo, nonostante i sacrifici e le difficoltà, mi hanno sempre fornito le motivazioni giuste per andare avanti e arrivare a questo grandioso traguardo universitario. E per avermi fornito le conoscenze necessarie per poterla cavare in qualsiasi situazione la vita mi presentasse, non importa quanto difficile. Grazie a loro e ai loro insegnamenti e il loro indubbio appoggio spero di poter raggiungere risultati ancora maggiori da poter condividere e celebrare sempre in loro compagnia, che son sempre stati dei grandissimi mentori e portatori di saggezza, oltre che genitori modello a cui si deve il riconoscimento per aver generato la famiglia migliore di sempre.

L'ultimo di questi lunghissimi e prolissi ringraziamenti va a me stesso, che per quanto possa essere considerato narcisista, mi sento in dovere di ringraziarmi. È stato un viaggio lunghissimo, di una carriera di formazione partita 22 anni fa in quella scuola materna di via Manzoni a Bono, fino ad un traguardo così importante al Politecnico di Torino. Un percorso molto spesso in salita, che ha visto momenti difficili ovviamente ma son sempre stati superati e sovrastati dalle bellissime esperienze degli anni di studio. Dall'esperienza in paese al miglioramento nella realtà cittadina di Sassari, fino alla Metropoli Torinese e ancora più in là tra le verdi praterie Irlandesi. Un viaggio pieno di ricordi da rivivere in compagnia delle persone che li hanno resi possibili in tutto questo tempo e che son fiero e orgoglioso di aver avuto la possibilità di dividere con tutti voi che ho citato in precedenza.

Ora che il riscaldamento è finito è ora di rimbocarmi le maniche e trovare un lavoro, dove arriveranno sfide sempre maggiori, ma son sicuro che con le persone care al mio fianco e la giusta motivazione arriveremo alla vetta, ma fino ad allora guarda avanti e tieni botta....

Bibliografia

1. **UNI, Ente Nazionale Italiano dell'Unificazione.** *UNI EN 10147, La Manutenzione.* 1993.
2. **De'Francesco, Marco.** Tutto quello che avreste sempre voluto sapere sulla manutenzione predittiva e che nessuno vi ha mai raccontato. [Online] 10 Luglio 2020. [Riportato: 25 Ottobre 2020.] <https://www.industriaitaliana.it/manutenzione-predittiva-iiot-industria-4-0-machine-learning-made-predictive-maintenance/>.
3. **UNI EN, ente Nazionale Italiano dell'Unificazione.** *ISO UNI EN 11063.* 1993.
4. **Mainsim.** Mainsim, What Maintenance can Be. [Online] 2019. <https://www.mainsim.com/academy/tipi-di-manutenzione/>.
5. **UNI11063.** *UNI 11063.* s.l. : UNI, 2017.
6. **Mainsim.** Mainsim, what maintenance can be. [Online] 2020. <https://www.mainsim.com/academy/manutenzione-migliorativa/>.
7. **Meccanicatecnica.** La Manutenzione- Meccanicatecnica. *Meccanicatecnica.* [Online] 22 Maggio 2018. <https://meccanicatecnica.altervista.org/la-manutenzione/>.
8. **Favari, Studio.** MANUTENZIONE: DEFINIZIONI PREVISTE DALLA NORMA UNI 11063:2017. [Online] 2019. <https://www.studiofavari.com/2019/07/16/manutenzione-definizioni-uni/>.
9. **Wikiversità.** Wikiversità, l'apprendimento libero. *Wikiversità.* [Online] 21 Ottobre 2017. https://it.wikiversity.org/wiki/Manutenzione_autonoma#:~:text=il%20secondo%20suggerisce%20che%20operazioni,da%20un%20lato%20questi%20ultimi.
10. **Cocuzza, Daniele.** Definizione di KPI su Glossario Marketing. [Online] Glossario Marketing, 2019. <https://www.glossariomarketing.it/significato/kpi/>.
11. **UNI.** *Manutenzione - Indicatori di prestazione della manutenzione (KPI).* s.l. : UNI, 2019.
12. **ISO, Normativa.** *ISO UNI EN 9910:2015.* 2015.
13. **Rossetto, Massimo.** *Appunti strIP - Affidabilità (basi).* Torino : s.n., 2020.
14. **13306:2018, ISO UNI EN.** *Manutenzione - Terminologia di manutenzione.* 2018.
15. **ISO9000.** *ISO UNI EN 9000:2005.* s.l. : ISO UNI EN, 2005.
16. **Wakamatsu, Yoshihito.** *I 10 Insegnamenti di Taiichi Ohno.* s.l. : Franco Angeli; Considi, 2011.
17. **Donini, Claudio.** *Lean manufacturing. Manuale per progettare e realizzare un'azienda snella.* s.l. : Franco Angeli , 2019.
18. **Barlotti, Carmine.** *Industrial Engineering & Lean Manufacturing: La rivoluzione dell'organizzazione aziendale.* s.l. : Società Editrice Esculapio, 2013.
19. **Schenone, Maurizio.** *Appunti di Programmazione della produzione e logistica; Lean, JIT, Kanban.* [Slide PDF] Torino : s.n., 2019.

20. **Shimbun, Nikkan Kogyo.** *Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects.* s.l. : CRC Press, 1989.
21. **Productivity Press Development Team, Matteo Bianchi.** *SMED. La chiave della flessibilità.* s.l. : goWare & Guerini Next, 2017.
22. **Society), APICS (American Production & Inventory Control.** *APICS Dictionary, 13th Edition (Revised): Advance Your Career with an Industry-Savvy Vocabulary.* s.l. : John H. Blackstone jr., 2010.
23. **Muzaffer Ertürka, Muhemmetali.Tuerdi, AIHEMAITUOHETI WUJIABUDULA.** *The Effects of Six Sigma Approach on Business Performance: a study of white goods (Home Appliances) Sector in Turkey.* Istanbul. Turchia : Elsevier L.t.d, 2016.
24. **Kevin Linderman, Roger G. Schroeder, Srilata Zaheer, Adrian S. Choo.** *Six Sigma: a goal-theoretic Perspective.* *Journal of operation management.* s.l. : Elsevier, 2003.
25. **Massimo, Rossetto.** *innovazione del prodotto, InProd-Six Sigma.* [PDF] Torino : s.n., 2020.
26. *Sei Sigma, Esperienze di applicazione.* **Gerbi (Fiat Avio).** Torino : Convegno AICQ Torino, 2001.
27. **Knowles, Graeme.** *Six Sigma.* s.l. : Ventus Publishing ApS, 2011.
28. **Suzuki, Tokutaro.** *TPM in Process Industries.* s.l. : CRC Press, 1994.
29. **The Japan Institute of Plant Maintenance.** About JIPM>TPM (Total Productive Maintenance). *Japan Institute of Plant Maintenance.* [Online] [Riportato: 9 11 2020.] <https://jipmglobal.com/about/tpm>.
30. **UNI, Ente Italiano unificazione.** *UNI 10147, norma 3.11.* s.l. : UNI, 1993.
31. **Japan Institute of Plant Maintenance.** *Applichiamo il TPM. Guida operativa alla realizzazione del Total Productive Maintenance.* s.l. : FrancoAngeli, 1995.
32. **Avio Aero S.r.l (a GE Aviation Business).** *Primo cantiere AM a Rivalta.* [Documento PDF] Rivalta di Torino : s.n., 2019.
33. —. *TGPC Method.* [Documento PDF] Rivalta di Torino : s.n., 2020.
34. **GE Avio S.r.l.** Avio Aero: chi siamo. [Online] 2013. [Riportato: 14 05 2020.] <https://www.avioaero.com/ita/Chi/Avio-Aero>.
35. **Cessione FiatAvio ad Avio. Fiatgroup.** [Online] 2003. <http://www.fiatgroup.com/it-it/mediacentre/press/Documents/2003/Cessione%20FiatAvio%20ad%20Avio.pdf>.
36. **Avio Aero. Ansa.it.** [Online] 12 03 2020. https://www.ansa.it/scienza/notizie/rubriche/eccellenze/avio_aero.html.
37. **Avio Aero-contatti stabilimenti.** [Online] 2020. <https://www.avioaero.com/ita/Dove/Contatti-stabilimenti>.
38. **Pande, Peter S. Neuman, Robert P. Cavanagh, Roland R.** *The Six Sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance.* s.l. : New York : McGraw-Hill, 2000.