

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica



**Manutenzione negli impianti industriali: ottimizzazione dei
tempi di riparazione e miglioramento della sicurezza tramite
implementazione della procedura LOTO**

Relatore:

Luca Mastrogiacomo

Candidato:

Stefano Frongia

Anno accademico 2019/2020

Indice

Sommario	4
1. Introduzione.....	5
1.1. L'attività di Manutenzione	5
1.2. Normativa Internazionale	8
1.3. La legislazione italiana	10
1.4. La manutenzione degli impianti	13
2. Caso Aziendale.....	14
2.1. DENSO Thermal Systems.....	14
2.2. Manutenzione	15
2.3. Applicazione del programma LOTO.....	16
2.4. Identificazione delle fonti di energia pericolosa.....	17
2.5. Dispositivi di bloccaggio.....	18
2.6. Fasi della procedura.....	19
2.7. Procedura aziendale.....	21
2.8. Sopralluogo preliminare	23
2.9. Stesura del documento.....	24
2.10. Segnalazione sulla macchina	26
2.11. Dispositivi di Sicurezza	29
2.12. Applicazione della procedura in un Isola di Lavoro.....	30
3. Ottimizzazione della manutenzione.....	33
3.1. Caso di studio	33
3.2. Diagramma di Gantt	34
3.3. Compilazione del diagramma di Gantt per manutenzione correttiva	35
3.4. Individuazione delle fasi ottimizzabili.....	36
3.4.1. Rilevazione e segnalazione.....	36
3.4.2. Ricerca del personale.....	37
3.4.3. Messa in sicurezza	37
3.4.4. Rilevazione del tecnico.....	41
3.4.5. Approvvigionamento ricambi.....	41
3.4.6. Effettiva riparazione	41
3.4.7. Controllo finale.....	42
3.5. Nuovo diagramma di Gantt per manutenzione correttiva.....	42
3.6. Limiti della manutenzione correttiva.....	43
3.7. Manutenzione preventiva	44
3.8. La percentuale critica di manutenzione programmata.....	46

3.9.	Diagramma di Gantt per manutenzione preventiva	46
3.10.	Programmazione manutenzione preventiva.....	48
3.10.1.	<i>Mean time between failures</i> (MTBF)	49
3.11.	Limiti della manutenzione preventiva	49
3.12.	La manutenzione predittiva	50
3.13.	Applicazione della manutenzione predittiva	50
3.14.	Pro e contro della manutenzione predittiva	52
3.15.	Diagramma di Gantt per manutenzione predittiva.....	52
4.	Analisi.....	54
4.1.	Recupero della produzione con manutenzione correttiva.....	54
4.2.	Recupero della produzione con manutenzione preventiva	56
4.3.	Risparmio annuale dato dalla manutenzione preventiva	57
4.4.	Analisi dei costi della manutenzione predittiva.....	61
5.	Conclusioni.....	63
5.1.	Manutenzione correttiva.....	63
5.2.	Manutenzione preventiva	63
5.3.	Manutenzione predittiva.....	65
	Bibliografia.....	66

Sommario

Il settore industriale è uno dei più colpiti dal problema degli infortuni sul lavoro, secondo le statistiche annuali dell'Istituto nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro (INAIL). Questo dato è risaltato ai miei occhi durante l'attività di tirocinio, presso l'azienda DENSO Thermal Systems. Ho ritenuto, quindi, necessario inserire nel mio percorso formativo una parte dedicata alla sicurezza nell'ambiente lavorativo, ed in particolare ciò che concerne l'attività di manutenzione.

La tesi tratta l'applicazione della procedura LOTO (lockout/tagout) in un contesto ambientale in cui questa non è mai stata attuata, e si farà riferimento al caso aziendale di DENSO: questa tecnica serve a disabilitare le fonti energetiche pericolose impedendone il riavvio accidentale nelle fasi di manutenzione delle macchine o degli impianti. L'argomento principale della tesi si svilupperà, però, in generale sull'attività manutentiva e sulla sua ottimizzazione, così da poter svolgere in maniera rapida ed efficiente le correzioni dei guasti e poter sostenere le alte richieste produttive a cui sono sottoposte le grandi aziende.

Il lavoro svolto è diviso e riassunto nei quattro capitoli successivi.

Nel primo capitolo verrà trattata la normativa nazionale e internazionale, si farà riferimento alla definizione di manutenzione e alle sue diverse tipologie, infine si darà un'introduzione sulla tematica LOTO.

Il secondo capitolo tratterà del contesto aziendale e saranno esposte le procedure necessarie per far sì che il LOTO sia applicato nella miglior maniera possibile e la sua applicazione.

L'ottimizzazione dell'intervento di manutenzione verrà trattato nel terzo capitolo. Si analizzerà il diagramma di Gantt di un'operazione non ottimizzata e si individueranno i punti che possono essere ottimizzati, così da realizzare un nuovo diagramma di Gantt. Verranno spiegate le diverse strategie di manutenzione, con i loro vantaggi e svantaggi.

Nel quarto capitolo verranno fatte le analisi, confrontando i diversi metodi di manutenzione così da poter valutare quale potrebbe essere il più vantaggioso a seconda del contesto aziendale.

Nel quinto capitolo verranno tratte delle brevi conclusioni in base ai risultati del capitolo quattro.

1. Introduzione

«La manutenzione è la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, eseguite durante il ciclo di vita di un elemento - posto di lavoro, apparecchiatura o mezzo di trasporto - destinate a preservarlo o a riportarlo in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta, al fine di garantire un ambiente di lavoro sicuro e produttivo». La normativa europea UNI EN 13306 definisce così la manutenzione e rende subito chiara l'importanza di questo tipo di attività. Infatti, queste operazioni sono necessarie per garantire la produzione richiesta e per mantenere un alto standard qualitativo dei prodotti, così da non intaccare il livello competitivo dell'azienda.

1.1. L'attività di Manutenzione

L'Agenzia Europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (EU-OSHA) indica che la maggior parte degli infortuni sul lavoro avvenga durante l'attività di manutenzione, in particolare durante la manutenzione correttiva, cioè quando la macchina si guasta e bisogna rimuovere i controlli di sicurezza per individuare la causa del problema. Essendo i problemi di sicurezza, nelle attuali aziende, riconducibili a questioni organizzative ed operative, risulta chiaro che l'attività di manutenzione dovrebbe iniziare già nella fase di progettazione e pianificazione, così da garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori adottando le corrette misure di prevenzione.

Nel 2010 è stata condotta una ricerca europea basata sull'analisi dei dati Eurostat (dei sette anni precedenti) ricavati con la metodologia ESAW (Statistiche europee degli infortuni sul lavoro). Lo scopo è stato quello di identificare gli infortuni legati alle operazioni di manutenzione nei diversi Paesi europei (anche se i dati ottenuti riguardavano insiemi formati da un numero ridotto di Paesi europei).

Sono state scelte quattro sottocategorie, riferite alla variabile utile per la classificazione delle cause e delle circostanze degli infortuni e connesse a quelle che possono essere considerate operazioni di manutenzione:

- configurazione, preparazione, installazione, montaggio, smontaggio, smantellamento;
- manutenzione, riparazione, messa a punto, regolazione;
- pulizia meccanica o manuale di zone di lavoro e macchinari;
- monitoraggio, ispezione con o senza apparecchi di monitoraggio di procedure di fabbricazione, aree di lavoro, mezzi di trasporto, attrezzature.

I dati raccolti in 12 Paesi europei [Fig.1.1.] indicano che nel 2006 circa il 15-20% di tutti gli infortuni si sono verificati durante l'esecuzione di operazioni di manutenzione e che il 10-15% di tutti gli infortuni mortali sono ricollegabili ad attività manutentive.

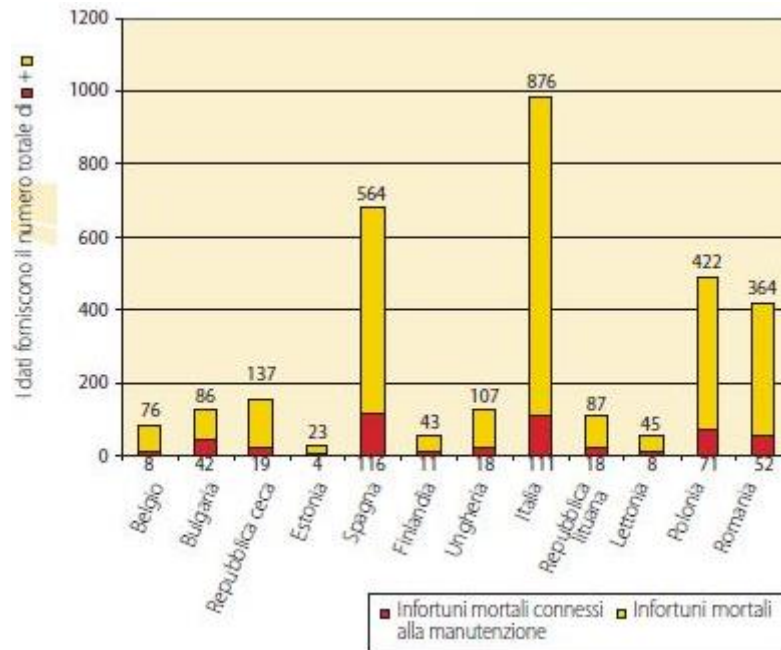


Figura 1.1. - Statistiche infortuni sul lavoro, Eurostat (2006)

La manutenzione può incidere sulla sicurezza e sulla salute dei lavoratori in due diversi modi:

- La manutenzione regolare e programmata è essenziale per mantenere apparecchiature, impianti o luoghi di lavoro in condizioni di sicurezza e affidabilità;
- La manutenzione deve essere eseguita in sicurezza, proteggendo adeguatamente dai possibili pericoli gli addetti alla manutenzione e le altre persone presenti sul luogo di lavoro.

Quindi, se si considera la manutenzione come un processo, è necessaria la registrazione delle attività svolte, la documentazione dello stato della macchina o dell'impianto alla conclusione degli interventi eseguiti, in aggiunta alla corretta pianificazione degli interventi e delle modalità esecutive.

La manutenzione abbraccia diversi tipi d'impiego e riguarda tutti i settori di attività. Si possono però distinguere diversi tipi di manutenzione:

- *Manutenzione correttiva*: quando le operazioni sono volte a riparare un sistema per renderlo nuovamente funzionante (ad esempio riparare o sostituire componenti rotti). Questo tipo di manutenzione è anche noto come *manutenzione reattiva*, perché l'azione viene intrapresa quando si verifica un guasto imprevisto di un macchinario;
- *Manutenzione preventiva*: quando vengono eseguiti interventi di manutenzione ad intervalli predeterminati o secondo criteri stabili volti a ridurre la probabilità di guasto o degrado del funzionamento di un elemento funzionante. In questo caso le azioni sono programmate, proattive e volte a controllare il processo di deterioramento che porta al guasto di un sistema (ad esempio sostituzione, lubrificazione, pulizia o ispezione).

Essendo il tipo di manutenzione diverso a seconda del settore lavorativo, i pericoli a cui sono esposti i manutentori possono variare a seconda del compito da svolgere o del settore. Di seguito viene riportata una classificazione dei pericoli redatta dal *Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici* dell'INAIL:

- *Pericoli fisici* – I manutentori potrebbero essere esposti a un rumore eccessivo, causato da macchinari, attrezzature o veicoli. Ci potrebbe essere un'esposizione a vibrazioni, causata dall'utilizzo di utensili elettrici manuali, come utensili per levigare, lucidare o rivettare, martelli a percussione, compattatori vibranti, falciatrici o motoseghe. In alcuni contesti lavorativi potrebbero essere costretti a lavorare in condizioni ambientali sfavorevoli: alte o basse temperature, umidità eccessiva, scarsa ventilazione, esposizione radiazioni UV.
- *Pericoli ergonomici* – L'attività di manutenzione richiede spesso che l'operatore debba sollevare carichi particolarmente pesanti, come parti di macchine, utensili e attrezzature. Le condizioni per questo tipo di lavoro potrebbero non sempre essere ideali: parti non facilmente raggiungibili, ampiezza di accesso ridotta o spazio per gli spostamenti insufficiente, i pavimenti potrebbero essere scivolosi o cavi e alcuni lavori potrebbero dover essere eseguiti sotto l'altezza del ginocchio o sopra quella delle spalle.
- *Pericoli chimici* – Il lavoratore potrebbe entrare in contatto con sostanze chimiche rilasciate nell'ambiente di lavoro a causa dell'attività svolta. In particolare, potrebbero essere esposti a rischi associati alle fibre di amianto: ad esempio nella manutenzione di installazioni industriali o edifici in cui l'amianto è presente nella struttura.
- *Pericoli biologici* – Questi si riferiscono a un settore diverso da quello meccanico e più vicino a quello alimentare, agricolo e sanitario.
- *Pericoli psicosociali* – L'attività manutentiva potrebbe causare stress per via di diversi fattori: tecnologia complessa combinata con situazioni non di routine, problemi di comunicazione, lavori solitari e in isolamento, orari di lavoro irregolari, conoscenze o formazione insufficiente, pressione temporale. Quest'ultima causa è data dal fatto che la produttività è rallentata a causa di un guasto e gli addetti alla manutenzione devono far fronte non solo al compito in corso, ma anche al senso di responsabilità per la necessità di riattivare quanto prima la produzione, riducendo il tempo di attesa degli altri lavoratori.

Una delle principali cause di infortunio sui luoghi di lavoro è la riattivazione non intenzionale o inattesa di fonti di energia. Questo tipo di incidenti possono essere evitati con l'applicazione della procedura di *lockout/tagout* (LOTO). Di seguito vengono riportati due esempi di infortuni analizzati

dalla *Consulenza tecnica accertamento rischi e prevenzione* (Contarp), i quali non si sarebbero verificati con l'applicazione della procedura LOTO:

- *Gravissime lesioni da folgorazione durante il lavoro di sostituzione di isolatori su un palo della rete di distribuzione di energia elettrica* – A seguito di un guasto di un trasformatore si è avuto un guasto di corto sulla linea a monte dello stesso con rottura degli isolatori ceramici su alcuni pali della linea stessa estesa alcuni chilometri. Il gruppo di intervento dell'ente distributore si è diviso in più squadre, incaricate rispettivamente della sostituzione del trasformatore e della riparazione degli isolatori. Dopo molte ore, sostituito il trasformatore, il supervisore del gruppo ordina la chiusura del sezionatore della linea e la sua rienergizzazione: un operatore ancora intento alla sostituzione dell'isolatore su un palo subisce una violentissima folgorazione in mancanza pure della messa a terra in prossimità del palo. Il sezionatore della linea era stato aperto all'inizio dei lavori e lucchettato dall'operatore poi folgorato, ma il lucchetto era apribile da una chiave universale e tutti i suoi colleghi ne avevano una copia.
- *Gravissima amputazione durante il lavoro ad una pressa oleodinamica verticale utilizzata per la tranciatura di pezzi pressocolati* – Il circuito di comando della macchina, privo di protezioni per guasto a massa e cablato senza alcuna cura sotto il profilo dell'isolamento, per effetto di precedenti interventi manutentivi non corretti, durante un'operazione di rimozione del pezzo dallo stampo subisce un doppio guasto a massa che provoca l'eccitazione del solenoide *discesa* dell'elettrovalvola principale: il semi stampo mobile scende “spontaneamente” amputando nove dita all'operatore addetto alla macchina.

1.2. Normativa Internazionale

Per meglio comprendere il fenomeno infortunistico è necessario inquadrare l'argomento riguardante la sicurezza negli impianti industriali all'interno del contesto legislativo italiano, riferendosi primariamente agli standard internazionali, in particolare a quelli europei, a cui l'Italia deve rispondere, e a quelli nord americani, che fanno da linea guida alla cultura occidentale.

Negli Stati Uniti l'agenzia federale per la sicurezza sul lavoro viene fondata nel 1970 dal Dipartimento del Lavoro e prende il nome di *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA). L'agenzia ha il compito di migliorare le condizioni di salute e di sicurezza dei lavoratori, elaborando e promulgando normative che rappresentino il riferimento legislativo obbligatorio in materia ed incentivando la formazione e l'educazione sulla sicurezza.

Con gli stessi obiettivi nasce, nel 1994, l'*Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro* (EU-OSHA) che lavora per rendere gli ambienti di lavoro dell'UE più sicuri, più sani e più produttivi, a vantaggio delle aziende, dei lavoratori e dei governi, promuovendo una cultura della prevenzione del rischio volta a migliorare le condizioni di lavoro in Europa.

In merito al controllo delle fonti energetiche bisogna far riferimento all'OSHA, che per prima nel 1989 ha emesso uno standard generale noto come *The control of hazardous energy (lockout/tagout)*, in cui viene indicato come comportarsi in presenza di fonti di energie pericolose, stabilendo dei criteri e dei passaggi da eseguire per identificare queste energie ed isolarle.

Questo standard delinea azioni e procedure specifiche per affrontare e controllare l'energia pericolosa durante l'assistenza e la manutenzione di macchine e attrezzature; riferisce inoltre le responsabilità e i doveri dei datori di lavoro e dei lavoratori. I datori di lavoro sono tenuti a formare ciascun lavoratore per assicurarsi che conoscano, comprendano e siano in grado di seguire le disposizioni applicabili delle procedure di controllo dell'energia pericolosa. I lavoratori devono essere addestrati nello scopo e nella funzione del programma di controllo dell'energia e avere le conoscenze e le competenze richieste per l'applicazione, l'uso e la rimozione sicuri dei dispositivi di controllo dell'energia.

L'EU-OSHA stabilisce delle linee guida per gli stati membri dell'Unione Europea, così da affrontare i rischi in modo più efficiente e garantendo condizioni di parità in tutta l'UE; tuttavia, ogni singolo stato può decidere di attuare queste guida con una legislazione nazionale.

Per ciò che riguarda la manutenzione, l'agenzia europea ha stabilito cinque regole di base che garantiscono una manutenzione sicura:

- *Pianificazione della manutenzione* – Il datore di lavoro deve svolgere una valutazione dei rischi dell'attività e coinvolgere i lavoratori in questo processo. Durante la stesura del documento deve considerare: il raggio d'azione dell'attività (ciò che deve essere fatto, la quantità di tempo richiesta per l'attività, il modo in cui verranno coinvolti altri lavoratori e altre attività sul posto di lavoro), l'individuazione dei pericoli (ad esempio elettricità, esposizione a sostanze pericolose, presenza di polvere/amianto nell'aria, spazio ristretto, parti dei macchinari in movimento, cadute da o attraverso qualcosa, oggetti pesanti da spostare, luoghi difficili da raggiungere o di difficile accesso), elementi necessari per l'attività (competenze e numero di lavoratori che svolgono il lavoro, figure coinvolte, ruoli delle singole persone, strumenti che devono essere utilizzati, dispositivi di protezione individuale), accesso sicuro all'area di lavoro e mezzi di fuga, formazione/informazioni che devono essere fornite ai lavoratori impegnati nell'attività. Nella fase di pianificazione sarebbe opportuno che i lavoratori siano coinvolti, in quanto sono in grado di identificare i pericoli e le modalità per affrontarli in maniera efficiente;
- *Lavorare in un ambiente sicuro* – Risulta necessario attuare le procedure sviluppate in fase di pianificazione. Bisogna disattivare l'alimentazione delle apparecchiature su cui

si interviene e utilizzare il sistema di esclusione concordato durante la valutazione dei rischi. Devono essere allegati la scheda di avvertenza, con la data e l'ora di esclusione e anche il nome della persona autorizzata a rimuoverla: in questo modo non viene compromessa la sicurezza del lavoratore che esegue la manutenzione della macchina, nel caso in cui questa venga avviata inavvertitamente;

- *Utilizzo dell'apparecchiatura adeguata* – Devono essere disponibili, per i lavoratori che eseguono attività di manutenzioni, attrezzature adatte al compito che devono svolgere, anche qualora siano diverse da quelle utilizzate normalmente. Devono anche essere dotati di DPI adeguati, in quanto potrebbero trovarsi a lavorare in aree che non sono delle normali postazioni di lavoro e sarebbero così esposti a diversi pericoli;
- *Seguire le prassi di lavoro sicure sviluppate in fase di pianificazione* – Il piano di lavoro deve essere seguito anche quando il tempo è scarso: le procedure abbreviate possono essere molto costose e possono produrre incidenti, infortuni o danni ai beni;
- *Il lavoro deve essere controllato* – Per assicurare che l'attività sia stata eseguita, l'elemento oggetto della manutenzione deve essere in condizioni sicure e tutti i materiali di scarto prodotti devono essere stati eliminati. Quando tutto è stato controllato e dichiarato sicuro, l'attività può essere conclusa, i blocchi possono essere rimossi e possono essere avvertiti i supervisori e gli altri lavoratori. La fase finale prevede la stesura di una relazione per la direzione, in cui viene descritto il lavoro svolto, comprese le osservazioni sulle difficoltà incontrate e le raccomandazioni per il miglioramento.

1.3. La legislazione italiana

In Italia viene emesso, il 9 aprile 2008, il D. Lgs. 81/2008 che regola la sicurezza sul lavoro. Nel *Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro* vengono riunite e migliorate diverse normative precedenti in materia di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro.

Il decreto è composto da 312 articoli, suddivisi in 14 titoli, e da 51 allegati. Il *Testo unico* si applica:

- Alla persona sotto ogni aspetto: salute, sicurezza, dignità, tenendo conto della provenienza geografica e del genere;
- Al lavoro, in qualunque forma svolto, in tutti i settori, sia pubblici che privati, cui siano adibiti lavoratori dipendenti o ad essi equiparati.

Tale decreto propone un sistema di gestione della sicurezza e della salute in ambito lavorativo preventivo e permanente. L'articolo 15 indica le misure generali di tutela in diversi punti, ma quelli di interesse nello studio sono sei:

- La valutazione di tutti i rischi per la salute e sicurezza;

- La programmazione della prevenzione, mirata ad un complesso che integri in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche produttive dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente e dell'organizzazione del lavoro;
- L'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico;
- La riduzione dei rischi alla fonte;
- La sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è o è meno pericoloso;
- La regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti.

La valutazione di tutti i rischi deve essere eseguita come previsto dall'articolo 17, il quale impone al datore di lavoro di redigere il *Documento di Valutazione dei Rischi* (DVR). Il documento viene definito dall'articolo come una «valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza».

Per ciò che riguarda la manutenzione bisogna far riferimento all'articolo 64 e a buona parte del Titolo III. L'art. 64 indica le responsabilità del datore di lavoro, il quale si deve impegnare perché i luoghi di lavoro, gli impianti e i dispositivi siano sottoposti a regolare manutenzione tecnica e che vengano, inoltre, eliminati, quanto più rapidamente possibile, i difetti rilevati che possano pregiudicare la sicurezza e la salute dei lavoratori. Il Titolo III è incentrato sull'utilizzo delle attrezzature di lavoro e dei dispositivi di protezione individuale (DPI) e della rispettiva manutenzione. Nel primo articolo del Titolo III, art. 69, vengono definiti, al comma 1, diversi termini che saranno riutilizzati nel corso dello studio ed è quindi necessario riportarli:

- *Attrezzatura di lavoro* – Qualsiasi macchina, apparecchio, utensile o impianto, inteso come il complesso di macchine, attrezzature e componenti necessari all'attuazione di un processo produttivo, destinato ad essere usato durante il lavoro;
- *Uso di un'attrezzatura a lavoro* – Qualsiasi operazione lavorativa connessa ad un'attrezzatura di lavoro, quale la messa in servizio o fuori servizio, l'impiego, il trasporto, la riparazione, la trasformazione, la manutenzione, la pulizia, il montaggio, lo smontaggio;
- *Zona pericolosa* – Qualsiasi zona all'interno o in prossimità di un'attrezzatura di lavoro nella quale la presenza di un lavoratore costituisce un rischio per la salute o la sicurezza dello stesso;

- *Lavoratore esposto* – Qualsiasi lavoratore che si trovi interamente o in parte in una zona pericolosa;
- *Operatore* – Il lavoratore incaricato dell'uso di un'attrezzatura di lavoro o il datore di lavoro che ne fa uso.

Le attrezzature devono essere state realizzate seguendo opportuni requisiti di sicurezza, cosicché il loro utilizzo non aggiunga rischi non necessari all'attività lavorativa. Questi requisiti sono definiti dall'art. 70 ed è compito del datore di lavoro accertarsi che vengano rispettati, come stabilito dall'art. 71. Questo articolo stabilisce inoltre che il datore di lavoro debba adottare adeguate misure tecniche ed organizzative, in modo tale che i rischi dovuti all'utilizzo delle attrezzature siano ridotti al minimo e perché queste non vengano utilizzate per lo svolgimento di operazioni non conformi. In caso di rischi non previsti dal fabbricante ma che comunque sussistono, è obbligo del datore di lavoro prendere tutte le precauzioni e gli accorgimenti necessari per ridurli, ad esempio adeguando le attrezzature ai requisiti essenziali di sicurezza, anche se il costruttore non vi ha provveduto o lo ha fatto in modo incompleto.

I lavoratori che devono occuparsi della manutenzione e della riparazione delle attrezzature di lavoro, devono essere qualificati in maniera specifica per svolgere questi compiti. L'art. 73 stabilisce i termini di informazione, formazione e addestramento in sei commi. Viene specificato che i lavoratori incaricati dell'uso dispongano di ogni necessaria informazione e istruzione e ricevano una formazione e un addestramento adeguati in rapporto alla sicurezza, relativamente alle condizioni di impiego delle attrezzature e alle situazioni anormali prevedibili. Il datore di lavoro deve informare i lavoratori sui rischi cui sono esposti durante l'uso delle attrezzature di lavoro, sulle attrezzature di lavoro presenti nell'ambiente immediatamente circostante, anche se da essi non usate direttamente, nonché sui cambiamenti di tali attrezzature.

I lavoratori devono adempiere a loro volta a degli obblighi specifici indicati dall'art. 20, in cui viene riportato di evitare usi diversi da quelli previsti dai macchinari e di indicare ogni possibile malfunzionamento rilevato. Non devono essere rimossi o modificati i dispositivi di sicurezza, di segnalazione o di controllo, in modo che il datore di lavoro possa intervenire per il ripristino della sicurezza e la conservazione nel tempo delle prestazioni. Molto importante è la divisione dei compiti: ogni lavoratore non deve compiere di propria iniziativa operazioni o manovre che non sono di propria competenza, perché potrebbe compromettere la propria sicurezza o quella di altri lavoratori.

L'art. 74 definisce i DPI come «qualsiasi attrezzatura destinata ad essere indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo». Il loro utilizzo è obbligatorio quando i rischi non possono essere gestiti in altro modo o sufficientemente ridotti da misure tecniche di prevenzione, da mezzi di protezione collettiva, da misure, metodi o procedimenti di riorganizzazione del lavoro.

1.4. La manutenzione degli impianti

Compito del gestore è, in funzione del tipo di impianto e delle esigenze degli utenti, individuare le opportune operazioni di manutenzione e la relativa frequenza, in quanto non sempre le norme descrivono le operazioni di manutenzione di un impianto e la frequenza con cui attuarle.

Il tipo di manutenzione da effettuare negli impianti deve essere valutato in funzione di diversi parametri:

- Il tipo di impianto;
- La complessità dell'impianto;
- I danni alla produzione, alle attrezzature, agli impianti e ai luoghi di lavoro dovuti al fermo impianto;
- L'esistenza di impianti, apparecchiature o componenti ridondanti;
- L'esistenza e l'organizzazione del sistema di gestione delle scorte di magazzino;
- La disponibilità e la capacità di intervenire dei lavoratori che si occupano delle attività di manutenzione.

Come già indicato nel paragrafo 1.1. vengono identificati due tipi di manutenzione: correttiva e preventiva.

La manutenzione correttiva presuppone che si sia verificato un guasto e che tale situazione sia stata riconosciuta. Si rende necessaria questo tipo di manutenzione nel caso in cui il guasto crei dei danni o pericoli per le persone, dunque è necessario intervenire il più tempestivamente possibile per correggere il problema. Le procedure di lavoro per la manutenzione correttiva devono basarsi su diversi fattori: le condizioni di sicurezza dei lavoratori, la complessità delle azioni da eseguire, l'eventuale fermo dell'impianto, i tempi necessari per il ripristino e le condizioni ambientali.

La manutenzione preventiva è possibile al verificarsi di opportune condizioni o valori dei parametri. Per rendersi conto di ciò, ovviamente, è necessario effettuare delle verifiche, condurre misure e prove o essere dotati di sensori di diagnostica. In questo modo i dati rilevati possono portare a un segnale di avviso che indica la necessità di un intervento prima che il guasto si verifichi.

La manutenzione per gli impianti viene suddivisa anche in altri due tipi:

- *Manutenzione ordinaria* – Vengono indicati sotto questa categoria tutti quei tipi di intervento necessari per il normale degrado d'uso e per far fronte a quegli eventi che non comportino la modifica della struttura, delle prestazioni o della destinazione d'uso dell'impianto;
- *Manutenzione straordinaria* – L'insieme di tutti i tipi di intervento destinati a riportare l'impianto in condizioni di esercizio.

2. Caso Aziendale

DENSO Corporation, facente parte del gruppo Toyota, è un produttore internazionale e fornitore leader di tecnologie, sistemi e componenti avanzati del settore automobilistico per le principali case del campo automotive.

2.1. DENSO Thermal Systems

DENSO Thermal Systems è una delle tre sedi italiane di DENSO Corporation: si occupa della progettazione, sviluppo, produzione e vendita di sistemi di condizionamento, sistemi di raffreddamento motore, scambiatori di calore, radiatori e compressori per auto e veicoli commerciali e industriali, trattori, macchine movimento terra e autobus. Inoltre, è attiva nella progettazione di Moduli Plancia e Moduli Frontali integrati per autovetture, per i quali svolge anche l'attività di assemblaggio finale.

DENSO Thermal Systems SpA viene fondata nel 1987 come Magneti Marelli Climatizzazione nel momento in cui il Gruppo Fiat e Magneti Marelli decisero di entrare nel crescente settore del condizionamento automobilistico.

Nel 1990 si viene a creare una joint venture con DENSO Corporation, leader mondiale nel settore, così da portare l'azienda in una fase di rapida crescita con un accumulo di strutture di ricerca e sviluppo, produzione di tecnologie e competenze, una più forte presenza nei mercati europei e crescita ed espansione delle attività e degli impianti di produzione.

Nel 2001 DENSO acquisisce la piena proprietà della Società che adotta il nome DENSO Thermal Systems SpA. Ciò consente all'azienda di diventare una parte a pieno titolo del Gruppo, leader mondiale nel settore dei sistemi termici per autoveicoli.



Figura 2.1. - Stabilimento di DENSO Thermal Systems SpA di Poirino (TO)

La sede di DENSO Thermal Systems SpA si trova a Poirino (Torino), su una superficie di 118.500 mq. e ospita il Top Management, l'amministrazione, l'ingegneria, i test dell'azienda e un'importante fabbrica di produzione.

2.2. Manutenzione

La manutenzione dello stabilimento viene gestita nell'area *Tecnologie di Produzione*. Questo settore si occupa dell'intera gestione dell'officina: lavorazioni da effettuare, rifornimenti del magazzino, controllo dei macchinari e manutenzione degli impianti.

La manutenzione viene gestita dall'ufficio di *Manutenzione e Sicurezza* che si divide in due sottoaree:

- *Area Impianti* – Si occupa della gestione degli impianti presenti nello stabilimento, in particolare si occupa della manutenzione ordinaria e straordinaria. Per ciò che riguarda la manutenzione ordinaria gli addetti effettuano riparazioni delle reti elettriche e fluidiche e degli impianti generali. Viene effettuato un sopralluogo giornaliero per il controllo di eventuali allarmi e per la gestione tramite computer;
- *Area Servizi* – Si occupa della gestione del magazzino e della manutenzione delle strutture dello stabilimento. Il magazzino è il ponte di collegamento tra le due aree perché l'area servizi deve rispondere alle esigenze dell'area impianti effettuando gli ordini e segnalando le mancanze in caso di richiesta. In quest'area si effettua sia la gestione del traffico dei mezzi all'interno dello stabilimento come i muletti, sia del traffico esterno dato dalle autovetture dei dipendenti.

Durante la manutenzione vengono eseguiti interventi di verifica del guasto, smontaggio, riparazione ed eventuale sostituzione dei componenti meccanici e di carpenteria guasti; per lo svolgimento dell'attività, questa area è attrezzata con macchine utensili ed attrezzature quali trapano a colonna, molatrice doppia, diamantina, banco prova circuiti idraulici, cesoia, piegatrice, troncatrice, sega a nastro, rullatrice, carroponte, paranco e saldatrici elettriche.

Per lo svolgimento di questi due compiti sono definite due figure di riferimento:

- *Manutentore meccanico* – Esegue interventi di manutenzione meccanica, a carattere preventivo o su chiamata per guasto, ed effettua attività di assistenza, al fine di assicurare il corretto funzionamento dei macchinari e degli impianti destinati alla produzione e consentire il normale svolgimento delle lavorazioni. Le aree di attività fondamentali sono l'effettuazione delle riparazioni, la prevenzione di guasti e anomalie e il miglioramento delle attrezzature.
- *Manutentore elettrico* - È specializzato nell'installazione, messa a norma e riparazione di impianti ed apparecchiature elettriche. Esegue le attività di manutenzione elettrica

degli impianti di produzione al fine di garantire l'efficienza degli stessi attraverso attività di ripristino, prevenzione di guasti e anomalie e attività di miglioramenti. Garantisce inoltre l'efficienza degli impianti ausiliari.

2.3. Applicazione del programma LOTO

Questa procedura è stata applicata da zero nello stabilimento DENSO di Poirino, dopo essere stata studiata e adattata alle esigenze aziendali da parte dell'ufficio di manutenzione e sicurezza.

Un sistema *lockout/tagout* è necessario ogni qual volta si effettua un intervento di manutenzione in prossimità di una macchina, la quale potrebbe causare lesioni dovute a un improvviso avvio dell'attrezzatura o a un rilascio di energia immagazzinata. Si rende fondamentale nel momento in cui, per validi motivi, si rimuove o si evita l'utilizzo di una protezione o di un dispositivo di sicurezza; o nel caso in cui è necessario inserire una parte del corpo in un punto dov'è possibile rimanere incastrati con la macchina in movimento. È utile, per esempio, quando si effettuano riparazioni di circuiti elettrici, pulizia o lubrificazione di macchine con parti in movimento o sblocco di meccanismi inceppati.

Per applicare correttamente le tecniche LOTO sono necessari cinque punti:

- *Procedure* – Spiegano cosa fare per mettere in sicurezza ogni macchinario, così da averlo in condizione di energia zero, senza nessuna energia attivata o accumulata;
- *Formazione* – Il personale deve essere istruito sulle procedure e su come applicarle tramite dei corsi di aggiornamento interni all'azienda;
- *Amministrazione* – Definizione delle linee guida per attivare e rendere le procedure operative;
- *Dispositivi* – Necessari per attuare le procedure, devono essere appositamente ideati per eseguire il bloccaggio e l'etichettatura dei vari interruttori e valvole;
- *Revisione* – Bisogna effettuare periodicamente un controllo dell'intero procedimento per garantire un miglioramento del livello di sicurezza fornito dalla procedura LOTO.

Considerando l'intero personale che opera all'interno della struttura è necessario individuare tre gruppi con diverse esigenze in termini di sensibilizzazione:

- *Personale autorizzato* – Procede al *lockout/tagout* di macchine o apparecchiature per eseguire interventi di riparazione e manutenzione identificando le attrezzature in cui sono presenti fonti energetiche potenzialmente in grado di provocare infortuni. Richiede, inoltre, la formazione più approfondita in materia di procedure LOTO;
- *Personale interessato* – Le sue mansioni prevedono l'utilizzo di una macchina o un'apparecchiatura sulla quale sono in corso interventi di riparazione o manutenzione

dopo aver applicato la procedura LOTO o le cui mansioni prevedono che operi nella zona interessata. È necessario che sia informato in merito alla procedura LOTO e non tenti di rimuovere dispositivi di lockout;

- *Altro personale* – Il resto del personale che può trovarsi in situazioni in cui è stata attuata una procedura di *lockout*. È necessario che conosca il significato della procedura di *lockout* e non interferisca in alcun modo con la sua attuazione.

2.4. Identificazione delle fonti di energia pericolosa

La disattivazione e l'isolamento di tutte le energie potenzialmente pericolose, che alimentano attrezzature per la produzione o la gestione dell'impianto, devono essere garantite con l'attuazione della procedura LOTO, in modo che l'apparecchiatura possa essere sottoposta in tutta sicurezza a interventi di riparazione o manutenzione.

Tutte le fonti di energia presenti in un sistema devono essere identificate e contrassegnate in maniera chiara con dei cartelli, così da essere facilmente riconosciute e messe in sicurezza prima che qualsiasi intervento di manutenzione venga iniziato. La validità del metodo è data da fatti evidenti: infatti il manutentore potrebbe essere esposto a condizioni di pericolo nel caso in cui si verifichi un'istruzione errata o un'azione involontaria che porterebbe ad un riavvio inatteso della macchina. Con l'utilizzo dei dispositivi LOTO, invece, le varie fonti energetiche pericolose non potranno essere attivate fino a quando ciascun manutentore non avrà concluso la propria porzione di lavoro e rimosso i propri lucchetti dai vari interruttori.

All'interno dello stabilimento industriale sono presenti diverse fonti di energia pericolosa e per diverse di queste la procedura LOTO è il controllo ideale:

- Elettrica;
- Meccanica;
- Oleodinamica;
- Idraulica;
- Pneumatica;
- Termica;
- Chimica;
- Gravitazionale;
- Magnetica.

Obiettivo del LOTO è garantire che le macchine siano correttamente fermate e non riavviate prima che il lavoro di manutenzione o di assistenza sia stato completato. Gli elementi più evidenti della procedura LOTO sono i dispositivi di sicurezza che bloccano le fonti di energia in una posizione tale da non poter essere riattivate se non da chi le ha vincolate. Il metodo prevede di fissare i criteri e le

prassi lavorative da attuare per identificare le fonti di energia pericolosa, isolare e dissipare tali energie e procedere alla fermata e al riavvio di un macchinario in sicurezza.

2.5. Dispositivi di bloccaggio

I dispositivi di bloccaggio e i cartellini sono elementi fondamentali all'interno della procedura, e sono divisi in tre diverse categorie:

- *Generale* – Viene utilizzato per dispositivi di isolamento energetico durante le procedure di bloccaggio, per esempio un lucchetto nel caso di un interruttore o una copertura lucchettabile per valvola a saracinesca [Fig. 2.2]. Non viene assegnato ad un unico addetto alla manutenzione ma le chiavi per l'apertura è specifica per ogni manutentore: non sono disponibili chiavi passpartout. Non viene identificato con un colore specifico ma deve essere destinato solamente ad un utilizzo per procedure LOTO. È consigliato, ma non necessario, associare a questo tipo di dispositivo un cartellino che lo identifica come dispositivo utilizzato per la manutenzione.



Figura 2.2. - Dispositivo di bloccaggio per valvola a saracinesca [Bradley Corporation]

- *Personale* – Viene assegnato e utilizzato esclusivamente per la protezione personale degli addetti alla manutenzione ed è consentito l'uso per un solo turno. Generalmente è di colore rosso e anch'esso ha a disposizione una singola chiave.
- *Di transizione* – Utilizzato nei macchinari fermi nei quali non è ancora in atto un intervento di manutenzione. Sono accompagnati da dei cartellini gialli e blu che indicano lo stato della macchina. Possono essere utilizzati per più turni ma esclusivamente per procedure LOTO.

In Fig. 2.3. viene raffigurato un esempio di cartellino utile alla procedura nel caso in cui sulla stessa macchina o impianto si trovino a lavorare diversi manutentori: ognuno utilizzerà il lucchetto personale che solo lui potrà rimuovere, una volta terminato il lavoro.



Figura 2.3. - Cartellino multi lucchettabile [Bradley Corporation]

2.6. Fasi della procedura

La procedura LOTO richiede che la macchina venga isolata e messa in sicurezza seguendo una sequenza prestabilita, che la prepari all'applicazione dei dispositivi di isolamento. Tuttavia, l'utilizzo dei lucchetti è solo una parte della procedura, la quale per risultare efficace necessita del supporto di una serie di requisiti minimi. Deve essere definita una strategia generale della procedura, identificando quali macchine hanno bisogno della sua applicazione e avere la certezza della disponibilità di tutti i dispositivi necessari per la sua attuazione.

Come specificato nel paragrafo 1.3., la legislazione italiana non obbliga l'utilizzo di questa procedura, però una moltitudine di requisiti possono essere rispettati con l'applicazione del LOTO. In seno all'azienda sono quindi stati definiti quali interventi necessitano dell'utilizzo della procedura:

- Manutenzione da eseguire con una qualsiasi parte del corpo esposta a una zona pericolosa, cioè in punti in cui una ripartenza non intenzionale della macchina possa provocare gravi danni all'operatore;
- Intervento in impianti che trasportano o contengono dei fluidi pericolosi.

Per eseguire una corretta applicazione della procedura LOTO sono stati definiti sette passaggi fondamentali che portano a una totale e certa messa in sicurezza della macchina, vengono qui di seguito riportati e spiegati:

1. *Preparazione all'interruzione* – In base al tipo di intervento da eseguire sulla macchina, l'operatore individua le fonti di energia da mettere sotto controllo e prepara il materiale necessario all'intervento.

2. *Notifica* – Viene informato tutto il personale interessato che si è pronti per l'intervento sul macchinario, effettuando lo stop e l'applicazione dei dispositivi.
3. *Arresto dell'asset* – Effettuato seguendo la normale fermata dell'impianto, in modo tale da semplificare le operazioni. Solitamente si esegue spingendo un tasto di arresto, aprendo un interruttore o chiudendo una valvola.
4. *Isolamento* – Agire sui circuiti di potenza per eliminare le energie nella zona di intervento. Deve essere utilizzato un dispositivo di *lockout/tagout* che garantisca il blocco completo per l'intera durata dell'intervento, così da evitare una possibile riattivazione del flusso di energia.



Figura 2.4. - Isolamento elettrico, sezionamento morsetto [Bradley Corporation]



Figura 2.5. - Isolamento idraulico, sezionamento valvola a saracinesca [Lockey]

5. *Dissipazione energie* – Una volta spenta una macchina è possibile che in essa siano presenti delle energie residue. Bisogna eseguire quindi la scarica dei condensatori, dei circuiti e degli accumulatori idraulici e pneumatici. Inoltre, è necessario prevenire i rischi di movimento morto inferiore e attuare il blocco dei carichi in altezza.
6. *Verifica assenza di energie* – Dovere dell’incaricato della messa in sicurezza è il controllo dell’assenza di energia. Tramite prove, misure o verifiche con strumenti di *try-out* accerta che i macchinari destinati alla manutenzione si trovino in fase di energia “zero”. Una volta accertato ciò la macchina si trova in condizioni di sicurezza.
7. *Tracciamento* – Necessario per verificare che tutti i passaggi siano stati eseguiti.

Terminata l’attività di manutenzione, gli operatori devono verificare la messa in sicurezza e prima di riattivare il macchinario deve essere nuovamente informato il personale interessato del ripristino della macchina. Vengono così rimossi i dispositivi LOTO e i cartelli di segnalazione. Pure per il ripristino, si esegue quindi una serie di passaggi logici standardizzati.

2.7. Procedura aziendale

Come già affermato nel capitolo precedente, parte di questa tesi si concentrerà sulla stesura della procedura LOTO in uno stabilimento industriale in cui essa non era presente. In particolare, riguarderà il reparto di *Tubi e Raccordi* in cui è presente una moltitudine variegata di macchinari. Verrà analizzata la realizzazione della procedura su un macchinario singolo, come una *Curvatubi*, e su un impianto complesso, come un’isola di lavoro, composta da diversi macchinari che lavorano in serie in maniera automatizzata.

Prima di affrontare il lavoro effettuato sugli impianti è necessario però spiegare il lavoro preliminare di studio, effettuato per determinare quali accorgimenti avrebbero reso più efficiente la procedura all’interno della sala macchine. L’idea della procedura nasce con l’intento di redigere un documento inequivocabile che possa essere allegato a ogni macchina così da poter rendere possibile l’intervento di qualsiasi addetto alla manutenzione anche senza la conoscenza specifica dell’impianto. Negli impianti industriali, infatti, molto spesso ogni operatore, compresi gli addetti alla manutenzione, sono assegnati ad uno specifico reparto e difficilmente questo viene cambiato: ciò porta i manutentori, nello specifico, ad avere una particolare familiarità con i macchinari presenti nel proprio reparto e ad acquisire dei meccanismi che gli permettono di lavorare con più rapidità e in maggiore sicurezza. In taluni casi, come ad esempio l’assenza del manutentore di settore o una tipologia di intervento che richiedesse una qualifica specifica non posseduta dal manutentore di settore, potrebbe avvenire un cambio di reparto per un particolare lavoro: qui si è cercato di studiare dei metodi che potessero far sì che le tempistiche e il livello di sicurezza fossero i medesimi, qualsiasi fosse l’addetto alla manutenzione che si dedicasse all’intervento. In questo modo, il manutentore non è costretto ad affidarsi unicamente alla propria memoria o esperienza per effettuare un sezionamento in maniera corretta su un macchinario o un impianto, così viene sensibilmente ridotto il rischio di un possibile errore umano.

Vengono di seguito riportati i metodi scelti per migliorare l'efficienza della procedura nel caso aziendale:

- *Affissione procedura sul macchinario* – Si è deciso di riportare i passaggi necessari direttamente sulla macchina e non all'interno di un manuale riposto in un archivio, che renderebbe poco pratica la sua lettura;
- *Layout della macchina con indicazione punti sezionamento* – Allegato alla procedura è stato inserito il *layout* della macchina e ogni punto di sezionamento è stato indicato nella



Figura 2.6. - Esempio di targhetta che indica un sezionamento elettrico per un interruttore principale



Figura 2.7. - LOTO point che indica il secondo punto di sezionamento dei due totali.

sua locazione esatta con un cartellino specifico che indica il tipo di energia che seziona. Al fianco del cartellino è anche riportato il *LOTO point* che dà l'ordine di sezionamento delle energie;

- *Supporto fotografico* – Per rendere ancora più chiara la procedura si è deciso di allegare un'immagine per ogni punto di sezionamento in cui era possibile visualizzare l'interruttore, la targhetta riportante la tipologia di sezionamento, così da confrontarla con quella nel layout, e il *LOTO point*.



Figura 2.6. - Immagine allegata a una delle procedure riportate su un macchinario.

2.8. Sopralluogo preliminare

Il sopralluogo nella zona dei macchinari è una delle attività principali e fondamentali per la stesura del documento. Durante questa fase sono state identificate le fonti di energia presenti, principalmente di tipo elettrico, pneumatico e idraulico, quest'ultima solitamente nel caso di lavatrici industriali.

Affinché la procedura sia applicabile, i sistemi di inserzione dell'energia, come selettori su quadro elettrico o valvole su impianto pneumatico, devono avere la possibilità di essere lucchettabili e si devono trovare in condizioni di facile intervento. Se ciò non fosse possibile va inviata una segnalazione all'ufficio di Manutenzione e Sicurezza che provvederà alla modifica del sezionatore o della sua posizione.

Durante il sopralluogo devono essere identificate le posizioni dei dispositivi di controllo dell'energia, i quali sono suddivisi in due categorie a seconda della loro funzione:

- *Isolamento* – Sono dei dispositivi meccanici che impediscono la circolazione dell'energia nel sistema. Si tratta ad esempio di interruttori generali, sezionatori o valvole a saracinesca;
- *Controllo* – Dispositivi che misurano l'energia all'interno dei sistemi e si trovano installati sul macchinario. Sono fondamentali per le verifiche volte alla ricerca di energie residue. Si tratta di strumenti di misura come manometri, amperometri o termometri.



Figura 2.7. - Dispositivo di controllo pressione, manometro [DreamsTime]

Fondamentale in questa fase è la figura del tecnologo, operatore capo del settore, per via delle sue conoscenze approfondite sul macchinario e per la sua esperienza nelle attività di manutenzione.

Importante è stata la collaborazione tra l'area servizi e l'area impianti, in quanto la prima in possesso dei *layout* della sala macchine con evidenziate le tubazioni per il collegamento su ogni macchina dell'energia idraulica, pneumatica e oleodinamica. Ciò ha reso più semplice individuare i punti di sezionamento nei macchinari, specialmente all'interno delle isole di lavoro, in cui non sarebbe stato possibile avvicinarsi se non con una fermata temporanea della stessa.

2.9. Stesura del documento

Effettuato il sopralluogo, in possesso di tutte le informazioni necessarie, è possibile redigere una prima bozza del documento che andrà, una volta approvato, affisso sul macchinario, riportante la procedura da seguire.

Viene inizialmente compilata una tabella che riassume le energie che circolano sul macchinario e come fronteggiarle. Sono elencate nell'ordine in cui sarebbe più opportuno scollegarle. Di seguito sono riportate le voci da compilare nella tabella:

- *Tipologia di energia;*
- *Targhetta identificativa* – Ogni energia ha una sua targhetta riportata in vicinanza del punto di sezionamento in modo che si possa riconoscere attraverso la lettura della tabella: questo è infatti possibile per via del fatto che ogni energia è differenziata per colore e sigla della targhetta;
- *Metodo di sezionamento* – Nel caso si tratti di un'energia elettrica viene indicato di premere un pulsante di stop o di scollegare un interruttore. Se si ha a che fare con energia idraulica o pneumatica viene anche specificato come effettuare lo scarico dell'eventuale energia residua;

- *Dispositivo di blocco* – Ogni sezionatore ha un suo dispositivo di blocco, quindi deve essere specificato quello da utilizzare. Va anche indicato quale accessorio utilizzare per rendere il dispositivo multi lucchettabile, nel caso in cui più di un operatore svolga l'operazione di manutenzione.



Figura 2.9. - Copri pulsante emergenza [BREDI]



Figura 2.8. - Dispositivo di blocco multi lucchettabile [Joom]

Alla tabella si è deciso di allegare il *layout* della macchina così da rendere più rapida l'individuazione dei punti di sezionamento dell'energia. Infatti, sulla visuale dall'alto del macchinario sono stati inserite le targhette relative alle energie presenti e il punto in cui è possibile escluderle.

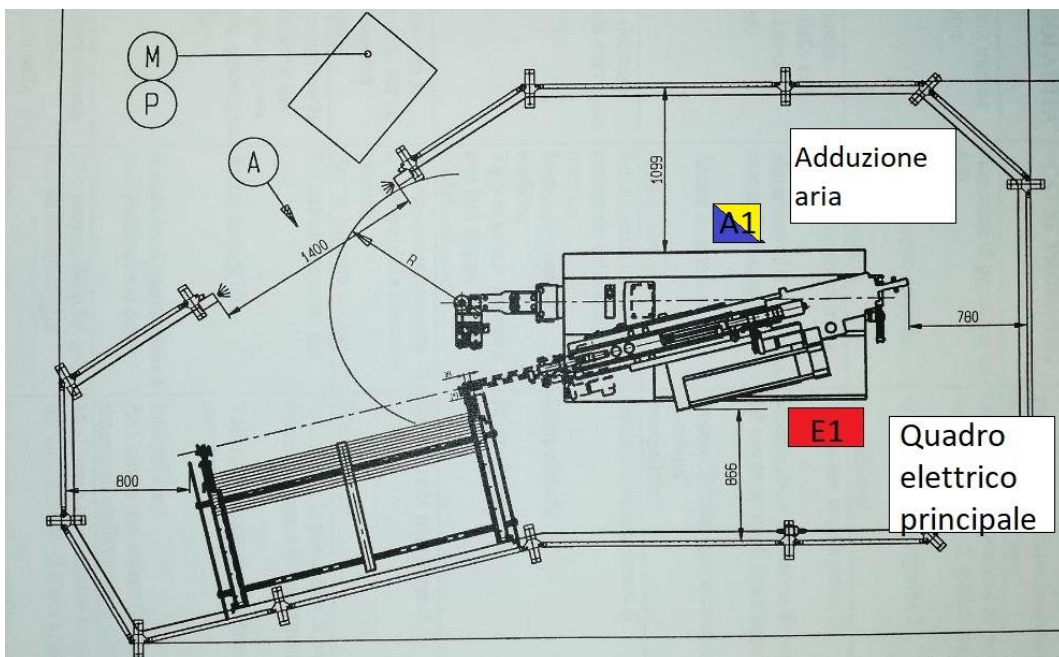


Figura 2.10. - Layout LOTO riportato su un macchinario per il taglio e la curvatura dei tubi [DENSO]

Nella Fig. 2.12. sono messi in evidenza i punti in cui scollegare l'energia elettrica e l'energia pneumatica. Sulla macchina sarà poi applicata nello stesso punto la targhetta associata. Quella relativa all'aria è multicolore per indicare che, oltre allo spegnimento, lo scarico dell'energia residua avviene in automatico tramite un'apposita valvola collegate al sezionatore dell'aria.

Il *layout* viene riportato nella prima pagina della procedura così da poter prendere immediatamente visione della macchina nel suo insieme. Sotto esso sono riportati i passaggi per l'arresto della macchina seguendo la procedura LOTO e il suo riavvio, come evidenziato in Fig. 2.13.:

MODALITA DI ARRESTO PER ESECUZIONE <i>LOCK OUT/TAG OUT</i>	MODALITA DI RIAVVIO IMPIANTO
- Informare il responsabile dell'impianto della necessità di intervento; - Definire con il Responsabile della Manutenzione/Tecnologie il numero di persone interessate all'intervento; - Prendere visione dal <i>layout</i> apposto sull'impianto di quali siano i punti di sezionamento e approvvigionare i dispositivi di blocco così come descritto; - Effettuare i sezionamenti rispettando la cronologia delle operazioni così come richiesto dalle targhette identificative poste sull'impianto. In occasione dell'avvenuto sezionamento o dell'eliminazione della fonte di energia residua, apporre il sistema di blocco sul dispositivo da isolare, verificandone l'effettiva tenuta; - Tutti coloro che partecipano all'esecuzione dell'intervento devono apporre il proprio lucchetto su ciascuno dispositivo.	- Si intende ultimato il lavoro solo dopo aver ripristinato tutti i dispositivi di sicurezza a protezione dell'impianto; - Rimuovere i sistemi di blocco partendo da quello identificato con il numero maggiore tornando fino ad 1; - Avviare l'impianto per verificarne la corretta funzionalità.

Figura 2.11. - Passaggi della procedura associato al *layout* macchina riportati sulla scheda. [DENSO]

Una volta terminato il documento, questo passa sotto il controllo dell'ufficio Manutenzione e Sicurezza e successivamente al Responsabile dei Lavoratori per la Salute e la Sicurezza (RLS). Nell'ufficio sicurezza verrà visionato dal responsabile della manutenzione che si occuperà di correggere il documento, riportando eventuali errori o incongruenze. Il RLS, invece, ha il compito di accertarsi che le misure di sicurezza siano rispettate e lo accetta a nome dei lavoratori dello stabilimento.

2.10. Segnalazione sulla macchina

Una volta che il documento viene approvato da tutte le parti interessate, si può procedere alla segnalazione delle fonti di energia pericolosa sulla macchina. Per effettuare questo lavoro è necessaria

la presenza del tecnologo di reparto o di un addetto alla manutenzione, in quanto è loro compito effettuare il fermo macchina per poter incollare, tramite adesivo, le targhette identificative dell'energia nel punto di sezionamento.

Su ogni punto saranno posizionate due targhette: una che indica la tipologia di energia e l'altra che indica l'ordine di spegnimento. Nel reparto in analisi dello stabilimento le energie principali sono di tre tipi: elettrica, pneumatica e fluidodinamica e ognuna di esse ha una sua targhetta specifica che la identifica.



Figura 2.12. - Targhetta che indica la presenza di un quadro elettrico principale

L'energia pneumatica presenta tre diverse tipologie di targhette che variano a seconda del metodo di sezionamento presente. Ne sono presenti due di colore blu e giallo nel caso in cui non sia possibile effettuare lo scarico automatico dell'energia residua: una segnala il sezionatore e l'altra la necessità di scaricarlo una volta spento.

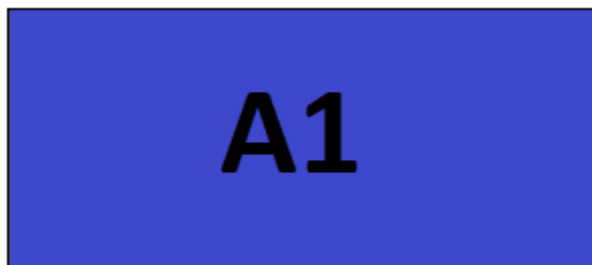


Figura 2.15. - Targhetta di segnalazione del punto di inserzione aria.

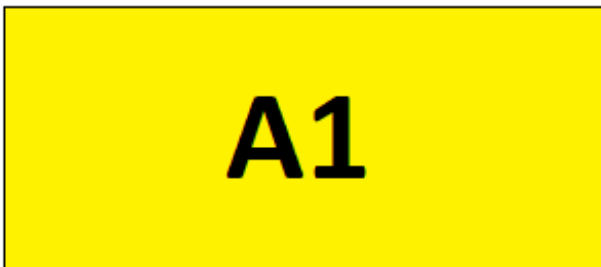


Figura 2.16. - Targhetta di segnalazione della necessità dello scarico di energia residua.

Se ne è presente solo una per metà blu e per metà gialla, sta a significare che il dispositivo di sezionamento è dotato della possibilità di scarico automatico nel momento in cui viene spento.

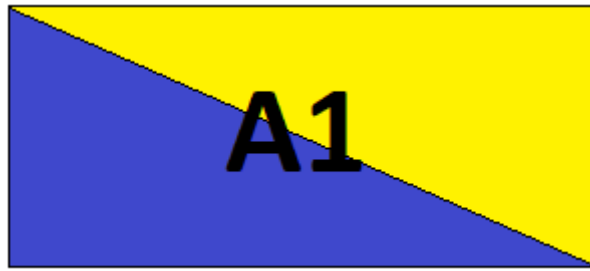


Figura 2.17. - Targhetta di segnalazione del punto di inserzione aria dotato di valvola per scarico automatico.

L'energia fluidodinamica è presente nei macchinari utilizzati per il lavaggio dei pezzi, i quali sono dotati di uno scarico automatico che riporta l'acqua nei serbatoi ogni volta che la macchina viene spenta: è quindi necessaria una sola targhetta di segnalazione.



Figura 2.18. - Targhetta identificativa del punto di inserzione acqua.

Nelle isole di lavoro viene utilizzata un'ulteriore targhetta, che non segnala nessun tipo di energia, ma che è utile al fine della procedura LOTO. Le isole di lavoro sono completamente automatizzate e

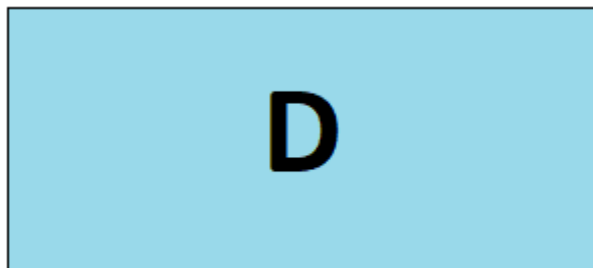


Figura 2.19. - Targhetta identificativa della porta di un'isola di lavoro.

vengono utilizzati dei robot che descrivono, nei loro movimenti, ampi raggi: quindi per evitare che qualcuno passi accidentalmente nelle loro aree di movimento, le isole vengono recintate e l'accesso è possibile solo tramite delle porte. Queste porte sono dotate di interblocchi, dei sensori di contatto che, se scollegati, bloccano l'intera isola di lavoro senza tuttavia spegnerla completamente. Il riavvio delle attività può avvenire solamente una volta che le porte vengono chiuse, e quindi gli interblocchi rimessi a contatto. Negli interventi nelle isole di lavoro il primo dispositivo da scollegare sono proprio le porte utilizzate, quindi è stato deciso che vengano anch'esse segnalate all'interno della procedura con una propria targhetta identificativa (Fig. 2.19.).

Un'altra targhetta associata alle precedenti è quella numerica, la quale sta ad indicare l'ordine con cui intervenire sui sezionatori. La numerazione rende chiaro da capire come spegnere ogni singolo macchinario, anche per chi non ha grande familiarità con quello specifico impianto; quindi, come

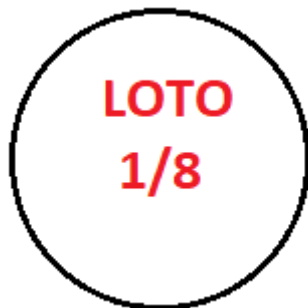


Figura 2.20. - Targhetta numerica di segnalazione.

detto nel paragrafo 2.8.. Inoltre, grazie alla numerazione, si può tenere conto in maniera più facile, annotandolo con il proseguire dell'intervento, dei sezionatori già disattivati ed evitare che alcuni possano essere saltati per una distrazione.

Effettuata la segnalazione dei punti di sezionamento della macchina, si realizzano delle fotografie, come in Fig. 2.8., in cui vengono visualizzati il sezionatore, la targhetta identificativa del tipo di energia e la targhetta numerica. Queste foto verranno allegate alla procedura seguendo l'ordine numerico così da permettere un ulteriore controllo da parte del manutentore, che sarà sicuro di spegnere l'interruttore corretto o di chiudere la valvola giusta.

2.11. Dispositivi di Sicurezza

Durante il fermo macchina si è deciso di svolgere un'ulteriore attività per migliorare l'efficienza degli interventi di manutenzione. In collaborazione con il tecnologo, è stato verificato il corretto funzionamento di tutti i dispositivi di sicurezza e si è proceduto con una loro segnalazione numerica, così da poter stilare un elenco in cui venivano evidenziati tutti quelli presenti sulla macchina, come ad esempio funghi di emergenza, interblocchi di sicurezza, finecorsa, barriere fotoelettriche e interruttori generali. Identificata la loro posizione sull'impianto, questa è stata segnalata sul *layout* macchina seguendo la numerazione scelta. Successivamente, con il supporto di un addetto alla manutenzione, il quale potendo intervenire sulla macchina, è stato possibile la lettura della sigla di identificazione di ogni dispositivo. In questo modo, collaborando con il magazzino, si è potuto risalire alla codifica aziendale. Questi dati sono stati così inseriti in una tabella che è stata inserita all'interno del documento relativo alla procedura LOTO.

La segnalazione dei dispositivi di sicurezza rende più efficiente il lavoro di manutenzione perché, nel caso di una segnalazione di essi, è possibile risalire in pochi secondi alla sua posizione e quindi a identificare la zona del problema. Ciò risulta parecchio utile nel caso di impianti molto grandi e può fare la differenza tra un possibile infortunio o no.

2.12. Applicazione della procedura in un Isola di Lavoro

Le linee guida generali di applicazione della procedura LOTO indicano come applicare questa su dei singoli macchinari. All'interno della sala macchine aziendale sono presenti diversi centri di lavoro automatizzati in cui lavorano diverse tipologie di macchinari. Ogni azienda cerca sempre di spegnere il minor numero di volte i propri impianti perché molto spesso il loro riavvio può richiedere parecchio tempo o, al peggio, se si tratta di macchinari un po' datati, questi potrebbero avere dei malfunzionamenti che ne impedirebbero il riavvio. Nel reparto di Tubi e Raccordi di DENSO, in particolare, sono presenti due isole di lavoro chiamate ITA (Isola Trattamento Aria) e una ITE (Isola Trattamento Evaporazione), le quali si occupano della realizzazione dei tubi per i radiatori, che presentano anche dieci macchinari diversi che lavorano in successione: risulta quindi poco efficiente spegnere tutti i macchinari per effettuare il lavoro di manutenzione su uno soltanto. Inoltre, sarebbe possibile, a seconda del macchinario che necessita di essere aggiustato, effettuare le lavorazioni su altri macchinari non facenti parte delle isole: in questo modo non sarebbe nemmeno necessario bloccare totalmente la produzione, ma sarebbe solamente rallentata.

Ogni macchinario è stato analizzato singolarmente, quindi in fase di sopralluogo è stato verificato quali fossero i pericoli lavorando su una macchina. Questa fase risulta la più importante fra tutte perché permette di valutare quali siano le altre macchine, in prossimità di quella su cui fare l'intervento di manutenzione, che potrebbero arrecare un danno all'operatore. Viene definita una zona di pericolo con un certo raggio e all'interno di questo raggio ogni macchinario viene spento, per permettere all'addetto alla manutenzione di poter lavorare senza dover stare attento a dei possibili movimenti delle macchine a cui lui non è interessato.

Effettuato il sopralluogo viene stilato il documento che viene diviso in più parti, tante quante i macchinari presenti nell'isola di lavoro. Viene redatto prima di tutto il documento relativo all'intera ITA, considerata con un unico impianto, vengono quindi segnalate nell'intero layout tutti i punti di sezionamento, le porte e l'ordine di spegnimento.

La procedura viene poi definita considerando singolarmente ogni macchina, facendo attenzione che i macchinari in prossimità non risultino pericolosi. Se si dovesse verificare una situazione simile, si renderebbe necessario dover applicare la procedura anche sulle altre macchine. Viene messo in evidenza il macchinario preso in analisi e segnalati i suoi punti di sezionamento. Sono inoltre segnalati quelli relativi ai macchinari pericolosi considerati. Com'è possibile verificare dalla Fig. 2.21. sono presenti anche le porte che permettono l'accesso alla macchina che necessiterà dell'intervento di manutenzione. In questo caso vengono spenti quattro macchinari per l'intervento sulla Troncatrice: quello di supporto per la bobina di alluminio, la Formatrice e il robot, il cui interruttore generale è presente nel suo computer di controllo. Il robot è dotato di un sistema di sicurezza, con dei sensori di movimento, che ne impedisce il movimento se avverte delle presenze nel suo raggio di manovra: tuttavia questo potrebbe essere escluso con la modalità di comando manuale; per evitare che un operaio utilizzi il robot senza rendersi conto della presenza di un manutentore, questo viene spento completamente, se necessario.

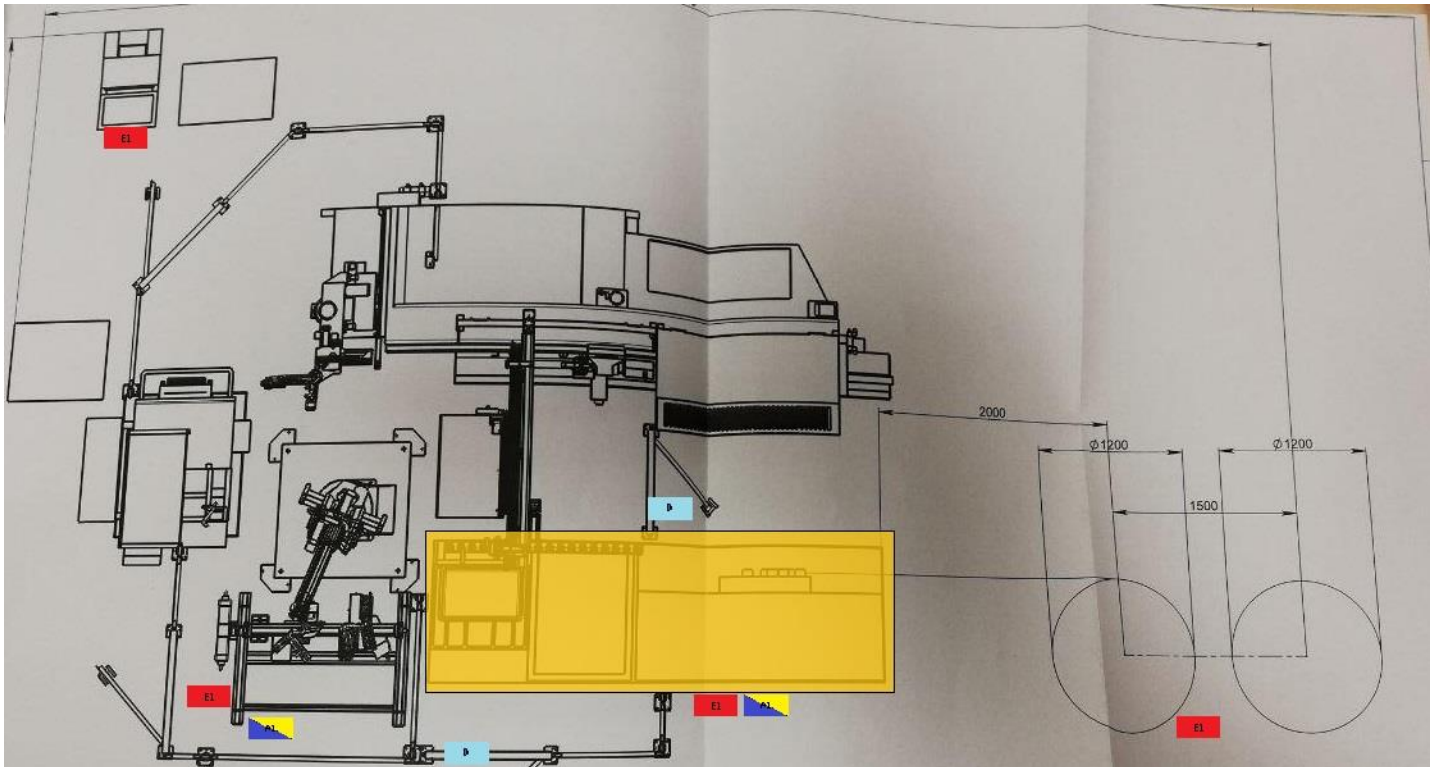


Figura 2.21. - Layout presente nel documento LOTO per intervento sulla Troncatrice di una ITA.

Solitamente, nelle isole di lavoro, i punti di sezionamento si trovano all'interno della recinzione, quindi le porte devono essere le prime ad essere disattivate per svolgere la procedura. Con la loro apertura vengono fermati i macchinari e ed è così possibile muoversi all'interno della zona di lavoro, sempre però con la dovuta attenzione per il rischio di movimenti accidentali prima della loro



Figura 2.22. - Segnalazione porta di accesso alla zona di lavoro di una ITA.

disattivazione completa. In Fig. 2.22. viene riportato un esempio di segnalazione di una porta di un'isola di lavoro. La targhetta numerica risulta infatti essere la numero 1.

Durante la stesura del documento è risaltato un problema relativo alla segnalazione dei *LOTO point* nel momento in cui si andava ad effettuare la procedura sul singolo macchinario e non sull'intero impianto. Le targhette numeriche potrebbero infatti non seguire più l'ordine sequenziale, in quanto potrebbero non essere presenti dei *LOTO point* perché relativi a una macchina che non occorre essere spenta. Nei punti della procedura che specificano lo spegnimento della macchina viene detto di «effettuare i sezionamenti rispettando la cronologia delle operazioni così come richiesto dalle targhette identificative poste sull'impianto.»; quando si effettua la procedura solo su un macchinario all'interno di un'isola questo passaggio viene modificato dicendo «effettuare i sezionamenti rispettando l'ordine crescente delle targhette numeriche poste sull'impianto». La stessa modifica viene poi riportata per la fase di riaccensione dell'impianto stesso.

3. Ottimizzazione della manutenzione

Disalimentare i macchinari in uno stabilimento industriale viene spesso visto come una perdita di tempo perché l'interruzione della produzione, per via delle elevate richieste produttive, è sempre intesa come una diminuzione dei profitti. Lo studio seguente si pone come una proposta di ottimizzazione delle procedure manutentive per poter così riprendere in maniera più rapida l'attività produttiva.

L'analisi è stata effettuata su un caso generico, definito in base alle statistiche di incidenti accaduti in uno stabilimento industriale. Vengono di seguito riportate le fasi di studio che si svilupperanno lungo questo capitolo:

- Stesura del diagramma di Gantt per una riparazione partendo dal momento del guasto fino a completa riparazione;
- Analisi del diagramma di Gantt e individuazione delle fasi ottimizzabili;
- Metodi di ottimizzazione;
- Nuovo diagramma di Gantt.

3.1. Caso di studio

I guasti nei macchinari di un impianto industriale possono essere di vari tipi: elettrici, ad esempio assenza di tensione o assenza di fase o guasto generico su motore, meccanico, come una rottura di cuscinetti, dei giunti di accoppiamento, delle maglie delle catene, o di altra natura, su circuiti pneumatici o oleodinamici. Si è scelto di analizzare un guasto di tipo meccanico perché permette di effettuare lo studio sia nel caso in cui la politica aziendale sia quella di effettuare degli interventi di manutenzione correttivi, sia nel caso sia quella di effettuare interventi preventivi.

Il tipo di guasto richiede un normale intervento di manutenzione e non interessa delle parti dei macchinari che solitamente non presentano dei guasti. In questo modo il manutentore deve solamente intervenire facendo leva sulla propria esperienza senza studiare degli specifici metodi di intervento.

Per il tipo di intervento scelto non è necessaria un qualche tipo di qualifica specifica diversa dalle solite di cui sono dotati gli addetti alla manutenzione. Questa scelta è stata fatta per rendere il processo il più generale possibile, così da renderlo attuabile nel più ampio caso di contesti industriali.

Ciò che non è stato escluso, riguardo gli addetti alla manutenzione, è stata la loro possibile indisponibilità perché impegnati in un altro lavoro. Questo non è un caso improbabile, soprattutto in quegli stabilimenti industriali dotati di parecchi impianti automatizzati o di alcuni impianti datati.

L'orario del guasto è stato imposto durante il turno giornaliero o durante le fasi degli altri turni che possano coincidere con i turni degli uffici. Essendo i turni degli uffici diversi da quelli della sala macchine il processo di segnalazione del guasto sarebbe rallentato; con questo accorgimento è possibile che la comunicazione del guasto possa essere più rapida e gli uffici siano a pieno regime per segnalare la necessità di intervento al personale interessato.

Queste semplificazioni sono state fatte per poter valutare se effettuare la manutenzione sia sempre la migliore soluzione, anche nel caso in cui si tratti di un intervento che si possa considerare di poco conto perché rallenta solamente la produzione e non la blocca totalmente.

3.2. Diagramma di Gantt

Per l'analisi dei tempi di lavoro e la loro sequenza temporale è stato scelto come strumento di studio il diagramma di Gantt. In questo modo è stato possibile definire l'arco di tempo necessario per effettuare un intervento di manutenzione e i vari step che un manutentore deve affrontare.

Il manifestarsi di un guasto porta a un decadimento delle prestazioni dilazionato nel tempo. Fra il manifestarsi del problema e la sua completa risoluzione passa un lasso di tempo, dovuto al fatto che gli addetti alla manutenzione devono venire a conoscenza della tipologia del guasto e organizzare così il loro lavoro. Le fasi che vanno dalla rilevazione del guasto alla sua correzione sono definite nella letteratura e vengono qui di seguito riportate per poter essere poi utilizzate all'interno del diagramma di Gantt:

- *Rilevazione e segnalazione* – Durante questo intervallo di tempo il guasto si è già verificato e il sistema continua ad operare in maniera errata o rallentata fino a quando non viene riscontrato un problema. Una volta che il guasto viene notato viene segnalato al personale responsabile;
- *Ricerca del personale* – In questa fase la comunicazione è arrivata all'ufficio manutenzione e sicurezza che, conoscendo il reparto e i macchinari coinvolti, contatta i manutentori responsabili dell'area interessata;
- *Messa in sicurezza* – Una volta che l'operatore si trova sul posto, per poter lavorare sul macchinario deve spegnerlo e metterlo in sicurezza seguendo la procedura disposta dallo stabilimento;
- *Rilevazione del tecnico* – In questo intervallo il manutentore si occupa di verificare quale sia la causa del guasto, così da poter scegliere il metodo di intervento e inoltrare la richiesta di materiale necessario al lavoro da effettuare;
- *Approvvigionamento ricambi* – Questo tempo è necessario perché il magazzino invii il materiale utile all'operatore per poter iniziare l'intervento;
- *Effettiva riparazione* – Fase di lavoro del manutentore;
- *Controllo finale* – Check delle funzionalità della macchina e tempo necessario per il suo riavvio.

La somma totale di questi intervalli di tempo ci darà il tempo necessario per riportare il macchinario al suo completo funzionamento.

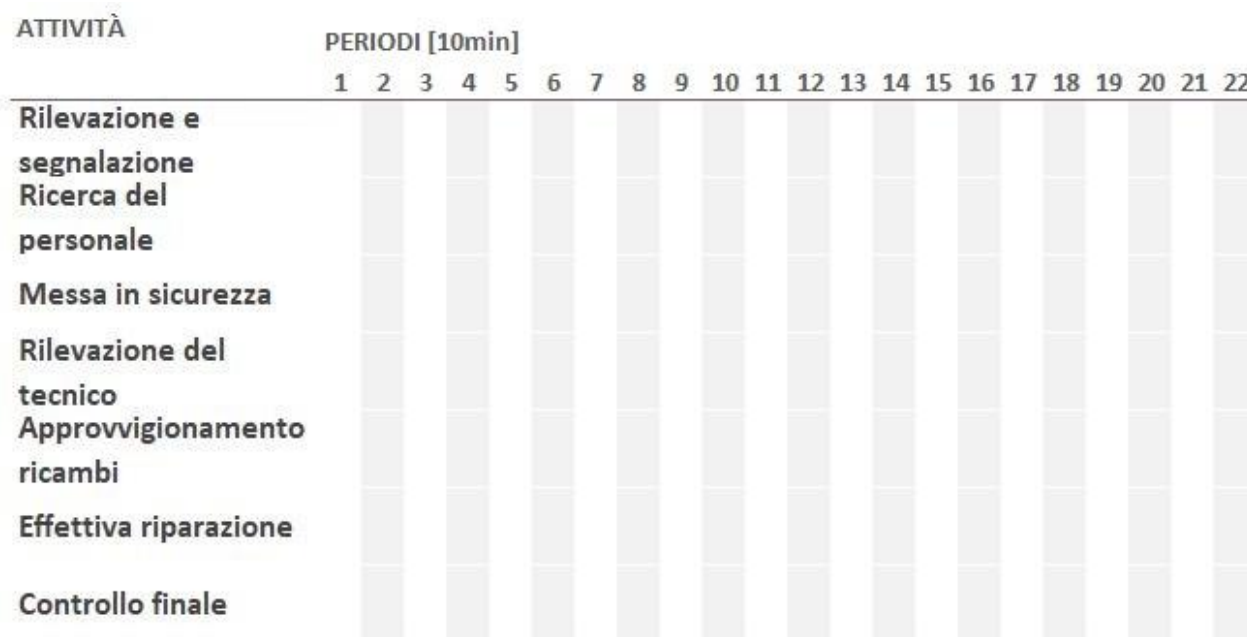


Figura 3.1. - Esempio di diagramma di Gantt da compilare per intervento di manutenzione.

Alcune tempistiche dalla capacità degli addetti alla manutenzione di lavorare in determinati macchinari e altre da fattori esterni come i turni lavorativi o i rallentamenti burocratici o la mancata disponibilità di pezzi in magazzino. Obiettivo di questa tesi è quindi quello di ridurre il tempo complessivo di riparazione dei mezzi. Nel caso in esame è possibile solamente intervenire sul piano tecnico e migliorare così l'efficienza, perché sono infatti necessari interventi a livello organizzativo per ridurre i tempi amministrativi, i quali variano da un'azienda all'altra.

3.3. Compilazione del diagramma di Gantt per manutenzione correttiva

La prima analisi viene affrontata nel caso in cui la politica aziendale sia quella di effettuare interventi di manutenzione di tipo correttivo, quindi ogni qualvolta si verifichi un guasto.

Sarà così analizzato un ipotetico intervento su un'isola di lavoro composta da diversi macchinari che operano in cooperazione per la realizzazione finale del pezzo.

Il diagramma in Fig. 3.2. è stato compilato rispettando le fasi definite in precedenza; le tempistiche sono state ricavate attraverso una media dei tempi necessari agli interventi di manutenzione correttiva su guasti di tipo meccanico di una non complessa difficoltà.

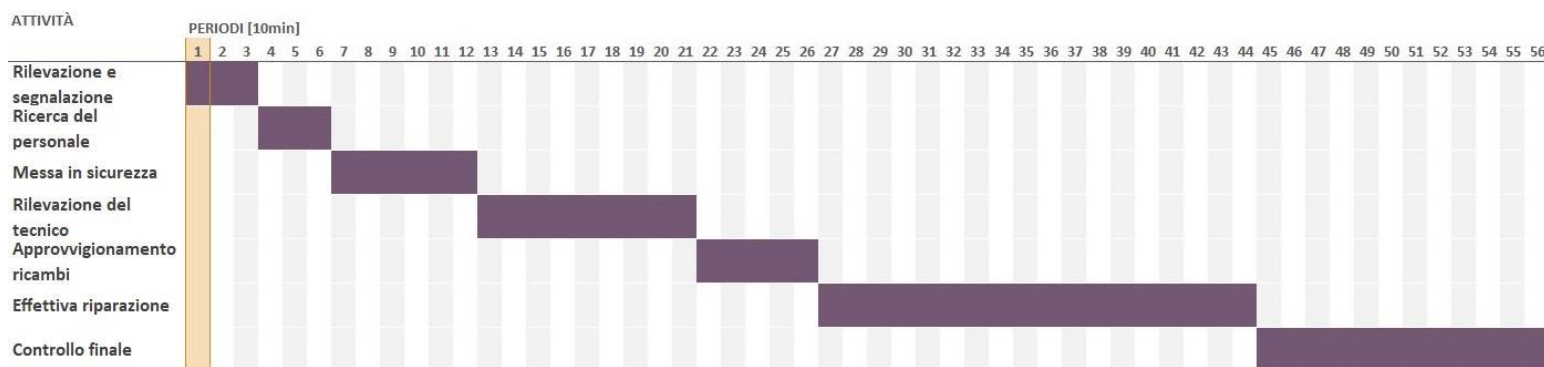


Figura 3.2. - Diagramma di Gantt per intervento di manutenzione correttiva

Per questo caso le attività possono essere solamente eseguite in successione senza essere sovrapposte perché ognuna richiede che quella precedente sia interamente completata per poter iniziare. Questo è dovuto sia per motivi logistici che di sicurezza. Per poter essere sovrapposte, queste attività necessitano di diversi accorgimenti specifici che verranno riportati in seguito come metodi di ottimizzazione.

Per rendere il diagramma più compatto è stata scelta come unità di misura di ogni colonna *10 minuti*, quindi il tempo complessivo di intervento sarà pari a *9 h e 20 min*. Questo sta a significare che l'intervento di manutenzione richiede al minimo più di un turno lavorativo per essere completato.

3.4. Individuazione delle fasi ottimizzabili

Per poter effettuare uno studio più approfondito ogni fase è stata analizzata singolarmente e suddivisa ulteriormente in delle sottofasi. Per questo motivo è meglio affrontarle singolarmente.

3.4.1. Rilevazione e segnalazione

Durante questa fase vengono seguiti una serie di passaggi necessari e obbligatori:

- *Rilevazione visiva* – Viene ravveduto il problema tramite una spia di errore sulla plancia di comando o per via di errori visibili nella realizzazione del pezzo;
- *Controllo dei segnali di errore* – Verifica che sia segnalato un reale problema e non un falso positivo;
- *Correzione senza blocco macchina* – Esecuzione di alcuni comandi standard che potrebbero correggere automaticamente il problema;

- *Segnalazione al preposto* – Avviso al reparto manutenzione della problematica.

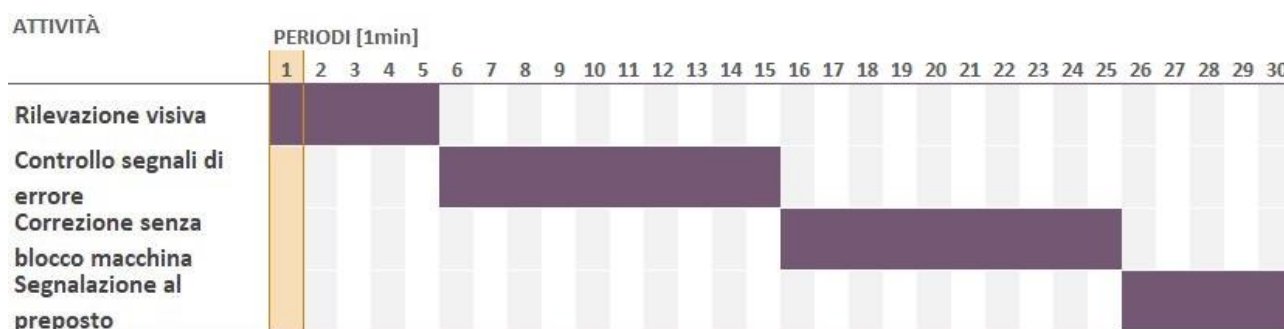


Figura 3.3. - Diagramma di Gantt della fase di Rilevazione e segnalazione.

Questi punti devono essere eseguiti dall'operatore che riscontra il malfunzionamento e possono quindi essere effettuati solamente in successione. Ciò sta a significare che durante questa fase non è possibile diminuire i tempi.

3.4.2. Ricerca del personale

Questa fase può essere influenzata da diversi fattori indipendenti dalla manutenzione, come per esempio problemi amministrativi e organizzativi di inoltro della richiesta. Il tempo di ricerca è stato scelto arbitrariamente pari a 30 *minuti* perché dipende dalla disponibilità dei manutentori, potrebbe diminuire anche fino a dieci se fossero tutti liberi o aumentare nel caso fossero impegnati in altre attività.

I ritardi, però, sono dati principalmente dalla possibile indisponibilità del tecnico; infatti è possibile che nessuno con le specifiche richieste sia in quel momento disponibile, perché impegnato in altre attività o non presente fisicamente nello stabilimento. Inoltre, ogni manutentore viene solitamente assegnato a uno specifico reparto e raramente si occupa di un altro; quindi è possibile che sia disponibile un tecnico con i requisiti di intervento, ma che non abbia una adeguata familiarità con il macchinario su cui deve intervenire. Tuttavia, la sua disponibilità potrebbe risultare utile come verrà specificato nel paragrafo [3.4.3.].

3.4.3. Messa in sicurezza

La messa in sicurezza viene eseguita utilizzando la procedura LOTO semplice, quindi allegando alla macchina i passaggi da eseguire senza ulteriori semplificazioni. Quindi i punti che dovranno essere rispettati sono anche stati considerati per determinare le sottofasi del diagramma di Gantt della fase di *Messa in sicurezza*:

- Arresto dell'asset con i normali passaggi del fermo dell'impianto;
- Identificazione della zona di intervento;
- Eliminazione delle energie nella zona di intervento;
- Blocco degli organi in posizione sicura con i lucchetti e segnalati tramite targhette;
- Dissipazione delle energie residue;
- Verifica dell'assenza di energie.

È possibile ora compilare il diagramma di Gantt tenendo conto di questi passaggi e del tempo necessario per ognuno.

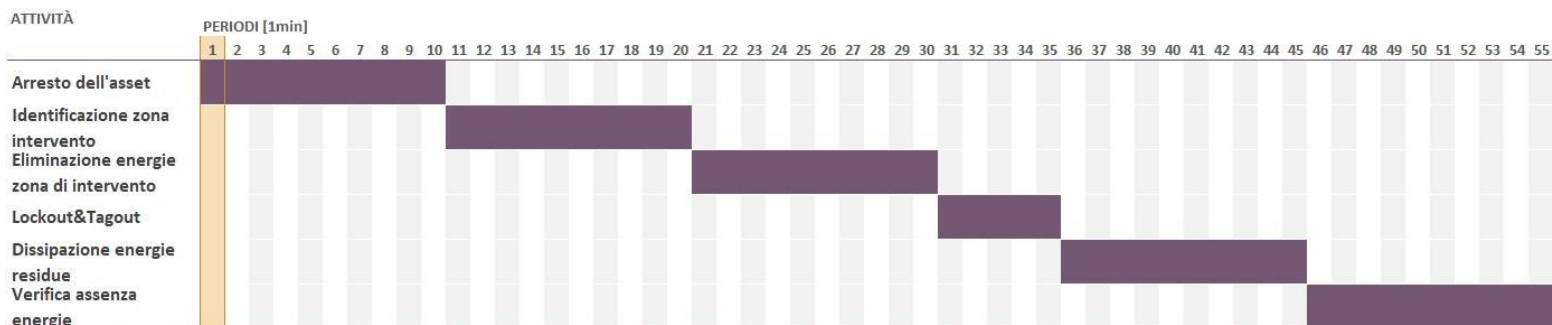


Figura 3.4. - Diagramma di Gantt della fase di Messa in sicurezza.

Se viene rispettata la scheda univoca allegata alla macchina o all'impianto le attività devono essere svolte necessariamente tutte in successione senza poter essere sovrapposte. Tuttavia, come spiegato nel Capitolo 2, è possibile adattare la procedura LOTO alle esigenze aziendali, quindi anche per snellire i tempi di intervento per attività di manutenzione.

Operando in un'isola di lavoro l'accesso alle macchine è limitato dalla presenza delle recinzioni, quindi fino a quando l'intero impianto non è in fermata non è possibile per l'operatore entrare all'interno e valutare quali macchinari debbano essere spenti per mettere in sicurezza la sua zona di lavoro. Utilizzando però la modifica della procedura spiegata al paragrafo 2.12. sarebbe possibile effettuare i primi due passaggi in concomitanza. Alla scheda LOTO viene infatti allegato il *layout* dell'impianto con già messo in evidenza quali macchinari vanno spenti per mettere in sicurezza la zona di lavoro per l'intervento su una determinata macchina. Nel caso in cui il problema venga

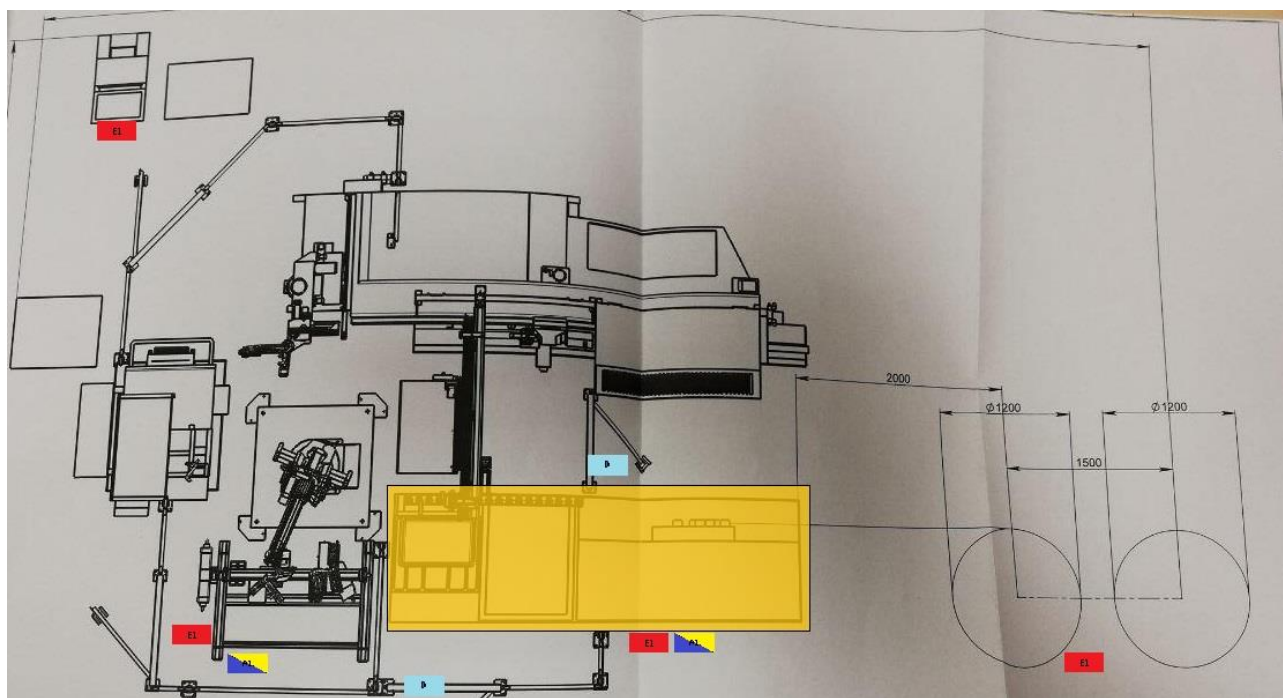


Figura 3.5. - Segnalazione zona di lavoro per intervento su uno specifico macchinario.

riscontrato nel macchinario evidenziato, una Tagliatubi, per poter intervenire in sicurezza dovranno essere spenti: la macchina per l'appoggio della bobina di tubo, la Formatrice e il robot. Inoltre, per

evitare che l'operatore entri nell'area macchine da un accesso non sicuro, perché in vicinanze di macchinari non totalmente spenti, sono segnalate le porte dalle quali può accedere.

Il dispositivo riportante il problema viene riconosciuto nella fase di *Rilevazione e segnalazione*, quindi il manutentore deve solamente consultare la parte della scheda LOTO relativa ad esso. Una

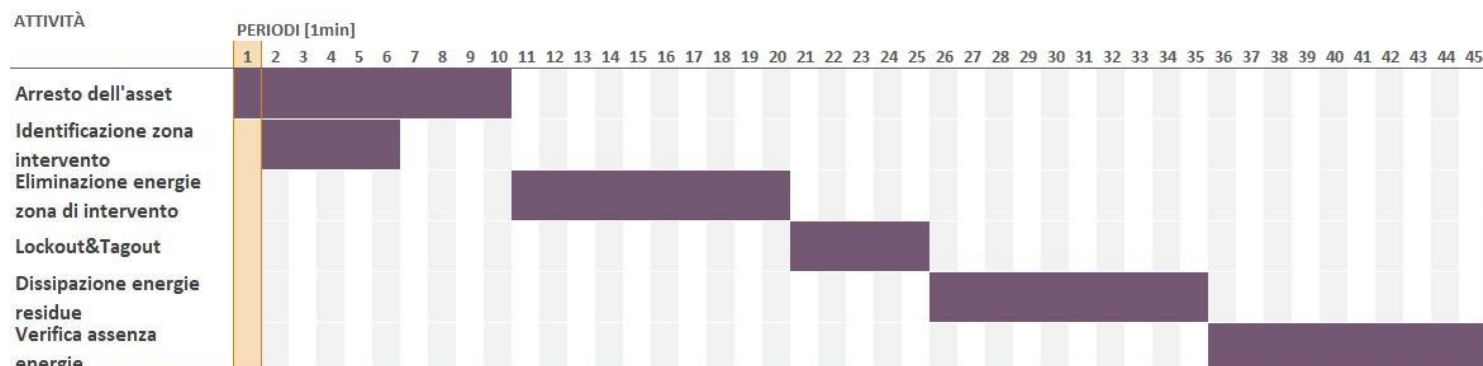


Figura 3.6. - Diagramma di Gantt della fase di Messa in sicurezza con ottimizzazione.

volta che la sottofase *Arresto dell'asset* sarà completata per l'operatore sarà possibile passare direttamente all'eliminazione delle energie pericolose, chiudendo i sezionatori segnalati.

La fase di fermata avviene premendo pochi interruttori, quindi quella di identificazione della zona può iniziare poco dopo. Come è possibile notare dalla Fig. 3.6., la sottofase *Identificazione zona di intervento* non inficia più la durata della procedura: questo perché si riesce ad eseguire e terminare prima ancora che i macchinari in fase di arresto vengano fermati.

Nel caso in esame tutti i sezionatori sono stati dotati di scarico automatico dell'energia residua che avverrà quindi in concomitanza con la sottofase *Eliminazione energie zone di intervento*. Avvenendo le due sottofasi in contemporanea i tempi diminuiranno ulteriormente e il diagramma risulterà quindi aggiornato come in Fig. 3.7.:

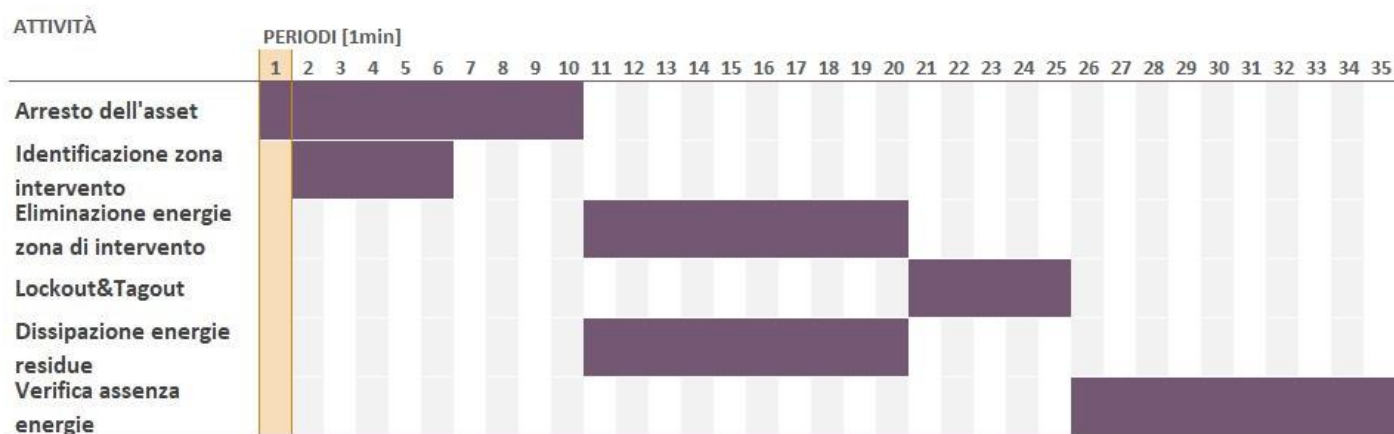


Figura 3.7. - Diagramma di Gantt della fase di Messa in sicurezza completamente ottimizzato.

Con l'inserimento di questi due accorgimenti all'interno della procedura è stato possibile diminuire il tempo necessario alla fase di *Messa in sicurezza* del 36%.

Delle varie modifiche apportate alla procedura LOTO, un'altra che può essere un vantaggio nell'ottimizzazione degli interventi di manutenzione è l'inserimento delle foto dei sezionatori. Infatti, in questo modo, come già detto nei paragrafi precedenti, si rende più facile l'applicazione della procedura anche per quei manutentori che lavorano in altri reparti e che non hanno la familiarità adatta con i macchinari dei settori non di loro competenza. Avendo la possibilità di utilizzare qualsiasi addetto alla manutenzione presente nella sala macchine per attuare la fase di *Messa in sicurezza*, questa può cominciare anche durante la fase di *Ricerca del personale*. Quest'ultima infatti non viene interrotta, perché il manutentore di un altro reparto potrà solamente eseguire la procedura LOTO, in

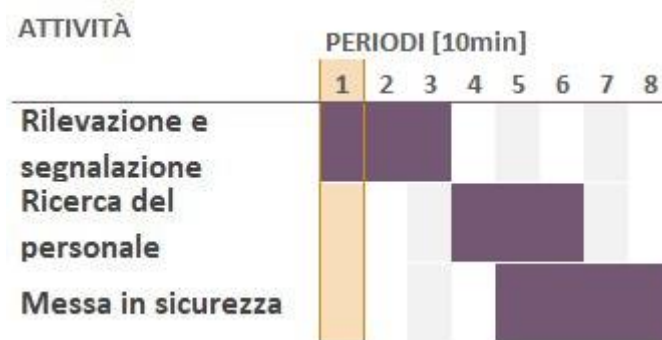


Figura 3.8. - Diagramma di Gantt ottimizzato fino alla fase di Messa in sicurezza

quanto la fase di *Rilevazione del tecnico* può essere eseguita unicamente dall'addetto alla manutenzione di reparto.

Il diagramma di Gantt dell'intero processo di manutenzione sarà così aggiornato come rappresentato in Fig. 3.8., con le precedenti modifiche.

Nel Gantt del processo completo ogni colonna corrisponde a 10 minuti e quindi la fase di *Messa in sicurezza*, la quale dura 35 minuti, andava approssimata: si è scelto di approssimarla per eccesso per via del fatto che è più probabile che i tempi di intervento subiscano dei ritardi anziché degli anticipi.

Ai fini dello studio è stato considerato che il lavoro dei manutentori sia eseguito in maniera lineare senza nessun tipo di inconveniente. Tuttavia, ciò non avviene sempre ed è giusto segnalare, soprattutto per quanto riguarda la sicurezza, alcuni piccoli accorgimenti che possono impedire degli intoppi. Un classico esempio è il sezionamento e il bloccaggio di parti di impianto dove potrebbe non essere presente un segnalatore di energie, quindi l'unico metodo per essere certi che un flusso di energia non sia più presente è poter vedere il sezionatore in posizione di OFF. Con l'utilizzo di alcuni



Figura 3.9. - Dispositivo di bloccaggio LOTO trasparente.

dispositivi di bloccaggio, come per esempio quelli per valvole a saracinesca, questo non è possibile perché coprono interamente il sezionatore; il manutentore esegue molto spesso questi passaggi in maniera meccanica e una dimenticanza non è da escludere, così potrebbe perdere del tempo per riaprire il dispositivo di bloccaggio e controllare l'effettiva chiusura.

Essendo disponibili sul mercato, si consiglia quindi l'utilizzo di dispositivi di bloccaggio trasparenti, nel caso in cui vadano a coprire interamente il sezionatore.

3.4.4. Rilevazione del tecnico

Questa fase dipende unicamente dall'abilità del manutentore e perciò non è possibile diminuire i tempi tramite una pianificazione.

Tuttavia, sarebbe possibile comunque rendere più semplice l'intervento da parte dell'addetto alla manutenzione dotandolo dei migliori strumenti di diagnostica o di strumenti che possano semplificare il suo lavoro così da poter, anche se di poco, diminuire il tempo di intervento. Nel caso di un guasto meccanico, come quello in esame, molto spesso l'operatore si ritrova a dover lavorare all'interno dei macchinari, in spazi stretti e poco illuminati e le torce di cui sono dotati aiutano ben poco; sarebbe quindi possibile dotarli di fascette led adesive che potrebbero facilmente districarsi all'interno dei macchinari, lasciando libere entrambe le mani del manutentore.

3.4.5. Approvvigionamento ricambi

Questa fase avviene successivamente a quella di *Rilevazione del tecnico* perché solamente dopo che viene completata, il manutentore può inoltrare le richieste di materiale al magazzino, il quale provvederà a recapitarle. Per poter richiedere i ricambi l'addetto alla manutenzione deve compilare una scheda in cui è necessario riportare il nome del pezzo e se possibile la lettura sul macchinario il numero di serie del pezzo, così che il magazzino possa recapitare lo stesso identico pezzo o uno equivalente, se disponibile in magazzino.

Spesso, però, il pezzo è troppo piccolo perché sia possibile una lettura del codice o sia posizionato in modo che il codice non sia visibile. In questi casi è necessario che il manutentore si rechi nel magazzino per poter scegliere personalmente i pezzi dei quali necessita, allungando notevolmente i tempi di intervento. Tutto questo è possibile evitarlo con l'utilizzo di un QR code applicato sulla macchina: scannerizzandolo con un lettore, il manutentore potrà avere visione di ogni pezzo installato sul macchinario con il corrispettivo codice univoco di magazzino, questo viene inserito nel programma ogni volta che un nuovo pezzo viene installato. Inoltre, tramite il lettore per il manutentore sarà possibile inviare immediatamente richiesta al magazzino senza dover prima compilare una scheda, ma direttamente durante la fase di rilevazione manuale.

In questo modo la fase *Rilevazione del tecnico* e *Approvvigionamento ricambi* possono avvenire simultaneamente risparmiando nell'intero processo la seconda fase delle due.

3.4.6. Effettiva riparazione

In questo caso i tempi dipendono solamente dal manutentore e dalla sua abilità ad effettuare il lavoro, una pianificazione non può quindi diminuire le tempistiche di questa fase.

Nei reparti della sala macchine in cui sono presenti molti macchinari capita spesso che i manutentori di settori siano due o più. Nel caso in cui entrambi siano liberi potrebbero lavorare in alternanza per migliorare l'efficienza del loro intervento: i tempi non diminuirebbero in maniera significativa ma la qualità sarebbe sicuramente superiore. Questo tipo di soluzione, se si presenta la possibilità, è molto spesso caldeggiata perché, essendo in diversi casi i luoghi di intervento in posizioni scomode e difficoltose, permette di non affaticare gli operatori in maniera consistente. Così i tempi si accorciano, perché sono necessarie meno pause, la qualità dell'intervento migliora, perché il livello di attenzione è sempre al massimo, e la riparazione sarà effettuata con successo.

3.4.7. Controllo finale

Anche in questa fase come nella precedente, i tempi necessari sono imposti da fattori esterni al nostro controllo: il tempo di riavvio macchina, il tempo di diagnostica e il tempo di realizzazione del pezzo.

Lavorando in un'isola di lavoro è stato possibile effettuare la scelta di spegnere solamente i macchinari che potrebbero arrecare un danno al manutentore, perché nella sua zona di lavoro, e di mettere solamente in fermata quelli che non costituiscono un pericolo per il suo intervento. Ciò porta inevitabilmente a una diminuzione dei tempi di riavvio dei macchinari perché alcuni di essi non sono mai stati completamente spenti.

Il manutentore deve supervisionare questa fase per verificare che il sistema non dia segnalazioni di errori. Nonostante ogni impianto sia dotato di un proprio controllo qualità per la verifica dei pezzi da scartare, dopo un riavvio è opportuno che la verifica venga anche effettuata manualmente.

Se tutti i passaggi sono rispettati, la manutenzione si può ritenere terminata e l'impianto può tornare ad operare autonomamente.

3.5. Nuovo diagramma di Gantt per manutenzione correttiva

Le proposte di ottimizzazione analizzate nel paragrafo e nei sotto paragrafi precedenti rivoluzionerebbero il diagramma di Gantt come rappresentato in Fig. 3.10.:

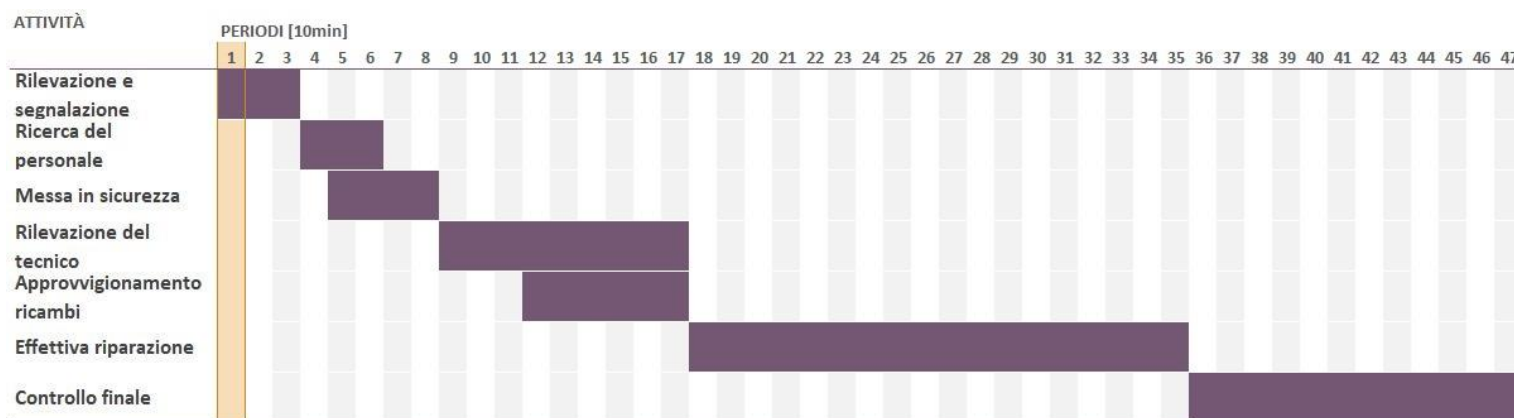


Figura 3.10. - Diagramma di Gantt per un intervento di manutenzione correttiva ottimizzata.

I tempi di intervento sono ora pari a 7 h e 50 min, con una riduzione del 16,7% rispetto al caso di manutenzione correttiva senza ottimizzazione. Ciò che però risulta maggiormente interessante è che

l'intervento di manutenzione potrebbe essere eseguito interamente in un turno lavorativo, se questo si verificasse in un cambio turno.

Le fasi che hanno contribuito maggiormente a questa diminuzione sono state quella di *Messa insicurezza* e quella di *Approvvigionamento ricambi*.

La prima ha permesso di risparmiare un tempo complessivo di 30 *min*, di cui venti per la possibilità di essere effettuata durante la fase di *Ricerca del personale*, sfruttando le modifiche aziendali per la procedura LOTO e la disponibilità di operatori di altri settori.

La fase di rifornimento dei materiali è stata interamente risparmiata nel processo e inglobata all'interno di quella di *Rilevazione del tecnico*. Per permettere ciò sarebbe necessario l'acquisto di un *software* per la gestione dei pezzi macchina e il collegamento diretto al magazzino. Per la modifica di questa fase è necessario una pianificazione sul medio termine perché bisognerebbe effettuare un inventario su tutte i macchinari presenti nella sala macchine, o per lo meno i principali. Queste attività sono spesso messe in secondo piano nelle dinamiche aziendali nonostante potrebbero portare, come visto, grossi risparmi di tempo nella gestione delle emergenze.

L'analisi è stata effettuata su un intervento di bassa difficoltà ma più sarà importante l'intervento e maggiormente sarà evidente l'effettivo risparmio in termini di tempo.

3.6. Limiti della manutenzione correttiva

Questo tipo di strategia di intervento presenta degli aspetti contrastanti. Il fattore positivo è un basso costo di manutenzione e di fermo macchina, il quale risulta praticamente nullo fino a quando la macchina è in funzione. Tuttavia, i fattori negativi di questa tipologia sono molteplici e qui di seguito elencati:

- Elevata perdita di ricavi dovuti al fermo macchina per guasto;
- Imprevedibilità dell'intervento e di conseguenza delle operazioni di deviazione del flusso di produzione;
- Elevati costi di riparazione. Nel caso in cui il guasto si protraesse nel tempo senza che venga identificato, potrebbero venir danneggiati altri dispositivi della macchina e renderla così inutilizzabile definitivamente.

Questo tipo di intervento risulta utile solamente nei casi in cui le tipologie di guasto siano facilmente riparabili e in un contesto produttivo in cui il fermo macchina non comporti gravi problemi al ciclo produttivo generale. Risulta vantaggiosa solamente per interventi la cui prevedibilità sia difficoltosa: ad esempio la rottura di un alternatore, la cui sostituzione anticipatamente rispetto alla sua rottura sarebbe particolarmente dispendiosa.

Per tutte quelle tipologie di guasto che potrebbero essere previste calcolando la vita utile dei componenti, sarebbe consigliabile attuare una strategia manutentiva di tipo sistematica, atta a prevenire il manifestarsi del guasto.

3.7. Manutenzione preventiva

La manutenzione preventiva risulta essere qualsiasi attività a cui è stata assegnata una scadenza ed è stata affidata a un tecnico. Può essere un'attività ricorrente eseguita a intervalli regolari o un'attività singola. La manutenzione programmata include ispezioni, regolazioni, assistenza regolare e arresti pianificati.

Questo tipo di manutenzione viene effettuata a intervalli regolari per ridurre la probabilità di guasto o per evitare la degradazione del funzionamento di un macchinario. Le componenti sottoposte ad usura sono diverse e tutte vanno monitorate, regolate o sostituite così da evitare avarie: questo permette così di evitare sprechi di denaro e di tempo. Pianificare gli interventi di manutenzione significa ridurre gli interventi di manutenzione correttiva e diminuire di conseguenza eventuali sprechi dei macchinari (in termini di energia elettrica, di carburante o lubrificanti). Ignorare i problemi che si verificano nei macchinari può portare a delle difficoltà di lavorazione degli operai (produzione di polvere, eccessivo livello di rumore), le quali possono portare a un rallentamento della produzione.

Un esempio di manutenzione programmata che si verifica a intervalli ripetuti è la sostituzione di un cuscinetto su un nastro trasportatore ogni 30 giorni o l'ispezione delle condizioni di un motore ogni 90 giorni. La manutenzione programmata può anche assumere la forma di un ordine di lavoro unico.

Con la manutenzione preventiva è possibile pianificare l'intervento di manutenzione. In questo modo, diversi tempi di attesa possono essere eliminati e il lavoro di correzione sarà effettuato in maniera più rapida così da riprendere la produzione a pieno regime nel minore tempo possibile. La programmabilità dell'intervento consente una maggiore organizzazione del lavoro di manutenzione e garantisce la possibilità di gestire la fermata della macchina nella maniera più conveniente.

La manutenzione preventiva da inoltre la possibilità di programmare l'approvvigionamento dei materiali, in particolare di quelli costosi, ed evita così che sia necessaria una scorta.

L'inconveniente principale di questo tipo di intervento è dato dal fatto che i pezzi che andranno ad essere sostituiti potrebbero non essere realmente alla fine del loro ciclo vita. Quindi ci sarebbe una conseguente crescita dei costi, ma non tale da far escludere questa strategia manutentiva. Rispetto alla manutenzione di tipo correttivo, con quella preventiva, è chiara una diminuzione delle perdite di produzione e una diminuzione dei costi di manutenzione.

All'interno della manutenzione preventiva, a seconda della tipologia di intervento, delle tecniche di rilevazione dei guasti e della metodologia di studio della vita utile dei componenti è possibile distinguere tre diverse tecniche:

- *Manutenzione programmata statica* – In questo caso gli intervalli e i criteri di intervento sono stabiliti per l'intera vita utile del macchinario o del componente. Un esempio è la pulizia dell'olio lubrificante che impedisce il grippaggio delle parti meccaniche dopo un certo numero di cicli di lavoro; questo viene specificato dal costruttore e viene ritenuto valido per tutta la vita utile della macchina;

- *Manutenzione programmata dinamica* – Permette di determinare intervalli programmati in funzione della storia del macchinario. Viene determinato il tempo medio tra due guasti (MTBF) in base alle modalità di utilizzo della macchina; risulta così possibile redigere dei calendari di intervento in funzione della probabilità che un guasto non si verifichi nel tempo che intercorre tra le due date di manutenzione programmata. Il vantaggio di questa strategia è dato dalla riduzione dei tempi di indisponibilità macchina nel caso in cui il guasto sia frequente: questo è possibile perché con una manutenzione programmata, l'intervento di manutenzione può essere organizzato per essere il più efficiente possibile e diminuire i tempi di attesa dovuti al fatto che il guasto si presenti in maniera non preventivata. Lo svantaggio di questa tecnica si presenta se viene attuata per quei componenti la cui prevedibilità è complicata, si corre infatti il rischio di sostituire un pezzo che ancora può essere per lungo tempo utilizzato, con una conseguente spesa inutile. Al contrario un ritardo di intervento potrebbe portare a dover intervenire a guasto avvenuto con le problematiche esposte al paragrafo precedente;
- *Manutenzione su condizione* – Viene effettuata mediante ispezioni periodiche per verificare l'usura di taluni componenti e decidere se sostituirli o meno. Vengono così eseguiti interventi di smontaggio, sostituzione e rimontaggio dei componenti, con il conseguente rischio che il componente non necessiti effettivamente di essere sostituito. In questo caso, oltre che a una notevole perdita di tempo, perché per essere ispezionati i macchinari devono essere fermati, c'è il rischio di provocare un danno indotto: causare un guasto per via di una sbagliata manovra di ispezione. Per questo motivo questa tecnica di manutenzione viene spesso abbinata a quella programmata dinamica, così da limitare gli svantaggi di entrambe: si riduce il rischio di sostituire un componente che non si trova a fine vita e l'ispezione viene effettuata perché si crede che sia necessaria per via statistica.

La manutenzione preventiva permette di contenere notevolmente il tasso di guasto perché i componenti sono ispezionati e sostituiti prima che avvenga la rottura. In questo modo il tasso di guasto sarà inferiore a quello della manutenzione correttiva e ciò porta a una diminuzione del numero dei cedimenti, con una conseguente diminuzione del numero di interventi di manutenzione necessari. Il minor numero di manutenzioni che vanno effettuate permette di fermare meno spesso i macchinari e così la produzione, la quale potrà continuare a mantenere livelli elevati per il maggior tempo possibile.

3.8. La percentuale critica di manutenzione programmata

L'utilizzo della manutenzione preventiva come strategia di correzione dei guasti risolve diverse problematiche causate da l'utilizzo di una manutenzione preventiva. In un mondo ideale, essendo la manutenzione programmata, verrebbe fissata una scadenza e le attività verrebbero eseguite in tempo. Tuttavia, potrebbe capitare che, per esigenze di produzione, un intervento di manutenzione preventiva venga ritardato, fino a ritrovarsi in concomitanza con un'altra attività già stabilita. Quando ciò accade, potrebbe essere difficoltoso scegliere quale dei due interventi di manutenzione necessiti di avere la priorità e quale possa essere messo in attesa.

La percentuale critica di manutenzione programmata è un indice che permette di confrontare le urgenze di manutenzione, così da organizzare le attività di manutenzione programmata ricorrenti. Quando le attività sono in concomitanza, per il ritardo di una di esse, l'indice consente di determinare quale deve essere eseguita per prima. Il calcolo della percentuale critica di manutenzione programmata viene effettuato tenendo conto del ritardo in relazione alla frequenza con cui dovrebbe verificarsi l'intervento di manutenzione. Maggiore è il valore della percentuale, maggiore è la priorità per quella manutenzione programmata.

La percentuale critica di manutenzione programmata viene calcolata nel seguente modo:

$$SMCP = \frac{GR + GC}{GC} \cdot 100$$

In cui:

- *SMCP* è la percentuale critica di manutenzione programmata;
- *GR* sono i giorni di ritardo;
- *GC* sono i giorni che intercorrono tra due interventi sullo stesso componente.

La manutenzione in ritardo può costare denaro e tempo se dovesse compromettere la produzione. La percentuale critica di manutenzione programmata mitiga questi costi e permette un utilizzo delle risorse in maniera più efficace. L'indice viene infatti utilizzato per organizzare le attività scadute in funzione del loro impatto sull'organizzazione. Maggiore è il valore della percentuale e maggiore è il rischio che tale attività comporta: ad esempio si potrebbe verificare un guasto senza che la sua correzione sia preparata, costringendo i manutentori ad intervenire con una strategia correttiva, con il conseguente aumento di tempi e perdite di denaro. Mirando ad effettuare il lavoro più importante, le inefficienze e la perdita di produzione possono essere sistematicamente eliminate dall'officina.

3.9. Diagramma di Gantt per manutenzione preventiva

Programmare la manutenzione permette di eliminare dei passaggi che per una manutenzione di tipo correttivo risultano indispensabili. Non essendo un evento improvviso e non previsto, l'intervento di manutenzione può essere organizzato per permettere il minor tempo di lavoro possibile, così da poter riprendere più rapidamente la produzione.

Viene analizzata ogni singola fase per verificare se necessario eseguirla anche per questa strategia di manutenzione:

- *Rilevazione e segnalazione* – Non viene effettuata perché il componente che deve essere sostituito è stato già identificato durante la programmazione;
- *Ricerca del personale* – Il personale interessato è a conoscenza del giorno e dell'orario stabilito per l'intervento. Il manutentore è immediatamente disponibile: il tempo di attesa viene quindi completamente eliminato;
- *Messa in sicurezza* – Questa fase non può essere modificata e il suo tempo resta pari a quello di un intervento di manutenzione correttiva ottimizzata;
- *Rilevazione del tecnico* – Non è più una fase necessaria perché il manutentore è già a conoscenza su quale parte deve intervenire;
- *Approvvigionamento ricambi* – Il materiale necessario è stato preventivamente scelto e nel momento in cui si inizia il lavoro questo viene recapitato nel luogo di intervento. Dovendo essere solamente trasportato dal magazzino alla zona di lavoro, il tempo di questa fase diminuisce notevolmente;
- *Effettiva riparazione* – Anche in questo caso i tempi saranno unicamente dipendenti dalle capacità di lavoro del tecnico incaricato;
- *Controllo finale* – Fase necessaria e non modificabile.

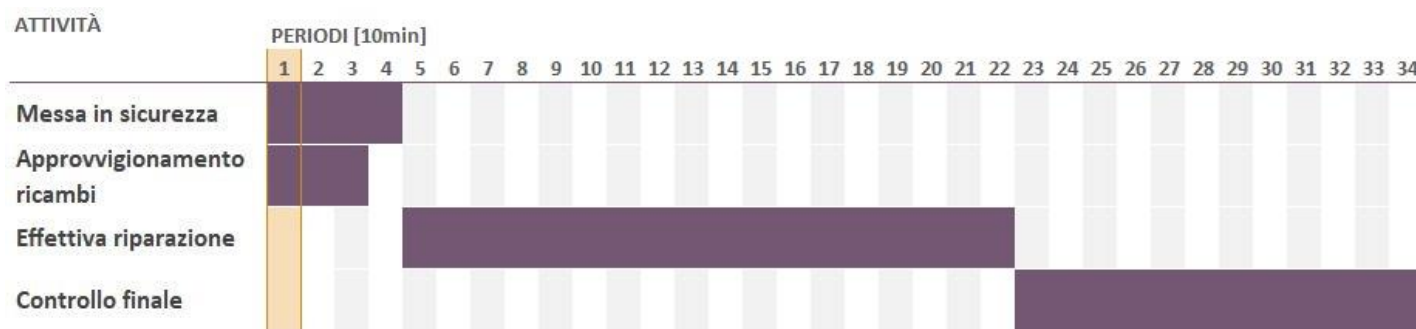


Figura 3.11. - Diagramma di Gantt per intervento di manutenzione preventiva.

Per effettuare un intervento di manutenzione preventiva sono necessarie 5 h e 40 min, con una riduzione del 39,2% rispetto a una manutenzione correttiva base e del 27,7% rispetto a una manutenzione correttiva ottimizzata.

Già con questi risultati sarebbe evidente il vantaggio di programmare la manutenzione per risparmiare tempo e denaro a vantaggio della produzione. Il vantaggio sarebbe ulteriore, tenendo in considerazione che, con una manutenzione preventiva, gli interventi di manutenzione andrebbero a diminuire, poiché il tempo necessario all'attuazione del fermo di una macchina potrebbe causare altri danni: il macchinario lavorerebbe infatti per un certo periodo di tempo in condizioni non ottimali. Inoltre, se si aspetta la rottura di un componente c'è una maggiore probabilità che questo si verifichi insieme al malfunzionamento di altri pezzi che hanno raggiunto il loro livello massimo di usura: in

questo caso il rischio maggiore è che la macchina interessata risulti completamente inservibile, senza possibilità di essere aggiustata, con un'incredibile perdita di denaro.

In tempi molto ravvicinati potrebbe essere necessario sostituire più componenti, con una vita utile simile: con la manutenzione programmata questa sostituzione può essere effettuata in un unico intervento di manutenzione, aumentando solamente il tempo della fase di *Effettiva riparazione*. Se si effettua una strategia di manutenzione correttiva, ogni qualvolta si verifica un guasto vanno eseguiti tutti i passaggi necessari, anche se i guasti si trovano a distanza ravvicinata.

Sarebbe ottimo effettuare un'analisi statistica per verificare, nell'arco di un anno, quanti interventi di manutenzione potrebbero essere risparmiati e quindi, quanto tempo tolto alla produzione programmando la manutenzione per gestire i malfunzionamenti in maniera controllata.

3.10. Programmazione manutenzione preventiva

Con una manutenzione di tipo programmato si cerca di evitare che si verifichino tutti quei guasti definiti *per usura*. I guasti per usura sono tutti quelli dovuti a fenomeni di invecchiamento e deterioramento, la cui probabilità di accadimento cresce al passare del tempo. Questa tipologia fa parte di una classificazione che comprende: *guasti infantili*, dovuti a difetti emersi durante i collaudi o per via di errori di montaggio, e *guasti casuali*, la cui probabilità di verificarsi è indipendente dal tempo e i fattori che li determinano sono incontrollati.

La vita utile di un componente si può così dividere come rappresentato in Fig. 3.12. nel cosiddetto diagramma “a vasca da bagno”.

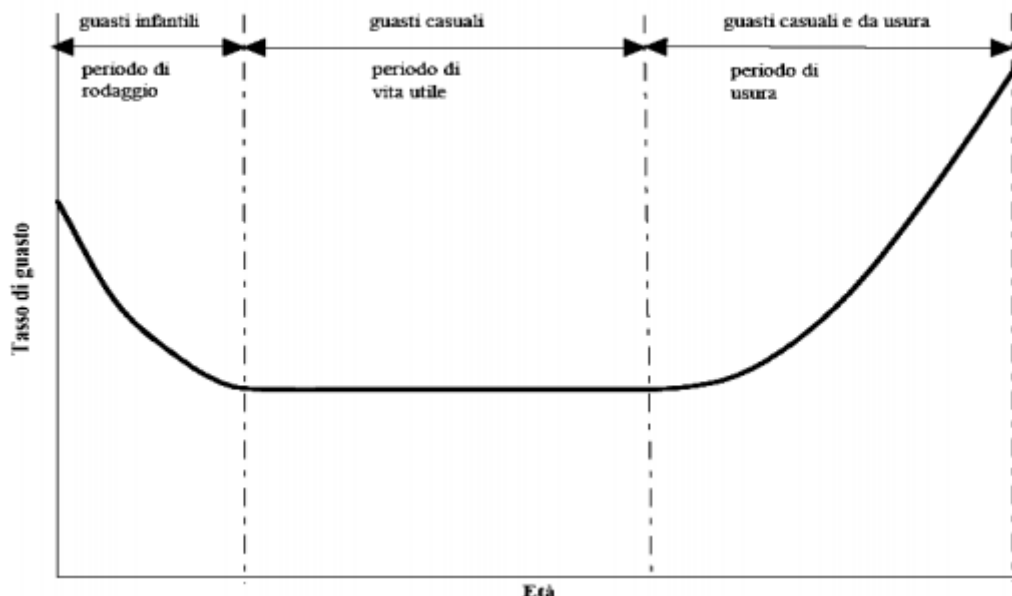


Figura 3.12. - Diagramma sulla vita utile di un componente

Con la manutenzione programmata si cerca di controllare il verificarsi di guasti all'interno del periodo di usura, in cui la probabilità che essi si manifesta aumenta con il tempo.

Per poter identificare con esattezza il tempo necessario per intervenire prima che avvenga la rottura bisogna definire alcuni parametri di studio:

- *MTBF* – Il tempo medio tra i guasti ed è il fattore di maggiore interesse nell'analisi;
- *MTTR* – Il tempo medio di riparazione è quello calcolato con l'utilizzo del diagramma di Gantt;
- *Frequenza dei guasti* – Il numero medio dei guasti che si verificano in una certa unità di tempo.

3.10.1. *Mean time between failures (MTBF)*

Come detto questo è il fattore di maggiore interesse per l'analisi, per via del fatto che permette di misurare le prestazioni, la sicurezza e la progettazione delle apparecchiature. Ma in particolare viene utilizzato per determinare l'affidabilità di un bene.

Per ottenere una misura accurata del MTBF è necessario raccogliere i dati dalle prestazioni effettive dell'attrezzature; ognuna opera infatti in diverse ed è influenzata da fattori umani come progettazione o assemblaggio. Il valore viene espresso in ore e calcolato come segue:

$$MTBF = \frac{\text{ore di funzionamento}}{\text{numero di guasti}}$$

Misurare questo fattore è un modo per ottenere informazioni su un guasto e mitigarne l'impatto. In questo modo è possibile ridurre il tempo di fermo, risparmiando denaro e lavorando più velocemente. Infatti, la disponibilità di questa informazione, abbinata alle altre indicate precedentemente, semplifica la creazione di un programma di manutenzione, così da affrontare i problemi prima che essi si verifichino e causino danni peggiori.

Il MTBF risulta utile per la gestione delle scorte in magazzino: sapendo approssimativamente quanto tempo si ha a disposizione prima che un pezzo si rompa, è possibile organizzare l'acquisto e non dover accumulare così scorte nel deposito. Ad esempio, è possibile ottenere una migliore comprensione delle quantità minime e dei tempi di consegna, così da ottenere delle consegne puntuali, con conseguente riduzione dei tempi di attesa e quindi dei costi.

3.11. Limiti della manutenzione preventiva

La manutenzione preventiva permette di programmare i fermi macchina con dei tempi convenienti alla produzione, e di programmare per tempo la disponibilità del personale e l'approvvigionamento di tutti i pezzi di ricambio necessari. Tuttavia, questa strategia richiede che la pianificazione sia curata nei minimi particolari e se ciò non avviene, la frequenza degli interventi rischia di essere troppo bassa o troppo elevata rispetto alle effettive necessità delle attrezzature.

Nel caso in cui la frequenza sia troppo elevata, potrebbe capitare che vengano spese risorse e tempo per la sostituzione di componenti, le quali avevano ancora una significativa vita utile. Se ciò accade il pezzo sostituito viene in parte sprecato e il nuovo pezzo viene invece acquistato anticipatamente senza che fosse realmente necessario.

Al contrario, se la frequenza di intervento è troppo bassa si corre il rischio che il guasto si verifichi prima della data stabilita. Se questo si verifica, si è obbligati ad intervenire con una manutenzione correttiva, con conseguente aumento dei tempi di fermo macchina, i quali potrebbero essere anche superiori al caso in cui si attui sempre una strategia reattiva. Ad esempio, non avendo scorte in magazzino perché l'arrivo dei materiali era previsto per un'altra data, si dilata il tempo di attesa e il prezzo degli stessi potrebbe aumentare perché richiesto un ordine straordinario.

Per limitare questi problemi sarebbe vantaggioso utilizzare una strategia manutentiva di tipo predittivo.

3.12. La manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva è una tecnica manutentiva che permette di rilevare possibili difetti e risolverli prima che questi si manifestino, utilizzando strumenti e tecniche di monitoraggio delle prestazioni e delle apparecchiature durante il loro normale utilizzo.

Idealmente, la manutenzione predittiva permette di mantenere il più basso possibile il livello di manutenzione, così da prevenire una manutenzione correttiva non pianificata, o senza incorrere in costi derivanti da una manutenzione preventiva eccessiva.

Il riconoscimento della presenza di una possibile anomalia in fase di avanzamento viene determinata attraverso l'interpretazione di segnali premonitori del guasto. Quando il segnale viene riconosciuto, entra a far parte di una serie di fattori, i quali possono essere monitorati con ispezioni periodiche come accade nel caso della manutenzione preventiva. Al contrario di quest'ultima, la manutenzione predittiva fonda il controllo sui segnali dati dalle apparecchiature, così da non dover interrompere il normale funzionamento del macchinario quando è presunto avvenga la rottura. Si cerca in questo modo di diminuire il più possibile il numero di ispezioni o revisioni, sviluppando metodologie affidabili di rilevamento dell'usura.

La manutenzione predittiva garantisce che un'apparecchiatura che richiede manutenzione venga spenta solo prima di un guasto imminente. In questo modo si riduce notevolmente il tempo totale e i costi spesi per la manutenzione delle attrezzature.

Questa tecnica manutentiva risulta efficace solo se sono verificate le due condizioni di seguito, cioè che la macchina deve:

- Avere una funzione operativa critica;
- Avere modalità di guasto che possano essere previste in modo conveniente e con un monitoraggio regolare.

3.13. Applicazione della manutenzione predittiva

Per la manutenzione predittiva vengono utilizzate apparecchiature di monitoraggio delle condizioni, al fine di valutare le prestazioni di una risorsa in tempo reale: ad esempio, potrebbe venire definita una legge che metta, in funzione della sua vita residua, l'aumento della temperatura in un cuscinetto.

Un elemento fondamentale in questo processo è l'*Internet of Things* (IoT), il quale consente a sistemi diversi di connettersi, così da lavorare insieme e condividere, analizzare e agire sui dati. L'IoT è basato sull'utilizzo di sensori atti ad acquisire informazioni, darne un senso e identificare le aree che richiedono un possibile intervento. L'IoT ha permesso la realizzazione di questi sistemi attraverso l'impiego di piattaforme di connettività di tipo LAN, WLAN o basate su tecnologia Cloud.

Il monitoraggio può venire effettuato con tecniche diverse ed è opportuno scegliere quella migliore per ogni tipologia di macchinario:

- *Analisi delle vibrazioni* – Nel caso di apparecchiature rotanti come compressori, pompe e motori è la metodologia maggiormente efficace perché presentano tutte un certo grado di vibrazione. La quantità di vibrazioni aumenta con l'usura e così i sensori possono essere utilizzati per rilevare quando questo diventa eccessivo;
- *Infrarossi* – Le telecamere a infrarossi possono essere utilizzate per rilevare condizioni ad alta temperatura nel caso di apparecchiature in tensione;
- *Ultrasuoni* – Utilizzata per rilevare difetti in profondità;
- *Acustico* – Ottimale nel caso di apparecchiature con gas, liquidi o che lavorano sottovuoto per identificare una possibile perdita;
- *Analisi dell'olio* – Permette di determinare l'usura dei componenti che lubrifica misurando il numero e la dimensione dei residui presenti;
- *Elettrico* – Con l'utilizzo di pinze sugli amperometri si può misurare la corrente di un motore;
- *Prestazioni operative* – Controllo dei sensori di sistema, i quali monitorano pressione, temperatura e portata.

A seconda della complessità dei macchinari analizzati, la fase di raccolta dati può durare da qualche settimana a qualche mese. Effettuata questa fase i dati vengono ripuliti per rendere possibile la loro elaborazione così da essere interpretati in un modello. Questo modello viene costruito per ogni tipologia di macchinario; si tratta in genere di algoritmi che vengono utilizzati da un computer per predire il verificarsi di un guasto.

Il lavoro di analisi viene gestito attraverso un software, il quale ricopre un ruolo fondamentale nel passaggio da manutenzione preventiva a predittiva. Attraverso l'IoT e i sensori, gli algoritmi elaborano previsioni su quando la sostituzione deve avvenire. Un sistema accurato assicura:

- *Modelli specifici e set di dati* – Sono necessari per accrescere il livello di precisioni. In questo modo è possibile anticipare il verificarsi dei guasti con il controllo di anomalie attraverso i dati registrati dai sensori, i quali tengono conto di fattori diversi, come ambientali o operativi;

- *Profondità del livello di analisi* – Per avere un’alta efficienza di analisi, attraverso il software sono analizzati sia i guasti ripetitivi sia quelli casuali, che sono in maggiore percentuale;
- *Esecuzione di lavori complessi* – Risulta necessario sviluppare modelli operativi complessi ed efficaci così da permettere al software di lavorare su un database molto ampio;
- *Creazione, gestione e aggiornamento database* – Ogni evento che si verifica sui macchinari, dalla manutenzione alle ispezioni o alle tarature, viene registrato e diventa parte dell’analisi effettuata.

La manipolazione dei dati e la loro interpretazione in base al contesto richiede sempre una supervisione da parte di un operatore. Nonostante questo, il processo risulterà automatico: rilevazione dei segnali, elaborazione e interpretazione diranno se la macchina necessita delle riparazioni. Viene inoltre indicato quale componente si comporta in modo anomalo, così da indicare il tipo di manutenzione è necessario.

3.14. Pro e contro della manutenzione predittiva

Se la manutenzione predittiva viene eseguita efficacemente come strategia manutenzione, è possibile effettuare gli interventi solo quando questi si rendono realmente necessari: poco prima che i guasti si verifichino. Questo porta a numerosi risparmi sui costi:

- Riduzione al minimo del tempo di manutenzione;
- Diminuzione delle ore di produzione perse per interventi di manutenzione;
- Riduzione al minimo del costo dei pezzi di ricambio e forniture.

Dalla letteratura è stato possibile quantificare questi risparmi: è stato infatti dimostrato che i programmi di manutenzione predittiva portino una riduzione del 25%-30% dei costi di manutenzione, una riduzione del 70%-75% dei guasti e una riduzione del 35%-45% dei tempi di fermo nell’arco di un anno di esercizio.

Rispetto alla manutenzione preventiva, il costo delle apparecchiature per il monitoraggio delle condizioni necessarie per attuare la manutenzione predittiva risulta spesso elevato. I costi aumentano ulteriormente nel momento in cui devono essere migliorati, tramite corsi di aggiornamento, i livelli di competenza del personale addetto all’interpretazione dei dati di monitoraggio. I costi iniziali potrebbero così essere un limite difficile da superare per aziende di medio-piccole dimensioni.

3.15. Diagramma di Gantt per manutenzione predittiva

Gli interventi di manutenzione predittiva si attuano esattamente come quelli di manutenzione preventiva e il loro processo di intervento è il medesimo. Tuttavia, con la manutenzione predittiva il

sistema di rilevazione del guasto è più accurato e permette di rendere più efficiente la fase di *Effettiva riparazione*, in quanto potrebbe suggerire che il componente che richiede manutenzione debba essere aggiustato e non sostituito, il che potrebbe comportare una diminuzione dei tempi di intervento. Nonostante ciò è stato scelto di non modificare il diagramma di Gantt perché un risparmio di questo tipo non sarebbe significativo al fine dell'analisi. Ciò è stato deciso anche perché la riduzione dei tempi, data dal solo utilizzo di una tecnica manutentiva di tipo predittivo rispetto alle altre, è così significativo da far propendere per una sua preferenza rispetto alle altre.

4. Analisi

Confrontando i vari diagrammi di Gantt risulta interessante effettuare un'analisi per valutare quanto potrebbe essere il guadagno, in termini di produzione, dell'utilizzo del modello ottimizzato per una strategia correttiva prima e di quello per una tipologia preventiva poi. Inoltre, ipotizzando che il guasto porti solamente a un rallentamento della produzione, e non a un blocco totale, in quanto tempo è possibile colmare il divario dato dal fermo macchina per la manutenzione.

Le analisi sono state eseguite utilizzando i dati ISTAT 2018 relativi alla produzione media annuale, espressa in chilogrammi, di un'azienda produttrice di manufatti in alluminio, utili per la realizzazione di pezzi più complessi. Durante un turno lavorativo di 8 h vengono realizzati 603 kg di prodotti finiti in alluminio. All'interno dell'azienda in esame la metà viene prodotta dal settore *Tubi e raccordi*, il quale ha a disposizione tre linee di lavoro. Quindi, durante un turno lavorativo se dovessimo bloccare una linea di produzione per l'intervento di manutenzione, non vorrebbero realizzati 100 kg di prodotto, con conseguente rallentamento della realizzazione dei successivi pezzi.

4.1. Recupero della produzione con manutenzione correttiva

Le elevate richieste produttive negli stabilimenti industriali portano ad evitare il più possibile i fermi macchina così da non interrompere la produzione. Quindi, quando ciò accade, si cerca di ridurre il tempo di interruzione e diminuire così il più possibile la quantità di prodotto non realizzato.

Nel caso analizzato al paragrafo 3.3. è stato calcolato il tempo di blocco dell'attività di produzione dal momento di rilevazione del guasto fino alla sua completa correzione, risultando pari a 9 h e 20 min. Questo sta a significare che durante la manutenzione non vengono prodotti 114,5 kg di prodotto finito.

In seguito agli interventi di ottimizzazione del processo il tempo viene ridotto a 7 h e 50 min: le perdite sono di conseguenza diminuite e sono pari a 98 kg. In termini percentuali il decremento sarà pari al 14,41%.

Molto spesso capita però che un piccolo problema risolvibile in breve tempo, come nel caso d'esame, porti solo a un rallentamento della produzione, che continua ma a ritmi ridotti. Per questi casi, internamente all'azienda, è stata scelta una soglia di turni lavorativi entro il quale si riesce a recuperare la piena produzione che giustifichi il fermo macchina. Questo è stato pensato in particolare per i momenti in cui ci sono delle scadenze prossime e un blocco possa causare dei ritardi.

Il limite di turni è stato scelto pari a nove: quindi se il punto di pareggio tra una produzione ridotta e una a pieno ritmo, successiva a un intervento di manutenzione, è pari o inferiore a questo valore è conveniente intervenire.

Sono state effettuate diverse prove per trovare la quantità di cui si deve ridurre la produzione per far sì che la manutenzione sia giustificata. È stato interessante verificare, inoltre, quanto questo valore varia tra il caso di manutenzione correttiva base e il caso di manutenzione correttiva ottimizzata.

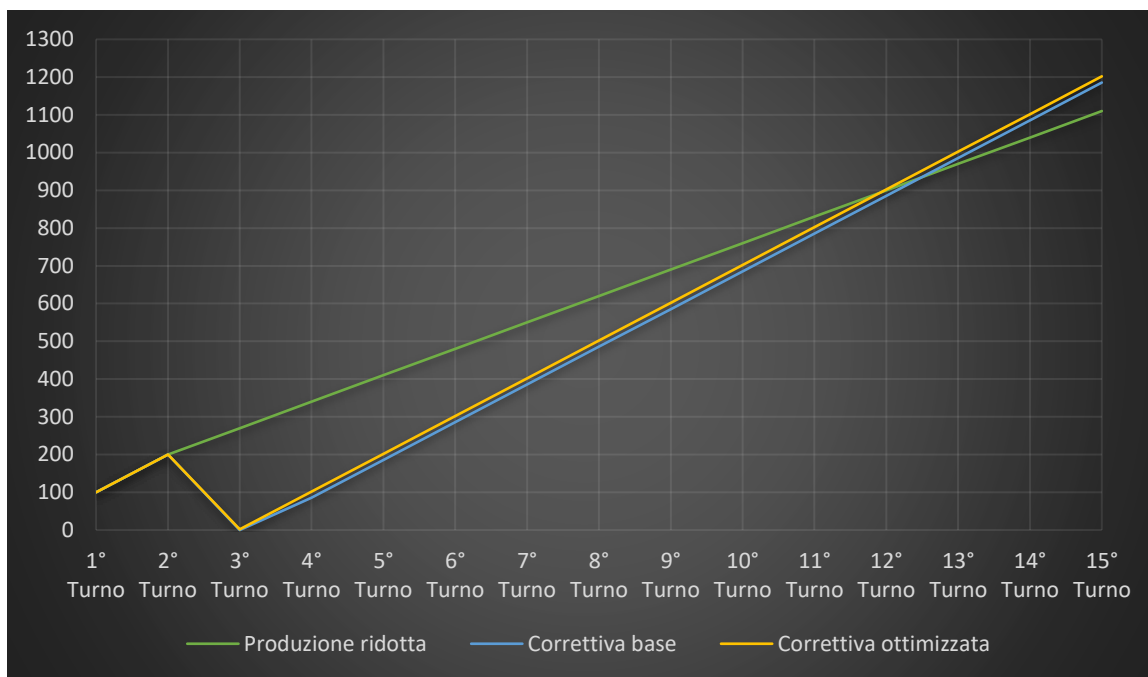


Figura 4.1. - Andamento della produzione.

Il grafico in Fig. 4.1. riporta il caso in cui, per via di un malfunzionamento, la produzione si riduca del 30%. È inoltre possibile vedere quanti turni di lavoro siano necessari per recuperare ciò che non è stato prodotto durante il fermo macchina. Per una lettura più accurata si rimanda però alla Fig. 4.2. riportante in tabella i valori della produzione per turno lavorativo:

	Produzione ridotta [kg]	Correttiva base [kg]	Correttiva ottimizzata [kg]
1° Turno	100	100	100
2° Turno	200	200	200
3° Turno	270	0	2
4° Turno	340	85,5	102
...	...	...	...
10° Turno	830	785,5	802
11° Turno	900	885,5	902
12° Turno	970	985,5	1002
...	...	...	...

Figura 4.2. - Dati dei punti critici del grafico.

Alla fine del 2° Turno lavorativo si verifica il guasto e la produzione viene così modificata. Dal momento del malfunzionamento sono necessari dieci turni lavorativi per raggiungere il punto di *break even* dopo un intervento di manutenzione correttiva: significa che la manutenzione viene rimandata a una data in cui la pressione produttiva sia inferiore. Il rischio in questo caso è però che il guasto ne generi altri, portando a un'ulteriore diminuzione della produzione o un suo blocco totale. Utilizzando invece la manutenzione correttiva studiata e ottimizzata, i turni necessari per il pareggio sono nove ed è così più conveniente intervenire.

Ridurre il valore percentuale di cui la produzione diminuisce, può voler dire avere un problema che comporta meno rischi di indurre altri malfunzionamenti ed è quindi meno rischioso continuare a lasciare la macchina in funzione.

4.2. Recupero della produzione con manutenzione preventiva

Con l'utilizzo di una tecnica manutentiva di tipo preventivo è possibile programmare i momenti in cui effettuare i fermi macchina. In questo modo, nei limiti dei tempi di sostituzione dei pezzi calcolati, è possibile pianificare gli interventi di manutenzione nei momenti in cui le richieste produttive sono meno stringenti. Per poter effettuare un confronto tra le diverse metodologie manutentive studiate e valutare i vantaggi in termini di tempistiche di riparazione, risulta conveniente effettuare un'analisi come quella del paragrafo 4.1., per valutare in quanti turni si effettua il punto di pareggio della produzione.

La programmazione degli interventi permette di ridurre notevolmente il tempo necessario al processo di riparazione e, come calcolato al paragrafo 3.9., questo risulta pari a 5 h e 40 min. In termini di produzione, durante una manutenzione preventiva, la perdita risulta pari a 70 kg, con una riduzione della perdita del 39% rispetto a una manutenzione correttiva base, e del 29% rispetto a una manutenzione correttiva ottimizzata.

Nel caso di una produzione ridotta, come nel paragrafo 4.1., del 30% è stato effettuato un confronto con gli altri tipi di manutenzione studiati, per verificare quanti turni in anticipo si raggiunge il punto di *break even*.

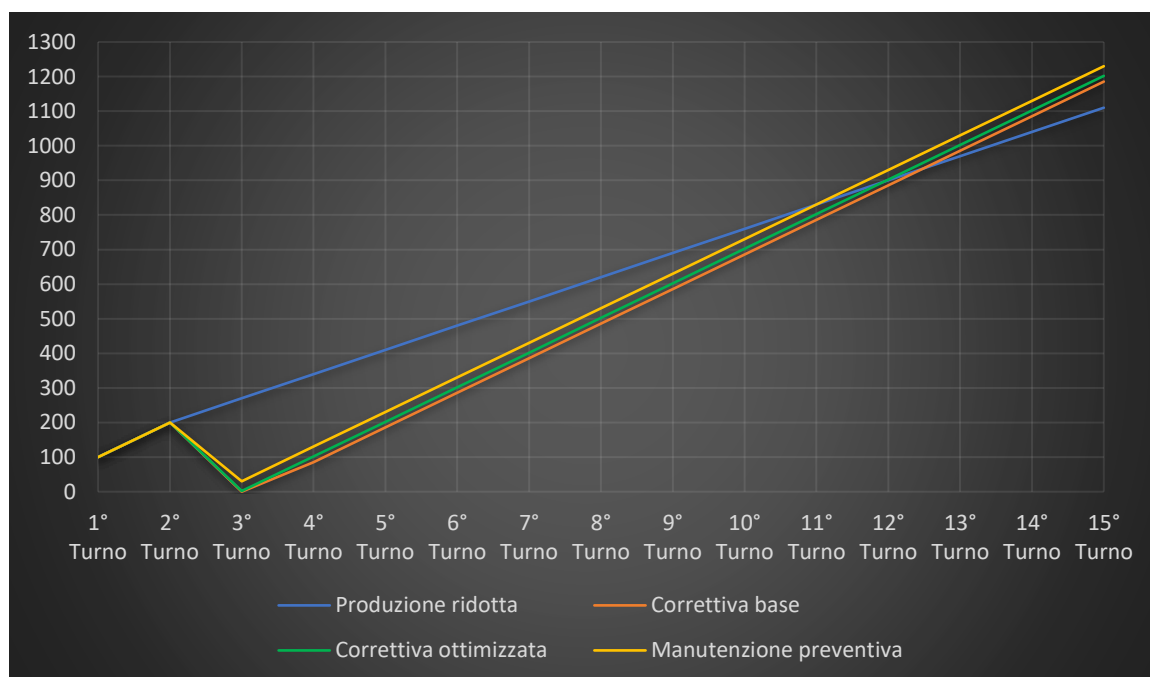


Figura 4.3. - Andamento della produzione

Come nel caso studiato in precedenza il guasto viene considerato al 2° Turno e la sua correzione effettuata durante il 3° Turno. Attuando la manutenzione preventiva, il punto di pareggio viene raggiunto alla fine del 10° Turno, come si può vedere in Fig. 4.4., quindi dopo esattamente otto turni lavorativi. Rispetto al caso con una manutenzione correttiva base, il pareggio della produzione viene

raggiunto con due turni di anticipo, mentre rispetto a una manutenzione correttiva ottimizzata, questo viene raggiunto con quasi un turno di anticipo.

	Produzione ridotta [kg]	Correttiva base [kg]	Correttiva ottimizzata [kg]	Manutenzione preventiva [kg]
1° Turno	100	100	100	100
2° Turno	200	200	200	200
3° Turno	270	0	2	30
4° Turno	340	85,5	102	130
...	...	...	...	...
10° Turno	830	785,5	802	830
11° Turno	900	885,5	902	930
12° Turno	970	985,5	1002	1030
...	...	...	...	...

Figura 4.4. - Dati relativi ai punti critici del grafico.

Nonostante la programmazione degli interventi, come detto al paragrafo 3.8., la manutenzione preventiva non è esente da ritardi che possono modificare le date di intervento. Potrebbe così capitare che un intervento venga ritardato fino a capitare durante un periodo di elevata richiesta produttiva. In questi casi, viene deciso di intervenire solamente nel caso in cui un eventuale malfunzionamento, dovuto a un guasto dato dal componente non sostituito, generi una produzione ridotta che richieda un intervento di manutenzione correttiva.

4.3. Risparmio annuale dato dalla manutenzione preventiva

I vantaggi maggiori della manutenzione preventiva sono visibili a lungo termine: quindi è stato così scelto di verificare in un anno il tempo risparmiato con questa strategia e la crescita in termini di produzione.



Figura 4.5. Troncatrice industriale [Stromab]

Per effettuare questa analisi sono state scelte alcune delle attività di manutenzione che si effettuano su una Troncatrice industriale, come quella in Fig. 4.5.. Di seguito sono riportate le tipologie di intervento prese in considerazione:

- Sostituzione dei cuscinetti del nastro trasportatore;
- Sostituzione dei giunti di accoppiamento;
- Sostituzione dell'utensile di taglio;
- Ispezione delle condizioni del motore elettrico;
- Pulizia dell'olio lubrificante del sistema.

L'ispezione del motore elettrico per le attività di manutenzione correttiva non è stata considerata ma vengono inserite alcuni malfunzionamenti verificatisi per il mancato controllo. La pulizia dell'olio lubrificante, invece, viene effettuata a intervalli regolari anche nel caso si utilizzi una strategia di manutenzione correttiva.

Saranno messe a confronto la manutenzione correttiva, con il modello ottimizzato, e quella preventiva calcolando il tempo speso in un anno nello svolgimento di questi interventi.

I tempi tra un intervento e l'altro sono stati definiti mediante il *Mean Time Between Failure*, calcolato in base agli interventi di manutenzione degli anni precedenti con la seguente formula:

$$MTBF = \frac{\text{ore di funzionamento}}{\text{numero di guasti}}$$

Da questo calcolo sono risultati i seguenti intervalli di tempo che rendono necessaria un'attività di manutenzione:

- Sostituzione cuscinetti: 30 giorni;
- Sostituzione giunti accoppiamento: 45 giorni
- Sostituzione utensile di taglio: 35 giorni;
- Ispezione delle condizioni del motore elettrico: 90 giorni;
- Pulizia olio lubrificante: 30 giorni.

Nella calendarizzazione delle attività di manutenzione preventiva le scadenze non sono state rispettate in maniera sistematica; le date di intervento sono state inserite nell'intorno di cinque giorni dalla data stabilita così da mantenere una casualità del guasto.

Nel caso della manutenzione preventiva è stato scelto di svolgere nello stesso intervento tutte le attività che capitano nell'intorno di cinque giorni dalla data di un certo evento: questo vuol dire, ad esempio, che la sostituzione dei cuscinetti, la sostituzione dell'utensile di taglio e la pulizia dell'olio lubrificante potrebbero essere svolte tutte lo stesso giorno. In questo caso è stato scelto di aumentare del 6% il tempo totale di manutenzione, per ogni attività svolta in più, che corrispondono a 20 minuti aggiuntivi.

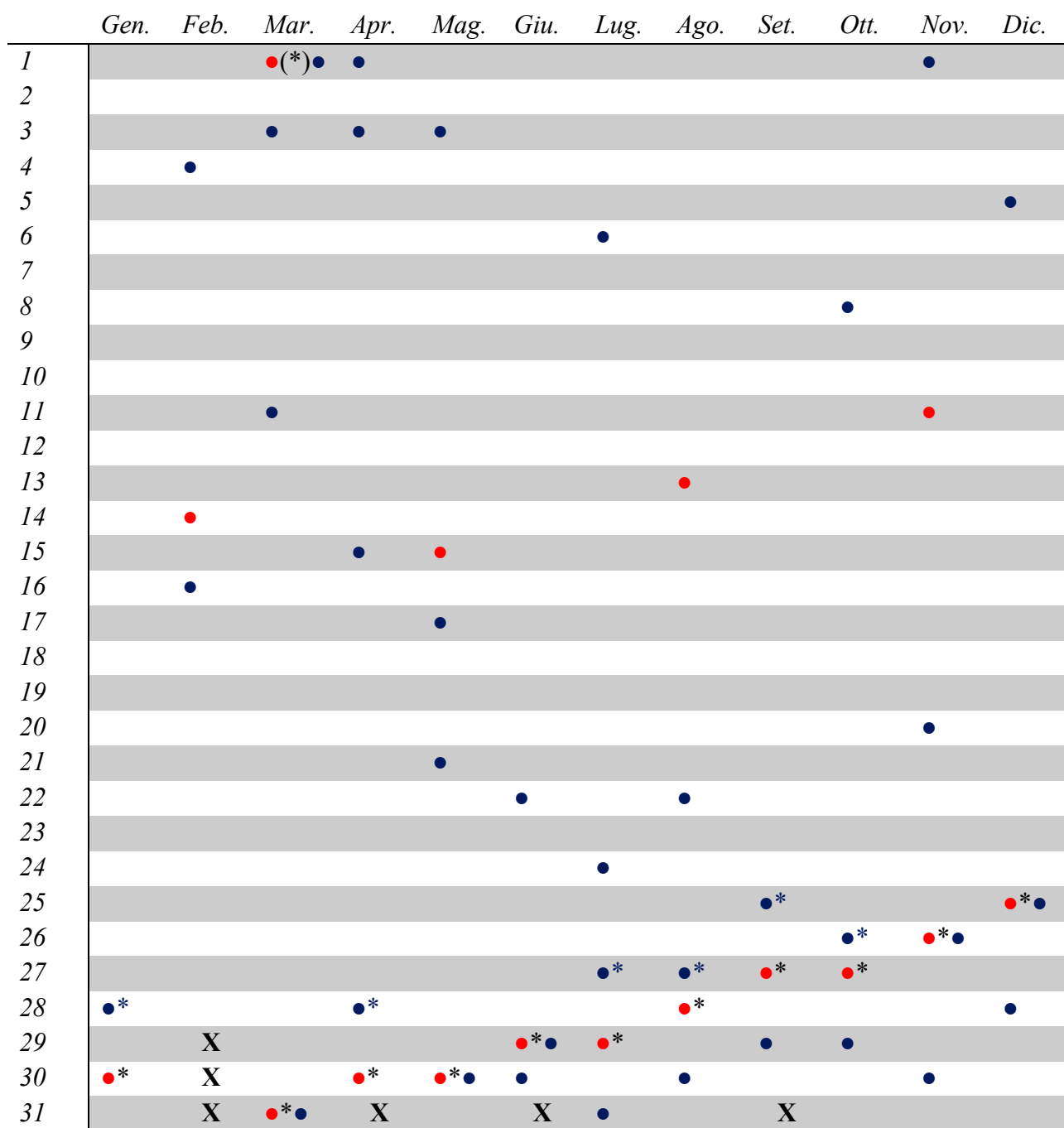


Figura 4.6. - Calendario dei guasti e della manutenzione.

In Fig. 4.6. è stato riportato il calendario in cui sono segnate le date in cui si verificano gli eventi precedentemente elencati. In blu sono segnati i guasti, quindi se si attua una strategia manutentiva di tipo correttivo. Dove è presente l'asterisco sono state effettuate due attività insieme, questo capita quando l'attività programmata di pulizia dell'olio lubrificante dovrebbe avvenire in giorni appena successivi all'intervento di manutenzione che si sta effettuando. In rosso, invece, sono segnati gli interventi di manutenzione preventiva che, se accompagnati dall'asterisco, si riferiscono a più attività svolte durante la stessa manutenzione. È giusto ricordare che, ogni volta che si rende necessario un intervento di manutenzione, bisogna effettuare l'intero processo riportato dai diagrammi di Gantt del Capitolo 3.

Viene così calcolato il tempo totale necessario alla manutenzione:

Manutenzione correttiva	Manutenzione preventiva
270,5 h	128,6 h

Il tempo totale viene ridotto di più della sua metà e più precisamente del 52.5%.

Il tempo utile alla manutenzione viene sottratto alla produzione e quindi risulta necessario confrontare, nei due casi, a quanto ammonta la quantità non prodotta. Per le ore di manutenzione risultanti dalla precedente analisi, i chilogrammi di alluminio non realizzati, per turno di lavoro non eseguito, sono i seguenti:

Manutenzione correttiva	Manutenzione preventiva
3381,25 kg	1608,33 kg

Il mancato lavoro di questa macchina blocca l'intera produzione dei tubi generati dall'isola di lavoro. Questi tubi sono indispensabili alla realizzazione finale del radiatore dell'auto perché servono per l'immissione e l'espulsione del liquido refrigerante del motore. La mancata creazione di questi pezzi potrebbe quindi portare a un elevato decremento di realizzazione di prodotti finiti.

Per un confronto ancora più accurato, risulta utile confrontare quanto risulterebbe elevato l'ammacco di denaro per la non realizzazione di questi radiatori. Per il calcolo è stato necessario l'utilizzo di alcuni dati non ancora citati:

- Peso singolo tubo di alluminio: 0,172 kg;
- Pezzi necessari per ogni radiatore: 2;
- Prezzo medio di vendita di un radiatore: 50 €.

Ora è possibile così calcolare le perdite annuali, in termini di vendite, per le due tipologie di manutenzione:

Manutenzione correttiva	Manutenzione preventiva
491'424 €	233'721 €

Queste perdite sono da considerare se ognuno dei pezzi realizzati dall'isola di lavoro venisse utilizzato per realizzare un radiatore.

4.4. Analisi dei costi della manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva è uno strumento fondamentale per tutte quelle aziende dotate di diversi macchinari critici, il cui malfunzionamento potrebbe portare a una diminuzione consistente della produzione.

Questa strategia manutentiva porta in dote numerosi vantaggi, in particolare per ciò che riguarda i costi diretti legati alla manutenzione e quelli indiretti. I risparmi dati da questa scelta manutentiva sono stati detti a grandi linee nel paragrafo 3.14., ma è stato ritenuto opportuno entrare maggiormente nello specifico. In particolare, si è deciso di confrontare questi risparmi con i costi elevati di avvio di questa strategia, per poter così valutare in quali contesti aziendali è davvero conveniente utilizzare la manutenzione predittiva.

Sfortunatamente i dati in possesso non sono stati sufficienti per poter svolgere un'analisi accurata, è stato possibile solo fare una valutazione in linea generale.

Vengono di seguito riportate le riduzioni percentuale dei costi, rispetto alla manutenzione preventiva, e come la manutenzione predittiva lo rende possibile:

- *Costi di manutenzione: 30%.*

Questo è reso possibile dal fatto che gli interventi vengono programmati. A differenza della manutenzione preventiva, la manutenzione avviene quando realmente necessario. Questo porta a una riduzione dei guasti casuali in apparecchiature critiche. Così è possibile una migliore efficienza degli operatori, i quali, non dovendo lavorare ad alti ritmi, potranno meglio concentrarsi sul minor numero di interventi da effettuare;

- *Costi dei macchinari: 25%.*

Poter intervenire prima che si verifichi un guasto permette di controllare i costi per il solo componente da sostituire, senza dover intervenire per rimettere a nuovo l'intero macchinario o impianto;

- *Costi magazzino: 25%.*

La programmazione e l'organizzazione del magazzino con la manutenzione predittiva può essere ancora più efficiente rispetto a quella preventiva. Il pezzo da sostituire viene cambiato solamente quando si è certi di una sua possibile rottura: in questo modo il suo costo viene completamente esaurito rispetto alla sua vita utile. Ciò porta a un minore numero di ordini di pezzi nuovi durante l'arco dell'anno perché gli interventi saranno in quantità inferiore;

- *Tempi di produzione persi: 40%.*

Gli interventi vengono pianificati in periodi di inattività precedentemente stabiliti. In questo modo si evita una serie di inefficienze a cascata.

I costi iniziali di installazione e di applicazione del sistema sono quelli che spesso impediscono di passare da una manutenzione di tipo preventivo a una di tipo predittivo. I risultati sono poi ottenibili solamente nel lungo periodo, per via del fatto che, una volta scelta questa tipologia di manutenzione, bisogna creare un *database* dal quale i modelli di analisi devono attingere per poter effettuare le previsioni.

Sono qui riportati tutti i costi che vanno affrontati da quelle aziende intenzionate ad attuare la manutenzione predittiva:

- *Software* di analisi;
- Sensori di rilevamento;
- Specializzazione del personale.

Tuttavia è possibile ridurre i costi di avvio dando in appalto a terzi, i quali sono dotati dei mezzi necessari, la gestione della manutenzione. In questo modo è possibile dotarsi in un periodo più lungo delle attrezzature necessari e dilazionare nel tempo i costi, nel caso in cui si voglia gestire la manutenzione autonomamente. In questo modo è anche possibile avere un *database* già ricco quando la manutenzione sarà effettuata internamente all'azienda.

La manutenzione predittiva risulta quindi un'ottima scelta per tutte quelle aziende che possono permettersi di sostenere i costi iniziali ed è consigliata per tutte quelle con un alto numero di macchinari critici nella propria sala macchine.

5. Conclusioni

Obiettivo principale di questa tesi è stato la riduzione dei tempi di intervento nello svolgimento delle attività di manutenzione e i vantaggi che questo comporta in termini di costi diretti e indiretti relativi alla manutenzione. Questa analisi è stata effettuata per diverse tecnologie di manutenzione e, in particolare, due di esse in maniera più approfondita. Per ogni analisi fatta è corretto trarre delle conclusioni. In questo capitolo verranno così trattate le analisi riferite a ogni tipologia di manutenzione presa in considerazione

5.1. Manutenzione correttiva

L'analisi sulla manutenzione correttiva ha messo in evidenza come sia fondamentale una strategia di intervento per poter effettuare interventi di manutenzione. In Fig. 5.1. vengono riportati i risultati ottenuti così da effettuare un confronto.

	Manutenzione correttiva base	Manutenzione correttiva ottimizzata
Tempo di intervento [min]	560	470
Mancata produzione [kg]	114,5	98

Figura 5.1. - Tabella di riassunto dei risultati ottenuti con ottimizzazione.

In termini numerici i vantaggi non risultano particolarmente evidenti nel caso analizzato, ma diventano di maggior impatto nel caso si vengano a verificare problemi che richiedono più lavoro se non organizzati.

Il vantaggio più consistente non viene però dato dai numeri, perché organizzare e pianificare il lavoro vuol dire, in particolare, aumentare la sicurezza degli interventi. Con uno schema ben organizzato ed efficiente gli operatori possono lavorare più rapidamente senza perdere le loro condizioni di sicurezza. Anzi, questo studio porta ad un aumento della sicurezza per via del fatto che mantiene i manutentori per meno tempo impegnati in attività a rischio.

5.2. Manutenzione preventiva

L'analisi sulla manutenzione preventiva ha dimostrato come sia necessario, oltre che organizzare il lavoro dell'intervento, organizzare gli interventi, così da prevenire situazioni inattese e svantaggiose. Anche in questo caso vengono riportati in Fig. 5.2. i risultati ottenuti per poter meglio effettuare un confronto tra le diverse tipologie di manutenzione.

	Manutenzione correttiva base	Manutenzione correttiva ottimizzata	Manutenzione preventiva
Tempo di intervento [min]	560	470	340
Mancata produzione [kg]	114,5	98	70

Figura 5.2. - Tabella di riassunto dei risultati.

Il guadagno dato da una pianificazione degli interventi da svolgere risulta immediatamente chiaro, qualsiasi sia il modo di effettuare la manutenzione correttiva. Il vantaggio principale dato dalla manutenzione preventiva, di eliminare passaggi non necessari, permette di ridurre i tempi del 29% rispetto a una manutenzione correttiva ottimizzata e organizzata, e addirittura del 39% rispetto a quella base senza ottimizzazione.

I vantaggi maggiori di attuazione di questa strategia sono stati messi in evidenza nell'analisi sul lungo periodo. Nello studio della pianificazione su un anno intero è stato possibile diminuire:

- Il numero di interventi;
- Il verificarsi di guasti casuali;
- Il verificarsi di guasti critici;
- Il verificarsi di guasti indotti;
- I costi di magazzino.

Per rendere ancora più chiara la convenienza di utilizzare una manutenzione preventiva rispetto a quella correttiva, il confronto su base annuale è stato fatto solamente rispetto al caso di manutenzione correttiva ottimizzata. In Fig. 5.3. vengono riportati i risultati ottenuti, riguardanti le ore di manutenzione in un anno e la produzione mancata.

	Manutenzione correttiva ottimizzata	Manutenzione preventiva
Tempo di intervento [h]	270,5 h	128,6 h
Mancata produzione [kg]	3381,25 kg	1608,33 kg

Figura 5.3. - Tabella di riassunto dei risultati

Durante un intero anno l'utilizzo di una strategia di manutenzione di tipo preventivo risulta particolarmente efficace. Come dimostrano i risultati, i tempi di intervento e la produzione non realizzata si riducono di oltre il 50%. Questo comporta un notevole incremento dei prodotti finiti che potrebbero essere realizzati.

La manutenzione preventiva risulta quindi la migliore scelta tra le due strategie. Tuttavia, con questa tecnica non sono completamente esclusi interventi di manutenzione correttivi, quindi l'organizzazione anche di questa tipologia manutentiva non deve essere trascurata.

5.3. Manutenzione predittiva

Le analisi riguardanti questo tipo di manutenzione non sono state sufficienti per poter elaborare una scelta accurata. Con l'utilizzo dei dati dalla letteratura è stato in ogni caso possibile elaborare un pensiero critico su questa tipologia di intervento.

Riuscendo ad affrontare i costi iniziali, la manutenzione predittiva, risulterebbe la migliore strategia attuabile per la gestione degli impianti nella sala macchine. I costi derivanti dalla manutenzione, e quelli indiretti che comporta, vengono tutti ridotti in maniera sostanziale. Per realtà industriali con grandi numeri, utilizzare la manutenzione predittiva comporta molti più benefici che svantaggi e per questo motivo dovrebbe essere effettuata un'analisi accurata dei costi per considerare un suo utilizzo.

Bibliografia

- OSHA Section 1910.147 (1989). “The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)”.
- D.Lgs.81/2008. Testo unico in materia di salute e sicurezza sul lavoro.
- D.Lgs.334/99. Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose.
- INAIL, Istituto nazionale per l’assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (Archivio statistico).
- OSHA, Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro (Archivio direttive).
- ISTAT, Istituto nazionale di statistica (Archivio statistiche)
- EU-OSHA (2011). Manutenzione e SSL- Un quadro statistico.
- Tecniche nuove, (04/2005) “Manuale di manutenzione industriale”.
- De Santis P. (2004). “Il rischio di infortunio da avviamento inatteso come fonte di gravi infortuni: la procedura di lockout-tagout raccomandata dall’OSHA.”.