



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA GESTIONALE**

OTTIMIZZAZIONE DEI PROCESSI E DIGITALIZZAZIONE DELLA MANUTENZIONE: IL CASO SACMI IMOLA

Tesi di laurea magistrale in Manutenzione dei Sistemi di Produzione M

Relatore

Prof. ALBERTO REGATTIERI

Presentata da

DANIELE PISILLI

Correlatore

Resp.Manut DANTE MANZONI

Sessione Ottobre 2025

Anno Accademico 2024/2025

Sommario

Abstract	5
Capitolo 1	7
1.1 Cenni storici Manutenzione.....	7
1.2 Manutenzione.....	8
1.2.1 Ruoli e compiti aziendali della manutenzione	10
1.2.2 Gestione degli asset produttivi	11
1.3 Teorie dell'affidabilità	11
1.3.1 Classificazione dei guasti	12
1.3.2 Classificazione dei componenti	13
1.3.3 Tempo al guasto τ	15
1.3.4 Probabilità di guasto $F(t)$	16
1.3.5 Affidabilità di un componente $R(t)$	16
1.3.6 Rateo di guasto condizionato	17
1.3.7 Parametri affidabilità	20
1.3.8 Disponibilità.....	22
1.3.9 Manutenibilità	23
1.3.10 Curva mortalità di un componente	25
1.4 I tempi nella manutenzione	27
1.5 Politiche manutentive.....	29
1.5.1 Manutenzione correttiva	30
1.5.2 Manutenzione preventiva	31
1.5.3 Manutenzione predittiva	33
1.5.4 Manutenzione su condizione	34
1.5.5 Manutenzione opportunistica	35
1.5.6 Manutenzione migliorativa	36
1.6 Strategia nella scelta della politica manutentiva	36
1.7 Analisi tecnico-economica della manutenzione	38
1.7.1 Grafico costi manutenzione.....	40
1.8 Il CMMS (Computerized Maintenance Management System).....	42
1.8.1 Implementazione di un CMMS.....	45
Capitolo 2	49
2.1 Sacmigroup	49
2.1.1 Storia	49

2.1.2 Mercato e business a livello globale.....	50
2.1.3 Prodotti e tecnologie.....	51
.....	52
2.1.4 Sostenibilità.....	53
2.1.5 Sviluppi futuri: Industria 4.0 e Automazione.....	54
Capitolo 3.....	55
Il Caso Sacmi Imola	55
3.1 Analisi della situazione attuale nel reparto manutenzione.....	55
3.2 Costituzione del reparto manutenzione.....	56
3.3 Strumenti informatici utilizzati nel reparto manutenzione.....	57
3.4 Gestione chiamate pronto intervento	59
3.5 Gestione processo di manutenzione	62
3.5.1 Gestione della chiamata per intervento di manutenzione sul campo	65
3.5.2 Assegnazione degli interventi e criticità gestionali: il ruolo del responsabile della manutenzione.....	66
3.5.3 Analisi del Problema sul campo	67
3.5.4 Apertura del buono di lavoro	68
3.5.5 Prelievo del Materiale	69
3.5.6 Scarico dei Materiali.....	71
3.5.7 Richiesta manutenzione in presenza di più manutentori	73
3.5.8 Risoluzione Problema Manutentivo	74
3.5.9 Chiusura buono di lavoro.....	75
3.6 Criticità OdM	77
3.7 Criticità del processo manutentivo	80
Capitolo 4.....	82
La piattaforma digitale Interacta.....	82
4. 1 Software utilizzato per la digitalizzazione della manutenzione in Sacmi: Interacta	82
4.1 Funzionalità Interacta.....	83
4.2 Criticità Interacta.....	85
4.3 Post Interacta.....	87
4.4 Come cambia il workflow con l'introduzione di Interacta	89
4.4.1 Suddivisione del progetto	89
4.4.2 Work Flow TO-BE	90
Capitolo 5.....	94
5.1 Mappatura AS-IS	94

5.2 Risultati mappatura As-Is	98
5.2.1 Frequenze totale degli interventi per ciascuna macchina di ogni reparto e tempo totale attesa chiamata in manutenzione	98
5.2.2 Interventi con fermo macchina e relativi tempi di attesa in manutenzioni e costi legati alla mancata produzione	111
5.2.3 Distribuzione degli interventi di natura meccanica ed elettrica e tasso d'utilizzo manutentori	116
5.2.4 Valutazione della convenienza economica-finanziaria: il calcolo del VAN per Interacta.....	124
Conclusioni.....	130

Abstract

Nel contesto industriale attuale, la gestione efficace della manutenzione rappresenta un elemento cruciale per garantire l'efficienza, l'affidabilità e la continuità operativa degli impianti produttivi. L'usura e il degrado delle attrezzature sono fenomeni fisiologici, inevitabili in qualsiasi contesto operativo, e richiedono un approccio strategico e strutturato per essere affrontati. In passato, la manutenzione era spesso relegata a una funzione marginale, considerata un centro di costo da ridurre al minimo e attivata solo in seguito a guasti, secondo una logica puramente correttiva.

Tuttavia, questa visione è ormai superata. I guasti non solo comportano costi diretti di riparazione, ma generano interruzioni della produzione, perdite economiche, rischi per la sicurezza e potenziali difetti di qualità. Alla luce della crescente complessità dei mercati, della globalizzazione e della personalizzazione della domanda, le imprese ad oggi adottano una visione proattiva della manutenzione, integrandola pienamente nella strategia aziendale come leva di competitività. Le moderne aziende, per rispondere in modo efficace a un ambiente economico caratterizzato da volatilità, incertezza e dinamiche in rapido mutamento come dimostrato da eventi critici quali la pandemia, devono essere in grado di adattarsi velocemente, ottimizzare l'utilizzo delle risorse interne e garantire elevati standard di qualità e continuità.

In questo scenario, la manutenzione non può più essere vista come una semplice attività operativa, ma deve evolvere in una funzione gestionale centrale, orientata alla prevenzione dei guasti, al miglioramento continuo e al raggiungimento dell'eccellenza operativa. Tale trasformazione è resa possibile grazie all'impiego di sistemi informativi avanzati come ad esempio ERP (Enterprise Resource Planning) e/o software gestionali per la manutenzione, come i CMMS (Computerized Maintenance Management System), dedicati alla gestione degli asset, e le piattaforme digitali integrate. Tali strumenti digitali non solo automatizzano e razionalizzano le attività manutentive, ma consentono anche di monitorare in tempo reale lo stato degli impianti, pianificare interventi preventivi e predittivi, analizzare le performance e supportare decisioni strategiche basate su dati accurati e aggiornati. L'adozione di tali tecnologie, progettate secondo principi ingegneristici di modularità, scalabilità e interoperabilità, permettono alle imprese di affrontare con successo le sfide del mercato moderno.

L'obiettivo della presente tesi è quello di analizzare, modellare e implementare un sistema digitale avanzato per la gestione della manutenzione industriale, basato sull'intelligenza artificiale. Il lavoro di tesi svolto presso l'azienda SACMI Imola, nasce dalla necessità di ottimizzare i processi manutentivi legati a tutti i reparti produttivi e logistici presenti all'interno dell'azienda, attraverso un

approccio sistematico e orientato alla digitalizzazione. Al centro del progetto si colloca l'introduzione della piattaforma Interacta, un software collaborativo basato su AI, il cui impiego ha l'obiettivo di superare le inefficienze legate alla frammentazione comunicativa, alla gestione non strutturata delle priorità e alla scarsa tracciabilità delle attività manutentive, all'interno del reparto manutenzione.

Al fine di sviluppare e implementare al meglio il software per l'ottimizzazione della gestione della manutenzione, si è andato a dividere il progetto in due macro-fasi:

- 1) La prima fase ha previsto l'analisi e successivamente la mappatura del modello As-Is del reparto manutentivo di Sacmi Imola, con focus sugli interventi manutentivi di pronto intervento. In questo modo, sono state individuate le principali criticità operative attraverso l'osservazione diretta, la mappatura dei tempi di attesa su base trimestrale di tutti i reparti serviti dalla manutenzione all'interno dell'azienda e la successiva costificazione dei tempi di attesa in manutenzione.
- 2) La seconda fase di progettazione del modello futuro ossia il To-Be, il quale propone un sistema integrato, centralizzato e tracciabile per la gestione delle segnalazioni, degli ordini di lavoro e delle risorse impiegate. La piattaforma Interacta rappresenta in questo contesto non solo uno strumento digitale, ma un vero e proprio abilitatore del cambiamento organizzativo in ottica Industria 4.0, capace di migliorare l'efficienza operativa, ridurre i tempi di inattività e valorizzare il patrimonio informativo aziendale.

Attraverso il confronto tra il modello attuale e quello proposto con inserimento di Interacta, la tesi mira a dimostrare i benefici attesi in termini di efficacia, tempestività e integrazione dei processi manutentivi all'interno dell'ecosistema Sacmi Imola. L'implementazione del nuovo sistema si configura, pertanto, come un caso di studio applicato per mostrare come la digitalizzazione della manutenzione, se progettata in modo coerente e data-driven, possa contribuire al miglioramento continuo delle performance aziendali.

Capitolo 1

1.1 Cenni storici Manutenzione

La storia della manutenzione industriale si intreccia strettamente con lo sviluppo delle tecnologie, delle metodologie produttive e della cultura organizzativa. L'esigenza di intervenire per mantenere l'efficienza e la funzionalità di strumenti, attrezzature e impianti, è infatti presente sin dalle prime forme di produzione artigianale. Tuttavia, la manutenzione, intesa come funzione aziendale organizzata e strategica, è frutto di un processo evolutivo lungo e complesso.

Nelle antiche botteghe artigiane, l'artigiano era responsabile non solo della produzione dell'oggetto, ma anche della sua qualità, conservazione e manutenzione. L'intervento manutentivo era parte integrante dell'attività produttiva e si basava esclusivamente sull'esperienza e sull'osservazione. Con l'avvento della rivoluzione industriale, la produzione si spostò da logiche qualitative e artigianali a logiche quantitative e meccanizzate. Questa trasformazione portò alla nascita di nuove figure professionali (programmatori, pianificatori, addetti alla qualità e tecnici) e alla separazione netta tra produzione e manutenzione. Si abbandonò l'idea che il prodotto di qualità fosse quello costruito dall'artigiano e, con essa, anche il relativo approccio manutentivo [1], [2].

Nella prima metà del XX secolo, l'incremento della complessità tecnologica rese evidente l'inefficienza della sola manutenzione correttiva, nata qualche decennio prima. Inizialmente, si tentò di ovviare il problema del sovradimensionando degli impianti, accettando ritmi produttivi rallentati, tuttavia, la crescente pressione competitiva e la necessità di ridurre i tempi di fermo portarono all'affermazione della manutenzione preventiva, basata su logiche cicliche e temporali. Tale approccio si fondava su ispezioni, controlli, lubrificazioni, sostituzioni periodiche e revisioni pianificate. Trovò ampio impiego nei settori ad alta criticità, come i trasporti e l'aviazione, dove vennero introdotti protocolli rigorosi legati, ad esempio, alle ore di volo [1], [2].

Il boom economico e l'esplosione tecnologica degli anni '70 portarono allo sviluppo della manutenzione su condizione (Condition Based Maintenance), che prevedeva l'intervento solo al verificarsi di determinati indicatori o sintomi di degrado. Tale approccio, infatti, si basa sul monitoraggio in tempo reale dello stato degli impianti attraverso sensori, diagnostica e strumenti di misura. A supporto di queste strategie emersero le teorie affidabilistiche, le quali introdussero strumenti come la distribuzione di Weibull, il calcolo di MTBF e MTTR, e l'analisi della probabilità di guasto. Le aziende iniziano a pianificare gli interventi basandosi sullo stato effettivo degli impianti, riducendo gli smontaggi inutili e ottimizzando la disponibilità operativa [3].

A partire dagli anni '80 si diffuse a livello internazionale il modello giapponese della produzione snella, ossia il Total Productive Maintenance (TPM), il quale proponeva un'integrazione strutturale tra produzione e manutenzione. L'approccio TPM trasformò l'operatore in un sensore intelligente dell'impianto, capace di riconoscere segnali deboli di degrado e di intervenire tempestivamente. La TPM fu accompagnata dallo sviluppo della manutenzione predittiva, che utilizzava sensori, strumenti di misura, vibrazioni, analisi olio e termografie per prevedere il guasto con elevato anticipo, consentendo di andare ad intervenire solo quando necessario [1]. Con l'avvento dell'informatica, la manutenzione si trasformò in una funzione basata sui dati, grazie a sistemi come i CMMS (Computerized Maintenance Management Systems). Questi sistemi permisero di schedare interventi, gestire attrezzature e ricambi, analizzare storici e KPI tecnici, e pianificare attività monitorando costi e performance. La loro corretta adozione, rappresentò una strategia chiave per aumentare l'affidabilità e ridurre i costi operativi, e affermò una visione proattiva della manutenzione, non più vista solo come un costo, ma come una fonte di profitto [1], [3].

La manutenzione moderna è diventata una funzione manageriale completa, con responsabilità tecniche, economiche e di progettazione. Il maintenance manager non è più solo un coordinatore, ma una figura chiave che si interfaccia con produzione, acquisti, qualità e IT. Questo ha favorito l'integrazione con sistemi ERP, la manutenzione lean, il monitoraggio in tempo reale e le diagnosi automatizzate. Per questi motivi, oggi la manutenzione ricopre un ruolo strategico e rappresenta una leva competitiva cruciale, contribuendo a garantire la continuità operativa e la sicurezza degli impianti.

1.2 Manutenzione

La manutenzione in un impianto industriale rappresenta una funzione imprescindibile per il ripristino e il mantenimento della piena operatività dei beni installati. Tuttavia, non sempre essa viene percepita dal management come un elemento strategico per la competitività aziendale. Quando invece essa, assume una missione ben definita, ossia quella di garantire la disponibilità operativa delle entità produttive (macchinari, attrezzature, impianti ed equipaggiamenti) e, contestualmente, ottimizzare i costi legati alla gestione manutentiva. Per perseguire questi obiettivi, è essenziale che la manutenzione sia accuratamente progettata, individuando in modo razionale le metodologie più appropriate sia dal punto di vista tecnico sia da quello organizzativo. La prima fase strategica consiste nella scelta della politica manutentiva, ovvero nell'individuazione dell'approccio più adatto in base alle caratteristiche degli impianti, alla criticità dei processi e agli obiettivi economico-produttivi. In particolare, è necessario decidere [1], [2], [3]:

- Se limitarsi a interventi reattivi, da eseguire solo a seguito del guasto, e in quali condizioni;
- Se adottare strategie preventive, pianificando interventi atti a ridurre la probabilità di guasto e determinarne la frequenza;
- Se e dove attivare politiche di miglioramento continuo, finalizzate a incrementare l'affidabilità, la manutenibilità e la disponibilità degli impianti.

Tale pianificazione consente di passare da una gestione emergenziale a una gestione strutturata, in cui le attività manutentive sono guidate da scelte consapevoli e da una visione sistemica. In questo contesto, è opportuno porsi alcune domande fondamentali [3]:

- Qual è il comportamento a guasto di ciascun componente e qual è la strategia manutentiva più efficace per contenerne le conseguenze, considerando la possibilità di monitorarne le condizioni operative?
- Qual è impatto economico che hanno le politiche che vengono applicate durante gli interventi manutentivi?
- Quali vantaggi e benefici derivano dal miglioramento delle modalità con cui viene eseguita la manutenzione, in termini di affidabilità, sicurezza e costi?

A supporto di tali valutazioni, il quadro normativo offre la definizione strumenti importanti. Le norme UNI 9910 e successivamente UNI 10147 e UNI EN 13306, hanno definito la manutenzione come la: *“combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative incluse le attività di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui si possa eseguire la funzione richiesta”*. [4], [5][6].

La funzione manutentiva è dunque un servizio essenziale a supporto della produzione, la cui rilevanza è aumentata progressivamente nel tempo, soprattutto a fronte della crescente complessità tecnica e tecnologica degli impianti.

1.2.1 Ruoli e compiti aziendali della manutenzione

Negli ultimi decenni, la manutenzione è passata da funzione operativa a ruolo strategico e trasversale per il successo aziendale. Questo cambiamento ha trasformato anche la figura del responsabile della manutenzione, che da semplice caposquadra o tecnico specializzato, è diventato un maintenance manager, figura dotata di competenze tecniche, economiche, organizzative e gestionali. Gli obiettivi di tale figura all'interno dell'azienda sono i seguenti [2]:

- Garantire sicurezza e conformità normativa: assicurare il funzionamento dei dispositivi di protezione e prevenzione per tutelare persone, beni e ambiente;
- Ottimizzare l'uso delle risorse: minimizzare i costi derivanti da fermi impianto, rotture e interventi non pianificati;
- Preservare e migliorare le prestazioni degli impianti: prevenire il deterioramento funzionale e massimizzare l'affidabilità;
- Formare il personale operativo: promuovere comportamenti sicuri, responsabilizzare gli operatori nella gestione delle anomalie e nella rilevazione precoce dei guasti.

Per raggiungere tali obiettivi, il responsabile di manutenzione è chiamato a svolgere un insieme articolato di azioni operative e organizzative, tra cui [3]:

- Pianificare e programmare gli interventi, definendo le priorità tecniche e produttive in funzione delle criticità, della disponibilità delle risorse e dell'impatto economico;
- Gestire il ricorso a fornitori esterni, valutando con criteri tecnici ed economici quando esternalizzare gli interventi che richiedano competenze specialistiche o mezzi non disponibili internamente;
- Favorire l'integrazione tra funzioni aziendali, collaborando attivamente con progettisti, addetti alla produzione, qualità e sicurezza per raccogliere feedback e informazioni utili alla pianificazione manutentiva;
- Gestire le scorte e gli approvvigionamenti, assicurando la disponibilità tempestiva di ricambi e materiali critici, monitorando livelli di inventario e ottimizzando i riordini.

Il responsabile della manutenzione rappresenta l'anello di congiunzione tra la sfera operativa e la direzione aziendale. Egli svolge un ruolo attivo nella definizione delle politiche aziendali legate all'efficienza produttiva, alla sicurezza e alla sostenibilità. La sua capacità di motivare il personale, di leggere le esigenze dell'impianto e di integrare visione tecnica e gestionale è oggi un fattore chiave per l'impresa.

1.2.2 Gestione degli asset produttivi

All'interno di un'organizzazione produttiva, gli asset produttivi sono progettati per svolgere una funzione ben definita, nota a priori, le cui caratteristiche operative sono espresse in termini di tempi, prestazioni attese e costi associati. Tuttavia, il funzionamento di un sistema produttivo non può essere considerato continuo nel tempo, in quanto soggetto a inevitabili anomalie e guasti che si manifestano durante il suo ciclo di vita. Tali interruzioni possono derivare da molteplici fattori, sia di natura tecnica che ambientale o umana. In questo contesto di discontinuità funzionale assumono particolare rilevanza due concetti fondamentali per la valutazione delle prestazioni di un sistema [1]:

- Affidabilità;
- Disponibilità;

L'affidabilità è definita come la *“probabilità che un elemento (macchina, sottosistema o componente) funzioni senza guastarsi per un determinato tempo t dal suo avviamento ed in predeterminate condizioni ambientali”*. Essa rappresenta un indicatore predittivo della capacità del sistema di operare in modo continuo e privo di malfunzionamenti [7].

La disponibilità è definita come la *“percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso dell'elemento”*. In particolare, essa rappresenta il rapporto tra il tempo di buon funzionamento e il tempo complessivo operativo, includendo i periodi di fermo per guasti e manutenzioni [1], [7].

1.3 Teorie dell'affidabilità

Lo studio dell'affidabilità è fondamentale per analizzare sistemi tecnici e meccanismi soggetti a guasti dovuti a cause strutturali, ambientali o d'uso durante il loro ciclo di vita. In particolare, in ambito manutentivo, l'affidabilità si rivela uno strumento essenziale per valutare la capacità di un componente o sistema di svolgere la funzione per cui è stato progettato, senza interruzioni, per un determinato periodo di tempo. La disciplina dell'affidabilità mira a fornire metodi quantitativi per [7]:

- Prevedere il comportamento di un sistema nel tempo;
- Identificare le modalità e le cause di guasto più probabili;
- Adottare strategie preventive efficaci per limitare i malfunzionamenti;
- Individuare interventi correttivi rapidi in caso di guasto.

Da studi scientifici, *l'affidabilità* è definita come la probabilità che un elemento o un sistema esegua una funzione specifica in condizioni operative e ambientali definite, ad un dato istante o per un intervallo temporale prefissato [7].

Per realizzare qualunque analisi di affidabilità è necessario disporre di due elementi principali:

1. Registro storico dei guasti, in cui vengono annotati l'inizio e la fine di ciascun guasto, la sua durata e le attività di riparazione.
2. Quattro funzioni fondamentali, che descrivono matematicamente l'evoluzione del guasto nel tempo:
 - La probabilità di guasto in un intervallo;
 - La funzione di distribuzione cumulativa del guasto;
 - La funzione di affidabilità;
 - Il tasso di guasto (hazard rate).

Nel capito seguente verrà descritto come andare a costruire un modello affidabilistico per una macchina o un sistema produttivo.

1.3.1 Classificazione dei guasti

Si definisce guasto ogni *“cessazione dell'attitudine di un dispositivo ad adempiere alla funzione richiesta, ovvero una variazione delle prestazioni del dispositivo che lo renda inservibile per l'uso al quale esso era destinato, sia in termini di qualità sia in termini di funzionamento”* [3]

Possiamo quindi andare a classificare i guasti in tre tipologie [1], [2]:

- Guasti parziali: determinano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da non compromettere del tutto il funzionamento;
- Guasti totali: causano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da impedirne del tutto il funzionamento;
- Guasti intermittenti: dovuti ad una successione casuale di periodi di guasto e di periodi di funzionamento, senza che ci sia alcun intervento di manutenzione.

Occorre andare a fare un'ulteriore distinzione dei guasti sopra citati, in particolar modo si deve andare a considerare la rilevanza del guasto. Per questo motivo possiamo andare a distinguere [2], [3]:

- Guasti di primaria importanza: sono quei guasti che riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte;
- Guasti di secondaria importanza: sono quei guasti che non riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte.

Un esempio della classificazione sopra riportata è la seguente: Un guasto meccanico al motore rende inservibile un'automobile (primario) mentre se si guasta il tachimetro l'automobile continua a funzionare, anche se non riusciamo a sapere a che velocità stiamo procedendo (secondario).

1.3.2 Classificazione dei componenti

Quando si parla di affidabilità applicata ai sistemi industriali, è fondamentale distinguere tra due categorie principali di componenti [1], [2], [7]:

1. Componenti riparabili (soggetti a cicli di funzionamento, rottura, funzionamento).
2. Componenti non riparabili (soggetti a sostituzione in seguito a un guasto).

Questa classificazione influenza significativamente le modalità di analisi, modellazione e gestione manutentiva.

1. Componenti non riparabili

I componenti non riparabili sono quei componenti che, una volta guasti, non vengono ripristinati, ma sostituiti con un componente nuovo. Questo è tipico di componenti monouso o di basso valore economico, la cui riparazione risulterebbe inefficiente o antieconomica. Per tali componenti, la misura affidabilistica di riferimento è il MTTF (Mean Time To Failure), ovvero il tempo medio che intercorre tra il momento in cui un sistema o componente viene messo in funzione e il momento in cui si verifica un guasto non riparabile.

2. Componenti riparabili

I componenti riparabili, invece, sono soggetti a più cicli di funzionamento, guasto-ripristino. A seguito di un'anomalia, essi possono essere riportati alle condizioni iniziali tramite operazioni di manutenzione correttiva o preventiva. Sebbene la loro analisi richieda modelli più complessi, è possibile semplificarla trattando il ciclo di vita fino al primo guasto come equivalente a quello di un componente non riparabile.

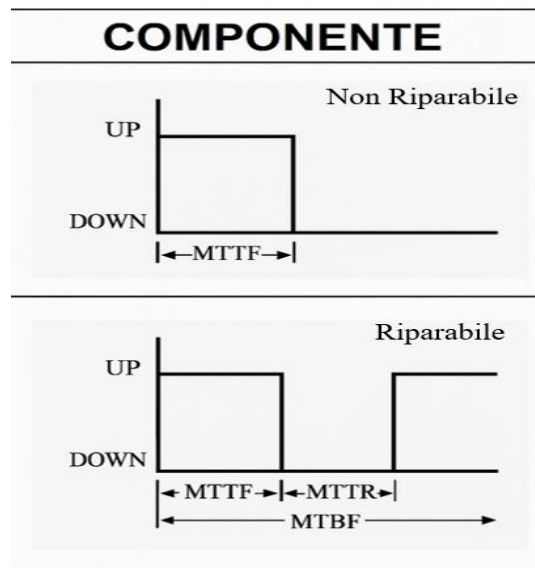


Figura 1: Componenti Non Riparabili vs Componenti Riparabile.

Nella manutenzione di componenti riparabili, la definizione di un piano efficace di intervento risulta particolarmente complessa a causa dell'incertezza legata alla frequenza ottimale con cui effettuare operazioni di manutenzione preventiva. Tale incertezza ostacola l'adozione di strategie pienamente ottimizzate e impone l'adozione di modelli in grado di rappresentare in modo realistico il comportamento dei componenti soggetti a guasti e riparazioni. A questo proposito, la teoria dell'affidabilità distingue tra diverse tipologie di intervento manutentivo, classificate in base al livello di ripristino funzionale ottenuto sul componente guasto[7]:

- **Perfect Repair:** Rappresenta l'intervento ideale, in cui il componente, una volta riparato, viene riportato a uno stato equivalente a quello originario, ovvero "as good as new". Sebbene raramente applicabile nella pratica a causa di costi elevati o vincoli tecnici, questa tipologia costituisce il riferimento teorico nei modelli matematici.
- **Imperfect Repair:** In questo caso il componente, a seguito dell'intervento, non ritorna allo stato iniziale, ma neppure rimane nello stato in cui si trovava prima del guasto. Si assume che venga riportato a uno stato intermedio, definito come "better than old but worse than new". Questo modello è ampiamente utilizzato nella modellazione realistica dei sistemi industriali, poiché descrive con buona approssimazione la maggior parte delle operazioni manutentive effettuate sul campo.
- **Minimal Repair:** Si tratta dell'intervento più contenuto in termini di efficacia tecnica. Il componente viene semplicemente riportato allo stato "as bad as old", ovvero lo stesso immediatamente precedente al guasto.

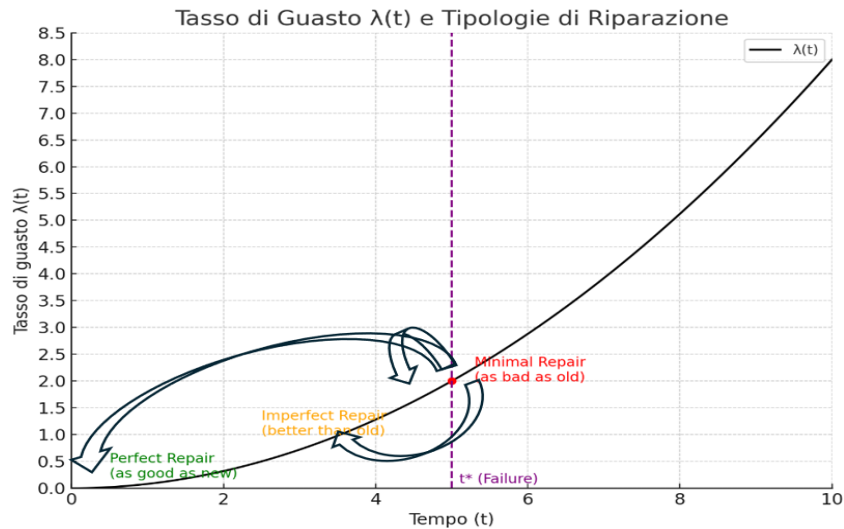


Figura 2: Le diverse tipologie di intervento manutentivo.

Per rendere gestibile la modellazione affidabilistica, si ricorre spesso a due assunzioni semplificative:

1. Il componente può trovarsi esclusivamente in due stati: funzionamento o guasto;
2. Il passaggio da uno stato all'altro è considerato istantaneo, ovvero privo di transizione progressiva o degrado graduale.

Queste ipotesi, seppur idealizzate, permettono di applicare con maggiore efficacia modelli analitici e simulativi nella pianificazione degli interventi manutentivi. La conoscenza del comportamento affidabilistico dei componenti è fondamentale per sviluppare strategie manutentive proattive, volte a prevenire guasti e ridurre i fermi imprevisti [7].

1.3.3 Tempo al guasto τ

Quando si parla di affidabilità, un concetto che ricorre spesso è il tempo al guasto (τ). In particolare, un generico componente presenta dei periodi in cui non è in grado di funzionare; il tempo che intercorre tra due guasti si indica con τ e viene chiamato tempo al guasto o TTF (time to failure). Viene definito da una grandezza di tipo casuale, poiché dipende da numerosi fattori ed risulta essere impossibile riuscire a determinare il singolo contributo di ciascun fattore. A volte il comportamento di τ può essere descritto da funzioni $f(t)$, che rappresentano la distribuzione di probabilità dei valori di τ . Valgono le seguenti relazioni fondamentali [3], [7]:

Probabilità che $\tau < T$ $P(\tau < T) = \int_{-\infty}^T f(x)dx$

Condizione di normalizzazione $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$

$f(t)$ è detta *densità di probabilità di guasto* e rappresenta la velocità puntuale (al tempo t) con cui un generico componente si rompe all'istante t , quando è messo in funzione all'istante $t = 0$. L'integrale della funzione di densità rappresenta la probabilità che la variabile aleatoria assuma un valore non superiore a T , mentre la proprietà di normalizzazione rappresenta la condizione di normalizzazione comune a tutte le distribuzioni di probabilità statistiche [3], [7].

1.3.4 Probabilità di guasto $F(t)$

Definiamo la probabilità di guasto $F(t)$ (o probabilità cumulata di guasto o inaffidabilità al tempo T) come la probabilità che il guasto accada all'interno di un dato valore di intervallo T della variabile temporale t , ossia tra $T=[0,t]$ [3], [7].

$$F(t) = \int_{-\infty}^T f(x)dx = \int_0^T f(x)dx$$

Da questo integrale, è possibile andare a definire che:

$$f(t) = \frac{dF(T)}{dt}$$

$f(t)$ è la funzione che permette di calcolare la probabilità infinitesima $f(t)dt$ che la macchina si guasti nel periodo di tempo infinitesimo ($t; t + \Delta t$)

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{P(t < x \leq t + \Delta t)}{\Delta t}$$

1.3.5 Affidabilità di un componente $R(t)$

L'affidabilità (o *reliability*), per un componente non riparabile, rappresenta la probabilità che il sistema funzioni correttamente per almeno un certo tempo T senza subire guasti. Si indica con $R_i(T)$ l'affidabilità del componente i -esimo per un intervallo di missione pari a T [1], [7].

$$T = t - t_0$$

t_0 = è l'istante di riferimento tipicamente assunto pari a 0;

t = un istante di tempo dell'intervallo T ;

Se $f(t)$ è la funzione di densità di probabilità associata al tempo al guasto, la funzione di affidabilità può essere ottenuta come:

$$R(t) = \int_T^{\infty} f(x)dx$$

Questa espressione rappresenta l'area sotto la curva di densità a destra del tempo t , cioè la parte residua del funzionamento non ancora soggetta a guasto.

In alternativa, usando la funzione di guasto cumulata $F(t)$:

$$F(t) = \int_0^T f(x)dx$$

Ma noi sappiamo che: $R(t) = 1 - F(t)$

Allora, ne segue che: $R(t) = 1 - \int_0^T f(x)dx$

L'affidabilità è quindi il complemento a 1 della probabilità cumulata di guasto. Essa inizia dal valore 1 al tempo zero (funzionamento certo) e decresce nel tempo, tendendo a 0 man mano che cresce la probabilità di guasto. Poiché $R(t) = 1 - F(t)$, la derivata di $R(t)$ rispetto al tempo è:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t)$$

Ciò implica che la velocità di diminuzione dell'affidabilità è pari, in valore assoluto, alla densità di probabilità del guasto nel tempo.

1.3.6 Rateo di guasto condizionato

Il rateo di guasto condizionato (hazard rate) o tasso di guasto, è il parametro più usato per caratterizzare l'affidabilità. Rappresenta la probabilità che un componente funzionante all'istante t , si guasti nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$ ed è una grandezza puntuale.

La funzione $\lambda(t)$ ha un significato simile alla $f(t)$; l'unica differenza è che la funzione $f(t)$ si basa sulla totalità della popolazione dei componenti, la funzione $\lambda(t)$ invece solo sui campioni sopravvissuti fino all'istante t [1], [2], [7].

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < t + \Delta t; t > t)}{\Delta t} \quad (1.1)$$

dove:

- $P(\tau)$: è la misura della probabilità associata all'evento rottura del componente;
- τ : è la variabile aleatoria tempo al guasto del componente in oggetto;
- Δt : è intervallo di tempo piccolo a piacere;

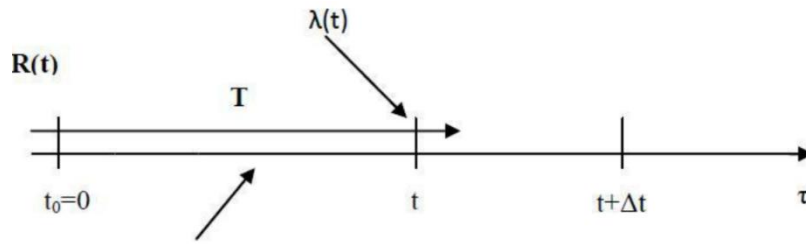


Figura 3: Affidabilità e rateo di guasto condizionato $T = t - t_0$.

È possibile ricavare le espressioni generali dell'affidabilità e del rateo di guasto condizionato di componenti non riparabili. Questo è possibile farlo, grazie al teorema di Bayes (impiegato per calcolare la probabilità di una causa che ha scatenato l'evento verificato) [7].

$$N_g(t) + N_s(t) = N$$

Dove:

- N numero totale di componenti identici messi in funzione all'istante $t=0$;
- $N_g(t)$ numero di componenti guasti all'istante t ;
- $N_s(t)$ numero di componenti funzionanti all'istante t .

In particolare, abbiamo che:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_g(t)}{N} = 1$$

La densità di probabilità di guasto $f(t)$ esprime la velocità istantanea di rottura del generico componente messo in funzione nell'istante di tempo $t = 0$. In particolar modo, possiamo andare ad esprimerla nel campo della teoria affidabilistica come:

$$f(t) \cdot dt = P(t \leq \tau \leq t + dt) = \int_t^{t+dt} f(x) dx$$

La probabilità di guasto $F(T)$ rappresenta la probabilità che un componente si rompa in un intervallo di missione paria a T . Valgono allora le seguenti espressioni:

$$F(t) = P(-\infty \leq \tau \leq t) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = P(0 \leq \tau \leq t) = \int_0^t f(x) dx$$

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \frac{dF(t)}{dt} \quad (1.2)$$

Ad ogni istante t , si ha che:

La funzione empirica di affidabilità è:

$$R(t) = \frac{Ns(t)}{N} = \frac{N - Ng(t)}{N} \quad (1.3)$$

La probabilità di guasto è definita come:

$$F(t) = \frac{Ng(t)}{N} = \frac{N - Ns(t)}{N} \quad (1.4)$$

Dalle espressioni appena introdotte si evince che per determinare $R(t)$ ed $F(t)$, si deve tenere traccia del numero dei guasti che si registrano nel tempo, considerando N componenti identici messi in funzione nello stesso istante $t = 0$. Mentre dalla formula 1.2 e 1.3 ne segue che [7].

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Ng(t+\Delta t) - Ng(t)}{N \cdot \Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N \cdot F(t+\Delta t) - N \cdot F(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (1.5)$$

Quindi (1.2) e la (1.5) portano alla medesima conclusione: la $f(t)$ è la derivata della $F(t)$. La (1.2) è una relazione statistica: la $ddf(t)$ è la derivata della funzione cumulata $F(t)$. La (1.5) è una relazione affidabilistica: la densità di probabilità di guasto è la derivata della probabilità di guasto $F(t)$. Dalla definizione del rateo di guasto condizionato secondo la (1.1) segue che [7]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Ng(t+\Delta t) - Ng(t)}{Ns(t) \cdot \Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} = - \frac{dR(t)}{dt \cdot R(t)} \quad (1.6)$$

Se vado ad integrare la (1.2) e (1.3), è possibile andare a ricavare:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

segue che :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Se vado ad ipotizzare un rateo di guasto costante, allora espressione scritta di sopra, prende questa forma:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda \cdot t}$$

Da queste relazioni si ricava che, nel caso in cui il rateo di guasto condizionato $\lambda(t)$ sia costante, la variabile casuale τ , segue una distribuzione esponenziale. Ciò implica che la probabilità di guasto non è concentrata in un particolare intervallo temporale, ma è uniformemente distribuita nel tempo. In questa condizione, la velocità di rottura è indipendente dal tempo, e il processo di guasto si comporta come un fenomeno puramente casuale. Di conseguenza, il componente è detto “non soggetto a invecchiamento”, poiché la sua affidabilità non peggiora con il tempo di funzionamento [7].

1.3.7 Parametri affidabilità

La teoria dell'affidabilità si basa su tre parametri fondamentali, grazie ai quali si riesce a descrivere e quantificare il comportamento temporale di un componente e si è in grado di analizzare il suo rateo di guasto. I parametri che analizzeremo sono [1], [2]:

1. MTTF (mean time to failure): Tempo medio di guasto;
2. MTBF (mean time between failure): Tempo medio tra i guasti;
3. MTTR (mean time to repair): Tempo medio di riparazione.

1. Tempo medio di guasto MTTF

Il tempo medio di guasto τ tra due componenti, è una variabile aleatoria che rappresenta l'intervallo medio di funzionamento che intercorre tra l'inizio dell'attività lavorativa del componente e il manifestarsi del suo primo guasto. Tale parametro, ci fornisce una stima della vita media utile del componente, sotto condizioni operative specifiche. Il mean time to failure può essere espresso come:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dR(t)}{dt} dt \quad (1.7)$$

In caso il rateo di guasto sia costante, allora (1.7) diventa [7]:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} dt = \left| -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda \cdot t} \right|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}$$

Inoltre il MTTF, è possibile andarlo a ricavare facendo il rapporto tra up time e il numero di guasti verificati (caso di componenti non riparabili).

Un valore elevato di MTTF è generalmente associato a componenti caratterizzati da una lunga vita utile e da una maggiore affidabilità. Questo comporta diversi vantaggi in ambito operativo e manutentivo: i guasti si verificano con minore frequenza, si riduce il numero di sostituzioni, si abbassano i costi associati ai fermi impianto. Al contrario, un MTTF basso indica che il componente è soggetto a guasti frequenti e che la sua vita utile è relativamente breve. Ciò comporta una maggiore probabilità di malfunzionamenti nel breve periodo, con conseguenti costi più elevati per la sostituzione, una maggiore incidenza dei tempi di inattività e la necessità di predisporre un piano di manutenzione più frequente e accurato.

2. Tempo medio tra i guasti MTBF

Il tempo medio tra i guasti, rappresenta il tempo medio di funzionamento tra due guasti successivi. Viene utilizzato per stimare la frequenza con cui un sistema è soggetto a malfunzionamenti durante il proprio ciclo di vita operativo [2]. Tale parametro viene applicato a componenti o impianti che, una volta guastati, vengono riparati e riportati alle condizioni operative iniziali. Se si osservano r guasti durante un certo periodo di utilizzo, e t_{fi} , che indica il tempo di funzionamento tra il guasto i -esimo e il successivo, il MTBF si calcola come media aritmetica di tali intervalli:

$$MTBF = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_{fi}$$

- r : numero totale di guasti osservati;
- t_{fi} : tempo di funzionamento tra due guasti successivi.

Un valore elevato di MTBF indica che i guasti sono rari e il sistema mantiene a lungo il proprio stato di funzionamento corretto. Questo si traduce in una maggiore affidabilità operativa, una riduzione dei fermi macchina e una minore incidenza di interventi correttivi, con conseguente ottimizzazione delle risorse tecniche e dei costi manutentivi [2]. In caso contrario, un valore basso di MTBF, segnala che il sistema è soggetto a guasti frequenti e che richiede interventi manutentivi ravvicinati [2]. Questo comporta una maggiore instabilità operativa, aumento dei costi di manutenzione, possibili rallentamenti nei processi produttivi, e tempestiva disponibilità di ricambi.

3. Tempo medio di riparazione MTTR

Il tempo medio di riparazione, viene definito come il tempo medio necessario per ripristinare un dispositivo al suo stato operativo dopo il verificarsi di un guasto.

$$MTTR = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_{ri}$$

- r è il numero di guasti osservati in un dato periodo;
- t_{ri} è il tempo di riparazione per il guasto i -esimo.

Il MTTR misura il tempo medio di inattività dovuto a un guasto e quindi l'efficienza del sistema di manutenzione. In termini pratici:

- Un MTTR elevato implica che le riparazioni richiedono molto tempo, portando a lunghi fermi impianto, perdita di produzione e incremento dei costi operativi.
- Un MTTR basso indica che il sistema è facilmente manutenibile, le riparazioni sono rapide e si ha maggiore disponibilità del sistema.

1.3.8 Disponibilità

La disponibilità rappresenta la capacità di un'entità di essere mantenuta in uno stato di funzionamento, ovvero di essere pronta all'uso quando necessario. Quindi possiamo affermare che, la disponibilità misura la frazione del tempo durante il quale un sistema è effettivamente operativo rispetto al tempo totale di osservazione[1], [2].

Secondo la norma UNI 9910, la disponibilità è definita come *“l'attitudine di una entità a essere in grado di svolgere una funzione richiesta in determinate condizioni, a un dato istante o durante un dato intervallo di tempo, supponendo che siano assicurati i mezzi esterni eventualmente necessari.”* [5]

In un sistema costituito da più sottosistemi o macchine, possono esistere diversi scenari di disponibilità, ciascuno associato a un livello di prestazione. È pertanto fondamentale definire in modo chiaro il livello minimo di prestazione richiesto, per poter discriminare correttamente tra [2]

- Stato di funzionamento accettabile;
- Stato di guasto (o indisponibilità).

L'analisi della disponibilità ha l'obiettivo di trovare un bilanciamento ottimale tra:

1. I costi di indisponibilità (cioè il costo dovuto al tempo in cui il sistema è inattivo e non produce.,
2. I costi delle attività manutentive (attività necessarie per migliorare o mantenere la disponibilità).

Dal punto di vista quantitativo, se si modella la vita utile di un sistema come una sequenza di tempi medi di funzionamento alternati a tempi medi di fermo, la disponibilità può essere espressa come [2], [7]:

$$Disponibilità = \frac{UT}{UT + DT}$$

- *UT: Up Time*: il tempo in cui il sistema e/o il componente è realmente disponibile;
- *DT: Down Time*: il tempo in cui la macchina e/o il componente è fermo/a o non disponibile.

oppure, in termini di parametri affidabilistici:

$$Disponibilità = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

- MTBF: *Mean Time Between Failures*, tempo medio tra due guasti successivi;
- MTTR: *Mean Time To Repair*, tempo medio necessario per effettuare la riparazione.

L'obiettivo primario del manutentore è quello di massimizzare la disponibilità operativa di un sistema. Per farlo, deve aumentare l'affidabilità (riducendo i guasti) e la manutenibilità (accorciando i tempi di intervento e ripristino) dei componenti

1.3.9 Manutenibilità

La manutenibilità descrive la facilità, rapidità ed efficacia con cui un componente, una macchina o un impianto può essere sottoposto a interventi di manutenzione per essere mantenuto o riportato in condizioni operative.

Secondo la norma UNI 9910, la manutenibilità è definita come “*l’attitudine di una entità (macchina o impianto), in assegnate condizioni di utilizzazione, a essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti.*”[5]

Nel caso dei componenti riparabili, oltre a considerare il tempo al guasto (time to failure), è fondamentale analizzare anche il tempo di riparazione necessario per riportare il componente o il sistema in condizioni operative. La riparazione, è un processo di natura stocastica, ovvero influenzato da variabili aleatorie e non deterministiche. Ciò significa che il tempo di ripristino τ_r di un componente guasto è una grandezza casuale, e può quindi essere modellato utilizzando funzioni statistiche analoghe a quelle impiegate per i componenti non riparabili, visti precedentemente. Possiamo quindi andare ad introdurre una nuova grandezza affidabilistica della manutenibilità, indicata con $G(t)$, definita come [2], [7]:

$$G(T) = P(\tau_r \leq T) = \int_{-\infty}^T g(t)dt$$

Dove:

- τ_r è la variabile aleatoria che rappresenta il tempo di riparazione;
- $g(t)$ è la densità di probabilità associata a τ_r , cioè la funzione che descrive la probabilità che la riparazione avvenga in un determinato istante t ;

- $G(t)$ è la funzione di distribuzione cumulata della manutenibilità, ovvero la probabilità che la riparazione sia completa entro il tempo T ;
- t indica il tempo di riparazione, ed è convenzionalmente rappresentato con τ_r .

Un'altra variabile da prendere in considerazione, quando si parla di manutenibilità è la $\mu(t)$, ossia rateo di aggiustamento condizionato, il quale viene definito come:

$$\mu(t) \cdot \Delta t = P(t \leq \tau_r \leq t + \Delta t \mid \text{non funzionante in } t)$$

$$\mu(t) = \frac{g(\tau_r)}{1 - G(\tau_r)}$$

La $\mu(t)$ può essere definita come probabilità che un componente guasto venga riparato nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$, condizionata al fatto che al tempo t non era ancora stato riparato. Questo è esattamente analogo alla definizione di hazard rate $\lambda(t)$ per il guasto, che descrive la probabilità istantanea di fallimento.

La funzione di densità di probabilità associata a τ_r , ossia $g(t)$, può essere espressa come:

$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt}$$

Nel caso in cui il rateo di aggiustamento condizionato $\mu(t)$ sia costante, il modello segue una distribuzione esponenziale:

$$g(t) = \mu \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

Nel caso in cui non sia costante, ma dipende dal tempo, il modello segue una distribuzione esponenziale:

$$g(t) = \mu \cdot e^{[-\int_0^t \mu(x) dx]}$$

Il processo di aggiustamento di un componente guasto è definito mediante questi parametri affidabilistici analoghi a quelli introdotti nella trattazione del processo di rottura dei componenti non riparabili. La Tabella sottostante mostra il parallelismo tra i parametri del processo di rottura e quelli del processo di aggiustamento:

AGGIUSTAMENTO	ROTTURA
$G(t)$	$F(t)$
$g(t)$	$f(t)$
MTTR	MTTF
$\mu(t)$	$\lambda(t)$

Tabella 1: Parallelismo tra i parametri legati al processo di rottura e quelli legati al processo di aggiustamento [5].

1.3.10 Curva mortalità di un componente

La vita di un componente è possibile andarla a rappresentare secondo l'andamento del *tasso di guasto* $\lambda(t)$, ovvero la frequenza con cui i componenti si guastano nel corso della vita utile. Questo andamento non è costante, ma cambia nel tempo e segue una curva caratteristica, nota come a “vasca da bagno”. Tale denominazione deriva dalla forma che ha la curva, infatti graficamente, ricorda il profilo di una vasca da bagno [1], [2]. La curva si suddivide di tre zone distinte, ciascuna associata ad una diversa fase di vita del componente [2]:

1. Fase iniziale con tasso di guasto decrescente $\lambda(t)$, detta mortalità infantile o fase di rodaggio;
2. Fase centrale con tasso costante $\lambda(t)$, detta vita utile;
3. Fase finale con tasso crescente $\lambda(t)$, detta usura.

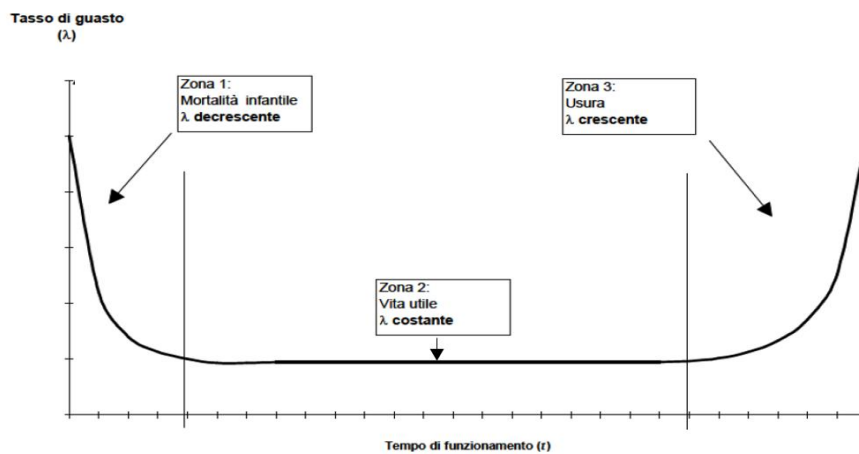


Figura 4: La Manutenzione degli impianti industriali [7].

1. Mortalità infantile

Questa prima fase si manifesta durante l'inizio del ciclo di vita di un componente/macchina, immediatamente dopo installazione, quindi quando ancora è in rodaggio. I componenti/macchine cominciano a svolgere le loro funzioni ed alcuni di essi, in genere difettosi, possono decedere in breve tempo a causa, come detto precedentemente, di una difettosità di nascita. L'interruzione prematura della vita utile può dipendere da diversi fattori, tra cui difetti di fabbricazione o errori nel montaggio. Questo periodo chiamato “mortalità infantile” è caratterizzato da un $\lambda(t)$ inizialmente elevato, che poi cala bruscamente. Questa fase di rodaggio è caratterizzata anche secondo Weibull da un fattore di forma pari $\beta < 1$ [3], [7].

2. Vita utile

Questa è la fase definita “vita utile”, durante il quale la macchina e i componenti, di cui essa è composta, funzionano a regime. In tale periodo, il tasso di guasto $\lambda(t)$ è costante e si mantiene tale. Durante questo tempo il componente funziona correttamente e in modo affidabile, con guasti che avvengono in modo casuale e non legati a usura o difetti sistemici, ma risultano essere imprevedibili. Obiettivo per gli operatori che operano sulle macchine e quindi anche sui componenti di cui essa è composta, è che tale periodo venga mantenuto il più a lungo possibile, in modo da andare a giovare dei benefici che essa comporta. Per farlo, bisogna adottare buone pratiche manutentive, lubrificazione, controllo ambientale e sostituzione preventiva di parti usurabili. Queste attività di ispezione/monitoraggio consentono la rettifica dei piccoli difetti che potrebbero portare l'entità al guasto. Questa fase di vita utile è caratterizzata secondo Weibull da un fattore di forma $\beta = 1$ [3], [7].

3. Usura

Tale periodo è caratterizzato da fenomeni di usura derivanti dall'intenso utilizzo dei componenti/macchina e quindi da un loro invecchiamento. Il tasso di guasto $\lambda(t)$ cresce progressivamente con il passare del tempo, fino a fare raggiungere un inutilizzo dei componenti/macchine. A differenza delle fasi precedenti, in cui i guasti sono prevalentemente accidentali o derivanti da difetti iniziali, in questa fase i guasti sono più frequenti e prevedibili, legati all'invecchiamento e al degrado fisiologico del componente. Durante la fase di usura, il materiale e le parti meccaniche o elettroniche del componente iniziano a manifestare segni evidenti di fatica, deterioramento e perdita di prestazioni, aumentando così le probabilità di rotture strutturali o malfunzionamenti. Questa fase di usura e quindi di invecchiamento è prevedibile grazie a delle strategie manutentive quali:

- Manutenzione preventiva;
- Manutenzione su condizione;
- Manutenzione predittiva;

Questa fase di usura è caratterizzata da un fattore di Weibull con fattore di forma $\beta > 1$ [3], [7]

Fase della vita operativa	Tipo di fitting analitico
1. Mortalità infantile	Funzione di Weibull $\beta < 1$
2. Vita utile	Funzione di Weibull $\beta > 1$
3. Usura	Funzione di Weibull $\beta = 1$

Tabella 2: Fattore di Weibull per ogni fase della curva “Vasca da bagno”.

1.4 I tempi nella manutenzione

La gestione efficace dei tempi associati a un guasto, sia esso relativo a un singolo componente o all'intera macchina, rappresenta oggi un fattore cruciale per tutte le organizzazioni industriali che puntano a garantire elevati livelli di efficienza operativa, continuità dei processi produttivi e sostenibilità economica degli impianti. La sola identificazione dell'evento di guasto non è sufficiente: è infatti necessario analizzare nel dettaglio l'intero ciclo temporale che intercorre tra la comparsa dell'anomalia e il completo ripristino del funzionamento del componente/macchina. Questo intervallo temporale, noto anche come tempo di indisponibilità, è composto da diverse fasi consecutive che influiscono in maniera diretta sul MTTR e, di conseguenza, sulla disponibilità complessiva del sistema/macchina. Tra la comparsa del problema e l'intervento della manutenzione, trascorre un lasso di tempo di "ritardo amministrativo" dovuto alla presa di coscienza da parte dei manutentori della tipologia di guasto e del tipo di intervento da [2]. L'impatto di questo ritardo, può risultare significativo non solo in termini di produttività persa, ma anche per le ricadute economiche dirette sull'azienda. Nella presente tesi, verrà analizzato nel dettaglio questo tempo di "ritardo amministrativo", la cui ottimizzazione rappresenta una leva strategica per la riduzione dei down-time e il miglioramento complessivo delle performance impiantistiche. A supporto di questa analisi, si fa riferimento al seguente grafico tratto dalla norma UNI 9910, che rappresenta in modo efficace la sequenza temporale delle fasi di manutenzione.

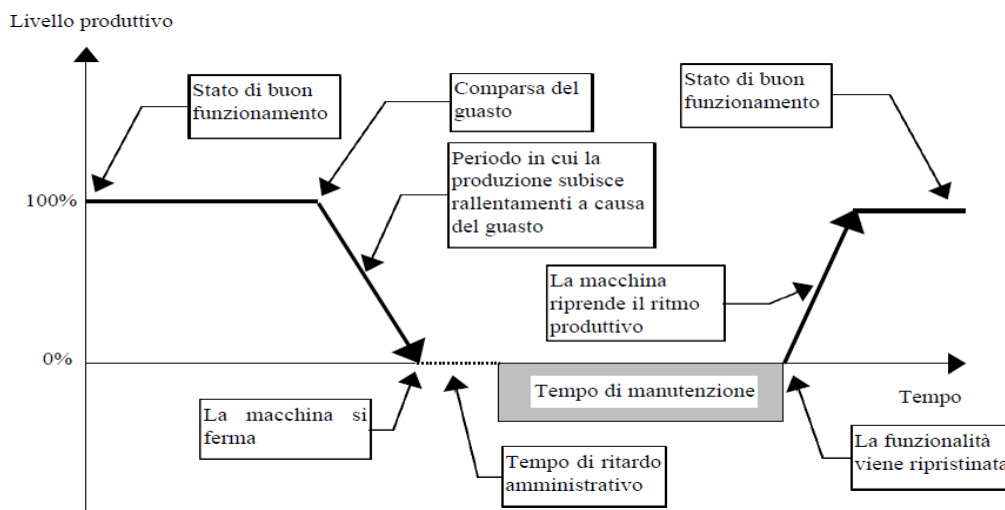


Figura 5: Analisi dei tempi dalla comparsa del guasto alla sua riparazione [2].

Dal momento della comparsa del guasto fino al successivo ripristino del buon funzionamento è possibile individuare una serie di tempi relativi alla riparazione [2]

- Tempo malfunzionamento iniziale. Questa fase ha inizio quando il componente o la macchina presenta un malfunzionamento iniziale. Durante questo periodo, la macchina continua a

funzionare ma con prestazioni degradate, causando un calo nella produzione sia in termini di qualità che di efficienza, e un conseguente aumento dei costi legati alla produzione difettosa. Non sempre questo tempo è presente, perché in molti casi si ha la comparsa del guasto imminente con il successivo fermo della macchina;

- Tempo di ritardo amministrativo. Tra le fasi che compongono il ciclo temporale, il tempo di ritardo amministrativo rappresenta uno dei tempi più critici e frequentemente trascurati. Definito come il tempo che intercorre tra la manifestazione del guasto e l'avvio effettivo dell'intervento manutentivo. Questa fase inizia nel momento in cui l'operatore di linea rileva un malfunzionamento e comunica tale anomalia al proprio responsabile di reparto, il quale a sua volta dovrà valutare la gravità del guasto e la sua tipologia (elettrico o meccanico). Successivamente sarà il responsabile di reparto che contatta il responsabile della manutenzione. Solo in seguito, il responsabile manutentivo comunicherà il guasto al manutentore specializzato. Questo processo a catena implica inevitabilmente una moltiplicazione dei passaggi e, quindi, dei tempi. Ognuno di questi step è soggetto a ritardi potenziali, per esempio:

- Indisponibilità del responsabile al momento della segnalazione;
- Mancanza di un canale di comunicazione del guasto ben strutturato e organizzato;
- Indisponibilità dei manutentori, che potrebbero essere già impegnati su altri interventi urgenti e quindi non immediatamente disponibili per intervenire.

La conseguenza diretta di una cattiva gestione di questi passaggi è un allungamento significativo del tempo di indisponibilità della macchina, con impatti negativi su produttività, tempi di consegna e costi.

- Tempo di diagnostica dell'anomalia. Questo tempo rappresenta l'intervallo necessario per identificare la natura del guasto e la sua locazione. Ha inizio quando il manutentore si reca sulla macchina e si conclude quando è stato accertato quale componente ha ceduto e quale tipo di intervento è richiesto. Questo tempo dipende da molteplici fattori come la complessità della macchina, l'esperienza del manutentore e la strumentazione per la diagnostica a disposizione.
- Tempo di approvvigionamento ricambi e materiale di consumo per la riparazione. È il tempo che impiega il/i manutentore/i a prelevare il materiale a magazzino e portarlo sulla macchina guasta. Nel caso in cui i componenti non sono facilmente reperibili o non presenti in magazzino, si andranno ad allungare i tempi e conseguentemente i costi indiretti dovuti alla fermata della produzione e potenzialmente costi di urgenza per l'acquisto del ricambio.

- Tempo per l'effettiva riparazione. È il tempo effettivo della manutenzione, ossia il tempo effettivo impiegato dal manutentore per riparare la macchina o il componente guasto.
- Tempo di controllo delle funzionalità e di testing della macchina. Una volta terminata la riparazione del guasto è necessario andare a testare il corretto funzionamento della macchina.

Questa attività prevede:

- Accensione, cicli di prova, reset controlli logici;
- Verifica di parametri critici (temperatura, vibrazioni, cicli);
- Test di qualità del primo lotto prodotto;

Se tale fase viene trascurata, può generare falsi positivi di ripristino e guasti ricorrenti.

Dalla somma di tali tempi si ottiene il tempo totale di indisponibilità della macchina. Una corretta gestione di tali tempi permette di intervenire in maniera mirata per aumentare l'efficacia del servizio di intervento e minimizzare il break-down dell'apparato [2].

1.5 Politiche manutentive

Nell'industria moderna la manutenzione non è più una mera attività tecnica di riparazione, ma un processo strategico per la gestione degli impianti. È sempre più evidente come una gestione non reattiva del guasto generi inefficienze, imprevisti, costi eccessivi e una scarsa visibilità gestionale. Per questo motivo, le politiche manutentive rappresentano l'insieme delle scelte organizzative e tecniche che regolano il modo in cui si risponde all'insorgere di guasti o alla deriva funzionale degli impianti. La norma UNI 10147, integrata dalle UNI 9910 e UNI 10366, consente di classificarle in cinque macro-categorie [8], [9]:

1. Manutenzione correttiva;
2. Manutenzione preventiva;
 - a. Manutenzione preventiva a data costante;
 - b. Manutenzione a età costante;
3. Manutenzione predittiva;
 - a. Manutenzione su condizione;
4. Manutenzione opportunistica;
5. Manutenzione migliorativa;

1.5.1 Manutenzione correttiva

La norma UNI 9910 definisce la manutenzione correttiva come *“la manutenzione eseguita a seguito di una avaria e volta a riportare un’entità nello stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”* [10].

L’approccio della manutenzione correttiva risulta particolarmente efficace in presenza di sistemi non critici, semplici da riparare e a basso costo di intervento, nei quali risulta più vantaggioso in termini economici, attendere il guasto piuttosto che adottare strategie manutentive più complesse. In questi casi, infatti, i benefici derivanti dalla riduzione dei tempi di fermata e dall’aumento della disponibilità ottenibili con approcci preventivi o predittivi non compensano il maggior onere economico derivante dall’implementazione di tali strategie. Il principio operativo consiste nel individuare rapidamente l’entità guasta e intervenire per ripristinare la funzionalità del sistema, riportandolo alle condizioni operative originarie nel minor tempo possibile. Per garantire la tempestività e l’efficacia dell’intervento, tale approccio richiede alcuni prerequisiti organizzativi fondamentali [1], [8]:

- Il personale manutentivo deve essere in grado rispondere in modo adeguato ed efficace alle esigenze, in termini di capacità tecniche di riparazione e di tempo di esecuzione;
- Un magazzino ricambi e attrezzature di pronto impiego, opportunamente gestito per fronteggiare interventi non pianificati;
- Una struttura logistica snella e una catena decisionale reattiva, per minimizzare i tempi di diagnosi, autorizzazione e intervento.

Questa strategia rappresenta storicamente il modello più tradizionale di manutenzione e mantiene tuttora una sua validità operativa in contesti produttivi semplici, dove i fermi macchina non compromettono in modo significativo il processo complessivo. L'adozione di questa strategia comporta una serie di vantaggi, tra cui la riduzione dei costi diretti di manutenzione. Tuttavia, presenta anche significativi svantaggi, come l'imprevedibilità dei guasti, la possibilità di interruzioni improvvise del servizio e la necessità di un'adeguata organizzazione per garantire una risposta tempestiva [3].

1.5.2 Manutenzione preventiva

La manutenzione preventiva è definita, secondo la norma UNI EN 13306, come *“l’insieme delle operazioni manutentive eseguite a intervalli prestabiliti o secondo criteri predeterminati, con l’obiettivo di ridurre la probabilità di guasto o il degrado funzionale di un’entità”* [11].

Questa strategia si fonda sul principio della sostituzione programmata o del ripristino anticipato di componenti o sottosistemi, prima che si manifestino sintomi di avaria, pur in assenza di segnali evidenti di malfunzionamento. In tal modo si mira a prevenire eventi critici, migliorando la continuità operativa e la sicurezza del sistema. Uno dei principali punti di forza della manutenzione preventiva risiede nella sua programmabilità, che consente di pianificare gli interventi in momenti di minor impatto sulla produzione, coordinando efficacemente personale, produzione e tempi di fermo delle macchine [3], [8]. La manutenzione preventiva è possibile andarla a suddividere in due sottocategorie:

- **Manutenzione preventiva a data costante.** In questa tipologia di politica manutentiva la manutenzione viene effettuata a intervalli di tempo fissi, indipendentemente dall’utilizzo effettivo del bene. Si tratta di un approccio calendario-driven, nel quale la frequenza è stabilita a priori (es. mensile, trimestrale, annuale). Esempio. Sostituzione dei rulli folli e lubrificazione dei cuscinetti ogni tre mesi, indipendentemente dal numero di ore di funzionamento della linea.
- **Manutenzione a età costante.** In questa tipologia di politica manutentiva, l’attività di manutenzione viene eseguita ogni volta che un componente o sistema raggiunge una determinata “età” operativa, cioè un certo numero di ore di funzionamento, cicli o chilometri, a prescindere dal calendario. Esempio: Sostituzione olio della macchina ogni 20.000 km.

1.5.2.1 Manutenzione preventiva a data costante

La manutenzione preventiva a intervalli costanti adotta un intervallo di tempo fisso (per esempio un trimestre) tra un intervento di sostituzione preventiva e il seguente, indipendentemente da quello che succede durante questo intervallo di tempo. Questa logica prescinde da eventuali eventi imprevisti che possono verificarsi nel corso dell'intervallo tra due interventi pianificati: anche in presenza di guasti o manutenzioni correttive, il successivo intervento preventivo avviene comunque alla data prevista, senza modificare il piano [1], [8].

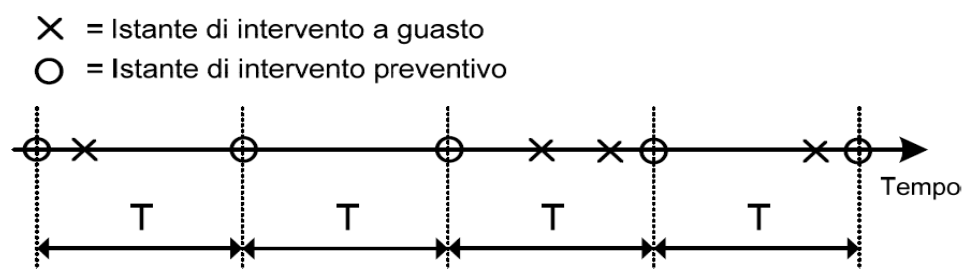


Figura 6: Rappresentazione temporale della manutenzione a data costante [8].

Come è possibile osservare dalla figura sopra riportata, questa politica si basa su un intervallo fisso di tempo T tra un intervento preventivo e il successivo, indipendentemente dalle condizioni reali del componente o dal numero di guasti che possono verificarsi in quell'intervallo. Tale strategia viene adottata per prevenire cedimenti improvvisi che, in caso di rottura, potrebbero provocare il blocco della produzione, la perdita di materiale confezionato o ritardi nella catena logistica.

Questa tipologia di politica presenta diversi vantaggi operativi, legati principalmente alla sua semplicità gestionale. La programmazione degli interventi a intervalli temporali regolari consente una pianificazione stabile delle risorse tecniche e dei ricambi, facilita il coordinamento con i fermi produttivi già previsti e riduce il rischio di guasti improvvisi grazie alla regolarità delle sostituzioni. Il principale svantaggio è rappresentato dal rischio di sostituzioni premature (overmaintenance), soprattutto quando l'intervallo temporale non è calibrato sull'effettivo tasso di degrado dei componenti [3].

1.5.2.2 Manutenzione a età costante

La manutenzione preventiva a età costante è una politica che prevede la sostituzione di un componente quando lo stesso raggiunge una certa età di funzionamento costante rispetto l'ultimo intervento di cui è stato sottoposto, indipendentemente si tratti di un intervento correttivo o preventivo. L'età di funzionamento viene misurata in termini di ore di funzionamento, chilometri percorsi, battute, quindi non dipende dal calendario. Ne consegue che, se all'interno del suddetto intervallo accade un guasto, il successivo istante d'intervento preventivo viene ricalcolato in modo tale che tra il guasto e il nuovo intervento preventivo trascorra l'età costante [8].

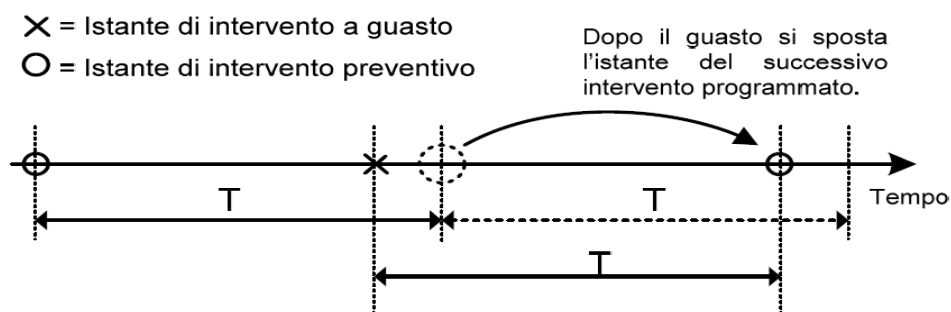


Figura 7: Rappresentazione temporale della manutenzione a età costante [8].

La manutenzione preventiva a età costante presenta numerosi vantaggi, tra i quali la coerenza tra l'intervento manutentivo e lo stato reale di usura del componente: si interviene solo quando il componente ha effettivamente raggiunto un'età operativa critica (in ore macchina, cicli o chilometri), evitando così sostituzioni premature. Inoltre, permette di ottimizzare le risorse manutentive,

concentrandole su componenti effettivamente soggetti a rischio di guasto, e riducendo il fenomeno dell'overmaintenance [3]. Tuttavia, la manutenzione a età costante presenta anche alcune criticità. La principale riguarda la complessità gestionale: per attuarla efficacemente, è necessario monitorare in modo continuo l'utilizzo reale del componente, il che implica l'adozione di contatori, sensori o sistemi CMMS evoluti. Inoltre, in caso di guasto, l'intervallo di manutenzione viene ricalcolato a partire dalla data dell'intervento correttivo, rendendo la pianificazione meno stabile e più difficile da coordinare con le altre attività produttive [3].

1.5.3 Manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva rappresenta un'evoluzione avanzata della manutenzione preventiva, poiché si basa sulla capacità di monitorare in tempo reale lo stato di salute delle macchine e dei loro componenti, attraverso il rilevamento di segnali deboli premonitori di guasto. Questa modalità si fonda sul principio secondo cui un guasto non si manifesta improvvisamente, ma è generalmente anticipato da un processo di degrado progressivo delle prestazioni funzionali del componente [1], [8]. Nel dettaglio, la manutenzione predittiva si basa sulla manutenzione su condizione (on condition), ovvero un'attività preventiva fondata sul monitoraggio di parametri significativi (es. temperatura, vibrazioni, pressione, rumore, risposta meccanica, etc.) in grado di fornire indicazioni affidabili sullo stato di esercizio dell'entità monitorata [3].

Le tecniche maggiormente impiegate per supportare la manutenzione predittiva sono [1]:

- Monitoraggio visivo, utile per rilevare cricche, disallineamenti o difetti macroscopici;
- Monitoraggio delle prestazioni rispetto ai valori di progetto, come temperatura, velocità, pressione;
- Analisi delle vibrazioni e del rumore, particolarmente efficaci per identificare squilibri meccanici, usura di cuscinetti o disallineamenti.

1.5.4 Manutenzione su condizione

La manutenzione su condizione è una strategia manutentiva che si attua in risposta al degrado misurato di un asset, ovvero in funzione dello stato effettivo del componente o sistema da mantenere. Il suo obiettivo è intervenire solo quando necessario, evitando manutenzioni superflue e riducendo il rischio di guasti imprevisti. Il degrado può essere rilevato mediante diversi livelli di sofisticazione tecnica, che spaziano da semplici osservazioni sensoriali fino al monitoraggio automatico di variabili fisiche. I principali metodi di rilevamento del degrado di un componente, quando si parla di manutenzione su condizione, sono i seguenti [1], [12].

- 1) Ispezioni sensoriali eseguite dal personale di esercizio. Si tratta del metodo più semplice e immediato, basato sui sensi dell'operatore (vista, udito, olfatto, tatto).
- 2) Ispezioni periodiche eseguite dal personale di manutenzione sia a macchina ferma che in esercizio. Durante le ispezioni programmate, i manutentori effettuano controlli sia sensoriali che strumentali sui macchinari, al fine di individuare sintomi di guasti incipienti. .
- 3) Monitoraggio automatico di variabili fisiche significative. Questa modalità prevede l'installazione di sensori e sistemi di acquisizione dati in grado di rilevare in modo continuo i parametri che riflettono lo stato di salute della macchina (es. vibrazioni, temperatura, pressione, corrente assorbita). I segnali acquisiti vengono elaborati e rappresentati nel tempo per identificare deviazioni dai valori normali. Fissando soglie di intervento, è possibile programmare manutenzioni mirate prima che si verifichino guasti.

Una volta individuato un parametro fisico rappresentativo dello stato di salute di un componente (definito anche “segnale premonitore”), la strategia di manutenzione su condizione prevede che non venga eseguita alcuna azione fino al superamento di una soglia prestabilita, detta livello di allerta. In questa prima fase, denominata rilevamento dell'anomalia, si effettua un monitoraggio continuo e non invasivo del parametro, e l'eventuale superamento della soglia indica l'inizio di un comportamento anomalo del sistema, pur rimanendo ancora operativo. A questo punto, si avvia una fase diagnostica, in cui l'osservazione del parametro diventa più frequente e precisa, al fine di confermare il deterioramento e prevederne l'evoluzione. La figura 8 rappresenta l'andamento temporale del parametro di deterioramento [1], [12]: inizialmente si ha il rilevamento dell'anomalia con il superamento del livello di allerta; successivamente si entra in una fase di diagnosi e conferma del guasto, fino a raggiungere il livello di allarme, che rappresenta una soglia critica oltre la quale è necessario intervenire tempestivamente per evitare la rottura. Se l'intervento avviene in questa fase, si esegue una riparazione o sostituzione del componente prima che venga oltrepassato il livello di manutenzione, soglia oltre la quale il danno diventa irreversibile. A seguito dell'intervento, il

parametro torna al di sotto delle soglie critiche e il ciclo di monitoraggio riprende dalla condizione iniziale.

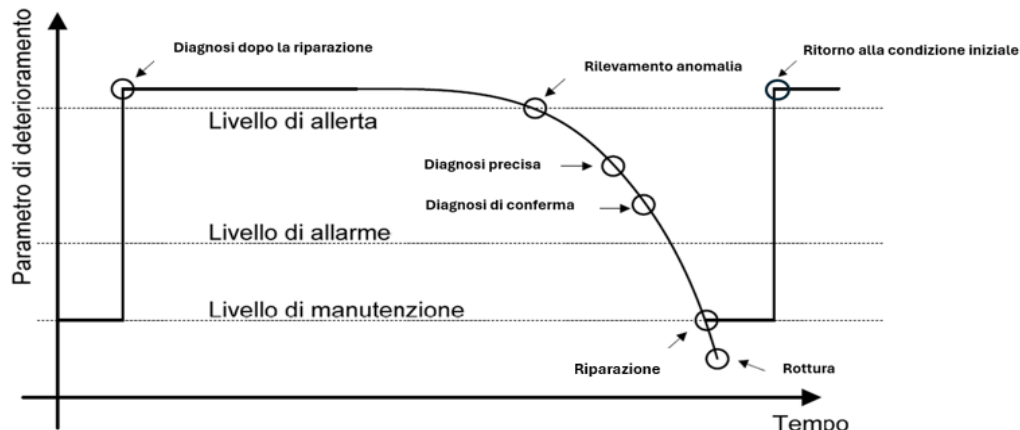


Figura 8: Rappresentazione dell'evoluzione temporale del guasto [12].

Questo approccio consente di eseguire interventi mirati come regolazioni, riparazioni o sostituzioni parziali, evitando fermi macchina imprevisti. I vantaggi della politica manutentiva su condizione sono i seguenti [1], [12]:

- Permette di migliorare il controllo della disponibilità delle attività manutentive e la sicurezza delle macchine;
- Permette una migliore qualità della manutenzione (si riducono gli interventi di manutenzione che possono introdurre il fenomeno della mortalità infantile);
- Permette di immagazzinare e trasferire le conoscenze della manutenzione;
- Permette di migliorare la gestione del personale di manutenzione.

Gli svantaggi [1], [12]:

- Elevati costi d'investimento per la messa in pratica;
- Necessario periodo di apprendimento per sviluppare una conoscenza affidabile dei trend dei segnali misurati, ed essere capaci di valutare adeguatamente la salute della macchina.

1.5.5 Manutenzione opportunistica

La manutenzione opportunistica è una strategia non pianificata che prevede l'esecuzione di interventi manutentivi durante le fermate non produttive, programmate o accidentali. Essa consente di effettuare attività correttive, preventive o migliorative sfruttando momenti in cui l'impianto è fermo, minimizzando così l'impatto sulla disponibilità operativa del sistema. In contesti industriali, dove ogni ora di fermo macchina rappresenta un costo rilevante, questa pratica consente di ottimizzare le risorse tecniche, intervenendo ad esempio durante cambi di produzione, attese materiali o fermi di

linea. Tuttavia, richiede un'organizzazione flessibile e reattiva, con personale e materiali pronti all'impiego, per evitare che l'intervento si prolunghi oltre la fermata prevista [1].

1.5.6 Manutenzione migliorativa

La manutenzione migliorativa è una strategia proattiva finalizzata non solo al mantenimento, ma al potenziamento delle prestazioni, dell'affidabilità e del valore di un impianto. Non interviene in risposta a guasti, bensì nasce da esigenze di ottimizzazione segnalate dall'utilizzatore o dal manutentore. A differenza della manutenzione correttiva, che ripristina lo stato precedente al guasto, quella migliorativa mira all'evoluzione tecnica del sistema, attraverso modifiche che incrementano resa, sicurezza, qualità o efficienza energetica. In linea con i principi del miglioramento continuo (Kaizen), ogni intervento diventa un'occasione per affinare il funzionamento dell'impianto. Questo approccio risulta particolarmente efficace in contesti a bassa serializzazione e alta complessità, come la produzione su piccola scala o su prototipi, dove la progettazione iniziale è spesso soggetta a perfezionamenti successivi all'avvio operativo [1].

1.6 Strategia nella scelta della politica manutentiva

La scelta della politica manutentiva più adatta rappresenta un aspetto cruciale nell'ambito dell'ingegneria della manutenzione. Una gestione efficace richiede infatti l'individuazione della combinazione ottimale di strategie manutentive, da associare in modo mirato alle responsabilità organizzative e alle risorse disponibili. La combinazione delle politiche manutentive è oggi considerata la chiave per affrontare le diverse problematiche operative, poiché l'adozione di una singola politica non esclude, né impedisce, l'integrazione con altre [1].

Per selezionare la politica di manutenzione più adatta a ciascuna tipologia di macchina, sottosistema o componente, è fondamentale considerare una serie di fattori strategici che vanno ad analizzare l'affidabilità, il costo e impatto operativo [3]:

- 1) Impatto al guasto: Misura le conseguenze generate da un guasto o da un progressivo deterioramento del componente. L'impatto viene generalmente valutato in termini economici, considerando il costo indotto dal guasto stesso. Le possibili ricadute negative includono:
 - Riduzione della qualità del prodotto finito;
 - Rischio per la sicurezza del personale;
 - Perdita di capacità produttiva o fermo impianto;
 - Elevato costo di riparazione o sostituzione.

- 2) Intervallo medio tra i guasti (MTBF): Questo indicatore rappresenta il tempo medio che intercorre tra due guasti successivi. Maggiore è l'MTBF, minore sarà la frequenza dei guasti e, di conseguenza, più flessibile potrà essere la politica di manutenzione. Al contrario, componenti con un MTBF basso richiedono controlli e interventi più frequenti per evitare disservizi o interruzioni impreviste.
- 3) Prevedibilità del guasto. Questo fattore riguarda la possibilità di stimare in anticipo il momento in cui avverrà il guasto. La prevedibilità può essere ottenuta:
- Per via statistica, attraverso l'analisi delle distribuzioni di affidabilità e delle curve di fallimento basate sui dati storici;
 - Mediante manutenzione predittiva, utilizzando modelli avanzati che sfruttano il monitoraggio in tempo reale dei parametri di funzionamento dell'asset.

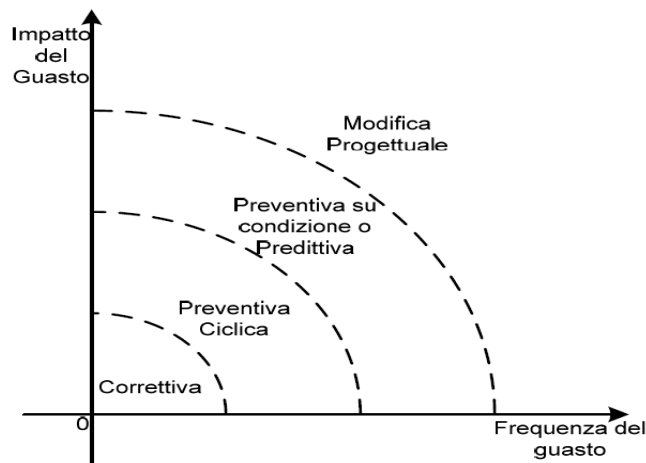


Figura 9: Fattori rilevanti per la scelta della politica di manutenzione [3].

In questa figura è possibile osservare un criterio di prima approssimazione, sulla scelta della politica di manutenzione più adatta, in relazione ai fattori impatto e frequenza del guasto. Comprendere la frequenza e l'impatto dei guasti, è cruciale per definire la strategia di manutenzione più efficace [1]:

- Per guasti a bassa frequenza e basso impatto, la manutenzione correttiva è sufficiente. Viceversa, per alta frequenza e alto impatto, è indispensabile la manutenzione preventiva su condizione/predittiva;
- Aumentando ulteriormente frequenza e impatto, diventa conveniente la manutenzione preventiva ciclica;
- Per valori massimi d'impatto e frequenza, è fondamentale considerare modifiche di progetto che migliorino l'affidabilità (riducendo la frequenza del guasto) e la manutenibilità (riducendo l'impatto del guasto) della macchina.

Obiettivo che si pone una realtà industriale, è quella di andare a minimizzare quello che è il costo globale della manutenzione, intendendo con esso la somma tra i costi propri (interventi, manodopera,

materiali) e i costi indotti (fermi impianto, perdita qualità, inefficienze, rischi per la sicurezza). In Italia, la manutenzione a guasto è ancora la più diffusa circa 50%, mentre la manutenzione su condizione si attesta al 20-30% e la restante quota è costituita da manutenzione preventiva.

1.7 Analisi tecnico-economica della manutenzione

Un aspetto spesso trascurato nella concezione tradizionale della manutenzione è la sua rilevanza economica, che risulta invece fondamentale per comprendere le logiche decisionali che ne guidano la pianificazione e l'attuazione all'interno dell'azienda. La manutenzione ha un impatto diretto sui costi di esercizio e, al tempo stesso, sull'affidabilità e prestazioni dell'impianto. Da un lato, aumentare gli interventi manutentivi soprattutto di tipo preventivo, contribuisce a mantenere elevata la disponibilità degli asset, riducendo il rischio di guasti critici e fermi macchina. D'altro canto, ogni intervento manutentivo comporta un costo; per questo motivo, una durata eccessiva o un sovraccarico di attività manutentive può generare inefficienze sia sul piano organizzativo che su quello economico. Possiamo notare dallo schema sottostante, come vengono divisi i costi all'interno della manutenzione [15].

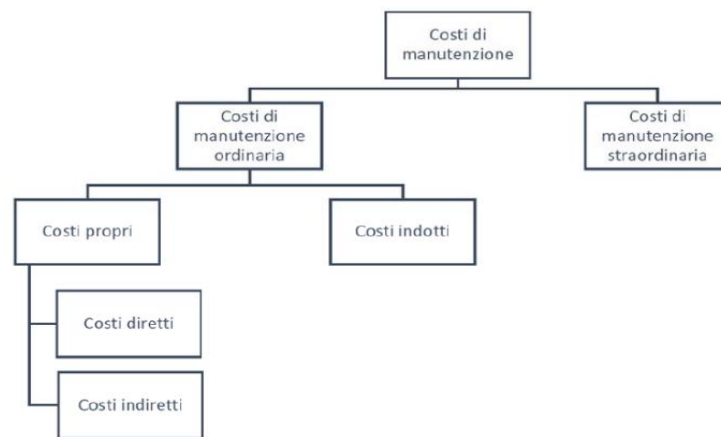


Figura 10: Suddivisione costi di manutenzione.

1) Costi di manutenzione Straordinaria

I costi di manutenzione straordinaria si riferiscono a interventi rilevanti, pianificati e non ricorrenti, volti a migliorare le prestazioni, la longevità o il valore residuo di un impianto. La manutenzione straordinaria si colloca in una logica di investimento strategico e di lungo periodo. Essa può assumere diverse forme:

- Migliorativa, quando l'intervento mira a potenziare le prestazioni del sistema;
- Correttiva profonda, per affrontare guasti gravi o strutturali;
- Preventiva strategica, quando si effettuano revisioni radicali per evitare l'obsolescenza tecnologica.

Dal punto di vista economico, questi interventi permettono di prolungare la vita utile dei beni, di diluire i costi d'acquisto nel tempo e, in molti casi, di incrementare il valore patrimoniale dell'asset, in quanto spesso capitalizzabili e ammortizzabili.

Secondo la visione operativa, il termine “manutenzione straordinaria” fa riferimento a interventi urgenti, non programmati e non previsti a budget, spesso causati da guasti gravi o imprevisti che generano il fermo impianto o una significativa discontinuità operativa. Questa visione, di tipo reattivo e funzionale, identifica la manutenzione straordinaria come un'azione eccezionale, fuori dalla routine, che richiede risorse extra, tempi rapidi e un elevato sforzo organizzativo [15], [16].

2) Costi di manutenzione Ordinaria

I costi di manutenzione ordinaria rappresentano tutte le spese sostenute per il regolare funzionamento delle attività manutentive quotidiane. A differenza dei costi straordinari, essi non incidono sul valore economico del bene, ma sono essenziali per garantire la disponibilità operativa degli impianti nel breve e medio termine. Questi costi si articolano in due grandi gruppi:

- Costi propri, che a loro volta si suddividono in [15], [16]:
 - Costi diretti, relativi alle risorse impiegate direttamente per le attività manutentive, all'interno di questi costi abbiamo:
 - Materiali: costi legati al prelievo di materiali a magazzino e i costi legati all'immobilizzo degli stessi all'interno del magazzino;
 - Manodopera interna: costi legati alla manodopera che il personale impiega per riparare macchinari/componenti
 - Prestazione a terzi: costi che l'azienda deve affrontare quando non si è in grado di effettuare internamente un intervento manutentivo su un asset produttivo o non produttivo guasto e quindi è necessario ricorrere a fornitori esterni specializzati.
 - Costi indiretti rappresentano tutte quelle spese non direttamente imputabili a un singolo intervento manutentivo, ma comunque necessarie per garantire il funzionamento efficace della struttura manutentiva. Possiamo suddividerli in quattro categorie principali:
 - Costi della struttura di manutenzione: includono i costi annui del personale indiretto coinvolto nella gestione e nel coordinamento del servizio di manutenzione.
 - Costi dei servizi tecnici e delle attrezzature di funzionamento: comprendono le spese legate all'utilizzo di attrezzature e dispositivi necessari per lo svolgimento delle attività manutentive (es. muletti, sistemi di sollevamento),

dei materiali di esercizio (come tute, guanti, ecc.), dei materiali ausiliari (solventi, stracci, materiali per saldatura) e i costi per i servizi tecnici di base (energia elettrica, aria compressa, vapore, acqua).

- Costi dei servizi ausiliari: includono le spese per servizi di supporto al processo manutentivo, come la gestione della documentazione tecnica, l'amministrazione delle attività e altri servizi trasversali.
 - Costi di immobilizzo dei materiali di ricambio e di consumo diretto: si tratta degli oneri finanziari legati alla necessità di mantenere a magazzino una scorta minima di materiali e componenti destinati alle attività manutentive.
- Costi indotti nascono come conseguenza dell'interruzione della funzionalità dell'entità, che può essere causata da un guasto o dalla volontaria interruzione per effettuare interventi manutentivi. È possibile andare a classificare i costi indotti come [1], [16]:
 - Ritardata manutenzione, che genera costi se non si è in grado di rispettare il programma di manutenzione o se la programmazione è inadeguata;
 - Errata manutenzione, che crea costi indotti per interventi non sufficienti in termini di qualità delle operazioni svolte o per la necessità di ripetere l'intervento errato;
 - Conduzione inadeguata dell'entità, che genera costi indotti a seguito di una scorretta o inadeguata conduzione dell'entità da parte del personale di esercizio.

1.7.1 Grafico costi manutenzione

La figura 11, illustra l'andamento dei costi in funzione del livello di manutenzione adottato. Essa consente di visualizzare come varia il costo totale, al mutare dell'intensità dell'intervento manutentivo, in modo da ottimizzare la gestione della manutenzione all'interno di un'azienda. Le curve presenti, rappresentano tre componenti principali [14], [16]:

1. Costi di riparazione (Repair Cost) in rosso: Questa curva mostra come i costi di riparazione aumentino esponenzialmente man mano che si riduce il livello di manutenzione preventiva. In assenza di un'adeguata prevenzione, i guasti diventano frequenti e costosi da riparare, generando fermi macchina, interruzioni della produzione, spese per ricambi urgenti, costi di manodopera straordinaria e, in casi gravi, danni secondari o rischi per la sicurezza.
2. Costi di manutenzione preventiva (Preventive Cost) in giallo: Questa curva cresce, all'aumentare della frequenza degli interventi programmati. Più manutenzione viene effettuata, maggiori sono i costi diretti associati: personale tecnico, materiali di consumo, sostituzioni programmate e attrezzature impiegate.

3. Costi totali (Total Cost) in verde: È la somma delle due curve precedenti. La sua forma a U riflette la legge dei rendimenti decrescenti: all'inizio, incrementare la manutenzione preventiva riduce drasticamente i costi totali, perché si evitano guasti costosi. Ma superato un certo livello, ulteriori investimenti in prevenzione generano più spesa che beneficio, portando a un aumento complessivo dei costi. Il punto più basso della curva rappresenta l'ottimo economico.

Oltre alle tre curve, il grafico definisce tre zone di comportamento [14]:

- **Manutenzione insufficiente:** In questa area, il livello di manutenzione preventiva è troppo basso. Di conseguenza, i guasti aumentano in modo significativo, generando costi di riparazione elevati e rischi per la sicurezza e l'efficienza operativa. Tale situazione la si ha in caso di scarsa pianificazione o dalla volontà di ridurre i costi nel breve termine.
- **Area ottimale di manutenzione:** È l'intervallo in cui si ottiene il miglior compromesso tra prevenzione e correzione. L'azienda spende quanto basta per prevenire la maggior parte dei guasti, mantenendo i costi totali al minimo. Raggiungere questo punto richiede un'attenta analisi storica dei guasti, valutazione dei rischi e strumenti predittivi.
- **Eccesso di manutenzione preventiva:** In questa zona, si effettuano troppi interventi di manutenzione preventiva, spesso senza reale necessità. Questo porta a un incremento sproporzionato dei costi, senza benefici significativi in termini di affidabilità o disponibilità degli impianti. È una situazione che può derivare da politiche eccessivamente conservative o da mancanza di un'analisi costi-benefici.

Il grafico analizzato sottolinea come una gestione efficace della manutenzione non debba tendere né a un'estrema riduzione degli interventi (che porta a costi correttivi elevati), né a un'eccessiva prevenzione (che comporta sprechi). L'obiettivo ottimale si trova in un punto di equilibrio tra questi due estremi, dove i costi totali sono minimizzati e l'efficienza operativa è massimizzata.

In quest'ottica, un utile indicatore di riferimento per valutare la sostenibilità economica del piano manutentivo è la spesa annua per manutenzione, che dovrebbe aggirarsi attorno al 2-3% del valore patrimoniale complessivo degli impianti.

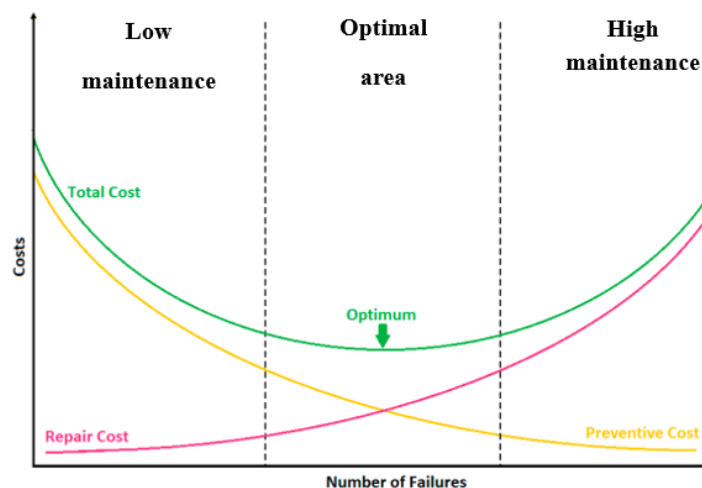


Figura 11: Andamento dei costi in funzione del livello di manutenzione adottato [14].

1.8 Il CMMS (Computerized Maintenance Management System)

Negli ultimi decenni, i sistemi informativi hanno assunto un ruolo sempre più centrale e strategico nelle aziende, sia nel settore manifatturiero che nei servizi. In particolare, l'adozione di soluzioni tecnologiche avanzate per la gestione della manutenzione rappresenta un pilastro fondamentale per realizzare un sistema orientato alla TPM (Total Productive Maintenance). Uno degli aspetti più complessi in tale contesto riguarda proprio la scelta, l'implementazione e la gestione di un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System). Il CMMS è un sistema informativo progettato per supportare la pianificazione, l'esecuzione, il monitoraggio e l'analisi delle attività manutentive. Esso consente di tracciare lo stato delle apparecchiature (asset), registrare gli interventi effettuati, monitorare i costi associati e generare report utili per supportare decisioni strategiche relative alla gestione degli impianti, delle risorse umane e materiali [17].

Tra i principali vantaggi associati all'adozione di un CMMS si possono annoverare [19], [20]:

- Individuazione delle criticità e supporto all'adozione di politiche di miglioramento continuo;
- Riduzione della variabilità operativa, attraverso il monitoraggio costante degli asset;
- Supporto decisionale, mediante l'analisi storica in tempo reale delle performance degli impianti;
- Conservazione strutturata del know-how aziendale, fondamentale per garantire continuità e trasferimento di competenze nel tempo;
- Integrazione con la produzione, permettendo una pianificazione manutentiva coerente con i cicli produttivi reali.

Nel tempo, i CMMS si sono evoluti da strumenti elementari, utilizzati principalmente per supportare interventi di manutenzione prevedibili, a soluzioni complesse, scalabili e modulabili, capaci di coprire

un ampio spettro di funzionalità avanzate. Questa trasformazione è stata alimentata non solo dall'evoluzione tecnologica, ma anche dall'adozione di approcci gestionali moderni e dalla spinta verso l'integrazione con altri sistemi informativi aziendali (es. ERP)[18].

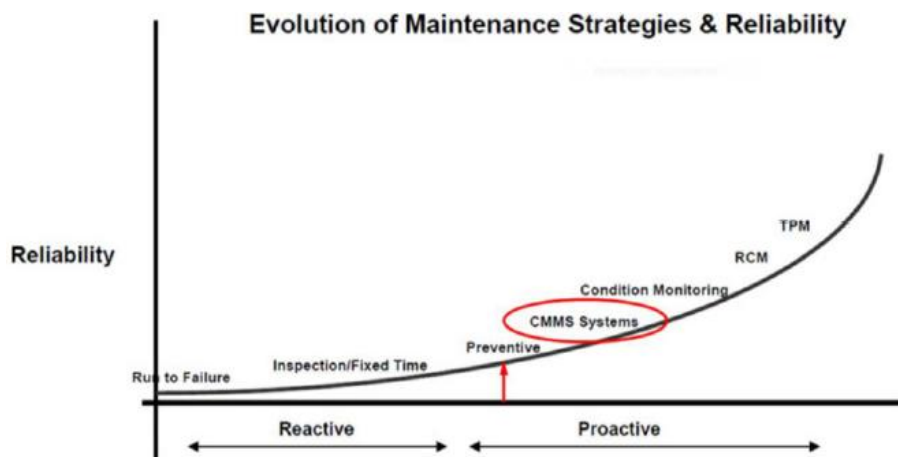


Figura 12: The Computerized Maintenance Management System [18].

Un CMMS moderno, offre oggi un'infrastruttura informativa solida e dinamica che consente una gestione strutturata degli asset, degli interventi e delle risorse, contribuendo in modo significativo a migliorare l'efficienza, la disponibilità e la tracciabilità delle operazioni di manutenzione. Tra le principali componenti funzionali di un CMMS moderno si includono[18]:

1) Gestione del contatto con il cliente

Questa funzione rappresenta l'interfaccia tra l'organizzazione manutentiva e l'utente finale, inteso come asset produttivo. Molte richieste d'intervento manutentivo sono originate da un Contact Center, il quale svolge un ruolo cruciale nella raccolta, gestione e instradamento delle segnalazioni. Le sue principali funzioni comprendono [18]:

- Ricezione multicanale delle richieste: attraverso telefono, e-mail, app mobile, portale web o persino sistemi di IoT integrati (es. sensori che inviano automaticamente alert);
- Classificazione automatica o manuale delle segnalazioni in base alla criticità, alla tipologia dell'intervento richiesto e al livello di servizio previsto da contratto;
- Assegnazione intelligente e dinamica delle attività manutentive, basata su criteri di disponibilità temporale e livello di specializzazione del personale tecnico;
- Storico dei clienti e tracciabilità. Ogni richiesta è collegata a un'anagrafica cliente e a un registro delle precedenti interazioni, utile per migliorare la qualità e la personalizzazione del servizio.

2) Gestione degli asset

Tale funzione consente di censire, monitorare e analizzare ogni entità tecnica soggetta a manutenzione, che può includere impianti, macchinari, infrastrutture, sistemi tecnologici o componenti critici. Tra gli elementi gestiti [18], [21]:

- Dati anagrafici dell'asset (codice identificativo, modello, produttore, anno di installazione);
- Caratteristiche tecniche e funzionali (scheda tecnica dell'asset produttivo);
- Cronologia degli interventi, utile per l'analisi dell'affidabilità;
- Documentazione associata, come manuali tecnici, certificati di collaudo, disegni CAD e checklist di ispezione;
- Monitoraggio delle performance, con KPI come MTBF, MTTR, disponibilità operativa, OEE.

3) Pianificazione della manutenzione programmata

Questa funzionalità consente di pianificare, automatizzare e monitorare tutte le attività di manutenzione preventiva e predittiva. Il CMMS consente la creazione di piani di manutenzione per ciascun asset, basati su [17], [20]:

- Intervalli temporali (es. ogni bimestrale, trimestrale, semestrale, annuale);
- Cicli d'utilizzo (es. ogni 10.000 ore di lavoro);
- Condizioni operative rilevate (es. vibrazioni, temperatura, consumo energetico);

4) Gestione ed allocazione delle risorse

Il CMMS consente un utilizzo efficiente delle risorse umane, massimizzando la produttività e minimizzando i tempi di inattività. Le funzionalità principali includono [19]:

- Tracciamento puntuale delle attività svolte da ciascun operatore, con registrazione automatica del tempo impiegato per ogni intervento tramite dispositivi mobile o badge;
- Gestione delle competenze e delle qualifiche professionali, verificando la conformità dei tecnici agli standard previsti per attività critiche;
- Assegnazione dinamica e intelligente dei task, sulla base della disponibilità in tempo reale, della prossimità geografica e della specializzazione tecnica del manutentore;
- Integrazione con dispositivi mobili e tecnologie cloud per aggiornamenti in tempo reale, gestione dei turni e visibilità completa della forza lavoro distribuita.

5) Gestione e movimentazione dei materiali

Una gestione efficace dei materiali e dei ricambi è cruciale per garantire la continuità operativa degli impianti. Il modulo CMMS dedicato alla logistica manutentiva permette di [17], [20]:

- Gestire scorte minime, massime e punti di riordino per ciascun componente;
- Attivare ordini automatici di reintegro, integrando i dati di consumo con modelli previsionali;

- Garantire tracciabilità completa dei ricambi, dal magazzino al punto di utilizzo, grazie a codici a barre o QR-code;
- Coordinare le attività con l'ufficio acquisti e gestire interfacce dirette con i fornitori.

6) Analisi statistica e reporting

Il valore aggiunto di un CMMS risiede nella sua capacità di trasformare dati operativi in informazioni strategiche, attraverso strumenti di business intelligence. I principali output analitici includono [21]:

- Dashboard interattive e report personalizzati, consultabili in tempo reale da desktop o mobile;
- Indicatori chiave di performance (KPI) come:
 - MTBF (Mean Time Between Failures),
 - MTTR (Mean Time To Repair),
 - Costo per intervento;
 - OEE (Overall Equipment Effectiveness),
 - DT (Downtime),
 - UT (Uptime)
- Valutazione della produttività del personale tecnico e confronto tra squadre/turni;
- Identificazione di trend ricorrenti, anomalie o inefficienze;
- Supporto alle decisioni strategiche, in ottica di miglioramento continuo (Total Quality Management) e manutenzione predittiva.

1.8.1 Implementazione di un CMMS

L'implementazione di un CMMS (Computerized Maintenance Management System) in ambito aziendale, rappresenta una trasformazione sistemica che coinvolge simultaneamente aspetti tecnologici, organizzativi e culturali. Dal punto di vista ingegneristico, non si tratta semplicemente dell'introduzione di un software, bensì della reingegnerizzazione dei processi manutentivi in ottica data-driven. Il CMMS per essere efficace deve poggiare su un modello gestionale coerente e funzionale come ERP.

Questi sistemi inizialmente sono stati concepiti per supportare la pianificazione e il controllo delle risorse produttive, ma successivamente con il passare degli anni, hanno sempre di più coinvolto molteplici aree funzionali critiche come: contabilità, gestione del personale, logistica, magazzino, produzione, relazioni con clienti e fornitori. Un ERP moderno si basa su un'architettura modulare, con un unico database relazionale e una rete di comunicazione (client-server o web-based), che consente la gestione sinergica e in tempo reale di tutti i processi aziendali. L'integrazione offerta da

un ERP elimina ridondanze, garantisce coerenza dei dati e consente di automatizzare attività che in precedenza richiedevano intervento umano [22], [23].

Quindi possiamo dire che, se il modello gestionale di partenza è disorganizzato, incompleto o semplicemente non in grado di produrre informazioni utili, la digitalizzazione non farà altro che rendere più rapida la diffusione di dati sbagliati. È pertanto indispensabile fare una suddivisione degli step che prevedono l'introduzione di un CMMS in azienda [22]:

- **Scelta del fornitore:** La scelta del fornitore è uno degli snodi decisivi per il successo di un progetto. È necessario valutare se il sistema proposto si adatta alla struttura organizzativa dell'azienda, al modello di business, e se la cultura del fornitore è in linea con quella dell'impresa. Oltre agli aspetti tecnici, vanno considerati anche elementi come il livello di assistenza post-vendita, la scalabilità del sistema e le referenze maturate in progetti analoghi.
- **Scelta del consulente e/o temporary manager:** Affiancare il progetto con una figura esterna qualificata, come un consulente o un temporary manager, può fare la differenza tra un'implementazione efficace e un insuccesso. Questa figura deve possedere competenze e capacità sia tecniche che organizzative, in modo da favorire l'accettazione del cambiamento.
- **Data cleaning:** Rappresenta una fase critica nel processo di implementazione di un nuovo sistema, poiché riguarda la garanzia di pulizia dei dati e degli archivi. Trasferire dati incoerenti, obsoleti o incompleti può avere effetti critici sull'affidabilità del sistema CMMS. Occorre quindi stabilire criteri chiari per decidere quali dati mantenere, aggiornare o eliminare, evitando di "sporcare" il nuovo ambiente con informazioni inutili.
- **Testing del sistema:** In questa fase occorre valutare attentamente tutti i problemi potenziali e/o reali. Questa fase non si limita alla prova delle singole funzionalità, ma deve includere la simulazione di processi completi e reali, come ad esempio la stampa di un report, la generazione di un ciclo ordine-fatturazione o la gestione dei resi. È importante coinvolgere gli utenti finali nelle attività di test, affinché possano familiarizzare con il sistema e segnalare criticità che spesso emergono solo nella pratica.
- **Cambiamento organizzativo:** Questa fase, implica una trasformazione nelle modalità operative, nei ruoli, nella cultura aziendale. La resistenza al cambiamento è una delle principali cause di fallimento dei progetti CMMS. Spesso gli utenti si oppongono per paura di perdere controllo, per abitudine o per difficoltà nell'apprendere nuove logiche. È fondamentale quindi prevedere sin dall'inizio un piano di change management che coinvolga i vertici aziendali, i responsabili di funzione e gli utenti chiave.

- Redazione di un budget di spesa: Un sistema CMMS, infatti, può richiedere un investimento economico che parte dalle centinaia di migliaia di euro a diversi milioni tenendo conto, ovviamente del numero di funzioni coinvolte nel processo di cambiamento. Per questo motivo, la definizione di un budget di spesa rappresenta una delle attività più complesse e delicate nell'ambito dell'implementazione di un CMMS. Numerosi progetti, infatti, hanno visto lievitare significativamente i costi rispetto alle previsioni iniziali, spesso a causa di una sottostima dei tempi o di una scarsa definizione degli obiettivi progettuali. Per costruire un budget efficace è fondamentale una stretta collaborazione tra l'azienda e il fornitore del sistema, al fine di definire in modo chiaro ciò che realmente serve all'impresa. Questa fase deve includere la definizione degli obiettivi, la redazione di un piano di lavoro dettagliato e la previsione di tutte le voci di spesa: non solo software e consulenza, ma anche formazione, attività di test, adattamento dei processi, gestione del cambiamento e supporto post go-live. Un budget ben costruito consente non solo di valutare la sostenibilità economica del progetto, ma anche di monitorarne l'avanzamento e gestire in modo efficace le aspettative del top management.

L'implementazione di un CMMS in azienda, non si tratta solo di un cambiamento tecnologico, ma di un cambiamento organizzativo e culturale. Il CMMS non deve essere un fine, ma un mezzo per evolvere verso una gestione moderna, strutturata e realmente orientata al miglioramento continuo.

Un ulteriore aspetto fondamentale è la formazione del personale. L'addestramento non deve limitarsi ai soli operatori informatici, ma deve coinvolgere gradualmente tutto il personale aziendale. La qualità della formazione, sia in termini di contenuto sia di estensione, è un elemento critico per il successo dell'implementazione. La direzione aziendale deve essere visibilmente coinvolta in ogni fase del progetto, rappresentando un punto di riferimento costante. Tuttavia, la realtà mostra che molte organizzazioni non raggiungono i benefici attesi: studi dimostrano che in media viene utilizzato meno del 9% del potenziale funzionale dei CMMS. Questo accade perché troppo spesso si sottovaluta la fase di pianificazione strategica, oppure si ignorano alcuni elementi essenziali, come[18], [19]:

- La definizione chiara dei compiti,
- La pianificazione temporale delle attività,
- L'attribuzione precisa delle responsabilità e delle autorità,
- La corretta allocazione delle risorse.

Una delle criticità più rilevanti che può emergere durante la fase di installazione di un sistema CMMS è di natura culturale e umana. Questi sistemi, infatti, comportano spesso una ridefinizione dei processi aziendali secondo logiche standardizzate e best practice incorporate nel software. Ciò può generare

resistenze e conflitti legati alla loro adozione. In ambito aziendale, questo si traduce in una marcata difficoltà da parte del personale ad abbandonare abitudini consolidate, strumenti familiari e modalità operative percepite come sicure. L'introduzione di un nuovo software può essere vissuta come una minaccia alla stabilità operativa individuale. Un'organizzazione troppo conservativa tende a resistere al cambiamento, mentre una gestione eccessivamente ottimistica può illudersi che il software risolva da solo i problemi esistenti. In entrambi i casi, la mancanza di un approccio metodico e strutturato compromette il successo del progetto. La presenza di consulenti esterni può essere un supporto valido, soprattutto nelle fasi iniziali, ma non può sostituire la partecipazione attiva del personale interno [18].

Il grafico sottostante evidenzia il percorso emotivo e comportamentale tipico che le persone attraversano di fronte a un importante cambiamento organizzativo, come l'introduzione di un nuovo software CMMS. Sull'asse orizzontale viene rappresentato il tempo, mentre su quello verticale il grado di accettazione del cambiamento. Inizialmente, i soggetti manifestano una forte resistenza caratterizzata da immobilismo, negazione e rabbia che si trasforma in un profondo senso di disorientamento e, in alcuni casi, depressione, fase corrispondente al punto più basso della curva. Con il passare del tempo, tuttavia, attraverso un periodo di sperimentazione e adattamento, si assiste a una risalita che culmina nell'accettazione e nell'integrazione del cambiamento, permettendo alle persone di riconoscerne i benefici e di stabilire una nuova normalità. Questo andamento evidenzia l'importanza di gestire il cambiamento in modo sistematico, attraverso una comunicazione trasparente e il supporto costante da parte della direzione, per facilitare l'evoluzione degli individui e dell'organizzazione. L'adattamento tecnologico da sempre incontra una resistenza interna da parte del personale. Per questo motivo l'adattamento a nuove procedure richiede formazione intensiva, coaching continuo e una gestione del cambiamento strutturata, pena il fallimento del progetto. Il coinvolgimento delle risorse umane è quindi cruciale per una corretta transizione[23], [24].

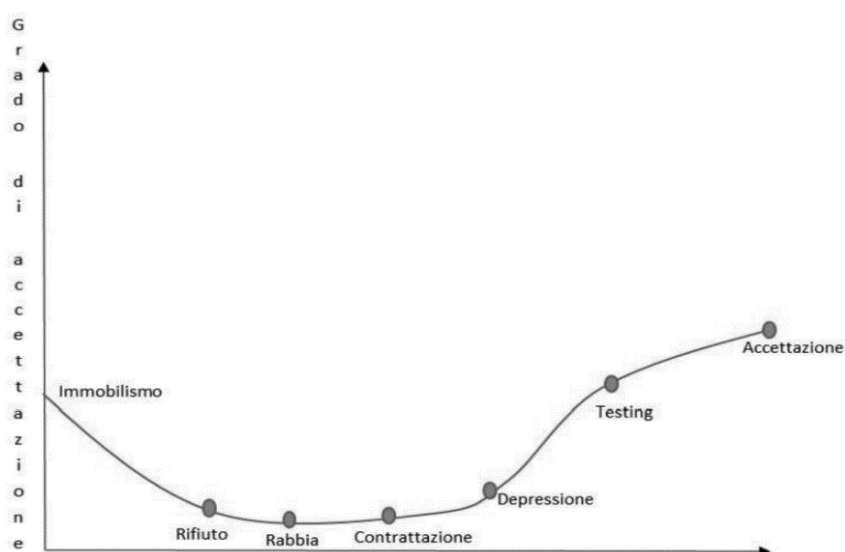


Figura 13: Curva di accettazione del cambiamento organizzativo dovuto all'introduzione di un CMMS [22].

Capitolo 2

2.1 Sacmigroup

2.1.1 Storia

Sacmi Imola è una delle aziende più innovative nel panorama industriale globale. Fondata nel 1919 a Imola, in provincia di Bologna, come "Società Anonima Cooperativa Meccanici Imola", l'azienda ha iniziato la propria attività occupandosi della riparazione di locomotive, macchine agricole ed enologiche, concentrandosi negli anni successivi con la costruzione di attrezzature industriali. Negli anni '30, Sacmi ha avviato la produzione di macchinari propri e successivamente nel 1945, ha introdotto la prima pressa per la ceramica a frizione per la ceramica, settore che sarebbe diventato il suo core business. Nel corso dei decenni, Sacmi ha ampliato il proprio raggio d'azione sviluppando nuove tecnologie e applicando i primi concetti di automazione industriale. Negli anni '50, l'azienda entrò nel mondo del packaging, realizzando i primi prototipi per la produzione di tappi a corona. A partire dagli anni '60 e '70, Sacmi ha intrapreso un'importante espansione internazionale, aprendo filiali in Germania, Giappone e Brasile, raggiungendo ad oggi 73 paesi in tutto il mondo, di cui 35 localizzate in Italia. Negli anni '90, l'azienda ha investito fortemente nello sviluppo di tecnologie per la plastica, introducendo il sistema di stampaggio continuo CCM (Continuous Compression Moulding) per la produzione di capsule, tecnologia che rappresenta ancora oggi un asset strategico e altamente competitivo del Gruppo. Con l'ingresso nel nuovo millennio, Sacmi ha consolidato la propria posizione di leadership globale grazie all'adozione di soluzioni digitali, sistemi di automazione avanzata, tecnologie di visione artificiale e strategie di produzione orientate alla sostenibilità ambientale [25].

Attualmente, Sacmi è un gruppo industriale di rilievo mondiale, con una solida struttura internazionale e un organico di circa 5.200 dipendenti, di cui circa 3.500 in Italia. Il fatturato annuo del Gruppo si attesta intorno a 1,76 miliardi di euro. La sede principale rimane a Imola, ma la rete di filiali e stabilimenti produttivi si estende in Europa, America, Asia e Africa, coprendo l'intero mercato globale. L'azienda ha saputo diversificare la propria offerta nel tempo, ampliando i settori di intervento e rispondendo con soluzioni tecnologiche avanzate alle esigenze di numerosi comparti industriali: dalla ceramica al packaging, dal food & beverage ai materiali avanzati. Negli ultimi dieci anni, Sacmi ha rafforzato il proprio impegno verso la sostenibilità ambientale, investendo risorse significative in energia da fonti rinnovabili, promuovendo il riciclo dei materiali e sviluppando linee di prodotto eco-compatibili. L'iniziativa interna "We ARE Green" sintetizza questa nuova visione strategica, volta a ridurre l'impatto ambientale lungo l'intero ciclo produttivo. Grazie al suo modello

cooperativo, alla capacità di innovare e a una forte vocazione internazionale, continua a crescere mantenendo saldi i valori originari: centralità del lavoro, eccellenza ingegneristica e responsabilità sociale [25].



Figura 14: Head Quarter Sacmi Imola [25].

2.1.2 Mercato e business a livello globale

Sacmi opera in numerosi settori industriali, assicurando una presenza consolidata nei principali mercati europei e mondiali. La strategia di diversificazione produttiva e internazionalizzazione è da sempre una delle leve competitive fondamentali di Sacmi, la quale ha saputo espandersi con successo in oltre 70 Paesi nel mondo, attraverso un network di 80 società operative, tra filiali commerciali, stabilimenti produttivi e centri di assistenza tecnica. Questa struttura internazionale consente a SACMI di offrire sul mercato di riferimento, soluzioni personalizzate, assistenza localizzata e tempi di risposta rapidi, anche in contesti geopolitici ed economici complessi. La solidità internazionale ha permesso all'azienda, di mantenere una posizione di rilievo anche durante fasi di instabilità economica globale, consolidando la propria reputazione come partner affidabile e tecnologicamente avanzato. Tuttavia, l'elemento che maggiormente distingue il Gruppo non è solo l'ampiezza della sua copertura geografica, ma il costante impegno nell'innovazione tecnologica. SACMI ha investito negli ultimi anni, un budget complessivo che ha superato i 150 milioni di euro. Tali investimenti sono orientati principalmente alla progettazione di tecnologie ad alta efficienza energetica, all'ottimizzazione dei processi industriali, alla digitalizzazione della produzione e allo sviluppo di soluzioni per l'economia circolare [25].

L'azienda è leader globale nel settore ceramico, grazie alla vasta gamma di impianti usati per la produzione di piastrelle, sanitari, stoviglie e laterizi. Questo comparto rappresenta lo storico core business di SACMI e il primo ambito in cui ha introdotto innovazioni radicali, come le presse ad altissime prestazioni, i sistemi di smaltatura e i forni a risparmio energetico. Queste soluzioni consentono alle aziende ceramiche clienti d'incrementare l'efficienza produttiva, ridurre i consumi energetici e migliorare la qualità del prodotto finito. Nel settore del packaging, SACMI occupa una posizione di primo piano a livello internazionale, in particolare nella progettazione e costruzione di

impianti per la produzione di tappi, capsule e contenitori in plastica. La tecnologia proprietaria CCM (Continuous Compression Moulding) è oggi riconosciuta come standard di riferimento per l'industria alimentare e delle bevande grazie alla sua elevata produttività, affidabilità e sostenibilità. SACMI ha inoltre consolidato una presenza significativa nel settore food & beverage, con sistemi completi per imbottigliamento, riempimento, etichettatura e confezionamento. L'azienda è in grado di fornire linee complete per la gestione di prodotti liquidi e solidi, combinando l'affidabilità meccanica con l'innovazione elettronica e digitale [25]. Un altro settore strategico per il gruppo è rappresentato dall'industria del metallo e dei materiali avanzati. SACMI in questi campi, è in grado di sviluppare soluzioni per il trattamento termico, la sinterizzazione, la pressatura isostatica e l'estrusione di materiali metallici, ceramici e compositi. Le tecnologie impiegate trovano applicazione in mercati ad alto valore aggiunto come quello aerospaziale, biomedicale, elettronico e della mobilità elettrica. L'approccio multisettoriale e orientato all'innovazione ha permesso a SACMI di costruire una leadership industriale trasversale, in grado di adattarsi alle esigenze dei mercati globali e anticipare le tendenze future. Il modello operativo integrato, unito all'elevata qualità delle soluzioni offerte, consente al gruppo di supportare i propri clienti lungo tutta la catena del valore, dallo sviluppo prodotto alla produzione su scala industriale, con una forte attenzione alla sostenibilità ambientale, all'efficienza energetica e alla digitalizzazione dei processi [25].

2.1.3 Prodotti e tecnologie

Sacmi si distingue per la sua capacità di sviluppare tecnologie proprietarie in grado di coprire l'intero ciclo produttivo, dalla materia prima al prodotto finito, includendo anche i sistemi di controllo qualità e automazione. Grazie a un approccio ingegneristico integrato, l'azienda è in grado di fornire soluzioni complete e personalizzate, adattabili alle specifiche esigenze dei clienti nei diversi comparti industriali in cui opera. I principali settori di produzione includono [25]:

- **Ceramica:** Macchine e impianti completi per la produzione di piastrelle, impianti per la produzione di sanitari che sfruttano tecnologie ad alta pressione ad essiccazione rapida, presse e macchine per lo sviluppo di stoviglie e refrattari.
- **Materiali avanzati:** Soluzioni per il trattamento termico di polveri per batterie agli ioni di litio, elettrodi e anodi per l'industria dell'alluminio e siderurgica. Sacmi progetta e sviluppa sia macchinari e attrezzature, sia forni di cottura per la produzione di questi materiali. Questi impianti comprendono forni ad alta efficienza, tecnologie di movimentazione e sistemi intelligenti di controllo del processo.

- **Packaging:** Sacmi progetta e realizza macchine automatiche per il confezionamento secondario di prodotti farmaceutici, alimentari e cosmetici, caratterizzati da un'elevata tecnologia e accessibilità per le operazioni di pulizia e manutenzione. La divisione Packaging & Chocolate sviluppa linee specifiche per il modellaggio, il dosaggio e l'avvolgimento di prodotti dolciari.
- **Food & Beverage:** Sviluppo di soluzioni avanzate per la modellatura del cioccolato, cacao, packaging per prodotti da forno e confezionamento in flow-pack di barretta (cereali, energetica, estrusa). L'azienda offre inoltre linee complete per il confezionamento primario e secondario per cioccolato, bakery e altri prodotti da forno.
- **Chiusure, preforme e contenitori:** Grazie alla nuova tecnologia CCM (Continuous Compression Moulding) sviluppata internamente da Sacmi, l'azienda è in grado di sviluppare linee complete per la produzione di tappi in plastica mediante stampaggio a compressione in continuo. Inoltre, offre diverse soluzioni per tappi destinati a bevande, chiusure per il settore farmaceutico e packaging per prodotti alimentari e non alimentari.
- **Metalli:** Sacmi è attiva anche nel settore della formatura dei metalli, grazie a tecnologie per la metallurgia delle polveri, formatura metallica e coniatura di leghe duttili.
- **Sistemi di controllo e visione:** Sacmi ha sviluppato una gamma avanzata di sistemi di controllo qualità basati su visione artificiale, sensori intelligenti e tecnologie digitali, con l'obiettivo di garantire elevati standard di affidabilità, tracciabilità e automazione in tutti i settori in cui opera.

Una delle innovazioni più rappresentative sviluppate da SACMI è la tecnologia CCM, impiegata per la produzione di capsule in plastica. Questo processo, rispetto allo stampaggio a iniezione tradizionale, garantisce maggiore efficienza produttiva, minori consumi energetici e una riduzione significativa degli scarti, rendendolo una soluzione altamente sostenibile e performante. Parallelamente, nel settore della ceramica sanitaria, SACMI ha introdotto stampi in resina porosa che consentono cicli di produzione più rapidi, maggiore precisione dimensionale e una qualità superiore del prodotto finito.



Figura 15: Prodotti realizzati da Sacmi Imola [25].

2.1.4 Sostenibilità

La sostenibilità rappresenta oggi un pilastro fondamentale della strategia industriale e di crescita del Gruppo SACMI. L'impegno dell'azienda in questo ambito si traduce in investimenti costanti per ridurre l'impatto ambientale delle proprie attività produttive, attraverso l'adozione di soluzioni mirate all'economia circolare, alla decarbonizzazione e alla valorizzazione delle risorse naturali. SACMI ha integrato i principi di sostenibilità all'interno dell'intera catena del valore, promuovendo modelli produttivi efficienti, circolari e digitalizzati, in grado di garantire al tempo stesso competitività e responsabilità ambientale. Tra i principali progetti green troviamo [25]:

- H.E.R.O. (High Efficiency Resource Optimizer): Si tratta di una suite tecnologica progettata per ottimizzare il bilancio energetico degli impianti ceramici e industriali. Il sistema permette di monitorare e ridurre i consumi energetici specifici in tempo reale, agendo su parametri chiave del processo (temperatura, pressione, velocità, cicli termici). Grazie a H.E.R.O., i clienti possono ottenere una significativa riduzione dei costi operativi e delle emissioni di CO₂.
- Riduzione dei consumi di energia e acqua: Sviluppo di impianti industriali dotati di sistemi di recupero termico la ricircolazione dell'acqua di processo e il riutilizzo degli scarti solidi. Queste soluzioni permettono una drastica riduzione dei consumi idrici ed energetici, contribuendo alla sostenibilità degli impianti in ottica LCA.
- Gestione dei rifiuti industriali: L'azienda adotta soluzioni innovative per il trattamento, la separazione e il riutilizzo dei residui di lavorazione, con l'obiettivo di minimizzare i rifiuti destinati allo smaltimento.
- Tecnologie a basso impatto ambientale: L'evoluzione delle macchine SACMI si orienta verso processi a basse emissioni, maggiore efficienza energetica e minimo impatto ambientale. I nuovi forni ceramici, le presse, gli impianti per il packaging e le macchine per il food sono progettati con logiche di sostenibilità integrata, che comprendono materiali riciclabili, riduzione degli sprechi e minor uso di sostanze chimiche.

La continua ricerca dell'innovazione, la forte attenzione alla sostenibilità e l'approccio orientato alla diversificazione e all'internazionalizzazione sono dunque i pilastri su cui si fonda il successo e il futuro di Sacmi.

2.1.5 Sviluppi futuri: Industria 4.0 e Automazione

Guardando al futuro, Sacmi punta sull'innovazione continua e sulla digitalizzazione dei processi produttivi. L'azienda sta sviluppando soluzioni integrate per l'Industria 4.0, con sistemi di automazione avanzata e controllo remoto degli impianti, riducendo i costi operativi e migliorando l'efficienza. Alcuni dei progetti più interessanti includono:

- **SACMI HERE:** È la piattaforma proprietaria per la gestione intelligente della produzione, progettata per integrare sistemi di manutenzione predittiva, diagnostica avanzata, analisi dei dati e gestione OEE (Overall Equipment Effectiveness). HERE permette agli operatori di monitorare da remoto lo stato degli impianti, intervenire in modo proattivo su anomalie e pianificare interventi manutentivi mirati, aumentando l'affidabilità e la disponibilità degli asset.
- **Espansioni nei mercati emergenti:** SACMI sta accelerando il proprio sviluppo in regioni ad alta crescita come Africa, Asia e America Latina, attraverso l'apertura di nuove sedi commerciali e centri di assistenza tecnica. Questa espansione consente di presidiare mercati strategici, offrendo soluzioni personalizzate in linea con le specificità produttive e infrastrutturali locali.
- **Automazione avanzata:** SACMI sta progressivamente integrando nelle proprie linee produttive soluzioni basate su Intelligenza Artificiale (AI) e Machine Learning, in grado di:
 - Ottimizzare automaticamente i parametri di processo;
 - Riconoscere pattern anomali nel ciclo produttivo;
 - Adattare le condizioni operative in tempo reale per massimizzare efficienza e qualità.
- **Ricerca su nuovi materiali e soluzioni sostenibili:** L'azienda investe nella sperimentazione di materiali alternativi, più leggeri, resistenti e con un minor impatto ambientale, in particolare nei settori della ceramica tecnica, dei refrattari, della metallurgia delle polveri e delle batterie. Tali attività si svolgono in collaborazione con università e centri di ricerca.

Capitolo 3

Il Caso Sacmi Imola

3.1 Analisi della situazione attuale nel reparto manutenzione

L'analisi che verrà presentata ha come obiettivo quello di esaminare in dettaglio il flusso delle attività relative alla gestione delle chiamate di manutenzione all'interno del reparto manutenzione, con un focus particolare sui reparti di cui la manutenzione interna di Sacmi agisce, ossia quello delle macchine utensili leggere, macchine utensili pesanti, la verniciatura, il magazzino e una categoria di macchine che viene identificata dal nome altro la quale raccoglie asset e impianti trasversali o non strettamente associati a un singolo reparto. L'attività analitica è finalizzata a comprendere in modo dettagliato la struttura, le modalità di esecuzione e le dinamiche operative che regolano l'intervento dei manutentori nei reparti produttivi, allo scopo di individuare eventuali inefficienze, ridondanze, punti critici o mancanze di tracciabilità che possano influenzare negativamente la tempestività e la qualità del servizio di manutenzione. In questo contesto verrà analizzato nel dettaglio l'attuale processo di gestione delle segnalazioni, che ha inizio con la comunicazione di un guasto o malfunzionamento da parte del responsabile di reparto, o direttamente dall'operatore, e che viene indirizzata al responsabile della manutenzione o ai due referenti tecnici (elettronico e meccanico).

A seguito della segnalazione effettuata, verrà esaminato l'iter attualmente adottato in Sacmi Imola per la gestione operativa degli interventi manutentivi. In particolare, verrà descritto il processo che si attiva in caso di avvio di un'attività di manutenzione su una macchina o impianto. Attualmente, l'intervento manutentivo viene formalizzato attraverso l'apertura di un buono di lavoro (OdM – Ordine di Manutenzione), generalmente:

- A cura del manutentore che prende in carico l'intervento, se si tratta di un intervento correttivo (non pianificati);
- A cura del responsabile di manutenzione, se si tratta di un intervento programmato o preventivo.

Tale apertura, tuttavia, non avviene in modo sistematico per ogni segnalazione ricevuta: viene infatti attivata solo al verificarsi di determinate condizioni operative o gestionali, spesso in funzione della tipologia di macchina, della criticità del guasto, delle tempistiche di riparazione oppure dal consumo o meno di materiale a magazzino. Una volta aperto l'OdM, l'intervento viene considerato ufficialmente in esecuzione. Il manutentore procede con l'attività tecnica e, al termine, ne documenta lo svolgimento, indicando le ore di lavoro impiegate, i materiali eventualmente utilizzati e ogni

informazione tecnica rilevante. La chiusura del buono conclude il ciclo operativo dell'intervento, consentendo la raccolta dei dati necessari per l'analisi tecnica e la rendicontazione gestionale.

Questo flusso costituisce l'unità operativa elementare dell'attuale modello di manutenzione, ed è alla base della gestione degli interventi correttivi e straordinari in uso nei reparti di produzione. La sua evoluzione e digitalizzazione saranno oggetto di analisi puntuale nelle sezioni successive del presente documento.

L'analisi del modello As-Is rappresenta il punto di partenza del progetto di tesi. Essa ha permesso di indentificare i punti deboli, colli di bottiglia e mancanza di standardizzazione che influiscono sulla qualità del processo e sulla disponibilità di dati strutturati per l'analisi e il miglioramento continuo.

A partire da questa base, il lavoro prosegue con la valutazione di un possibile scenario evolutivo (To-Be), fondato sull'introduzione della piattaforma Interacta, una soluzione digitale che consente di:

- Strutturare e centralizzare il flusso di gestione degli interventi;
- Automatizzare la tracciabilità operativa,
- Migliorare la comunicazione tra i reparti coinvolti,
- Rendere disponibile in tempo reale la documentazione tecnica e lo storico degli interventi,
- Generare dati fruibili per l'analisi delle performance manutentive.

L'adozione di Interacta rappresenta una leva tecnologica per la digitalizzazione del processo manutentivo e sarà oggetto d'approfondimento nei capitoli successivi, dove ne verranno analizzate le funzionalità specifiche, i benefici attesi e le modalità d'integrazione con i sistemi già presenti in azienda.

3.2 Costituzione del reparto manutenzione

All'interno dello stabilimento Sacmi Imola, il reparto manutenzione rappresenta una funzione operativa trasversale e strategica, il cui compito primario è garantire la piena efficienza e continuità operativa degli impianti e delle infrastrutture aziendali. Attraverso un insieme strutturato di attività, il reparto fornisce supporto tecnico a diversi enti interni, intervenendo sia in ottica preventiva, mediante azioni pianificate volte a ridurre il rischio di guasti, sia in modalità correttiva o a guasto, per ripristinare tempestivamente la funzionalità in caso di anomalie o malfunzionamenti imprevisti. L'obiettivo complessivo del servizio manutentivo è quello di minimizzare i tempi di fermo impianto, assicurare un elevato livello di disponibilità operativa delle risorse produttive e mantenere la sicurezza e l'affidabilità delle attrezzature nel tempo. I reparti che usufruiscono in modo diretto dei servizi forniti dalla manutenzione interna sono:

1. **Reparto Macchine Utensili Pesanti:** Questo reparto è impegnato nella lavorazione e produzione di macchinari di grandi dimensioni, con l'impiego di utensili pesanti e di dimensioni considerevoli. La manutenzione preventiva e correttiva è fondamentale per mantenere l'efficienza di questi strumenti, che sono utilizzati in operazioni complesse e che, in caso di fermo, possono compromettere il flusso produttivo.
2. **Reparto Macchine Utensili Leggere:** Questo reparto è costituito da macchinari più piccoli ma comunque indispensabili per la produzione. Anche in questo caso, la manutenzione svolge un ruolo cruciale nel garantire che gli impianti non subiscano guasti improvvisi che potrebbero rallentare o bloccare la produzione.
3. **Magazzino Generale:** Il magazzino, pur non essendo direttamente coinvolto nella produzione, è un elemento fondamentale della catena logistica. La manutenzione degli impianti che gestiscono lo stoccaggio e il movimento dei materiali è essenziale per evitare ritardi e ottimizzare i flussi di materiale all'interno dell'azienda.
4. **Altri enti aziendali:** Oltre ai reparti già citati, il reparto manutenzione offre il suo supporto a una serie di altre funzioni aziendali, per esempio, nella manutenzione delle infrastrutture e degli impianti ausiliari che supportano la produzione principale.

3.3 Strumenti informatici utilizzati nel reparto manutenzione

Nel reparto "Manutenzione" di Sacmi Imola, l'adozione di soluzioni informatiche avanzate è fondamentale per ottimizzare le operazioni quotidiane e garantire una gestione efficiente delle risorse e dei processi tecnici. La presenza di un'infrastruttura digitale articolata consente di coordinare in modo integrato le attività manutentive, ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre i tempi di risposta e garantire una gestione più strutturata e tracciabile delle informazioni. Attualmente, il reparto manutenzione fa uso di quattro principali strumenti informatici, ognuno con un ruolo ben definito all'interno del sistema di gestione tecnico-produttiva. Di seguito se ne fornisce una descrizione dettagliata.

1. **SAP:** È il sistema gestionale ERP (Enterprise Resource Planning) aziendale centrale, adottato a livello corporate. All'interno del reparto manutenzione, viene utilizzato per:
 - Usato per registrare, compilare e chiudere gli ordini di manutenzione ODM;
 - Usato per gestire acquisti tramite emissione di richieste d'acquisto (RdA) e ordini verso fornitori esterni;

- Usato per la registrazione e tracciabilità dei costi legati a interventi, materiali e manodopera.

Il vantaggio principale di SAP risiede nella centralizzazione e integrazione dei dati, che consente di correlare aspetti tecnici, logistici, finanziari e produttivi all'interno di un unico ambiente. La sua architettura modulare permette inoltre l'interoperabilità con altri sistemi (es. Prometeo, EasyStore), garantendo tracciabilità end-to-end delle operazioni e una base informativa solida per le decisioni strategiche.

2. Prometeo Manutenzione: Prometeo è il CMMS (Computerized Maintenance Management System) adottato da Sacmi come piattaforma tecnica dedicata alla gestione della manutenzione. Il sistema è stato progettato per offrire un supporto completo alla pianificazione, esecuzione e tracciamento delle attività manutentive, con una struttura modulare orientata all'integrazione con altri strumenti aziendali. Tra le principali funzionalità previste dal sistema vi sono:

- La gestione della manutenzione preventiva, con programmazione ciclica degli interventi;
- La generazione e assegnazione degli Ordini di Manutenzione (OdM);
- La raccolta e consultazione dello storico tecnico per ciascun asset;
- La generazione di statistiche manutentive e indicatori di performance (es. MTTR, MTBF);
- L'interfacciamento con SAP per la trasmissione di dati economico-gestionali;

Tuttavia, è importante evidenziare che allo stato attuale Prometeo non è ancora pienamente operativo, e molte delle funzionalità sopra elencate rappresentano potenzialità progettuali non ancora attivate o completamente integrate nei flussi di lavoro reali. In particolare, la manutenzione preventiva, l'elaborazione automatica dei dati storici non sono ancora gestite in modo sistematico tramite Prometeo, e alcune operazioni continuano a essere svolte attraverso strumenti paralleli o con supporti manuali. Ai fini del To-Be, più nello specifico durante l'interfacciamento Prometeo-Interacta e Prometeo-SAP questo software dovrà essere a pieno regime, in modo che i dati possano muoversi lungo questi tre software.

3. Microsoft Project: È impiegato per la pianificazione operativa delle attività manutentive, in particolare quelle complesse, straordinarie, programmate o legate a interventi interdipartimentali. Le sue principali funzionalità includono:

- La definizione delle fasi di lavoro, con assegnazione di responsabilità, tempi e risorse;
 - La costruzione di diagrammi di Gantt per visualizzare la sequenza temporale e le dipendenze tra le attività;
 - La gestione e la modifica dei piani di manutenzione;
 - Il monitoraggio dell'avanzamento dei lavori, con evidenza di ritardi, sovrapposizioni o scostamenti dal piano;
4. EasyStore: È il sistema informativo a supporto della gestione del magazzino ricambi, utilizzato per tracciare in tempo reale il movimento dei materiali. La sua integrazione con SAP consente:
- La registrazione automatica dei prelievi e carichi di magazzino;
 - La verifica della disponibilità delle scorte;
 - L'ottimizzazione delle attività di approvvigionamento;
 - La gestione delle giacenze minime e degli ordini automatici.

EasyStore è utilizzato quotidianamente dal personale di magazzino e dai manutentori per garantire che i materiali necessari agli interventi siano disponibili, accessibili e tracciabili. Il sistema consente di ridurre i tempi di ricerca e movimentazione, contribuendo alla velocizzazione dell'intero ciclo di manutenzione.

3.4 Gestione chiamate pronto intervento

La gestione delle chiamate di pronto intervento rappresenta infatti una delle attività più onerose e complesse per il reparto manutenzione, poiché include tutte le operazioni preliminari che precedono l'effettiva apertura di un ordine di lavoro di manutenzione e la sua consuntivazione. Nonostante la rilevanza operativa di queste attività, l'attuale modalità di gestione presenta numerose problematiche, che ne compromettono l'efficienza, la qualità del servizio e la sua tracciabilità.

Attualmente, non esiste alcun canale ufficiale né una metodologia condivisa per la comunicazione e la registrazione delle richieste di intervento. Le richieste di manutenzione vengono comunicate al responsabile di reparto attraverso cinque modalità differenti: telefono, email, teams, whatsapp e voce. Questa frammentazione dei canali di comunicazione rende la gestione delle richieste particolarmente

complessa e disorganizzata, con conseguenti inefficienze operative che impattano sul flusso di lavoro e sulla qualità delle informazioni trasmesse. Questo si traduce in una serie di inefficienze:

- Frammentazione dei canali di comunicazione delle informazioni: Questa tipologia di frammentazione costituisce una delle principali problematiche. Le richieste inviate attraverso questi vari canali spesso risultano incomplete, poco chiare o imprecise e causano:
 - Difficoltà nell'interpretazione del problema/guasto da parte del responsabile della manutenzione o dei tecnici incaricati;
 - Assenza di uno storico centralizzato delle richieste impedisce di recuperare facilmente dati pregressi o verificare con precisione la cronologia degli eventi;
 - La mancanza di formalizzazione e l'elevata soggettività delle comunicazioni aumentano il rischio di errori nella valutazione della priorità, assegnazione dell'intervento e allocazione delle risorse;
- Imprecisione delle informazioni: In assenza di un formato standard per l'invio delle segnalazioni, le richieste risultano frequentemente lacunose o formulate in modo impreciso. In molti casi, i messaggi includono tentativi di diagnosi o soluzioni presunte da parte dell'operatore richiedente, piuttosto che una descrizione oggettiva e tecnica del guasto. Questo approccio non strutturato rende difficile per il responsabile valutare con precisione la gravità, l'urgenza e la tipologia dell'intervento necessario, generando un margine di errore elevato nella pianificazione e nella priorità dell'attività.
- Sistema non centralizzato per la ricezione e la gestione delle richieste: Il sistema attuale non consente di monitorare in modo strutturato le richieste prima dell'apertura dell'OdM. Questo significa che l'intera fase iniziale (dalla segnalazione al momento di avvio dell'intervento) rimane priva di registrazione, rendendo impossibile la misurazione oggettiva dei tempi di risposta, dei tempi di attesa, del tasso di chiamate evase o accumulate, e della distribuzione del carico di lavoro. Di conseguenza, non è possibile disporre di metriche affidabili per analizzare l'efficacia del servizio manutentivo in termini di tempestività e capacità di risposta.
- Alto carico di lavoro sul responsabile manutenzione: Il responsabile della manutenzione si trova quotidianamente a gestire un numero elevato di richieste provenienti da diverse fonti. Ogni richiesta deve essere presa in carico, filtrata per valutarne l'urgenza e l'importanza, e infine assegnata ai manutentori in base alla tipologia dell'intervento richiesto. Tutto ciò avviene attraverso gli stessi canali di comunicazione frammentati, aumentando il rischio di errori e ritardi nella gestione delle chiamate. Inoltre, la gestione delle priorità avviene esclusivamente in base all'esperienza del responsabile, senza l'esistenza di un criterio strutturato e definito al momento

della richiesta. Questo approccio non solo crea difficoltà nell'assegnazione tempestiva e adeguata delle priorità, ma porta anche a un carico di lavoro poco equilibrato tra i membri del team.

Alla luce di questo scenario, si evidenzia la necessità di introdurre una soluzione digitale strutturata in grado di:

- Centralizzare la ricezione delle segnalazioni in un'unica piattaforma;
- Standardizzare i dati trasmessi attraverso modelli predefiniti (ad es. campi obbligatori, classificazione guasti, foto, urgenza);
- Tracciare tutte le richieste fin dalla fase iniziale, anche prima dell'apertura dell'OdM;
- Automatizzare la classificazione e l'assegnazione in base a regole configurabili;
- Fornire al responsabile uno strumento di supporto decisionale, basato su dati storici e KPI;

In questa ottica, è stata avviata l'introduzione della piattaforma Interacta, con l'obiettivo di digitalizzare in modo strutturale e completo l'intero processo manutentivo, a partire dalla gestione delle segnalazioni di guasto fino alla chiusura dell'intervento, includendo anche la programmazione delle attività manutentive e il monitoraggio delle loro performance. La piattaforma non si limiterà a centralizzare la ricezione delle richieste di intervento, ma fungerà da ambiente digitale integrato, in grado di supportare e semplificare tutte le fasi operative del ciclo manutentivo. In particolare, Interacta consentirà di:

- Definire un modello informativo standardizzato, che uniformi i contenuti delle richieste, riducendo ambiguità, incompletezze e interpretazioni soggettive;
- Generare e gestire i post di intervento, formalizzando ogni attività manutentiva con una tracciabilità completa dall'apertura alla chiusura;
- Monitorare le attività in corso tramite dashboard operative, con indicatori di stato, tempi di risposta e carichi di lavoro aggiornati in tempo reale;
- Supportare la pianificazione degli interventi programmati, permettendo una schedulazione ordinata delle attività preventive, assegnata secondo disponibilità e competenze;

L'adozione di Interacta rappresenta, a tutti gli effetti, un punto di svolta nel percorso di digitalizzazione dei processi manutentivi di Sacmi Imola. La piattaforma introduce una logica operativa orientata alla collaborazione, alla trasparenza e alla disponibilità dei dati in tempo reale, trasformando l'attuale sistema, frammentato e parzialmente manuale, in un ecosistema coerente, tracciabile e scalabile. Per garantire una corretta implementazione della soluzione, sarà fondamentale analizzare nel dettaglio le modalità operative reali con cui vengono eseguiti gli interventi, siano essi

programmati o correttivi. Questo permetterà di configurare le interfacce applicative e i flussi digitali di Interacta in modo coerente con le esigenze del personale tecnico, assicurando un'esperienza utente semplice, intuitiva e accessibile, sia da desktop che da dispositivi mobili.

3.5 Gestione processo di manutenzione

Per comprendere in modo oggettivo e completo i benefici che l'introduzione della piattaforma Interacta può apportare alla gestione manutentiva di Sacmi Imola, è necessario descrivere in modo dettagliato il processo attualmente in uso (As-Is) per il trattamento di un guasto o malfunzionamento su una macchina.

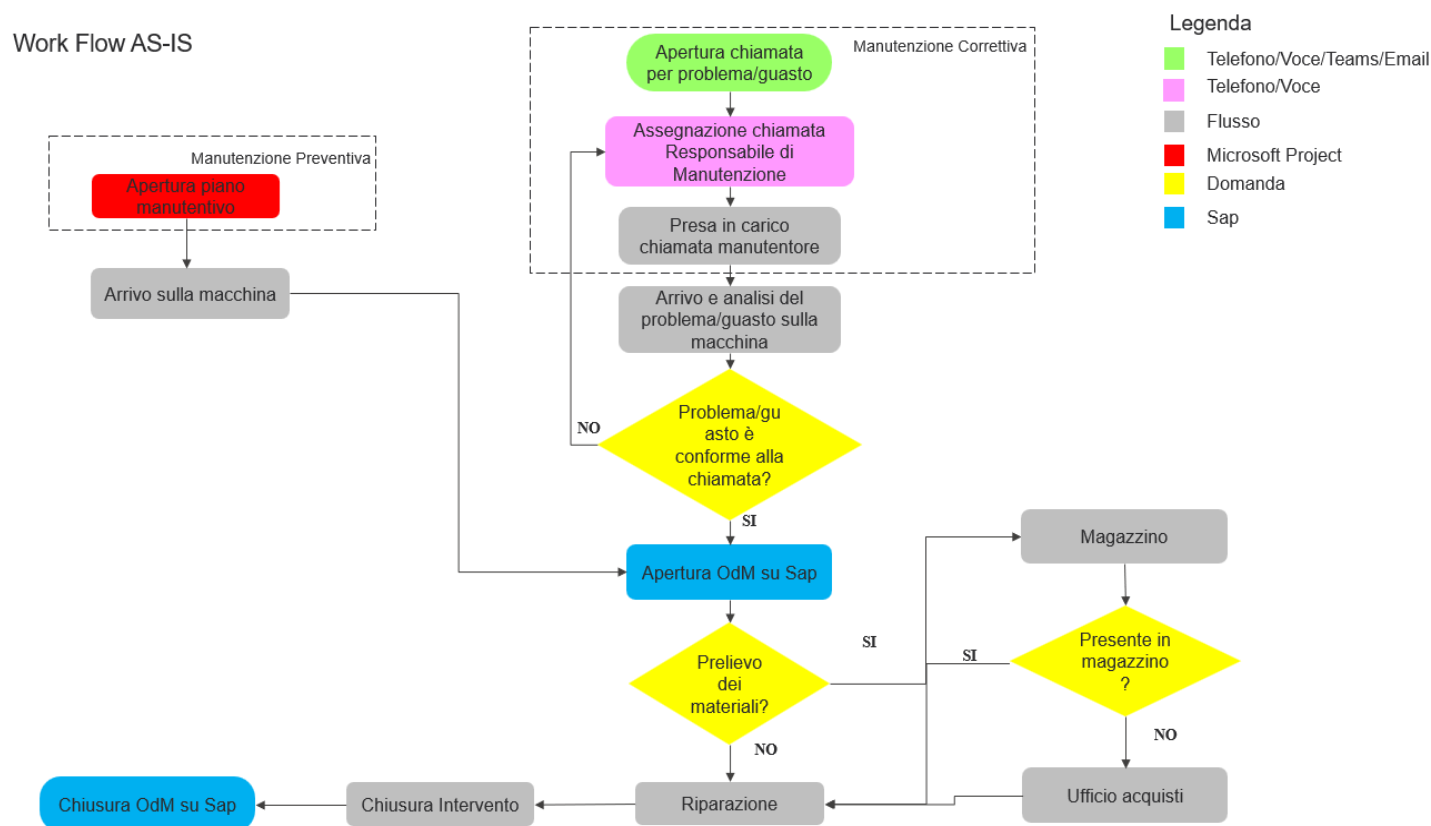


Figura 16: Work-Flow stato As-Is.

Il workflow, rappresentato nel grafico, illustra le due principali modalità operative attualmente adottate: la manutenzione preventiva, pianificata in anticipo, e la manutenzione correttiva, attivata su richiesta a seguito di una segnalazione di guasto. In questo progetto di tesi andrò ad analizzare nel dettaglio quest'ultima tipologia di intervento, focalizzandomi in particolare sull'efficientamento della fase iniziale della manutenzione, ovvero il tempo di attesa: il periodo che intercorre tra il verificarsi di un guasto o problema su una macchina e l'effettivo arrivo del manutentore.

Nel caso di intervento correttivo (pronto intervento) il processo ha inizio con una chiamata da parte del responsabile di reparto o operatore al responsabile della manutenzione. In caso di sua assenza, la richiesta viene inoltrata ai due referenti della manutenzione, rispettivamente per la parte meccanica ed elettronica. Si tratta di una fase comunicativa ancora gestita tramite canali non ufficiali (telefono, voce, e-mail, teams, whatsapp), non strutturati e non tracciabili. Una volta ricevuta la segnalazione, il responsabile valuta la richiesta, la assegna al manutentore disponibile e competente, e ne coordina la presa in carico.

Il manutentore si reca quindi sul posto, analizza il guasto e valuta se quanto riscontrato corrisponde a quanto comunicato. Solo nel caso in cui il guasto risulti sufficientemente rilevante, secondo i criteri stabiliti dalla policy manutentiva aziendale, viene avviata la fase successiva: l'apertura dell'ordine di manutenzione (OdM), chiamato anche buono di lavoro, all'interno del sistema SAP. In caso contrario, si procede direttamente con l'intervento manutentivo, senza aprire alcun OdM. L'apertura dell'OdM avviene:

- Se la durata dell'intervento supera i 30 minuti;
- Se durante l'intervento vengono utilizzati materiali primari (ricambi rilevanti o costosi);

Il secondo elemento di questi due punti sopra riportati è vincolante, ossia se si va a prelevare del materiale dal magazzino chiamato "necessario" (es. motore), non importa quanto sia la durata dell'intervento, il buono di lavoro (OdM) viene aperto a prescindere. Al contrario, se l'intervento si risolve in un tempo ridotto (inferiore ai 30 minuti) e con utilizzo esclusivo di materiale secondario (es. viti o bulloni), per prassi non viene generato alcun OdM e l'intervento non viene tracciato nel sistema SAP, restando privo di documentazione strutturata. Una volta aperto, l'ordine di manutenzione rappresenta l'elemento centrale del processo tecnico e gestionale. Viene identificato da un codice univoco, formato dal prefisso 81xxxxxx, e funge da contenitore per tutte le informazioni operative ed economiche associate all'intervento. Su di esso vengono registrati:

- I tempi di esecuzione (ore lavoro del personale interno);
- I materiali impiegati (prelevati da magazzino o acquistati);
- Eventuali servizi esterni coinvolti (in caso di appoggio a fornitori).

Oltre a queste informazioni, vengono anche consuntivati i vari costi, ad esempio:

- Costi relativi alla manutenzione interna, che riguardano le ore di lavoro del personale;
- Costi per prestazioni esterne, qualora vengano coinvolti fornitori esterni;

- Costi relativi ai materiali, siano essi prelevati dal magazzino interno o acquistati da fornitori esterni.

All'apertura dell'ordine di manutenzione, il codice dell'intervento viene condiviso tramite chat interna, garantendo il coordinamento tra i membri del team manutentivo e assicurando che il cliente interno (il reparto che ha richiesto l'intervento) sia allineato sull'esito e lo stato dell'attività. Parallelamente, l'intervento prosegue con l'eventuale verifica della necessità di materiali. Se non sono richiesti, si passa direttamente alla fase operativa. In caso contrario, il manutentore accede al magazzino per il prelievo. Se i componenti risultano indisponibili, viene attivato il coinvolgimento dell'ufficio acquisti, con conseguente allungamento dei tempi di risoluzione.

Terminata la riparazione, si procede alla chiusura tecnica dell'attività, che prevede la consuntivazione dettagliata delle operazioni svolte, l'indicazione dei materiali utilizzati e la registrazione delle ore lavorate. L'OdM viene quindi chiuso formalmente su SAP, con aggiornamento dello storico impianto e delle voci economiche. Nel caso invece di intervento programmato, l'attività è pianificata dal responsabile della manutenzione secondo il piano manutentivo definito a monte. In questo scenario, non è presente una chiamata iniziale: il flusso si attiva direttamente con l'apertura pianificata dell'OdM, e le fasi successive arrivo sul posto, eventuale uso materiali, riparazione, chiusura seguono la medesima logica di consuntivazione. In entrambi i casi, l'apertura dell'OdM è un passaggio critico e determinante per garantire la tracciabilità, la rendicontazione e il controllo gestionale delle attività manutentive. Tuttavia, come evidenziato nel workflow, l'assenza di strumenti digitali integrati nella fase iniziale di comunicazione e presa in carico comporta ritardi, dispersione informativa e mancanza di standardizzazione. Il processo As-Is risulta quindi efficace sul piano tecnico, ma fragile sul piano organizzativo e documentale.

Passeremo ora a un'analisi dettagliata delle fasi operative illustrate nel grafico, con l'obiettivo di ricostruire il flusso di lavoro quotidiano dei manutentori e individuare con maggiore precisione i punti in cui l'introduzione di Interacta potrà generare valore aggiunto.

3.5.1 Gestione della chiamata per intervento di manutenzione sul campo

Quando si verifica un guasto o un malfunzionamento a una o più macchine all'interno dei reparti in Sacmi Imola, il primo a rilevare il problema è l'operatore. Il quale, se non è in grado di risolverlo autonomamente, informa tempestivamente il responsabile del reparto. Quest'ultimo valuta la natura del guasto e determina se si tratta di un problema di natura meccanica o elettrica. Questa distinzione è fondamentale per indirizzare correttamente la richiesta di intervento al team di manutenzione competente. Per questo motivo, il responsabile di reparto una volta ricevuta la segnalazione dall'operatore, provvederà a notificare prontamente il problema al responsabile della manutenzione. Quest'ultimo diventa il punto di riferimento per la gestione dell'intervento e l'avvio del processo di manutenzione.

Una delle principali criticità emerse durante l'analisi del processo manutentivo riguarda l'imprecisione nella fase di segnalazione del guasto da parte dell'operatore o del responsabile di reparto. In particolare, si è riscontrato che, in alcune circostanze, l'operatore di linea o il responsabile di reparto non sono in grado di identificare correttamente la natura del malfunzionamento, oppure forniscono una diagnosi errata del problema che affligge la macchina. Questa errata classificazione iniziale ha ripercussioni dirette sulle fasi successive dell'intervento. Ad esempio, il responsabile di reparto potrebbe comunicare al responsabile della manutenzione la presenza di un guasto di tipo meccanico, quando in realtà il problema ha origine elettrica o elettronica (e viceversa).

Di conseguenza, il responsabile della manutenzione attiva un manutentore specializzato in base alla natura del guasto segnalato, il quale una volta giunto sulla macchina, constata che il problema reale è di competenza di un'altra figura tecnica. Tale disallineamento informativo comporta una perdita di tempo significativa, dovuta alla necessità di coinvolgere successivamente il manutentore appropriato, con un conseguente prolungamento del tempo di fermo macchina e un impatto negativo sulle ore di produzione perse, in caso di macchina ferma. Questa problematica evidenzia l'importanza di implementare strumenti e procedure standardizzate per la corretta classificazione del guasto sin dalla prima segnalazione, al fine di garantire una risposta manutentiva tempestiva ed efficace, riducendo al minimo l'indisponibilità degli impianti.

Un'ulteriore criticità riscontrata riguarda la gestione operativa in caso di assenza del responsabile della manutenzione. Tale situazione può generare inefficienze organizzative, la cui entità varia in funzione della natura dell'assenza stessa. Nel caso in cui l'assenza sia programmata, ad esempio per ferie, il responsabile della manutenzione provvede con congruo anticipo solitamente circa una settimana prima a comunicarne formalmente la durata e le modalità di gestione temporanea, tramite messaggistica interna (Microsoft Teams) e e-mail. La comunicazione viene indirizzata sia a tutto il

personale del reparto manutenzione, sia ai referenti dei 5 reparti produttivi che usufruiscono del supporto manutentivo.

All'interno della comunicazione vengono specificati:

- I giorni esatti di assenza del responsabile;
- I nominativi dei manutentori incaricati a sostituirlo temporaneamente, generalmente uno specializzato in ambito elettrico e uno in ambito meccanico.

Diversamente, qualora l'assenza del responsabile sia improvvisa e non programmata (ad esempio, per motivi personali o di salute), la comunicazione viene effettuata esclusivamente via e-mail, e la tempistica di notifica è significativamente ridotta, dipendendo dalla natura e dall'urgenza del motivo dell'assenza. In tali casi, la capacità di reazione del sistema manutentivo dipende fortemente dalla prontezza organizzativa del reparto e dalla disponibilità di un piano di sostituzione già definito. Tale dinamica sottolinea l'importanza di strutturare un protocollo standardizzato per la gestione delle assenze, al fine di garantire la continuità operativa del servizio manutentivo e ridurre al minimo l'impatto sul ciclo produttivo aziendale.

3.5.2 Assegnazione degli interventi e criticità gestionali: il ruolo del responsabile della manutenzione

Una volta ricevuta la segnalazione del guasto dal responsabile del reparto, il responsabile della manutenzione prende immediatamente in carico la richiesta di intervento. La prima fase consiste nell'analizzare la situazione in reparto, verificando la disponibilità di un manutentore meccanico o elettronico per occuparsi della riparazione, a seconda della natura del problema riscontrato. Inoltre, deve accertarsi che il manutentore selezionato possieda le competenze specifiche necessarie per risolvere il guasto, valutando le conoscenze tecniche richieste dalla macchina e dal tipo di intervento. Dopo aver valutato disponibilità e competenze, il responsabile della manutenzione assegna l'intervento al manutentore più idoneo, ottimizzando tempi e risorse in base alla situazione. La scelta del manutentore è cruciale per garantire un'efficace gestione della manutenzione, poiché un intervento rapido e ben eseguito riduce al minimo i tempi di fermo macchina, evitando disagi produttivi.

Tuttavia, una criticità rilevante in questa fase riguarda l'assenza di una visibilità in tempo reale sullo stato operativo dei manutentori. Attualmente, il responsabile della manutenzione non dispone di uno strumento centralizzato che consenta di sapere con precisione dove si trova ciascun manutentore, se

è disponibile o già impegnato, su quale macchina sta operando, da quanto tempo è in intervento e che tipo di guasto sta trattando. Per ottenere queste informazioni, è costretto a contattare telefonicamente i due referenti della manutenzione oppure a recarsi fisicamente nel reparto manutenzione per verificare se c'è un manutentore disponibile ad assumere l'intervento appena segnalato, con evidenti ripercussioni sull'efficienza e tempestività del processo decisionale.

L'introduzione di un sistema come Interacta rappresenterebbe una possibile soluzione a questa problematica, in quanto permetterebbe di visualizzare attraverso una dashboard lo stato aggiornato di ogni manutentore nel momento in cui prende in carico una chiamata di intervento. In questo modo, il responsabile della manutenzione avrebbe una panoramica completa e in tempo reale delle attività in corso, migliorando la pianificazione degli interventi e riducendo i tempi di assegnazione.

3.5.3 Analisi del Problema sul campo

Una volta che il manutentore è stato selezionato e la chiamata di manutenzione è stata assegnata, quest'ultimo si reca direttamente sul luogo del guasto per avviare l'analisi preliminare del problema. In questa fase, l'obiettivo principale è comprendere la natura del guasto o del malfunzionamento, identificando con quanta precisione possibile cosa ha causato l'interruzione del funzionamento della macchina. Il manutentore esegue una serie di verifiche iniziali, esaminando i componenti e i meccanismi coinvolti, per diagnosticare la causa del problema. Durante questa analisi, è fondamentale che il manutentore raccolga tutte le informazioni necessarie per procedere con l'intervento in modo mirato e veloce. Potrebbe inoltre essere necessario interagire con l'operatore o il responsabile del reparto per ottenere maggiori dettagli sul contesto in cui si è verificato il guasto.

In alcuni casi, il manutentore può identificare rapidamente il problema grazie ai sensori e agli schermi digitali della macchina, che forniscono codici di errore specifici. Questi strumenti consentono al responsabile di reparto di individuare la causa del guasto e comunicarla tempestivamente al responsabile della manutenzione, facilitando così l'intervento del tecnico assegnato. Questo approccio permette al manutentore di operare con maggiore efficienza, riducendo i tempi di fermo macchina e ottimizzando il processo di riparazione. Però non sempre è possibile farlo, perché non tutto il parco macchine è dotato di sensori che permettono la rilevazione in modo dettagliato del problema.

3.5.4 Apertura del buono di lavoro

Una volta completata l'analisi del problema sul campo e individuata la causa del guasto, il manutentore procede idealmente con l'apertura di un "buono di lavoro" per registrare ufficialmente l'intervento. Idealmente, perché questa operazione non sempre avviene subito dopo l'analisi del problema, ma talvolta viene eseguita a intervento quasi concluso.

Per aprire il buono di lavoro, il manutentore utilizza il sistema gestionale SAP, tramite il quale crea un ordine di lavoro, secondo i parametri precedentemente elencati ossia tempo d'intervento >30 minuti e se c'è la necessità di prelevare il materiale a magazzino. Questo passaggio è essenziale per garantire che l'intervento venga correttamente documentato e tracciato, facilitando la gestione delle risorse e il monitoraggio dell'efficienza operativa.

Successivamente, il manutentore copia il codice del buono di lavoro generato in SAP e lo condivide nella chat del reparto su Teams. Questa operazione assicura che il codice dell'intervento sia facilmente accessibile a tutti i membri del team di manutenzione, migliorando la comunicazione e il coordinamento. La chat su Teams diventa così uno strumento chiave per tenere traccia degli interventi in tempo reale, permettendo ai manutentori di aggiornarsi sugli sviluppi ed evitando confusione o duplicazioni delle attività manutentive.

Una delle principali criticità di questo processo risiede nell'utilizzo di due software distinti per la gestione degli interventi: SAP per l'apertura del buono di lavoro e Teams per la comunicazione delle informazioni relative al buono stesso. Questa separazione dei sistemi comporta una serie di problematiche, tra cui la complessità di doversi interfacciare con due software diversi, aumentando il rischio di errori umani e rallentando il flusso di lavoro. Inoltre, sebbene SAP sia un sistema gestionale forte e completo, la sua rigidità e complessità lo rendono poco pratico per i manutentori, che necessitano di strumenti più intuitivi e integrati per svolgere le operazioni quotidiane con maggiore efficienza. Una possibile soluzione a queste criticità potrebbe essere l'adozione di Interacta, un software che, come verrà approfondito nei successivi paragrafi, consente di aprire e gestire i buoni di lavoro in modo più semplice e immediato rispetto a SAP. Grazie alla sua interfaccia più user-friendly e alla possibilità di integrare la gestione degli interventi in un unico sistema, Interacta ridurrebbe la necessità di passare da un applicativo all'altro, migliorando la comunicazione tra i manutentori e rendendo il processo più snello ed efficiente. In base alla tipologia di intervento, l'apertura del buono di lavoro su Sap può differire e prevedere due tipologie diverse:

- In caso di intervento correttivo o di pronto intervento, viene aperto un ordine con codice PM 50;

- In caso di interventi programmati si utilizza il codice PM 60.

Questa distinzione è essenziale per una corretta gestione della manutenzione, poiché consente di categorizzare gli interventi in base alla loro urgenza e pianificazione.

Prima di procedere con l'apertura del buono, generalmente alcuni manutentori effettuano un controllo su SAP per verificare se esista già un ordine di lavoro attivo per la stessa macchina. Questo check, è particolarmente utile quando più manutentori sono coinvolti sullo stesso macchinario, in quanto evita la creazione di duplicati e assicura un coordinamento più efficace degli interventi. Nella pratica attuale, l'apertura del buono avviene spesso solo a fine intervento e quasi mai nelle fasi iniziali, una volta completata la manutenzione. Tuttavia, in un processo ottimizzato (fase To-Be), sarebbe più efficace eseguire questa operazione subito dopo l'analisi del problema sul campo. Procedere tempestivamente con l'apertura del buono (OdM) permetterebbe di monitorare in tempo reale lo stato dell'intervento, grazie anche all'integrazione con il software Prometeo. L'adozione di questo approccio garantirebbe un monitoraggio continuo degli interventi, una gestione più efficiente delle risorse e una riduzione significativa del rischio di errori o ritardi, contribuendo così a ottimizzare il flusso di lavoro manutentivo e migliorare la produttività complessiva.

3.5.5 Prelievo del Materiale

Il prelievo dei materiali a magazzino rappresenta una fase cruciale del processo manutentivo ed è strettamente connesso all'analisi del problema sul campo. In molti casi, il responsabile di reparto fornisce informazioni dettagliate sul guasto o malfunzionamento, facilitando il compito del responsabile della manutenzione nel trasmettere tali dati al manutentore più adatto. Quest'ultimo, grazie alla descrizione accurata, può individuare subito i ricambi necessari, rendendo il prelievo più rapido ed efficiente. In questo modo si riduce il tempo dedicato alla verifica della disponibilità dei componenti e si accelera l'intervento. Per questo motivo, in alcuni casi il prelievo dei materiali avviene prima di recarsi sulla macchina da riparare, rendendo di fatto interscambiabili le fasi di analisi del problema sulla macchina e il prelievo del materiale.

Quando il manutentore si reca in magazzino per prelevare i materiali necessari per l'intervento, è richiesta la compilazione di un foglio cartaceo che documenta ogni operazione di prelievo. Questo documento deve includere informazioni essenziali, quali il codice del ricambio selezionato, la quantità prelevata, il nome del manutentore, la data del prelievo e la macchina a cui il componente è destinato. Sebbene questa procedura garantisca una tracciabilità dei materiali utilizzati, la gestione cartacea presenta diverse criticità che ne compromettono l'efficienza e l'affidabilità.

[illegible]

Figura 17: Foglio cartaceo di prelievo materiali.

Uno dei principali problemi riguarda il rischio di smarrimento dei fogli, con la conseguente perdita di dati relativi ai prelievi. Inoltre, l'inserimento manuale delle informazioni espone a errori, come l'omissione di un componente, la trascrizione errata di un codice o l'indicazione inesatta della data di prelievo. Un'ulteriore criticità è rappresentata dalla difficoltà di monitorare in tempo reale lo stato delle scorte: la gestione cartacea non permette di avere una visione immediata e centralizzata dei materiali disponibili, rallentando il processo di approvvigionamento e aumentando il rischio di inefficienze operative.

Per ottimizzare questo processo e superare le criticità legate alla gestione cartacea, l'adozione di un sistema digitale come Interacta sarebbe una soluzione strategica. Questo software consentirebbe di gestire in modo più efficiente l'intero flusso di prelievo dei materiali, eliminando la necessità di documenti cartacei e garantendo una tracciabilità accurata e in tempo reale. Interacta consentirebbe infatti di registrare il prelievo dei materiali direttamente nel sistema, riducendo il rischio di errori manuali e smarrimento dei dati, con un monitoraggio in tempo reale della disponibilità dei ricambi. Inoltre, la gestione elettronica dei prelievi permetterebbe di avere un registro digitale sempre aggiornato, semplificando la riconsegna dei materiali non utilizzati e la gestione delle scorte, con la possibilità di reinserire direttamente i ricambi non utilizzati nel sistema senza la necessità di operazioni manuali.

Un aspetto rilevante da prendere in considerazione si verifica quando il manutentore, in presenza della necessità di componenti o ricambi, si reca presso il magazzino per verificare direttamente la disponibilità del materiale necessario all'intervento. Se il materiale è presente a stock, viene immediatamente prelevato e l'intervento può proseguire in continuità, senza interruzioni rilevanti dal punto di vista temporale. Tuttavia, nel caso in cui il componente risulti non disponibile, il

processo subisce una deviazione: viene attivata una richiesta di approvvigionamento che coinvolge direttamente l'ufficio acquisti. Quest'ultimo avvia le procedure per l'ordine del materiale necessario, con conseguente allungamento dei tempi di attesa, soprattutto qualora i lead time dei fornitori siano significativi o non esistano accordi quadro per la fornitura urgente. Questo scenario introduce un elemento critico all'interno del flusso manutentivo, poiché l'attività tecnica viene temporaneamente sospesa, causando un potenziale incremento del tempo di fermo impianto, con impatti diretti sulla produttività e sull'efficienza del sistema industriale nel suo complesso. Inoltre, l'assenza di una piattaforma centralizzata per la gestione delle interazioni tra manutentore, magazzino e ufficio acquisti rende il processo soggetto a frammentazioni informative, a rischio di perdita di dati e a una limitata visibilità sullo stato di avanzamento della richiesta.

3.5.6 Scarico dei Materiali

La gestione della manutenzione si avvale di due tipologie di magazzini distinti, progettati per ottimizzare la gestione dei ricambi in base alle loro caratteristiche fisiche e alle esigenze operative. La prima tipologia è rappresentata dai magazzini manuali, situati all'interno del reparto manutenzione e destinati a contenere componenti di grandi dimensioni e peso significativo. Questi magazzini, pur richiedendo un intervento umano per il loro utilizzo, sono essenziali per la gestione dei ricambi ingombranti, che necessitano di uno stoccaggio e movimentazione accurati, supportati da strumenti di sollevamento specifici per garantirne la sicurezza e l'efficacia operativa.

D'altro canto, sono presenti quattro magazzini automatici verticali kardex, progettati per il contenimento e la gestione automatizzata di ricambi di dimensioni ridotte e di peso contenuto. La caratteristica principale di questi magazzini è il sistema di gestione automatizzato, che consente un flusso rapido e preciso dei materiali, riducendo al minimo il rischio di errore umano e aumentando l'efficienza operativa.

Per garantire una corretta identificazione e tracciabilità dei ricambi, ogni pezzo destinato alla manutenzione è assegnato a un codice univoco che inizia con la lettera "M", indicante l'appartenenza alla categoria "Manutenzione". In alcuni casi, i codici possono essere seguiti dalla lettera "R", a indicare che il componente è stato oggetto di revisione, segnalando una differenza rispetto ai componenti nuovi in termini di durata, funzionalità o altre caratteristiche operative. Questo dettaglio è cruciale per una gestione e un trattamento adeguato dei componenti revisionati, che potrebbero richiedere specifiche attenzioni durante l'utilizzo.

Il monitoraggio e la gestione dei componenti nei magazzini automatici sono affidati al sistema gestionale EasyStore, un software avanzato che consente di visualizzare in tempo reale la

disponibilità, la posizione e lo stato dei componenti, sia nuovi che revisionati. Grazie alla sua implementazione, è possibile mantenere un controllo preciso delle scorte, ottimizzare i flussi operativi e ridurre il rischio di carenze o eccedenze.

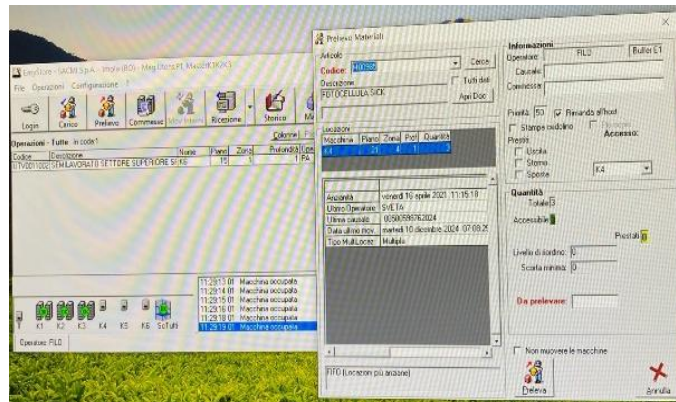


Figura 18: Easy Project, usato per il monitoraggio dei materiali a magazzino.

Per monitorare la disponibilità dei materiali sul campo, i manutentori al posto di EasyStore possono andare ad utilizzare Sap, grazie all'interfaccia presente tra questi due software. I manutentori, infatti, possono accedere al sistema tramite dispositivi portatili o fissi, verificando in tempo reale la disponibilità dei componenti necessari per ripristinare il corretto funzionamento della macchina.

Uno dei principali vantaggi di EasyStore è la sua integrazione con SAP, poiché grazie a questa sincronizzazione, l'operatore, dopo aver verificato la disponibilità di un componente, può procedere al prelievo direttamente dal magazzino automatico, assicurando un flusso di lavoro efficiente e un'accurata gestione delle informazioni in tempo reale.

Il processo di scarico dei materiali è una fase fondamentale nella gestione delle operazioni di manutenzione, in quanto consente di garantire la disponibilità tempestiva dei componenti necessari all'intervento e di monitorare correttamente lo stato delle scorte. Idealmente, l'operazione di scarico dovrebbe essere avviata nelle fasi iniziali del processo di manutenzione, subito dopo l'apertura del buono di lavoro su SAP da parte del manutentore. Questo approccio consentirebbe di monitorare in tempo reale le scorte, evitando che il materiale venga scaricato in ritardo, il che potrebbe compromettere la pianificazione futura e causare disagi operativi. Se i materiali non vengono scaricati tempestivamente, non è possibile aggiornare correttamente EasyStore sulle quantità disponibili, mettendo a rischio la pianificazione degli approvvigionamenti e creando difficoltà in caso di necessità improvvisa di ricambi. Per questo motivo, è essenziale che il processo di scarico venga eseguito senza ritardi, garantendo una gestione efficiente delle scorte e assicurando la pronta disponibilità dei materiali necessari.

L'operazione di scarico dei materiali avviene centralmente in magazzino attraverso il software EasyStore, mentre il prelievo deve essere registrato su un apposito modulo cartaceo all'interno del magazzino. Tuttavia, non tutti i manutentori effettuano lo scarico immediato del materiale prelevato su EasyStore, preferendo registrarlo solo al termine dell'intervento, provocando criticità nella gestione delle scorte. Questo approccio previene la situazione di ristorno, ovvero il reintegro in magazzino di un ricambio che, pur essendo stato prelevato, non è stato effettivamente utilizzato. In tal modo, si garantisce un inventario preciso e aggiornato, essenziale per una corretta pianificazione degli approvvigionamenti e una gestione efficace delle scorte, riducendo sprechi o carenze nei momenti critici.

3.5.7 Richiesta manutenzione in presenza di più manutentori

Nel caso in cui, il manutentore mandato dal responsabile della manutenzione, una volta analizzato il problema sul campo determina la necessità di ulteriore supporto, contatta immediatamente il responsabile della manutenzione, il quale valuterà e deciderà di assegnare le risorse aggiuntive necessarie, tenendo conto delle priorità, delle urgenze, ma soprattutto del problema della macchina in questione. Questo processo ci consente di ottimizzare i tempi di intervento, garantendo che ogni risorsa venga utilizzata nel modo più efficace possibile. Nel caso in cui si è deciso di lavorare con più di un manutentore su di una macchina, il processo di apertura, compilazione e chiusura del buono risulta essere differente se confrontato nel caso in cui lavorasse solo un manutentore durante un intervento.

Nel caso in cui si decida di coinvolgere più manutentori per un intervento su una macchina, la gestione della documentazione varia rispetto a un intervento in cui è presente un solo operatore. Un aspetto cruciale in questa gestione è la corretta apertura, compilazione e chiusura del buono. Ad esempio, se l'intervento coinvolge tre manutentori, il primo che esegue l'analisi del problema sarà anche responsabile dell'apertura del buono su SAP. Gli altri due manutentori, invece, dovranno semplicemente copiare il codice di apertura, reperibile su Teams, e inserirlo su SAP. In questo modo, tutti i manutentori potranno contribuire alla descrizione unica presente nel buono di lavoro, documentando le attività svolte durante l'intervento. Inoltre, ciascuno dovrà inserire la propria matricola e le ore lavorate, garantendo così una registrazione accurata delle informazioni. Questo processo assicura un monitoraggio efficace delle attività di manutenzione, facilitando la gestione e il controllo delle operazioni.

3.5.8 Risoluzione Problema Manutentivo

Dopo aver analizzato il guasto di una macchina, il manutentore procede con la riparazione, con l'obiettivo di ripristinare il funzionamento nel minor tempo possibile. Tuttavia, se l'intervento si protrae per più giorni, possono emergere delle criticità nella gestione e nel tracciamento delle attività svolte. Una delle principali difficoltà riguarda la documentazione del lavoro effettuato dai manutentori. Quando un intervento dura a lungo, infatti, può diventare complicato ricordare con precisione tutte le operazioni eseguite, soprattutto se non vengono annotate tempestivamente. Questo rischio è accentuato dal fatto che spesso, durante l'attività pratica, non ci si annota le attività effettuate, questa mancanza porta a dimenticanze o a una registrazione incompleta del processo di manutenzione. Per ovviare a queste problematiche, sarebbe utile adottare strumenti più efficaci per annotare in modo strutturato e dettagliato le attività svolte, garantendo così un monitoraggio più accurato e una gestione più efficiente degli interventi.

Una possibile soluzione, prevista nel modello To-Be, è l'utilizzo di Interacta nella sua versione note. Questo strumento consentirebbe ai manutentori di annotare in tempo reale le operazioni eseguite durante l'intervento, garantendo un tracciamento accurato delle attività svolte. Attraverso la funzione di inserimento delle informazioni nel reparto note, sarebbe possibile registrare dettagli cruciali, evitando così la perdita di dati importanti o il rischio di dimenticare passaggi fondamentali. Le annotazioni potrebbero includere, ad esempio, i componenti sostituiti, le regolazioni effettuate e le eventuali problematiche riscontrate. L'adozione di Interacta migliorerebbe non solo la documentazione e la tracciabilità degli interventi, ma anche la collaborazione tra i manutentori, riducendo il rischio di errori e ottimizzando l'efficienza dell'intero processo manutentivo.

3.5.9 Chiusura buono di lavoro

Una volta completata la riparazione, il manutentore accede nuovamente a SAP per chiudere il buono di lavoro precedentemente aperto. La chiusura del buono segna il completamento dell'intervento e aggiorna il sistema con i dettagli finali, inclusi i materiali utilizzati, il tempo impiegato e costi di tutto l'intervento. Questo processo garantisce che la documentazione dell'intervento sia completa, accurata e aggiornata. La procedura per la chiusura del buono prevede i seguenti passaggi:

- Si procede copiando il codice dell'intervento manutentivo precedentemente creato su Sap e poi riportato su Team;
- Successivamente si accede a Sap, nella sezione dedicata ai buoni, e si entra nell'area di riordino buoni. Qui, il codice copiato viene incollato, aprendo così la schermata in cui è possibile inserire le informazioni necessarie per completare la chiusura del buono.
- Successivamente all'esecuzione dell'intervento manutentivo, si procede con la compilazione di una descrizione dettagliata delle attività svolte, come è possibile vedere nella figura 19. Come precedentemente illustrato, qualora l'intervento sia stato effettuato da più manutentori, la prassi attuale prevede che la descrizione del guasto e delle operazioni eseguite venga redatta congiuntamente, all'interno di un'unica casella di testo.

Tuttavia, come verrà illustrato nella sezione dedicata al modello To-Be, questa modalità risulta poco efficace in termini di tracciabilità e chiarezza operativa, specialmente in presenza di interventi complessi che richiedono la collaborazione di più figure tecniche. In tale contesto, appare più opportuno introdurre una struttura di compilazione differenziata, che preveda campi di testo separati per ciascun manutentore coinvolto.

A titolo esemplificativo, si potrebbe adottare una nomenclatura del tipo:

- Op1 - Descrizione intervento
- Op2 - Descrizione intervento
- Op3 - Descrizione intervento
-
- Opn - Descrizione Intervento

Associando ciascun campo al rispettivo codice identificativo del manutentore. Tale approccio permetterebbe di attribuire in modo univoco le attività svolte a ciascun operatore, favorendo una maggiore precisione nella registrazione delle operazioni, una migliore rendicontazione delle competenze tecniche impiegate, e una tracciabilità più puntuale ai fini dell'analisi dei dati manutentivi.

All'interno della pagina dedicata alla compilazione dell'intervento manutentivo, l'operatore deve registrare la propria matricola/codice (*MAX* per i manutentori meccanici e *EXX* per i manutentori elettronici. *XX* rappresenta un numero a due cifre identificativo del manutentore), le ore effettivamente lavorate sulla macchina, data di inizio e fine dell'attività e una breve descrizione del lavoro effettuato sulla macchina.

L'inserimento accurato di tali informazioni in SAP è fondamentale per garantire una corretta rendicontazione delle ore lavorate, una tracciabilità affidabile degli interventi effettuati e una valutazione oggettiva dell'efficienza e dell'efficacia delle attività manutentive, sia a livello operativo che gestionale.

Ordine: PMS0 031655 Testa 3 di tranciatura del nastro non ha

Testa 3 di tranciatura del nastro non ha effettuato il taglio.
Il motivo è stato probabilmente l'incastarsi dei trucioli precedenti nel foro di scarico.
Volevano finire il lotto di nastri, quindi cavati i trucioli bloccati, e rimontato la testa.

Sts. RIL. CONF CALP DMNC KMP NLIA

Dti test. Operazioni Componenti Costi Oggetti Dati suppl. Ubicazione Pianif. Controllo Ampliemen.

Op.	SOp	C. lav.	Divi...	Chi...	ChTstSt	S...	Oper. testo breve	TE	Lav. effettivo	Lavoro	UM	N...	Dur.	UM	CCalc	TdA	Imp/RdA	Destinatario
☐ 0010		M14	0001	PM01			Testa 3 di tranciatura del nastro non ha			1,0	0,0HC	0		0,0HC	Calcolo lavor.	MAN00 immediat.		
☐ 0020		M15	0001	PM01						2,0	0,0HC	0		0,0HC	Calcolo lavor.	MAN00 immediat.		

Generale Pr. Est. Scad. Dati eff. Ampliamento Cat.

Date

In. card. 14.04.2025

Fine card. 14.04.2025

Figura 19: Esempio di lavoro di manutenzione di una macchina su Sap.

- Se lo scarico dei materiali non è stato effettuato nelle fasi precedenti, dovrà essere completato prima della chiusura del buono di lavoro su SAP. Questa operazione può avvenire alla fine della compilazione del buono o immediatamente prima della sua chiusura. Tuttavia, come evidenziato in precedenza, effettuare lo scarico nelle fasi finali può presentare criticità, soprattutto negli interventi di manutenzione prolungati.
- Una volta completati tutti i passaggi precedenti, si procede con la chiusura del buono di lavoro e la terminazione della sessione su SAP.

Su SAP, per ogni buono di lavoro completato, è possibile visualizzare i costi associati all'intervento. Il sistema calcola e registra automaticamente i seguenti tipi di costi:

- Costi relativi ai consumi di materiale a magazzino: Questi comprendono i costi relativi ai materiali prelevati dal magazzino e utilizzati per la riparazione o manutenzione della macchina.
- Costi relativi alla manodopera interna: Si riferiscono al costo del personale interno, compreso il tempo impiegato e i costi operativi per l'utilizzo dei macchinari (es. consumo di energia).
- Costi della prestazione esterna: Riguardano l'impiego di manodopera esterna, ad esempio quando un operatore esterno viene incaricato per un intervento, o l'acquisto di componenti non disponibili a magazzino.
- Costi relativi alle prestazioni di servizio: Questi includono tutte le spese per servizi esterni, come ad esempio le fatture per interventi esterni.

Tali costi vengono automaticamente calcolati e inseriti da SAP, grazie all'aiuto del software EasyProject, nel sistema al momento dello scarico dei materiali dal magazzino, garantendo una gestione integrata e precisa delle risorse economiche.

Gruppo/Definiz.	CostiStim	Cst. pian.	Costi eff.
✓  Costi	0,00	362,08	1.699,98
 Consumi materiali da magazzino	0,00	0,00	251,66
 Manodopera interna	0,00	362,08	1.448,32

Figura 20: Tabella dei costi che si può andare a vedere su Sap, per ogni intervento di manutenzione su una macchina.

3.6 Criticità Odm

Una volta completata la chiusura dei buoni di lavoro, sono emerse diverse criticità nel processo di registrazione dei dati. In numerosi casi, durante la compilazione dei buoni su SAP, si osserva l'omissione o l'erronea immissione di informazioni fondamentali, come la registrazione delle ore lavorate. Spesso, queste vengono lasciate vuote o, in situazioni ancora più problematiche, indicate come "0 ore" per l'intervento manutentivo. Tale disallineamento tra le attività effettivamente svolte e quelle registrate nel sistema è principalmente causato da dimenticanze da parte degli operatori, ma può derivare anche da errori di digitazione. La mancata registrazione delle ore lavorate o l'inserimento errato delle date e degli orari su SAP determina una discrepanza temporale tra l'inizio e la fine dell'intervento.

Ordine

PM60 031272

Revisione carro X-Z (lato contropunta)

Revisione carro X-Z (lato contropunta)

Sts.

RIL. CALP EDCO KKMP MOME NLIA

Dti test.

Operazioni

Componenti

Costi

Oggetti

Dati suppl.

Ubicazione

Pianif.

Controllo

Ampliemen.

Op.	SOp	C. lav.	Divi...	Chi...	ChTstSt	S...	Oper. testo breve	TE	Lav. effettivo	Lavoro	UM	N...	Dur.	UM	Ccalc	TdA	Imp./RdA	Destinatario
☐ 0010		M14	0001	PM01			Revisione carro X-Z (lato contropunta)		0,0	0,0	HC	0		0,0	HC	Calcolo lavor.	immediat.	

Generale

Pr.

Est.

Scad.

Dati eff.

Ampliamento

Cat.

Figura 21: Esempio di disallineamento tra l'effettiva esecuzione dell'intervento e i dati inseriti nel sistema gestionale.

Di conseguenza, si rende necessaria una verifica manuale da parte del personale tecnico o dei responsabili per accertare la durata effettiva dell'intervento ed eventualmente correggere discrepanze nei dati registrati, al fine di garantire l'affidabilità delle analisi statistiche e la correttezza delle valutazioni prestazionali sugli interventi manutentivi. Un esempio concreto della criticità descritta si riscontra nel caso del tornio Tacchi (figura 21), un macchinario presente nel reparto macchine utensili pesanti, identificato del buono di lavoro 81031272. Nello specifico, pur risultando correttamente registrate la data di inizio e quella di fine intervento, entrambe coincidenti con il 22/11/2024, il campo relativo alle ore lavorate risulta pari a zero nel consuntivo finale. Tale disallineamento tra l'effettiva esecuzione dell'intervento e i dati inseriti nel sistema gestionale comporta una distorsione informativa.

Oltre a generare un rallentamento dell'operatività, questa anomalia introduce incertezze nella gestione delle risorse, compromettendo la pianificazione delle attività e la corretta rendicontazione temporale. Un ulteriore elemento critico riguarda la gestione e la tracciabilità dei materiali utilizzati. Nonostante nel sistema SAP le ore di lavoro risultino assenti, per il medesimo codice macchina è stato registrato un costo di acquisto pari a 6.203,60 €, relativo a componenti non disponibili a magazzino e quindi approvvigionati appositamente. Tali materiali sono stati effettivamente utilizzati nel corso dell'intervento, come confermato dal personale manutentivo operante sulla macchina. Questa discrepanza evidenzia una mancata sincronizzazione tra l'attività operativa e il sistema di registrazione digitale, con ripercussioni rilevanti in termini di:

- Accuratezza contabile;
- Monitoraggio dei costi manutentivi;
- Valutazione dell'efficienza del servizio manutenzione.

La mancata registrazione puntuale delle ore lavorate, unita alla gestione non integrata dei materiali impiegati, compromette l'integrità complessiva del processo di consuntivazione e introduce rischi sistemici nella gestione analitica dei costi e delle performance operative.

L'analisi effettuata nei passaggi precedenti ha esaminato nel dettaglio il processo di manutenzione nella sua attuale configurazione (situazione As-Is), concentrandosi in particolare sugli interventi correttivi o pronto intervento nei reparti di Sacmi Imola. Tuttavia, la gestione degli interventi programmati segue un processo diverso rispetto a quelli correttivi. Nei correttivi o pronto intervento, il flusso di lavoro inizia generalmente con una chiamata da parte del responsabile di reparto, che segnala un problema e attiva l'intervento, selezionando il manutentore più adatto per risolverlo.

Nel caso degli interventi manutentivi programmati, lo step iniziale di segnalazione da parte del reparto produttivo non è previsto. In tali circostanze, è il responsabile della manutenzione a occuparsi della pianificazione preventiva delle attività, operando in stretta collaborazione con i responsabili di produzione. Questa sinergia è essenziale per definire con precisione i periodi temporali più idonei all'esecuzione degli interventi manutentivi, al fine di minimizzare l'impatto sulle linee produttive. La pianificazione tiene conto sia delle priorità operative dell'azienda legate al core business del momento sia delle esigenze produttive specifiche, garantendo che le attività di manutenzione non interferiscano con le fasi più critiche del processo industriale. Per tale motivo, la definizione del calendario degli interventi programmati avviene in modo congiunto tra i reparti, assicurando una gestione integrata delle risorse e dei tempi, e contribuendo a preservare l'efficienza complessiva del sistema produttivo. Inoltre, sempre il responsabile della manutenzione a seleziona i manutentori più idonei per l'attività manutentiva, senza la necessità di gestire chiamate improvvise o assegnazioni estemporanee. Un ulteriore elemento distintivo è la gestione del personale: negli interventi programmati, i manutentori sono assegnati in anticipo in base alle competenze richieste e alla disponibilità, evitando così situazioni di emergenza o sovraccarico di lavoro. Inoltre, la programmazione consente una migliore organizzazione delle risorse, come la prenotazione preventiva dei materiali necessari per l'intervento, evitando ritardi dovuti alla mancanza di componenti in magazzino. Grazie a questa impostazione più metodica, la manutenzione programmata contribuisce a ridurre il numero di guasti improvvisi, migliorando l'affidabilità e l'efficienza delle macchine nel lungo periodo.

3.7 Criticità del processo manutentivo

Come evidenziato nell'analisi completa del processo manutentivo attualmente in uso presso Sacmi Imola, emergono numerose criticità che incidono negativamente sulla tempestività, sull'efficienza e sulla qualità complessiva del servizio. Tali problematiche si manifestano lungo l'intero ciclo operativo, dalla ricezione della chiamata fino alla chiusura dell'Ordine di Manutenzione (OdM) su SAP, e possono essere raggruppate nei seguenti ambiti principali.

1. Fase di segnalazione e comunicazione del guasto

La fase iniziale del processo si caratterizza per la frammentazione dei canali di comunicazione, che comprendono telefono, e-mail, Teams, WhatsApp e comunicazioni verbali. Questa eterogeneità comporta:

- Assenza di un canale unico e ufficiale;
- Informazioni incomplete, imprecise o soggettive;
- Difficoltà nella classificazione immediata del guasto (meccanico/elettrico) con conseguenti errori di assegnazione del manutentore.

L'assenza di una registrazione sistematica delle richieste non consente inoltre di misurare indicatori fondamentali, quali tempi di risposta e tempi di attesa, limitando la capacità di monitoraggio e miglioramento continuo del servizio.

2. Gestione e assegnazione degli interventi

Il responsabile della manutenzione concentra su di sé l'intero processo decisionale, valutando urgenza, tipologia del guasto e disponibilità delle risorse. Tuttavia, l'assenza di strumenti digitali centralizzati determina:

- Difficoltà nel monitoraggio in tempo reale della disponibilità dei manutentori;
- Elevata dipendenza dall'esperienza e dal giudizio personale del responsabile;
- Rischio di squilibrio nella distribuzione del carico di lavoro.

In caso di assenza improvvisa del responsabile, la mancanza di un protocollo strutturato genera ulteriori inefficienze organizzative.

3. Apertura e gestione degli OdM

L'apertura degli OdM su SAP avviene solo in determinate circostanze (durata >30 minuti o utilizzo di materiali primari). Ciò determina la mancata tracciabilità di una parte significativa degli interventi, con perdita di informazioni utili per l'analisi storica e la rendicontazione. Inoltre, la separazione tra SAP (gestione formale degli OdM) e Teams (comunicazione interna) complica il flusso operativo e aumenta il rischio di errori.

4. Gestione dei materiali

La fase di prelievo e scarico dei materiali presenta ulteriori criticità:

- Utilizzo di modulistica cartacea, soggetta a smarrimenti e a errori di compilazione;
- Ritardi nella registrazione dei prelievi e degli scarichi, che compromettono l'aggiornamento delle scorte in EasyStore e SAP;
- Assenza di visibilità in tempo reale sulla disponibilità dei componenti, con impatti sulla continuità degli interventi e potenziali allungamenti dei tempi di fermo macchina in caso di componenti non disponibili.

5. Documentazione e chiusura degli interventi

La registrazione dei dati in SAP al termine dell'intervento soffre di incompletezze quali:

- Ore lavorate non registrate o registrate come pari a zero;
- Descrizioni sintetiche o generiche delle attività svolte;
- Difficoltà di attribuzione delle operazioni a singoli manutentori nei casi di intervento multipersona.

Queste lacune compromettono l'affidabilità dei dati storici, introducono distorsioni nelle analisi statistiche e rendono complessa la valutazione delle performance manutentive e dei costi effettivi.

Le criticità individuate evidenziano come il processo manutentivo As-Is, pur garantendo la risoluzione tecnica dei guasti, risulti fragile sotto il profilo organizzativo e gestionale. La scarsa standardizzazione, la frammentazione degli strumenti e la dipendenza da procedure manuali o non integrate generano:

- Ritardi nella presa in carico degli interventi;
- Tempi di fermo macchina più lunghi del necessario;
- Difficoltà nel monitoraggio delle performance;
- Rischi di errori contabili e gestionali.

Tali elementi sottolineano la necessità di una revisione complessiva del processo, orientata alla digitalizzazione, alla centralizzazione dei dati e alla tracciabilità end-to-end delle attività, come previsto nello scenario To-Be con l'adozione della piattaforma Interacta.

Capitolo 4

La piattaforma digitale Interacta

4.1 Software utilizzato per la digitalizzazione della manutenzione in Sacmi: Interacta

Interacta, sviluppata da Dinova (parte del gruppo Maggioli), rappresenta una piattaforma innovativa che unisce la comunicazione aziendale con la gestione dei processi, generando valore misurabile e incrementando la produttività e il coinvolgimento dei dipendenti. Il suo punto di forza risiede nell'integrazione con tecnologie avanzate, tra cui l'Intelligenza Artificiale e l'Internet of Things, che permettono di semplificare la collaborazione interna e di adottare un approccio data-driven per il miglioramento continuo delle operazioni aziendali.

Interacta nasce con l'obiettivo di migliorare l'esperienza delle persone nel contesto lavorativo, offrendo una tecnologia che non solo potenzia le capacità umane, ma si pone anche come un supporto attivo per i team aziendali. L'Intelligenza Artificiale, in questo contesto, non è solo un automatismo, ma un vero e proprio alleato in grado di amplificare le competenze dei lavoratori, rendere i processi più fluidi e ogni decisione più informata e basata sui dati. Il suo design intuitivo e l'approccio user-friendly lo rendono uno strumento efficace e versatile, capace di adattarsi a molteplici ambiti aziendali, inclusa la gestione della manutenzione industriale. In particolare, si distingue per la sua versatilità e per l'integrazione di funzionalità ad alto valore tecnologico [26]:

- **Digital Workplace:** Interacta offre un hub digitale unico per dipendenti e team, centralizzando chat, intranet, gestione attività e documentazione. È accessibile da PC e app mobile, consentendo agli utenti di collaborare e operare ovunque si trovino. Inoltre funge da strato applicativo trasversale, interfacciandosi con ERP e CMMS, in modo da semplificare l'accesso a flussi, risorse e strumenti essenziali per il lavoro quotidiano.
- **Intelligent Collaboration & Workflow Platform:** Attraverso un workflow engine no-code, la piattaforma consente di modellare, customizzare i processi in modo strutturato. Le attività sono tracciate, visualizzabili in kanban, gantt, migliorando trasparenza e sincronizzazione tra gli utenti.
- **Process Management con AI:** Interacta introduce un modello adattivo e dinamico, dove l'AI interviene per ottimizzare l'esecuzione operativa. Questo approccio alleggerisce il carico cognitivo degli utenti, migliora la reattività operativa e riduce la dispersione informativa.
- **Predictive Maintenance:** Interacta fornisce la manutenzione predittiva, grazie all'analisi avanzata dei dati. Questo significa che la piattaforma non si limita a raccogliere informazioni, ma le elabora in tempo reale per offrire indicazioni strategiche che aiutano a ottimizzare la

gestione delle attività aziendali e a prevenire eventuali problematiche. Grazie all'integrazione con l'Intelligenza Artificiale, Interacta analizza costantemente grandi volumi di dati, individuando pattern ricorrenti, anomalie e tendenze, in modo da anticipare scenari futuri.

- **Facilitazione della comunicazione interna:** Permette una comunicazione all'interno dell'azienda chiara e semplice, questo grazie alla sua piattaforma user-friendly.

In Sacmi Imola, attualmente, non esiste un canale ufficiale né una metodologia standardizzata per la gestione delle chiamate di pronto intervento. Le richieste di manutenzione vengono comunicate al responsabile di reparto attraverso cinque modalità differenti: telefono, email, teams, whatsapp e voce. Questa frammentazione dei canali di comunicazione rende la gestione delle richieste particolarmente complessa e disorganizzata, con conseguenti inefficienze operative che impattano sul flusso di lavoro e sulla qualità delle informazioni trasmesse. Questo si traduce in una serie di inefficienze affrontate nei paragrafi precedenti. Interacta nasce per risolvere proprio questa sfida, centralizzando tutte le informazioni in un unico ambiente digitale, eliminando la dipendenza da strumenti di comunicazione frammentati e garantendo un flusso di lavoro più agile ed efficace. Interacta offre una piattaforma che integra messaggistica, gestione documentale e condivisione delle informazioni in tempo reale. La centralizzazione delle informazioni per le aziende risulta essere un enorme vantaggio, poiché l'utilizzo di più canali di comunicazione come teams, e-mail, chat aziendali ad esempio, permette di perdere informazioni all'interno dei processi.

4.1 Funzionalità Interacta

Le sue funzionalità combinano strumenti collaborativi, workflow personalizzabili e automazioni intelligenti, rendendola adatta a contesti organizzativi complessi e distribuiti [26]:

- **Collaborazione e gestione dei processi:** Interacta consente di creare, gestire e automatizzare i flussi di lavoro in modo intuitivo e flessibile. L'integrazione con l'intelligenza artificiale permette di ottimizzare l'allocazione delle risorse, ridurre i tempi di esecuzione e minimizzare gli errori umani. A differenza delle piattaforme tradizionali che richiedono una gestione manuale complessa, Interacta è progettata per operare in modo proattivo, permettendo alle aziende di concentrarsi sugli obiettivi strategici piuttosto che sulla gestione della piattaforma stessa.

- **X-Learning:** Questo approccio consente ai dipendenti di apprendere in maniera più efficace e coinvolgente, tramite dei percorsi formativi personalizzati. La misurabilità dei risultati garantisce un ritorno sugli investimenti in formazione, poiché l'azienda può monitorare le competenze acquisite e adattare i programmi formativi alle esigenze specifiche del personale.
- **Gestione della conoscenza:** Interacta funge da archivio digitale intelligente, organizzando i dati aziendali in maniera sistematica e garantendo un accesso rapido alle informazioni strategiche e allo storico dei dati di ogni post o intervento.
- **Personalizzazione della piattaforma:** Gli utenti possono configurare la piattaforma secondo le proprie necessità, scegliendo quali notifiche ricevere, quali dashboard visualizzare e come organizzare il proprio ambiente di lavoro digitale.
- **Accessibilità Mobile-First:** L'accessibilità rappresenta un elemento chiave della piattaforma, che adotta un approccio mobile-first per garantire l'utilizzo anche ai frontline workers (dipendenti operativi sul campo), i quali possano accedere alle informazioni aziendali in qualsiasi momento. Questa funzionalità è particolarmente utile per le aziende, poiché consente a tutti i dipendenti indipendentemente dal ruolo o dalla sede di rimanere costantemente informati e di partecipare attivamente alla vita organizzativa, favorendo inclusione, allineamento e collaborazione trasversale. Il suo design user-friendly rappresenta un punto di forza, in quanto offre un'interfaccia intuitiva che richiama le dinamiche dei social network aziendali, rendendo l'esperienza d'uso immediata e accessibile anche a chi ha poca familiarità con i software gestionali. In Sacmi Imola, nel reparto manutenzione, saranno i manutentori coloro che utilizzeranno la piattaforma Interacta direttamente sul campo, tramite l'app mobile. La piattaforma consentirà loro di ricevere e accettare le richieste di intervento inviate dal responsabile della manutenzione e di gestirle in tutte le fasi, fino alla chiusura del lavoro. Durante l'intervento, i manutentori dovranno registrare le ore impiegate, descrivere l'attività svolta e indicare gli eventuali ricambi utilizzati, operando esclusivamente tramite l'applicazione Interacta. Oltre ai manutentori, anche il responsabile di reparto utilizzerà la piattaforma per segnalare guasti al responsabile della manutenzione, il quale avrà il compito di assegnare ogni intervento al manutentore più adatto, sempre all'interno del sistema Interacta.

Uno degli elementi fondamentali della piattaforma, è la sua capacità di tracciare e monitorare ogni attività, garantendo la registrazione puntuale degli interventi eseguiti e creando uno storico dettagliato che permette di analizzare la frequenza e la tipologia delle operazioni effettuate. Inoltre,

grazie alla gestione centralizzata della documentazione tecnica, tutti i manuali, i report e le schede di intervento sono sempre accessibili, riducendo i tempi di ricerca delle informazioni e aumentando l'efficienza operativa. Oltre alla tracciabilità, Interacta introduce una manutenzione proattiva e intelligente attraverso l'automazione e l'invio di notifiche in tempo reale, che permettono di segnalare tempestivamente interventi imminenti o anomalie. La piattaforma, infatti, è in grado di pianificare automaticamente gli interventi sulla base di parametri predefiniti, eliminando il rischio di dimenticanze o ritardi e garantendo una gestione efficiente delle attività [26]. Grazie all'integrazione con dispositivi IoT, Interacta riceve dati in tempo reale sulle condizioni degli impianti e delle attrezzature, permettendo di attuare strategie di manutenzione predittiva e prevenire guasti prima che si verifichino, riducendo così i tempi di inattività e ottimizzando l'uso delle risorse aziendali. Inoltre, Interacta consente di monitorare lo stato e la disponibilità dei ricambi dei materiali, necessari per gli interventi, evitando situazioni critiche dovute alla mancanza di componenti essenziali. Attraverso strumenti avanzati di analisi e reportistica, la piattaforma fornisce un quadro chiaro delle performance manutentive, permettendo alle aziende di identificare eventuali aree di miglioramento e di ridurre i tempi di fermo macchina [26].

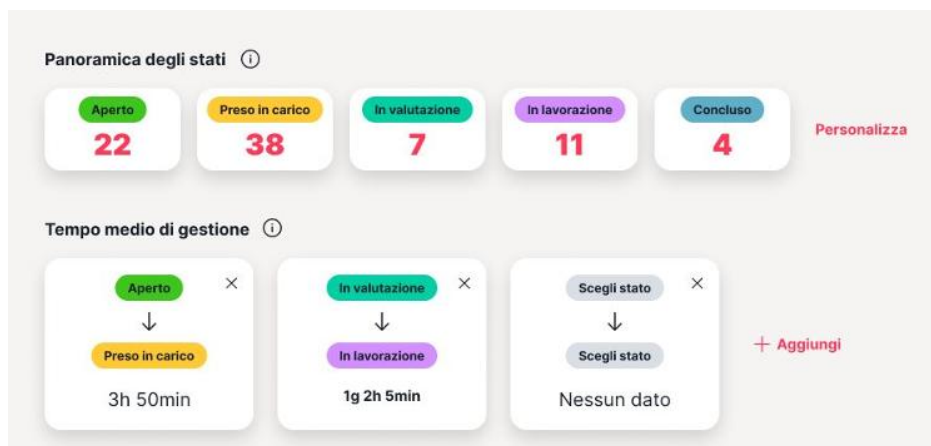


Figura 22: Pannello stato di avanzamento degli interventi [26].

4.2 Criticità Interacta

Sebbene Interacta presenti numerosi punti di forza e vantaggi competitivi, è importante considerare alcune potenziali aree di debolezza che potrebbero emergere nel suo utilizzo. Una delle principali sfide riguarda l'adozione da parte degli utenti. Come accade per qualsiasi nuova piattaforma digitale, il successo di Interacta dipende dalla capacità delle aziende di coinvolgere attivamente i propri dipendenti nel processo di trasformazione digitale. Se l'implementazione non è accompagnata da una strategia efficace di formazione e supporto, c'è il rischio che gli utenti incontrino difficoltà nell'adattarsi al nuovo strumento, riducendo così i benefici attesi in termini di produttività e ottimizzazione dei processi. Un altro aspetto critico riguarda l'integrazione con i

processi aziendali esistenti. Ogni organizzazione ha strutture operative e flussi di lavoro consolidati, e l'introduzione di una nuova piattaforma potrebbe richiedere modifiche significative, con un possibile impatto sulle tempistiche di adozione e sui costi iniziali di implementazione. La compatibilità con altri sistemi gestionali già in uso rappresenta quindi un fattore determinante per garantire un'adozione fluida e senza interruzioni nelle attività aziendali. L'introduzione di Interacta all'interno del sistema aziendale Sacmi comporta alcune complessità legate all'integrazione con gli applicativi esistenti, in particolare con il CMMS Prometeo e l'ERP SAP.

Nel modello operativo completo previsto, Interacta sarà utilizzato direttamente sul campo dai manutentori e dai responsabili/operatori di reparto per l'attivazione delle richieste di manutenzione e la loro presa in carico (fase 1 del progetto). La compilazione e la successiva consuntivazione saranno invece previste in una fase successiva (fase 2 del progetto). La piattaforma consentirà di raccogliere in tempo reale tutte le informazioni relative all'attività svolta: ore di lavoro, descrizione tecnica, materiali impiegati e chiusura intervento. Questi dati saranno poi trasmessi a Prometeo tramite API, che fungerà da sistema centrale per l'elaborazione e la gestione delle informazioni tecniche e manutentive (fase 2 del progetto). Sarà infatti Prometeo a occuparsi di:

- Elaborare le statistiche di performance su ciascun asset o impianto;
- Gestire la manutenzione preventiva;
- Consolidare la storica manutentiva e le analisi di affidabilità.

Interacta, in questo contesto, si configura come un front-end operativo mobile, dedicato alla raccolta e tracciabilità puntuale delle attività in campo (fase 1 del progetto), mentre Prometeo assume il ruolo di sistema di governo e analisi tecnica. Per quanto riguarda il collegamento con il sistema gestionale aziendale SAP, Interacta non si interfacerà direttamente con l'ERP. Sarà Prometeo, in quanto nodo intermedio, a comunicare con SAP, trasmettendo le informazioni economico-gestionali relative agli interventi (fase 2 del progetto). Questo flusso comprenderà:

- Ore di manodopera interne
- Consumo di materiali e ricambi;
- Eventuali costi per servizi esterni;
- Altri costi gestionali allocabili.

Questo modello a tre livelli Interacta → Prometeo → SAP richiede un'attenta progettazione delle interfacce applicative (API), dell'architettura dati condivisa e delle codifiche anagrafiche, per garantire la coerenza tra rilevazione operativa, elaborazione tecnica e rendicontazione economica.

4.3 Post Interacta

All'interno della piattaforma Interacta, il post costituisce l'unità base su cui si fondano l'interazione, la collaborazione e l'esecuzione operativa. A differenza di un semplice messaggio o attività, il post in Interacta è una struttura dati dinamica, progettata per contenere informazioni, avviare flussi di lavoro, tracciare stati di avanzamento e aggregare documentazione. Il post è concepito come uno strumento altamente configurabile, scalabile e adattabile a diversi contesti operativi [26]. Se confrontato con l'attuale sistema in uso nel reparto manutenzione di Sacmi Imola, il post può essere assimilato, per la funzione e finalità, al buono di lavoro (OdM), rappresentandone un'evoluzione digitale più flessibile e tracciabile. La sua architettura è costruita secondo i principi di modellazione dinamica dei dati, consentendo di rappresentare, tracciare e governare eventi o attività aziendali in modo strutturato e formalizzato. Ogni post è costituito da una struttura di base (titolo, descrizione, allegati, commenti, destinatari) che può essere estesa tramite "campi aggiuntivi" [26]. Questi campi rappresentano veri e propri attributi custom che l'amministratore può configurare per ogni tipologia di esigenza operativa: campi di testo, menu a tendina, selezioni multiple, date, numeri, codici macchina, immagini, checklist e checkbox. Il Post può inoltre essere associato a un workflow operativo, progettabile tramite un'interfaccia grafica no-code che permette di definire stati, transizioni, attori coinvolti, condizioni di visibilità e regole di notifica. Questo consente di trasformare il Post da semplice oggetto informativo a motore di processo, in grado di guidare l'attività degli utenti secondo logiche predefinite, assicurando sequenzialità, tracciabilità e controllo [26].

In Interacta, ogni post deve essere associato a una community, che rappresenta l'unità organizzativa di riferimento per la gestione di contenuti, utenti e flussi operativi. La community va creata preventivamente rispetto alla configurazione e pubblicazione del post, in quanto ne definisce il contesto applicativo, i permessi di accesso (tramite ruoli e visibilità), le regole di collaborazione tra gli utenti coinvolti e le diverse assegnazione di ogni task per intervento da andare ad effettuare. Solo all'interno di una community è possibile attivare e gestire i post, garantendo così una struttura ordinata, tracciabile e scalabile dei processi aziendali.

Per utilizzo che la manutenzione in Sacmi ne richiede, il post missione rappresenta lo strumento primario per la gestione strutturata e tracciabilità delle attività operative, in particolare nel contesto

della manutenzione industriale. La loro implementazione nel modello organizzativo di Sacmi Imola assume un ruolo centrale per digitalizzare, monitorare e standardizzare gli interventi sul campo. Dal punto di vista ingegneristico, il post missione può essere interpretato come un'istanza di processo dinamico, costruita secondo logiche event-driven e personalizzabile tramite interfaccia no-code. Ogni missione rappresenta un ciclo completo di lavoro dall'apertura alla chiusura tecnica e gestionale, il cui avanzamento è scandito da stati predefiniti e transizioni tracciabili.

Nel modello operativo adottato in Sacmi, i post missione saranno inizialmente generati esclusivamente dai responsabili di reparto o dal responsabile della manutenzione, che avranno il compito di formalizzare la richiesta di intervento e assegnarla al manutentore più adatto. Solo in una fase successiva, una volta consolidato l'utilizzo della piattaforma, anche i manutentori potranno essere abilitati alla creazione autonoma dei post missione per segnalare anomalie o aprire attività spontanee, questo processo verrà spiegato in maniera approfondita nei paragrafi successivi. Una volta ricevuta la missione, i manutentori utilizzeranno l'app mobile per:

- Accettare e avviare l'intervento;
- Registrare le ore lavorate, le attività svolte, i materiali utilizzati;
- Documentare con foto e note lo stato dell'impianto;
- Chiudere la missione o segnalarne l'esito non conforme.

Il tutto avviene in modo centralizzato, tracciato e strutturato, con accesso semplificato anche in contesto operativo. Ogni post missione è associato ad un workflow codificato, che definisce le logiche di avanzamento, i criteri di validazione e le azioni collegate ad ogni stato, il quale potrà essere visionato in tempo reale sia dal responsabile di manutenzione, sia dal responsabile di reparto, che dai manutentori che lavorano su quella manutenzione. Questo approccio consente di ridurre il rischio di omissioni, automatizzare notifiche o escalation, e fornire ai responsabili un quadro aggiornato e verificabile delle attività in corso.

A livello sistemico, i dati raccolti nei post missione vengono trasferiti a Prometeo (CMMS aziendale), che si occupa della manutenzione preventiva e delle analisi storiche. A sua volta, Prometeo comunica con SAP, assicurando la rendicontazione economica degli interventi in termini di manodopera, materiali e costi esterni.

4.4 Come cambia il workflow con l'introduzione di Interacta

4.4.1 Suddivisione del progetto

Il progetto di digitalizzazione dei processi manutentivi in SACMI è stato suddiviso in due fasi distinte, con l'obiettivo di garantire una transizione graduale e controllata da un modello analogico e destrutturato a un sistema digitale integrato.

- La Fase 1 ha previsto l'adozione della piattaforma *Interacta* in modalità stand-alone, senza integrazioni tecniche con altri sistemi aziendali, ad eccezione di Microsoft 365 per l'autenticazione centralizzata degli utenti. L'obiettivo principale è stato quello di standardizzare e digitalizzare il processo di raccolta delle segnalazioni di pronto intervento, che in precedenza avveniva tramite canali non strutturati (es. comunicazioni verbali, email, messaggistica istantanea), introducendo un sistema centralizzato in grado di garantire:
 - Tracciabilità completa delle richieste;
 - Qualità e uniformità del dato attraverso moduli guidati;
 - Semplificazione del flusso di assegnazione degli interventi ai manutentori;
 - Raccolta dei dati storici utili per l'elaborazione di KPI (es. tempo medio di risposta, numero di interventi per reparto, ecc.).

In questa fase, la gestione si interrompe alla presa in carico dell'intervento, senza prevedere la compilazione delle attività svolte, la rendicontazione di materiali e ore, né tantomeno la generazione dell'Ordine di Manutenzione (OdM). Tuttavia, questa prima fase rappresenta un passaggio fondamentale per creare le basi organizzative e informative necessarie per l'integrazione futura.

- La Fase 2, di natura più evoluta, prevede l'integrazione tecnologica tra *Interacta*, *Prometeo* e *SAP*, con l'obiettivo di abilitare una gestione end-to-end dell'intervento manutentivo. Nello specifico, una volta presa in carico la segnalazione in *Interacta*, il manutentore potrà attivare automaticamente l'OdM su *Prometeo*, senza accessi esterni o duplicazioni. Le informazioni relative agli interventi (materiali utilizzati, ore lavorate, note operative) verranno raccolte direttamente su *Interacta* e sincronizzate con *Prometeo* e *SAP*. Anche le richieste di acquisto (RdA) saranno gestibili attraverso un workflow digitalizzato e tracciato. La chiusura dell'intervento determinerà la chiusura automatica dell'OdM, garantendo così l'allineamento costante dei sistemi informativi.

Il presente progetto di tesi si è concentrato esclusivamente sulla Fase 1, con un approfondito lavoro di mappatura dei dati raccolti nella piattaforma, analisi dei flussi informativi tra produzione e manutenzione, e progettazione di un modello standardizzato per la gestione delle segnalazioni. L'obiettivo è stato quello di supportare la realizzazione di un sistema solido e scalabile, in grado di generare valore sin da subito in termini di efficienza operativa e disponibilità del dato, e al tempo stesso predisporre il contesto per la futura evoluzione integrata prevista nella fase successiva. Nonostante il focus operativo sia stato limitato alla prima fase, la tesi include anche una descrizione dettagliata dell'architettura complessiva del progetto a regime, attraverso l'elaborazione di un workflow esteso che rappresenta graficamente e logicamente il funzionamento futuro del sistema. In questo schema vengono illustrate le interazioni tra Interacta, Prometeo e SAP, evidenziando il ruolo centrale della piattaforma come front-end operativo per i manutentori, nonché punto unico di raccolta e trasmissione delle informazioni manutentive. Questa scelta è stata motivata dalla volontà di fornire una visione sistemica e strategica dell'intervento progettuale, superando il perimetro tecnico della fase iniziale per dimostrare come la digitalizzazione dei processi manutentivi possa evolvere verso un modello maturo, in cui efficienza operativa, qualità del dato e interoperabilità dei sistemi rappresentano i pilastri di un approccio industriale moderno e integrato.

4.4.2 Work Flow TO-BE

Nello scenario To-Be, il processo di gestione della manutenzione aziendale è stato profondamente rivisto, con l'obiettivo di superare le criticità del modello attuale e rendere il flusso operativo più efficiente, tracciabile e integrato, al fine di ottimizzare tutto il processo manutentivo e ridurre il più possibile il tempo di attesa di manutenzione. La novità principale è l'adozione di tre sistemi software interconnessi, dove ciascun sistema svolge un ruolo distinto ma interdipendente, contribuendo alla gestione completa del ciclo manutentivo, dalla segnalazione iniziale fino alla consuntivazione economica:

- **Interacta:** rappresenta il punto di ingresso operativo del processo. È la piattaforma che centralizza la gestione delle segnalazioni di guasto, sostituendo completamente i canali informali e frammentati attualmente in uso (telefono, Teams, email, WhatsApp, voce). All'interno del nuovo flusso digitale, utilizzato esclusivamente dal responsabile di manutenzione, responsabili di reparto, manutentori, Interacta permette di:
 - Creare un post strutturato;
 - Tracciare tutte le fasi operative;
 - Visualizzare lo stato aggiornato delle attività;

- Scrittura note tecniche con foto integrate;
- Analisi dei dati prelevati dal campo.
- Prometeo: rappresenta il CMMS, ha il compito di modellare e gestire la manutenzione programmata. In questo modello evolutivo, Prometeo assorbe i dati provenienti da Interacta, organizza le informazioni ricevute, le integra con la pianificazione della manutenzione preventiva, pianifica i piani di manutenzione programmata e funge da punto di snodo per il passaggio delle informazioni a SAP, sia per gli interventi correttivi che preventivi.
 - Elaborazione dello storico manutentivo;
 - Produzione di KPI tecnici, ad esempio MTTR, MTTF, MTBF;
 - Gestione della manutenzione preventiva.
- Sap: utilizzato come sistema ERP a valle del flusso operativo, nel To-Be permette di:
 - Registrazione e chiusura degli OdM;
 - Tracciamento dei costi.

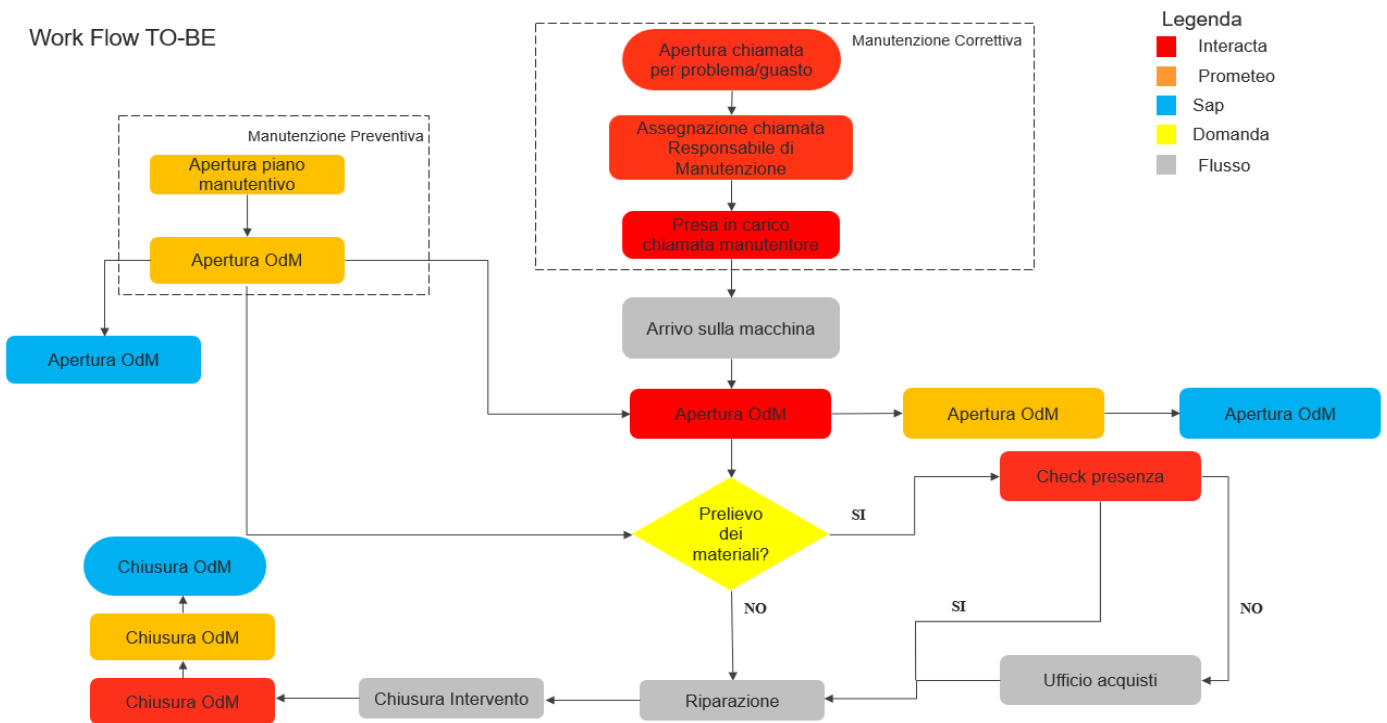


Figura 23: Work-Flow stato To-Be.

Il workflow, rappresentato nel grafico, illustra come le due principali modalità operative, ossia la manutenzione preventiva e manutenzione correttiva, siano cambiate rispetto allo scenario As-Is. In particolar modo per quanto riguarda la manutenzione correttiva, la gestione delle chiamate per guasto viene completamente digitalizzata. La chiamata viene aperta direttamente su Interacta, sostituendo i molteplici canali destrutturati del modello As-Is, i quali generavano perdite di informazioni e un aumento dell'inefficienza operativa. La fase di assegnazione della chiamata al

responsabile di manutenzione e la successiva presa in carico da parte del manutentore avvengono anch'esse su Interacta, con aggiornamenti in tempo reale visibili a tutti gli attori coinvolti. Nel modello As-Is, queste attività avvengono per via orale o tramite chat, senza alcuna registrazione sistematica, e il responsabile è spesso costretto a cercare manualmente un tecnico disponibile. Dopo l'arrivo sulla macchina, l'OdM viene preso in carica direttamente dall'operatore, sempre su Interacta, oppure in caso di mancanza di apertura dell'OdM da parte del responsabile di manutenzione, si è visto come una creazione precedente della community possa abilitare anche il manutentore, la possibilità di aprire OdM per la macchina da riparare. Questo rappresenta un cambio radicale: nell'As-Is, l'OdM viene aperto su SAP solo se il guasto è confermato e rispettano criteri specifici (es. durata >30 minuti o utilizzo materiali primari), e spesso l'apertura avviene a intervento quasi concluso. Nel To-Be, invece, l'apertura dell'OdM è tempestiva, digitale e integrata: una volta creato su Interacta, l'ordine viene propagato automaticamente prima a Prometeo e successivamente a SAP. Questo consente un aggiornamento in tempo reale delle informazioni anche sugli altri due sistemi, garantendo che tutti i dati inseriti o modificati su Interacta siano immediatamente disponibili e coerenti anche su Prometeo e SAP.

Una volta aperto l'OdM, il workflow To-Be prevede un passaggio decisionale strutturato all'interno di Interacta, che propone al manutentore una domanda guidata: "Prelievo dei materiali?". Se la risposta è affermativa, il sistema esegue automaticamente un check di disponibilità dei componenti a magazzino. Nel caso il materiale risulti disponibile, il manutentore procede al prelievo, altrimenti viene attivato direttamente l'ufficio acquisti, senza necessità di ulteriori passaggi o interventi manuali. L'intero flusso è digitalizzato e tracciato in tempo reale, compreso il tipo di materiale prelevato, il relativo codice e l'utente che ha eseguito l'operazione. Nel modello As-Is, la verifica della disponibilità avveniva tramite EasyStore, software collegato a SAP e accessibile da un PC a bordo macchina. Tuttavia, tale postazione non era sempre presente o funzionante, rappresentando una criticità organizzativa ricorrente. In mancanza di questa possibilità, il manutentore era costretto a recarsi fisicamente in magazzino per verificare la disponibilità del ricambio, con evidente spreco di tempo e risorse. Una volta individuato il materiale, il prelievo doveva essere registrato manualmente su un foglio cartaceo, che includeva dati come codice articolo, quantità, macchina di destinazione e nome del manutentore. Questo sistema presentava diversi limiti: rischio di smarrimento dei documenti, errori di compilazione, ritardi nella registrazione e mancanza di una tracciabilità immediata. Nel To-Be, invece, tutte le operazioni sono gestite direttamente su Interacta, che elimina la necessità di utilizzare EasyStore da postazioni locali e sostituisce il supporto cartaceo con una tracciabilità digitale integrata. Il manutentore, prima ancora di recarsi in magazzino, conosce già la disponibilità del ricambio. In caso di prelievo, l'interfaccia Interacta

consente di registrare in tempo reale il codice del materiale prelevato, la quantità e l'associazione all'OdM, garantendo efficienza operativa, accuratezza nei dati e aggiornamento automatico del sistema.

In caso di manutenzione preventiva, Il flusso To-Be prevede che gli interventi pianificati vengano gestiti tramite Prometeo, il CMMS aziendale, che genera su dati forniti dal responsabile della manutenzione, un OdM, il quale di conseguenza avvia il flusso operativo. Nel diagramma è evidenziata l'apertura del piano manutentivo (Prometeo, colore arancione) seguita dall'apertura OdM (trasmessa a SAP in azzurro). Nel modello attuale, la manutenzione preventiva è invece pianificata tramite Microsoft Project, un sistema scollegato da SAP, senza alcun collegamento strutturato con l'esecuzione e senza possibilità di tracciamento sistematico. Questo comporta disallineamenti tra pianificazione e realtà operativa, nonché difficoltà nel monitoraggio delle scadenze.

La chiusura dell'intervento manutentivo OdM avviene su Interacta, direttamente da parte del manutentore sul campo tramite app mobile. La chiusura genera l'aggiornamento automatico dei sistemi a valle: Prometeo riceve i dati tecnici dell'intervento, e SAP li utilizza per completare la chiusura contabile dell'OdM. Inoltre, le chiusure OdM nei tre sistemi (Interacta, Prometeo, SAP) risultano sincronizzate, evitando duplicazioni, errori e dimenticanze, che nel modello As-Is erano frequenti per via della gestione separata tra Teams e SAP. Nel modello attuale (As-Is), la chiusura dell'Ordine di Manutenzione (OdM) è effettuata manualmente su SAP, spesso non contestualmente alla conclusione dell'intervento, ma a distanza di uno o più giorni. Questo comporta un elevato rischio di disallineamento temporale tra l'effettiva esecuzione dell'attività e la registrazione amministrativa, con conseguenti imprecisioni nella consuntivazione. In particolare, si riscontrano frequentemente:

- Ore lavorate non registrate o indicate in modo approssimativo;
- Materiali mancanti o non correttamente associati all'intervento;
- Descrizioni tecniche incomplete o approssimative, redatte a posteriori senza un tracciamento puntuale.

Grazie alla digitalizzazione e all'integrazione tra sistemi, la fase di chiusura dell'OdM nel To-Be non è più soggetta all'iniziativa individuale del manutentore, ma è guidata da un processo strutturato che assicura la completezza, la tempestività e l'accuratezza dei dati inseriti.

Capitolo 5

5.1 Mappatura AS-IS

A fronte delle criticità emerse nell'attuale processo di gestione della manutenzione legate in particolare alla frammentazione dei canali di comunicazione, all'assenza di tracciabilità nei primi step dell'intervento e alla difficoltà di raccogliere dati consolidati è stato avviato un lavoro sistematico di mappatura dell'effettiva operatività manutentiva nei reparti produttivi di Sacmi Imola. L'obiettivo principale di questa attività è stato quello di fotografare lo stato As-Is, costruendo un modello informativo robusto che consenta successivamente un confronto oggettivo con il futuro scenario To-Be, il quale prevede l'introduzione della piattaforma Interacta. Per garantire una valutazione accurata, la raccolta e l'analisi dei dati si sono concentrate su un intero trimestre (aprile – maggio – giugno), scegliendo parametri rappresentativi e misurabili del comportamento reale del servizio manutentivo.

Il focus è stato posto sulla prima parte del flusso manutentivo, in particolare sul tempo di attesa: l'intervallo che intercorre tra la richiesta di intervento e l'effettivo arrivo del manutentore sulla macchina. Questo tempo, spesso non tracciato nei sistemi ufficiali, è risultato essere una delle principali fonti di inefficienza. Tuttavia, per garantire una lettura completa, la mappatura è stata estesa ad altre dimensioni fondamentali, che consentono di valutare frequenza, gravità, carico di lavoro e impatto economico degli interventi. In particolare, sono stati analizzati i seguenti sei parametri:

1. Frequenze degli interventi per ciascuna macchina di ogni reparto:

L'analisi della frequenza degli interventi manutentivi rappresenta il primo passo per comprendere dove si concentrano i maggiori carichi operativi del reparto manutenzione. In particolare, è stata rilevata la frequenza puntuale degli interventi per ciascuna macchina, all'interno dei seguenti reparti produttivi: macchine utensili leggere, macchine utensili pesanti, magazzino, verniciatura e altro. Questa rilevazione consente di individuare quali asset risultano più soggetti a guasti o malfunzionamenti ricorrenti, e può fornire indicazioni utili su:

- Obsolescenza tecnica dell'impianto;
- Errate modalità d'uso da parte degli operatori;
- Eventuali lacune nella manutenzione preventiva.

I dati sono stati raccolti con cadenza mensile nel periodo aprile–giugno, e strutturati in tabelle macchina-reparto-tempo per facilitare analisi trasversali e temporali. Gli obiettivi principali di questa analisi sono:

- Identificare le macchine più critiche in termini di ricorrenza dei guasti;
- Evidenziare asimmetrie nella distribuzione del carico manutentivo tra i reparti;
- Costruire una base solida per confronti economici e gestionali nelle successive fasi del progetto.

2. Tempi di attesa che intercorre dalla segnalazione di un problema sulla macchina all'arrivo effettivo del manutentore:

Il tempo di attesa è uno dei parametri più significativi per valutare l'efficienza del processo manutentivo nella sua fase iniziale. In un contesto in cui le segnalazioni vengono ancora gestite tramite canali informali e non integrati, questa fase rimane del tutto priva di tracciabilità nei sistemi gestionali aziendali, rendendo impossibile l'elaborazione di KPI affidabili e il monitoraggio oggettivo dei tempi di risposta. Per colmare questa lacuna informativa, sono stati raccolti dati puntuali sull'orario della chiamata di manutenzione e sull'orario effettivo di arrivo del manutentore sul posto, per ciascun intervento, disaggregati per macchina e per reparto. Questa analisi consente di:

- Valutare la reattività del sistema manutentivo reale rispetto alle urgenze operative;
- Identificare colli di bottiglia dovuti a:
 - Indisponibilità del personale tecnico al momento della chiamata;
 - Scarsa visibilità sullo stato di occupazione dei manutentori;
 - Mancanza di regole condivise per l'assegnazione automatica delle priorità.
- Misurare l'eterogeneità dei tempi di attesa tra i diversi reparti, utile per calibrare la futura logica di scheduling automatizzato nel modello To-Be.

Il tempo di attesa rappresenta una variabile critica nella e una sua riduzione rappresenterebbe una delle leve principali per l'ottimizzazione del servizio di manutenzione in ambienti industriali complessi.

3. Numero di interventi con fermo macchina:

Non tutti gli interventi manutentivi hanno la stessa gravità. Alcuni avvengono a macchina funzionante (es. anomalie minori o problemi software), altri comportano il fermo totale dell'impianto, con impatti diretti sulla produzione. L'analisi si è concentrata sulla

quantificazione degli interventi critici, ossia quelli che hanno comportato il blocco operativo della macchina, quest'analisi serve per:

- Distinguere la manutenzione "critica" da quella "ordinaria";
- Valutare il livello di reattività richiesto;
- Rivisitare i criteri di priorità e urgenza.

È stato confrontato il numero di interventi classificati come “a macchina ferma” con il totale degli interventi per ogni macchina e reparto. L'obiettivo è stato quello di stimare la pressione produttiva associata alle inefficienze manutentive, valutando quali macchine risultano essere colli di bottiglia produttivi più significativi e infine fornire una base per la successiva analisi economica (punto 4).

4. Tempo totale di attesa in caso di macchina guasta:

Questo indicatore misura il tempo complessivo trascorso tra la segnalazione del guasto e l'arrivo effettivo del manutentore sulla macchina, considerando solo gli interventi in cui la macchina era effettivamente ferma. L'obiettivo è valutare l'efficienza del sistema manutentivo nel rispondere ai guasti critici, dove ogni minuto di attesa si traduce in perdita produttiva. I dati sono stati raccolti su base mensile per ciascun reparto nel periodo aprile–giugno. Questa analisi è stata effettuata per avere una stima economica delle perdite ossia dei down-time. Grazie a questo siamo in grado di:

- Quantificare i ritardi nei casi più impattanti;
- Evidenziare criticità organizzative o mancanza di tracciabilità;
- Fornire un riferimento chiave per confrontare la reattività attuale con quella prevista nel modello To-Be, in cui Interacta permetterà di tracciare e ridurre questi tempi in tempo reale.

5. Frequenza per tipologia di guasto: meccanico vs elettrico

Si è andati ad analizzare la natura tecnica del guasto, che è stata classificata in due macrocategorie:

- Guasti di natura meccanica;
- Guasti di natura elettrica/elettronica.

Questa distinzione ha implicazioni dirette su:

- Tipologia di competenze richieste per ogni intervento;
- Organizzazione delle squadre di manutenzione;

- Strategia di formazione e sviluppo delle risorse.

Nel processo As-Is attuale, la gestione della segnalazione del guasto è spesso imprecisa. In molti casi, l'operatore o il referente di reparto, comunica in modo approssimativo la natura del problema al responsabile o ai referenti della manutenzione. Questa gestione inefficace comporta:

- Allungamento dei tempi di intervento, in quanto il primo tecnico non è in grado di risolvere il guasto;
- Duplicazione degli sforzi e peggioramento della tracciabilità.

Per questo motivo, l'analisi ha avuto i seguenti obiettivi:

- Misurare il tasso di occupazione per tipologia di guasto, ovvero quante volte ciascun manutentore (meccanico o elettrico) è stato coinvolto per risolvere guasti del proprio ambito tecnico;
- Ottimizzare l'assegnazione iniziale degli interventi nello scenario To-Be, in cui la piattaforma Interacta permetterà una gestione intelligente e strutturata delle segnalazioni, basata su categorie tecniche, ruoli e competenze mappate.

6. Distribuzione degli interventi tra i manutentori:

È stata analizzata la ripartizione degli interventi tra i 10 manutentori attivi (5 meccanici e 5 elettrici) per valutare l'equilibrio del carico operativo. L'obiettivo era individuare eventuali squilibri, sovraccarichi o sottoutilizzo, nonché dipendenze da tecnici "chiave". Questa analisi fornisce una base per ottimizzare la futura assegnazione automatica delle chiamate nel modello To-Bee, favorendo una distribuzione coerente con le competenze, supportata da strumenti digitali come Interacta.

5.2 Risultati mappatura As-Is

5.2.1 Frequenze totale degli interventi per ciascuna macchina di ogni reparto e tempo totale attesa chiamata in manutenzione

Reparto	Interventi	Tempo totale attesa chiamata in manutenzione [h]	Incidenza %
Macchine Pesanti	128	48:45:00	35,75%
Magazzino	55	14:40:00	15,36%
Macchine Leggere	112	48:43:00	31,28%
Altro	58	32:49:00	16,20%
Verniciatura	5	06:23:00	1,40%
	358	151:20:00	

Tabella 3: Numero di interventi e tempo totale d'attesa in manutenzione nei 5 reparti.

Il tempo totale di attesa chiamata, mappato nel corso dei tre mesi (aprile, maggio e giugno) riportato nella tabella soprastante, include tutti gli asset produttivi, compresi i muletti eventualmente presenti nei reparti. Analizzando invece solo gli asset produttivi di ciascun reparto, si ottiene:

- Macchine utensili pesanti: Tempo totale attesa chiamata [h] è pari a 38 ore e 59 minuti con 118 interventi; quindi, se confrontiamo tale minutaggio con quello della tabella possiamo dire che, i muletti hanno totalizzato un tempo totale di attesa pari a 9 ore e 46 minuti con soli 10 interventi.

In conclusione, tale reparto ha totalizzato un tempo medio di attesa per intervento pari a: 24,88 minuti/intervento, con una frequenza d'interventi al giorno su base trimestrale, pari a 2,37 interventi.

- Magazzino il valore del tempo totale attesa chiamata [h] è rimasto invariato perché non ha nessun muletto che ha avuto problemi in questi tre mesi d'analisi. Con un tempo medio di attesa per intervento pari a: 16 minuti/intervento. Frequenza d'interventi al giorno su base trimestrale, pari a 1,02 interventi.
- Macchine utensili leggere: Tempo totale attesa chiamata [h] è pari a 48 ore e 1 minuti con 111 interventi; quindi, se confrontiamo tale minutaggio con quello della tabella possiamo dire che, i muletti hanno totalizzato un tempo totale di attesa pari a 42 minuti con solo 1 intervento. In conclusione, tale reparto ha totalizzato un tempo medio di attesa per intervento pari a: 25,95 minuti/intervento, con una frequenza d'interventi al giorno su base trimestrale, pari a 2,07 interventi.
- Verniciatura il valore del tempo totale attesa chiamata [h] è rimasto invariato perché non ha nessun muletto che ha avuto problemi in questi tre mesi d'analisi. Con un tempo medio di

attesa per intervento pari a: 76,6 minuti/intervento. Frequenza d'interventi al giorno su base trimestrale, pari a 0,1 interventi.

- Altro: Tempo totale attesa chiamata [h] è pari a 23 ore e 12 minuti con 50 interventi; quindi, se confrontiamo tale minutaggio con quello della tabella possiamo dire che, i muletti hanno totalizzato un tempo totale di attesa pari a 9 ore e 36 minuti con soli 8 interventi. In conclusione, tale reparto ha totalizzato un tempo medio di attesa per intervento pari a: 28 minuti/Intervento, con una frequenza d'interventi al giorno su base trimestrale, pari a 1,08 interventi.

Il tempo medio d'attesa in manutenzione è stato calcolato nel seguente modo:

$$MTTA = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Tempo di attesa in manutenzione}}{N}$$

Dove:

- N: il numero totale d'interventi di manutenzione registrati nel periodo di riferimento aprile-giugno.
- Tempo di attesa in manutenzione: il tempo che intercorre tra quando l'operatore chiama il responsabile di manutenzione per via di un problema ad una macchina e il tempo che ci impiega il manutentore dopo essere stato assegnato a quell'intervento da mantenere, ad arrivare sulla macchina che ha riscontrato quel problema.

Il MTTA (Mean Time to Acknowledge) è stato calcolato per ogni reparto e per ogni macchina, al fine di ottenere una visione dettagliata delle differenze tra i reparti e di identificare quelli maggiormente o meno soggetti ad attese. Il calcolo è stato effettuato separatamente per ciascun mese (aprile, maggio e giugno) e successivamente aggregato per ottenere un valore complessivo su base trimestrale. In questo modo, è stato possibile analizzare non solo le differenze tra i vari reparti e macchine, ma anche le variazioni temporali su base mensile, evidenziando eventuali tendenze o anomalie nella distribuzione delle attese durante il periodo di osservazione. Dai calcoli è emerso che, il tempo medio d'attesa in manutenzione per ogni reparto considerando anche i muletti su base trimestrale (aprile-maggio-giugno) è pari a:

- Macchine utensili pesanti: 22,85 minuti/intervento
- Magazzino: 16 minuti/intervento
- Macchine utensili leggere: 26,16 minuti/intervento
- Verniciatura: 76,6 minuti/intervento
- Altro: 33,95 minuti/intervento

Analizzando i tempi di attesa in manutenzione, è possibile notare delle differenze significative tra i valori che considerano i muletti e quelli che li escludono. Per Macchine utensili pesanti, il tempo medio di attesa è di 22,85 minuti/intervento quando si includono i muletti, mentre aumenta a 24,88 minuti/intervento senza di essi. La riduzione di 2,03 minuti suggerisce che i muletti, pur avendo un impatto, non influiscono in modo determinante sui tempi di attesa nel caso di questo reparto. Per il Magazzino, non c'è alcuna differenza tra i tempi con e senza i muletti, con un tempo medio costante di 16 minuti/intervento, indicando che i muletti non sono coinvolti in interventi significativi o non influiscono sulla gestione delle attese in questo reparto. Nel caso delle Macchine utensili leggere, la differenza tra i due scenari è di soli 0,21 minuti (26,16 minuti/intervento con muletti e 25,95 minuti/intervento senza), suggerendo che l'inclusione dei muletti ha un impatto marginale, con tempi di attesa praticamente simili in entrambe le condizioni. Per il reparto Verniciatura, i tempi di attesa restano invariati (76,6 minuti/intervento sia con che senza muletti), il che implica che il rallentamento del processo di manutenzione è dovuto a fattori diversi dalla gestione dei muletti, come la complessità degli interventi. Infine, nel reparto Altro, si osserva una differenza significativa tra i tempi di attesa, che passano da 33,95 minuti/intervento con muletti a 28 minuti/intervento senza, con una variazione di 5,95 minuti. Questo indica che i muletti hanno un impatto rilevante sui tempi di attesa in questo reparto, suggerendo che una gestione più efficiente delle risorse potrebbe contribuire a ridurre i tempi di intervento.

Per quanto riguarda il tempo di attesa in manutenzione e la frequenza media degli interventi, considerando tutti gli asset produttivi presenti all'interno di ciascun reparto e i veicoli da mantenere all'interno di Sacmi Imola, i dati registrati durante la mia mappatura (suddivisa in un orizzonte temporale trimestrale: aprile, maggio, giugno) sono i seguenti:

- Aprile: Tempo medio di attesa in manutenzione 25,78 minuti/intervento con una frequenza giornaliera d'intervento pari a 5,29 interventi/giorno, considerando i 14 giorni lavorativi di aprile;
- Maggio: Tempo medio di attesa in manutenzione 25,58 minuti/intervento con una frequenza giornaliera d'intervento pari a 6,95 interventi/giorno, considerando i 20 giorni lavorativi di maggio;
- Giugno: Tempo medio di attesa in manutenzione 24,94 minuti/intervento con una frequenza giornaliera d'intervento pari a 7,25 interventi/giorno, considerando i 20 giorni lavorativi di giugno.

Il tempo medio di attesa in manutenzione su base trimestrale, calcolato considerando i dati sopra citati, risulta essere pari a 25,36 minuti/intervento. Questo valore è stato ottenuto aggregando i tempi di attesa mensili di aprile, maggio e giugno. La distribuzione degli interventi tra i diversi reparti è illustrata nel grafico sottostante e riflette i dati riportati nella tabella 3, che sintetizza il numero totale di interventi per ciascun reparto durante il periodo analizzato.

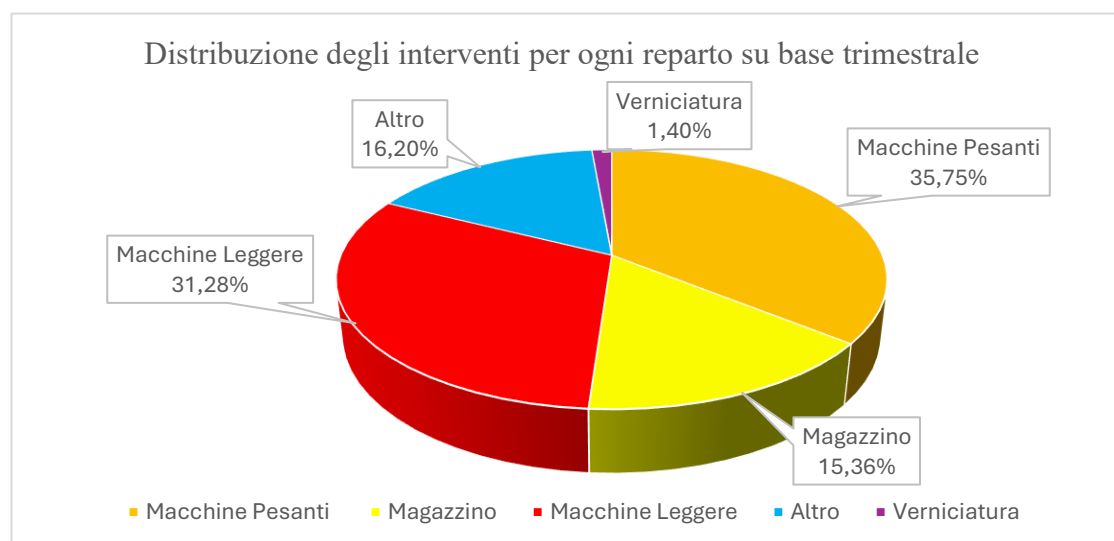


Figura 24: Distribuzione degli interventi avvenuti nel corso dei tre mesi di mappatura per ogni reparto.

Per capire al meglio che incidenza avevano i tempi d'attesa in manutenzioni mappati, sono andato a clusterizzarli in range di tempo, questo per avere una visione più precisa di quanti interventi stanno in una certa soglia di tempo di attesa.

Range di tempo	Interventi	Distribuzione %
0 minuti - 10 minuti	158	44,13%
11 minuti - 20 minuti	84	23,46%
21 minuti - 30 minuti	37	10,34%
31 minuti - 1 ora	51	14,25%
> 1 ora	28	7,82%
358		

Tabella 4: Clusterizzazione degli interventi per intervalli di tempo.

L'analisi dei tempi di attesa per l'arrivo del manutentore, suddivisi in intervalli temporali, evidenzia una distribuzione fortemente concentrata nelle fasce più brevi. In particolare, il 68% degli interventi rientra nei primi due intervalli (0–10 minuti e 11–20 minuti), indicando una capacità di risposta mediamente rapida per la maggior parte delle richieste. Questo dato suggerisce un sistema manutentivo in grado di garantire, nella maggioranza dei casi, un lead time ridotto tra la segnalazione e l'inizio dell'intervento, minimizzando così l'impatto potenziale sul tempo di fermo impianto. Tuttavia, la coda della distribuzione presenta valori significativamente più elevati nei range 31 minuti – 1 ora (14,25%) e > 1 ora (7,82%). Un'analisi qualitativa ha mostrato che

tali casi riguardano in larga parte interventi su mezzi ausiliari, quali i carrelli elevatori, che non sono direttamente coinvolti nel processo produttivo primario. L'allocazione delle risorse di manutenzione tende quindi a privilegiare, in via implicita, le apparecchiature produttive core, relegando in secondo piano le attività su asset non critici dal punto di vista della continuità produttiva. Questa prioritizzazione implicita è coerente con logiche di manutenzione orientate alla massimizzazione della disponibilità delle risorse critiche, ma comporta un innalzamento della media complessiva dei tempi di attesa.

Questo quadro appena analizzato conferma la presenza di una prioritizzazione implicita verso le macchine produttive, a scapito degli asset ausiliari, i quali contribuiscono in misura rilevante all'innalzamento della media complessiva. Per verificare come tale comportamento si manifesti a livello di singolo reparto, è stato introdotto il calcolo del Service Level (SL), definito come la percentuale di interventi completati entro una soglia temporale prefissata. Sono stati considerati quattro livelli di soglia: 10 minuti, 15 minuti, 20 minuti e 25 minuti, così da ottenere una misura graduata della rapidità di risposta. Il confronto tra reparti permette di individuare aree ad alta efficienza (con SL elevati anche per soglie più restrittive) e reparti in cui il mantenimento di un tempo di risposta breve è più difficile, probabilmente per cause strutturali, organizzative o legate alla dislocazione fisica degli asset. Tale approccio consente quindi di legare l'analisi aggregata dei tempi di attesa con una valutazione puntuale per reparto, utile per impostare eventuali azioni di miglioramento mirate e prioritarie.

N° Interventi per reparto	SL 25 minuti	SL 20 minuti	SL 15 minuti	SL 10 minuti	Interventi totali trimestre (Aprile-Maggio-Giugno)
Macchine Pesanti	89	88	78	59	128
% interventi	69,53%	68,75%	60,94%	46,09%	
Magazzino	47	47	43	33	55
% interventi	85,45%	85,45%	78,18%	60,00%	
Macchine Leggere	77	70	64	46	112
% interventi	68,75%	62,50%	57,14%	41,07%	
Altro	41	33	28	20	58
% interventi	70,69%	56,90%	48,28%	34,48%	
Verniciatura	3	2	2	2	5
% interventi	60,00%	40,00%	40,00%	40,00%	

Tabella 5: Calcolo del Service Level, per ogni reparto.

L'analisi del Service Level su base trimestrale evidenzia che, considerando l'insieme dei reparti, il 71,79% degli interventi (pari a 257 su 358 totali) presenta un tempo di attesa inferiore o uguale a 25 minuti. Questo dato conferma una capacità di risposta rapida del servizio di manutenzione, coerente con un modello di intervento volto a minimizzare i tempi di fermo delle risorse produttive critiche.

- **Magazzino:** È il reparto con le migliori performance, l'85,45% degli interventi avviene entro 20 minuti e il 60% entro 10 minuti, indice di un'elevata priorità nell'arrivare in maniera tempestiva sull'asset. Ciò suggerisce un'elevata accessibilità e una rapida mobilitazione del personale manutentivo, favorita da una disposizione logistica centralizzata e da una minore dispersione geografica dell'asset.
- **Macchine Pesanti:** Con il 68,75% degli interventi sotto i 20 minuti e il 46,09% sotto i 10 minuti, il reparto evidenzia un buon livello di tempestività. La riduzione nelle soglie più basse è verosimilmente attribuibile sia alla maggiore distanza fisica per poterle raggiungere, sia alla contemporanea occupazione di tutto il personale manutentivo in altri interventi, circostanza che comporta un incremento del tempo di attesa in manutenzione.
- **Macchine Leggere:** Con il 62,50% sotto i 20 minuti e il 41,07% sotto i 10 minuti, mostra valori più bassi rispetto a macchine pesanti e magazzino. Le cause possono includere l'elevata distanza per poterle raggiungere e possibili interferenze con altre attività di manutenzione in corso che rallentano la presa in carico fisica degli interventi.
- **Altro:** Il calo dal 70,69% sotto i 25 minuti al 34,48% sotto i 10 minuti evidenzia potenziali margini di miglioramento nella gestione delle urgenze, probabilmente per la presenza di asset non produttivi che ricevono priorità inferiore oppure per elevata distanza per poter raggiungere le macchine che fanno parte di questo reparto.
- **Verniciatura:** con solo 5 interventi, i dati non sono statisticamente robusti, ma il 40% sotto i 10 minuti suggerisce che, quando l'intervento viene intrapreso, la risposta è rapida; tuttavia, la bassa frequenza rende difficile valutare trend significativi.

Per approfondire l'analisi a livello di singola macchina, sono stati elaborati tre grafici relativi ai reparti Magazzino, Macchine Utensili Leggere e Macchine Utensili Pesanti. In ciascun grafico sono riportate le macchine che, nel corso del periodo di mappatura di tre mesi, hanno registrato almeno un intervento di manutenzione, indicando per ciascuna il numero complessivo di interventi e il tempo totale di attesa in manutenzione accumulato. Questa rappresentazione consente di individuare le macchine più critiche, ossia quelle che, a parità di numero di interventi, presentano tempi di attesa complessivi più elevati, e di distinguere tra criticità di natura frequenziale (molti interventi) e criticità di natura temporale (attese lunghe).

- Macchine Utensili Pesanti

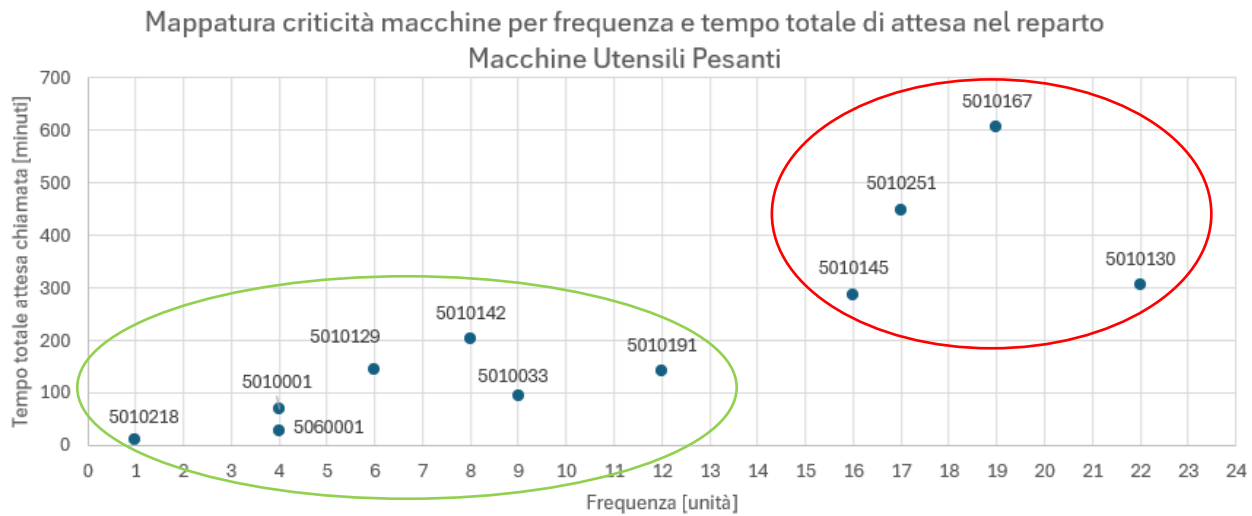


Figura 25: Mappatura delle criticità per frequenza e tempo totale di attesa nel reparto Macchine Utensili Pesanti.

Nel grafico sono state identificate due aree distinte:

- **Zona rossa (critica)**, comprendente le macchine con codice 5010167, 5010251, 5010145 e 5010130, caratterizzate da un'elevata combinazione di frequenza di interventi e tempo totale di attesa in manutenzione, tali da richiedere particolare attenzione in ottica di continuità operativa. Però se si va ad analizzare il tempo di attesa per ogni macchina critica, possiamo notare che alcune macchine presenti nella zona rossa presentano un tempo di attesa in manutenzione minore di alcune macchine presenti nella zona verde, ad esempio l'asset 5010130 che è nella zona rossa ha un tempo di attesa in manutenzione 13,86 minuti/intervento mentre 5010129 l'asset presente nella zona verde, ha un tempo di attesa in manutenzione 24,17 minuti/intervento. Questo conferma che la classificazione in zone non dipende esclusivamente dal tempo medio di attesa, ma piuttosto dal tempo totale accumulato nell'intero periodo di analisi.
- **Zona verde (non critica)**, comprendente il restante insieme di macchine, per le quali il numero di interventi e/o il tempo di attesa complessivo risultano inferiori, non costituendo quindi una priorità immediata per l'ottimizzazione del processo manutentivo.

- Macchine Utensili Leggere

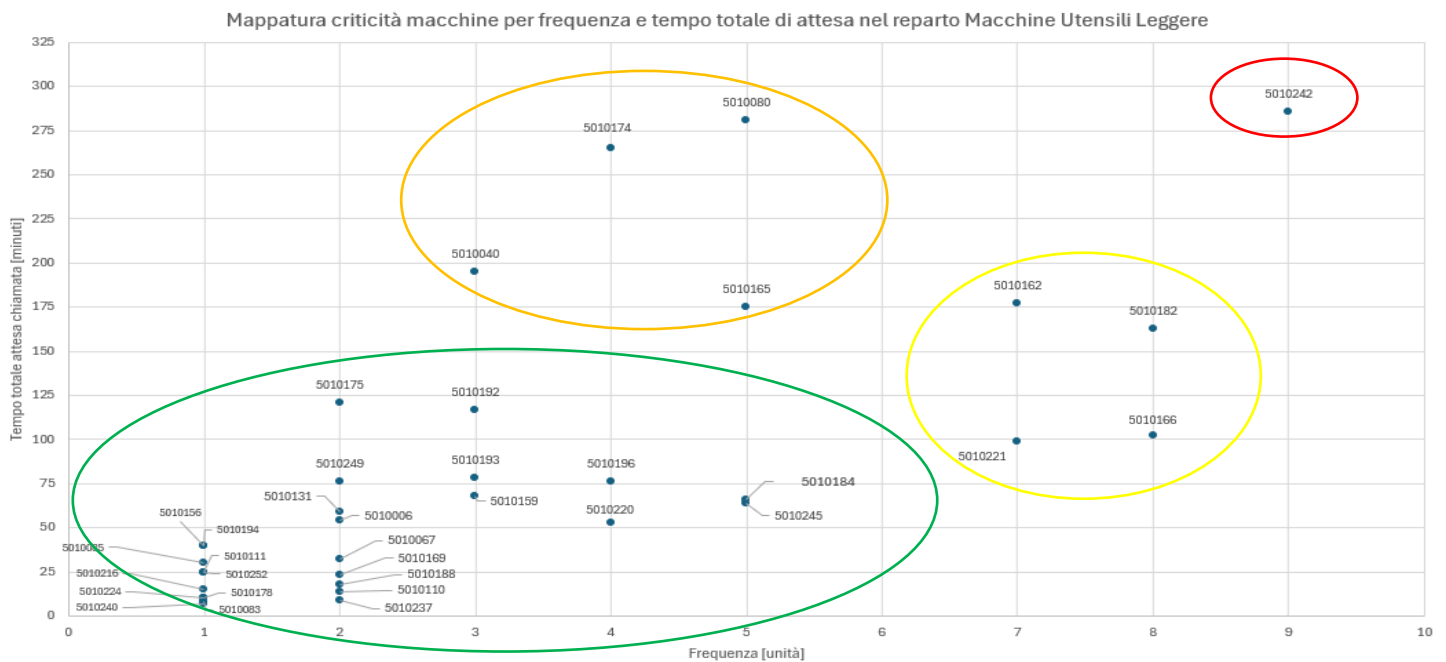


Figura 26: Mappatura delle criticità per frequenza e tempo totale di attesa nel reparto Macchine Utensili Leggere.

Nel grafico sono state identificate quattro aree distinte:

- Zona rossa (critica): Comprende un'unica macchina (5010242) con alta frequenza di interventi e tempo totale di attesa molto elevato. Questo asset rappresenta una criticità assoluta in quanto combina un impatto operativo rilevante con un'elevata indisponibilità accumulata. L'asset 5010242 ha un tempo di attesa in manutenzione pari a 31,77 minuti/intervento.
- Zona arancione (allerta): Include macchine come 5010040, 5010174, 5010080 e 5010165, caratterizzate da frequenza medio-alta e tempi di attesa complessivi significativi. Sono asset che richiedono monitoraggio e possibili azioni di miglioramento per evitare il passaggio a criticità estrema.
- Zona gialla (sensibile): Comprende macchine (5010162, 5010182, 5010166, 5010221) con alta frequenza ma tempi di attesa complessivi inferiori rispetto alla zona arancione. Sono asset produttivamente rilevanti ma con una gestione manutentiva più rapida.
- Zona verde (non critica): Raccoglie la maggior parte delle macchine, caratterizzate da bassa frequenza di interventi e tempi di attesa complessivi ridotti. Questi asset non rappresentano una priorità immediata per via del basso numero di interventi registrati in questi tre mesi, ma devono comunque essere mantenuti sotto osservazione al fine farli restare in questa zona.

- Magazzino

Rappresenta il reparto con maggiore priorità ad oggi, infatti proprio per questo, possiamo notare che, anche se il magazzino 5070003 ha registrato un numero elevato di interventi nel periodo di mappatura (37 interventi) e un tempo totale di attesa cumulato pari a 453 minuti, il tempo medio di attesa in manutenzione è molto basso, pari a 12,24 minuti/intervento. Questo dato è indice di un'elevata prontezza di intervento, con una rapidità di arrivo sulla macchina che riduce al minimo la finestra di inattività. La gestione degli interventi su questo asset dimostra come la combinazione di un'assegnazione prioritaria immediata e di un'ottimizzazione dei percorsi di spostamento del personale manutentivo permetta di contenere in modo significativo i tempi di risposta, garantendo così la continuità operativa del flusso logistico.

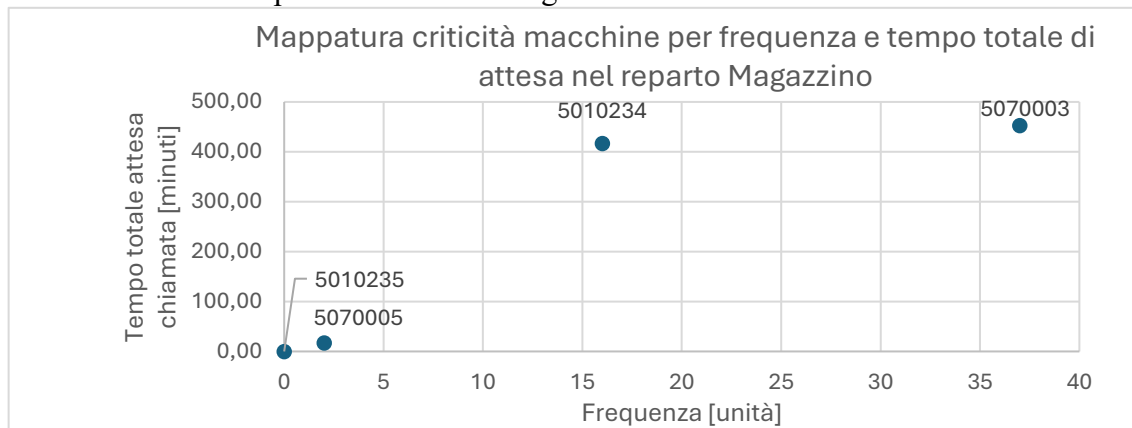


Figura 27: Mappatura delle criticità per frequenza e tempo totale di attesa nel reparto Magazzino.

Dall'osservazione emerge un andamento di priorità implicita: in base alle strategie aziendali, alcune macchine vengono gestite in modo da ridurre al minimo i tempi di fermo. Ad esempio:

- Nel Magazzino, dove la disponibilità continua delle attrezzature è essenziale per garantire il flusso logistico;
- Nelle Macchine Utensili Pesanti o Leggere impiegate in commesse strategiche, dove la produzione di determinati pezzi destinati a mercati prioritari impone di evitare interruzioni o di limitarle al minimo indispensabile.

Queste logiche, pur non formalizzate in un sistema di priorità esplicito, influenzano in modo significativo la distribuzione dei tempi di attesa, concentrando le risorse manutentive sugli asset ritenuti critici per il raggiungimento degli obiettivi produttivi aziendali

Per approfondire l'analisi e comprendere non solo i valori medi, ma anche la variabilità dei tempi di attesa in manutenzione, è stata condotta una valutazione statistica per ogni macchina appartenente ai cinque reparti, considerando i tre mesi del periodo di mappatura (aprile, maggio

e giugno). In primo luogo, per ciascuna macchina è stata calcolata la deviazione standard sulla popolazione (σ), sia su base mensile sia complessiva del trimestre.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

L'utilizzo della deviazione standard della popolazione, anziché del campione, è giustificato dal fatto che l'analisi considera l'intero insieme dei dati disponibili per il periodo osservato (N), e non un sottoinsieme rappresentativo. Questo approccio consente di misurare con precisione la dispersione dei tempi di attesa reali (x_i) senza introdurre stime correttive tipiche dell'analisi campionaria. Successivamente, è stata determinata la media pesata dei tempi di attesa in manutenzione (μ), calcolata in funzione del numero di interventi per ogni macchina, sia su base mensile sia per l'intero trimestre. Questa metodologia permette di dare maggiore rilevanza ai valori associati a un numero più elevato di interventi, evitando che episodi isolati influenzino in maniera sproporzionata il risultato complessivo. Il calcolo della deviazione standard dei tempi di attesa in manutenzione è stato effettuato al fine di determinare la distribuzione normale (per questo calcolo si è usato la media ponderata di ciascuna macchina, la sua deviazione precedentemente calcolata e il tempo di attesa in manutenzione) di riferimento per ogni macchina per ogni reparto, con l'obiettivo quello di graficarli successivamente.

Tali elaborazioni sono state applicate all'intero insieme dei reparti; tuttavia, l'analisi di dettaglio sarà focalizzata sulle macchine appartenenti ai reparti Magazzino, Macchine Utensili Leggere e Macchine Utensili Pesanti, al fine di esaminare la distribuzione normale dei tempi di attesa in manutenzione e confrontarla con l'andamento atteso di una distribuzione normale teorica. Il confronto visivo tra distribuzione empirica e distribuzione normale consente di individuare scostamenti significativi, rilevando ad esempio se il tempo di attesa in manutenzione tende a concentrarsi attorno a un valore medio stabile o se presenta code lunghe dovute a episodi con attese eccezionalmente elevate. Questo tipo di analisi si collega direttamente alle osservazioni riportate nei paragrafi precedenti: se la classificazione in zone critica/non critica si basa su combinazioni di frequenza e tempo totale, la valutazione statistica della distribuzione e della variabilità consente di capire quanto stabili o imprevedibili siano i tempi di attesa per ciascun asset, fornendo così uno strumento ulteriore per definire le priorità di intervento e per migliorare la pianificazione manutentiva. Reparti analizzati:

1) Magazzino

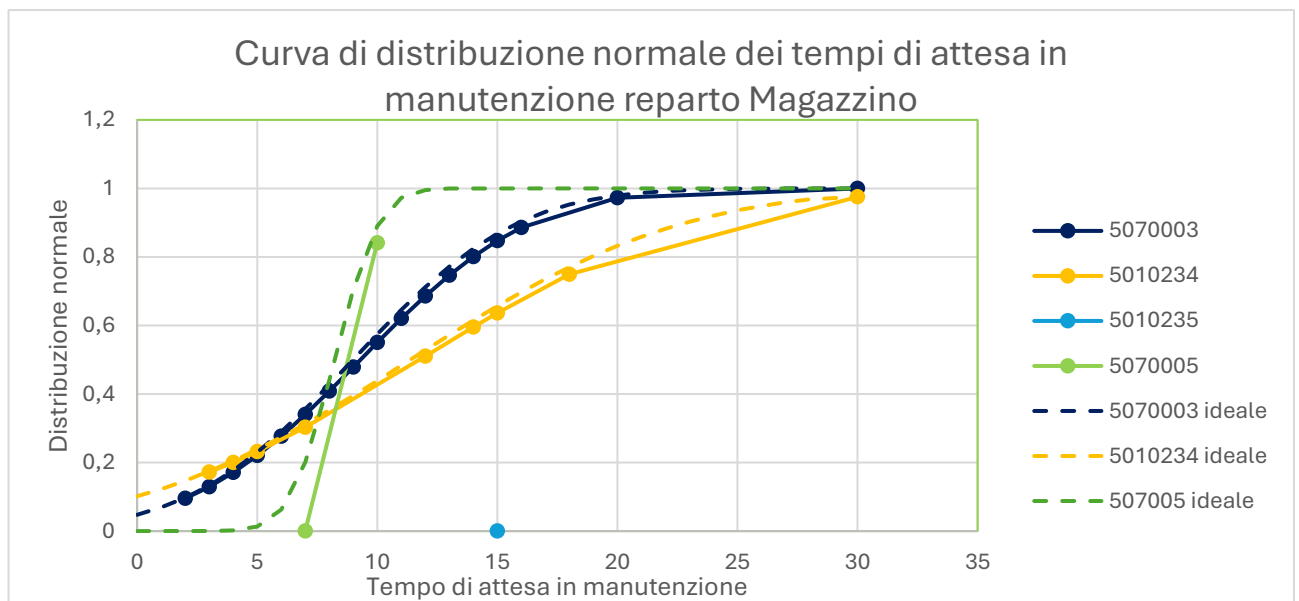


Figura 28: Curva di distribuzione normale dei tempi di attesa in manutenzione reparto Magazzino.

Nel reparto magazzino, il confronto tra le curve ideali e quelle reali evidenzia scostamenti significativi in termini di tempi di attesa in manutenzione. La macchina 5070003 presenta un andamento reale vicino alla curva ideale, con uno scostamento moderato che si manifesta principalmente nelle fasi iniziali, suggerendo margini di ottimizzazione nei primi interventi. La 5010234 mostra un ritardo costante rispetto al profilo ideale, indice di inefficienze distribuite lungo l'intero intervallo temporale. La 5070005, invece, evidenzia la deviazione più marcata: la curva reale si discosta nettamente da quella ideale, con un accumulo improvviso verso valori elevati di attesa, sintomo di possibili colli di bottiglia o priorità di intervento non adeguatamente gestite. Tali differenze indicano la necessità di un'analisi mirata delle cause strutturali e organizzative alla base dei ritardi.

2) Macchine Utensili Pesanti

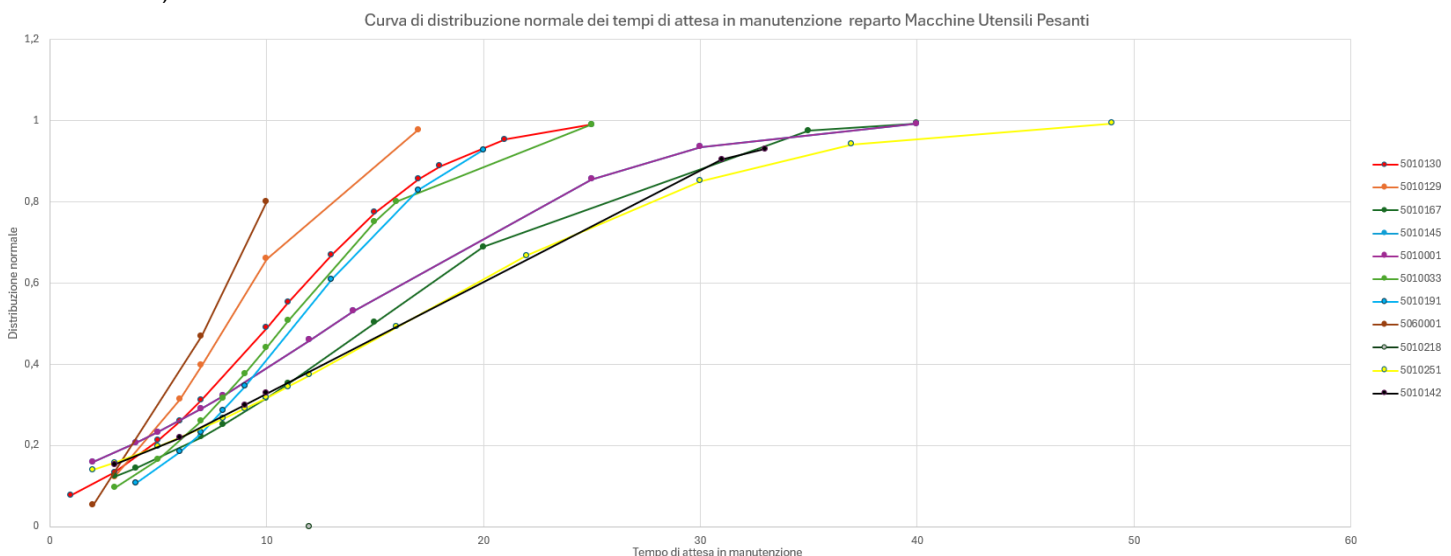


Figura 29: Curva di distribuzione normale dei tempi di attesa in manutenzione reparto Macchine Utensili Pesanti.

Nel reparto macchine utensili pesanti, le curve reali mostrano un'ampia variabilità nei tempi di attesa in manutenzione. Alcune macchine, come la 501129 e la 5060001, presentano una crescita molto rapida della distribuzione cumulata nei primi minuti, segno che la maggior parte degli interventi viene gestita in tempi brevi. Al contrario, macchine come la 5010251 e la 5010142 evidenziano un incremento più graduale e prolungato, con code temporali che si estendono fino a 40 - 50 minuti, indicando una quota consistente di interventi con attese lunghe. Si osservano inoltre curve intermedie come ad es. 5010033 e la 5010167, mantengono un andamento regolare ma con uno scostamento costante verso destra, sintomo di inefficienze diffuse ma non estreme. La curva dell'asset produttivo 5010145 mostra un andamento particolarmente vicino a quello ideale, con una crescita progressiva e uniforme, priva di picchi improvvisi o lunghi periodi di stasi. Ciò indica una gestione del carico manutentivo più bilanciata e una maggiore prevedibilità delle tempistiche, pur con lievi scostamenti nella fase finale, dove la saturazione avviene più lentamente. Nel complesso, la dispersione tra le curve suggerisce differenze significative nella gestione e nelle priorità di intervento tra le diverse macchine, ma anche la presenza di casi virtuosi che si avvicinano a un comportamento ideale.

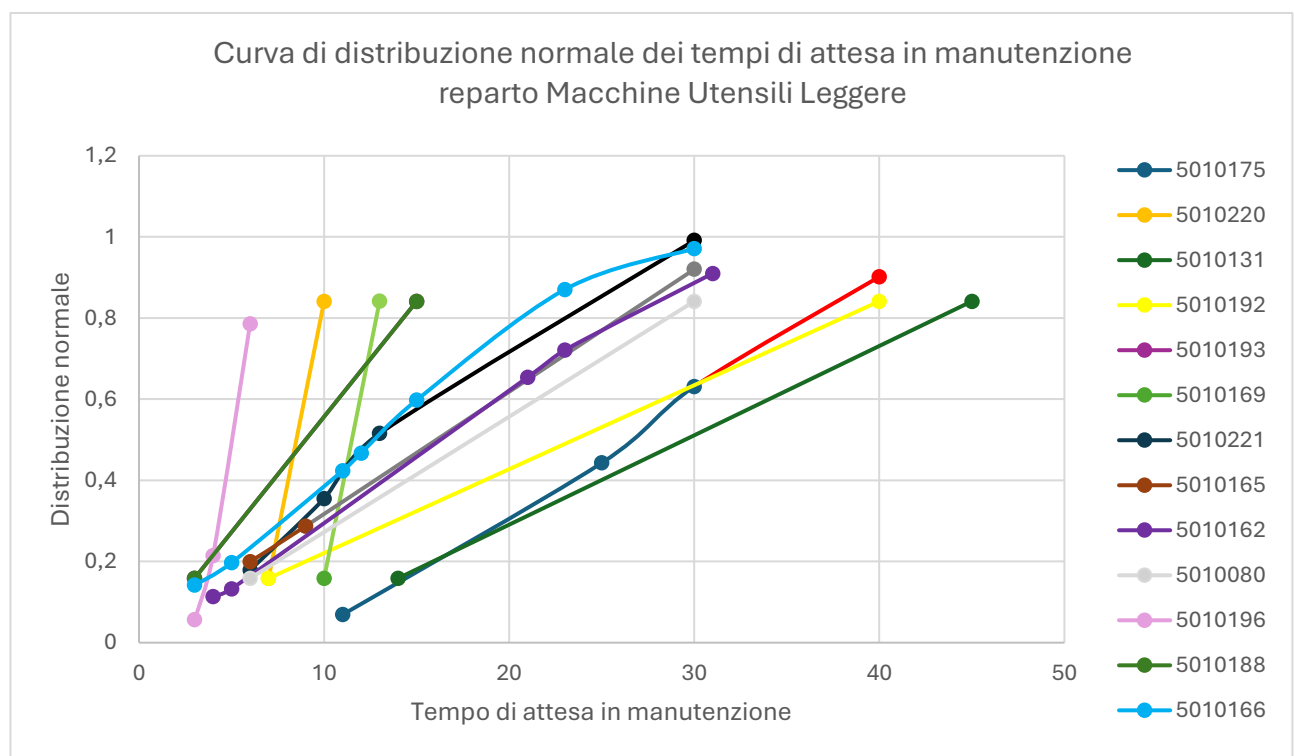


Figura 30: Curva di distribuzione normale dei tempi di attesa in manutenzione reparto Macchine Utensili Leggere.

Nel reparto macchine utensili leggere, le curve reali evidenziano comportamenti eterogenei nei tempi di attesa in manutenzione. Alcune macchine, come la 5010220 e la 5010196, mostrano una crescita molto rapida della distribuzione cumulata nei primi minuti, raggiungendo valori elevati già nelle fasi iniziali; questo indica una gestione che privilegia interventi tempestivi e

concentrati in un intervallo ristretto. Al contrario, macchine come la 5010131 e la 5010175 presentano un incremento più graduale e distribuito nel tempo, con tempi di attesa che si estendono fino ai 40 - 45 minuti, segnalando una maggiore frequenza di interventi con attese lunghe.

Sono presenti anche curve intermedie, come quelle della 5010166, 5010221 e 5010162, che seguono un andamento regolare e progressivo, senza brusche accelerazioni né lunghi periodi di stasi. Tra queste, la 5010166 si distingue per un profilo particolarmente vicino a quello ideale: crescita continua, assenza di picchi improvvisi e saturazione finale in tempi relativamente contenuti. Questo comportamento suggerisce una gestione del carico manutentivo equilibrata, con un buon compromesso tra rapidità di risposta e distribuzione uniforme degli interventi.

Oltre alla deviazione standard e alla distribuzione normale, una panoramica statistica sui tempi di attesa, è stata effettuata anche un'analisi basata sul principio di Pareto, calcolando il relativo grafico per ciascun reparto. In questa sezione, verrà analizzato in dettaglio il grafico di Pareto relativo al reparto Macchine Utensili Pesanti, al fine di esaminare in modo più approfondito la distribuzione dei tempi di attesa e identificare le macchine che contribuiscono maggiormente al totale delle attese.

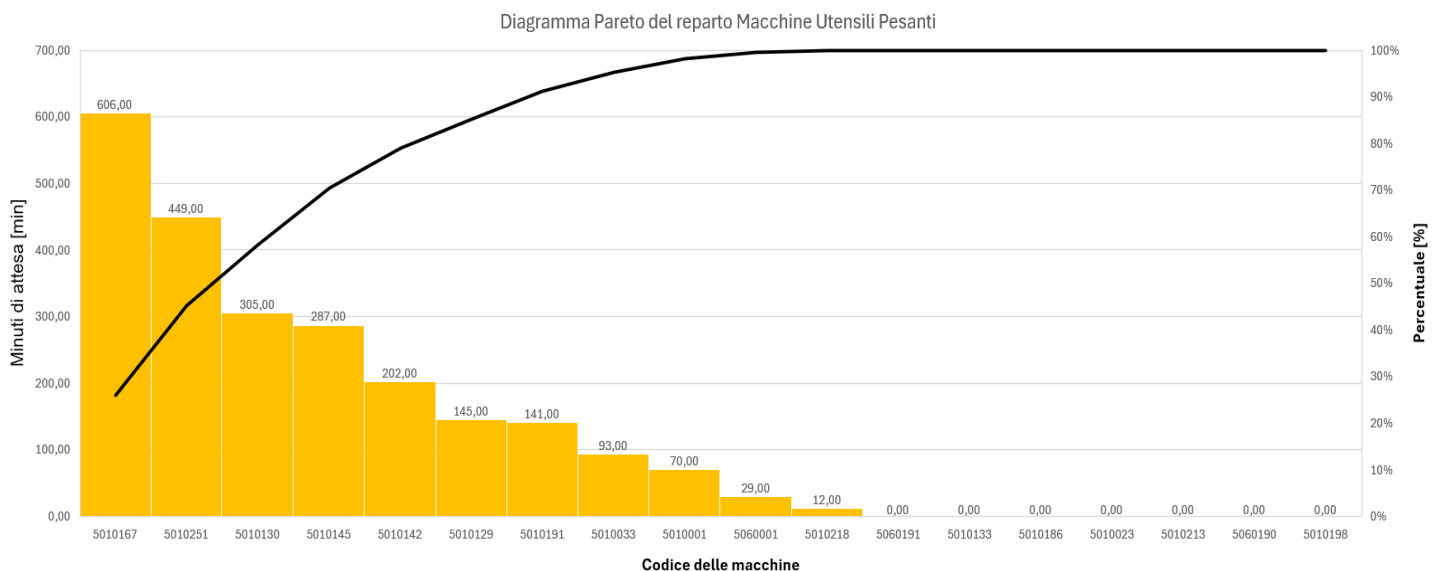


Figura 31: Diagramma Pareto del reparto Macchine utensili Pesanti.

Il grafico di Pareto del reparto Macchine Utensili Pesanti evidenzia chiaramente una distribuzione sbilanciata dei tempi di attesa, che segue il principio di Pareto. In particolare, si osserva che una piccola percentuale delle macchine (circa il 20%) è responsabile della maggior parte dei minuti di attesa complessivi. Questo fenomeno è rappresentato dalle prime macchine sulla sinistra del grafico, come la macchina con codice 5010167, che da sola contribuisce per

oltre 600 minuti di attesa, e la macchina 5010251, che segue a breve distanza con 449 minuti. Inoltre, la curva cumulativa conferma l'applicazione della legge di Pareto, poiché mostra un rapido incremento della percentuale cumulativa dei minuti di attesa nelle prime macchine, che raggiunge rapidamente il 60% dei minuti totali. La crescita della curva diventa più lenta man mano che si prosegue verso le macchine meno significative, indicando che il contributo delle restanti macchine è marginale. Infatti, le ultime macchine sulla destra del grafico, come la 5010198 e la 5010213, contribuiscono con tempi di attesa molto limitati, attestandosi a valori inferiori a 20 minuti ciascuna.

5.2.2 Interventi con fermo macchina e relativi tempi di attesa in manutenzioni e costi legati alla mancata produzione

Reparto	Interventi	Tempo totale attesa chiamata [h]
Macchine Pesanti	96	37:11:00
Magazzino	34	10:13:00
Macchine Leggere	93	37:47:00
Altro	36	17:05:00
Verniciatura	4	1:48:00
	263	104:04:00

Tabelle 6: Frequenza degli interventi in caso di fermo macchina e relativi tempi di attesa in manutenzione.

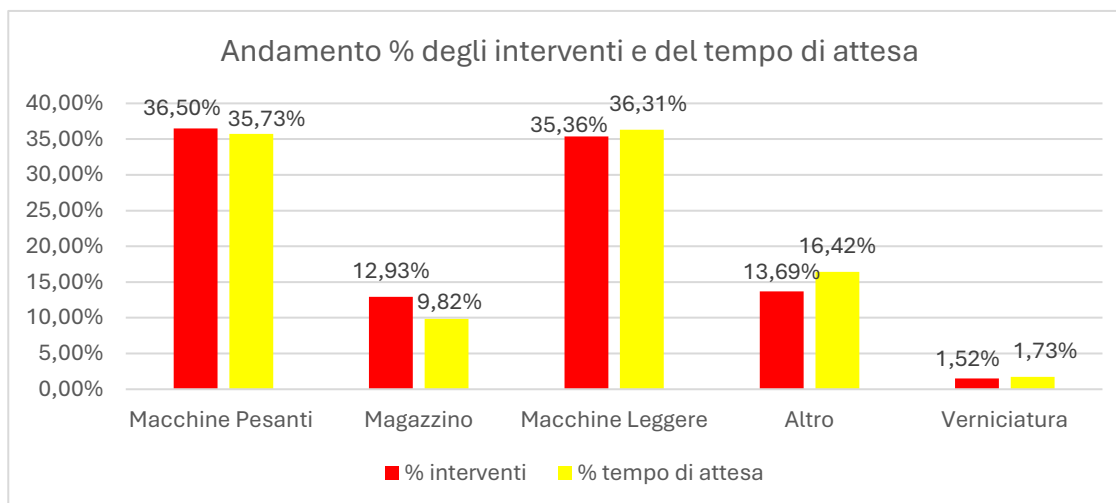


Figura 32: Andamento % degli interventi e del tempo di attesa.

Dei 358 interventi registrati nel trimestre di osservazione aprile-giugno, 263 casi, pari al 73,46%, sono avvenuti con macchina ferma, ossia in condizioni di mancata produzione. Questo dato rappresenta un indicatore critico, poiché quantifica l'impatto diretto delle inefficienze manutentive sulla disponibilità degli impianti.

Dall'analisi della distribuzione emerge che i reparti Macchine Utensili Pesanti e Macchine Utensili Leggere assorbono la quota più significativa degli interventi bloccanti, complessivamente pari al 71,86% del totale. Tale concentrazione è spiegabile con la maggiore complessità operativa, il numero più elevato di macchine presenti all'interno dei reparti e il ruolo centrale che hanno essi all'interno del ciclo produttivo.

Il tempo medio di attesa per intervento in questi due reparti risulta essere molto simile: 23,23 min/intervento per le Macchine Pesanti e 24,38 min/intervento per le Macchine Leggere. Entrambi i valori si collocano al di sotto della media complessiva di attesa calcolata considerando tutti i reparti e tutti i tipi di intervento (bloccanti e non), pari a 25,36 min/intervento. Un'analisi di dettaglio per singolo reparto mostra comportamenti differenti:

- Per il reparto Macchine Utensili Pesanti, il tempo medio di attesa per interventi bloccanti è pari a 23,23 min/intervento, leggermente superiore a quello calcolato considerando l'intero reparto e quindi il 100% degli interventi mappati (128 interventi), 22,85 min/intervento. Tale differenza, pur contenuta, evidenzia come i guasti a macchina ferma determinino un aggravio nella gestione manutentiva, aumentando l'incidenza percentuale dei tempi improduttivi. Più nel dettaglio, i tempi medi di attesa d'intervento risultano pari a 21,68 min/intervento per i casi non bloccanti e 23,23 min/intervento per i casi bloccanti. Ne consegue che, all'interno del reparto, i guasti che generano fermo macchina non solo rappresentano una condizione più critica in termini di impatto produttivo, ma comportano anche tempi medi di attesa superiori rispetto agli interventi non bloccanti, aggravando ulteriormente la perdita di disponibilità degli impianti.
- Per il reparto Macchine Utensili Leggere, invece, si osserva l'effetto opposto: il tempo medio di attesa per interventi bloccanti pari a 23,23 min/intervento, è inferiore rispetto al tempo medio del reparto pari a 26,15 min/intervento. In questo caso, gli interventi non bloccanti hanno un'incidenza più elevata, con un tempo medio pari a 34,52 min/intervento, superiore sia al valore medio del reparto sia a quello dei soli interventi bloccanti.
- Per il reparto Magazzino, la quota di interventi (12,93%) risulta superiore rispetto al tempo totale di attesa (9,82%), indicando una maggiore efficienza relativa nella gestione delle chiamate. Il tempo medio di attesa per intervento è pari a 18 min, inferiore alla media generale (25,36 min/intervento). Tuttavia, analizzando il dettaglio del reparto, emerge che i tempi medi degli interventi bloccanti (18 min/intervento) superano quelli complessivi (16 min/intervento). Gli interventi non bloccanti si attestano infatti su valori più bassi (12,71 min/intervento), a conferma di una maggiore incidenza dei guasti bloccanti nel determinare i ritardi.

- Per il reparto Verniciatura evidenzia invece un equilibrio tra la percentuale di interventi e la percentuale di tempi di attesa, con valori non significativi ai fini dell'analisi complessiva.
- Per il reparto Altro rappresenta un caso particolare: a fronte di una quota di interventi del 13,69%, il tempo totale di attesa incide per il 16,42% sul totale. Questa sproporzione segnala una minore efficienza gestionale, imputabile in gran parte alla distribuzione fisica eterogenea delle macchine, spesso collocate in aree lontane tra loro, con conseguente aumento dei tempi di spostamento del personale manutentivo. Il tempo medio di attesa per intervento in questo reparto è pari a 28,48 min, superiore alla media complessiva (25,36 min/intervento). Tuttavia, se confrontato con il tempo medio calcolato sull'intero reparto, pari a 33,95 min/intervento, emerge che gli interventi bloccanti hanno un'incidenza relativamente minore, mentre i guasti non bloccanti generano tempi di attesa significativamente più elevati.

Uno degli strumenti utilizzati dall'azienda lato produzione per la rilevazione dei tempi di fermo è il MES (Manufacturing Execution System). Tale sistema registra il tempo complessivo di fermo macchina, che comprende non solo il tempo necessario all'esecuzione della riparazione vera e propria, ma anche le attività di test per verificare il corretto ripristino a pieno regime dell'impianto, oltre al tempo di attesa in manutenzione intercorrente tra la segnalazione del guasto e l'inizio dell'intervento. A partire dai dati trimestrali relativi al periodo aprile–giugno, è stato effettuato un confronto tra il tempo di attesa in manutenzione e il tempo totale di fermo macchina rilevato dal MES. Da tale analisi è emerso che il tempo di attesa in manutenzione incide per il 4,26% sul tempo complessivo di indisponibilità degli impianti. Questo valore, seppur apparentemente contenuto, assume un rilievo significativo in ottica miglioramento. Esso rappresenta infatti la quota di inefficienza attribuibile non a fattori tecnici intrinseci della riparazione, ma alla componente organizzativa del processo manutentivo, ossia alla capacità di prendere in carico e attivare tempestivamente un intervento. Sebbene il 4,26% possa sembrare un valore contenuto, in un impianto produttivo ad alta intensità come quello analizzato anche pochi punti percentuali possono generare impatti economici significativi: ad esempio, in presenza di macchine critiche, un'ora di attesa in manutenzione può tradursi in perdite di produzione rilevanti. Inoltre, questo dato individua un'area di potenziale miglioramento: agendo sulla riduzione del solo tempo di attesa, si otterrebbe un guadagno diretto in termini di disponibilità degli impianti, senza modificare i tempi tecnici di riparazione. Ne consegue che un miglioramento nella riduzione dei tempi di attesa potrebbe tradursi in un guadagno diretto di disponibilità degli impianti, contribuendo ad aumentare l'OEE (Overall Equipment Effectiveness) complessivo.

Ogni macchina è associata a un costo orario che, oltre ad ammortamento e consumo elettrico, include tipicamente: quota capitale/interessi, manutenzione programmata e correttiva, presidi umani diretti (operatori/attrezzisti) e indiretti (capo turno/supervisore), costi di setup/riavvio, scarti e rilavorazioni da ripartenza, assicurazioni, spazio/impianti ausiliari, oltre all'opportunity cost (margine di contribuzione non realizzato durante lo stop). Nel caso in esame, gli interventi bloccanti (macchina ferma) generano una perdita produttiva dall'istante del guasto fino al completo ripristino. La mia analisi ha isolato la sola componente di attesa in manutenzione per stimarne il costo e l'incidenza sul costo totale di fermo macchina. I risultati ottenuti sono i seguenti:

- Mese di Aprile (14 giorni lavorativi): 2.383,03 €, con un costo di attesa medio al giorno pari a 170,22 €.
- Mese di Maggio (20 giorni lavorativi): 3.741,08 €, con un costo di attesa medio al giorno pari a 187,05 € (incremento del + 9,9% rispetto ad Aprile).
- Mese di Giugno (20 giorni lavorativi): 4.439,94 €, con un costo di attesa medio al giorno pari a 222,00 € (incremento del + 18,7% rispetto ad Maggio).

Il costo totale medio di attesa in manutenzione su base trimestrale è pari a 3.521,35 €, con un'incidenza sul costo totale di fermo macchina trimestrale pari a 4,85%. Questo dato è significativo per due motivi:

1. Quantificazione della componente organizzativa del fermo: i 4,85 punti percentuali non dipendono solo da complessità tecniche intrinseche, ma anche da aspetti gestionali come disponibilità del personale, tempestività nella presa in carico, tempi di spostamento e priorità assegnate.
2. Leva di miglioramento ad alta efficacia: sebbene l'incidenza possa sembrare contenuta, in un impianto produttivo con macchine ad alta intensità di capitale anche pochi punti percentuali generano perdite economiche significative. Ridurre l'attesa non richiede solo investimenti in nuovi asset o modifiche strutturali agli impianti, ma anche un miglioramento organizzativo del processo manutentivo (es. scheduling, reperibilità, standard di intervento).

L'analisi trimestrale evidenzia quindi che quasi il 5% del costo economico legato ai guasti bloccanti è generato da inefficienze gestionali e non tecniche. Ne consegue che ogni azione volta a ridurre i tempi di attesa in manutenzione produrrebbe un guadagno immediato in termini di costi evitati, con beneficio diretto sull'OEE complessivo e sulla redditività aziendale.

Reparti	Interventi	Costo Mancata Produzione Trimestre	% Incidenza
Mac.Ut.Pesanti	96	6.623,19 €	63,06%
Mac.Ut.Leggere	93	2.588,29 €	24,64%
Magazzino	34	541,48 €	5,16%
Verniciatura	36	164,02 €	1,56%
Altro	4	586,76 €	5,59%
Totale	263	10.503,74 €	

Tabelle 7: Tabella dei costi per ogni reparto, in caso di mancata produzione per via del tempo di attesa in manutenzione.

Dall'analisi dei costi di mancata produzione relativi agli interventi con macchina ferma, emerge chiaramente che i reparti Macchine Utensili Pesanti e Macchine Utensili Leggere sono i più critici: da soli assorbono rispettivamente il 63,06% e il 24,64% del costo totale registrato nel trimestre, pari a complessivi 87,7%. Questo dato riconferma quanto già osservato nelle analisi precedenti: tali reparti, oltre a presentare la maggiore frequenza di guasti, sono anche quelli in cui l'impatto economico delle fermate risulta più elevato. La ragione principale di questa concentrazione è riconducibile all'elevato numero di macchine installate e alla loro complessità operativa: il parco macchine di questi reparti è infatti caratterizzato da asset tecnologicamente più avanzati, con cicli produttivi continui e ad alta intensità di capitale. Di conseguenza, ogni guasto bloccante genera un effetto moltiplicativo sul costo della mancata produzione. Le macchine più critiche per numero di interventi bloccanti e tempo di attesa totale accumulato nel corso della mappatura, per ogni reparto sono:

- Macchine utensili Pesanti: codice della macchina 5010167, con 16 interventi bloccanti e un tempo di attesa totale in manutenzione pari a 9 ore e 7 minuti.
- Macchine Utensili Leggere: codice della macchina 5010242, con 7 interventi bloccanti e un tempo di attesa totale in manutenzione pari a 3 ore e 47 minuti.
- Magazzino: codice della macchina 5070003, con 21 interventi bloccanti e un tempo di attesa totale in manutenzione pari a 5 ore e 4 minuti.
- Verniciatura: codice della macchina 5030023, con 2 interventi bloccanti e un tempo di attesa totale in manutenzione pari a 1 ora e 13 minuti.
- Altro: codice della macchina 5010207, con 17 interventi bloccanti e un tempo di attesa totale in manutenzione pari a 5 ore e 3 minuti.

5.2.3 Distribuzione degli interventi di natura meccanica ed elettrica e tasso d'utilizzo manutentori

La tabella riporta la distribuzione delle attività manutentive eseguite da un campione di 10 manutentori, distinti in due categorie:

- Manutentori meccanici (identificati con la sigla M);
- Manutentori elettronici (identificati con la sigla E).

La colonna Frequenza operatori rappresenta il numero di interventi manutentivi effettivamente eseguiti da ciascun manutentore nel periodo di osservazione (aprile–giugno), per un totale di 358 interventi.

Operatori	Frequenza operatori
M14	29
M11	23
M15	32
M16	18
M9	29
E8	65
E5	58
E12	9
E13	29
E10	65
	358

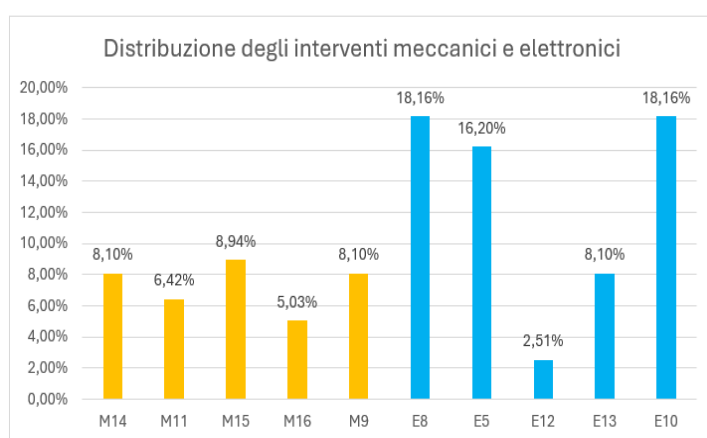


Figura 33 e Tabella 8: Rappresentano la distribuzione degli interventi effettuati dai manutentori elettronici e meccanici nel corso del periodo di mappatura durato tre mesi.

Ciò che è emerso dall'analisi condotta sulla distribuzione degli interventi manutentivi tra gli operatori, è emerso che, lato manutentori meccanici, si osserva un andamento sostanzialmente omogeneo e bilanciato. L'unica eccezione è rappresentata dal manutentore M16, la cui frequenza di interventi risulta inferiore rispetto agli altri componenti del team. Tale differenza è giustificata dal fatto che M16 costituisce una new entry aziendale ed è stato quindi affiancato ai manutentori più esperti, con il duplice obiettivo di favorire l'apprendimento operativo e garantire la qualità dell'intervento. Una situazione analoga si riscontra per i manutentori elettronici: anche in questo caso la distribuzione degli interventi appare complessivamente equilibrata, fatta eccezione per il manutentore E13, anch'egli recentemente inserito in organico e pertanto affiancato a colleghi con maggiore esperienza. Questo spiega la sua frequenza di interventi sensibilmente inferiore rispetto a E8, E5 ed E10, i quali hanno assorbito in modo equilibrato la quota rimanente di attività. Per quanto riguarda invece il manutentore E12, la bassa frequenza non è da ricondurre a un processo di affiancamento, bensì al fatto che sono stati mappati esclusivamente gli interventi effettuati nel

mezzo di aprile. A partire da maggio, infatti, tale risorsa non fa più parte dell'organico aziendale. Ne consegue che, allo stato attuale, il corpo manutentivo risulta composto da 9 manutentori operativi e da un responsabile della manutenzione.

L'analisi della distribuzione degli interventi ha mostrato un equilibrio complessivo tra i manutentori, con frequenze inferiori per le nuove risorse in fase di affiancamento e per un operatore uscito dall'organico. Nel periodo aprile-giugno, i guasti rilevati risultano suddivisi in 36,59% di natura meccanica e 63,41% di natura elettronica, evidenziando una maggiore incidenza delle problematiche elettroniche. Oltre alla classificazione per tipologia di guasto, è stata condotta anche un'analisi sulla correttezza della valutazione iniziale effettuata dall'operatore o dal responsabile di reparto: in alcuni casi, infatti, la natura del problema indicata in fase di segnalazione non coincideva con quella effettivamente riscontrata dal manutentore. La percentuale di interventi che hanno richiesto una riclassificazione si attesta al 6,3%.

Per valutare il tasso di utilizzo del personale manutentivo, è stata costruita la tabella 9, la quale mette a confronto, su base mensile, le ore di lavoro effettive dei manutentori, suddivise in PM50 (interventi correttivi o di pronto intervento) e PM60 (interventi programmati), con le ore teoriche di lavoro disponibili. Le ore effettive corrispondono a quelle registrate nei buoni di lavoro su SAP, mentre le restanti ore lavorative sono dedicate ad attività di banco non monitorate dal sistema e pertanto non incluse nella rilevazione. Quest'ultimo fattore prende in analisi tre turni diversi che fanno i manutentori sia elettronici che meccanici:

- Turno della mattina: 6:00-13:00 (1 manutentore meccanico e 1 elettronico);
- Turno giornaliero: 8:00-16:40 (3 manutentori meccanici e 2 elettronici);
- Turno pomeridiano: 13:00-20:00 (1 manutentore meccanico e 1 elettronico);
- Reperibilità: si considera anche 40 ore di reperibilità mensile che corrisponde ai sabati (2 manutentori lavorano il sabato, 1 meccanico e 1 elettronico).

Il rapporto tra queste due grandezze consente di stimare il grado di saturazione delle risorse, evidenziando quanto del tempo potenzialmente disponibile venga realmente impiegato in attività manutentive.

Mesi	Ore Lavoro Effettive dei Manutentori		Ore Teoriche di Lavoro Mensile	Tasso di utilizzo manutentori	
Aprile	962		1071,59	89,77%	
	PM50	PM60		Tasso di utilizzo manutentori per PM50	Tasso di utilizzo manutentori per PM60
	514	448		53,43%	46,57%
	Ore Lavoro Effettive dei Manutentori		Ore Teoriche di Lavoro Mensile	Tasso di utilizzo manutentori	
Maggio	1092,5		1367	79,92%	
	PM50	PM60		Tasso di utilizzo manutentori per PM50	Tasso di utilizzo manutentori per PM60
	679	413,5		62,15%	37,85%
	Ore Lavoro Effettive dei Manutentori		Ore Teoriche di Lavoro Mensile	Tasso di utilizzo manutentori	
Giugno	985,5		1367	79,41%	
	PM50	PM60		Tasso di utilizzo manutentori per PM50	Tasso di utilizzo manutentori per PM60
	689,5	296		69,96%	30,04%

Tabella 9: Rappresenta il tasso d'utilizzo dei manutentori sia in caso di PM50 che PM60, per ogni mese.

Dalla parte destra della tabella si osserva il tasso di utilizzo complessivo dei manutentori, calcolato come rapporto tra le ore effettivamente registrate a sistema e le ore teoriche di lavoro mensili disponibili. I valori si attestano su livelli elevati, pari a 89,77% ad aprile, 79,92% a maggio e 79,41% a giugno, indicando una sostanziale saturazione della forza lavoro manutentiva. Il Tasso di utilizzo trimestrale dei manutentori è pari al 82,51%.

Tuttavia, suddividendo le ore effettive tra le due categorie di intervento, emerge una criticità strutturale: la quota prevalente di tempo è assorbita da interventi PM50, ossia correttivi o di pronto intervento, mentre una percentuale molto più ridotta viene dedicata agli interventi PM60, ossia programmati. Questo squilibrio dimostra che l'attuale gestione della manutenzione è fortemente reattiva, basata sulla risposta ai guasti e sulle urgenze, piuttosto che su un approccio preventivo e pianificato. In prospettiva futura, tale situazione comporta diversi rischi:

- Aleatorietà del carico di lavoro: i guasti imprevisti generano picchi di attività difficilmente gestibili in termini di risorse.
- Maggiore downtime: l'assenza di un'adeguata pianificazione porta a fermate improvvise e prolungate.
- Incremento dei costi: sia per la mancata produzione dovuta ai fermi macchina, sia per la maggiore usura dei componenti.
- Difficoltà di pianificazione: il reparto manutenzione lavora costantemente in modalità emergenziale, riducendo la capacità di programmare interventi di medio-lungo periodo.

Per superare questo limite, l'obiettivo deve essere quello di riequilibrare il rapporto tra PM50 e PM60, aumentando la quota di ore dedicate agli interventi programmati. Una manutenzione maggiormente proattiva consente infatti di prevenire guasti ricorrenti, ridurre i downtime, stabilizzare i carichi di lavoro e aumentare l'affidabilità complessiva degli impianti. In quest'ottica, l'introduzione delle piattaforme Interacta e Prometeo può abilitare il cambiamento:

- Interacta digitalizza il processo di apertura, gestione e chiusura delle chiamate, migliorando la tracciabilità e riducendo i tempi di reazione;
- Prometeo, integrato con Interacta, consente di analizzare in modo sistematico i dati storici degli interventi, individuare i guasti più frequenti e proporre la loro conversione da interventi correttivi (PM50) a interventi programmati (PM60).

Analizzando dettagliatamente il reparto manutenzione e quindi facendo una differenza tra il tasso di utilizzo dei manutentori elettronici e quelli meccanici, dall'analisi trimestrale è emerso che:

- Manutentori elettronici: Numero di ore lavorate complessivamente (PM50 + PM60) pari a 1055, con un tasso di utilizzo pari al 34,70%.
- Manutentori meccanici: Numero di ore lavorate complessivamente (PM50 + PM60) pari a 1985, con un tasso di utilizzo pari al 65,30%.

Se si vuole andare a confrontare la diversa natura degli interventi mappati (meccanici vs elettronici) durante il periodo aprile-giugno con le ore effettivamente lavorate dai manutentori meccanici possiamo andare a notare che:

- Guasti elettronici: hanno frequenza elevata (63,41%), ma tempi di risoluzione contenuti (1055 ore). Questo perché, le moderne macchine sono dotate di sistemi di autodiagnosi e segnalazioni di errore che guidano rapidamente il manutentore nell'individuazione della causa. Nella maggior parte dei casi, l'intervento si riduce alla sostituzione di schede elettroniche, sensori o cablaggi, operazioni standardizzate e per questo motivo implica un tasso di utilizzo dei manutentori elettronici basso (34,70%).
- Guasti meccanici: risultano meno frequenti (36,59%), ma molto più onerosi in termini di tempo (1985 ore). L'individuazione del guasto richiede spesso attività ispettive approfondite, in quanto le parti difettose possono essere interne, difficilmente accessibili o integrate in organi complessi. Le operazioni successive di smontaggio, sostituzione, rimontaggio e riallineamento delle parti meccaniche incidono in modo significativo sulla durata totale dell'intervento e per questo motivo il tasso di utilizzo dei manutentori meccanici è elevato (65,30%).

Dal punto di vista gestionale, ciò implica che mentre i manutentori elettronici sono sollecitati più frequentemente, il carico reale di lavoro (in termini di ore assorbite) grava soprattutto sui manutentori meccanici, a causa della natura strutturalmente più complessa e dispendiosa delle riparazioni meccaniche. Questo ribaltamento tra “frequenza dei guasti” e “ore effettivamente

lavorate” rappresenta un punto chiave dell’analisi e conferma la necessità di differenziare i modelli di gestione manutentiva in funzione della tipologia di guasto.

Per analizzare in maniera più approfondita l’andamento delle chiamate di manutenzione e comprendere l’impatto della riduzione dell’organico passata da 10 manutentori (5 meccanici e 5

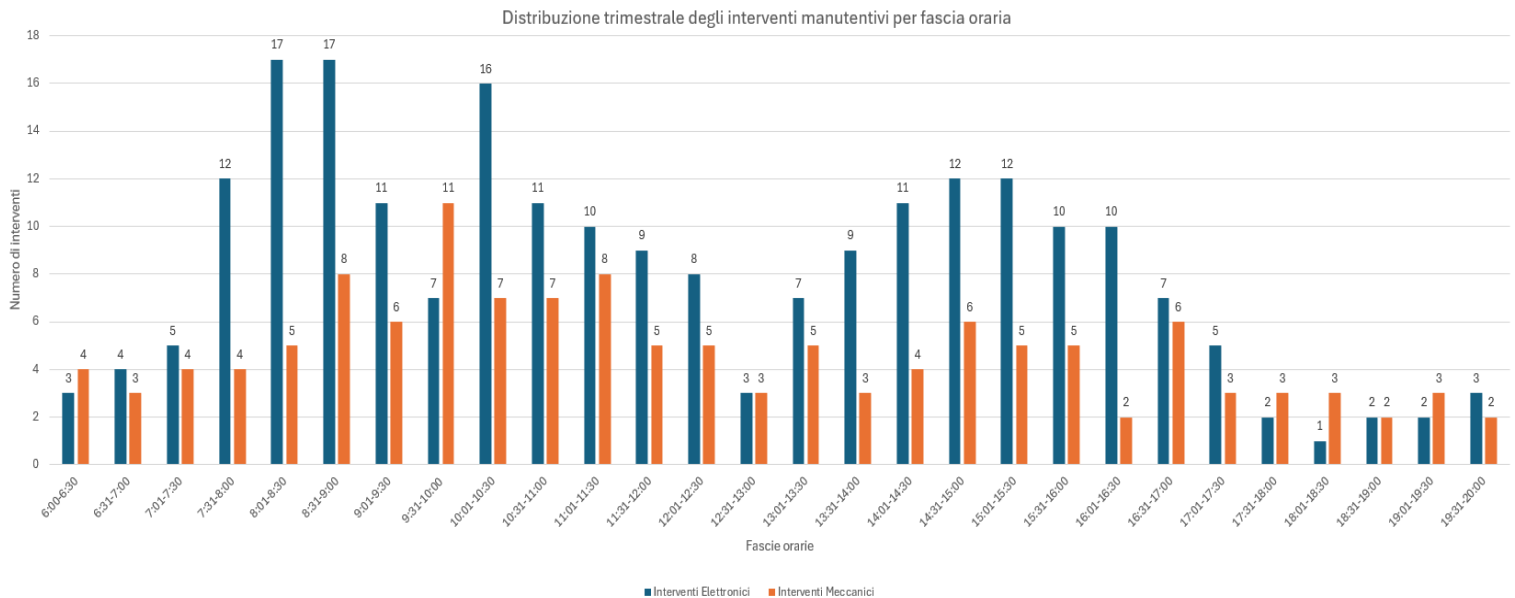


Figura 34: Distribuzione interventi meccanici ed elettronici per fascia oraria, su base trimestrale.

Dall’analisi del grafico emerge chiaramente che le fasce orarie maggiormente critiche, ovvero quelle in cui si concentra la maggior parte delle richieste di intervento, risultano essere:

- 7:31 – 12:30
- 13:01 – 17:00

Queste due fasce orarie corrispondono al turno giornaliero lavorato dai manutentori, ossia dalle 8:00-16:40. Questi intervalli coincidono con i momenti della giornata in cui l’attività produttiva è più intensa e, di conseguenza, aumenta la probabilità di guasti o anomalie. Alla luce di tali evidenze, si è ritenuto opportuno procedere con un’analisi dell’indice di copertura, distinguendo tra interventi di natura meccanica ed elettronica e rapportandoli rispettivamente alla disponibilità dei manutentori meccanici ed elettronici.

Per valutare in maniera quantitativa l’adeguatezza della forza lavoro manutentiva rispetto al numero di richieste di intervento, è stato introdotto il concetto di Indice di Copertura (IC). Tale indicatore esprime il rapporto tra il numero di manutentori disponibili in una determinata fascia oraria e il numero di chiamate di manutenzione registrate nella medesima fascia, distinguendo tra interventi di natura elettronica e meccanica. La formula è la seguente:

$$IC_{i,m}^k = \frac{N_{manutentori,i}^k}{N_{interventi,i,m}^k}$$

Dove:

- $IC_{i,m}^k$ = Indice di copertura per la fascia oraria i, nel mese m, per la tipologia di intervento k (meccanico o elettronico);
- $N_{manutentori,i}^k$ = numero di manutentori disponibili nella fascia oraria i per la tipologia k;
- $N_{interventi,i,m}^k$ = numero di interventi registrati nella fascia oraria i, nel mese mmm, per la tipologia k.

In base al risultato dell'indice di copertura, abbiamo diversi significati:

- $IC_{i,m}^k > 1$ disponibilità eccedente: la capacità manutentiva è superiore alla domanda; quindi, non si prevedono criticità (verde);
- $IC_{i,m}^k = 1$ equilibrio perfetto: ogni intervento trova copertura da parte di un singolo manutentore, ma non esistono margini di ridondanza (giallo);
- $IC_{i,m}^k < 1$ criticità: la domanda manutentiva eccede la capacità disponibile, con rischio di accumulo di chiamate inevase o aumento dei tempi di attesa (rosso);
- $IC_{i,m}^k = 0$ assenza di interventi nella fascia considerata/assenza di carico manutentivo (arancione).

Tale indicatore consente quindi di misurare in maniera oggettiva il livello di copertura della manutenzione, individuando le fasce orarie e i mesi in cui si manifestano squilibri tra risorse disponibili e richieste di intervento. L'applicazione dell'indice di copertura permette inoltre di valutare l'impatto della riduzione dell'organico manutentivo, evidenziando in quali momenti della giornata il sistema si trova in condizioni di maggiore criticità.

	Num.Int. Aprile		Num.Int. Maggio		Num.Int. Giugno		Num.Manut. ELE	Num.Manut. MEC	ELETTRONICI			MECCANICI		
	Pro. ELE	Pro. MEC	Pro. ELE	Pro. MEC	Pro. ELE	Pro. MEC			Ind. Cop. Aprile	Ind. Cop. Maggio	Ind. Cop. Giugno	Ind. Cop. Aprile	Ind. Cop. Maggio	Ind. Cop. Giugno
6:00-6:30	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0,5	1
6:31-7:00	2	0	0	1	2	2	1	1	0,5	0	0,5	0	1	0,5
7:01-7:30	1	0	1	3	3	1	1	1	1	1	0,33	0	0,5	1
7:31-8:00	3	1	4	2	5	1	1	1	0,33	0,25	0,2	1	0,5	1
8:01-8:30	4	1	8	2	5	2	3	4	0,75	0,38	0,5	4	2	2
8:31-9:00	3	2	8	3	6	3	3	4	1	0,58	0,5	2	1,33	1,33
9:01-9:30	1	1	4	3	6	2	3	4	3	0,75	0,5	4	1,33	2
9:31-10:00	1	2	3	5	3	4	3	4	3	1	1	2	0,5	1
10:01-10:30	6	2	7	2	3	3	3	4	0,5	0,43	1	2	2	1,33
10:31-11:00	1	1	4	4	6	2	3	4	3	0,75	0,5	4	1	2
11:01-11:30	5	2	2	3	3	3	3	4	0,6	1,5	1	2	1,33	1,33
11:31-12:00	0	1	2	2	7	2	3	4	0	1,5	0,43	4	2	2
12:01-12:30	1	2	2	1	5	2	3	4	3	1,5	0,6	2	4	2
12:31-13:00	0	1	1	1	2	1	3	4	0	3	1,5	4	4	4
13:01-13:30	2	0	3	3	2	2	3	4	1,5	1	1,5	0	1,33	2
13:31-14:00	0	1	5	1	4	1	3	4	0	0,6	0,75	4	4	4
14:01-14:30	3	1	4	1	4	2	3	4	1	0,75	0,75	4	4	2
14:31-15:00	4	2	5	2	3	2	3	4	0,75	0,6	1	2	2	2
15:01-15:30	2	1	5	2	5	2	3	4	1,5	0,6	0,6	4	2	2
15:31-16:00	3	1	3	1	4	3	3	4	1	1	0,75	4	4	1,33
16:01-16:30	3	0	3	1	4	1	3	4	1	1	0,75	0	4	4
16:31-17:00	2	1	3	2	2	3	1	1	0,5	0,33	0,5	1	0,5	0,33
17:01-17:30	0	0	3	1	2	2	1	1	0	0,33	0,5	0	1	0,5
17:31-18:00	0	0	1	1	1	2	1	1	0	1	1	0	1	0,5
18:01-18:30	0	0	1	2	0	1	1	1	0	1	0	0	0,5	1
18:31-19:00	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
19:01-19:30	1	0	0	0	1	3	1	1	1	0	1	0	0	0,33
19:31-20:00	1	0	1	2	1	0	1	1	1	1	1	0	0,5	0

Tabella 10: Risultati trimestrali dell'indice del livello di copertura per tipologia di manutentore analizzato (meccanico ed elettronico).

L'analisi dell'indice di copertura permette di valutare quantitativamente il livello di equilibrio tra la domanda manutentiva e la disponibilità di risorse in ciascuna fascia oraria. Come definito in precedenza, tale indicatore esprime il rapporto tra il numero di manutentori disponibili e il numero di interventi registrati nella medesima fascia, distinguendo tra ambito elettronico e meccanico.

Dalla lettura della tabella si osserva che i valori dell'indice confermano quanto già emerso dall'analisi della distribuzione delle chiamate: le fasce orarie più critiche risultano essere 7:31–12:30 e 13:01–17:00, corrispondenti ai momenti della giornata in cui si concentra il maggior numero di richieste di intervento. Tuttavia, la criticità non è distribuita uniformemente tra le due tipologie di manutenzione:

- Manutentori meccanici: in queste fasce orarie l'indice di copertura assume valori prossimi o superiori a 1, segnalando un sostanziale equilibrio tra domanda e capacità disponibile. In alcuni casi si riscontra persino una condizione di sovra copertura ($IC > 1$), indice di un margine di ridondanza nella gestione degli interventi. Pertanto, dal punto di vista meccanico, non emergono situazioni di particolare criticità.
- Manutentori elettronici: al contrario, nella stessa finestra temporale l'indice di copertura si attesta frequentemente su valori inferiori a 1, come evidenziato dalle numerose caselle rosse nella matrice. Questo significa che, nei momenti di massimo carico, la domanda di interventi elettronici eccede la disponibilità di risorse, generando inevitabili situazioni di sovraccarico, ritardi nella presa in carico e potenziali tempi di fermo macchina prolungati.

Il risultato è coerente con la riduzione di organico subita nel mese di aprile (da 5 a 4 manutentori elettronici). Tale riduzione ha diminuito sensibilmente la capacità di assorbire picchi di richieste nelle ore centrali della giornata, proprio quando la probabilità di guasto è maggiore per effetto del pieno regime produttivo. Per valutare possibili strategie di miglioramento, è stato simulato lo scenario in cui l'organico della manutenzione elettronica torni ad essere composto da 5 manutentori, valore che era presente fino al mese di aprile, invece degli attuali 4. L'ipotesi considera che il numero di interventi rimanga invariato, così da isolare l'effetto dell'aumento di risorse disponibili sul valore dell'indice di copertura.

	Num. Int. Aprile		Num. Int. Maggio		Num. Int. Giugno		Num. Manut. ELE	Num. Manut. MEC	ELETTRONICI			MECCANICI		
	Pro. ELE	Pro. MEC	Pro. ELE	Pro. MEC	Pro. ELE	Pro. MEC			Ind. Cop. Aprile	Ind. Cop. Maggio	Ind. Cop. Giugno	Ind. Cop. Aprile	Ind. Cop. Maggio	Ind. Cop. Giugno
6:00-6:30	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0,5	1
6:31-7:00	2	0	0	1	2	2	1	1	0,5	0	0,5	0	1	0,5
7:01-7:30	1	0	1	3	3	1	1	1	1	1	0,33	0	0,33	1
7:31-8:00	3	1	4	2	5	1	1	1	0,33	0,25	0,2	1	0,5	1
8:01-8:30	4	1	8	2	5	2	4	4	1	0,5	0,8	4	2	2
8:31-9:00	3	2	8	3	6	3	4	4	1,33	0,5	0,67	2	1,33	1,33
9:01-9:30	1	1	4	3	6	2	4	4	4	1	0,67	4	1,33	2
9:31-10:00	1	2	3	5	3	4	4	4	4	1,33	1,33	2	0,5	1
10:01-10:30	6	2	7	2	3	3	4	4	0,67	0,57	1,33	2	2	1,33
10:31-11:00	1	1	4	4	6	2	4	4	4	1	0,67	4	1	2
11:01-11:30	5	2	2	3	3	3	4	4	0,8	2	1,33	2	1,33	1,33
11:31-12:00	0	1	2	2	7	2	4	4	0	2	0,57	4	2	2
12:01-12:30	1	2	2	1	5	2	4	4	4	2	0,8	2	4	2
12:31-13:00	0	1	1	1	2	1	4	4	0	4	2	4	4	4
13:01-13:30	2	0	3	3	2	2	4	4	2	1,33	2	0	1,33	2
13:31-14:00	0	1	5	1	4	1	4	4	0	0,8	1	4	4	4
14:01-14:30	3	1	4	1	4	2	4	4	1,33	1	1	4	4	2
14:31-15:00	4	2	5	2	3	2	4	4	1	0,8	1,33	2	2	2
15:01-15:30	2	1	5	2	5	2	4	4	2	0,8	0,8	4	2	2
15:31-16:00	3	1	3	1	4	3	4	4	1,33	1,33	1	4	4	1,33
16:01-16:30	3	0	3	1	4	1	4	4	1,33	1,33	1	0	4	4
16:31-17:00	2	1	3	2	2	3	1	1	0,5	0,33	0,5	1	0,5	0,33
17:01-17:30	0	0	3	1	2	2	1	1	0	0,33	0,5	0	1	0,5
17:31-18:00	0	0	1	1	1	2	1	1	0	1	1	0	1	0,5
18:01-18:30	0	0	1	2	0	1	1	1	0	1	0	0	0,5	1
18:31-19:00	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
19:01-19:30	1	0	0	0	1	3	1	1	1	0	1	0	0	0,5
19:31-20:00	1	0	1	2	1	0	1	1	1	1	1	0	0,5	0

Tabella 11: Rappresentazione del cambiamento del livello di copertura nel caso in cui si introducesse un manutentore elettronico in più, oltre ai quattro già presenti nel reparto, nel turno giornaliero 8:00 -16:40.

Dall’osservazione della nuova matrice dell’Indice di Copertura, emerge chiaramente come l’aggiunta di un manutentore elettronico (da 4 a 5 unità disponibili nelle fasce centrali della giornata) abbia determinato un miglioramento sensibile dei livelli di copertura proprio negli intervalli temporali precedentemente più critici.

- Fascia oraria 7:31–12:30
 - tre celle sono passate da rosso → giallo (da sotto-copertura a equilibrio);
 - cinque celle sono passate da giallo → verde (da equilibrio a sovra-copertura).

L’area mattutina, storicamente più tesa, si stabilizza: la maggior parte delle fasce si colloca ora tra IC=1 e IC>1, garantendo margine operativo per assorbire picchi e variabilità.

- Fascia oraria 13:01–17:00
 - sei celle sono passate da rosso → giallo;
 - sette celle sono passate da giallo → verde.

Nel pomeriggio il salto è ancora più marcato: la sotto-copertura ricorrente lascia spazio a condizioni di equilibrio o sovra-copertura diffusa, riducendo il rischio di backlog e comprimendo i tempi di attesa.

5.2.4 Valutazione della convenienza economica-finanziaria: il calcolo del VAN per Interacta.

In una qualunque decisione di investimento aziendale, specialmente quando si tratta di introdurre nuove tecnologie digitali, è fondamentale disporre di strumenti quantitativi in grado di valutare la convenienza economica dell'operazione. Tra questi, il Valore Attuale Netto (VAN) rappresenta uno degli indicatori più utilizzati in ambito ingegneristico ed economico, in quanto consente di misurare il ritorno attualizzato dei benefici futuri generati da un progetto al netto dei costi sostenuti. In particolare, il VAN permette di verificare se l'investimento non solo apporta vantaggi operativi e organizzativi, ma anche un effettivo guadagno economico nel medio-lungo periodo.

Nel contesto della manutenzione Sacmi Imola, l'introduzione della piattaforma Interacta costituisce un investimento in grado di migliorare significativamente l'efficienza nella gestione delle chiamate manutentive, riducendo i tempi di attesa e aumentando la tracciabilità delle attività. Tuttavia, affinché tale scelta possa essere supportata in modo oggettivo, è necessario quantificare i costi iniziali e ricorrenti di implementazione e confrontarli con i benefici economici stimati, derivanti dal miglior utilizzo delle risorse interne e dalla riduzione dei fermi macchina. Il calcolo del VAN è stato effettuato su un orizzonte temporale di cinque anni, scelta che trova giustificazione sia nella prassi economico-finanziaria sia nella natura degli investimenti tecnologici. Generalmente, un progetto digitale che riesce a ripagarsi entro un periodo di 3-5 anni viene considerato altamente conveniente, poiché garantisce un ritorno rapido in rapporto al ciclo di vita tipico delle piattaforme software e ai costi di aggiornamento e mantenimento che caratterizzano tali soluzioni.

Nello specifico, l'analisi ha preso in esame esclusivamente la Fase 1 del progetto, ossia l'adozione di Interacta come sistema stand-alone per la gestione delle chiamate di manutenzione. Sono stati quindi stimati i costi diretti (licenze software, spese amministrative, ecc.) e i benefici economici annuali ottenibili grazie all'incremento di efficienza nell'utilizzo dello strumento. L'obiettivo è duplice: da un lato verificare la convenienza economica dell'investimento, dall'altro fornire un riscontro numerico che supporti i vantaggi qualitativi già emersi nella descrizione della piattaforma, rafforzando la visione di una manutenzione più digitale, veloce ed efficace.

	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Costo Software	-7.058,33 €	-7.058,33 €	-7.058,33 €	-7.058,33 €	-7.058,33 €	-7.058,33 €
Costi Errori Amministrativi	-231,33 €	-693,99 €	-693,99 €	-693,99 €	-693,99 €	-693,99 €
Costi Totali -	-7.289,66 €	-7.752,32 €	-7.752,32 €	-7.752,32 €	-7.752,32 €	-7.752,32 €
Mesi Considerati	4	12	12	12	12	12
Costo Attesa Manutenzione Mensile	1.173,78 €	3.521,35 €	3.521,35 €	3.521,35 €	3.521,35 €	3.521,35 €
Efficienza Applicazione Interacta	70,00%	90,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Incremento Efficienza Uso Interacta	18,00%	20,00%	22,00%	25,00%	25,00%	25,00%
Risparmio Annuo	591,59 €	7.606,12 €	9.296,36 €	10.564,05 €	10.564,05 €	10.564,05 €
Benefici Totali +	591,59 €	7.606,12 €	9.296,36 €	10.564,05 €	10.564,05 €	10.564,05 €
Flussi di Cassa	-6.698,07 €	-146,20 €	1.544,05 €	2.811,73 €	2.811,73 €	2.811,73 €
Flusso Attualizzato	-6.698,07 €	-135,37 €	1.323,77 €	2.232,04 €	2.066,71 €	2.066,71 €
VAN	855,79 €					
Payback Cumulato	-6.698,07 €	-6.844,27 €	-5.300,23 €	-2.488,49 €	323,24 €	3.134,97 €

Tabella 13: Analisi dei costi-benefici e del VAN (Valore Attuale Netto).

Analisi dei costi

L'avvio del progetto è stato ipotizzato a partire dal 1° settembre 2025, con conseguente contabilizzazione dei costi a partire da tale data. Le voci di spesa considerate per la Fase 1 sono state suddivise in due macrocategorie:

4. Costi Software

Tale costo comprende tutte le spese necessarie affinché la piattaforma Interacta possa essere introdotta e utilizzata in modo efficace nel processo manutentivo. Si distinguono tre componenti principali:

- Costo Poc Interacta: riguarda le attività di progettazione, sviluppo e implementazione della piattaforma digitale.
- Costo licenze: La piattaforma Interacta richiede l'acquisto di licenze software per consentire agli utenti aziendali di sfruttarne appieno le funzionalità. Tali licenze costituiscono un costo ricorrente annuale, proporzionale al numero di utenti abilitati e necessario per garantire la continuità operativa.
- Costo addestramento e personalizzazione della piattaforma: È stato considerato il costo legato alle attività di formazione e personalizzazione interna, svolta da Interacta tramite sessioni di kick-off dedicate. Queste hanno avuto l'obiettivo in primis di rendere il personale manutentivo e amministrativo autonomo nell'utilizzo della piattaforma, riducendo i tempi di apprendimento e minimizzando i rischi di resistenza al cambiamento. Un altro obiettivo è stato personalizzare la piattaforma con l'obiettivo di adattarne le funzionalità ai flussi operativi della manutenzione. Si tratta quindi di un costo di start-up, strettamente legato alla fase iniziale di avvio e non ricorrente.

5. Costi errori amministrativi

Questa voce di costo rappresenta un costo indiretto ma ricorrente, legato alle inefficienze dei processi manuali e cartacei ancora presenti nella gestione attuale. In particolare, gli errori amministrativi derivano principalmente da:

- Compilazione errata degli Ordini di Manutenzione (OdM) all'interno di SAP. La rigidità del sistema comporta, in caso di errore di inserimento (ad esempio un codice non corretto), la necessità di ripetere l'intera procedura.
- Gestione manuale dei materiali a magazzino, attualmente registrati su supporti cartacei prima di essere caricati a sistema. Questo processo espone a errori di trascrizione e perdita di dati.

Per stimare questo costo si è considerato:

- Media degli interventi manutentivi degli ultimi tre anni, comprensivi di interventi per pronto intervento e programmati: 1143 interventi annui in media.
- Attraverso una rilevazione diretta (cronometro), è stato stimato che ogni errore, delle due diverse tipologia sopra descritte, comporta in media un tempo perso di circa dieci minuti per la sua correzione.
- È stata poi stimata la percentuale di interventi soggetti a errori amministrativi, risultata pari all'8% del totale annuo [27].

Moltiplicando questi tre fattori si è ricavato il costo annuo implicito legato agli errori amministrativi, che Sacmi Imola sostiene nella gestione attuale e che può essere progressivamente ridotto con l'introduzione di Interacta.

Analisi dei Benefici totali

L'introduzione della piattaforma Interacta nella gestione della manutenzione comporta una serie di benefici economici quantificabili, principalmente riconducibili alla riduzione dei tempi di attesa e delle inefficienze legate alla gestione manuale e cartacea dei flussi informativi. Le voci considerate sono le seguenti:

- Costo attesa manutenzione medio mensile

Si tratta del costo opportunità legato al fermo macchina per mancata produzione durante i periodi di attesa della manutenzione. Tali fermi sono stati rilevati nei tre mesi analizzati (aprile-giugno) e mediati al fine di stimare un valore rappresentativo per l'intero anno. Il costo medio di attesa manutentiva risulta pari a 3.521,35 € al mese, che moltiplicato per i dodici mesi

dell'anno fornisce un indicatore di riferimento dei costi indiretti sostenuti dall'azienda per l'inefficienza attuale.

- Efficienza applicazione interacta

L'efficienza rappresenta la quota percentuale di riduzione degli errori e delle inefficienze amministrative resa possibile dall'introduzione della piattaforma. Nella gestione attuale, infatti, errori come l'inserimento errato dei codici in SAP o la registrazione manuale dei materiali a magazzino su supporti cartacei generano perdite di tempo e costi indiretti. L'adozione di Interacta consente di ridurre tali inefficienze grazie a un'interfaccia semplificata e a procedure guidate. Le percentuali di efficienza riportate in tabella (70% nel primo anno, fino al 100% dal 2027) sono state stimate dal fornitore sulla base di esperienze pregresse in contesti simili.

- Incremento efficienza utilizzo Interacta

Oltre alla riduzione degli errori, si prevede un progressivo miglioramento nell'utilizzo della piattaforma da parte di manutentori e clienti interni. Tale incremento è legato al carattere user-friendly di Interacta rispetto a SAP, che invece si presenta come un sistema più rigido e complesso. Il tasso di incremento di efficienza (dal 18% del primo anno fino al 25% a regime) è stato ipotizzato sulla base di studi di settore, in particolare rapporti McKinsey sul digital adoption nelle operations [27].

Uno degli indicatori più critici per valutare l'efficienza del processo manutentivo è il tempo di attesa, inteso come l'intervallo che intercorre tra la richiesta di intervento da parte del reparto produttivo e l'arrivo effettivo del manutentore sulla macchina guasta. La riduzione di tale tempo genera benefici tangibili sia in termini di disponibilità degli impianti sia di efficienza organizzativa, incidendo direttamente sull'indice di MTTR (Mean Time to Repair) e, in maniera indiretta, sulla disponibilità complessiva delle risorse produttive.

Nella prima fase del progetto, l'introduzione di *Interacta* non determina una diminuzione strutturale del tempo medio di attesa, in quanto il numero di manutentori e la logica di assegnazione degli interventi rimangono costanti. Tuttavia, il sistema produce un miglioramento marginale ma significativo legato alla gestione delle informazioni. In particolare:

- la presenza di una dashboard in tempo reale consente al responsabile manutenzione di visualizzare immediatamente la posizione e lo stato operativo di ciascun manutentore;
- l'assegnazione dei task avviene in modo diretto, senza dover ricorrere a telefonate, messaggi o verifiche fisiche con i referenti di reparto;
- viene eliminato il tempo "inutile" di smistamento, che nella situazione attuale può variare da alcuni minuti fino a ritardi più consistenti in caso di incomprensioni o difficoltà di reperibilità.

Dal punto di vista ingegneristico, l'introduzione di Interacta riduce il tempo di latenza decisionale nella fase di *dispatching*, ovvero il passaggio tra la segnalazione e l'inoltro formale dell'attività al manutentore. Pur trattandosi di una riduzione limitata, essa contribuisce a contenere il tempo di attesa complessivo e ad aumentare la fluidità del processo, con benefici sia sul piano tecnico-operativo che su quello manageriale. Con l'introduzione di *Prometeo* e quindi con l'avvio della seconda fase del progetto, il sistema manutentivo acquisisce la capacità di misurare, analizzare e storicizzare in modo sistematico i tempi di attesa registrati tramite Interacta. In questo scenario, la riduzione del tempo di attesa non è più marginale, ma assume un carattere strutturale e continuativo, grazie a tre principali driver di miglioramento:

- Definizione oggettiva delle priorità: le chiamate vengono classificate secondo criteri condivisi (criticità della macchina, impatto economico del fermo, aspetti di sicurezza e strategia aziendale), evitando che attività non urgenti rallentino la gestione di guasti ad alta criticità;
- Conversione dei guasti ricorrenti in interventi programmati: l'analisi storica consente di individuare anomalie ripetitive e di trasformarle in manutenzioni preventive, riducendo la frequenza delle chiamate correttive improvvise e alleggerendo il carico sul sistema;
- Trasparenza e accountability tramite KPI: la misurazione dei tempi di attesa (*Mean Time to Acknowledge*, MTTA) e il confronto tra manutentori e reparti stimola una maggiore consapevolezza delle performance, incrementando la reattività e riducendo i ritardi non giustificati.

Dal punto di vista ingegneristico, Prometeo abilita il passaggio da una gestione reattiva e frammentata a una gestione data-driven, in cui le decisioni sull'allocazione delle risorse e sulla sequenza degli interventi si basano su evidenze quantitative. Tale trasformazione si traduce in una riduzione progressiva e consolidata del tempo di attesa medio, stimabile in circa l'8% (pari a circa due minuti per intervento) rispetto alla baseline attuale.

Grazie ai valori sopra riportati, è stato possibile stimare il risparmio annuo generato dall'introduzione di Interacta. Tale risparmio è stato calcolato moltiplicando il costo medio di attesa manutentiva mensile per il numero di mesi considerati e successivamente ponderandolo in base alle percentuali di efficienza e di incremento di utilizzo della piattaforma.

Prima di procedere al calcolo del Valore Attuale Netto (VAN), è stato necessario determinare i flussi di cassa attualizzati, applicando un tasso di sconto i pari all'8%. La scelta di questo valore trova giustificazione nel fatto che, in ambito economico-finanziario, il tasso di attualizzazione rappresenta il costo opportunità del capitale, ossia il rendimento minimo atteso dall'investimento per essere considerato accettabile. In particolare, si è assunto un valore in linea con il tasso medio

di rendimento di investimenti alternativi con profilo di rischio comparabile (benchmark di mercato per investimenti industriali a medio termine). Dalla somma dei flussi di cassa attualizzati si è ottenuto il VAN complessivo del progetto, pari a 855,79 €. Tale valore, pur essendo positivo, risulta di poco superiore a zero, il che implica che l'investimento è formalmente conveniente ma non genera un margine di guadagno particolarmente elevato. In altre parole, Interacta nella sua configurazione stand-alone prevista dalla Fase 1 è in grado di ripagarsi, ma con una redditività economica inferiore alle attese iniziali, anche in considerazione dei benefici organizzativi e qualitativi già evidenziati. Per verificare ulteriormente la sostenibilità economica del progetto, è stato calcolato anche il Payback Time, ossia il tempo necessario affinché i flussi di cassa cumulati diventino positivi. Dal prospetto emerge che il recupero dell'investimento avviene a fine ottobre 2028, quindi circa a metà del quarto anno di progetto. Questo risultato, seppur non immediato, rientra ancora in un orizzonte temporale considerato accettabile per progetti di natura tecnologica, i quali solitamente hanno un ritorno atteso entro i 5 anni.

Infine, è stato calcolato il Return on Investment (ROI), che rappresenta il rapporto tra i benefici netti ottenuti e i costi sostenuti. Nel caso analizzato, il ROI risulta pari al 6,81%, evidenziando che il progetto genera un ritorno positivo ma limitato rispetto al capitale investito. Tale valore conferma le considerazioni fatte sul VAN: Interacta in versione stand-alone offre vantaggi più marcati dal punto di vista operativo e gestionale, mentre il ritorno economico diretto rimane contenuto.

Conclusioni

Il lavoro svolto ha avuto come obiettivo l'analisi critica dello stato AS-IS e la successiva digitalizzazione del processo manutentivo in Sacmi Imola, attraverso l'introduzione della piattaforma Interacta. L'attività ha seguito un percorso metodologico articolato, che ha compreso la revisione dei principali modelli manutentivi, la mappatura dello stato attuale, l'individuazione delle criticità, la valutazione quantitativa delle inefficienze e, infine, la definizione di uno scenario futuro TO-BE integrato con gli strumenti digitali già presenti in azienda.

L'analisi AS-IS ha messo in luce come il processo manutentivo attuale presenti diverse fragilità, riconducibili soprattutto alla fase iniziale di gestione delle segnalazioni. La frammentazione dei canali di comunicazione (telefono, email, chat, comunicazioni verbali), l'assenza di standardizzazione e la scarsa tracciabilità hanno comportato tempi di attesa in manutenzione mediamente elevati 25,36 minuti/intervento, con un impatto diretto sui costi legati ai fermi macchina e sulla produttività dei reparti pari 3.521,35 € al mese. La raccolta dati su un intero trimestre (aprile–giugno) ha consentito di quantificare tali inefficienze: sono stati analizzati 358 interventi, evidenziando non solo i tempi medi di attesa, ma anche la frequenza dei guasti per reparto, la distribuzione delle attività tra manutentori meccanici ed elettrici, l'impatto economico delle fermate produttive. In particolare, l'incidenza dei guasti sulle macchine utensili pesanti e leggere è risultata significativa da confermare l'urgenza di un approccio strutturato e digitalizzato alla gestione della manutenzione.

Lo scenario To-Be ha proposto un modello di processo basato sull'adozione di Interacta come front-end operativo, integrato con il CMMS Prometeo e con l'ERP SAP. In questo modello evolutivo, ogni segnalazione viene registrata e tracciata fin dall'origine, l'assegnazione degli interventi avviene in maniera centralizzata e il flusso informativo viene reso coerente e integrato lungo tutte le fasi (segnalazione, intervento, consuntivazione tecnica ed economica). Le criticità emerse dall'analisi As-Is sono diverse:

1. Organizzative: forte dipendenza dal responsabile della manutenzione per l'assegnazione degli interventi; assenza di un piano strutturato in caso di assenze improvvise; squilibrio nella distribuzione del carico di lavoro.
2. Comunicative: mancanza di un sistema centralizzato di raccolta delle segnalazioni, che comporta perdita di informazioni, difficoltà di interpretazione del guasto e tempi di attesa prolungati.

3. Tecnologiche: utilizzo di strumenti non integrati (SAP, Teams, fogli cartacei) che moltiplicano i passaggi e aumentano il rischio di errori nella registrazione delle attività e nella tracciabilità dei materiali.

Un'altra problematica emersa è quella relativa alla gestione della priorità degli interventi. Attualmente la scelta su quale guasto trattare prima avviene in modo implicito, affidandosi all'esperienza del personale e al contesto contingente (es. quali macchine risultano ferme in quel momento). Questo approccio, seppur pratico, può portare a conseguenze critiche: macchine considerate "secondarie" in periodi di mercato favorevole possono improvvisamente diventare centrali, e un loro fermo anche breve può generare perdite economiche rilevanti. Standardizzare e ottimizzare la gestione della priorità non è semplice, per diverse ragioni:

- La variabilità della domanda di mercato, che rende dinamico il peso economico di ciascun impianto;
- La difficoltà di tradurre l'esperienza tacita dei manutentori in regole formali, senza ridurre la flessibilità necessaria a gestire situazioni straordinarie;
- Il coinvolgimento di più reparti, che spesso hanno obiettivi diversi (produzione, manutenzione, logistica).

Con l'introduzione di Interacta ritengo che, nella fase iniziale di assestamento della durata di circa quattro mesi, che coprirà quindi tutti i restanti mesi del 2025, i tempi di attesa in manutenzione e di conseguenza l'intero processo manutentivo tenderanno ad allungarsi. Questo fenomeno è riconducibile a diversi fattori:

1. Tempo di compilazione del ticket: ogni richiesta di assistenza richiederà circa un minuto aggiuntivo dovuto alla compilazione di diverse domande su Interacta, relative al guasto (passaggio obbligatorio).
2. Adattamento alla piattaforma: la comunicazione avverrà unicamente tramite Interacta, con l'abbandono dei canali informali utilizzati in precedenza. Questo cambiamento potrà inizialmente creare difficoltà per operatori e responsabili di reparto abituati a un iter consolidato.
3. Curva di apprendimento degli utenti: manutentori e operatori avranno bisogno di un certo tempo per acquisire dimestichezza con la piattaforma, con il rischio di errori di compilazione dei ticket o duplicazioni di richieste nelle prime settimane.

4. Rallentamenti tecnici fisiologici: nelle fasi iniziali possono emergere piccoli problemi legati alla configurazione del sistema o all'integrazione con gli strumenti già in uso, che incidono sulla rapidità di gestione.
5. Resistenze organizzative e culturali: come in ogni progetto di cambiamento, non tutti i reparti adotteranno da subito con entusiasmo il nuovo strumento, con conseguente impatto temporaneo sui tempi di risposta.

Questi elementi renderanno i tempi medi di attesa, oggi pari a 25,36 minuti per intervento, inizialmente superiori. Tuttavia, una volta superata la fase di transizione e con la progressiva standardizzazione del processo, i benefici introdotti da Interacta maggiore tracciabilità, definizione più chiara delle priorità e migliore allocazione dei manutentori, permetteranno non solo di tornare ai livelli attuali, ma anche di ottenere un miglioramento strutturale, portando i tempi di attesa al di sotto del valore oggi mappato.

A mio avviso, questa dinamica rappresenta un passaggio tipico di ogni processo di trasformazione digitale: l'iniziale fase di difficoltà è infatti il prezzo necessario per acquisire nel medio periodo maggiore efficienza, affidabilità e capacità di controllo. In primo luogo, l'adozione di un nuovo strumento richiede un cambiamento nelle abitudini operative dei manutentori e del responsabile della manutenzione. Abituati a utilizzare canali informali e sistemi tradizionali, gli utenti potrebbero incontrare iniziali difficoltà di adattamento, con conseguente rischio di resistenze organizzative e calo temporaneo dell'efficienza. L'investimento in termini di formazione, accompagnamento al cambiamento e monitoraggio costante dei risultati sarà determinante per trasformare un inevitabile rallentamento iniziale in un'opportunità di crescita organizzativa e gestionale. In questo senso, Interacta non deve essere visto solo come uno strumento tecnico, ma come un catalizzatore di cambiamento culturale, in grado di migliorare la collaborazione tra reparti e di consolidare una mentalità orientata al miglioramento continuo.

Un elemento da non sottovalutare in questo processo tecnologico è la fase di assestamento. Questo perché nei primi mesi di utilizzo, la compilazione obbligatoria dei ticket su Interacta e la possibile comparsa di piccoli rallentamenti tecnici o difficoltà di integrazione con Prometeo e SAP potrebbero comportare un aumento temporaneo dei tempi medi di attesa in manutenzione. Questa fase transitoria, se non adeguatamente gestita, rischia di ridurre la fiducia degli utenti nello strumento. Per minimizzare l'impatto, risulta essenziale prevedere un periodo di monitoraggio intensivo, con il supporto continuo del fornitore e la predisposizione di canali rapidi di assistenza tecnica.

Un ulteriore rischio riguarda l'integrazione con i processi aziendali esistenti. Ogni nuova piattaforma richiede un allineamento con i flussi operativi consolidati, e nel caso di Interacta la compatibilità con i sistemi a monte e a valle (in particolare Prometeo e SAP) rappresenta un fattore critico di successo. Una gestione non coordinata di questa fase potrebbe generare ridondanze, disallineamenti o duplicazioni di dati. La soluzione risiede nell'adozione di un approccio progettuale strutturato, che includa test pilota, validazioni progressive e il coinvolgimento congiunto di IT e utenti finali.

Nel medio-lungo periodo, la disponibilità di un sistema digitalizzato e condiviso costituirà il primo passo verso una gestione più trasparente delle priorità. L'integrazione di metriche economiche e produttive direttamente nel processo decisionale permetterà di ridurre i margini di soggettività e di rendere il sistema più robusto. Proprio per questo motivo, i benefici attesi con l'introduzione di Interacta sono differenti:

- Riduzione dei tempi di attesa grazie alla centralizzazione delle segnalazioni e alla visibilità in tempo reale delle attività manutentive;
- Migliore tracciabilità e qualità del dato, con registrazione immediata delle informazioni relative a ore di lavoro, materiali impiegati e descrizione tecnica degli interventi;
- Integrazione dei sistemi: Prometeo assume il ruolo di motore analitico per la manutenzione preventiva e predittiva, mentre SAP si focalizza sugli aspetti economico-gestionali;
- Supporto decisionale basato su KPI aggiornati e affidabili (MTTR, MTBF, OEE).

Questi vantaggi, oltre a migliorare l'efficienza operativa, rafforzano la capacità dell'azienda di valorizzare il proprio patrimonio informativo e di trasformare la manutenzione da funzione reattiva a leva strategica per la competitività.

Dal punto di vista economico, è opportuno sottolineare che l'investimento richiesto per l'implementazione del progetto si presenta come oneroso nella fase iniziale. L'analisi condotta, attraverso il calcolo del VAN su un orizzonte di cinque anni, ha dimostrato che i benefici economici attesi sono reali e portano a un ritorno positivo. Tuttavia, nella fase 1 del progetto, i guadagni immediati non sono proporzionati all'entità della spesa, soprattutto se si considerano i soli tempi di attesa ridotti e i fermi macchina evitati. Questo aspetto riflette però una considerazione fondamentale: le aziende, nel valutare simili investimenti, non si basano esclusivamente su un criterio di convenienza economica di breve periodo, ma considerano anche il valore strategico dell'iniziativa. Nel caso specifico, la priorità non era ottenere un risparmio immediato, bensì

garantire la standardizzazione del processo e la disponibilità di dati affidabili per supportare decisioni future. L'azienda era consapevole che l'investimento rappresentava un impegno importante, ma anche che il ritorno economico sarebbe comunque arrivato nel medio periodo, come confermato dal VAN positivo calcolato su 5 anni.

Il lavoro ha messo in evidenza come la digitalizzazione della manutenzione non debba essere valutata esclusivamente sotto l'ottica economico-finanziaria immediata, ma soprattutto come un investimento strategico che consente all'azienda di acquisire dati di qualità, ridurre la dipendenza da prassi informali e costruire un processo standardizzato e tracciabile. Sacmi ha compreso che il vero valore dell'investimento non risiede soltanto nel risparmio dei costi a breve termine, ma nella possibilità di evolvere verso un modello di manutenzione più scientifico, trasparente e predittivo, capace di supportare le decisioni manageriali e di garantire la continuità produttiva in un contesto di mercato complesso e variabile. In questo senso, la digitalizzazione dei processi manutentivi non deve essere interpretata come una semplice introduzione di strumenti software, ma come un cambiamento sistemico che coinvolge tecnologia, organizzazione e cultura aziendale. L'esperienza di Sacmi Imola rappresenta un caso applicativo significativo, in cui l'adozione di Interacta costituisce un primo passo verso un modello di manutenzione moderna, integrata e orientata al miglioramento continuo.

Bibliografia

- [1] “Progettare e Gestire la Manutenzione_McGrawHill_light”.
- [2] “La Manutenzione Degli Impianti Industriali”.
- [3] “maintenance-engineering-handbook”.
- [4] “Definizioni delle norme di riferimento CE.”
- [5] “NORME DI RIFERIMENTO”.
- [6] “Norma 13306”.
- [7] A. Mater, *Cristiano Fragassa*. 2010.
- [8] “politiche-di-manutenzione-industriale”.
- [9] O. Merkt, “Predictive Models for Maintenance Optimization: an Analytical Literature Survey of Industrial Maintenance Strategies *.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/338623647>
- [10] “Manutenzione Correttiva UNI 9910”.
- [11] “Manutenzione Preventiva UNI EN 13306”.
- [12] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga, “Condition-based maintenance implementation: A literature review,” in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2020, pp. 228–235. doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.033.
- [13] B. J. Venkatesh, “An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM) What is Total Productive Maintenance (TPM)”
- [14] M. Wolska, T. Gorewoda, M. Roszak, and L. Gajda, “Implementation and Improvement of the Total Productive Maintenance Concept in an Organization,” *Encyclopedia*, vol. 3, no. 4, pp. 1537–1564, Dec. 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3040110.
- [15] “Gestione della Manutenzione.”
- [16] D. S. Thomas, “The costs and benefits of advanced maintenance in manufacturing,” Gaithersburg, MD, Apr. 2018. doi: 10.6028/NIST.AMS.100-18.
- [17] P. Rybár, M. Molokáč, L. Hvizdák, and S. Khouri, “Creation of centres of mining tourism,” in *Production Management and Engineering Sciences - Scientific Publication of the International Conference on Engineering Science and Production Management, ESPM 2015*, CRC Press/Balkema, 2016, pp. 253–258. doi: 10.1201/b19259-47.
- [18] “Computerized maintenance management systems”.

- [19] M. Wienker, K. Henderson, and J. Volkerts, "The Computerized Maintenance Management System an Essential Tool for World Class Maintenance," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2016, pp. 413–420. doi: 10.1016/j.proeng.2016.02.100.
- [20] D. Meira, I. Lopes, and C. Pires, "Selection of computerized maintenance management systems to meet organizations' needs using AHP," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2020, pp. 1573–1580. doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.219.
- [21] A. Labib, "Computerised Maintenance Management Systems," in *Springer Series in Reliability Engineering*, vol. 8, Springer London, 2008, pp. 418–435. doi: 10.1007/978-1-84800-011-7_17.
- [22] "Bazzlerla_5_2017".
- [23] "Implementazione dei sistemi ERP: ostacoli, opportunità e Fattori Critici di Successo Ingegneria gestionale Corso di Sistemi Informativi/Information Systems Design A cura di: Paolo Faverio."
- [24] R. S. Kaplan, "Conceptual Foundations of the Balanced Scorecard," 2010.
- [25] "Sacmi."
- [26] "Interacta."
- [27] "McKinsey 2021."