



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

**LE MICROFERMATE: RILEVAZIONE, ANALISI E
IMPATTO SULL'*OEE* IN UN IMPIANTO DI
IMBOTTIGLIAMENTO**

IL CASO ACQUA MINERALE SAN BENEDETTO S.P.A.

RELATORE: Ch.ma Prof.ssa Daria Battini

CORRELATORE: Ing. Ilenia Zennaro

LAUREANDO: Alessandro Celin

Anno Accademico 2014/2015

Indice

INTRODUZIONE	7
---------------------------	----------

CAPITOLO 1

L'OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE).....	9
---	----------

1.1. CONCETTI DI BASE DELLA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM).....	9
1.2. L'IMPORTANZA DI MISURARE LE PERFORMANCE	11
1.3. DEFINIZIONE DELL'OEE	14
1.4. LE SIX BIG LOSSES.....	15
1.5. METODO DI CALCOLO DELL'OEE	17
1.5.1. La disponibilità	19
1.5.2. L'efficienza delle performance	20
1.5.3. La qualità	21
1.6. VANTAGGI E LIMITI DELL'OEE TRADIZIONALE	21
1.7. ALTRI INDICATORI DI PERFORMANCE ALTERNATIVI	24
1.7.1. Indicatori che possono accompagnare l'OEE.....	33

CAPITOLO 2

ANALISI DEI DOWNTIME DI UN IMPIANTO PRODUTTIVO.....	39
--	-----------

2.1. ANALISI DI LETTERATURA.....	39
2.2. DEFINIZIONE E IMPORTANZA DEI TEMPI PERSI	48
2.3. DEFINIZIONE E IMPORTANZA DELLE MICROFERMATE.....	49
2.4. IL RUOLO DEI BUFFER.....	50
2.5. METODO DI RACCOLTA E ANALISI DEI DATI	52
2.5.1. Valutazione del tipo di analisi da eseguire	52
2.5.2. Raccolta dati	54
2.5.2.1. Vantaggi e limiti della raccolta manuale.....	55
2.5.2.2. Vantaggi e limiti della raccolta automatica.....	57
2.5.2.3. Vantaggi e limiti della raccolta semi-automatica.....	57

2.5.3.	<i>Strumenti utili per l'analisi</i>	58
2.5.3.1.	Il diagramma di Pareto	58
2.5.3.2.	Il diagramma causa-effetto e l'analisi why-why.....	59
2.5.4.	<i>Indicatori da valutare per l'analisi</i>	61
2.5.5.	<i>Impatto dei tempi persi sull'OEE</i>	63
2.5.6.	<i>Valutazione dei possibili miglioramenti</i>	65
2.5.6.1.	Revisione delle politiche manutentive	65
2.5.6.2.	Modifica o sostituzione della tecnologia attuale	65
2.5.6.2.1.	Valutazione tecnica dell'investimento	66
2.5.6.2.2.	Valutazione economica dell'investimento	67
2.6.	UN ALTRO APPROCCIO PER LA VALUTAZIONE DEI MIGLIORAMENTI: LA SIMULAZIONE	69
2.6.1.	<i>La modellazione dei dati</i>	70
2.6.1.1.	La statistica descrittiva	71
2.6.1.2.	Le distribuzioni di probabilità	72

CAPITOLO 3

ACQUA MINERALE SAN BENEDETTO S.P.A.	75
3.1. L'AZIENDA	75
3.2. I PRODOTTI	78
3.3. GLI IMPIANTI DI IMBOTTIGLIAMENTO	80

CAPITOLO 4

IL PROCESSO DI IMBOTTIGLIAMENTO	81
4.1. LA LINEA DI IMBOTTIGLIAMENTO	81
4.1.1. <i>Il raddrizzatore</i>	84
4.1.2. <i>I trasporti aerei – Convair</i>	85
4.1.3. <i>La sciacquatrice</i>	86
4.1.4. <i>La riempitrice</i>	87
4.1.5. <i>La tappatrice</i>	88
4.1.6. <i>L'etichettatrice</i>	89
4.1.7. <i>La confezionatrice</i>	90

4.1.8.	<i>La manigliatrice</i>	92
4.1.9.	<i>Il pallettizzatore</i>	92
4.1.10.	<i>La fasciatrice</i>	93
4.1.11.	<i>Altre macchine presenti sulla linea</i>	94
4.2.	IL PERSONALE DELLA LINEA.....	95

CAPITOLO 5

IL PROGETTO E LA RACCOLTA DATI.....97

5.1.	LA SCELTA DELLA LINEA	97
5.2.	PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO	103
5.3.	REALIZZAZIONE DEI MODULI PER LA RACCOLTA DATI.....	103
5.3.1.	<i>Rilevazione on field dei TTR</i>	105
5.3.2.	<i>Rilevazione on field dei TTF</i>	108

CAPITOLO 6

L'ANALISI DELLE MICROFERMATE111

6.1.	VALUTAZIONE DELLE CAUSE PRINCIPALI DI MICROFERMATA	111
6.1.1.	<i>I raddrizzatori</i>	111
6.1.2.	<i>L'etichettatrice</i>	114
6.1.3.	<i>La confezionatrice</i>	116
6.1.4.	<i>La manigliatrice</i>	118
6.1.5.	<i>Il pallettizzatore</i>	120
6.2.	DETERMINAZIONE DELL'OEE GIORNALIERO DELLA LINEA.....	124
6.2.1.	<i>Calcolo OEE con dati e metodo aziendali</i>	126
6.2.2.	<i>OEE con dati rilevati e metodo aziendale</i>	128
6.2.3.	<i>Validazione dati rilevati</i>	131
6.2.4.	<i>Calcolo OEE con dati rilevati e metodo classico</i>	134
6.2.5.	<i>Radar chart per l'OEE</i>	136
6.3.	VALUTAZIONE DEL RECUPERO OTTENIBILE	137
6.3.1.	<i>OEE recuperabile</i>	140
6.3.1.1.	<i>Radar chart per valutare l'OEE recuperabile</i>	144

6.3.2.	<i>Produzione e ore di lavoro recuperabili</i>	146
6.3.3.	<i>Contributo di ogni tipo di microfermata al recupero</i>	147
6.4.	RELAZIONE TRA <i>TTR</i> E <i>TTF</i>	155
6.5.	DIAGRAMMI CAUSA-EFFETTO E ANALISI <i>WHY-WHY</i>	159
6.6.	STATISTICA DESCRITTIVA E MODELLAZIONE DEI DATI	188
6.6.1.	<i>Statistica descrittiva per i TTR</i>	188
6.6.2.	<i>Statistica descrittiva per i TTF</i>	189
6.6.3.	<i>Distribuzioni di probabilità per i TTR</i>	190
6.6.4.	<i>Distribuzioni di probabilità per i TTF</i>	201
6.7.	VALUTAZIONE TECNICO-ECONOMICA DI PROGETTI DI MIGLIORAMENTO	206
CONCLUSIONI		215
BIBLIOGRAFIA		219
TABELLE DI CALCOLO		225
INDICE DELLE FIGURE		237
INDICE DELLE TABELLE		243

Ringraziamenti

Un ringraziamento importante a Ilenia Zennaro per avermi seguito nel progetto all'interno dell'azienda, per i consigli, la disponibilità, per avermi introdotto nel team di Ingegneria di Manutenzione e per avermi fatto da "guida" nei primi passi nel mondo del lavoro.

Un grazie anche a Roger Calzavara per aver ascoltato e chiarito i miei dubbi, per i suggerimenti nel corso del progetto e per i momenti di pausa dal lavoro.

Ringrazio anche Alessandro, Andrea, Maurizio e tutti i colleghi per la loro accoglienza all'interno dell'ufficio.

Un ringraziamento alla Prof.ssa Daria Battini per avermi seguito nella tesi e per la possibilità professionale offerta dallo stage.

Un ringraziamento ai miei genitori per avermi sempre sostenuto nella carriera universitaria e per il loro incoraggiamento.

Grazie ai miei compagni di corso, in particolare Matteo, Filippo e Silvia, per questi cinque anni di sofferenze, soddisfazioni e per i pranzi insieme.

Infine un grande grazie a Lorianna per avermi sempre supportato e sopportato in questi cinque anni, per aver condiviso i momenti di studio e non e per aver sempre creduto in me in ogni momento di questo percorso.

Introduzione

Nel mercato globale odierno tutte le aziende hanno come principale focus l'efficienza e l'efficacia delle proprie *operations*, cioè tutto ciò che riguarda la realizzazione di beni o servizi (Anvari e Edwards, 2011). In particolare, per società che presentano al proprio interno degli impianti, l'area produzione è di fondamentale importanza per garantire il controllo e la gestione delle *operations*.

Obiettivo delle aziende è dunque quello di produrre a basso costo e di garantire una elevata flessibilità alle proprie *operations* in modo da soddisfare le richieste di un mercato in continua evoluzione e sempre più sensibile al prezzo di vendita (Nachiappan e Anantharaman, 2006).

Per poter essere competitive le società devono controllare rigorosamente i propri processi produttivi, in modo da identificarne punti deboli ed eventuali aree di miglioramento, così da ridurre i costi di produzione e venire incontro alle esigenze dei clienti.

Un modo per poter supervisionare tali processi è la misurazione di *KPI* (Key Performance Indicator), che possano indicarne il loro stato di salute. Nelle aziende di produzione il principale *KPI* utilizzato è l'*OEE* (Overall Equipment Effectiveness) (Nakajima, 1988), in grado di racchiudere al proprio interno una grande quantità di informazioni suddivise tra problematiche inerenti alla disponibilità, alle *performance* e alla qualità degli impianti produttivi.

Migliorare tale indicatore a livello di area implica migliorare le prestazioni di efficienza ed efficacia, con conseguente miglior utilizzo delle risorse disponibili e quindi un'ottimizzazione della gestione della produzione e una riduzione dei costi associati.

In particolare risulta fondamentale analizzare i *downtime* degli impianti produttivi e soprattutto le microfermate (*micro breakdown* o *micro downtime*), fattore molto spesso ignorato poiché difficilmente individuabile e considerato parte del normale funzionamento del processo produttivo (Ljungberg, 1998).

In tale contesto si inserisce il presente lavoro di tesi, sviluppato presso l'azienda Acqua Minerale San Benedetto S.p.A., leader nel settore dell'imbottigliamento nazionale nel campo delle acque minerali, con sede a Scorzè (VE).

L'obiettivo del progetto sviluppato in azienda riguarda la rilevazione e l'analisi dei dati delle microfermate per le macchine critiche di una linea di imbottigliamento pilota, in modo da determinare le principali problematiche che impattano sull'*OEE*, e la valutazione tecnico-economica di miglioramenti apportabili alle attrezzature per limitare i tempi persi delle microfermate e quindi incrementare le *performance* della linea. È stata eseguita anche una modellazione dei tempi rilevati per una futura simulazione software della linea.

Tale progetto è stato svolto per una durata di 6 mesi, con una rilevazione dati di due mesi, su una linea di imbottigliamento di acqua naturale e frizzante, con prodotti piuttosto standard ma che presentano comunque delle peculiarità per quanto riguarda il loro processo produttivo.

Nel *capitolo 1* viene descritta l'importanza della misurazione delle prestazioni di un sistema produttivo al fine di comprenderne le condizioni operative e il ruolo fondamentale svolto dall'*OEE* in tale contesto; in particolare viene presentato l'approccio tradizionale al calcolo proposto da Nakajima (1988) e i suoi limiti più evidenti; in seguito vengono descritti altri indicatori, presenti in letteratura, alternativi e/o complementari all'*OEE*, che cercano di superare le problematiche di quello tradizionale.

Il *capitolo 2* presenta all'inizio un'analisi della letteratura in merito allo studio dei *downtime* di un impianto produttivo, con un confronto per quanto riguarda obiettivi, strumenti utilizzati e risultati ottenuti dai vari studi, in modo da avere una visione generale di come viene trattato l'argomento. Nel prosieguo del capitolo viene descritto un possibile approccio per lo studio dei *downtime*, corroborato dalle indicazioni rilevate in letteratura, che elenca i vari *step* logici di un progetto di analisi dei *downtime* (in particolare dei *micro breakdown*), presentando la fase di raccolta dati con vantaggi e limiti delle varie tecniche di raccolta, strumenti ed indicatori utili per lo studio, impatto sull'*OEE* e valutazione tecnico-economica di possibili progetti migliorativi. Infine un sottocapitolo è dedicato alla simulazione software e alla modellazione statistica dei dati.

Nel *capitolo 3* viene presentato il contesto aziendale di Acqua Minerale San Benedetto S.p.A., in particolare la storia dell'azienda, i prodotti realizzati e la struttura interna dell'area produttiva.

Nel *capitolo 4* viene descritta la struttura generale di una linea di imbottigliamento, con le varie attrezzature principali e ausiliarie presenti, e il personale addetto ad ogni impianto, ovvero il personale di produzione e i manutentori.

Il *capitolo 5* riporta il progetto eseguito in azienda, seguendo i vari *step* presentati nel *capitolo 2*. Viene indicata la linea scelta, i motivi della sua selezione, la tipologia di analisi svolta e la pianificazione di tale progetto; in sequenza vengono descritti i vari *step*, ovvero: la realizzazione dei moduli per la raccolta dati, la tipologia di indicatori rilevati, la valutazione delle cause principali delle microfermate, il calcolo dell'*OEE* e la sua validazione con i dati aziendali, la quantificazione del recupero sulle *performance* dato dalla risoluzione o dalla riduzione delle microfermate, lo sviluppo di strumenti tipici dell'analisi *FMEA* come i diagrammi di Ishikawa e l'analisi *why-why*, la modellazione statistica dei tempi rilevati per una futura simulazione software e infine la valutazione tecnico-economica di progetti migliorativi.

CAPITOLO 1

L'OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE)

1.1. Concetti di base della Total Productive Maintenance (TPM)

Negli ultimi anni la manutenzione ha assunto un ruolo sempre più importante negli impianti industriali: ciò è dovuto all'evoluzione delle tecniche produttive, al punto da diventare addirittura una leva strategica e fondamentale per la competitività delle aziende.

Mentre fino a qualche decennio fa la manutenzione veniva concepita solamente come una funzione marginale e di supporto, al giorno d'oggi questa idea è completamente superata, divenendo una funzione strategica e attiva; la manutenzione dunque diventa una attività che porta valore aggiunto all'azienda ed è essenziale per il raggiungimento degli obiettivi del *core business*.

Il Total Productive Maintenance (TPM) (Nakajima, 1988) è una delle principali strategie utilizzate in ambito manutentivo. Essa si inserisce nel contesto più ampio del Total Quality Management (TQM) e della Lean Production ed è costituita da un insieme di tecniche di gestione della manutenzione che mirano a integrare la manutenzione con la produzione (da qui il nome di manutenzione produttiva totale), prevedendo il coinvolgimento e la collaborazione di tutti gli attori afferenti a queste due funzioni aziendali. Questo concetto sostiene dunque che “la manutenzione deve poter interagire con le altre funzioni aziendali ed il suo compito principale è quello di cercare ed offrire sinergie che conducono alla soluzione ottimale di problemi comuni” (UNI 10224).

Affinché il TPM abbia successo è di fondamentale importanza che venga fortemente supportato e opportunamente guidato dal top management e che i dipendenti vengano coinvolti, responsabilizzati e motivati; se ciò non avviene il possibile impatto benefico è sicuramente molto limitato o addirittura si possono ottenere dei peggioramenti. È quindi necessario coinvolgere tutte le funzioni aziendali in un'ottica di integrazione e miglioramento continuo e incrementale (*kaizen*).

Il TPM si presenta come un sistema di gestione della manutenzione degli impianti produttivi che mira ad eliminare i guasti e le microfermate, promuove dei gruppi autonomi di manutenzione (auto-manutenzione, generalmente eseguita dagli operatori di produzione) e migliora la disponibilità, l'efficienza e l'affidabilità del sistema produttivo.

Gli obiettivi principali in una corretta implementazione del *TPM* sono:

- Ridurre il più possibile le fermate degli impianti e il loro impatto sulle *performance*;
- Incrementare la disponibilità e l'efficienza dell'impianto produttivo;
- Eliminare le perdite per difetti, guasti, incidenti, etc.;
- Aumentare la vita utile dell'attrezzatura e la sua affidabilità.

Al fine di ottenere questi obiettivi il *TPM* propone una manutenzione di tipo proattiva, limitando quella reattiva; infatti pone il proprio focus sulla manutenzione preventiva e predittiva, in modo da anticipare i possibili problemi e fermate dell'impianto produttivo, basandosi sull'idea che l'impatto sulle *performance* delle fermate pianificate è inferiore e meno costoso rispetto ad una fermata causata da un guasto di entità maggiore.

I fini ultimi ed ideali del *TPM* sono: zero difetti, zero fermate e zero guasti (Nakajima, 1988).

Il *TPM* basa il proprio operato su otto pilastri fondamentali (*figura 1*):

- Manutenzione autonoma (*Jishu Hozen*);
- Miglioramento continuo (*Kobetsu Kaizen*);
- Manutenzione programmata (*planned maintenance*);
- Manutenzione per la qualità (*quality maintenance*);
- Formazione ed addestramento (*education & training*);
- Sicurezza, salute e ambiente (*safety, health and environment*);
- *TPM* anche negli uffici (*office TPM*);
- Gestione dello sviluppo degli impianti (*development management*).

Il tutto poi deve essere accompagnato anche con l'utilizzo delle 5S, in modo da eliminare gli sprechi (*muda*):

- *Seiri* (separare ciò che serve da ciò che non è utile);
- *Seiton* (riordinare tutto ciò che è funzionale all'attività da eseguire);
- *Seiso* (pulire e ordinare il posto di lavoro);
- *Seiketsu* (standardizzare le attività lavorative in modo da ridurre la variabilità e i possibili problemi);
- *Shitsuke* (diffondere e sostenere la mentalità del miglioramento continuo).

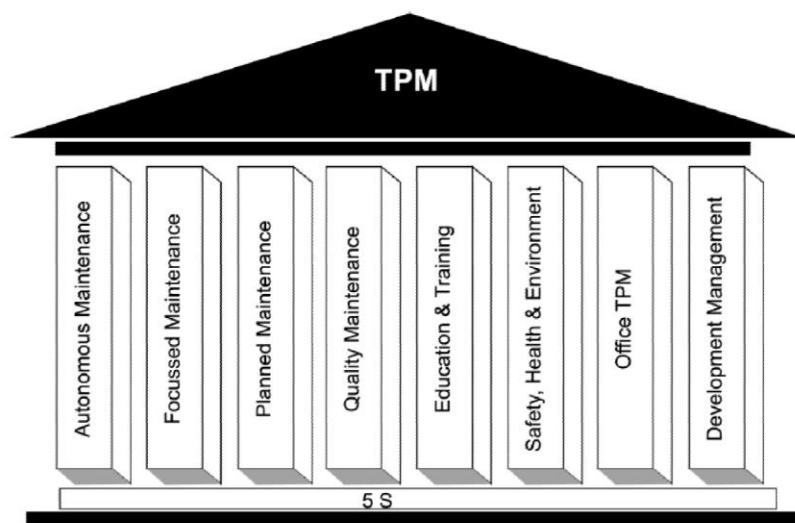


Figura 1: Gli otto pilastri del TPM (Batumalay e Santhapparaj, 2009)

1.2. L'importanza di misurare le *performance*

Un aspetto essenziale in qualsiasi azienda di produzione (e non) è la misura delle prestazioni delle proprie *operations* e delle attività in generale. È dunque necessario sviluppare degli appositi indicatori che siano significativi per valutare le *performance*.

Riferendosi ad un sistema per la rilevazione delle *performance* degli impianti produttivi, esso deve essere utilizzato dal top management con funzioni di controllo e per il miglioramento continuo della produzione. Deve inoltre essere comprensivo e coprire tutte le dimensioni che vengono considerate critiche per il successo dell'azienda (Jonsson e Lesshammar, 1999); in particolare deve essere un sistema dinamico, in grado di adattarsi alle esigenze e di collegare le varie funzioni aziendali (Ghalayini e Noble, 1996), deve contenere sia misure finanziarie che non, deve essere semplice e dare un *feedback* veloce sulle *performance* (Maskell, 1991), dovrebbe collegare le *operations* con gli obiettivi strategici aziendali, includere indicatori di soddisfazione dei clienti, identificare ed eliminare gli sprechi (Lynch e Cross, 1991).

Un sistema di indicatori efficace deve permettere la valutazione e il confronto di *performance* in periodo diversi o per compararli con valori di *benchmark* (interni, a livello di settore industriale o di *best practice*); deve inoltre garantire una valutazione corretta di eventuali progetti migliorativi degli impianti produttivi, in modo da valutare quali siano i *gap* da colmare e i risultati post-intervento (stimati o reali).

Quando si vuole progettare un sistema di misura è fondamentale porsi due domande: cosa misurare e come farlo. Infatti è assolutamente superfluo (e anche dannoso) complicare e

appesantire il sistema di misura e di reportistica con dati e indici che non sono di rilevanza per le varie funzioni aziendali; situazione ancora peggiore si verifica nel caso in cui le prestazioni non vengano misurate correttamente, quindi gli indicatori sviluppati non siano di nessuna utilità.

Come evidenziato da Jonsson e Lesshammar (1999), per rispondere a queste due domande è necessario focalizzarsi su alcune dimensioni fondamentali che il sistema di misura deve evidenziare e che vengono di seguito indicate (*tabella 1*).

Per decidere “cosa misurare” bisogna valutare:

- **Strategia:** le misure devono essere strettamente collegate alla strategia aziendale, in modo da enfatizzare gli aspetti che più sono rilevanti per il successo competitivo della società; il sistema deve misurare fattori chiave nel lungo periodo (fattori *order-qualifier* e *order-winner*) e non solamente indicatori per il breve periodo; non è comunque semplice collegare e integrare le varie misure a causa del sempre maggiore focus su qualità, flessibilità e grande varietà di prodotti realizzata da un'azienda;
- **Orientazione del flusso:** obiettivo di una produzione efficace ed efficiente è una gestione ottimale del flusso dei materiali all'interno del processo, con una elevata qualità e bassi tempi di attraversamento; è quindi necessario utilizzare indicatori che si focalizzano sui *business process* piuttosto che sulle singole funzioni aziendali, in modo da avere una visione che si basa sul concetto della *supply chain*; anche questo aspetto complica la realizzazione del sistema di misura;
- **Efficienza interna:** l'obiettivo di questa dimensione è di identificare e valutare le *performance* di una funzione interna; è possibile utilizzare degli indicatori finanziari per comparare efficacemente i vari dipartimenti e fare delle analisi di *trade-off* tra costi e benefici; nonostante ciò spesso sono necessarie anche altre misure, non finanziarie, che sono fondamentali per valutare le *performance* produttive, come i *lead time*; bisogna quindi utilizzare ed integrare indici finanziari e non per avere una visione più completa ed esaustiva delle *performance*;
- **Efficacia esterna:** questa dimensione è strettamente collegata alla soddisfazione del cliente, perciò richiede misure del livello di servizio offerto dall'azienda e della qualità, sia a livello strategico che operativo; non necessariamente però sono sufficienti questi indici per comprendere la soddisfazione reale dei clienti e spesso la qualità è riferita solo all'efficienza interna e non collegata al consumatore finale.

Per capire invece “come misurare” è necessario considerare:

- *Driver* per il miglioramento: gli indicatori scelti devono essere una base per intraprendere e sviluppare processi di miglioramento; gli indici dipendono strettamente dai dati che vengono raccolti e da come le analisi poi vengono condotte; il sistema di misura deve cogliere tre aspetti fondamentali:
 1. Il set di misure deve coprire tutti gli aspetti rilevanti per indicare dei potenziali miglioramenti futuri;
 2. La misura deve identificare e generare un miglioramento continuo, non solamente fungere da controllo passivo dell'operato; in particolare ciò è rilevante per misure che si focalizzano su attività non a valore aggiunto;
 3. Se le misure, sia di lungo che di breve periodo, sono rilevate su un periodo continuo, piuttosto che a intervalli regolari, devono essere un componente importante nel processo di miglioramento continuo.
- Semplicità e dinamicità: le misure devono essere semplici e facili da comprendere e non necessariamente devono rispettare un formato fisso, ma devono essere adattabili alle specifiche esigenze del momento; l'utilizzo di indicatori troppo complessi, o in numero eccessivo, può portare il sistema ad essere eccessivamente reattivo e non proattivo, focalizzandosi solo sul controllo delle *performance* e non sul miglioramento.

Dimensioni	Descrizione
Strategia	Il sistema di misura traduce e implementa le strategie aziendali a tutti i livelli dell'organizzazione
Orientazione del flusso	Il sistema di misura integra tutte le funzioni, le attività e i processi lungo la supply chain
Efficienza interna	Il sistema di misurarende possibile un controllo della produttività e un confronto tra funzioni interne
Efficacia esterna	Il sistema interagisce con i clienti e misura il loro livello di soddisfazione
Driver per il miglioramento	Il sistema di misura non solo funge da controllo passivo, ma anche da miglioramento continuo
Semplicità e dinamicità	Il sistema di misura è semplice e dinamico, in modo da includere solo dimensioni rilevanti e da renderlo adattabile alle specifiche richieste di misure, sempe in continua evoluzione

Tabella 1: Dimensioni da valutare nella realizzazione di un sistema di misura

Inoltre, come indicato da Beamon (1999), ogni misura deve essere caratterizzata da quattro caratteristiche per essere utile ed efficace:

1. Inclusività: la capacità di tener conto di tutti gli aspetti pertinenti;

2. Universalità: la capacità di essere utilizzata e comparata sotto varie condizioni operative;
3. Misurabilità: la capacità di misurare i dati in modo analitico;
4. Consistenza: la capacità di essere coerente con tutti gli obiettivi aziendali.

Un sistema di misura completo non può essere costituito da un singolo indicatore poiché è impossibile che possa coprire tutti gli aspetti essenziali, ma deve essere strutturato in un set di indicatori collegati tra di loro e che rispettino le dimensioni sopra indicate; degli esempi di sistemi sviluppati che rispettano tali caratteristiche sono lo *SMART system* (Lynch e Cross, 1991) e la *balanced scorecard* (Kaplan e Norton, 1992).

1.3. Definizione dell'OEE

L'indicatore più utilizzato per valutare l'efficienza di un impianto è l'Overall Equipment Effectiveness (*OEE*), proposto negli anni '80 da Nakajima e *tool* fondamentale per quantificare l'efficacia dei piani di *TPM*.

L'*OEE* è un indice molto sintetico e quantitativo, costituito da un singolo numero, il quale però è in grado di contenere al proprio interno un gran numero di informazioni riguardanti l'impianto produttivo; l'*OEE* è una misura chiave, usata soprattutto nella produzione di massa, molto apprezzata dai manager per la sua sinteticità ed aggregazione. Inoltre è molto utilizzato poiché oggi, per le aziende di produzione, un modo per rimanere competitivi sul mercato è vendere dei prodotti al minimo costo (Muchiri e Pintelon, 2008); ciò può essere ottenuto andando ad impiegare in modo più efficiente le risorse a disposizione degli impianti produttivi: l'*OEE* può aiutare a capire dove migliorare e l'impatto dei miglioramenti.

La possibilità di capire dove si può migliorare è garantita dalla particolare composizione dell'*OEE*, infatti esso è funzione di tre fattori fondamentali di un impianto: disponibilità, efficienza delle *performance* e qualità. Questa particolare configurazione permette di comprendere quale (o quali) tra le tre voci penalizza maggiormente l'*OEE* e di conseguenza permette di fare delle valutazioni riguardo ad interventi migliorativi affrontabili.

Le tre voci costituenti sono definite come segue:

- Disponibilità: esprime il tempo in cui l'impianto è effettivamente disponibile al lavoro rispetto al tempo pianificato di produzione;
- Efficienza delle *performance*: indica il tempo di produzione effettivo rispetto al tempo in cui l'impianto è effettivamente disponibile al lavoro;

- Qualità: indica, in percentuale, quanti prodotti conformi sono stati realizzati rispetto al totale della produzione.

Andando a considerarle singolarmente è possibile capire dove e come migliorare per incrementare le prestazioni dell'impianto ed eventuali responsabilità per valori non adeguati agli standard fissati.

Il valore dell'OEE e delle sue voci costituenti è sempre inferiore o uguale a 1 (o al 100%, condizione ideale).

1.4. Le Six Big Losses

L'OEE di un impianto produttivo è fortemente influenzato da fenomeni di disturbo al normale funzionamento che determinano dei tempi persi. Come indicato da Jonsson e Lesshammar (1999) questi disturbi possono essere cronici o sporadici, a seconda della loro frequenza di accadimento. Fenomeni cronici sono generalmente di piccola entità, nascosti e difficili da individuare poiché sono il risultato di più cause concorrenti. Quelli sporadici invece sono più facili da individuare dal momento che si verificano con una alta rapidità e con una grande deviazione rispetto al normale stato di lavoro dell'impianto; essi inoltre accadono irregolarmente e ad intervalli piuttosto lunghi e il loro effetto porta generalmente a gravi problemi.

In un impianto però i tempi persi più significativi sono di solito quelli cronici poiché, anche se di minore entità come durata del singolo disturbo, la loro frequenza comporta un basso tasso di utilizzo dell'attrezzatura e degli elevati costi a causa delle perdite (Nord *et al.*, 1997). Inoltre i disturbi cronici sono più subdoli e difficili da individuare e spesso vengono considerati come il normale funzionamento del processo, venendo quindi sottovalutati o per nulla considerati.

Questi due tipi di disturbi portano ad un processo meno efficiente, con maggiori risorse consumate, senza contribuire ad alcun valore aggiunto per il prodotto finale.

Nakajima (1988) focalizza la propria attenzione su sei grandi cause di perdita di efficienza di un impianto produttivo: le *Six Big Losses*.

Considerando l'OEE come "un approccio *bottom-up* dove una forza lavoro integrata si sforza di raggiungere un'efficacia ed efficienza totale delle attrezzature andando ad eliminare le *six big losses*" (Nakajima, 1988) si possono andare a definire quest'ultime.

Le *Six Big Losses* si dividono in:

1. Guasti delle macchine che determinano dei tempi persi o, equivalentemente, una riduzione della produttività e una quantità di prodotto persa per prodotti difettosi a

causa del guasto; si hanno quindi dei costi di mancata produzione e una riduzione dell'efficienza; questo tipo di fermate sono estremamente difficili da eliminare completamente poiché una parte dei guasti può essere considerata fisiologica, in particolare aumentata durante le fasi iniziali e finali del ciclo di vita di una macchina, come indicato dalla *bathtub curve* (figura 2), dove si ha un incremento della probabilità di guasto nel periodo di installazione e collaudo (mortalità infantile) e nella fase di obsolescenza finale, mentre un andamento basso e costante nella vita utile dell'impianto.

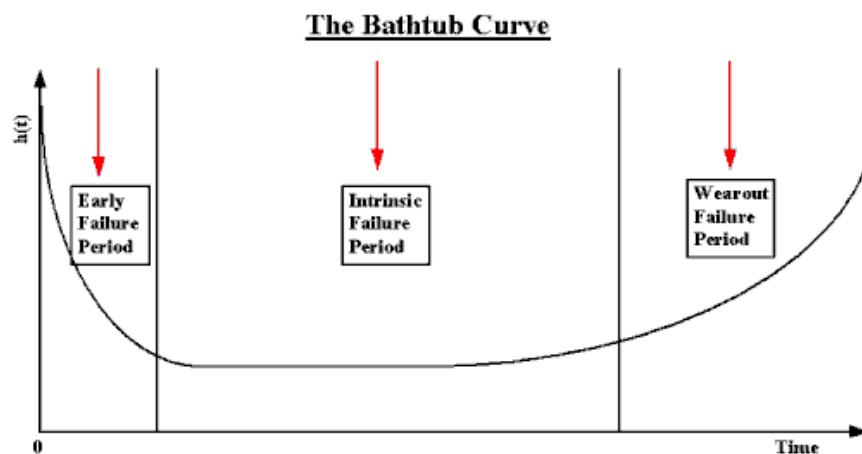


Figura 2: *Bathtub curve* (Abdul Samat *et al.*, 2012)

2. *Setup* e regolazioni delle macchine, ovvero tempi persi e prodotti non conformi tra la fine della produzione di un determinato codice ed il raggiungimento del funzionamento a regime del nuovo codice; in questa fase sono previste varie regolazioni per adattare i macchinari alle caratteristiche del nuovo prodotto; a seconda della tipologia di beni realizzati da un'industria questi tempi possono essere più o meno significativi, per questo si cerca di effettuare il più possibile degli attrezzaggi in tempi mascherati, passando da attività di *setup* di tipo *OED* (Outer Exchange of Die) a *IED* (Inner Exchange of Die) tramite delle tecniche di *SMED* (Single Minute Exchange of Die), in modo da ridurre l'impatto sulla disponibilità dell'impianto;
3. Tempi d'attesa e microfermate che si verificano quando la produzione viene interrotta o rallentata da un malfunzionamento temporaneo di una macchina o quando un'attrezzatura è in attesa di prodotto; queste tipologie di tempi persi vengono spesso trascurate quando in realtà possono avere un grande peso nel degrado delle prestazioni di un impianto, dal momento che possono avere una frequenza molto elevata e, nonostante la breve durata, la loro influenza complessiva può essere molto significativa; l'obiettivo ideale è l'annullamento delle microfermate;

4. Riduzioni di velocità che risultano dalla differenza tra la velocità teorica per cui è stata progettata la macchina e l'attuale velocità operativa; questi tempi persi non determinano un fermo impianto ma un rallentamento della produzione e quindi una inferiore produzione; queste riduzioni di velocità possono essere causate da problemi meccanici o di qualità;
5. Scarti per difetti e rilavorazioni sono perdite nella qualità causate da attrezzature malfunzionanti che determinano dei prodotti non conformi alle specifiche aziendali o normative; l'eliminazione di questi difetti richiede la riparazione dei prodotti difettosi in modo da renderli nuovamente conformi (rilavorazioni);
6. Scarti per avviamento, ovvero perdite che avvengono durante le prime fasi di produzione, dallo *start-up* della macchina fino alla sua stabilizzazione a condizioni operative standard; questi sono scarti che vanno ad influire sulla qualità; avviamenti dopo una riparazione periodica e dopo un lungo periodo di fermo vengono invece definiti come tempi persi nel calcolo della disponibilità dell'impianto; avviamenti dopo le pause pranzo o dopo i giorni di chiusura dell'impianto sono classificate come perdite di velocità che vanno ad influire sull'efficienza delle prestazioni dell'attrezzatura.

Le prime due tipologie di perdite vengono definite come perdite per inattività (*downtime losses*) ed influiscono direttamente sulla disponibilità delle macchine.

Le seconde due sono classificate come perdite di velocità (*speed losses*) e vanno ad incidere sulle *performance* di efficienza dell'impianto.

Le ultime due vengono identificate come perdite di qualità (*quality losses*) e riducono l'indice di qualità dei macchinari.

Le *Six Big Losses* dunque vanno ad impattare su tutte e tre le voci costituenti l'OEE e per ottenere un miglioramento di quest'ultimo è necessario andare a ridurle tutte e sei.

1.5. Metodo di calcolo dell'OEE

Come già anticipato nel *paragrafo 1.3* l'Overall Equipment Effectiveness (OEE) è costituito da tre voci fondamentali, ovvero disponibilità, efficienza delle *performance* e qualità. Mentre la definizione dell'OEE è piuttosto standard, ciò che spesso cambia è il metodo con cui vengono calcolati i tre elementi costituenti; infatti il computo viene generalmente adattato alle specifiche esigenze aziendali e per questo in letteratura non è riscontrabile una singola formula esplicativa.

La disponibilità (*availability, A*) indica è il rapporto tra il tempo realmente disponibile per la produzione (sottraendo tutte le fermate pianificate, i *setup*, i guasti) e il tempo totale in cui l'impianto è potenzialmente in funzione ed è calcolabile come:

$$A = \frac{\text{Tempo operativo attuale}}{\text{Tempo operativo pianificato}}$$

L'efficienza delle *performance (performance efficiency, P)* è il rapporto tra il tempo realmente assegnato alla produzione (rispetto a quello teorico) e il tempo realmente disponibile per la produzione ed è possibile calcolarla in termini di tempi persi, però dal momento che i tempi di microfermate e riduzioni di velocità sono difficilmente misurabili si preferisce riferirsi alla produzione conforme totale realizzata in un certo intervallo temporale per valutare l'efficienza:

$$P = \frac{\text{Produzione conforme totale} \times \text{Tempo ciclo teorico}}{\text{Tempo operativo attuale}}$$

La qualità (*quality, Q*) è definita come il rapporto tra la produzione totale conforme alle specifiche e quella totale:

$$Q = \frac{\text{Produzione totale} - \text{Scarti}}{\text{Produzione totale}}$$

L'*OEE* risulta dal prodotto delle tre voci:

$$OEE = A \times P \times Q$$

Uno schema di calcolo generico dell'*OEE* con riferimento alle *Six Big Losses* viene presentato in *figura 3*.

Pervenire ad un valore di *OEE* ritenuto universalmente accettabile per considerare i processi produttivi efficienti ed efficaci è molto difficile. Vari autori hanno proposto dei valori di *benchmark* di *best practice*, ma in realtà questi livelli dipendono fortemente dal tipo di azienda che si considera, dal settore di appartenenza e dal metodo di calcolo dell'*OEE*.

Nakajima (1988) sostiene che, in condizioni ideali, l'*OEE* dovrebbe essere maggiore di 0,85 per un'azienda *world class*, con disponibilità superiore a 0,90, efficienza delle *performance* 0,95 e qualità 0,99; Kotze (1993) invece ritiene che valori di *OEE* intorno a 0,50 siano molto più

realistici; Ericsson (1997) considera accettabili indici tra 0,30 e 0,80; Ljungberg (1998) dice che è accettabile avere OEE compresi tra 0,60 e 0,75. Questo rende naturalmente difficile confrontare OEE di aziende o settori industriali diversi e non permette di giungere a dei valori universalmente condivisibili.

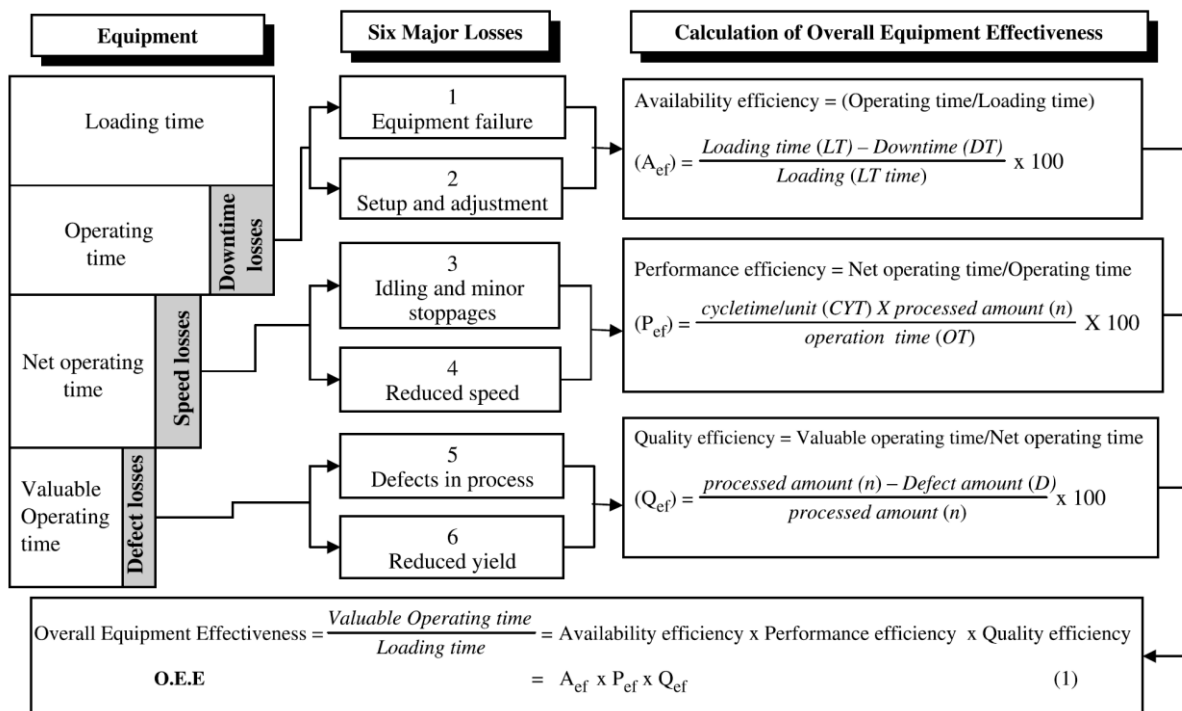


Figura 3: Schema di calcolo dell'OEE (Nachiappan e Anantharaman, 2006)

1.5.1. La disponibilità

La disponibilità di un impianto produttivo rappresenta il tempo in cui il sistema non è operativo per guasti, *setup*, regolazioni e altre fermate ed è l'aspetto più discusso a livello di letteratura e quello che subisce i maggiori cambiamenti tra un'azienda e un'altra. Infatti non esiste una formula univoca che permetta di calcolarla dal momento che spesso viene adattata a seconda dei singoli contesti e delle esigenze aziendali.

Mentre alcuni tipi di tempi persi, quali i *setup*, le regolazioni e i guasti, vengono in letteratura sempre attribuiti alla disponibilità, un aspetto controverso è l'inserimento o meno delle fermate pianificate, ed in particolare della manutenzione preventiva, nel denominatore della disponibilità; più in generale l'elemento più dibattuto è cosa utilizzare come denominatore nella disponibilità.

Nella formulazione originale dell'OEE sviluppata da Nakajima (1988) le fermate pianificate, in particolare la manutenzione preventiva, non vengono considerate come tempi persi e questo può portare a non avere una valutazione corretta dell'OEE e ad aumentare le fermate

pianificate, incrementando le manutenzioni e allungando i tempi di *setup*. In questo caso la disponibilità è calcolata come:

$$A = \frac{\text{Tempo operativo attuale}}{\text{Tempo operativo pianificato}} = \frac{\text{Tempo operativo pianificato} - \text{Guasti} - \text{Setup}}{\text{Tempo totale pianificato} - \text{Fermate pianificate}}$$

Nella proposta di De Groot (1995) invece queste fermate vengono incluse nel calcolo della disponibilità, portando ad un valore sicuramente più basso dell'*OEE*, ma mostrando il vero valore della disponibilità e stimolando la riduzione delle fermate pianificate, riducendo i tempi di *setup* e un piano di gestione delle manutenzioni più efficiente. Quindi la disponibilità risulta come segue:

$$A = \frac{\text{Tempo operativo attuale}}{\text{Tempo operativo pianificato}} = \frac{\text{Tempo operativo pianificato} - \text{Guasti} - \text{Setup} - \text{Fermate pianificate}}{\text{Tempo totale pianificato}}$$

In questo caso non si parla più di *OEE* ma di *TEEP* (Total Effective Equipment Performance) (Ivancic, 1998).

Altri studi preferiscono considerare come denominatore della disponibilità tutto il tempo disponibile da calendario (escludendo le chiusure annue previste) in modo da valutare tutti i tipi di perdite e capire come poter utilizzare in modo migliore la capacità produttiva, dal momento che gli impianti sono disponibili 24 ore al giorno per 7 giorni alla settimana in linea teorica (Anvari *et al.*, 2010).

Si può quindi notare come non si sia ancora pervenuti ad una formulazione ufficiale e sempre valida, così da rendere anche difficile confrontare *OEE* di aziende diverse o con valori di *benchmark* poiché il risultato ottenuto dipende dal metodo di calcolo utilizzato.

1.5.2. L'efficienza delle performance

L'efficienza delle *performance* misura il rapporto tra la velocità operativa attuale dell'impianto e quella ideale; questa riduzione è causata da microfermate, attese e riduzioni di velocità.

Anche questa voce dell'*OEE* può essere calcolata in modi diversi, anche se in realtà sono del tutto equivalenti. Un metodo poco utilizzato è quello di valutare tutto in termini di tempi persi, ma ciò non è semplice a causa della difficoltà nella rilevazione di quest'ultimi. Più spesso si

ricorre al conteggio della produzione effettiva del sistema e si utilizza il tempo ciclo teorico per valutare l'efficienza.

Il metodo proposto da Nakajima (1988) prevede di misurare un prefissato ammontare di *output* e le *performance* sono valutate come l'attuale deviazione della produzione nello stesso intervallo temporale rispetto a quelle ottenibili con il tempo ciclo ideale.

De Groot (1995) invece si focalizza su un tempo prefissato e calcola la deviazione della produzione da quella pianificata.

Entrambe le definizioni misurano comunque l'ammontare totale della produzione, quindi il risultato finale non differisce.

Dunque il calcolo dell'efficienza delle prestazioni ha una formulazione piuttosto standard (*paragrafo 1.5*).

1.5.3. La qualità

La qualità misura il rapporto tra i prodotti conformi e quelli totali realizzati da un impianto.

A seconda che l'OEE venga utilizzato per calcolare l'efficienza di una singola macchina o di un intero sistema produttivo i valori considerati cambiano; infatti nel primo caso bisogna considerare solo i prodotti realizzati e gli scarti del singolo macchinario, mentre nel secondo quelli dell'intera linea.

La definizione di qualità non crea particolari problemi ed è universalmente condivisa come formulazione (*paragrafo 1.5*).

1.6. Vantaggi e limiti dell'OEE tradizionale

L'OEE è uno strumento molto sintetico che, nel contempo, permette di andare a valutare con maggiore dettaglio le cause dei tempi persi di un impianto produttivo, grazie alla sua scomposizione in tre fattori. Questo permette di identificare le perdite relative ad una macchina, con l'obiettivo di migliorarne le *performance* e l'affidabilità; inoltre permette di determinare con molta semplicità i cambiamenti apportati da una modifica effettuata sul macchinario, dal momento che l'OEE è anche un *tool* molto adatto per confrontare una situazione "*as is*" e una "*to be*", così da quantificare l'apporto benefico sulle prestazioni dell'*improvement* effettuato.

Altro importante vantaggio dell'OEE è la sua capacità di mettere in luce dove risiedono i problemi di un sistema, in modo da liberare capacità produttiva, condurre ad un miglior

bilanciamento del flusso dei materiali, prevenire la sub-ottimizzazione dei processi; inoltre fornisce un metodo sistematico per stabilire dei *target* produttivi e uno strumento per una gestione pratica degli impianti (Garza-Reyes *et al.*, 2009).

Le principali applicazioni dell'*OEE* avvengono in industrie ad elevato contenuto di automazione del processo produttivo, dove la saturazione della capacità produttiva ha una elevata priorità e le fermate dell'impianto sono molto costose e portano ad una grande perdita di produzione (Dal *et al.*, 2000; Andersson e Bellgran, 2015).

Nonostante sia uno strumento molto apprezzato dai manager per la sua sinteticità ed efficacia nell'esprimere le *performance* di un sistema produttivo, l'*OEE* presenta anche una serie di limitazioni nella sua formulazione originale.

La principale critica che viene mossa è la sua capacità di esplicitare le *performance* di una singola macchina, ma non di un intero processo o dell'intera area produttiva di un'azienda; infatti generalmente un'attrezzatura non è isolata, ma il processo produttivo è il frutto di un complesso insieme di macchine coordinate che interagiscono tra di loro; spesso però le considerazioni vengono fatte sulle singole macchine, senza indagare sulla loro interdipendenza, portando ad uno scarso coordinamento delle varie risorse impiegate. L'obiettivo finale di qualunque azienda dovrebbe essere una elevata efficienza dell'intero sistema integrato di produzione e non possedere solamente delle perfette attrezzature (Muchiri e Pintelon, 2006). Inoltre, mentre per una linea perfettamente bilanciata e senza *buffer* interoperazionali l'*OEE* può essere un efficace strumento per esprimerne le *performance*, nel caso di processi non bilanciati e con la presenza di polmonature tra le macchine l'*OEE* non è in grado di essere un affidabile indicatore delle prestazioni (Braglia *et al.*, 2008; De Carlo *et al.*, 2014).

Questo punto è comunque molto controverso dal momento che alcuni autori ritengono invece che l'*OEE* non sia adatto a descrivere le *performance* di una singola macchina perché è uno strumento che tiene in considerazione anche fattori esterni al macchinario, quali la movimentazione dei materiali, la presenza di *buffer*, l'efficienza del sistema logistico, la mancanza di prodotti e il blocco della linea da parte delle macchine a valle (de Ron e Rooda, 2005; Braglia *et al.*, 2008; De Carlo, 2014).

Un altro limite indicato è la consuetudine di dare uno stesso peso a tutti e tre i fattori costituenti l'*OEE*, mentre i problemi dovuti alla qualità dovrebbero avere un peso differente rispetto alla disponibilità e all'efficienza delle *performance* e quindi ognuna delle tre voci dovrebbe avere un proprio peso caratteristico, tipico di ogni azienda o settore industriale, che permetta una valutazione più corretta (Muchiri e Pintelon, 2006; Wudhikarn, 2013).

Un altro problema che viene spesso indicato è la mancanza di coerenza nella definizione della disponibilità di un impianto, perciò molti autori propongono vari modi che si possono riassumere come già visto nel *paragrafo 1.5.1*. Inoltre anche la mancanza di valori *world-class* di *benchmark* condivisi è visto come un limite dell'OEE.

Ulteriori critiche indicano la difficoltà di definizione e comprensione della misura a causa della sua composizione in tre fattori; inoltre non c'è una chiara relazione causa-effetto tra un cambiamento nei valori delle tre voci e l'OEE; infine si considera un tempo ciclo ideale prefissato che controlla la massima produttività, mentre non viene preso in considerazione il numero di persone che lavora nel processo, quindi non permette di valutare in modo adeguato un miglioramento della produttività dato dalla riduzione del tempo ciclo o delle risorse usate in *input* (Andersson e Bellgran, 2015).

In *tabella 2* viene riportato un riassunto dei vantaggi e dei limiti dell'OEE tradizionale.

Vantaggi	Limiti
Sinteticità dell'indicatore Grande contenuto informativo Possibilità di valutare cambiamenti negli impianti Capacità di isolare e mettere in luce dove risiedono i problemi	Per alcuni autori non riesce ad esprimere le <i>performance</i> di un intero processo, ma solo di una macchina Per altri autori non riesce ad esprimere le prestazioni di una singola macchina poiché risente di fattori esterni a questa Viene attribuito lo stesso peso alle tre voci dell'OEE Mancanza di coerenza nella definizione di disponibilità Mancanza di una chiara relazione causa-effetto tra cambiamento nei valori delle tre voci costituenti l'OEE e l'OEE stesso Nessuna valutazione di riduzione di tempo ciclo o risorse dell'impianto

Tabella 2: Vantaggi e limiti dell'OEE tradizionale

1.7. Altri indicatori di *performance* alternativi

Per ovviare ai limiti sopra esposti sono state introdotte altre formulazioni dell'*OEE*, le quali prendono anche un nome diverso a seconda del loro scopo principale e di ciò che rappresentano.

Gli indicatori introdotti dai vari autori si possono suddividere in due gruppi:

- Quelli di autori che sostengono che l'*OEE* non rappresenti un indicatore per l'intero impianto produttivo o per l'intera fabbrica e quindi è necessario sviluppare un sistema che permetta di calcolare una *performance* complessiva;
- Quelli di autori che ritengono che l'*OEE* non riesca ad esprimere correttamente le prestazioni di una singola macchina e quindi bisogna pervenire ad un indicatore che permetta di isolare la macchina dalle cause esterne ad essa e che ne influenzano l'efficienza.

Per quanto riguarda la prima categoria vengono analizzati *OEEML*, *OFE*, *OTE*, *OAE* e *OPE*, mentre per la seconda l'efficacia di una macchina (*equipment effectiveness, E*).

L'*OEEML* (Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line) è una formulazione introdotta da Braglia *et al.* (2008) per misurare le *performance* di un impianto produttivo in cui le varie macchine interagiscono tra di loro e non sono isolate.

L'approccio proposto prevede di definire una nuova classificazione dei tempi persi su un impianto produttivo. Dal momento che le macchine in una linea di produzione lavorano congiuntamente e sono influenzate nella loro efficienza anche da fattori quali il flusso dei materiali, i trasporti e i *buffer*, è necessario suddividere le perdite in due macro-categorie: quelle dipendenti dalla singola attrezzatura (*equipment dependent losses, EDL*) e quelle indipendenti (*equipment independent losses, EIL*). Le prime possono essere eliminate tramite manutenzioni o miglioramenti dei macchinari, mentre le seconde agendo sull'intero ambiente produttivo (layout, bilanciamento delle linee, dimensione dei *buffer* ecc.). Esempi tipici di *EDL* sono i difetti o il rendimento ridotto, mentre fenomeni di *starvation* (i.e. mancanza di prodotto all'ingresso di una macchina) e *blocking* (i.e. impossibilità per una macchina di scaricare il proprio prodotto perché la linea a valle è piena) sono tipicamente degli *EIL*. Le *EIL* vengono poi suddivise in fermate dovute all'*up-stream* (*US*, tipicamente lo *starvation*) e al *down-stream* (*DS*, come il *blocking*).

Inoltre le fermate pianificate (in particolare la manutenzione preventiva) vengono incluse nel calcolo dell'*OEE*, così come proposto da De Groot (1995), perché la manutenzione va a ridurre la disponibilità dell'intera linea.

In *tabella 3* è riportata la classificazione di *EDL* e *EIL*, mentre in *figura 4* uno schema dei tempi persi.

EDL	EIL
Set-up e regolazioni	Blocking
Sostituzione di utensili	Starvation
Difetti	Assenza dell'operatore
Perdite di rendimento	Tempo ciclo aumentato
Microfermate	

Tabella 3: *Equipment dependent e independent losses*

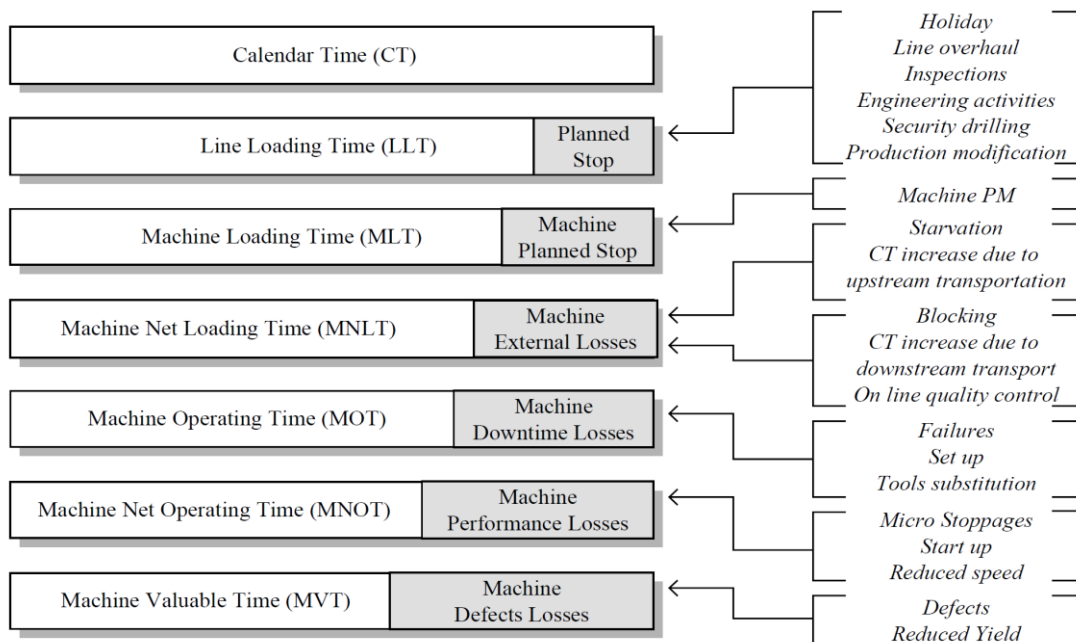


Figura 4: Schema dei tempi persi (Braglia *et al.*, 2008)

In base a questo schema è possibile calcolare il *TOEE* (Total Overall Equipment Performance) rappresentativo di tutte le perdite come:

$$TOEE = \frac{MVT}{LLT}$$

dove *MVT* è il tempo effettivo in cui la macchina ha prodotto e *LLT* il tempo pianificato per produrre. In questo modo è possibile tenere in considerazione tutti gli effetti legati all'ambiente produttivo in cui si trova l'impianto.

Partendo da questa definizione di *OEE* è stato sviluppato l'*OEEML* come:

$$OEEML = \frac{\text{Output attuale}}{\text{Output teorico}} = \frac{O_{LM}}{LLT/CT_{BN}}$$

dove $O_{LM} = \frac{MVT_{LM}}{CT_{LM}}$ è l'*output* dell'ultima macchina della linea che dipende dal suo tempo ciclo teorico (CT_{LM}) e dal suo tempo effettivo in cui ha prodotto (MVT_{LM}).

Quindi l'espressione dell'*OEEML* diventa:

$$OEEML = \frac{MVT_{LM}/CT_{LM}}{LLT/CT_{BN}} = \frac{CT_{BN}}{CT_{LM}} \times TOEE_{LM}$$

in cui si può notare come l'efficienza dipenda fortemente dall'ultima macchina ($TOEE_{LM}$) ma non esclusivamente, dal momento che viene introdotto un termine che tiene in considerazione le inefficienze del resto della linea grazie al tempo ciclo teorico della macchina collo di bottiglia (CT_{BN}).

In questo modo è possibile determinare l'*OEE* dell'intero impianto produttivo valutando solamente quello dell'ultima macchina e andando a correggerlo del fattore $\frac{CT_{BN}}{CT_{LM}}$ per tenere in considerazione tutti i fattori esterni alla macchina (*EIL*) che influenzano le prestazioni dell'intera linea.

L'*OFE* (Overall Factory Effectiveness) è stato sviluppato per misurare l'efficacia a livello dell'intera fabbrica, dove una serie di attrezzature è collocata per formare un processo produttivo; questo indicatore tiene in considerazione le relazioni tra le varie macchine e processi (Muchiri e Pintelon, 2006).

L'*OFE* cerca di integrare tutte le informazioni che pervengono dai sistemi produttivi in modo da valutare le varie interdipendenze e capire come si influenzano tra di loro. I principali obiettivi di questo indicatore sono la sincronizzazione della schedulazione della produzione con le fermate pianificate degli impianti, una migliore gestione dei *setup* grazie a una maggiore connettività con i sistemi di pianificazione e schedulazione della capacità produttiva, l'ottimizzazione della sequenza dei lavori e dei lotti, il bilanciamento delle linee integrando una micro-schedulazione con una schedulazione dell'intero *plant* produttivo (Williamson, 2006).

Tuttavia non esiste un unico approccio al calcolo dell'*OFE* ma spesso viene adattato agli scopi della singola azienda, integrandolo anche con altri indicatori, ad esempio il tempo ciclo, l'utilizzo della capacità produttiva, il tasso di rilavorazioni ecc.; è importante anche definire dei

pesi per i vari componenti considerati a seconda degli obiettivi organizzativi (Muchiri e Pintelon, 2006).

L'O_{TE} (Overall Throughput Effectiveness), proposto da Huang *et al.* (2003) tramite la simulazione software, parte dalla definizione dell'O_{EE} e la amplia ad un intero *plant*. La sua formulazione è la seguente:

$$O_{TE} = \frac{\text{Prodotti conformi per l'intera fabbrica}}{\text{Produzione teorica per l'intera fabbrica}} =$$

$$= \frac{\text{Tasso di produzione teorico per l'intera fabbrica} \times \text{Tempo disponibile totale}}{\text{Produzione teorica per l'intera fabbrica}}$$

che è del tutto analoga a quella dell'O_{EE}, semplicemente è estesa alla produzione dell'intera azienda.

L'O_{AE} (Overall Asset Effectiveness) e l'O_{PE} (Overall Plant Effectiveness) sono strumenti sviluppati a partire dall'O_{EE}, molto utilizzati nelle industrie, ma che non possiedono una formulazione comune poiché vengono adattati alle specifiche esigenze (Muchiri e Pintelon, 2006). La principale caratteristica di questi due indicatori è l'inclusione di tutte le perdite associate all'intero processo produttivo (in termini di tempi o di *output*); queste perdite vengono suddivise in due gruppi:

- Perdite dovute a fattori esterni all'azienda:
 1. Domanda di mercato: mancata produzione per scarsità di domanda da parte dei clienti; questo può portare a chiusure degli impianti o bassi tassi produttivi;
 2. Problemi logistici: perdite produttive per mancate forniture, ritardi nelle consegne, mancanza di energia, gas o acqua;
 3. Restrizioni riguardo all'ambiente: perdite di produzione dovute a particolari regolamentazioni che limitano ad esempio le emissioni giornaliere;
 4. Cause naturali: perdite produttive dovute a fenomeni naturali, come cattive condizioni meteo.
- Perdite dovute a cause interne:
 1. Perdite legate al *business*: mancata produzione a causa di problemi a livello dell'intero business come difficoltà nella logistica interna (ad esempio nella spedizione o nello stoccaggio dei prodotti finiti), problemi organizzativi o di scioperi, problemi ambientali, di salute o di sicurezza e investimenti che richiedono la fermata della produzione per essere eseguiti;

2. Perdite legate alle *operations*: mancata produzione a causa del funzionamento degli impianti; tipicamente queste perdite sono quelle delle *Six Big Losses*.

L'*equipment effectiveness (E)* introdotto da de Ron e Rooda (2006) invece si basa sul concetto che l'*OEE* è influenzato da variabili provenienti dall'intero sistema produttivo, quindi non è adatto per valutare le prestazioni della singola macchina. Per questo viene introdotto l'indicatore *E*, il quale prevede di dividere le perdite tra quelle dipendenti dall'attrezzatura stessa e quelle indipendenti.

Vengono definiti sei possibili stati dell'attrezzatura:

1. Stato non operativo: l'attrezzatura non è schedulata per produrre, tipicamente weekend, vacanze e attività di *process engineering*;
2. Stato senza *input (no-input)*: l'attrezzatura è attiva ma non è in condizioni di lavorare per la mancanza di prodotti in ingresso (*starvation*);
3. Stato senza *output (no-output)*: la macchina è attiva ma non può rilasciare il prodotto poiché il *buffer* a valle è pieno (*blocking*);
4. Fermate non pianificate: la macchina non è in condizioni di lavorare a causa di *downtime* non pianificati, come riparazioni, guasti e mancanza dell'operatore;
5. Fermate pianificate: l'attrezzatura non può lavorare a causa di *downtime* pianificati, quali la manutenzione preventiva e i *setup*;
6. Stato in produzione: la macchina esegue la propria funzione produttiva.

I primi tre stati sono considerati perdite indipendenti dal macchinario, mentre i secondi tre sono dipendenti. Una rappresentazione schematica è riportata in *figura 5*, dove con T_t è indicato il tempo totale disponibile (considerando fattori dipendenti e indipendenti), con T_e il tempo effettivo (considerando solo i fattori dipendenti) e con T_o il tempo produttivo.

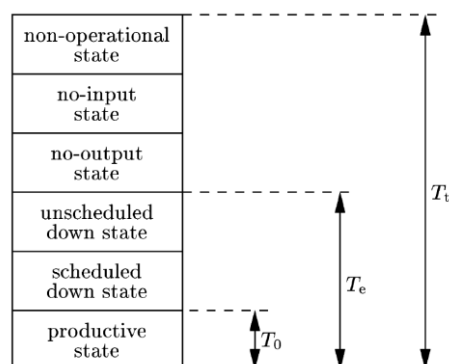


Figura 5: Stati di una attrezzatura (de Ron e Rooda, 2006)

Dal momento che E considera solamente le perdite dipendenti dalla macchina la base di tempo che utilizza per la sua determinazione è il tempo effettivo T_e .

A livello generale E può essere definito come:

$$E = \frac{\delta_Q}{\delta_O}$$

dove $\delta_Q = \frac{N_Q}{T_e}$ è *throughput* attuale della macchina ed è definito come il rapporto tra i prodotti conformi e il tempo effettivo in cui sono stati prodotti, mentre $\delta_O = \frac{N_{max}}{T_O}$ è il massimo *throughput* ottenibile durante il periodo produttivo ed è calcolabile come il rapporto tra il numero massimo di prodotti ottenibili e il tempo di produzione.

Più nel dettaglio E è composto da tre fattori: il tasso di qualità (Y), il rendimento (R) e la disponibilità (A).

Y è il rapporto tra i prodotti conformi e il totale dei prodotti realizzati, includendo scarti e rilavorazioni:

$$Y = \frac{N_Q}{N}$$

dove N_Q è il numero di pezzi conformi e N il totale dei pezzi prodotti durante T_O .

R esplicita la differenza tra la produzione effettiva realizzata in un certo intervallo temporale e quella teorica ottenibile, dal momento che la velocità reale e quella teorica difficilmente coincidono; R è espresso come:

$$R = \frac{N}{N_{max}}$$

dove N_{max} è il numero massimo di prodotti realizzabili in T_O .

A indica la disponibilità della singola attrezzatura, considerando solamente le perdite causate da fattori interni alla macchina; il tempo di produzione è naturalmente una frazione di quello effettivo, quindi A è calcolato come:

$$A = \frac{T_O}{T_e}$$

E è dunque definito come il prodotto dei tre termini sopra esposti:

$$E = Y \times R \times A$$

A differenza dell' OEE tradizionale, E è adatto per valutare le prestazioni di attrezzature *stand alone* poiché non valuta fattori esterni che ne influenzano le *performance*; anche la base temporale su cui viene valutato è diversa dal momento che comprende anche le fermate pianificate (in particolare la manutenzione preventiva) nel calcolo dell'efficacia. Inoltre, a differenza dell' OEE , E non dipende dal tasso di utilizzo dell'attrezzatura poiché è misurato direttamente a partire dal tempo di produzione e dal tempo effettivo.

Altri sviluppi per superare i limiti dell' OEE riguardano la sua formulazione più che l'utilizzo di un nuovo indicatore.

Un indicatore molto utilizzato e sviluppato da Ivancic (1998) è il $TEEP$ (Total Effective Equipment Performance) il quale comprende nel calcolo anche le fermate pianificate, in modo da valutare l'impatto di tutte le fermate. L'obiettivo è di ridurre al minimo le fermate non pianificate tramite interventi manutentivi preventivi. Il $TEEP$ può essere applicato sia a livello di singola attrezzatura che di intero processo produttivo.

Un indicatore equivalente al $TEEP$ proposto da Anvari e Edwards (2010) è l' $OEE-LB$ (OEE Loading Based) che considera al proprio interno anche le fermate pianificate (figura 6).

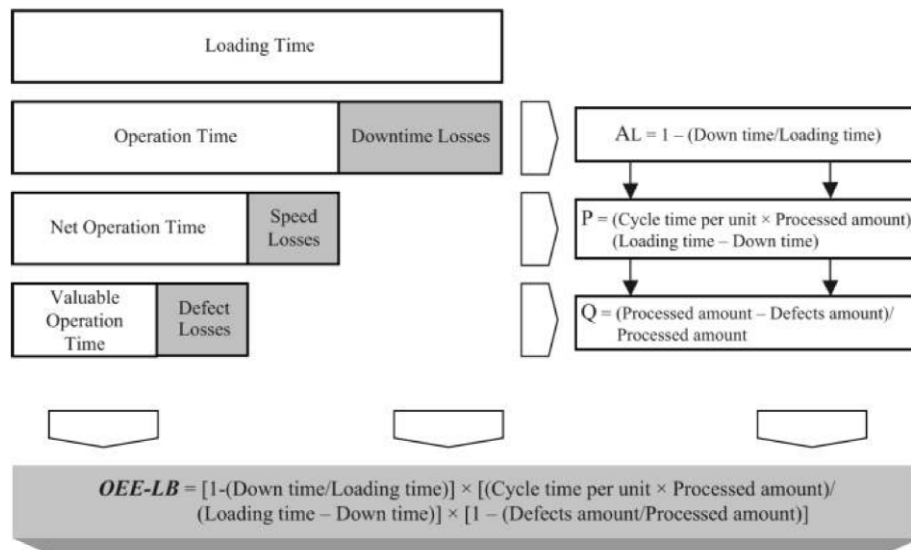


Figura 6: Struttura $OEE-LB$ (Anvari e Edwards, 2011)

Un altro indicatore è il *PEE* (Production Equipment Effectiveness), formulato da Raouf (1994), il quale attribuisce dei pesi alle tre voci costituenti l'OEE, in modo da farle impattare in modo differente sulla prestazione complessiva di un impianto, basandosi sul concetto che un problema di qualità ha un peso differente rispetto ad uno di disponibilità o di efficienza.

Il *PEE* è calcolato come:

$$PEE = A^{K_1} \times P^{K_2} \times Q^{K_3}$$

dove *A*, *P* e *Q* hanno lo stesso significato delle voci dell'OEE tradizionale, mentre K_1 , K_2 e K_3 sono i pesi associati ai tre elementi ($0 < K_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^3 K_i = 1$).

Un'altra formulazione basata sui pesi è proposta anche da Wudhikarn (2013) dove il significato è molto simile a quello del *PEE*:

$$OEE = w_A \times A + w_P \times P + w_Q \times Q$$

dove $0 \leq w_A, w_P, w_Q \leq 1$ e $w_A + w_P + w_Q = 1$.

Sono poi stati sviluppati altre *OEE* per particolari situazioni aziendali.

Per società particolarmente *capital intensive* è importante valutare tutte le perdite che avvengono, non solo durante il processo produttivo; per questo vengono considerati otto tipi di perdite:

1. Tempi non schedulati relativi alla produzione: perdite dovute a guasti, manutenzioni, pulizie ecc.;
2. Tempi non schedulati relativi al personale: perdite causate da mancanza di personale, formazione ecc.;
3. Tempi non schedulati relativi all'organizzazione: perdite per cambi turno, turni notturni e vacanze non pianificate;
4. Tempi non schedulati relativi agli *input*: perdite per mancanza di materiali, energia, acqua ecc.;
5. Tempi non schedulati relativi al *management*: perdite dovute a periodo di fermo precauzionale;
6. Tempi per interventi migliorativi: perdite dovute ad attività di ricerca e sviluppo, aggiornamento macchine ecc.;
7. Tempi per attività di *engineering*: perdite causate da attività di riparazione, manutenzione preventiva e altre attività pianificate;
8. Tempi di manutenzioni pianificate.

L'indicatore utilizzato in questo caso è l'*OEE-CB* (*OEE Capital Based*), il quale comprende tutte le perdite, anche quelle al di fuori del tempo pianificato per la produzione (*TLBL*) (Anvari e Edwards, 2010); uno schema di calcolo è riportato in *figura 7*.

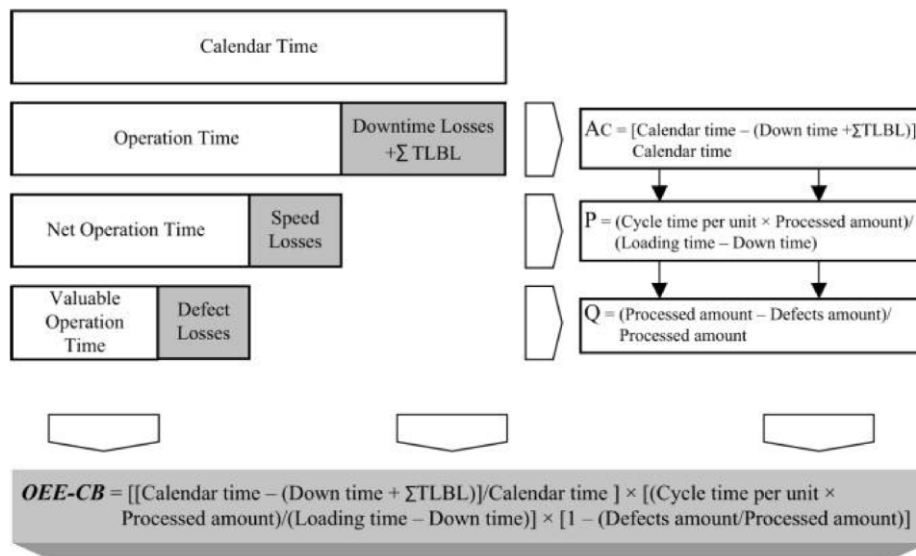


Figura 7: Struttura *OEE-CB* (Anvari e Edwards, 2011)

Tutte queste formulazioni alternative permettono di superare alcuni limiti dell'*OEE* tradizionale, però nessuna è stata universalmente approvata poiché nessuna è in grado di essere utilizzata in tutti i contesti aziendali in cui si fa produzione, quindi si preferisce adattare la formulazione o l'indicatore di *performance* allo specifico contesto organizzativo considerato. Questa situazione naturalmente comporta dei problemi quando si vogliono utilizzare dei *benchmark* esterni poiché dipendono dal tipo di indicatore e dalle formule utilizzate; tale problema non può essere superato se non si crea un indicatore universalmente accettato.

In *tabella 4* viene riportato un riassunto dei vari indicatori alternativi all'*OEE*.

Indicatore	Formulazione	Descrizione
OEEML	$OEEML = \frac{MVT_{LM}/CT_{LM}}{LLT/CT_{BN}} = \frac{CT_{BN}}{CT_{LM}} \times TOEE_{LM}$	Indicatore per misurare le <i>performance</i> di un impianto produttivo con macchine non isolate che interagiscono tra di loro
OFE	Non presente	Cerca di integrare tutte le informazioni provenienti dai sistemi produttivi per valutarne le interdipendenze
OTE	$OTE = \frac{\text{Prodotti conformi per l'intera fabbrica}}{\text{Produzione teorica per l'intera fabbrica}} =$ $= \frac{\text{Tasso di produzione teorico per l'intera fabbrica} \times \text{Tempo disponibile totale}}{\text{Produzione teorica per l'intera fabbrica}}$	Ampliamento dell'OEE a un intero <i>plant</i>
OAE, OPE	Dipendente dalla singola azienda	Comprendono tutte le perdite associate all'intero processo produttivo, ma sono adattati al singolo contesto aziendale
E	$E = Y \times R \times A$	Strumento utile per valutare le prestazioni della singola macchina, senza essere influenzato da elementi esterni a questa
TEEP	$TEEP = A \times P \times Q$	Simile all'OEE però comprende anche le fermate pianificate nei tempi persi
OEE-LB	$OEE-LB = A \times P \times Q$	Equivalente al TEEP
PEE	$PEE = A^{K_1} \times P^{K_2} \times Q^{K_3}$	Come l'OEE però attribuisce dei pesi alle tre voci
OEE-CB	$OEE-CB = A \times P \times Q$	Utilizzato per aziende <i>capital intensive</i> , considera tutte le perdite che avvengono, non solo quelle durante il processo produttivo

Tabella 4: Indicatori alternativi all'OEE

1.7.1. Indicatori che possono accompagnare l'OEE

Nonostante la capacità dell'OEE di racchiudere al suo interno un gran numero di informazioni e indicazioni, uno dei suoi limiti è l'impossibilità di valutare dei miglioramenti nella produttività andando a ridurre il tempo ciclo o le risorse utilizzate in *input*.

Per questo motivo, come sostenuto da Andersson e Bellgran (2015), l'OEE dovrebbe essere accompagnato da un indicatore di produttività.

A livello generale la produttività è definita come il rapporto tra l'*output* e l'*input* in modo da determinare l'efficienza e l'efficacia con cui sono state utilizzate le risorse. La produttività può essere aumentata producendo più beni con le stesse risorse oppure realizzando la stessa produzione con minori *input*.

È importante poi definire che tipo di produttività si utilizza: parziale (relativa ad un solo fattore di *input*), relativa ai fattori interni (esclusi servizi acquistati all'esterno e beni relativi a lavoro associato e *input* di capitali) o totale (comprensiva di tutte le risorse in *input*).

Il primo indicatore è molto semplice da utilizzare però non permette una visione complessiva dei fattori sulla produttività dal momento che ne considera solo uno per volta; il secondo e il terzo sono certamente più esaustivi e consentono una valutazione migliore dei potenziali miglioramenti, però si devono scontrare con una difficoltà nella raccolta e nell'elaborazione dei dati necessari per calcolare tali indici di produttività.

La definizione generale di produttività non è però particolarmente adatta per fare delle valutazioni di miglioramenti poiché non considera i costi e la velocità produttiva degli impianti; infatti per valutare il successo di una azione migliorativa è fondamentale avere delle informazioni su tempi e costi, dal momento che sono i *driver* principali per fare delle scelte in ambito produttivo.

La velocità è una delle misure più importanti poiché permette di determinare la capacità produttiva di un sistema; parametri molto importanti collegati a questa variabile sono i *lead time* produttivi e i tempi di consegna. La velocità di un sistema è determinata dal tempo ciclo ideale (senza considerare alcuna perdita) della macchina collo di bottiglia; tale velocità ideale è ridotta dalle varie perdite che si possono identificare nelle *Six Big Losses* di Nakajima (1988). Dunque la velocità è influenzata sia dal tempo ciclo ideale che dalle *performance* dell'impianto. Per riuscire a catturare entrambi i concetti Andersson e Bellgran (2015) introducono una nuova misura di produttività, il ritmo di produzione (*production pace*, P_P), definito come il rapporto tra i prodotti conformi che escono dal sistema (senza includere le rilavorazioni e gli scarti) (N_{RFT}) e il tempo pianificato di produzione (T_{plan}):

$$P_P = \frac{N_{RFT}}{T_{plan}}$$

L'obiettivo di questo indicatore è la possibilità di essere utilizzato per valutare dei progetti di miglioramento del processo produttivo, ma al contempo permettere anche la misurazione della capacità produttiva utilizzata.

Il ritmo di produzione, grazie alla sua formulazione che considera il tempo pianificato per la produzione invece del tempo totale disponibile, permette di identificare meglio i miglioramenti apportabili e di instaurare un "senso di urgenza" che potrebbe non presentarsi nel caso di sistemi produttivi con capacità sovrabbondante.

I costi di produzione sono un altro indicatore di *performance* molto importante in ambito industriale. Per sviluppare una misura di costo è necessario che questa sia chiara e comprensiva, pur mantenendo comunque una struttura piuttosto semplice, con un *set* limitato di parametri che possono catturare in modo completo un cambio di produttività; inoltre i parametri considerati devono essere misurabili in un qualsiasi processo produttivo in modo da poterli confrontare tra di loro.

A tal proposito Andersson e Bellgran (2015) propongono una nuova misura di produttività, il costo di produzione di un componente (*production part cost*, C_{PP}), che collega gli *input* (in particolare i costi associati al funzionamento del processo) all'*output* fisico del processo.

La formulazione è la seguente:

$$C_{PP} = \frac{C_U}{N_{DP}}$$

dove N_{DP} rappresenta la somma dei prodotti conformi e rilavorati uscenti dal processo, mentre C_U è il costo di utilizzo dell'attrezzatura, cioè tutti i costi che hanno un diretto impatto sulle risorse necessarie per utilizzare la macchina (Jonsson *et al.*, 2008).

Il criterio per definire quali siano i parametri di costo per l'utilizzo si basano sul concetto che se una qualsiasi di queste risorse viene eliminata, l'unità produttiva non può realizzare alcun prodotto (Jonsson *et al.*, 2008); l'unica eccezione sono gli scarti che vengono inclusi per valutarne le conseguenze sull'efficienza del processo in modo da tenerli in considerazione in eventuali azioni migliorative. I parametri di costo che influenzano il costo di utilizzo sono nove:

1. Costo dell'operatore (C_{OP}): determinato dal numero e dal costo orario degli operatori;
2. Costo di approvvigionamento dei materiali (C_{MS}): determinato dal numero di fornitori, il loro salario e il costo delle attrezzature necessarie per la fornitura;
3. Costo della manutenzione (C_{MT}): determinato dal tempo speso per la manutenzione, dal numero di manutentori, dal loro salario, dal costo delle attrezzature per la manutenzione e dei ricambi;

4. Costo delle rilavorazioni (C_{RW}): determinato dal tempo speso per la rilavorazione, il numero di operatori necessario, il loro salario e il costo delle parti sostituite;
5. Costo degli scarti (C_S): determinato dal numero di prodotti scartati e dal costo della materia prima;
6. Costo dei materiali (C_M): determinato dal numero di prodotto conformi e dal costo della materia prima;
7. Costo delle attrezzature e di funzionamento (C_{EO}): determinato dal tempo di utilizzo, dall'ammortamento dei macchinari e dal tempo totale disponibile per la produzione;
8. Costo degli utensili (C_T): determinato dal costo degli utensili, del costo della riaffilatura, dall'intervallo di riaffilatura e dall'intervallo di sostituzione degli utensili o degli inserti;
9. Altri costi (C_O): determinati dai costi legati al prodotto ma che non sono racchiusi nelle categorie precedenti.

La definizione data in precedenza per il costo di produzione di un componente diventa quindi:

$$C_{PP} = \frac{C_{OP} + C_{MS} + C_{MT} + C_{RW} + C_S + C_M + C_{EO} + C_T + C_O}{N_{DP}}$$

L'utilizzo combinato di questi indicatori con l'OEE permette di valutare in modo più preciso delle azioni di miglioramento degli impianti produttivi, fungendo da importanti *driver*.

In accordo con Andersson e Bellgran (2015), un progetto di miglioramento di un sistema produttivo dovrebbe partire con il raggiungimento di una stabilità del processo e poi proseguire con azioni di incremento della produttività.

Per la prima fase l'OEE è uno strumento molto utile poiché permette di definire un *target* desiderato e avvicinarsi a quel valore andando a ridurre o a eliminare i tempi persi e la loro variabilità, in modo da raggiungere un indice OEE stabile da cui partire per nuovi interventi migliorativi. In questo modo la produttività può aumentare grazie alla riduzione delle perdite di processo, senza prevedere nuovi investimenti; il risultato è ottenuto variando l'*output* senza modificare l'*input* e le risorse utilizzate.

Nella seconda fase l'obiettivo è incrementare la produttività andando a cambiare i vincoli del processo, il *setup* da parte degli operatori e altri fattori che influiscono su *input* e *output* del processo; tipici esempi di cambiamenti nei vincoli di processo sono la riduzione del tempo ciclo, l'aumento del tempo di lavoro pianificato o gli investimenti nelle attrezzature.

Indicatori quali il ritmo di produzione e il costo di produzione di un componente sono particolarmente adatti a valutare la relazione *input-output* di un processo per quantificare la portata di un miglioramento, a differenza dell'OEE che non ha tale capacità.

Per valutare in modo corretto un nuovo investimento è dunque importante utilizzare più di un indicatore di *performance* dell'impianto produttivo, poiché l'OEE da solo non è in grado di fornire una visione generale.

L'OEE può dunque essere efficacemente accompagnato da indicatori che considerino due variabili fondamentali in un processo produttivo, i tempi e i costi, quali il *production pace* e il *production part cost*.

In *tabella 5* è presentato un riassunto degli indicatori di produttività.

Indicatore	Formulazione	Descrizione
<i>Production pace</i>	$P_P = \frac{N_{RFT}}{T_{plan}}$	Misura di produttività che considera la velocità produttiva dell'impianto
<i>Production part cost</i>	$C_{PP} = \frac{C_U}{N_{DP}}$	Collega <i>input</i> e <i>output</i> del processo in modo da aumentare l'efficienza economica nella produzione

Tabella 5: Indicatori di produttività

CAPITOLO 2

ANALISI DEI *DOWNTIME* DI UN IMPIANTO PRODUTTIVO

2.1. Analisi di letteratura

In *tabella 6* viene riportata l'analisi di letteratura svolta sugli articoli scientifici riguardanti l'analisi dei *downtime* e argomenti affini; sono riportati l'autore e l'anno, gli obiettivi dello studio, i metodi utilizzati e i risultati ottenuti.

Autore e anno	Settore di applicazione	Obiettivo	Metodi utilizzati	Risultati
Patti e Watson, 2010 [36]	Generico	Studio dell'impatto della variabilità dei <i>downtime</i> e di varie combinazioni di durata e frequenza di questi sulle <i>performance</i> di una linea produttiva	Simulazione software con ipotesi di sistema <i>Kanban</i> o <i>DBR</i> (Drum-Buffer-Rope)	Fermate di lunga durata con variazioni della frequenza di accadimento che si verificano di rado sono molto più impattanti di fermate di breve durata e con variazioni frequenti
Rahman, Hoque e Uddin, 2014 [38]	<i>Packaging</i>	Valutazione dell'impatto di politiche <i>TPM</i> su <i>downtime</i> e <i>MDT</i> (Mean Downtime) in un impianto semi-automatico	Pareto e <i>t-test</i> per determinare le cause principali di <i>downtime</i> e analisi statistica dei <i>downtime</i>	L'applicazione di tecniche <i>TPM</i> ha portato ad una riduzione in due anni del 14,5% del totale dei <i>downtime</i>
Rößler e Abele, 2013 [40]	Lavorazioni meccaniche	Valutare l'impatto di incertezza e variabilità dei tempi persi sull'OEE di un sistema produttivo	<i>Fuzzy set theory</i>	Includendo la variabilità l'analisi dell'OEE risulta più affidabile
Battini, Manzini, Persona e Regattieri, 2006 [9]	Alimentare	Studio sulla dimensione ottimale dei <i>buffer</i> partendo da uno studio dei <i>micro breakdown</i> di una linea di imbottigliamento automatizzata di birra	Simulazione software utilizzando parametri quali disponibilità, <i>MTTR</i> , <i>MTBF</i> delle varie <i>workstation</i> della linea	Sviluppo di un nuovo paradigma definito "Design for Availability" per definire la dimensione ottimale dei <i>buffer</i> interoperazionali

Ohunakin e Leramo, 2012 [35]	Alimentare	Valutazione dell'impatto di politiche <i>TPM</i> sulla riduzione dei <i>downtime</i> in una linea di imbottigliamento automatizzata	Pareto per identificare le cause principali di <i>downtime</i> , calcolo dell' <i>OEE</i> attuale, analisi <i>why-why</i> per valutare le cause delle fermate, calcolo dell' <i>OEE</i> dopo implementazione	<i>OEE</i> incrementato del 50% dopo 7 giorni di applicazione delle tecniche <i>TPM</i> (in particolare <i>Kobetsu Kaizen</i>)
Tsarouhas, 2007 [43]	Alimentare	Adozione della <i>TPM</i> in una azienda di produzione di pizze con linee automatizzate per incrementare la produzione, la qualità e ridurre i costi	Rilevazione dei dati delle perdite, sviluppo di un programma di formazione del personale e di misura dell' <i>OEE</i> , riduzione dei <i>downtime</i> , valutazione dell'opinione del personale	Possibilità di controllo della produzione e della manutenzione grazie allo sviluppo dell' <i>OEE</i> , miglioramento della produttività, della qualità, riduzione dei costi, identificazione dei punti critici, riduzione dei ritardi di produzione
Tsarouhas, 2013a [44]	Alimentare	Valutazione dell'adeguatezza delle politiche manutentive analizzando l' <i>OEE</i> di una linea automatizzata di produzione di mozzarella	Rilevazione di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , statistica descrittiva delle due grandezze rilevate, calcolo dell' <i>OEE</i>	Identificazione di riduzioni di velocità e <i>downtime</i> come principali cause dei tempi persi e necessità di una migliore gestione delle manutenzioni preventive
Tsarouhas, 2013b [45]	Alimentare	Valutazione dell'adeguatezza delle politiche manutentive analizzando l' <i>OEE</i> di una linea di imbottigliamento automatizzata per la produzione di limoncello	Rilevazione di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , Pareto per identificare le macchine critiche, statistica descrittiva di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , calcolo dell' <i>OEE</i>	Identificazione della rilevanza delle microfermate nelle perdite di <i>performance</i> , determinazione di perdite di velocità, fermate e prodotti difettosi come principali voci di riduzione dell' <i>OEE</i> , necessità di applicare tecniche <i>TPM</i> e una migliore gestione dei ricambi

Ljungberg, 1998 [26]	Generico	Valutazione delle principali cause di perdita di prestazioni negli impianti produttivi per valutare se l'attuale <i>focus</i> sui tempi persi è adatto; valutazione dell'adeguatezza della fase di raccolta dati	Analisi di disponibilità, efficienza delle <i>performance</i> , qualità ed <i>OEE</i> per una serie di aziende	Determinazione di un valore medio di disponibilità intorno all'80%, di efficienza delle <i>performance</i> intorno al 68%, di qualità del 99%, di <i>OEE</i> del 55%; considerazione sulla scarsa attenzione data a fermate pianificate, aumento del tempo ciclo e microfermate; mancanza di un <i>framework</i> per facilitare la raccolta dati
Abdul Samat, Kamaruddin e Abdul Azid, 2012 [1]	Azienda produttrice di semiconduttori	Applicazione di un modello per le <i>performance</i> di un'attrezzatura e la sua affidabilità (<i>EPR</i>) in un'azienda di produzione di semiconduttori per valutare l'efficacia delle politiche manutentive	Identificazione dei principali <i>downtime</i> e delle macchine critiche tramite Pareto, identificazione delle funzioni critiche della macchina critica, analisi <i>FMEA</i> , calcolo dell'efficienza della macchina (<i>ME</i>) e sua affidabilità, determinazione dell'indice di salute in base a <i>ME</i>	Adeguatezza del modello per calcolare le prestazioni dei piani manutentivi, identificando un livello di salute piuttosto basso (<i>ME=41,5%</i>) che prevede di sostituire o revisionare pesantemente la macchina
Singh Jolly e Jit Singh, 2014 [41]	Produzione di macchine <i>special purpose</i>	Valutazione dell'affidabilità e della manutenibilità di quattro macchine <i>special purpose</i>	Rilevazione dei <i>MTBF</i> , determinazione della distribuzione di probabilità adatta a descrivere i <i>MTBF</i> , <i>survival plot</i> , <i>cumulative failure plot</i> , <i>hazard plot</i> , <i>TTT plot</i> , valutazione dell'affidabilità	Incrementando i <i>MTBF</i> aumenta l'affidabilità del sistema, riducendo i <i>downtime</i> e aumentando la disponibilità

Barabady, 2005 [8]	Minerario	Valutazione dell'affidabilità e della manutenibilità di attrezzature per estrazioni minerarie e determinazione delle distribuzioni di probabilità per i <i>TBF</i>	Raccolta di <i>TBF</i> e <i>TTR</i> , <i>trend analysis</i> , distribuzioni di probabilità, valutazione di affidabilità e manutenibilità	È stato valutato l'intervallo di manutenzione migliore per un 75% di affidabilità delle attrezzature ; la distribuzione Weibull risulta essere la più adatta per quasi tutti i <i>TBF</i>
Tsarouhas, Arvanitoyannis e Ampatzis, 2009 [49]	Alimentare	Analisi di affidabilità e manutenibilità di una linea di imbottigliamento e determinazione delle distribuzioni di <i>TTR</i> e <i>TTF</i>	Statistica descrittiva, distribuzioni di probabilità (<i>goodness-of-fit analysis</i>), determinazione di affidabilità e manutenibilità	I <i>TTF</i> seguono la distribuzione Weibull, i <i>TTR</i> la lognormale; i <i>TTF</i> hanno una alta variabilità, i <i>TTR</i> bassa; è necessario rivalutare le strategia di manutenzione per migliorare l'affidabilità
Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2012 [47]	Alimentare	Determinazione dell'affidabilità e della manutenibilità di una linea di imbottigliamento del limoncello, con una valutazione delle distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TBF</i>	Rilevazione <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , autocorrelazione dei due indicatori, distribuzioni di probabilità (Anderson-Darling test), determinazione dell'affidabilità e della manutenibilità	I <i>TBF</i> seguono la distribuzione Weibull, i <i>TTR</i> la lognormale; la strategia di manutenzione deve essere rivista per migliorare l'affidabilità
Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2014 [48]	Alimentare	Determinazione dell'affidabilità di una linea di produzione dello yogurt, con una valutazione delle distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TBF</i>	Autocorrelazione per <i>TBF</i> , statistica descrittiva, determinazione delle distribuzioni di probabilità (<i>goodness-of-fit analysis</i>) e dell'affidabilità	La distribuzione che meglio approssima i <i>TBF</i> e i <i>TTR</i> è la Weibull; le politiche manutentive devono essere riviste per aumentare l'affidabilità

Tsarouhas, Varzakas e Arvanitoyannis, 2009 [50]	Alimentare	Determinazione dell'affidabilità di una linea di produzione di strudel, con determinazione delle distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TTF</i>	Rilevazione dei <i>TTR</i> e <i>TTF</i> , determinazione delle macchine critiche tramite Pareto, statistica descrittiva, <i>goodness-of-fit</i> (Anderson-Darling test) per determinare le distribuzioni, valutazione dell'affidabilità	La distribuzione che meglio approssima i <i>TTF</i> e i <i>TTR</i> è la Weibull; le strategie manutentive devono essere riviste per aumentare l'affidabilità
Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010 [46]	Alimentare	Determinazione dell'affidabilità di una linea di produzione di birra, con determinazione delle distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TTF</i>	Rilevazione dei <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , determinazione delle macchine critiche tramite Pareto, statistica descrittiva, <i>goodness-of-fit</i> (Anderson-Darling test) per determinare le distribuzioni, valutazione dell'affidabilità	La distribuzione che meglio approssima i <i>TTR</i> è la logistica, mentre i <i>TBF</i> sono approssimati dalla normale; le strategie manutentive devono essere riviste per aumentare l'affidabilità
Al-Chalabi, Lundberg, Wijaya e Ghodrati, 2014 [2]	Minerario	Determinazione dei <i>downtime</i> dei componenti di attrezzature per l'estrazione mineraria e proposta di miglioramenti per aumentare l'affidabilità	Raccolta di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , uso di <i>jack-knife diagram (log-log plot)</i> per lo studio dei <i>downtime</i> , determinazione di distribuzioni di probabilità per <i>TTR</i> e <i>TBF</i>	È necessario apportare delle modifiche ai componenti critici delle macchine per aumentarne l'affidabilità; non c'è la necessità di fare <i>re-engineering</i> dei componenti
Regattieri, Manzini e Battini, 2010 [39]	<i>Automotive</i>	Valutazione dell'affidabilità delle attrezzature di una linea di produzione di automobili determinando le distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> considerando anche i dati censurati	Raccolta di <i>TTR</i> e <i>TBF</i> , <i>stationary test</i> per valutare la presenza di <i>trend</i> nei dati, <i>dependence test</i> , distribuzioni di probabilità, determinazione della <i>survival function</i>	Determinazione della distribuzione Weibull per <i>TTR</i> e <i>TBF</i> ; considerazione sull'importanza di includere i dati censurati nelle valutazioni

Zammori, Braglia e Frosolini, 2011 [52]	Produzione di manti impermeabili	Determinazione di un <i>OEE</i> stocastico che tenga in considerazione anche la variabilità dei tempi e dell'impatto di possibili miglioramenti	Distribuzioni di probabilità per i tempi persi, simulazione Monte Carlo per validare le distribuzioni, confronto con i valori reali del sistema	Validazione del metodo proposto per il calcolo dell' <i>OEE</i> ; approssimazione dell' <i>OEE</i> con metodo Monte Carlo valido se l'indice è inferiore al 90% e la variabilità dei tempi è elevata; superiorità dell' <i>OEE</i> stocastico rispetto a quello deterministico
Al-Hawari, Aqlan, Al-Buhaisi e Al-Faqeer, 2010 [3]	Alimentare	Valutazione del comportamento di una linea di imbottigliamento e di possibili modifiche tramite simulazione software	Rilevazione dei dati, distribuzioni di probabilità dei tempi, valutazione del tasso di utilizzo delle macchine tramite simulazione, rivalutazione in seguito ai cambiamenti	Visualizzazione dei miglioramenti ottenibili grazie ai miglioramenti possibili in termini di <i>downtime</i> e tasso di utilizzo delle macchine; valutazione a basso costo grazie alla sola simulazione software
Babbs e Gaskins, 2008 [7]	Azienda produttrice di semiconduttori	Valutazione delle possibili modifiche apportabili ad un sistema di produzione di semiconduttori tramite simulazione software e valutazione dell'adeguatezza delle politiche manutentive	Distribuzioni di probabilità di <i>TTR</i> e <i>TTF</i> , simulazione per determinare tempo ciclo, <i>MTTR</i> e tempo da assegnare alla manutenzione pianificata	Miglioramenti delle <i>performance</i> si ottengono riducendo i <i>downtime</i> ; la variabilità dei <i>downtime</i> ha un maggiore effetto con piccoli lotti; necessità di ridurre la variabilità dei <i>downtime</i> ; la manutenzione preventiva può essere uno strumento efficace per aumentare le <i>performance</i> degli impianti, senza acquistare nuove macchine

Tabella 6: Analisi di letteratura

L'analisi di letteratura svolta si è focalizzata principalmente su studi riguardanti il settore alimentare, in particolare su sistemi produttivi automatizzati; ciò è coerente con il caso aziendale successivamente analizzato nel presente lavoro di tesi.

Altri settori individuato sono quello minerario, del *packaging*, delle lavorazioni meccaniche, della produzione di semiconduttori, della realizzazione di macchine *special purpose*, *automotive* e della produzione di manti impermeabili.

Vi sono inoltre articoli che sviluppano metodi per un generico impianto produttivo, senza specificarne il settore.

Da un confronto sugli obiettivi dei vari studi emerge che quelli principali riguardano:

- Il calcolo e l'analisi dei *downtime*;
- La valutazione dell'OEE dell'impianto produttivo nella situazione "as is";
- Il calcolo dell'affidabilità e della manutenibilità di un sistema;
- La definizione delle distribuzioni di probabilità che approssimano il comportamento dei vari tempi rilevati;
- La simulazione della linea di produzione.

Per quanto riguarda il primo punto:

- Ljungberg (1998) rileva, sulla base di uno studio effettuato su un gruppo di aziende diverse, come le fermate pianificate, le variazioni di tempo ciclo e le microfermate siano raramente analizzate in modo sistematico nelle industrie;
- Patti e Watson (2010) hanno verificato come fermate di lunga durata e con rare variazioni nella loro frequenza di accadimento impattino molto di più rispetto a quelle di breve durata e con variazioni frequenti, mentre Tsarouhas (2013a; 2013b) evidenzia le riduzioni di velocità, le microfermate, i guasti e i prodotti difettosi come le principali cause di perdite di *performance* su cui è necessario focalizzare l'attenzione;
- Rahman *et al.* (2014) sottolineano l'importanza di applicare tecniche TPM vista la significativa riduzione (14,5%) dei *downtime* ottenuta in due anni dalla prima implementazione;
- Singh Jolly e Jit Singh (2014) hanno determinato come un aumento dei MTBF porti ad una riduzione dei *downtime* di una macchina;
- Battini *et al.* (2006) rimarcano l'importanza dei *buffer* per assorbire i *micro downtime* in modo da far lavorare in continuo una linea produttiva, definendo una dimensione ottimale con un approccio di "Design for Availability".

Per il secondo punto:

- Ljungberg (1998), analizzando varie aziende, ha verificato come la disponibilità media di un sistema produttivo si attesti intorno all'80%, l'efficienza delle *performance* al 68%, la qualità al 99% e l'OEE intorno un valore del 55%;
- Rößler e Abele (2013) dimostrano la necessità di includere la variabilità dei tempi nell'analisi e nella stima dell'OEE per ottenere un valore molto più affidabile e vicino a quello reale, ipotesi sostenuta anche da Zammori *et al.* (2011), i quali dimostrano l'importanza di considerare la variabilità dei tempi per un'analisi corretta dell'OEE e ne

propongono la validazione tramite simulazione Monte Carlo, affermando la superiorità dell'utilizzo di un *OEE* stocastico rispetto ad uno deterministico;

- Ohunakin e Leramo (2012) evidenziano come l'applicazione di tecniche *TPM* (specialmente il *Kobetsu Kaizen*) siano fondamentali dato l'aumento del 50% dell'*OEE* (partendo comunque da un valore molto basso intorno al 25%) dopo solo 7 giorni dalla prima implementazione;
- Tsarouhas (2007) sottolinea il ruolo essenziale svolto dall'*OEE* e dalla sua implementazione per controllare in modo migliore la produzione e la manutenzione, portando ad un miglioramento della produttività, della qualità e ad una riduzione dei costi.

Per quanto riguarda il terzo punto:

- Abdul Samat *et al.* (2012), proponendo un modello *EPR*, valutano l'efficacia delle politiche manutentive andando a calcolare il livello di salute tramite l'indicatore *ME*, pari a 41,5%, che prevede di sostituire o revisionare la macchina per avere un'affidabilità adeguata;
- Barabady (2005) determina l'intervallo di manutenzione ottimale per avere un'affidabilità delle attrezzature pari al 75%;
- Tsarouhas *et al.* (2009), Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010; 2012; 2014), dopo aver calcolato l'affidabilità di un impianto di imbottigliamento, sostengono la necessità di rivedere le strategie manutentive per incrementare l'affidabilità;
- Al-Chalabi *et al.* (2014) determinano il bisogno di apportare delle modifiche ai componenti critici delle macchine per aumentarne l'affidabilità, senza necessità però di *re-engineering* pesante;
- Regattieri *et al.* (2010) dimostrano il ruolo fondamentale svolto dai dati censurati per determinare l'affidabilità di un sistema produttivo di *automotive*.

Per il quarto punto:

- Barabady (2005), Tsarouhas e Arvanitoyannis (2012; 2014), Regattieri *et al.* (2010) sostengono come la distribuzione Weibull sia la più adatta per descrivere i *TBF*, mentre Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010) rilevano come essi siano descritti dalla normale;
- Tsarouhas *et al.* (2009), Tsarouhas e Arvanitoyannis (2012) rilevano come i *TTR* seguano la distribuzione lognormale, mentre Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010) dimostrano come i *TTR* siano descritti dalla distribuzione logistica;
- Per i *TTF* Tsarouhas *et al.* (2009) identificano la Weibull come distribuzione preferibile.

Per quanto riguarda il quinto punto:

- Zammori *et al.* (2011) propongono una simulazione Monte Carlo per verificare la validità di un metodo stocastico per il calcolo dell'OEE, sostenendo la sua affidabilità per valori di OEE inferiori al 90% e con variabilità dei tempi elevata;
- Al-Hawari *et al.* (2010) utilizzano la simulazione software per valutare l'impatto di interventi migliorativi sui *downtime* e sull'utilizzo delle macchine, sottolineandone il basso costo;
- Babbs e Gaskins (2008) sostengono l'importanza di simulare il sistema produttivo per visualizzare i benefici di più parametri modificati in modo congiunto, individuando la manutenzione preventiva come uno strumento essenziale per incrementare le *performance* delle macchine.

Andando ad analizzare i principali metodi e strumenti utilizzati si possono identificare:

- Diagrammi di Pareto per determinare le cause principali di *downtime* (Rahman *et al.*, 2014; Ohunakin e Leramo, 2012; Tsarouhas, 2013b; Abdul Samat *et al.*, 2012; Tsarouhas *et al.*, 2009; Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010);
- Utilizzo di classici indicatori per valutare le prestazioni di un sistema quali *TTR*, *TTF*, *TBF*, *MTTR* e *MTBF* (Battini *et al.*, 2006; Tsarouhas, 2013a, 2013b; Singh Jolly e Jit Singh, 2014; Barabady, 2005; Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010, 2012; Tsarouhas *et al.*, 2009 Al-Chalabi *et al.*, 2014; Regattieri *et al.*);
- Utilizzo dell'OEE come principale strumento per valutare le condizioni di un impianto produttivo e impatto di potenziali miglioramenti (Ohunakin e Leramo, 2012; Tsarouhas, 2007, 2013a, 2013b; Ljungberg, 1998);
- Calcolo dell'affidabilità e della manutenibilità dei sistemi (Abdul Samat *et al.*, 2012; Singh Jolly e Jit Singh, 2014; Barabady, 2005; Tsarouhas *et al.*, 2009; Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010, 2012, 2014; Regattieri *et al.*, 2010);
- Utilizzo di analisi *FMEA* e *why-why* per identificare le cause dei tempi persi (Ohunakin e Leramo, 2012; Abdul Samat *et al.*, 2012);
- Impiego della statistica descrittiva, *stationary test* e *dependence test* per determinare le caratteristiche fondamentali delle distribuzioni di probabilità seguite dai vari tempi (Tsarouhas, 2013a, 2013b; Tsarouhas *et al.*, 2009; Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010, 2014);
- Identificazione delle distribuzioni di probabilità tramite con un test di *goodness-of-fit*, in particolare il test di Anderson-Darling (Tsarouhas *et al.*, 2009; Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010, 2012, 2014);

- Utilizzo della simulazione software per valutare in modo migliore il comportamento dei sistemi produttivi (Patti e Watson, 2010; Zammori *et al.*, 2011; Al-Hawari *et al.*, 2010; Babbs e Gaskins, 2008).

2.2. Definizione e importanza dei tempi persi

Nello studio delle prestazioni di un sistema produttivo ed in particolare del suo *OEE*, un ruolo fondamentale viene occupato dai tempi persi su un impianto. Essi si possono dividere in due categorie fondamentali: i *downtime* e le fermate brevi.

I *downtime* sono dei periodi di tempo in cui un sistema non può adempiere alla propria funzione principale (nel caso di applicazioni industriali non può produrre) dal momento che l'attrezzatura è ferma per un qualche motivo; le ragioni per cui un'attrezzatura non è operativa possono essere svariate, come le fermate pianificate nella schedulazione della produzione, le manutenzioni pianificate, le fermate precauzionali, la mancanza di ordini di produzione, i guasti, la mancanza di energia ecc.; i *downtime* vanno ad influire direttamente sulla disponibilità di un impianto.

In accordo con la formulazione dell'*OEE* (e della disponibilità) i tipici *downtime* sono:

- Fermate pianificate: comprensive di manutenzioni preventive, cicliche, pulizie, auto-manutenzione ecc.;
- Guasti: tempi di fermo macchina dovuti a cause interne ad essa e tipicamente di durata consistente che richiedono l'intervento di personale specializzato per far ripartire l'impianto (la prima delle *Six Big Losses*);
- *Setup*: tempi di riattrezzaggio delle macchine per la lavorazione di un prodotto successivo diverso dal precedente (la seconda delle *Six Big Losses*).

Questi tempi persi, per quanto necessari (come i *setup*) o fisiologici (come una minima parte dei guasti), riducono la possibilità per un impianto di produrre nel tempo totale che ha a disposizione, andando a determinare una disponibilità al di sotto del 100% e quindi anche dell'*OEE*.

Le fermate brevi e i rallentamenti invece sono dei periodi di tempo in cui il sistema è sottoperformante a causa di piccole fermate o di riduzioni di velocità delle macchine; non necessariamente determinano dei fermi linea (specialmente in presenza di *buffer* interoperazionali). In questo caso si tratta di tempi persi non pianificati che vanno ad influire sull'efficienza delle *performance* del sistema e non sulla disponibilità.

Riprendendo le formule dell'OEE (e dell'efficienza delle *performance*) fermate brevi e rallentamenti si dividono in:

- Microfermate e tempi d'attesa: fermate di breve durata o rallentamenti dovuti a malfunzionamenti temporanei di una macchina o in attesa di prodotti (tipicamente fenomeni di *starvation* e *blocking*) (la terza delle *Six Big Losses*);
- Riduzioni di velocità: rallentamenti della produzione dovuti ad una differenza tra la velocità teorica e quella attuale della macchina (la quarta delle *Six Big Losses*).

Questi tipi di tempi persi possono essere interamente evitati e l'obiettivo ideale è la loro eliminazione, in modo da avere un'efficienza delle *performance* del 100%; in realtà negli impianti produttivi tali perdite possono essere addirittura predominanti sulle altre, penalizzando fortemente l'OEE del sistema; per questo motivo potrebbe essere necessaria un'analisi approfondita per incrementare significativamente le prestazioni di un impianto.

2.3. Definizione e importanza delle microfermate

In un impianto produttivo, oltre a fermate di una certa entità temporale (guasti, *setup*, manutenzioni), esistono anche dei tempi persi molto difficili da rilevare a causa della loro breve durata, ovvero le microfermate (o *micro breakdown*). Queste spesso vengono ignorate e non analizzate correttamente poiché, in modo superficiale, vengono considerate appartenenti al normale funzionamento di un impianto; in realtà ciò non è vero dal momento che possono penalizzare fortemente le prestazioni delle macchine (Battini *et al.*, 2006).

La durata di queste fermate può andare da qualche secondo fino a qualche minuto, ma comunque sono tutte ascrivibili a dei malfunzionamenti temporanei delle attrezzature, che possono essere generalmente ripristinate nel loro funzionamento normale dagli operatori delle macchine in tempi brevi.

Andando ad inserirli nell'OEE, questi tempi persi rientrano nell'efficienza delle *performance*.

Le microfermate, insieme ai rallentamenti, sono molto difficili da rilevare ma molto spesso portano ad una riduzione consistente dell'OEE, consigliando, in caso di nuovi investimenti, di scegliere e acquistare attrezzature sovradimensionate (Battini *et al.*, 2006); esse inoltre vanno a impattare anche sull'affidabilità del sistema produttivo.

Se il numero e la durata complessiva delle microfermate è consistente, esse possono andare a ridurre notevolmente la produttività di un sistema, portando a ritardi, mancate produzioni, necessità di una rischedulazione degli ordini di produzione, tempi ciclo più lunghi, *lead time*

allungati, mancate evasioni degli ordini, mancata soddisfazione delle esigenze dei clienti, minore flessibilità interna.

L'obiettivo finale è l'eliminazione (o perlomeno la riduzione consistente) dei *micro-breakdown* tramite opportuni piani manutentivi di tipo preventivo o autonomo che riescano ad anticipare l'insorgere di criticità nei tempi persi causati dalle microfermate.

2.4. Il ruolo dei *buffer*

Nonostante l'obiettivo ideale sia l'eliminazione delle microfermate, un'ipotesi più realistica prevede di andare a ridurle, dal momento che una quota di queste può essere considerata fisiologica e connaturata al processo produttivo.

Indipendentemente dalla numerosità e dalla durata delle microfermate un ruolo di fondamentale importanza per ridurre l'impatto di queste sull'OEE e per aumentare l'affidabilità del sistema è svolto dai *buffer* interoperazionali. I *buffer* sono dei "polmoni di accumulo" posti tra due macchine in una linea produttiva automatizzata; il loro compito è quello di disaccoppiare le attrezzature in serie e di assorbire dei piccoli fermi macchina o dei ritardi della macchina a monte, in modo che quella a valle possa continuare la propria regolare funzione produttiva. Inoltre l'utilizzo dei *buffer* consente di impostare velocità diverse per i vari macchinari, in modo da non lavorare con una linea a cadenza fissa dove il ritmo produttivo è determinato dalla macchina più lenta e tutte devono adeguarsi a quella velocità; senza l'utilizzo dei *buffer* una fermata di un macchinario bloccherebbe l'intero processo.

L'inserimento dei polmoni evita alle aziende di acquistare impropriamente attrezzature sovradimensionate e consente di bilanciare meglio un sistema produttivo (Battini *et al.*, 2006).

I *buffer* consentono anche ad una stazione di lavoro di non risentire di tutte le perdite delle stazioni precedenti; infatti generalmente vengono definite quattro inefficienze di un singolo stadio di produzione:

1. Rendimento di scarto (K_1);
2. Affidabilità (K_2);
3. Rendimento dell'operatore (K_3);
4. Coefficiente di utilizzo (K_4).

Nel caso di una linea senza *buffer* la disponibilità è il prodotto delle disponibilità delle varie stazioni ($A = \prod_{i=1}^N A_i$, $i = 1, \dots, N$ è il numero di *workstation*) e la quantità di prodotto necessaria in *input* per ottenere un certo *output* risente di tutte e quattro le inefficienze di una stazione ($Q_i = \frac{Q_{i+1}}{\prod_j K_{ji}}$, $j = 1, \dots, 4$ sono le inefficienze).

Nel caso invece di linea con *buffer* interoperazionali la disponibilità dell'intera linea è determinata dalla stazione con disponibilità minore ($A = \min(A_1, \dots, A_N)$) e la quantità di prodotto necessaria in *input* per ottenere un determinato *output* dipende solamente dal

rendimento di scarto K_1 e non da tutte le inefficienze di una stazione ($Q_i = \frac{Q_u}{\prod_{i+1}^N K_{ji}}$).

Dunque la quantità di *input* necessaria nel caso in cui siano presenti i *buffer* è inferiore rispetto a quella senza *buffer*.

Oltre all'utilizzo dei *buffer* è però importante anche il loro dimensionamento; infatti è necessario determinare la capacità ottimale del polmone di accumulo andando a minimizzare i costi totali, ovvero:

$$\text{Costi totali} = \text{Costi di downtime} + \text{Costi di immagazzinamento}$$

È facile intuire come più si riduce il costo delle fermate e più aumenta il costo di immagazzinamento poiché il *buffer* per assorbire più tempi persi deve essere più grande, mentre più si riduce il costo di immagazzinamento più aumenta il costo dei *downtime* poiché il *buffer* è più piccolo e riesce ad assorbire una minore quantità di perdite. Questa situazione è rappresentata in *figura 8*.

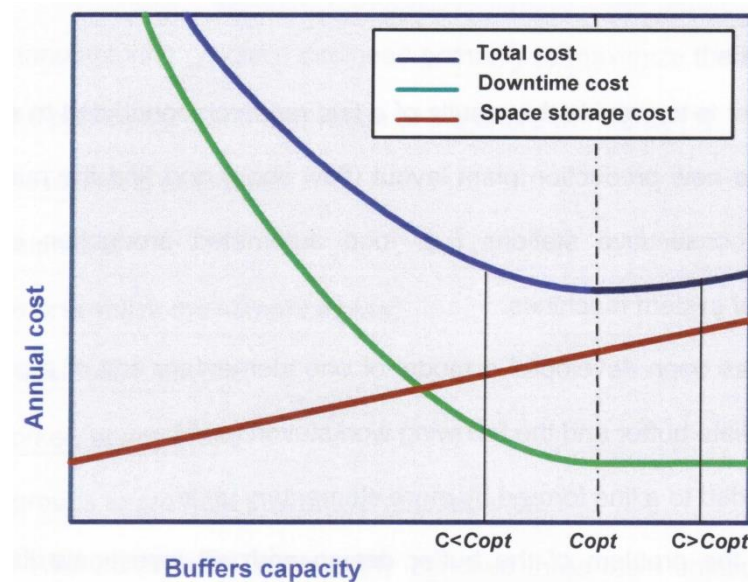


Figura 8: Minimizzazione dei costi totali (Battini *et al.*, 2006)

2.5. Metodo di raccolta e analisi dei dati

Di seguito viene proposta una procedura di raccolta e analisi dei dati delle microfermate (valido comunque anche in generale per tutti i tipi di fermata), valutando lo *state-of-the-art* a riguardo presente in letteratura.

Per eseguire una valutazione accurata è importante seguire un processo logico in *step* successivi che parte dalla decisione del tipo di analisi da eseguire fino alla possibile presentazione di proposte migliorative.

2.5.1. Valutazione del tipo di analisi da eseguire

La prima fase di un qualunque progetto di miglioramento prevede l'identificazione del tipo di analisi più adeguato da realizzare affinché porti dei risultati adeguati e soddisfacenti.

In un ambiente produttivo con la presenza di molte attrezzature e processi diversi è fondamentale capire quale (o quali) di questi necessitano uno studio approfondito.

Facendo riferimento ad un'azienda che presenta al proprio interno delle linee produttive di tipo *flow line* è necessario individuare quale sia la linea più critica da considerare. Tipicamente l'identificazione avviene grazie ad una serie di indicatori di *performance* degli impianti e in particolare tramite l'utilizzo dell'*OEE* che permette di confrontare tra di loro tutte le linee e di identificare quella più critica. Naturalmente possono essere utilizzati anche altri indicatori o essere fatte altre valutazioni, ad esempio potrebbe essere scelta una linea perché su di essa vengono prodotti un gran numero di pezzi e quindi, anche se il suo *OEE* è più elevato di altri, dei miglioramenti possono apportare un significativo beneficio, oppure un impianto potrebbe essere scelto per i suoi elevati costi di gestione che è necessario andare a ridurre per abbassare il costo di produzione, o ancora a un sistema potrebbe essere richiesto un aumento della propria produttività e quindi una necessità di compressione del tempo ciclo per rispondere meglio alle esigenze del mercato.

Una volta deciso il sistema produttivo su cui concentrarsi è necessario portare l'analisi ad un maggior livello di dettaglio.

Dal momento che generalmente un processo produttivo (in particolare una linea) è composto da più macchine è di fondamentale importanza individuare quali siano le macchine critiche. Infatti, nonostante una valutazione delle prestazioni dell'intero impianto sarebbe sicuramente più completa ed esaustiva, spesso non è necessaria per ottenere un risultato soddisfacente o

non è possibile a causa di limiti di tempo e/o di budget e quindi bisogna focalizzarsi sulle macchine più problematiche.

Per macchine critiche si intendono le macchine che penalizzano maggiormente il sistema produttivo in termini di prestazioni (Abdul Samat *et al.*, 2012).

Per indentificarle bisogna avvalersi dei dati già disponibili in azienda e storicizzati e su cui possono essere condotte delle analisi, ad esempio gli scarti, i guasti, le microfermate, i tempi di *setup*, i difetti ecc.. Si possono poi identificare quali tra queste cause determinano il peggior degrado delle *performance* dell'impianto e si può così capire su quali variabili andare ad agire per migliorare.

Come indicato da Abdul Samat *et al.* (2012), la fase di identificazione delle macchine critiche si divide in tre momenti:

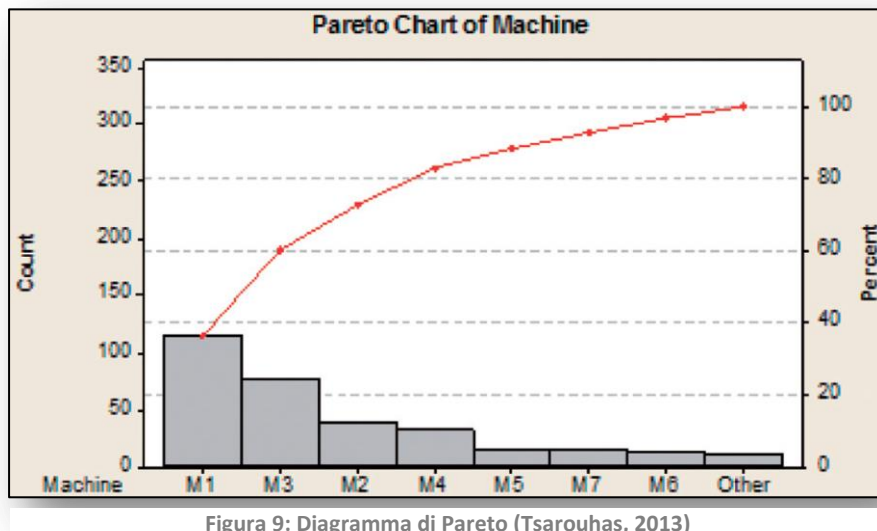
1. Identificazione delle perdite;
2. Analisi della frequenza di accadimento delle perdite;
3. Selezione della macchina.

Nel primo punto è necessario identificare le perdite collegate alla particolare attrezzatura, come guasti, difetti, microfermate ecc.; l'identificazione può avvenire analizzando gli storici aziendali riguardo alle perdite, i quali dovrebbero contenere una raccolta dettagliata dei vari problemi accaduti nel corso del tempo, completi di occorrenze, durate, localizzazione delle perdite e azioni necessarie per ripristinare il corretto funzionamento. Tipicamente le perdite che vengono raccolte in azienda fanno riferimento alle *Six Big Losses*.

Nel secondo punto, una volta raggruppate le perdite nelle *Six Big Losses*, è necessario condurre un'analisi sulla frequenza di accadimento delle perdite, così da determinarne le occorrenze e capire quali sono le più frequenti. Vengono sommate prime le occorrenze di ogni fermata e poi suddivise per macchina in modo da capire sia le fermate più critiche sia la macchina più critica. Uno strumento molto utilizzato è l'analisi di Pareto (*figura 9*) che permette di identificare le cause principali che determinano la maggior quantità di tempi persi, basandosi sul concetto che il 20% delle cause determina l'80% degli effetti, quindi andando a risolvere questa minoranza si possono ottenere grandi miglioramenti.

Il terzo punto invece prevede di selezionare la macchina basandosi sul diagramma di Pareto, andando a scegliere quella che determina i maggiori tempi persi.

È importante poi decidere se analizzare tutti i tipi di fermate di una macchina o se basta concentrarsi solo su una tipologia (ad esempio le microfermate); questo dipende dall'obiettivo del progetto che si vuole sviluppare.



2.5.2. Raccolta dati

Una volta deciso il tipo di analisi da seguire è fondamentale organizzare una raccolta dei dati necessari per proseguire con l'approfondimento del problema.

Naturalmente i dati dipendono dal tipo di progetto che si sta sviluppando, infatti non ha senso raccogliere un gran numero di informazioni se poi queste non sono pertinenti ed utili al progetto in esame; inoltre i dati da raccogliere non devono mai essere troppo complessi per non creare difficoltà sia durante la fase di raccolta che durante l'analisi (Jonsson e Lesshammar, 1999).

I dati da raccogliere devono dunque avere il giusto grado di dettaglio ed essere raccolti in opportuni database; i dati potrebbero essere già registrati dall'azienda oppure potrebbe essere necessario lo sviluppo di un metodo di raccolta *ad hoc* per lo specifico caso.

Un problema che non è di facile soluzione è la lunghezza temporale su cui dovrebbe essere effettuata la rilevazione dei dati per poter eseguire un'analisi affidabile; non esistono particolari *framework* per decidere la lunghezza del periodo di raccolta e spesso si prendono i turni lavorativi come intervalli di tempo. Il rischio è che considerando un periodo troppo breve i dati non siano significativi, mentre con un periodo troppo lungo gli indicatori che vengono sviluppati nell'analisi si attestino su valori medi (Zammori *et al.*, 2011).

Generalmente vengono registrate la durata e la frequenza di un determinato evento, nel caso di un impianto produttivo dei tempi persi. Come suggerito da Tsarouhas (2007), tipici dati che vengono raccolti per le analisi sui processi produttivi sono:

- Tempi di *start-up*: tempi dall'inizio della produzione fino alla sua stabilizzazione;

- Tempi di *setup*: tempi di riattrezzaggio quando cambio il prodotto da realizzare;
- Tempo ciclo: quanto tempo impiega un prodotto per essere realizzato;
- Tempo di *downtime* di una fermata: il tempo che l'impianto resta fermo a causa di un problema;
- Velocità operativa reale della macchina: questa viene confrontata con quella ideale;
- Numero di prodotti che richiedono rilavorazioni e numero di scarti: fenomeni causati dalle particolari condizioni operative del processo;
- Tempi di microfermate: tempi persi per fermate brevi o rallentamenti.

Oltre a quali dati raccogliere è importante anche decidere "come raccogliarli". I metodi sono fondamentalmente tre: raccolta manuale, automatica, semi-automatica (*tabella 7*).

Tipo di raccolta dati	Vantaggi	Limiti
Manuale	Flessibilità, possibilità di andare molto nel dettaglio, basso costo	Difficoltà di compilazione, mancanza di motivazione o formazione del personale, difficoltà di quantificazione dei tempi, rischio di sovraccarico di lavoro per l'operatore, errori di scrittura o distrazione, variazioni di registrazione dello stesso fenomeno da un operatore all'altro
Automatica	Rilevazione in continuo, dati molto affidabili	Costo elevato, difficoltà di realizzazione e gestione, impossibilità di andare troppo nel dettaglio
Semi-automatica	Misurazione dei tempi precisa, flessibilità, possibilità di andare nel dettaglio	Costo del sistema di rilevazione tempi, discrezionalità dell'operatore nell'assegnare le cause di una fermata

Tabella 7: Vantaggi e limiti dei tre tipi di raccolta dati

2.5.2.1. Vantaggi e limiti della raccolta manuale

La raccolta manuale dei dati è effettuata dagli operatori responsabili delle varie macchine dell'impianto o dal personale di manutenzione.

I principali vantaggi di questo metodo sono la flessibilità nella raccolta e nella valutazione delle cause delle fermate e dal basso costo, dal momento che non devono essere acquistati sistemi

di rilevazione o assunto altro personale, ma solamente sviluppare degli appositi moduli di raccolta.

Numerosi sono però anche i limiti di questa tipologia, come indicato da Ljungberg (1998) e Rößler e Abele (2013):

- Spesso il *form* di raccolta è progettato da qualcuno che non ha chiaro la complessità di tutte le possibili perdite;
- La procedura di compilazione del *form* potrebbe non essere sufficientemente semplice per l'operatore;
- I dati possono non essere raccolti dagli operatori per dimenticanza, mancanza di tempo o di motivazione;
- Ci può essere resistenza alla raccolta da parte degli operatori, specialmente se non vengono condivisi gli obiettivi e se non c'è un supporto e una adeguata formazione;
- L'operatore potrebbe non essere dotato di cronometro (o non gli è permesso per motivi di sicurezza) e quindi i tempi persi sono difficili da quantificare;
- La registrazione manuale comporta dei tempi aggiuntivi per l'operatore che altrimenti potrebbe impiegare per attività sulla macchina (ad esempio pulizia, controllo ecc.) o comunque può essere meno pronto ad intervenire in caso di necessità, quindi le *performance* dell'impianto ne possono risentire;
- L'operatore può essere sovraccaricato di lavoro se la frequenza delle fermate aumenta, poiché oltre ad intervenire per ripristinare la macchina deve anche annotare ogni evento;
- La registrazione dell'evento deve avvenire subito dopo il ripristino altrimenti l'operatore si può scordare dei dati necessari;
- Possono esserci errori di scrittura o di distrazione da parte dell'operatore;
- Possono presentarsi delle variazioni nel processo di raccolta a seconda dell'operatore;
- Possono esserci discrepanze nella classificazione di una perdita tra un operatore e l'altro.

Mentre alcuni di questi problemi non sono risolvibili se si utilizza un sistema di raccolta manuale (ad esempio gli errori di scrittura, la discrepanza nelle valutazioni, il sovraccarico di lavoro), altri sono riconducibili a scelte organizzative e quindi si possono limitare fortemente. Infatti problemi quali il coinvolgimento e la motivazione del personale possono essere ridotti tramite la loro formazione sullo specifico problema, sulla procedura di raccolta dati e sulla condivisione dei motivi e degli obiettivi del progetto; gli operatori inoltre dovrebbero essere

responsabilizzati e informati dell'importanza del loro lavoro aggiuntivo, in modo che venga visto come una opportunità di miglioramento e non come attività senza alcun valore aggiunto. Un metodo utile per limitare la difficoltà di compilazione e per realizzare dei moduli di raccolta il più vicini possibili alla realtà è prevedere lo sviluppo di tali *form* in collaborazione col personale degli impianti e i manutentori, cioè coloro i quali devono poi utilizzarli; inoltre si può iniziare con dei moduli più semplici per introdurre il personale alla raccolta dati e solo in seguito proporre dei fogli più articolati, in modo che l'apprendimento e la consapevolezza sul metodo di raccolta avvengano in modo progressivo (Ljungberg, 1998).

La raccolta manuale dunque, pur essendo molto flessibile e con la possibilità di andare nel dettaglio delle fermate, comporta anche dei forti limiti connessi con l'intervento umano nella registrazione dei tempi persi.

2.5.2.2. Vantaggi e limiti della raccolta automatica

La registrazione automatica prevede di andare a registrare i tempi e le cause delle perdite tramite un sistema automatico presente sull'impianto produttivo, dotato di particolari sensori *ad hoc* che permettono di identificare il motivo e la localizzazione del problema che determina i tempi persi.

Questo tipo di raccolta dati può essere effettuata in modo continuo e senza perdere alcuna fermata in modo da avere dei dati estremamente affidabili ma, al contempo, è un sistema molto costoso, complesso da realizzare, gestire e utilizzare e deve lavorare ad un livello piuttosto aggregato dal momento che, lavorando con sensori per determinare le cause dei tempi persi, non è in grado di distinguere i motivi profondi che hanno portato alla fermata (ad esempio una fotocellula potrebbe leggere una lunghezza di un componente diversa da quella nominale ma non riesce a distinguere se il prodotto è realmente di una lunghezza non conforme oppure se è semplicemente mal allineato) (Ljungberg, 1998).

L'affidabilità del dato dunque è molto alta ma manca la possibilità di andare nel dettaglio delle cause di fermata.

2.5.2.3. Vantaggi e limiti della raccolta semi-automatica

La raccolta semi-automatica dei dati prevede di andare a registrare i tempi tramite un sistema automatico presente sulla macchina, mentre le cause delle perdite e il loro numero vengono indicati manualmente dagli operatori su opportuni supporti informatici (inserendo la causa o

un opportuno codice prima di poter riavviare il ciclo della macchina) o moduli cartacei appositi (Ljungberg, 1998).

Il vantaggio di questa tecnologia risiede nella precisione di misurazione dei tempi combinata con la flessibilità e la possibilità di andare nel dettaglio delle cause di fermata fornita dall'operatore. Riesce quindi a combinare i vantaggi sia della raccolta manuale che di quella automatica, fornendo dei dati affidabili per l'analisi e sollevando gli operatori dal compito di dover cronometrare i tempi (attività particolarmente difficile, mal voluta dagli operatori e *time consuming*).

Gli svantaggi invece sono costituiti dal costo dell'attrezzatura di rilevazione dei tempi (anche se meno costosa di quella per la raccolta automatica poiché non deve rilevare anche le cause) e dalla possibilità di avere comunque dei dati sulle cause dei tempi persi non affidabili dal momento che è sempre presente la discrezionalità (e la propensione al miglioramento) del singolo operatore.

2.5.3. Strumenti utili per l'analisi

Per procedere con l'analisi dei dati raccolti è necessario possedere degli appositi strumenti che possano aiutare a formulare delle conclusioni sui *downtime*.

Tipici strumenti utilizzati in questi casi sono i diagrammi di Pareto, i diagrammi causa-effetto e l'analisi *why-why*.

2.5.3.1. Il diagramma di Pareto

L'analisi di Pareto, accompagnata dal proprio diagramma, è uno strumento molto utilizzato per valutare l'importanza dei motivi delle fermate.

Il principio di base di questo tipo di analisi è la cosiddetta regola dell'80-20, cioè l'80% degli effetti è dovuto al 20% delle cause; questo tipo di idea non è naturalmente universalmente valida, ma spesso è considerata accettabile. Indipendentemente dalle percentuali tale principio è fondamentale perché mette in luce come agendo solo su una piccola parte dei problemi si possano ottenere grandi benefici (Abdul Samat *et al.*, 2012; Rahman *et al.*, 2014).

In particolare in un ambiente produttivo ciò significa concentrarsi sulle macchine critiche e sulle sue principali problematiche, in modo da comprendere come eliminare o ridurre i tempi persi.

Per realizzare un diagramma di Pareto è necessario avere i dati suddivisi per tipologia di fermata, calcolare la percentuale di un tipo di fermata sul totale e anche la percentuale cumulata; il grafico che si ottiene è un istogramma con tutte le varie fermate, realizzato in ordine decrescente di significatività delle fermate, e una linea rappresentante la percentuale cumulata; in questo modo è possibile concentrarsi sulle cause che determinano la percentuale cumulata desiderata (generalmente l'80%). Un esempio di analisi delle fermate è riportato in *figura 10*.

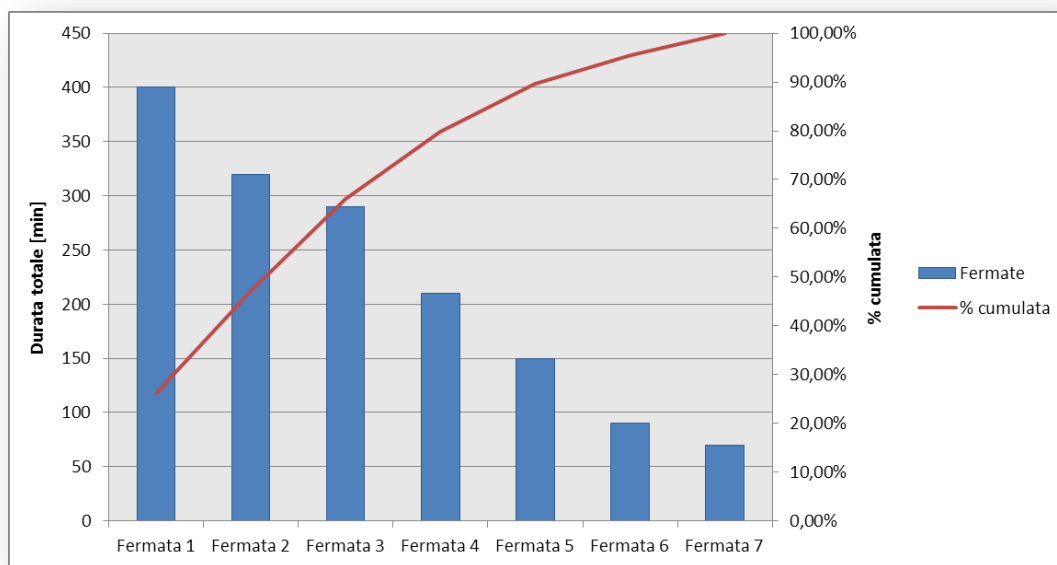


Figura 10: Diagramma di Pareto

2.5.3.2. Il diagramma causa-effetto e l'analisi why-why

Il diagramma causa-effetto o di Ishikawa o a lisca di pesce (*fish bone*) è un *tool* fondamentale usato prevalentemente nelle analisi *FMEA* (Failure Mode and Effect Analysis) per identificare tutte le possibili cause di un determinato fenomeno.

Questo metodo prevede di partire dall'effetto finale e di procedere a ritroso fino a che non si raggiungono le cause profonde del problema. In questo modo si riesce a raccogliere in modo compatto tutte le possibili cause scatenanti del problema, suddividendole secondo sei fondamentali macro-cause:

- **Macchine:** in questa sezione si vanno ad identificare tutte le possibili cause di un *downtime* che sono strettamente correlate alle attrezzature utilizzate, sia che sia dovuto alla macchina su cui avviene la microfermata, sia che dipenda da una macchina a monte;

- Metodi: qui vengono raccolte le cause derivanti da procedure operative che non sono adeguate o su cui viene lasciata eccessiva discrezionalità all'operatore o attività per cui non viene definito uno standard;
- Misure: sono le cause di fermata derivanti da un malfunzionamento o da un errore degli strumenti di misura, come fotocellule, controllori di livello, contatori;
- Materiali: sono cause collegate all'utilizzo di materiali non conformi o comunque la fermata è determinata da un problema del materiale, ad esempio un componente difettoso;
- Personale: qui vengono convogliate tutte le cause riguardanti delle mancanze o dei comportamenti non adeguati del personale di linea per evitare il *downtime*, ad esempio il problema non è stato risolto prima che potesse fermare il flusso produttivo oppure non è stata fatta una adeguata pulizia dell'impianto durante l'auto-manutenzione;
- Altro: qui all'interno vengono indicate tutte quelle possibili cause che non rientrano in una delle precedenti, in particolare le cause dovute a problemi ambientali come umidità, freddo, caldo, pioggia che possono avere un impatto negativo sulle prestazioni delle macchine o sui materiali utilizzati.

Tipicamente questo strumento è accompagnato anche dall'analisi *why-why*, cioè non ci si limita a capire solamente la prima causa di una fermata, ma si procede a ritroso chiedendosi più volte "perché" un certo fenomeno accade, in modo da giungere fino alle cause primarie e andare a risolvere alla radice il problema e non trovando delle soluzioni che cerchino di ovviare al problema dopo che è avvenuto. Si perviene quindi ad un vero e proprio "albero" per ogni problema in cui vengono indicati nel dettaglio tutti i possibili motivi per cui può avvenire la fermata, in modo da avere una visione completa ed esaustiva che permetta di andare ad affrontare la risoluzione del problema in modo corretto, valutando tutte le possibili conseguenze di un intervento migliorativo (sia positive che, se ce ne sono, negative, specialmente su altre fasi del processo o che possono introdurre nuove problematiche).

Un esempio di diagramma causa-effetto è riportato in *figura 11*.

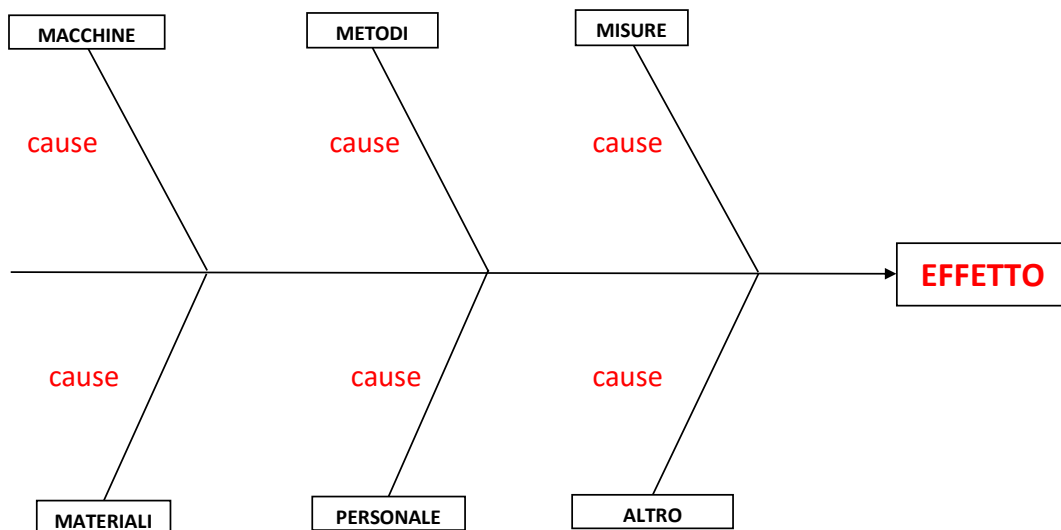


Figura 11: Diagramma causa-effetto

2.5.4. Indicatori da valutare per l'analisi

Oltre a capire quali strumenti utilizzare è fondamentale anche determinare quali parametri devono essere valutati per fare delle considerazioni sui motivi dei *downtime* su cui bisogna andare a focalizzare la propria attenzione per ottenere dei risultati significativi.

Negli studi di affidabilità di un sistema produttivo si è pervenuti ad una idea piuttosto comune che i principali parametri da valutare siano *TTR*, *TTF* e *TBF*.

Il *TTR* (Time To Repair) è definito come l'intervallo di tempo tra il momento in cui un'attrezzatura rallenta e si ferma e quando riacquista velocità e riprende nel suo normale funzionamento (Tsarouhas, 2012); in pratica rappresenta il tempo di fermo per identificare il problema e ripristinare la macchina da parte dell'operatore di produzione, del manutentore o del tecnico.

Questo parametro è molto importante dal momento che permette di identificare quali fermate richiedono un tempo maggiore per essere risolte; tanto più grande è il *TTR*, tanto maggiore è la penalizzazione sulla disponibilità o sulle *performance* della linea.

Nel caso specifico dei *micro breakdown*, essi sono generalmente caratterizzati da *TTR* piuttosto bassi (a livello indicativo al di sotto dei 5 minuti), quindi la singola microfermata di solito non crea grossi problemi sulle prestazioni di un impianto produttivo.

Il *TTF* (Time To Failure) è definito come il tempo che intercorre tra quando una macchina riparte in seguito ad una fermata e quando si ferma nuovamente, quindi esclude il *TTR* (Tsarouhas, 2009).

Il *TBF* (Time Between Failure) invece è il lasso di tempo tra una fermata e la successiva, comprendendo anche il tempo di ripristino della macchina (*TTR*) (Tsarouhas, 2012); in formule dunque il *TBF* è espresso come:

$$TBF = TTF + TTR$$

Questo parametro permette di capire ogni quanto avviene una fermata e la frequenza di accadimento. Nel caso di microfermate di qualche secondo *TTF* e *TBF* sono praticamente identici se si lavora con il minuto come livello di dettaglio per questi due indicatori.

I dati relativi a *TTR* e *TBF* vengono generalmente accoppiati in modo da identificare le fermate con la durata maggiore ma anche quelle che avvengono più di frequente; infatti possedere solo i *TTR* non permette di fare una valutazione completa: se una fermata ha un *TTR* elevato non è detto che ciò penalizzi pesantemente le *performance* della macchina perché se il *TBF* è molto alto significa che avviene raramente e quindi nel totale del tempo di produzione giornaliero non necessariamente è impattante. Viceversa fermate con *TTR* bassi ma anche *TBF* bassi possono pesare molto sull'*OEE* perché, anche se la durata è breve, la loro frequenza di accadimento è molto alta e quindi determina dei frequenti blocchi o rallentamenti del sistema produttivo.

Altri parametri spesso utilizzati sono il *MTTR*, il *MTTF* e il *MTBF*.

Il *MTTR* (Mean Time To Repair) è il tempo medio di ripristino di una macchina al suo normale funzionamento e non è altro che la media dei *TTR*:

$$MTTR = \frac{\sum_i TTR_i}{N_{tot\ fermate}}$$

Il *MTTF* (Mean Time To Failure) è il tempo medio tra una fermata e l'altra senza considerare i *TTR*, quindi è la media dei *TTF*:

$$MTTF = \frac{\sum_i TTF_i}{N_{tot\ fermate}}$$

Il *MTBF* (Mean Time Between Failure) è il tempo medio tra una fermata e la successiva, compresi i *TTR*; è la media dei *TBF*:

$$MTBF = \frac{\sum_i TBF_i}{N_{tot\ fermate}}$$

Questi tre indicatori sono spesso utilizzati poiché più riassuntivi e in grado di dare un'indicazione sul funzionamento generale di una macchina o di un intero sistema produttivo; inoltre essi permettono anche di fare confronti nel corso del tempo e a seguito di interventi migliorativi per verificare se sono avvenuti dei cambiamenti nella durata e nella frequenza dei *downtime*.

2.5.5. Impatto dei tempi persi sull'OEE

Una volta comprese le cause principali che determinano i tempi persi su un impianto e focalizzando la propria attenzione su questi (secondo il principio di Pareto), è necessario quantificare l'impatto di tali *downtime* sulle *performance* del sistema produttivo. Solo possedendo un certo valore numerico di paragone è poi possibile verificare l'apporto benefico dato dall'eliminazione o dalla riduzione dei tempi persi.

È quindi importante definire un indicatore di prestazione che possa essere rappresentativo della situazione attuale e futura dell'impianto. Generalmente l'indicatore utilizzato è l'Overall Equipment Effectiveness (*OEE*), già definito nel *paragrafo 1.5*.

La procedura classica prevede di andare a calcolare l'*OEE* del sistema (o della singola macchina) nella situazione "*as is*", ovvero nella condizione attuale di funzionamento; il valore così ottenuto funge da paragone per valutare la potenziale area di miglioramento ottenibile.

Per determinare l'impatto benefico di cambiamenti per la riduzione dei tempi persi è possibile procedere analizzando tutte le fermate considerate critiche oppure una alla volta; nel primo caso ciò che si ottiene è il massimo miglioramento possibile (ideale), nel secondo invece si può valutare l'apporto benefico dato dalla riduzione di una (o qualcuna) delle cause di fermata.

Anche in questo caso lo strumento da utilizzare è l'*OEE*, valutando quanto la risoluzione (o la riduzione) dei tempi persi lo fa aumentare. Naturalmente è necessario prima capire tali *downtime* in quale voce dell'*OEE* ricadono, se nella disponibilità o nell'efficienza delle *performance*.

Una volta ottenuto tale valore lo si va a confrontare con quello della situazione iniziale; si fa quindi un raffronto tra la condizione "*as is*" (conosciuta e ben definita poiché è il frutto di una rilevazione dati) e possibili condizioni "*to be*" (stimate e non ben definite dal momento che non è detto che il beneficio valutato sia poi effettivamente raggiunto, sia in difetto che in eccesso).

In questo modo si ottiene una ulteriore conferma di quali siano i *downtime* più importanti da andare a risolvere, corroborati anche da una valutazione quantitativa e non solo qualitativa dei benefici ottenibili sull'*OEE*.

Tipici indicatori utilizzati per valutare il miglioramento sono l'*OEE* differenziale, cioè la differenza tra l'*OEE* di partenza e quello migliorato, e l'aumento percentuale dell'*OEE* (Zammori *et al.*, 2011), definito come:

$$\text{Aumento \% } OEE = \frac{OEE_{to\ be} - OEE_{as\ is}}{OEE_{as\ is}}$$

Come suggerito da Battini *et al.* (2006), uno strumento utile per valutare giornalmente l'*OEE* (e anche i suoi componenti costitutivi) e il suo possibile miglioramento è il *radar chart*, dove vengono riportati lungo la circonferenza esterna i vari giorni del mese, mentre la linea spezzata interna indica il livello raggiunto dall'indicatore; è possibile anche inserire una circonferenza con l'obiettivo di *performance* che si vuole raggiungere o mantenere, in modo da valutare giorno per giorno se la prestazione dell'impianto è soddisfacente o meno.

Se si riporta anche l'*OEE* incrementato la zona tra le due linee spezzate rappresenta l'area di miglioramento. Naturalmente tale strumento può essere applicato anche a livello mensile, dove sulla circonferenza invece di essere presenti i giorni vengono inseriti i mesi. Un esempio di tale strumento è riportato in *figura 12*.

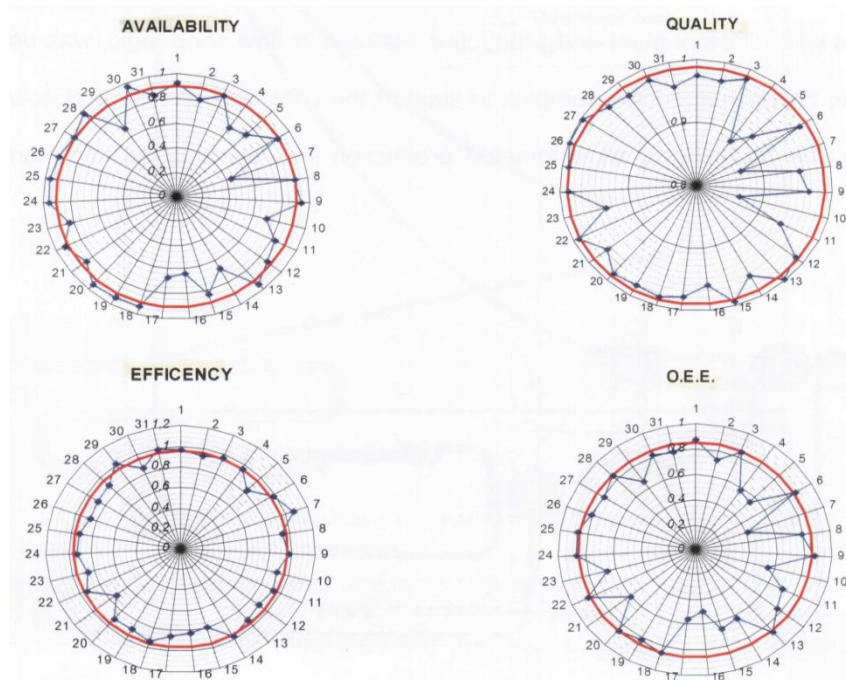


Figura 12: Radar chart per disponibilità, efficienza delle *performance*, qualità ed *OEE* (Battini *et al.*, 2006)

2.5.6. Valutazione dei possibili miglioramenti

La fase finale nella valutazione di un progetto di miglioramento è la decisione sui possibili *improvements* da apportare alle attrezzature di un impianto produttivo.

Ciò deve portare ad una riduzione dei *downtime* identificati nelle fasi precedenti e aumentare l'OEE.

È possibile focalizzarsi sull'eliminazione (o la riduzione) solo di alcuni tipi di fermate oppure di tutte, a seconda del tempo e del budget monetario disponibili.

La scelta del tipo di cambiamenti da apportare può essere fondamentalmente di due tipi:

- Modifiche delle politiche manutentive;
- Modifica o sostituzione delle tecnologie presenti.

2.5.6.1. Revisione delle politiche manutentive

In questo caso è necessario verificare se i piani di manutenzione attuali degli impianti produttivi siano adeguati; infatti le perdite di *performance* del sistema possono essere causate da una scarsa manutenzione oppure da una manutenzione effettuata ad intervalli temporali troppo prolungati. A tal proposito deve essere fatto uno studio sull'affidabilità delle macchine in modo da pianificare in modo corretto le manutenzioni (Barabady, 2005).

Se i piani manutentivi non sono adeguati si può procedere ad una loro modifica in vari modi:

- Nel caso di manutenzioni pianificate (cicliche o preventive) ridurre l'intervallo tra un intervento e il successivo in modo da prevenire alcuni tipi di fermate;
- Nel caso di manutenzioni a guasto o su condizione verificare se sia adeguata questa gestione o se sia meglio intervenire in modo preventivo a intervalli regolari, in modo da scongiurare un evento più grave.

In questo caso è necessario uno studio approfondito delle macchine e della loro gestione da parte dei tecnici e dei *maintenance planner*.

2.5.6.2. Modifica o sostituzione della tecnologia attuale

In questo contesto si deve prevedere la sostituzione o la modifica di alcune parti dell'impianto produttivo poiché si è verificato che il problema non può essere risolto solamente con una gestione più attenta delle politiche manutentive, ma è necessario cambiare la tecnologia (Al-Chalabi *et al.*, 2014).

La portata di un tale intervento è sicuramente maggiore rispetto ad una modifica dei piani manutentivi, sia in termini di costi che di impatto fisico sull'impianto produttivo; infatti, soprattutto nel caso di interventi importanti, potrebbe essere necessario rivedere il bilanciamento della linea, le procedure lavorative degli operatori, il layout del sistema, i tempi ciclo ecc..

Essendo questa seconda possibilità di intervento un vero e proprio investimento per l'azienda è necessaria, oltre ad una valutazione tecnica, anche una considerazione economica.

2.5.6.2.1. Valutazione tecnica dell'investimento

Prima di effettuare un qualsiasi investimento che preveda la modifica o la sostituzione di un componente (o di una macchina) è fondamentale eseguire una valutazione tecnica.

Infatti la modifica che ci si appresta a fare deve essere coerente con gli obiettivi che si vogliono perseguire, ma nel contempo deve anche essere fattibile a livello tecnico, senza pregiudicare il funzionamento delle altre attrezzature coinvolte nel processo produttivo.

Questa valutazione deve essere effettuata da personale tecnico specializzato che sia in grado di cogliere tutte le opportunità e le conseguenze derivanti dalla possibile scelta; la nuova tecnologia deve essere compatibile con quanto già presente sull'impianto, quindi, considerando una linea di produzione *flow line*, alcuni possibili parametri da valutare sono:

- La velocità di lavoro della nuova attrezzatura che deve essere adeguata a quella del resto della linea;
- L'interconnessione con i sistemi già presenti, ad esempio i trasporti o i sistemi di rilevazione, che deve essere fattibile senza eccessivi cambiamenti;
- I cambiamenti delle procedure operative del personale, in modo da valutare se sia necessaria una formazione specifica;
- Valutare se i materiali utilizzati siano compatibili con la nuova tecnologia;
- I benefici e le complicazioni nel funzionamento della macchina e dell'intero impianto conseguenti all'intervento.

Nel caso in cui una tecnologia sia promettente ma non adatta all'attuale sistema produttivo bisogna escluderla e valutarne un'altra alternativa (a meno che non si sia disposti a modificare pesantemente altre parti del processo).

2.5.6.2.2. Valutazione economica dell'investimento

Una volta ottenuta l'approvazione dal punto di vista tecnico è fondamentale valutare la convenienza del possibile investimento, infatti, nonostante possa portare dei benefici, non è detto che l'intervento venga effettivamente realizzato se non riesce a garantire un ritorno economico soddisfacente in tempi adeguati.

Un investimento è caratterizzato da un'uscita di cassa iniziale pari all'ammontare dell'investimento da effettuare; annualmente poi esso determina delle uscite e delle entrate di cassa, generando un flusso di cassa netto (*net cash flow*) dato dalla differenza tra le entrate e le uscite; questo flusso di cassa va in parte a ripagare l'investimento fino a quando non inizia a generare dei profitti.

A tal proposito vengono utilizzati gli strumenti classici di analisi degli investimenti, ovvero il *payback period*, il VAN e il ROI (Sullivan *et al.*, 2006).

Il metodo del *payback period* serve per determinare in quanto tempo un determinato investimento riesce a generare dei profitti per l'azienda, cioè quando i flussi di cassa netti riescono a ripagare per intero l'investimento iniziale, al punto che la somma dei flussi di cassa netti è uguale all'esborso iniziale.

Per determinare i flussi di cassa è necessario individuare tutti i ricavi e i costi differenziali rispetto all'alternativa base (la situazione "as is"); generalmente per calcolare i ricavi totali è necessario avere il margine di contribuzione unitario di un prodotto (i.e. la differenza tra il prezzo di vendita e il costo variabile unitario), in modo da valutare, nel tempo recuperato grazie all'intervento migliorativo, quanto denaro riesce a fatturare in più l'azienda in seguito all'aumento di produzione derivato.

È poi possibile decidere quale margine di contribuzione usare: il margine di 1° livello considera solo i costi variabili e quindi è possibile valutare quando i ricavi remunerano l'investimento iniziale e i costi variabili di produzione, mentre il margine di 2° livello comprende anche i costi fissi differenziali, in modo da determinare quando vengono coperti anche tali costi dai ricavi.

Moltiplicando il margine di contribuzione unitario per i volumi produttivi recuperabili è possibile stimare il flusso di cassa netto annuale. Tale flusso può essere considerato costante per tutti i periodi oppure può venire attualizzato grazie ad un tasso di sconto, in modo da far riflettere anche il valore del denaro nel tempo nella valutazione dell'investimento; per attualizzare un flusso di cassa è sufficiente applicare la seguente formula:

$$\text{Flusso di cassa netto attualizzato}_i = \frac{\text{Flusso di cassa netto}_i}{(1 + r)^i}$$

dove r è il tasso di sconto e i è il periodo in cui si valuta il flusso di cassa rispetto a quello in cui è stato fatto l'investimento.

In questo modo è possibile vedere in quanti periodi l'investimento viene remunerato, ovvero il periodo in cui:

$$\sum_i Net\ cash\ flow_i - Investimento\ iniziale \geq 0$$

Una volta verificata l'entità del *payback period* bisogna confrontarlo con un valore limite fissato a livello aziendale per vedere se l'investimento è accettabile.

Un altro strumento spesso utilizzato è il VAN (Valore Attuale Netto) dell'investimento, cioè il valore attuale dei flussi di cassa futuri. Il VAN è molto utile nel caso di confronto tra più alternative poiché permette di fare una scelta tra investimenti, andando a selezionare quello con VAN più alto (salvo altre implicazioni collegate): più alto è il VAN e più è conveniente l'investimento.

Per determinarlo bisogna anche fissare un numero di anni su cui calcolarlo, generalmente determinato a livello aziendale.

Nel caso di flussi di cassa non attualizzati il VAN è espresso come:

$$VAN = \sum_{i=1}^N \frac{Flusso\ di\ cassa\ netto_i}{(1+r)^i}$$

dove $i = 1, \dots, N$ è il numero di periodi.

Se i flussi di cassa sono già attualizzati invece è solamente la somma dei vari *cash flow*:

$$VAN = \sum_{i=1}^N Flusso\ di\ cassa\ attualizzato_i$$

Infine un altro indicatore usato è il ROI (Return On Investment) che permette di definire, in ogni periodo e in percentuale, il ritorno economico sull'investimento iniziale; più elevato è il ROI tanto prima l'investimento viene recuperato.

Esso viene calcolato come:

$$ROI = \frac{Flusso\ di\ cassa\ netto\ del\ periodo}{Investimento}$$

Generalmente questi tre indici vengono valutati contemporaneamente in modo da avere una visione completa dell'investimento.

Tale valutazione economica è fondamentale per comprendere quali investimenti siano fattibili dal punto di vista economico (visti gli ovvi limiti di budget presenti in una società) e non solamente a livello tecnico e tecnologico.

2.6. Un altro approccio per la valutazione dei miglioramenti: la simulazione

Un approccio molto utilizzato per valutare sia in modo qualitativo che quantitativo i possibili cambiamenti apportati da una modifica è la simulazione software di un sistema produttivo.

All'aumentare della complessità e delle variabili presenti nel sistema aumenta la difficoltà d'analisi di quest'ultimo, perciò la simulazione è la soluzione più appropriata poiché è l'unico metodo che permette di fornire una visione dettagliata e dinamica del sistema (Al-Hawari *et al.*, 2010).

La simulazione prevede di modellare il comportamento di un impianto all'interno di un opportuno software *ad hoc*; in questo modo, lanciando una serie di iterazioni, è possibile verificare il comportamento della linea in *real time*, permettendo quindi una migliore visualizzazione del suo comportamento e di dove possono risiedere eventuali problemi (*visual assessment* migliorato).

Una volta realizzato il modello del sistema deve essere verificato, cioè bisogna assicurarsi che si comporti come era stato concepito; questa fase può essere suddivisa in vari *step* (Al-Hawari, 2010):

- Animazione del modello sviluppato;
- Guide dettagliate e strutturate sulla logica del modello;
- Uso di esecuzioni graduali e utilizzo di tracce;
- Partizione e progressiva rifinitura del modello;
- Validazione.

Quest'ultima fase è la più importante poiché prevede di assicurarsi che il modello sviluppato si comporti in modo simile al sistema reale, andando a confrontare i risultati ottenuti dalla simulazione con quelli reali.

Lo sviluppo di modelli affidabili non è semplice dal momento che è necessario possedere dei dati riguardanti il sistema produttivo corretti e che coprano un intervallo temporale

significativo; più il modello è accurato, più è in grado di approssimare il comportamento reale dell'impianto.

La simulazione consente di analizzare nel dettaglio il comportamento del sistema e delle sue singole parti ed è in grado di integrare le funzioni produttive interne con i processi di business esterni (Al-Hawari *et al.*, 2010).

Inoltre la simulazione rende più facile condurre esperimenti di modifiche al processo produttivo e consente di farlo ad un costo molto contenuto dal momento che non serve implementare realmente i cambiamenti; come indicato da Al-Hawari *et al.* (2010), tipici risultati ottenibili dalla simulazione sono i tempi ciclo, i *WIP* (Work In Process) tra due stazioni di lavoro, il numero di operatori richiesti per la produzione, valutazioni sull'adeguatezza del layout del sistema, indicazioni sul corretto dimensionamento dei *buffer* interoperazionali, indicatori di produttività ed efficienza, indicazioni sulla bontà della schedulazione della produzione, suggerimenti per eventuali *process reengineering*.

Lo scopo principale della simulazione rimane comunque la valutazione della condizione attuale del sistema e dell'impatto che possono avere eventuali scelte migliorative; grazie alla visualizzazione dinamica è possibile fare delle considerazioni molto più approfondite e pertinenti alla realtà in un modo più semplice ed immediato rispetto alla valutazione analitica. I limiti più grandi sono la necessità di avere a disposizione una grande quantità di dati affidabili e per un lungo periodo temporale e la difficoltà di modellazione del comportamento del sistema produttivo.

2.6.1. La modellazione dei dati

Per poter procedere con la simulazione è necessario modellare i dati che si hanno a disposizione; infatti il software può funzionare solamente se ai vari dati (in particolare i tempi) vengono assegnati degli opportuni comportamenti statistici tramite delle distribuzioni di probabilità. Questo permette di ottenere un modello affidabile che rispecchi le caratteristiche reali del sistema produttivo.

Un elemento molto importante che rende fondamentale il ricorso alla modellazione dei dati è la variabilità insita nei tempi. Questo elemento infatti può portare ad una non validità di modelli sviluppati considerando i tempi come una variabile deterministica, quando in realtà ciò non è vero; in un sistema produttivo la variabilità si può incontrare in quasi tutti i tempi tipicamente considerati, quali il tempo ciclo, i *setup*, le fermate, i guasti, le microfermate, le manutenzioni ecc.; ognuna di queste fonti di variabilità ha le proprie caratteristiche che vanno ad impattare in modo diverso sulle *performance* dell'impianto (Patti e Watson, 2010).

Considerando le fermate (sia *downtime* che *micro downtime*), le due variabili che le caratterizzano sono i *TTR* e i *TBF*, come già indicato nel *paragrafo 2.5.4*; questi due indicatori non sono naturalmente costanti ma variano da fermata a fermata, determinando quindi una grande variabilità; per tenere in considerazione questo elemento è dunque fondamentale determinare le distribuzioni di probabilità seguite da questi *downtime*.

La fase di definizione delle distribuzioni è generalmente preceduta da uno studio di statistica descrittiva. Di seguito vengono analizzate le due fasi.

2.6.1.1. La statistica descrittiva

La statistica descrittiva è una fase antecedente alla definizione delle distribuzioni di probabilità che permette di trarre alcune conclusioni sulle caratteristiche dei *downtime* considerati.

Le due variabili che vengono considerate sono i *TTR* e i *TBF* (o i *TTF* a seconda dei casi). Tale analisi prevede di andare a definire alcune caratteristiche dei dati rilevati, le quali determinano il tipo di distribuzione seguita dalle due variabili per ogni tipo di fermata.

Come suggerito da Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010), i valori tipici che vengono estratti da questo tipo di analisi sono:

- La media: permette di determinare qual è il valore medio di un determinato intervallo di dati;
- Il valore massimo e minimo: indicano i due valori limite dell'intervallo, in modo da capire il *range* di variazione di una misura;
- La deviazione standard: ovvero la radice quadrata della varianza, viene utilizzata per descrivere la variabilità dei dati rilevati;
- Il coefficiente di variazione: un valore adimensionale definito come il rapporto tra la deviazione standard e la media e aiuta a comprendere la precisione di una misura; inoltre, grazie alla sua adimensionalità, permette di confrontare fenomeni riferiti ad unità di misura differenti; più basso è l'indice più bassa è la variabilità di tale misura (tipicamente valori inferiori a 1 indicano bassa variabilità);
- Lo *skewness*: permette di comprendere il grado di asimmetria della distribuzione di probabilità seguita da un certo insieme di dati; indici vicino a 0 sono condizioni necessarie, ma non sufficienti, per avere una distribuzione simmetrica (tipicamente la distribuzione normale ha *skewness* uguale a 0); *skewness* negativi sono caratteristici di una distribuzione in cui i dati si concentrano verso valori più elevati (*left-skewed*);

indici positivi invece indicano un accumulo di dati verso numeri più bassi (*right-skewed*);

- La kurtosi: un indicatore della forma della distribuzione e ne rappresenta l'allontanamento dalla normalità; valori prossimi a 0 sono tipici della distribuzione normale e indicano un appiattimento della distribuzione; indici minori di 0 sono simbolo di una distribuzione "più piatta" della normale; valori positivi sono caratteristici di una distribuzione "più appuntita" di quella normale.

L'insieme di queste voci permette quindi di avere un'idea della forma delle distribuzioni di probabilità che seguono *TTR* e *TBF* (non la distribuzione esatta, per cui servono altre analisi); un esempio di statistica descrittiva è riportato in *tabella 8*.

Variable	N	Mean	SD	CV	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
TBF Fm.1	30	190.2	106.7	0.560	90.0	480.0	1.16	0.50
TBF Fm.2	9	620	433	0.699	16.0	1287	0.26	-0.95
TBF Fm.3	12	471.7	290.8	0.616	2.00	1131.5	0.94	1.77
TBF Fm.4	14	421.8	146.2	0.346	72.0	493.0	-2.11	3.18
TBF Fm.5	9	590	453	0.769	48.0	1344	0.58	*-0.51
TBF Fm.6	2	1203.5	58.7	0.048	1162.0	1245.0		
TBF-Mach	77	73.88	37.73	0.510	2.00	160.00	0.00	-0.90
TTR Fm.1	30	4.967	1.159	0.233	4.000	7.000	0.64	-1.22
TTR Fm.2	9	2.056	2.053	0.998	0.500	6.000	1.14	-0.17
TTR Fm.3	12	1.542	1.790	1.160	0.500	7.000	3.02	9.67
TTR Fm.4	14	6.857	2.107	0.307	1.000	8.000	-2.08	4.05
TTR Fm.5	9	2.056	2.297	1.117	0.500	6.000	1.41	0.32
TTR Fm.6	2	2.00	1.41	0.707	1.00	3.00		
TTR-Mach	77	4.058	2.607	0.642	0.500	8.000	0.02	-1.32

Tabella 8: Statistica descrittiva (Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010)

2.6.1.2. Le distribuzioni di probabilità

Definita la tipologia di distribuzione e la sua forma generale per ogni tipo di fermata (sia per i *TTR* che per i *TTF*) è necessario identificare la distribuzione di probabilità reale che approssima il comportamento dei tempi; infatti nella fase precedente si identifica una certa famiglia di distribuzioni, mentre in questa se ne sceglie una specifica.

Per identificare la distribuzione più adeguata esistono due approcci: il metodo empirico e le distribuzioni teoriche (Tsarouhas *et al.*, 2009).

Il primo metodo prevede di derivare le distribuzioni empiriche direttamente dai dati disponibili e non richiede la stima di alcun parametro caratteristico della distribuzione scelta.

Il secondo approccio invece si focalizza sull'identificazione della distribuzione teorica candidata ad approssimare il comportamento reale, stimando i parametri e facendo un test di *goodness-of-fit* per verificare quanto bene la distribuzione riesca a fittare i dati disponibili.

Come indicato da Tsarouhas *et al.* (2009), generalmente questo secondo approccio è preferito per vari motivi:

- Il modello empirico non fornisce nessuna informazione ulteriore oltre a quella disponibile dalla quantità di dati presi in considerazione;
- La determinazione della natura probabilistica dei tempi delle perdite è di grande interesse poiché, partendo da un campione piccolo rispetto al totale della popolazione, è possibile trovare la distribuzione da cui è originato il campione;
- Spesso i tempi persi sono il risultato di alcuni fenomeni descritti da certe distribuzioni reali;
- Piccoli campioni di dati forniscono una piccola informazione riguardo alle dinamiche dei tempi persi, mentre se si ha a disposizione una distribuzione è possibile avere uno strumento molto più potente basato sugli attributi delle distribuzioni teoriche.

Gli strumenti utilizzati per fare il test di *goodness-of-fit* si basano sul metodo del *maximum likelihood estimation*, cioè si va a definire la distribuzione che più si avvicina all'andamento reale dei dati rilevati.

Il principale test di *goodness-of-fit* utilizzato è quello di Anderson-Darling (Tsarouhas, 2009), ovvero un test di verifica d'ipotesi per determinare se un campione di valori può essere generato da una determinata variabile casuale; il test viene usato per testare una famiglia di distribuzioni e dunque i loro parametri e per definire la distribuzione di probabilità più adeguata per un certo insieme di dati. Più basso è il valore dell'indice di Anderson-Darling ottenuto dal test e più la distribuzione fitta meglio i dati.

Nel fare questo tipo di analisi è fondamentale anche definire l'intervallo di confidenza (e di conseguenza il livello di significatività) per realizzare la distribuzione, ovvero viene definito un intervallo con una precisa probabilità di contenere il vero parametro della popolazione; generalmente l'intervallo di confidenza è al 95%.

In questo test vengono dunque confrontate più distribuzioni di probabilità e il risultato si può ottenere in forma di valore numerico dell'indice (*tabella 9*) o anche in formato grafico (*figura 13*); nel secondo caso più i punti ottenuti si avvicinano ad una retta obliqua e sono contenuti tra due curve indicati nel grafico, tanto meglio la distribuzione approssima l'andamento dei dati.

Nel caso dei fenomeni di *downtime* la distribuzione che generalmente rappresenta meglio i dati di *TTR* e *TTF* è la Weibull (Tsarouhas, 2010), ma non sempre.

Distribution	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	Line
Weibull	2.367	0.543	1.724	0.904	1.117	1.573	1.263	1.304	3.173
Lognormal	0.729	0.845	0.725	0.611	1.041	2.037	1.561	1.376	4.712
Exponential	15.553	1.889	6.648	2.604	1.678	2.518	2.224	2.453	8.436
Loglogistic	0.799	0.681	0.774	0.635	0.985	1.374	1.282	1.284	4.679
Smallest extreme value	12.182	3.084	8.678	3.41	2.127	2.343	1.042	1.507	10.907
Normal	3.767	1.449	3.936	1.833	1.702	1.715	1.104	1.363	7.649
Logistic	2.555	1.146	2.424	1.604	1.681	1.589	1.048	1.386	7.586

Tabella 9: Esempio di *goodness-of-fit* con indice di Anderson-Darling (Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2012)

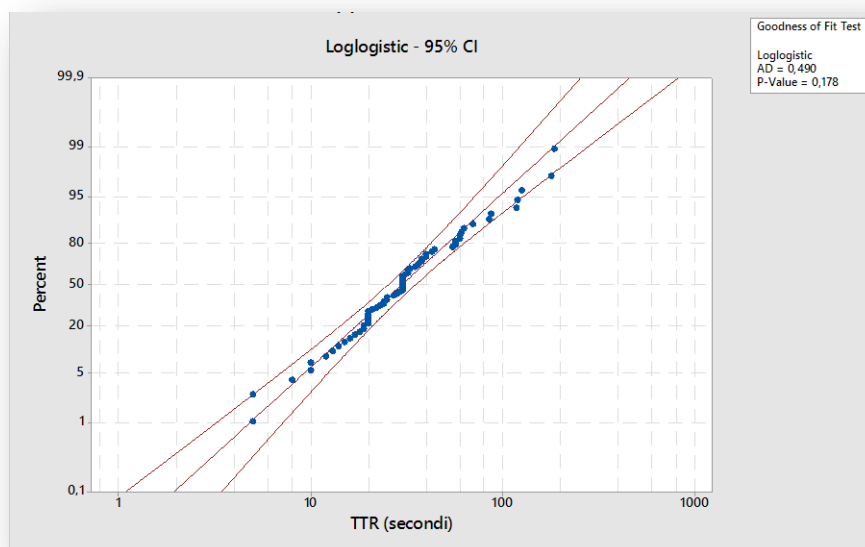


Figura 13: Esempio di *goodness-of-fit* grafico

CAPITOLO 3

ACQUA MINERALE SAN BENEDETTO S.P.A.

3.1. L'azienda

L'Acqua Minerale San Benedetto S.p.A. è una società internazionale italiana, con sede a Scorzè (VE), che fonda il suo *core business* nella produzione di acque minerali in bottiglia. L'azienda fu fondata nel 1956 dai fratelli Bruno ed Ermenegildo Scattolin, in seguito alla scoperta di una sorgente d'acqua nel sottosuolo delle campagne locali.

L'azienda inizialmente vedeva lavorare al proprio interno un numero esiguo di operai e il mercato era esclusivamente locale, con un *target market* piuttosto limitato e rivolto a specifiche categorie di persone. A partire dagli anni '70 l'azienda iniziò progressivamente la propria espansione, offrendo prodotti sempre più commerciali e di largo consumo; ciò fu dovuto sia all'accrescimento del potere d'acquisto dei consumatori (grazie al boom economico esploso in Italia a partire dagli anni '60) che al deterioramento delle condizioni ambientali che portarono le persone ad acquistare acque in bottiglia e non più ad utilizzare solo quella proveniente da pozzi o disponibile da piccole fonti. Il bacino di clienti dunque aumentò in modo consistente.

La società colse l'opportunità che le si presentò e decise di ampliare il più possibile il proprio mercato, grazie a strategie *market oriented* che vedevano il consumatore e il soddisfacimento delle sue esigenze come obiettivo principale e strategico per l'azienda, offrendo il prodotto giusto ad un prezzo competitivo e aggressivo. Il problema più grande all'epoca era l'utilizzo del vetro a rendere (VAR) come contenitore per i prodotti. Ciò costituì un grande ostacolo dal momento che il vetro è un materiale poco pratico, pesante, ingombrante e fragile; a questo si aggiunse il disagio per il cliente di dover restituire periodicamente al venditore le casse vuote. Questa situazione portò la San Benedetto a sviluppare ed investire in strategie e tecnologie per cercare di superare questi limiti intrinseci delle prime bottiglie di vetro utilizzate.

La prima soluzione adottata fu la riduzione del vetro usato nella produzione della bottiglia, in modo da realizzare contenitori più leggeri ed economici; ciò portò ad una notevole riduzione dei costi di produzione della singola bottiglia, tanto da essere considerata un vuoto a perdere (VAP), senza dover più richiedere il ritorno dei contenitori vuoti poiché il costo del recupero e riutilizzo superava quello di produzione. Questo condusse da un lato all'aumento del prezzo

del prodotto sul mercato (poiché non si recuperavano più le bottiglie vuote), ma dall'altro eliminò l'onere della restituzione dei contenitori da parte dei consumatori.

Negli anni '70 la San Benedetto era ancora una realtà regionale e fortemente legata al territorio, come del resto anche gli altri *competitor*. Infatti l'acqua era sempre stata considerata un prodotto "povero", con un basso margine di contribuzione unitario, con dei costi di trasporto che incidevano notevolmente sul prezzo di vendita, al punto di non permettere alle aziende di estendere il proprio mercato al di fuori della regione di appartenenza.

Negli anni '80 l'azienda riuscì finalmente a superare i limiti imposti dall'utilizzo del vetro, diventando una delle società più innovative nel mercato: il contenitore in PET (polietilene tereftalato). L'utilizzo di questo materiale fu una vera e propria rivoluzione nel mercato dell'imbottigliamento: il peso, l'ingombro, la fragilità di manipolazione e movimentazione del contenitore e i costi furono drasticamente ridotti, permettendo di espandere il proprio mercato al di fuori della realtà regionale, senza far incidere in modo eccessivo i costi di trasporto sul prezzo finale al consumatore. L'azienda era quindi in grado di offrire un prodotto altamente innovativo, ad un prezzo competitivo e ricoprendo un'estensione territoriale e una quota di mercato assai più vasta dei concorrenti. L'Acqua Minerale San Benedetto diventò così un'azienda leader nel mercato nazionale delle acque minerali, grazie alla sua abilità nel soddisfare al meglio le esigenze del cliente, poste al centro della propria strategia *corporate*.

Per essere sempre pronta a rispondere alle richieste dei propri clienti, la direzione investì molte risorse nell'integrazione verticale dell'azienda; inizialmente infatti la fabbrica si occupava esclusivamente dell'imbottigliamento dell'acqua, importando i contenitori in PET dal Giappone e dagli USA. Intuendo però l'importanza strategica di tale innovazione, l'azienda cercò di portare all'interno questa attività per mantenere il *know how* e utilizzarlo come leva competitiva di successo; per questo fece ingenti investimenti in impianti per la produzione di contenitori in PET, di cui si occupa, ad esempio, la Sipa di Vittorio Veneto.

La compagnia quindi non si limitava più solamente ad imbottigliare acqua, ma fabbricava anche contenitori e tappi, e in breve tempo passò alla progettazione stessa del contenitore e alla realizzazione degli stampi per produrlo; l'obiettivo era sempre lo stesso, ovvero offrire al consumatore un prodotto ad elevato contenuto innovativo, e superare i concorrenti nel *time to market* dei loro nuovi prodotti, mantenendo al contempo prezzi competitivi e qualità elevata.

Nel 1984 la compagnia firmò un accordo con Cadbury Schweppes International per produrre e distribuire in Italia i loro prodotti; un altro accordo importante venne firmato nel 1988, con Pepsi and Co. International, allargando la produzione e distribuzione anche a prodotti Pepsi e

Seven up. Risultò così evidente la nuova *mission* aziendale: espandersi oltre il confine italiano, grazie alla *partnership* con grandi marchi esteri, in modo da farsi conoscere anche al di fuori del loro mercato originale.

Nel 1997 venne aperto in Spagna uno stabilimento San Benedetto, che produce l'acqua minerale Fuente Primavera, nella zona di Valencia, mentre oltreoceano un altro importante stabilimento estero ha sede in Repubblica Dominicana, producendo dalla fonte Agua Santa Clara.

In seguito, grazie ad un accordo commerciale con la società Danone, venne costituita in Polonia la società Polska Woda, espandendo la compagnia anche nell'Est Europa.

La società stava dunque perseguendo il proprio obiettivo, ovvero essere presente in quanti più mercati possibili, collocandosi il più vicino possibile al consumatore per rispondere in modo più veloce e tempestivo alle sue esigenze.

L'azienda negli anni '90 si espanse ulteriormente in Italia, aprendo nuovi stabilimenti: il primo a Popoli (Pescara) con l'obiettivo di servire un mercato leggermente diverso, cioè quello della grande distribuzione e degli *hard discount*, con un prodotto economico realizzato proprio per tale tipologia di clientela, con il marchio Gran Guizza S.p.A.. Successivamente vennero acquisiti altri due stabilimenti, uno a Biella (vicino Torino) con il marchio Alpe Guizza S.p.A. dalla fonte Caudana, e uno nel Lazio con il marchio Acqua di Nepi S.p.A., che produce acqua effervescente naturale. Nel 2015 è stato acquisito un altro sito produttivo a Viggianello (Potenza), ancora in fase di avviamento, per rafforzare maggiormente la presenza in tutta Italia. L'espansione sul territorio nazionale consente all'azienda di affermarsi come leader, servendo al meglio le aree di competenza, riducendo i tempi di approvvigionamento ai punti vendita e i costi di trasporto. Inoltre, grazie agli stabilimenti oltreconfine e alle *joint venture* con marchi quali Schweppes e Pepsi, la San Benedetto ha aperto stabilimenti anche in Francia, Belgio, Ungheria, Messico e Germania. L'espansione della società, partita da una realtà esclusivamente regionale, è stata molto forte, portandola ad essere una delle più grandi e radicate sul territorio internazionale.

Una seconda innovazione tecnologica che la compagnia introdusse per prima in Italia nel 1993 fu la produzione di bibita senza conservanti in ambiente asettico, affermandosi e confermandosi sempre più come marchio fortemente innovativo e attento alle esigenze e ai trend del mercato, al fine di soddisfare al meglio i clienti.

La San Benedetto è ormai una realtà molto lontana dalla piccola azienda locale degli anni '60, presentandosi come una società leader nel mercato nazionale e non, commercializzando non più solo acqua minerale a marchio proprio, ma anche bibite lisce e gassate, e prodotti per altre firme importanti come Ferrero, Pepsi, Schweppes e Coca-Cola.

I nuovi obiettivi vedono l'azienda impegnarsi fortemente nella sostenibilità ambientale della propria attività, intraprendendo un percorso verso una cultura industriale mirata all'ecosostenibilità. La compagnia investe pesantemente in tecnologie che portano a migliorare il processo produttivo, riducendo la quantità di plastica utilizzata e analizzando l'impatto ambientale dell'imbottigliamento dell'acqua in tutti i suoi aspetti, tramite studi di Life Cycle Assessment (LCA).

L'azienda attualmente ha un fatturato di circa 700 milioni di euro, di cui 600 riferiti al solo stabilimento di Scorzè, un numero di dipendenti pari a circa 1800, e una presenza su scala mondiale estesa ormai a circa 98 paesi.

3.2. I prodotti

La San Benedetto produce una grande varietà di prodotti (*figura 14*), che possono essere così suddivisi:

- a) Acqua, gassata e naturale, che varia in base alla fonte di prelievo:
 - San Benedetto
 - Guizza
 - Acqua di Nepi
 - Primavera
 - Viviva
- b) Bibite gassate, principalmente Guizza e San Benedetto, che producono bibite quali:
 - cole
 - aranciate
 - toniche
 - chinotti
 - lime
 - pompelmi
 - altro
- c) Bibite piatte, ovvero:
 - bevande a base di frutta (Batik, Oasis e Tropic)
 - thè (San Benedetto, Summer Emotion e Guizza)
 - reintegratori idrosalini (Acquavitamin e San Benedetto Ice Formula Zero)
- d) Aperitivi, quale San Benedetto Ben's;
- e) Sportdrinks, quale Energade.

Inoltre sono da aggiungere tutti i prodotti che l'azienda produce per conto di terzi, ovvero Schweppes, Pepsi e Ferrero.

Per quanto riguarda i contenitori, si hanno tre tipologie di materiale utilizzato: il vetro, il quale ricopre una piccola parte della produzione (tre linee di imbottigliamento su ventidue), le lattine di alluminio e il PET.

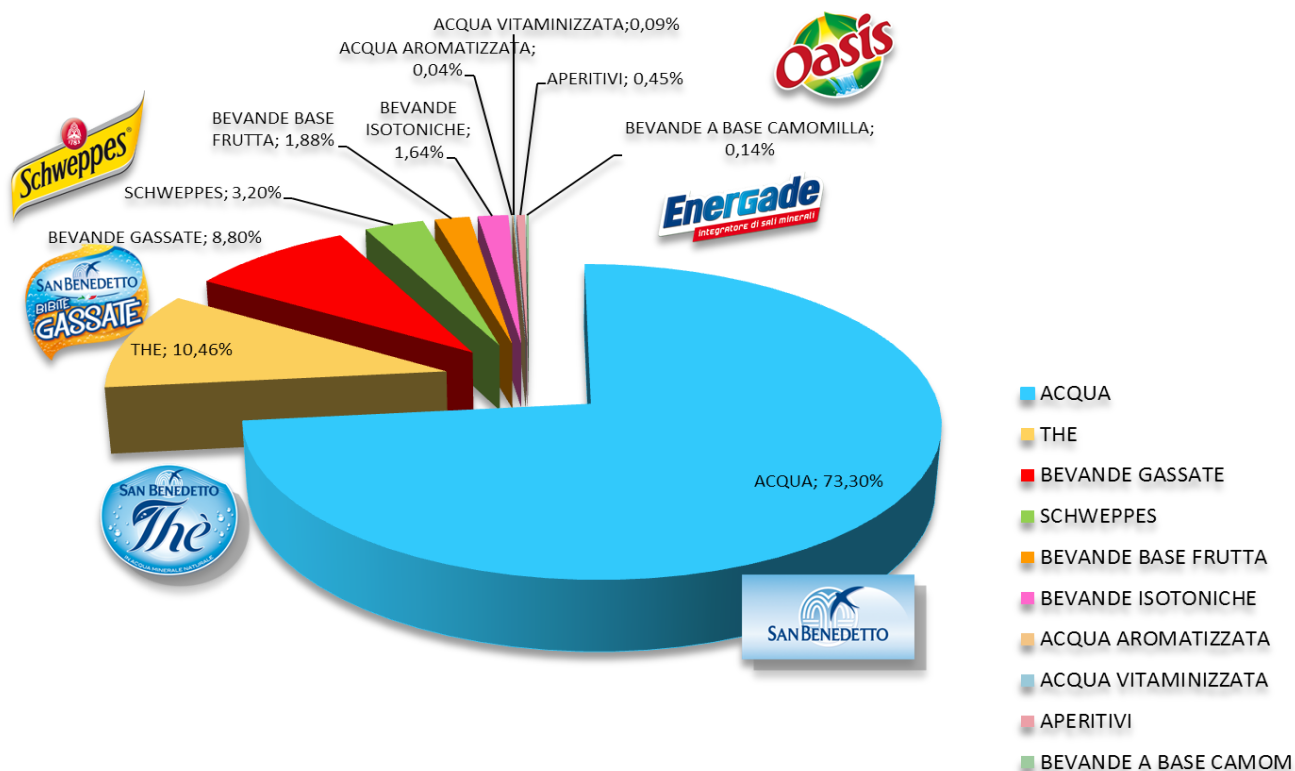


Figura 14: Prodotti dell'azienda

I formati proposti dall'azienda sono i più vari:

- Bottigliette di aperitivo in vetro da 0,10 litri;
- Bottigliette di aperitivo in vetro da 0,18 litri;
- Bottiglie da 0,25 litri;
- Bottiglie da 0,33 litri;
- Bottiglie da 0,4 litri;
- Bottiglie da 0,5 litri;
- Bottiglie da 0,6 litri;
- Bottiglie da 0,75 litri;
- Bottiglie da 1 litro;
- Bottiglie da 1,25 litri;
- Bottiglie da 1,5 litri;
- Bottiglie da 1,75 litri;

- Bottiglie da 2 litri;
- Lattine da 0,25 litri;
- Lattine da 0,33 litri.

Oltre a differenziarsi per il volume e il materiale, i contenitori si differenziano anche per forma, colore, consistenza e tappo, esplodendo in una grande varietà di prodotto da gestire.

3.3. Gli impianti di imbottigliamento

In San Benedetto sono presenti 22 linee di imbottigliamento, di cui 3 producono bottiglie in vetro, una è dedicata alle lattine e 18 alle bottiglie in PET (di cui 6 producono in ambiente asettico). Ognuna ha le proprie macchine e delle caratteristiche peculiari.

Le linee sono così suddivise:

- Linea A: imbottigliamento di acqua in contenitori in vetro;
- Linea R: imbottigliamento di acqua/aperitivi in contenitori in vetro;
- Linea N: imbottigliamento di acqua/aperitivi in contenitori in vetro;
- Linea O: imbottigliamento di bibita in lattina;
- Linea B: imbottigliamento di bibita gassata;
- Linea T: imbottigliamento di bibita gassata;
- Linea K: imbottigliamento di bibita gassata e acqua;
- Linea E: imbottigliamento di bibita gassata;
- Linea U: imbottigliamento di acqua naturale;
- Linea S: imbottigliamento di acqua gassata e naturale;
- Linea L: imbottigliamento di acqua naturale;
- Linea C: imbottigliamento di acqua gassata e naturale;
- Linea M: imbottigliamento di acqua naturale;
- Linea J: imbottigliamento di acqua gassata e naturale;
- Linea G: imbottigliamento di acqua naturale;
- Linea P: imbottigliamento di acqua gassata e naturale;
- Linea D : imbottigliamento di bibita in ambiente asettico;
- Linea Q: imbottigliamento di bibita in ambiente asettico;
- Linea H: imbottigliamento di bibita in ambiente asettico;
- Linea V: imbottigliamento di bibita in ambiente asettico;
- Linea I: imbottigliamento di bibita in ambiente asettico;
- Linea F: imbottigliamento di bibita in ambiente asettico.

CAPITOLO 4




IL PROCESSO DI IMBOTTIGLIAMENTO

4.1. La linea di imbottigliamento

Una linea di imbottigliamento è costituita da una serie di macchine automatiche in sequenza, supervisionate da degli operatori, le quali hanno ricevono in *input* i contenitori vuoti e forniscono in *output* il prodotto finito pallettizzato, pronto per essere prelevato manualmente dai carrellisti o inviato nel magazzino automatico.

Di seguito vengono presentate, seguendo il flusso produttivo, le macchine di una generica linea di imbottigliamento, che può riferirsi a bottiglie in PET contenenti acqua o bibite che non richiedono particolari ambienti protettivi. Infatti nel caso di bottiglie in vetro o lattine si hanno macchinari differenti, pur seguendo un principio simile, e nel caso di bibita che necessita di un ambiente sterile si parla di imbottigliamento asettico, che presenta alcune differenze (una su tutte la camera asettica).

Un *layout* generale per una linea di imbottigliamento acqua in PET è quello presentato in *figura 15* e che viene approfondito nei paragrafi seguenti (è un *layout* semplificato che utilizza il cerchio come simbolo per le stazioni di lavoro e il triangolo rovesciato per i *buffer* e l'immagazzinamento finale). Una rappresentazione più rigorosa invece è riportata in *tabella 10*, dove la linea viene rappresentata utilizzando la simbologia ASME (American Society of Mechanical Engineers) per i flussi produttivi (ASME, 1947), che ha i seguenti significati:

-  : operazione, cioè tutte le attività che determinano intenzionalmente un cambiamento nelle caratteristiche fisiche o chimiche di un oggetto, che ne determinano l'assemblaggio o il disassemblaggio da un altro oggetto, o che preparano l'oggetto per un'altra operazione o per il trasporto o per l'immagazzinamento;
-  : trasporto, cioè quando un oggetto viene movimentato da un posto ad un altro, tranne quando tali movimenti sono parte dell'operazione stessa o sono causati dall'operatore durante l'operazione o l'ispezione;
-  : ispezione, ovvero quando un oggetto viene esaminato per identificare o verificare delle caratteristiche di qualità o di adeguata quantità per una qualsiasi delle sue caratteristiche;

- \square : ritardo, che accade quando le condizioni operative non permettono all'oggetto di entrare subito nella successiva operazione (ad esclusione delle operazioni già classificate); in questo caso vengono considerati come i *buffer*;
- ∇ : immagazzinamento, quando un oggetto viene protetto da ogni accesso non autorizzato;
- \square : azioni combinate, cioè quando due azioni vengono eseguite in contemporanea, ad esempio dall'operatore; in questo caso si tratta di un'operazione più un'ispezione effettuata contemporaneamente.

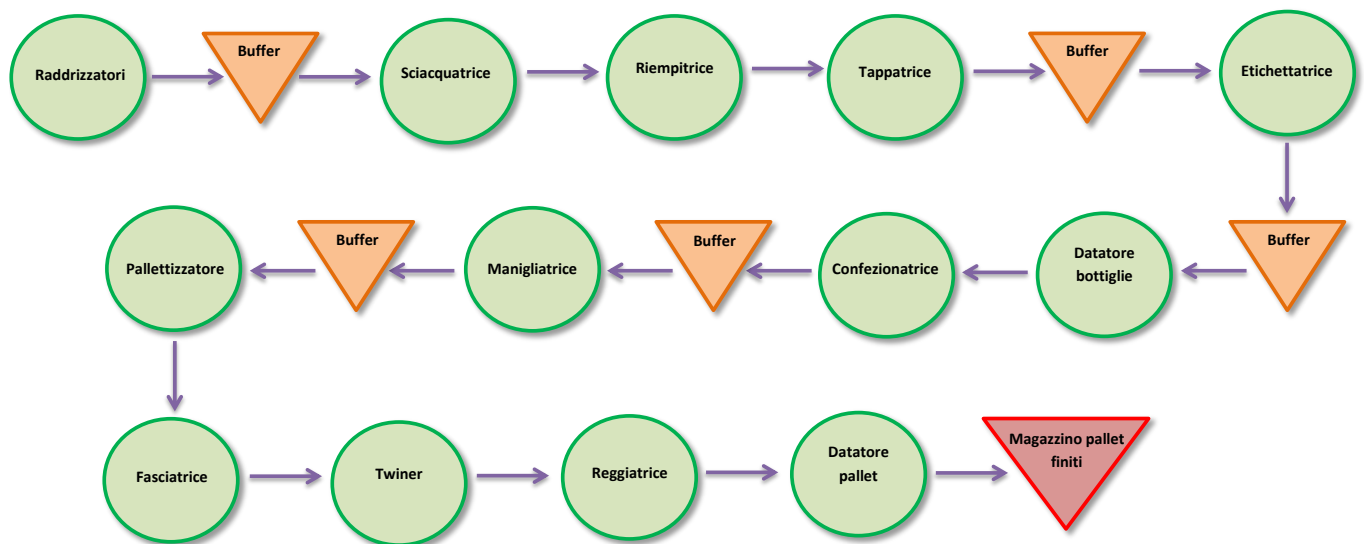


Figura 15: Layout linea di imbottigliamento




































Simbolo ASME	Attrezzatura/funzione
	Raddrizzatori
	Trasporti Convair
	Buffer
	Sciacquatrice
	
	Riempitrice
	
	Tappatrice
	
	Controllo tappo
	
	Buffer
	Etichettatrice
	Controllo etichetta
	
	Datatore bottiglie
	
	Buffer
	Confezionatrice
	
	Buffer
	Manigliatrice
	
	Buffer
	Pallettizzatore
	
	Fasciatrice
	
	Twiner
	
	Reggiatrice
	
	Datatore pallet
	
	Immagazzinamento pallet finiti

Tabella 10: Layout linea di imbottigliamento con simbologia ASME

4.1.1. Il raddrizzatore

Il primo macchinario che si incontra è la macchina ordinatrice, o raddrizzatore (*figura 16*); la sua funzione è quella di ordinare la bottiglia di PET secondo una ben precisa posizione poiché i contenitori vengono versati alla rinfusa da una tramoggia, collegata tramite nastri trasportatori aerei ai silos, nei quali vengono immagazzinate le bottiglie provenienti dalle soffiatrici, cioè macchine che realizzano le bottiglie per *blow molding*; all'uscita la bottiglia viene posizionata su un nastro trasportatore ad aria. Il concetto alla base del suo funzionamento è simile a quello delle tazze vibranti per alimentare le postazioni di assemblaggio automatizzato, con la differenza che qui non vengono utilizzate le vibrazioni per orientare correttamente il prodotto ma con l'analogia della presenza di alcune trappole sulla salita che fanno cadere le bottiglie non orientate correttamente. In azienda sono presenti varie tipologie di questa macchina, differenti sia per costruttore che per modello, ma il principio di funzionamento è simile.

Le bottiglie entrano dall'alto alla rinfusa e si posizionano nella parte periferica di una struttura conica per effetto della gravità; qui le bottiglie si inseriscono in apposite celle e, attraverso un sistema pneumatico ad aria, si posizionano verticalmente con l'imboccatura rivolta verso l'alto. Qui si trovano in una struttura portante in rotazione, ove scendono attraversando un canale e si posizionano in un alveolo apposito; da qui vengono prelevate da una ruota dentata a stella rotativa d'uscita, comandata dalla stessa motorizzazione della macchina e quindi in fase con quest'ultima. La stella accompagna la bottiglia sul nastro aereo, il quale trasporta le bottiglie fino alla macchina successiva, tramite delle guide che sostengono la bottiglia sul collo. In fase d'uscita è presente lo sgancio pneumatico, ovvero un sistema che espelle la bottiglia in caso non sia posizionata correttamente o capovolta, consentendo l'apertura delle guide per pochi istanti tali da consentire la caduta del contenitore.



Figura 16: Il raddrizzatore

4.1.2. I trasporti aerei – Convair

I trasporti aerei (*figura 17*) sono dedicati al trasporto di bottiglie vuote, e sono costituiti da guide che mantengono la bottiglia in posizione verticale, sostenendola sul collo e lasciandola quindi in sospeso dal suolo. Le bottiglie si muovono grazie all'azione dell'aria compressa, generata da delle soffianti poste a determinati intervalli lungo le linee aeree, alimentate a loro volta da motori elettrici.

La lunghezza dei nastri dipende da vari fattori, in quanto tanto più è lungo tanto più si ha un certo *buffer* tra le due stazioni di lavoro, ma ciò comporta svantaggi in termini di costi energetici, di manutenzione e di gestione; è necessario dunque trovare la soluzione che minimizza i costi. Il numero di soffianti (e quindi di motori elettrici) è proporzionale alla lunghezza del trasporto.

Sono inoltre presenti due fotocellule posizionate rispettivamente a circa tre e sei metri dal raddrizzatore, le quali servono a modulare il funzionamento della macchina in caso si crei un accumulo a valle. La fotocellula più distante ha la funzione di rallentare, cioè di portare il raddrizzatore alla velocità minima, mentre quella più vicina di arrestare la macchina stessa.



Figura 17: I trasporti Convair

4.1.3. La sciacquatrice

La sciacquatrice è la prima macchina della cosiddetta "zona bagnata" ed è costituita da una grande giostra rotativa e da due stelle, una d'ingresso e una d'uscita (*figura 18*). All'ingresso della macchina è presente una coclea con la funzione di distanziare correttamente i contenitori in ingresso e accompagnarli alla ruota dentata a stella. La sua funzione principale è di disinfettare le bottiglie prima del riempimento poiché nel loro percorso fino a prima della tappatrice possono venire in contatto con polvere o altre sostanze; fino a quando la bottiglia non viene tappata prosegue il suo percorso protetta dal contatto esterno, in modo da non vanificare l'operato della sciacquatrice.

La stella in ingresso porta la bottiglia alla giostra principale, dove viene prelevata da delle pinze, capovolta, disinfettata e sciacquata tramite un sistema di valvole di risciacquo. Il contenitore compie un terzo della rotazione in fase di iniezione, dove una cannetta inietta del disinfettante che viene prelevato da un distributore; un terzo della rotazione è invece dedicata alla fase di risciacquo con acqua ed infine vi è la fase di scarico. Il contenitore viene poi riposizionato con l'imboccatura verso l'alto per essere restituito alla stella d'uscita in posizione verticale con l'imboccatura rivolta verso l'alto completamente vuoto, pulito e disinfettato. La motorizzazione è protetta e si trova sul basamento della giostra principale, comandando sia le stelle che la coclea che la giostra stessa, in modo tale che risultino sempre in fase.



Figura 18: La sciacquatrice

4.1.4. La riempitrice

A questo punto avviene l'ingresso in riempitrice (*figura 19*), cioè la macchina adibita al trasferimento del prodotto nel contenitore (fase di *filling*) e cuore del processo di imbottigliamento. Essa è anche il "collo di bottiglia" (*bottleneck*), ovvero la macchina che determina la cadenza dell'intera linea.

La riempitrice è costituita da una coclea in ingresso, o due in base al formato, che distanzia i contenitori e li accompagna verso la stella in ingresso; c'è anche un sistema di bloccaggio che impedisce alla bottiglia di entrare in caso di un problema o di un difetto, come una bottiglia schiacciata o un inciampo. La stella trasferisce i contenitori alla giostra centrale, dove si posiziona su dei piattelli; dei pistoni li fanno sollevare e la bottiglia aderisce alla guarnizione della campanella di centraggio del rubinetto, raggiungendo così il corretto posizionamento del contenitore e la tenuta durante la fase di riempimento.

La bottiglia viene messa in pressione, grazie ad un comando che apre la valvola e fa defluire nella bottiglia gas inerte proveniente da un serbatoio; quando la bottiglia raggiunge la stessa pressione del serbatoio inizia la fase di riempimento isobarometrico, con una durata pari al tempo di rotazione della giostra. Il prodotto viene fatto laminare all'interno del contenitore e deviato verso le pareti della bottiglia da un deflettore conico posto sulla cannetta di iniezione del prodotto. Il gas contenuto nella bottiglia tende così a rientrare nel serbatoio forzato dal liquido che fluisce pian piano nella bottiglia fino ad occupare quasi tutto il volume disponibile.

La valvola di riempimento è realizzata in modo tale da consentire il deflusso del prodotto ed impedire il reingresso in bottiglia del gas. Un comando meccanico fa chiudere la valvola di riempimento e viene azionata la valvola di decompressione che consente la fuoriuscita del gas residuo. La giostra a questo punto incontra una camma che fa scendere il piattello e libera la bottiglia dal martinetto.

La bottiglia viene prelevata dalla stella in uscita, accompagnandola direttamente alla tappatrice, posta immediatamente dopo la riempitrice.

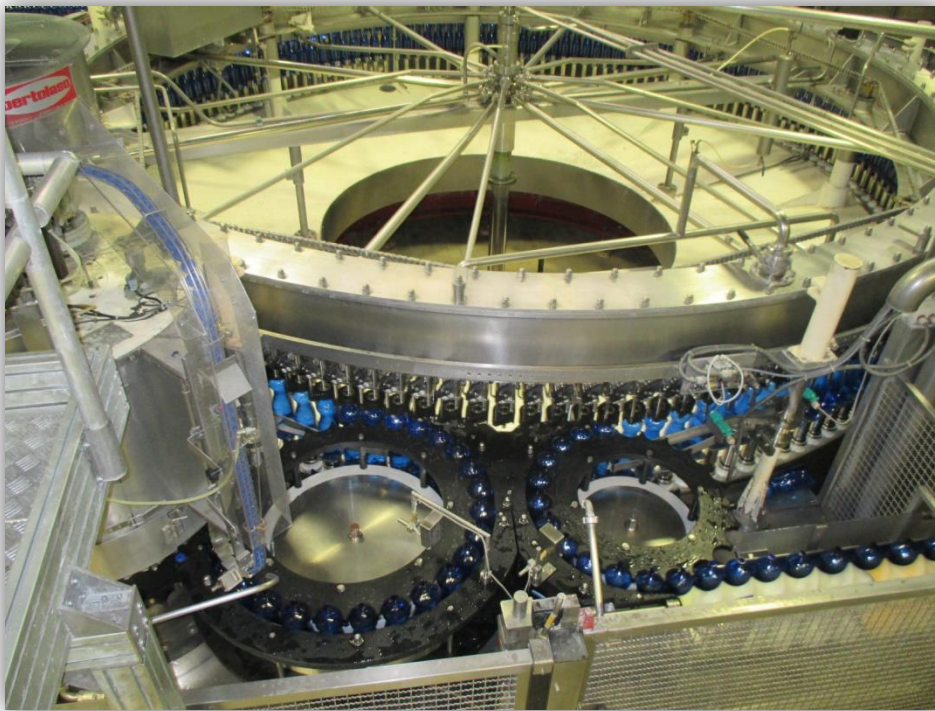


Figura 19: La riempitrice

4.1.5. La tappatrice

La tappatrice ha la funzione di chiudere il contenitore pieno, tramite l'applicazione del tappo (*figura 20*).

I tappi vengono caricati dall'operatore su una tramoggia e portati ad una determinata temperatura; il riscaldamento serve per dare al materiale plastico di cui è costituito il tappo le adeguate proprietà meccaniche per il processo di avvitarlo: un'elevata durezza potrebbe portare a problemi quali la deformazione della bottiglia stessa o una difficoltà nella chiusura. Una volta scaldato, il tappo entra in un tubo grazie all'azione di una soffiante ad aria compressa che gli fa percorrere un tratto fino a raggiungere una tramoggia nella quale viene orientato correttamente e infine confluisce nella canale tappi, cioè un canale che accompagna

il tappo in modo ordinato nella corretta posizione sulla parte superiore della bottiglia. A questo punto la bottiglia viene tenuta in posizione da un collarino antirotazione ed il tappo viene avvitato dalla testa tappante. Il prodotto è sigillato e qui termina la fase "bagnata" della linea. Le bottiglie da questo punto in poi procedono su dei nastri trasportatori dotati sempre di due sensori tra macchina e macchina, uno di rallentamento e uno di fermata, che consentono di graduare e controllare l'avanzamento delle bottiglie, in modo tale da non avere accumuli eccessivi o vuoti.



Figura 20: La tappatrice

4.1.6. L'etichettatrice

L'etichettatrice (*figura 21*) provvede all'applicazione dell'etichetta sul contenitore; mentre le macchine precedenti seguono lo stesso principio e hanno una piccola varietà di costruttori, le etichettatrici sono più varie e seguono principi leggermente differenti. In particolare il funzionamento è differente a seconda che si utilizzi una bobina di etichette di plastica o un pacco di etichette di carta. Di seguito viene descritto il funzionamento dell'etichettatrice con bobina.

In linea generale è presente una coclea in ingresso che distanzia le bottiglie e successivamente una stella rotativa che le preleva e le accompagna sulla giostra centrale. Qui le bottiglie sono poste su un piattello, messo in rotazione, e tenute in posizione da un martinetto che poggia sulla testa della bottiglia in modo da indurre una certa pressione. La bobina viene caricata su un supporto rotante e, tramite una serie di rulli, viene svolto e portato alla zona di taglio. Qui,

grazie a un sensore che determina il momento in cui tagliare leggendo una tacca sull'etichetta, questa viene tagliata e prelevata da un rullo di trasferimento detto *vacuum*, opportunamente forato e, attraverso un sistema di aspirazione (sistema di vuoto, da cui il nome *vacuum*), mantiene l'etichetta aderente alla superficie del rullo. L'etichetta viene a contatto con il rullo colla, dove riceve un prefissato quantitativo di resina alle due estremità, per poi essere fatta aderire con il contenitore, il quale, ruotando, preleva l'etichetta che lo avvolge. Una spazzola in uscita con cui viene a contatto il contenitore assicura l'adesione dell'etichetta alla bottiglia, che viene poi prelevata dalla stella in uscita e rimessa sul nastro di trasporto verso la confezionatrice.



Figura 21: L'etichettatrice

4.1.7. La confezionatrice

La confezionatrice provvede alla formazione del pacco (o fardello) che può essere costituito da quattro, sei o dodici bottiglie (*figura 22*).

Le bottiglie, che arrivano in posizione verticale dai nastri di trasporto, vengono separate e ordinate correttamente in un determinato numero di file da un sistema di guide opportunamente sagomate. Un sistema di sensori verifica che non ci siano vuoti o bottiglie cadute, che potrebbero mandare in allarme la macchina. Le file di bottiglie vengono poi distanziate da dei traversini, ovvero delle aste che ruotando creano uno spazio tra le file: le bottiglie vengono così separate a distanze regolari e formano il fardello pronto per essere avvolto. Nella parte sottostante della macchina, contemporaneamente all'avanzamento delle bottiglie, la bobina di film viene svolta da opportuni rulli e trascinata verso la zona di taglio; qui

è presente un coltello a lama rotante e una controlama fissa, comandati da un sensore che legge una tacca sul film in modo che questo venga tagliato correttamente. Sono presenti anche dei sensori che verificano il tensionamento del film in modo che non sia lasco e che il taglio avvenga in modo adeguato. Il film sale lungo un tappeto forato, dotato di un sistema di vuoto analogo a quello dell'etichettatrice, che lo fa aderire ad esso; viene poi prelevato da un traversino avvolgofilm, che confeziona il fardello con il film. A questo punto le bottiglie piene, etichettate e fasciate dal film, proseguono il loro percorso nel forno di retrazione per qualche secondo, dove l'elevata temperatura fa retrarre il film fino a farlo aderire al fardello, senza compromettere le caratteristiche microbiologiche del prodotto.

Il fardello esce dal forno leggermente caldo e prosegue attraverso dei trasporti a nastro o a rullo verso le macchine a valle, lungo i quali si raffredda fino a temperatura ambiente.

La confezionatrice può anche essere dotata di una cartolinatrice, cioè un'attrezzatura che permette l'inserimento di cartoline promozionali all'interno dei pacchi; questa è costituita da delle guide in cui vengono inserite le cartoline e da delle cinghie che permettono la discesa della cartolina.



Figura 22: La confezionatrice

4.1.8. La manigliatrice

La funzione della manigliatrice è di applicare la maniglia sul fardello, in modo che poi per il consumatore finale sia più semplice la presa ed il trasporto.

Questa macchina non è sempre presente, poiché ad esempio nel formato da 0,5 litri non è necessaria, oppure può avere due tecnologie fondamentali: come macchina *stand alone* o integrata nella confezionatrice. Il funzionamento comunque è praticamente identico.

Per permettere il lavoro della macchina vengono caricate una bobina di maniglie di carta e una di scotch su degli appositi supporti rotanti; grazie a dei rullini le due bobine vengono svolte e la maniglia viene a contatto con lo scotch aderendo; il nastro così ottenuto entra in macchina dove attraversa vari rullini fino ad arrivare ad una unità di taglio, costituita da una lama, che, rilevando una tacca, taglia la maniglia della lunghezza corretta e poi viene applicata da dei pennellatori sul fardello. In seguito il pacco prosegue il suo percorso lungo i trasporti fino al pallettizzatore.

4.1.9. Il pallettizzatore

Il pallettizzatore provvede alla formazione dei vari strati di pacchi che vengono collocati sui pallet per poi essere messi a magazzino o caricati su camion (*figura 23*).

Il pallettizzatore riceve i fardelli in ingresso e, attraverso una serie di nastri distanziatori e divisori, crea uno strato di fardelli su una rulliera di preparazione strato. Essi sono posizionati in modo predeterminato e preprogrammato da dei puntali girapacchi comandati da un software. Una volta creato lo strato gli spintori lo accompagnano lungo la rulliera verso una piattaforma mobile apribile; il pallet si posiziona, attraverso un dispositivo di sollevamento, sotto allo strato appena formato; la piattaforma si apre e fa scendere i fardelli sul bancale. Quando questo è completo la rulliera di trasporto dove questo si trova lo trasporta alla fasciatrice.

Il pallettizzatore è costituito anche da un magazzino di pallet vuoti, che deve essere rifornito periodicamente dai carrellisti, e di un magazzino di interfalde, cioè dei cartoni che separano i vari strati di fardelli per conferire maggiore stabilità e robustezza al bancale finito, posizionati da un dispositivo intercalare composto da ventose con un sistema di aspirazione ad aria, denominato "ragno".



Figura 23: Il pallettizzatore

4.1.10. La fasciatrice

La fasciatrice riceve il pallet appena formato e lo avvolge con il film in modo da sigillarlo, per poi essere datato e spedito; la sua funzione è di rendere il bancale molto stabile e di impedire la caduta dei fardelli durante il trasporto (*figura 24*).

Il pallet arriva su una rulliera e si ferma in una posizione predeterminata; un anello rotante scende attorno al bancale e inizia a ruotare applicando il film, avvolgendolo fino a dargli una certa stabilità; il film viene poi tagliato e fissato ed il pallet prosegue fino a fine linea, dove viene scaricato dai carrellisti oppure entra nel magazzino automatico.



Figura 24: La fasciatrice

4.1.11. Altre macchine presenti sulla linea

Oltre alle macchine principali, sulle linee ne sono presenti altre, opportunamente collocate, per il controllo del prodotto, con relativi sistemi di espulsione; esse verificano la presenza di corpi estranei, la conformità del contenitore e il livello di riempimento. Qualora la bottiglia non rispecchi gli standard qualitativi definiti dalle normative e dalle politiche interne viene espulsa dalla linea, finendo a scarto e venendo poi smaltita.

Sono inoltre presenti dei datatori, detti anche macchine mobili in quanto non sono fissi sulle linee, ma possono essere facilmente spostati; essi marchiano la bottiglia sul collo e/o sul tappo, siglando il prodotto con la data di confezionamento, scadenza, lotto produttivo *et al.* dati aggiuntivi.

Su alcune linee sono presenti anche altre macchine fondamentali, utilizzate quando vi è la produzione di minipallet (o *half pallet*): il twiner, ovvero una attrezzatura che inserisce un Europallet al di sotto dei minipallet, e la reggiatrice, cioè una macchina simile alla fasciatrice come funzionamento, la quale applica in punti specifici e prefissati una reggetta che conferisce maggiore stabilità all'intero bancale composto dai due *half pallet*.

Si ha poi l'etichettatrice pallet, posta a fine linea, che stampa e incolla sul pallet confezionato, un'etichetta che lo identifica univocamente e ne permette la registrazione nel sistema informativo aziendale.

4.2. Il personale della linea

Il personale adibito al corretto funzionamento di una linea di imbottigliamento può essere suddiviso in due categorie fondamentali: il personale di produzione ed il manutentore. Essi hanno naturalmente ruoli diversi ma entrambi sono responsabili per le prestazioni dell'impianto.

Vengono ora analizzati i compiti di entrambi:

- L'operatore di produzione ha il compito di visionare una parte della linea, solitamente due o tre macchinari, in base alla complessità di questi; può anche essere responsabile di macchine di linee diverse se sufficientemente vicine. Egli ha il compito di intervenire in caso di allarmi di rallentamento o di fermo macchina; ad esempio spesso capita di avere una bottiglia caduta o un pacco caduto, e solo l'intervento di un operatore può ripristinare la macchina. Inoltre ha il compito di cambiare le varie bobine e tutti i materiali che vengono consumati sulla macchina di riferimento. Egli ha compiti per lo più di supervisione e controllo, ed è di supporto in caso di interventi dei manutentori. In ogni caso ha l'autorizzazione a fare solo piccoli interventi per ripristinare la marcia della macchina, ma non nel caso di problemi meccanici o elettrici o altri più gravi, come un guasto. Un particolare operatore è il conduttore di linea, ovvero il responsabile della linea per un dato turno produttivo. Infatti molte linee lavorano su due o tre turni giornalieri, e data la necessità di avere sempre un responsabile della linea, il conduttore varia da turno a turno. Egli assume anche mansioni decisionali, coordina gli altri operatori, effettua le richieste di intervento ed è addetto all'avviamento dei macchinari; ha una maggiore autonomia nella risoluzione dei problemi ed è colui il quale deve provvedere ai *setup* della linea, poiché è l'unica persona autorizzata. Egli ha una maggiore conoscenza della linea e delle sue problematiche rispetto agli operatori di produzione. Infine c'è il tecnico di linea (TL), ovvero colui a cui si fa riferimento in termini di responsabilità della linea. Il TL è una figura fissa, che non varia con i turni e di cui non è necessaria una presenza costante; egli possiede conoscenze tecniche tali da poter gestire l'efficienza e la disponibilità della linea a cui fa capo. Ad ogni TL sono assegnate due linee, ed egli ha il compito di

monitorare la linea e di garantire le *performance* stabilite dalla produzione; ha acquisito un'ottima conoscenza ed esperienza delle macchine delle linee a lui affidate, in particolare riguardo ai punti critici ed ai componenti di ricambio. Egli deve essere sempre informato su tutto quello che accade in termini di interventi, ed è colui cui si fa riferimento in caso di suggerimenti migliorativi o segnalazioni di anomalie; è inoltre l'unica persona autorizzata a fare interventi di minore entità sulla linea;

- Il manutentore, a differenza dell'operatore, non è direttamente legato alla produzione ma si occupa, come il nome suggerisce, della manutenzione dell'impianto. Il manutentore semplice può essere di due tipologie, elettrico o meccanico, in base alle specifiche competenze tecniche sviluppate; essi lavorano per turni e sono sempre presenti per intervenire in caso di guasti. Ci sono poi i tecnici di area (TA), cioè dei manutentori meccanici ed elettrici a cui sono affidate tre o quattro linee. I TA hanno il compito di supportare i TL in termini di competenze tecniche ed esperienza sulla linea produttiva, infatti questa figura tende ad acquisire una certa conoscenza delle linee a lui affidate, una certa confidenza sul suo funzionamento e una maggiore tempestività nel trovare soluzioni ad eventuali problemi. Queste figure legate alle linee garantiscono la presenza di personale qualificato a cui fare riferimento e che siano specializzate sulle attrezzature di una singola linea dato che, vista la grande varietà di macchine presenti nello stabilimento, sarebbe impensabile avere delle persone esperte di tutte le linee. Quindi, riassumendo i vari ruoli, ad ogni impianto fa riferimento un TL, un TA meccanico ed un TA elettrico, i quali costituiscono un team che possiede le competenze tecniche e l'esperienza per condurre la linea e mantenerla nelle sue condizioni ottimali di lavoro.

CAPITOLO 5

IL PROGETTO E LA RACCOLTA DATI

5.1. La scelta della linea

La fase iniziale di tutto il progetto è stata l'identificazione della linea da analizzare e il tipo di valutazione da condurre. È stata selezionata la linea C, linea che produce solamente acqua naturale, leggermente frizzante e frizzante da 1,5 litri, in buona parte per il mercato estero, sia per prodotti a marchio San Benedetto che per terzi. La struttura della linea è fondamentalmente quella indicate nel *paragrafo 4.1*.

Il prodotto realizzato è abbastanza standard anche se ci sono alcune peculiarità per ogni codice di prodotto finito che possono portare a problematiche diverse; la principale differenza tra i vari codici è l'utilizzo di Europallet (ISO 1, 800 mm x 1200 mm) o pallet ISO 2 (1000 mm x 1200 mm) oppure minipallet (*half pallet*, 800 mm x 600 mm).

La selezione di questa linea è stata dettata dalla necessità di migliorarne le *performance* poiché, nonostante non sia in assoluto la linea con l'Overall Equipment Effectiveness (OEE) più basso (vedi *figura 25*), presenta un elevato numero di ore lavorate annue (sempre in doppio o triplo turno giornaliero) quindi genera una produzione annua estremamente elevata, perciò un miglioramento importante avrebbe garantito delle potenziali vendite aggiuntive, grazie alla produzione recuperata, molto sostanziose; inoltre mentre altre linee sono penalizzate dai *setup*, l'impianto C presenta già dei riattrezzaggi abbastanza ridotti poiché l'unico tempo perso fondamentale è quello per la gasatura dell'acqua, quindi l'influenza di questi ultimi sull'OEE è sicuramente minimale (al massimo 15-20 minuti per cambio rispetto ad addirittura alcune ore delle linee che producono bevande).

Avendo un OEE simile ad altre linee ma con una minore influenza dei *setup*, significa che l'impianto è penalizzato da altre variabili (ad es. microfermate, guasti, difetti, mancanze).

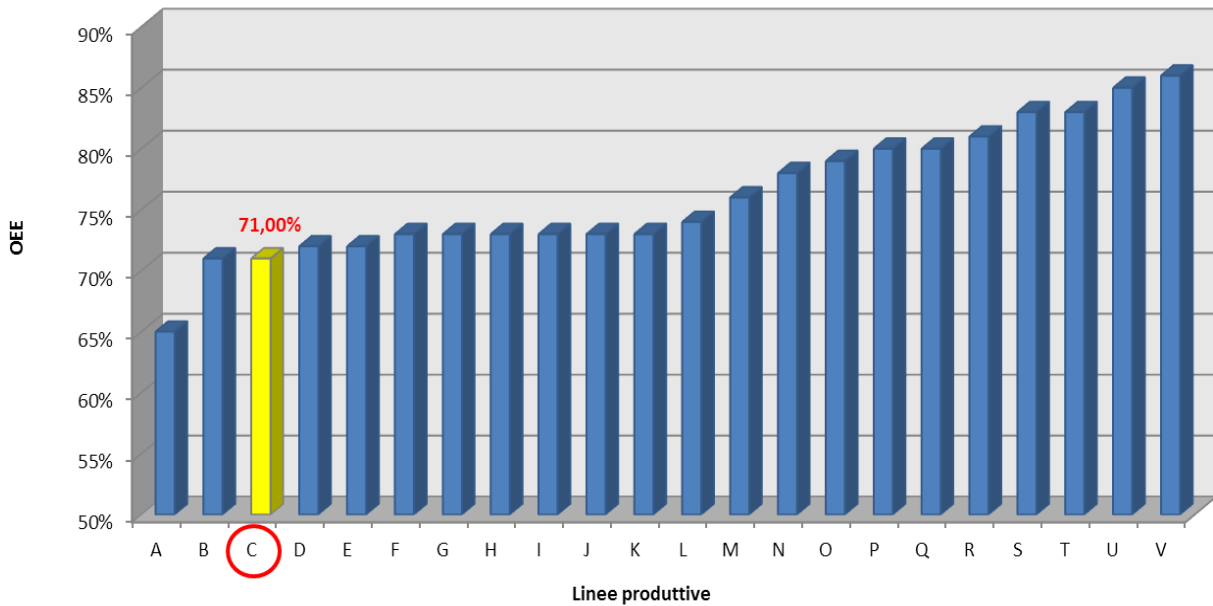


Figura 25: OEE medio 2012-2014

Una volta scelta la linea si è passati a capire quale sia il tipo di analisi più adeguata da svolgere; per questo è stata eseguita un'analisi per valutare quanto le varie voci dei tempi persi andassero ad impattare sull'OEE della linea, in modo tale da quantificare il potenziale beneficio nell'andare a eliminare (o ridurre) tali tempi persi.

In San Benedetto il calcolo delle varie voci dell'OEE avviene come di seguito presentato:

$$\begin{aligned}
 \text{Disponibilità} &= \frac{\text{Tempo di funzionamento}}{\text{Tempo disponibile}} = \\
 &= \frac{\text{Tempo disponibile} - \text{Setup} - \text{Mancanze} - \text{Difetti}}{\text{Tempo totale} - \text{Fermate pianificate} - \text{Manutenzione preventiva}}
 \end{aligned}$$

Come si può notare la disponibilità non viene calcolata come da letteratura e come presentato nel *paragrafo 1.5.1*.

$$\text{Efficienza meccanica} = \frac{\text{Tempo assegnato}}{\text{Tempo di funzionamento}} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\text{Produzione}_i}{\text{Velocità}_i}}{\text{Tempo di funzionamento}}$$

dove $i = 1, \dots, N$ sono le varie cadenze produttive, cioè ogni linea, a seconda del codice prodotto realizzato, ha delle velocità nominali (e quindi dei tempi ciclo teorici) a cui fare riferimento; esse possono anche essere sempre uguali o differire a seconda del codice.

$$\text{Qualità} = \frac{\text{Produzione totale} - \text{Scarti}}{\text{Produzione totale}}$$

Nella valutazione dell'OEE non viene valutato il numero degli scarti e quindi il tasso di qualità della linea, però incide molto poco sull'OEE dal momento che gli scarti sono intorno all'1%; ponendo quindi un *quality rate* pari a 100%, l'OEE viene calcolato come segue:

$$OEE = \text{Disponibilità} \times \text{Efficienza meccanica} \times \text{Qualità}$$

Di seguito, in *tabella 11*, viene indicato l'OEE della linea per un periodo di circa tre anni (gennaio 2012-ottobre 2014), così come riportato nei *master* aziendali.

	gen-12	feb-12	mar-12	apr-12	mag-12	giu-12	lug-12	ago-12	set-12	ott-12	nov-12	dic-12
Totale tempo assegnato	14396	17000	13550	14870	18001	19781	21669	22167	15876	17061	12342	13815
Tempo disponibile lavoro	19356	24985	18257	20623	23586	27801	30191	30674	20862	24287,6	17588	19912
Tempo funzionamento	18593	23392	17017	19778	22578	25983	29056	29176	20025	22767,6	16240	18955
DISPONIBILITA'	96,06%	93,62%	93,21%	95,90%	95,73%	93,46%	96,24%	95,12%	95,99%	93,74%	92,34%	95,19%
EFFICIENZA	77,43%	72,67%	79,63%	75,18%	79,73%	76,13%	74,58%	75,98%	79,28%	74,94%	76,00%	72,88%
QUALITA'	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
OEE	74,37%	68,04%	74,22%	72,10%	76,32%	71,15%	71,77%	72,27%	76,10%	70,25%	70,17%	69,38%

	gen-13	feb-13	mar-13	apr-13	mag-13	giu-13	lug-13	ago-13	set-13	ott-13	nov-13	dic-13
Totale tempo assegnato	19966	9218	17075	17099	20886	19017	21354	19620	15092	16750	11486	15583
Tempo disponibile lavoro	26427	12584	24151	22704	27290	27400	29250,2	29098	20815	23878	17589	22965
Tempo funzionamento	25277	12226	22733	21709	26103	25776	27812,2	27269	19431	21878	16337	20606
DISPONIBILITA'	95,65%	97,16%	94,13%	95,62%	95,65%	94,07%	95,08%	93,71%	93,35%	91,62%	92,88%	89,73%
EFFICIENZA	78,99%	75,40%	75,11%	78,76%	80,01%	73,78%	76,78%	71,95%	77,67%	76,56%	70,30%	75,62%
QUALITA'	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
OEE	75,55%	73,25%	70,70%	75,31%	76,53%	69,41%	73,00%	67,43%	72,50%	70,15%	65,30%	67,85%

	gen-14	feb-14	mar-14	apr-14	mag-14	giu-14	lug-14	ago-14	set-14	ott-14
Totale tempo assegnato	16217	16982	17861	17175	19986	19531	18177	17106	14690	10054
Tempo disponibile lavoro	22060	24105	25771	24010	26852	27128	25295	23884	22630	14224
Tempo funzionamento	19995	21844	23902	22526	24512	24724	22742	21653	20385	12426
DISPONIBILITA'	90,64%	90,62%	92,75%	93,82%	91,29%	91,14%	89,91%	90,66%	90,08%	87,36%
EFFICIENZA	81,10%	77,74%	74,72%	76,25%	81,54%	78,99%	79,93%	79,00%	72,06%	80,91%
QUALITA'	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
OEE	73,51%	70,45%	69,31%	71,53%	74,43%	71,99%	71,86%	71,62%	64,91%	70,68%

Tabella 11: Calcolo dell'OEE 2012-2014

Come è facilmente visibile l'OEE è fortemente penalizzato dall'efficienza meccanica, perciò è immediatamente intuibile come andando a eliminare (o ridurre) le microfermate o altri *downtime* si possa portare un grande incremento delle *performance*. Questa valutazione è stata quantificata in *tabella 5* dove un recupero sui tempi di *setup*, mancanze, difetti e altro vanno ad aumentare il tempo di funzionamento della linea (e quindi la disponibilità), mentre i tempi di microfermate e guasti incrementano il tempo assegnato (e quindi l'efficienza meccanica); l'impatto viene valutato come OEE differenziale rispetto a quello originale rappresentato in *tabella 12*. Viene proposta anche una rappresentazione grafica in *figura 26*.

	gen-12	feb-12	mar-12	apr-12	mag-12	giu-12	lug-12	ago-12	set-12	ott-12	nov-12	dic-12
OEE differenziale-set-up	2,59%	3,25%	4,27%	3,14%	3,20%	3,31%	3,36%	3,93%	3,89%	3,75%	3,54%	4,16%
OEE differenziale-difettosità	7,44%	7,21%	4,81%	5,87%	5,28%	7,14%	6,50%	3,80%	5,00%	5,29%	4,23%	4,46%
OEE differenziale-mancanza	0,36%	0,22%	0,53%	1,95%	1,53%	0,22%	1,66%	1,23%	0,58%	0,64%	0,41%	0,57%
OEE differenziale-altro	0,31%	0,29%	0,45%	0,86%	0,72%	0,13%	0,37%	0,09%	0,00%	0,42%	0,00%	0,13%
OEE differenziale-microfermata	13,29%	17,76%	13,19%	15,04%	11,86%	14,02%	15,63%	17,43%	14,15%	16,77%	16,66%	19,98%
OEE differenziale-guasto	1,35%	3,13%	2,53%	0,96%	1,08%	3,23%	0,40%	0,95%	0,12%	2,51%	4,12%	0,65%

	gen-13	feb-13	mar-13	apr-13	mag-13	giu-13	lug-13	ago-13	set-13	ott-13	nov-13	dic-13
OEE differenziale-set-up	3,75%	2,84%	4,73%	3,87%	4,03%	5,70%	3,69%	4,22%	4,69%	4,97%	4,37%	5,67%
OEE differenziale-difettosità	4,19%	6,72%	5,07%	5,19%	5,50%	5,86%	4,95%	4,30%	4,12%	3,31%	4,17%	4,52%
OEE differenziale-mancanza	0,90%	0,21%	0,45%	0,66%	0,94%	2,80%	0,51%	0,53%	0,42%	0,57%	0,90%	0,57%
OEE differenziale-altro	0,73%	0,03%	1,05%	0,24%	0,29%	0,11%	0,10%	0,15%	0,13%	0,08%	0,13%	0,47%
OEE differenziale-microfermata	13,91%	16,70%	14,40%	13,31%	12,35%	15,64%	16,52%	21,24%	15,80%	17,38%	21,77%	15,91%
OEE differenziale-guasto	0,61%	0,00%	1,14%	0,51%	0,32%	0,22%	1,23%	2,06%	1,96%	3,41%	2,75%	4,61%

	gen-14	feb-14	mar-14	apr-14	mag-14	giu-14	lug-14	ago-14	set-14	ott-14
OEE differenziale-set-up	5,39%	6,15%	4,88%	3,93%	4,68%	5,92%	5,57%	5,46%	6,54%	7,57%
OEE differenziale-difettosità	2,15%	2,85%	1,30%	2,00%	4,01%	2,46%	3,72%	3,35%	1,25%	2,93%
OEE differenziale-mancanza	1,08%	0,27%	0,88%	0,21%	0,02%	0,29%	0,78%	0,38%	0,37%	0,94%
OEE differenziale-altro	0,37%	0,11%	0,19%	0,04%	0,00%	0,19%	0,02%	0,15%	1,77%	1,20%
OEE differenziale-microfermata	15,06%	16,34%	20,49%	17,36%	14,67%	15,64%	16,78%	16,80%	21,78%	15,31%
OEE differenziale-guasto	2,07%	3,83%	2,95%	4,92%	2,19%	3,51%	1,11%	2,24%	3,40%	1,36%

Tabella 12: Impatto fermate su OEE (2012-2014)

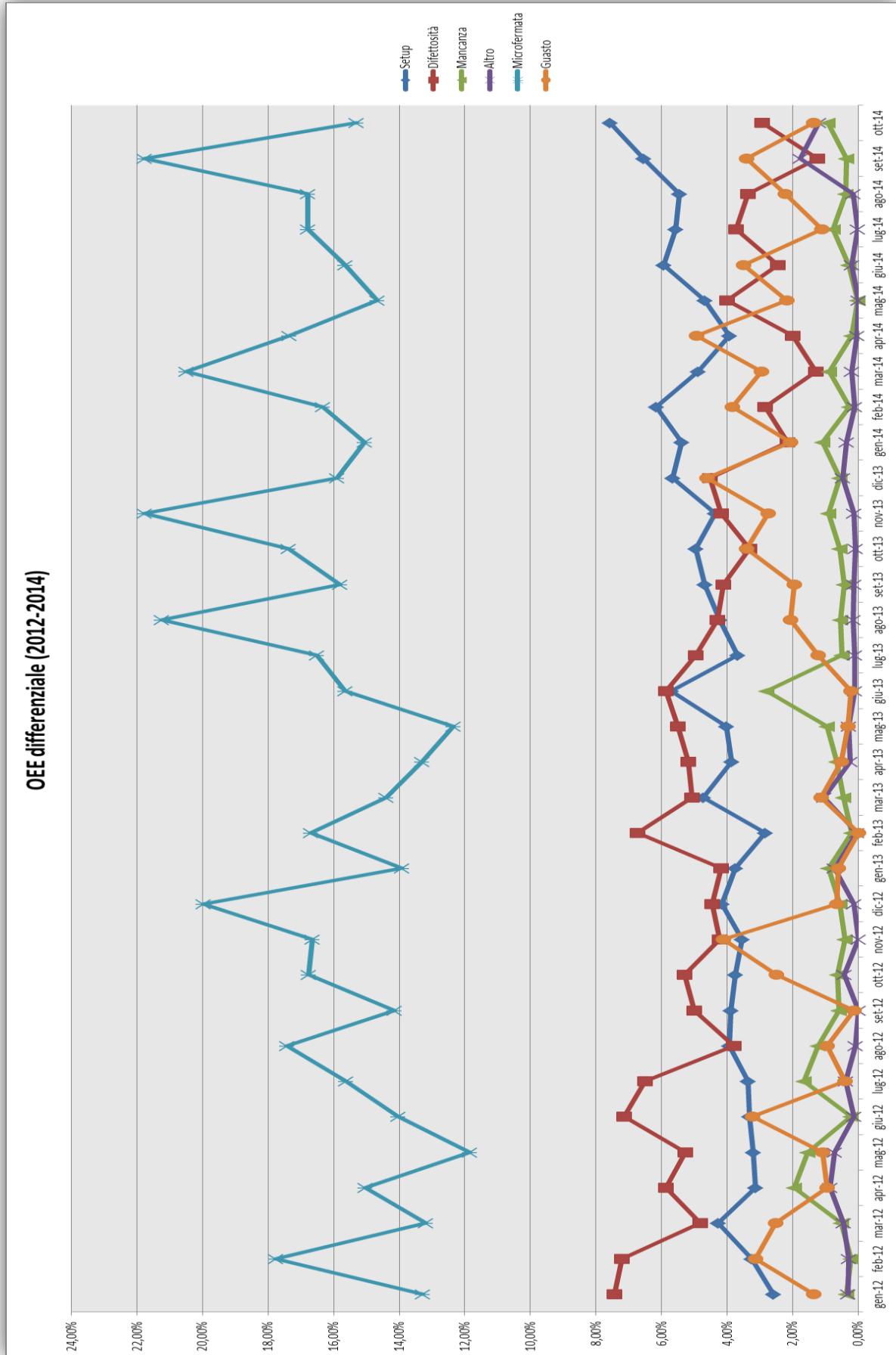


Figura 26: OEE differenziale per tipo di fermata (2012-2014)

Come è evidente le microfermate costituiscono la maggior fetta di tempi persi sulla linea, con una media di 16,20 punti percentuali al mese di penalità sull'OEE, quindi è necessario concentrarsi su questi tempi persi per ottenere significativi miglioramenti.

Appurato dunque che il focus del progetto è sull'analisi delle microfermate bisogna determinare quali siano le macchine della linea più critiche riguardo a questo aspetto per capire se è necessario analizzare tutta la linea o solo una parte. L'analisi viene riportata nella *figura 27*, la quale rappresenta, nell'intero periodo 2012-2014, i minuti di microfermata cumulati per tutte le macchine.

È evidente come le macchine critiche siano pallettizzatore, confezionatrice ed etichettatrice. È poi stato scelto di svolgere l'analisi anche sui raddrizzatori, poiché era possibile tenere sotto controllo anche le linee aeree, e sulla manigliatrice, poiché gestita dallo stesso operatore della confezionatrice; anche la maggior parte dei trasportatori possono essere tenuti sotto controllo dai vari operatori delle macchine, portando ad una analisi piuttosto completa ed esaustiva dell'intera linea.

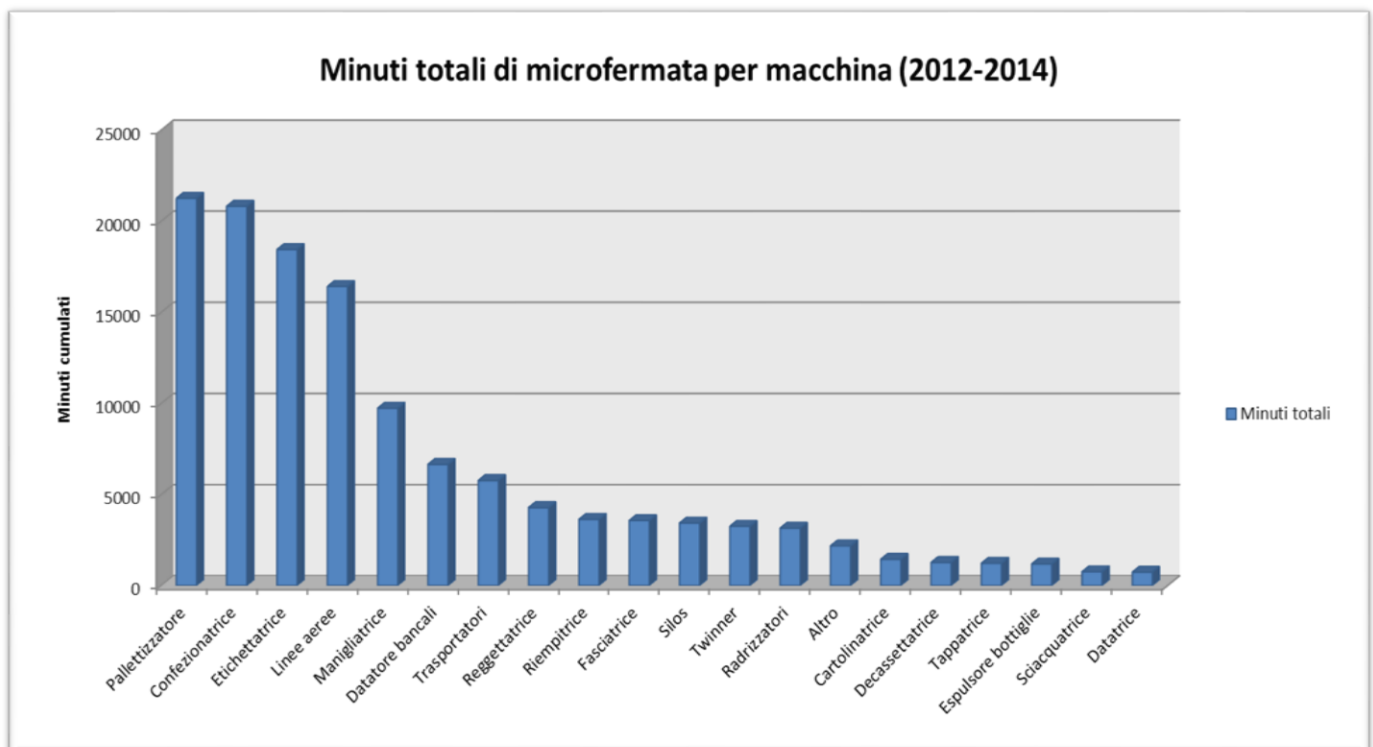


Figura 27: Tempi di microfermata per macchina (2012-2014)

5.2. Pianificazione del progetto

L'obiettivo del progetto è lo studio dei *micro downtime* delle macchine critiche, capirne l'impatto sull'OEE complessivo della linea e proporre e valutare delle proposte di miglioramento.

Il progetto è stato organizzato in vari *step* logici:

1. Sviluppo di appositi moduli precompilati per la raccolta dei dati sulla durata e la frequenza di microfermate, guasti e *setup*;
2. Rilevazione dei dati *on field* per la determinazione dei *TTR*;
3. Rilevazione dei dati *on field* per la determinazione dei *TTF*;
4. Valutazione delle cause principali di microfermata di ogni macchina;
5. Determinazione dell'OEE giornaliero della linea;
6. Valutazione dei punti di OEE recuperabili sulla linea grazie alla riduzione delle microfermate;
7. Determinazione del contributo di ogni singolo tipo di microfermata sull'OEE recuperabile totale.
8. Analisi dei *TTF* in relazione ai *TTR*;
9. Realizzazione di diagrammi causa-effetto e analisi *why-why* per determinare le possibili cause delle microfermate principali;
10. Statistica descrittiva e modellazione dei dati di *TTR* e *TTF* per una possibile simulazione futura della linea;
11. Valutazione tecnico-economica di progetti di miglioramento della linea.

5.3. Realizzazione dei moduli per la raccolta dati

La prima fase del progetto ha previsto la realizzazione di appositi fogli in cui gli operatori di macchina, aiutati dal supervisore del progetto, dovevano annotare la durata di ogni microfermata (fermate con tempi inferiori ai 15 minuti), di ogni guasto (fermate con tempi superiori ai 15 minuti) e di ogni *setup* della macchina (o delle macchine) di cui sono responsabili.

Per realizzare i moduli è stata convocata una riunione con i conduttori della linea C, dal momento che sono le persone che meglio conoscono e sanno gestire i piccoli problemi della linea dal momento che sono i responsabili, in ogni turno, dell'intero impianto. Durante la riunione sono state identificate le cause di microfermata delle macchine coinvolte nell'analisi,

5.3.1. Rilevazione on field dei TTR

Dopo le prime due settimane il progetto ha previsto due mesi di raccolta dati (marzo e aprile 2015), per un totale di 8 ore al giorno e 4 giorni a settimana. La scelta di non procedere ad una rilevazione dati per l'intero orario di lavoro della linea (due o tre turni al giorno) è stata determinata dalla volontà di avere sempre un supervisore che potesse verificare l'accuratezza e la validità dei dati raccolti dagli operatori, dal momento che altri progetti simili svolti in passato non sono risultati soddisfacenti proprio per la mancanza di una figura di riferimento durante la raccolta dei tempi persi.

Negli appositi fogli sono stati indicati i tempi di microfermata della macchina e suddivisi a seconda della causa di microfermata, in modo da poter fare, nella successiva fase di analisi, una precisa valutazione sulle principali cause di fermata della macchina e sul loro impatto sulle *performance*.

I dati rilevati alla fine dei due mesi, suddivisi per macchina, sono stati:

- Raddrizzatore 1: 540 microfermate per un totale di 463 minuti;
- Raddrizzatore 2: 265 microfermate per un totale di 278 minuti;
- Etichettatrice: 569 microfermate per un totale di 365 minuti;
- Confezionatrice: 735 microfermate per un totale di 427 minuti;
- Manigliatrice: 398 microfermate per un totale di 262 minuti;
- Pallettizzatore: 1445 microfermate per un totale di 865 minuti.

Come si può notare, e come è visibile graficamente anche in *figura 29* e *30*, la macchina più critica, sia in termini di numero di fermate che di tempo di fermo, è il pallettizzatore, confermando l'analisi presentata nel *paragrafo 5.1*.

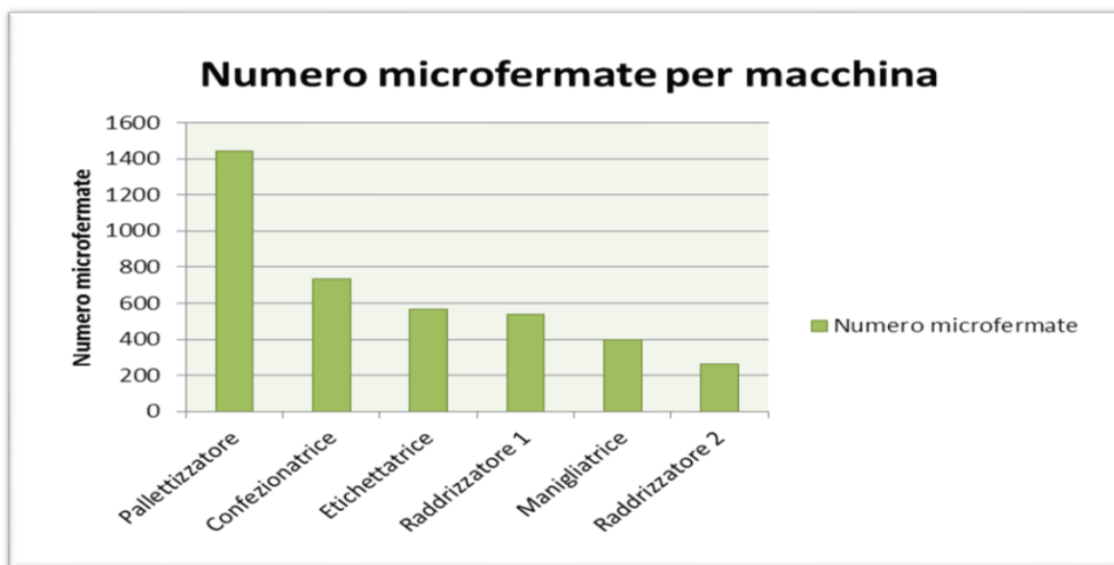


Figura 29: Numero di microfermate per macchina

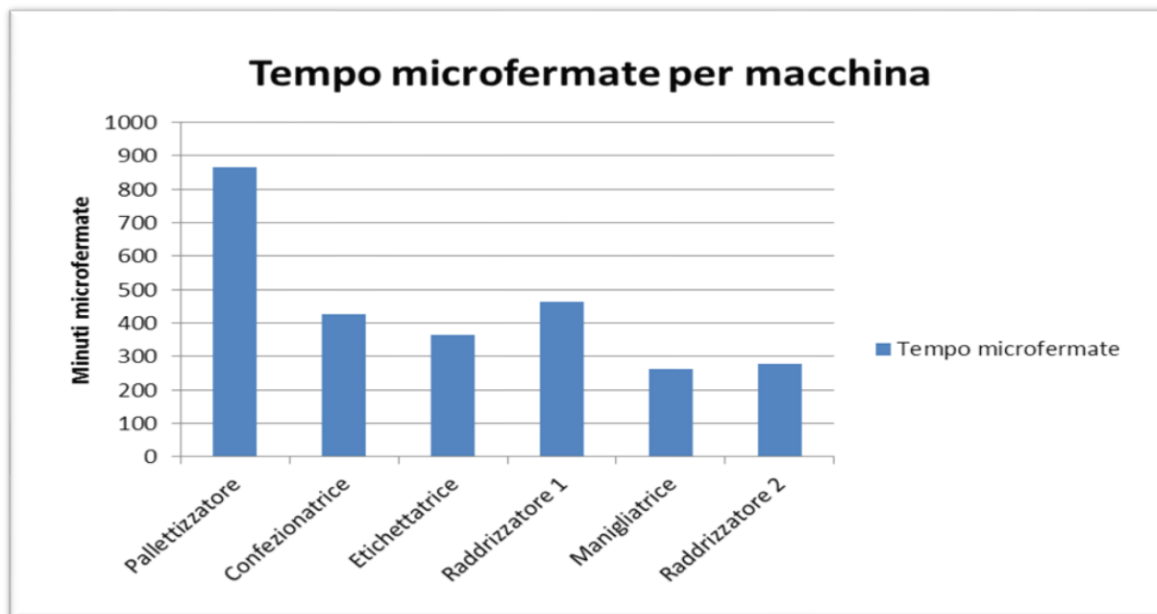


Figura 30: Minuti di microfermate per macchina

Si può quindi anche determinare quale sia il Mean Time To Repair (*MTTR*), cioè il tempo medio che intercorre tra la fermata della macchina e la successiva ripartenza dopo l'intervento dell'operatore; i *MTTR* sono visibili in *tabella 13* e sono calcolati come:

$$MTTR = \frac{\text{Minuti totali di microfermate}}{\text{Numero di microfermate}}$$

Macchina	Numero di microfermate	Minuti di microfermate	MTTR [min]
Raddrizzatore 2	265	278	1,05
Raddrizzatore 1	540	463	0,86
Manigliatrice	398	262	0,66
Etichettatrice	569	365	0,64
Pallettizzatore	1445	865	0,60
Confezionatrice	735	427	0,58

Tabella 13: Determinazione dell'*MTTR* di ogni macchina

In termini di *MTTR* la macchina più problematica risulta essere il raddrizzatore 2, anche se, come si vedrà in seguito, non risulta essere un grave problema.

È opportuno poi verificare anche l'*MTTR* di ogni singolo tipo di *micro breakdown* di ogni macchina (utilizzando sempre la stessa formula indicata in precedenza) (*tabella 14*), perché permette di capire se ci sono fermate che portano ad una consistente perdita di tempo prima di ripartire nel normale ciclo di funzionamento e che quindi meritano una particolare attenzione (combinando anche questa gravità col numero di fermate che si sono verificate).

Macchina	Causa fermata	Numero fermate	Durata microfermate [min]	MTTR [min]
Raddrizzatore1	Fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 1)	165	247,7	1,50
Raddrizzatore1	Fermata linea aerea (raddrizzatore 1)	375	215,5	0,57
Raddrizzatore2	Fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 2)	128	190,8	1,49
Raddrizzatore2	Fermata linea aerea (raddrizzatore 2)	167	86,7	0,52
Etichettatrice	Accumulo uscita etichettatrice	7	4,3	0,62
Etichettatrice	Anomalia datatore	3	10,0	3,33
Etichettatrice	Anomalia trasferimento etichetta	1	0,2	0,17
Etichettatrice	Bobina etichetta difettata	2	3,5	1,75
Etichettatrice	Bottiglia caduta in entrata	21	12,8	0,61
Etichettatrice	Bottiglia senza tappo	1	1,0	1,00
Etichettatrice	Bottiglia vuota	5	4,8	0,95
Etichettatrice	Cambio spazzola	1	1,0	1,00
Etichettatrice	Controllo entrata errore	9	5,5	0,61
Etichettatrice	FT System in allarme	45	29,3	0,65
Etichettatrice	Intasamento carosello	4	5,0	1,25
Etichettatrice	Intasamento carosello (tappo alto)	9	8,3	0,93
Etichettatrice	Mancanza etichetta	228	78,5	0,34
Etichettatrice	Pulizia etichettatrice	15	41,8	2,79
Etichettatrice	Regolazione macchina	34	50,8	1,50
Etichettatrice	Spazio vuoto in macchina	170	74,7	0,44
Etichettatrice	Tappo alto	7	2,7	0,38
Etichettatrice	Verifiche tecniche FT System	7	31,0	4,43
Confezionatrice	Centatura film	2	2,5	1,25
Confezionatrice	Doppia etichetta-bandiera	67	44,4	0,66
Confezionatrice	Extracorsa ballerino	8	9,8	1,23
Confezionatrice	Intasamento disafonte (trasporto ingresso)	64	28,3	0,44
Confezionatrice	Intervento meccanico	4	15,0	3,75
Confezionatrice	Mancato compattamento allo spintore	42	26,3	0,63
Confezionatrice	Mancato taglio film	2	6,8	3,38
Confezionatrice	Pacco aperto (confezionatrice)	4	3,2	0,79
Confezionatrice	Pacco malformato (confezionatrice)	7	4,8	0,69
Confezionatrice	Pacco non allineato (confezionatrice)	5	2,2	0,43
Confezionatrice	Problema cartoline	79	41,9	0,53
Confezionatrice	Problema encoder motore salita film	1	7,0	7,00
Confezionatrice	Prodotto rovesciato guide alimentazione	338	106,5	0,32
Confezionatrice	Prodotto rovesciato ingresso spintore	18	20,2	1,12
Confezionatrice	Prodotto rovesciato salita/discosa rebbo	18	15,7	0,87
Confezionatrice	Prodotto rovesciato selezione	20	14,0	0,70
Confezionatrice	Prove tecniche su film nuovo	7	10,7	1,52
Confezionatrice	Ricerca tacca	2	0,7	0,33
Confezionatrice	Rottura film (causa saldatura automatica)	1	8,0	8,00
Confezionatrice	Salita film superiore	31	29,8	0,96
Confezionatrice	Sicurezza uscita tunnel	3	5,0	1,67
Confezionatrice	Sistemazione film su rulli	1	5,0	5,00
Confezionatrice	Tacca non trovata per cambio film	3	2,7	0,89
Confezionatrice	Taglio film lato dx	6	13,5	2,25
Confezionatrice	Taglio film lato sx	2	3,0	1,50
Manigliatrice	Anomalia fotocellula pennellatore	2	1,5	0,75
Manigliatrice	Cambio bobina scotch	48	32,6	0,68
Manigliatrice	Cambio carta maniglia	180	100,2	0,56
Manigliatrice	Controllo perdita d'aria	3	1,2	0,39
Manigliatrice	Errore applicazione maniglia	18	10,8	0,60
Manigliatrice	Errore pennellatore	1	0,3	0,33
Manigliatrice	Errore taglio maniglia	96	75,5	0,79
Manigliatrice	Intervento magneto-termico	1	3,0	3,00
Manigliatrice	Pacco aperto (manigliatrice)	23	17,0	0,74
Manigliatrice	Pacco non allineato (manigliatrice)	25	16,6	0,66
Manigliatrice	Pulizia rullini	1	3,0	3,00
Pallettizzatore	"Ragno" non in posizione	2	7,0	3,50
Pallettizzatore	Bancali difettosi	16	18,0	1,13
Pallettizzatore	Barriera/fotocellule uscita pallet	13	7,0	0,54
Pallettizzatore	Caricamento non corretto falde	2	6,0	3,00
Pallettizzatore	Conteggio fardelli in entrata palettizzatore	10	10,3	1,03
Pallettizzatore	Falda caduta su rulliera	16	13,5	0,84
Pallettizzatore	Falda mal posizionata	22	19,2	0,87
Pallettizzatore	Falda non depositata da carrello falde	7	5,7	0,81
Pallettizzatore	Falda non prelevata	29	12,8	0,44
Pallettizzatore	Falda persa	31	9,3	0,30
Pallettizzatore	Magazzino palette-mal posizionamento	150	130,6	0,87
Pallettizzatore	Molla barra	26	17,3	0,66
Pallettizzatore	Pacco aperto (palettizzatore)	42	48,4	1,15
Pallettizzatore	Pacco caduto (palettizzatore)	52	60,7	1,17
Pallettizzatore	Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	598	253,7	0,42
Pallettizzatore	Pallet non allineato ingresso palettizzatore	66	36,8	0,56
Pallettizzatore	Pallet non in linea devio palettizzatore	46	25,0	0,54
Pallettizzatore	Pareggiatore bancale	5	3,2	0,63
Pallettizzatore	Strato non formato correttamente carrello N°1	130	72,8	0,56
Pallettizzatore	Strato non formato correttamente carrello N°2	182	108,0	0,59

Tabella 14: Determinazione MTTR di ogni microfermata

5.3.2. Rilevazione on field dei TTF

È stata intrapresa una successiva fase di raccolta dati di circa due settimane a completamento della prima. L'obiettivo è la determinazione dei Time To Failure (*TTF*), cioè del tempo intercorso tra una microfermata e la successiva dello stesso tipo, al netto del *TTR*. Disporre di questa informazione, in accoppiata con i *TTR*, permette di capire sia la gravità della fermata (il tempo perso) che la frequenza di accadimento; infatti avere il dato solamente dei *TTR* non consente di fare una valutazione completa poiché una fermata con *TTR* elevato può influire molto meno di una con *TTR* più basso se il *TTF* (o la frequenza di accadimento) è molto grande perché significa che probabilmente è una fermata casuale.

Per ultimare il lavoro sono stati utilizzati gli stessi moduli della prima fase di rilevazione dati dove, oltre alla durata del *downtime*, è stato indicato anche l'orario in cui si è arrestata la macchina. I dati sono stati presi solamente dal supervisore del progetto per avere dei dati il più affidabili possibile poiché il lavoro sarebbe stato troppo *time consuming* per gli operatori per poter continuare a svolgere la loro attività in modo adeguato. Il focus è stato dato solamente a etichettatrice, confezionatrice, manigliatrice e pallettizzatore, mentre i raddrizzatori sono stati esclusi a causa della scarsa rilevanza ai fini del miglioramento dell'*OEE*.

Dopo aver raccolto i dati in un opportuno database, per la valutazione dei *TTF* delle varie microfermate sono stati presi solo dei campioni, poiché la rilevazione è stata fatta solamente per 8 ore al giorno e 5 giorni alla settimana, non per l'intera durata della produzione; inoltre sono stati esclusi dal calcolo dei *TTF* la prima fermata del periodo di rilevazione giornaliero (perché non sono disponibili dati precedenti) e anche la fermata immediatamente successiva alla pausa pranzo (poiché durante questo intervallo di tempo i dati non stati rilevati).

Nelle *tabelle* da 15 a 26 vengono presentati i dati elaborati per il calcolo dei *TTF* in minuti e suddivisi per tipo di microfermata, dove in giallo sono indicati i dati non utilizzati per i motivi sopra esposti; inoltre viene riportato anche il Mean Time To Failure (*MTTF*), cioè l'intervallo di tempo medio tra una fermata e la successiva dello stesso tipo.

TTF (Prodotto rovesciato guide alimentazione)

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
1	3	2	14	9	10	12
0	5	4	5	1	2	10
3	10	9	6	5	2	1
5	32	14	9	15	2	21
14	7	1	18	7	1	5
8	2	4	20	5	0	4
2	1	18	45	3	11	10
20	6	4	2	1	7	2
28	16	2	8	1	2	23
2	8	2	5	2	5	1
3	4	3	5	8	3	9
27	18	1	9	19	21	11
2	1	2	4	5	6	3
7	23	8	8	0	3	23
7	11	2	2	3	1	4
48	2	7	4	10	9	12
3	4	3	43	18	20	2
	23	13	2	5	2	5
12	2	2	2	21	1	0
104	7	4		32	4	2
	2	2	28	23	5	26
	15	10	30	28	52	3
	11	3	1	2	7	0
	18	3	3		13	5
	20	3	23		16	2
		6	10			3
	3	10			1	19
	4	8			0	6
	11	18			5	2
		16			3	0
		9			3	4
		22			6	
		6				3
		15				2
						7
		60				4
		32				2
		15				8
		10				3
		1				

MTTF	9,51	minuti
------	------	--------

Tabella 18: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (prodotto rovesciato guide alimentazione)

TTF (Pacco aperto (manigliatrice))

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
176	16					
	41	10				
27	18	36				
80		12				
	1	15				
	2					

MTTF	36,17	minuti
------	-------	--------

Tabella 19: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (pacco aperto (manigliatrice))

TTF (Errore taglio maniglia)

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
		95			130	
		135				
		1				
		2				

MTTF	72,6	minuti
------	------	--------

Tabella 22: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (errore taglio maniglia)

TTF (Intasamento disafonte (trasporti ingresso))

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
	35	6	11	5	3	13
69	17	7		16	21	3
	0	18		2	4	15
	9	3		7	4	21
	8	21		2	5	56
		26		15	62	31
		15		3	4	7
		5		11	13	22
		90			31	18
		20			29	4
						22
		51			22	3
						4

MTTF	18,14	minuti
------	-------	--------

Tabella 15: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (intasamento disafonte (trasporti ingresso))

TTF (Salita film superiore)

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
2	4				70	
5	11					
62	1					
42	5					
57	52					
12	40					

MTTF	27,92	minuti
------	-------	--------

Tabella 16: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (salita film superiore)

TTF (Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
20		19		15		
32		65		25		
11		30		12		
		12		2		
		33		2		
		11				

MTTF	20,64	minuti
------	-------	--------

Tabella 17: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)

TTF (Mancanza etichetta)

08/06/2015	09/06/2015	10/06/2015	11/06/2015	12/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
	51					
		101				

MTTF	76	minuti
------	----	--------

Tabella 20: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (mancanza etichetta)

TTF (Pallet non allineato ingresso pallettizzatore)

15/06/2015	16/06/2015	17/06/2015	22/06/2015	24/06/2015	25/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
18		157	18	6	86		
19	142		55	10			
112		139	70	44			
				69			
62							
6							

MTTF	63,31	minuti
------	-------	--------

Tabella 21: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (pallet non allineato ingresso pallettizzatore)

TTF (Strato non formato correttamente carrello N°1)

15/06/2015	16/06/2015	17/06/2015	22/06/2015	24/06/2015	25/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
14		78	57	14			
15							
54				35			
				9			

MTTF	34,5	minuti
------	------	--------

Tabella 23: TTF suddivisi per giorno e MTF in minuti (strato non formato correttamente carrello N°1)

TTF (Magazzino palette-mal posizionamento)

15/06/2015	16/06/2015	17/06/2015	22/06/2015	24/06/2015	25/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
4							
9				20	19		

MTTF	6,5	minuti
------	-----	--------

Tabella 24: TTF suddivisi per giorno e MTF in minuti (magazzino palette-mal posizionamento)

TTF (Strato non formato correttamente carrello N°2)

15/06/2015	16/06/2015	17/06/2015	22/06/2015	24/06/2015	25/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
				19	4		42
					3		
					136		
					49		
					89		

MTTF	48,86	minuti
------	-------	--------

Tabella 25: TTF suddivisi per giorno e MTF in minuti (strato non formato correttamente carrello N°2)

TTF (Pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))

15/06/2015	16/06/2015	17/06/2015	22/06/2015	24/06/2015	25/06/2015	29/06/2015	30/06/2015
7	2	44	38	17	4		44
3	3		6	26	8		8
4	2	20	13	14	2		
4	1	11	41	7	3		
5	5	26	5	8	5		
1	0	5	20	4	1		
12	4	2			12		
8	16	6	5	30	3		
10	13	3	7	14	2		
20	14		1	32	1		
3	24		5		0		
3	11		2		5		
2	20		5		0		
10	20		2		5		
8	8		7		0		
7	19		9		8		
11	1		5		0		
0	1		26		1		
13	2		24		3		
10	0		4		1		
3			1		2		
13	2		5		3		
17	4				15		
14	1				2		
2	3				13		
6	6				4		
2	4				1		
0	5				8		
2	3				104		
2	4						
1	3				1		
6	5				68		
	7				1		
1	2				19		
0	1				3		
3	2				17		
16	1				19		
12	12				6		
9	3				8		
9	4				15		
2	0						
25	2						
14	7						
2	20						
42	33						
18							

MTTF	9,45	minuti
------	------	--------

Tabella 26: TTF suddivisi per giorno e MTF in minuti (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))

CAPITOLO 6

L'ANALISI DELLE MICROFERMATE

6.1. Valutazione delle cause principali di microfermata

Dopo aver raccolto tutti i dati in un apposito database, si è proceduto ad identificare quali fossero le principali cause di microfermata per ogni macchina. A tal proposito sono stati utilizzati strumenti classici per queste considerazioni come i grafici a torta e l'analisi di Pareto. I grafici a torta permettono di visualizzare in modo molto efficace la composizione percentuale di ogni tipo di microfermata rispetto al totale di quest'ultime.

L'analisi di Pareto invece prevede di andare ad ordinare tutti i tipi di *micro downtime* in ordine decrescente, andarne a calcolare la percentuale rispetto al totale e poi calcolare la percentuale cumulata. Questo metodo, detto anche 80-20, si basa sul concetto che la maggioranza degli effetti è dovuto ad un numero di cause limitato e quindi permette di identificare quali siano le microfermate su cui concentrarsi per avere una riduzione molto sensibile dei tempi persi.

Questo metodo permette di focalizzarsi in modo più diretto sulle microfermate principali, poiché fornisce anche la percentuale cumulata delle fermate e quindi si può immediatamente scegliere la percentuale di tempi persi che si vuole cercare di ridurre e capire su cosa intervenire.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i grafici a torta e di Pareto per le varie macchine, sia per quanto riguarda il numero che la durata delle microfermate.

6.1.1. I raddrizzatori

In *figura 31, 32, 33 e 34* sono presentati i grafici del raddrizzatore 1; si può notare come i tipi di microfermate siano solamente due: "fermata bottiglie schiacciate" e "fermata linea aerea".

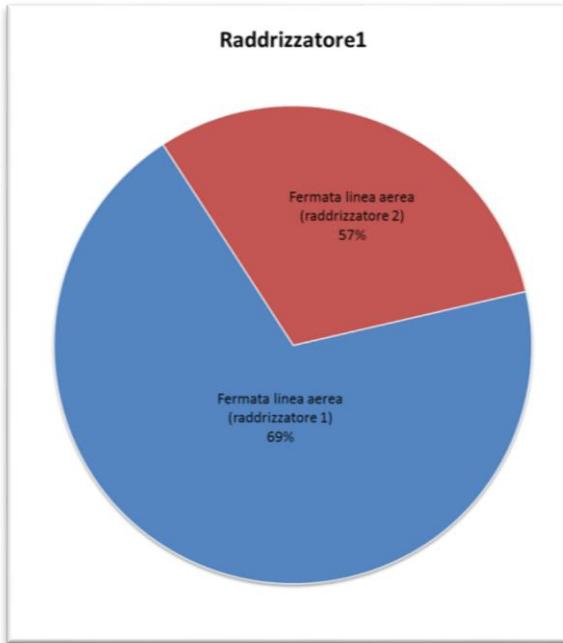


Figura 31: Raddrizzatore 1 (numero di microfermate)

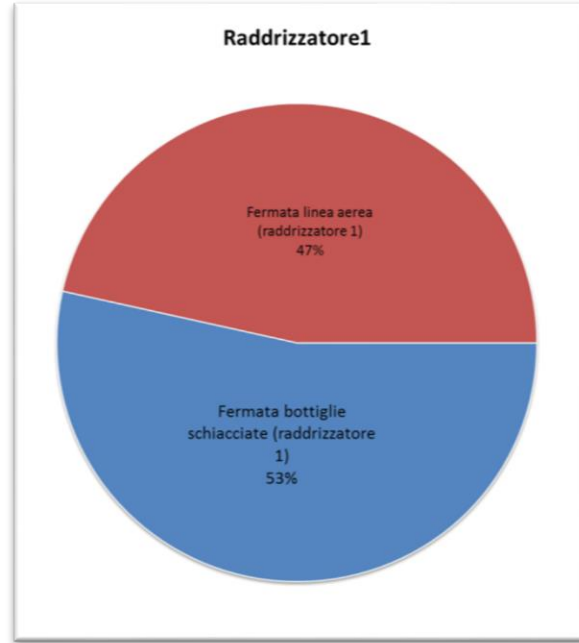


Figura 32: Raddrizzatore 1 (minuti di microfermate)

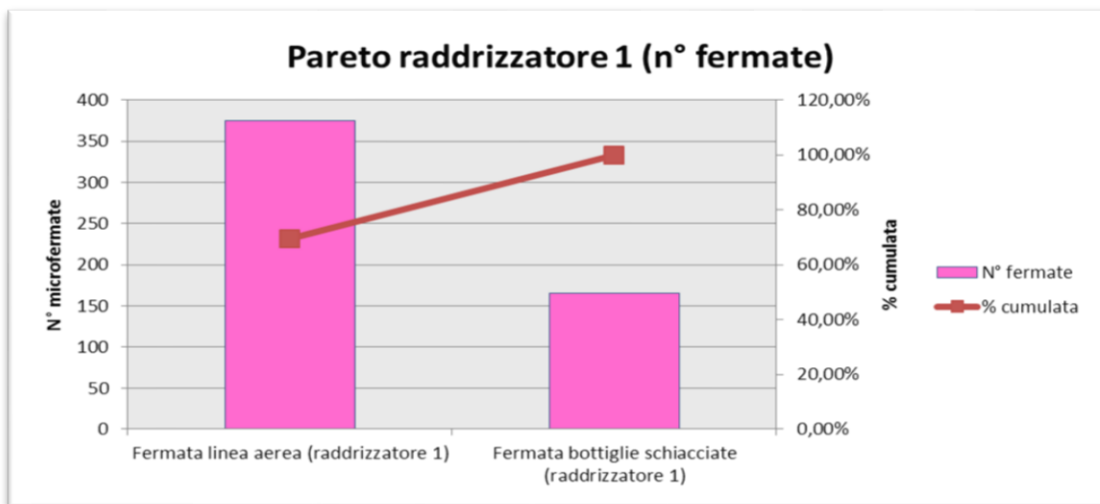


Figura 32: Diagramma di Pareto per numero di fermate (raddrizzatore 1)

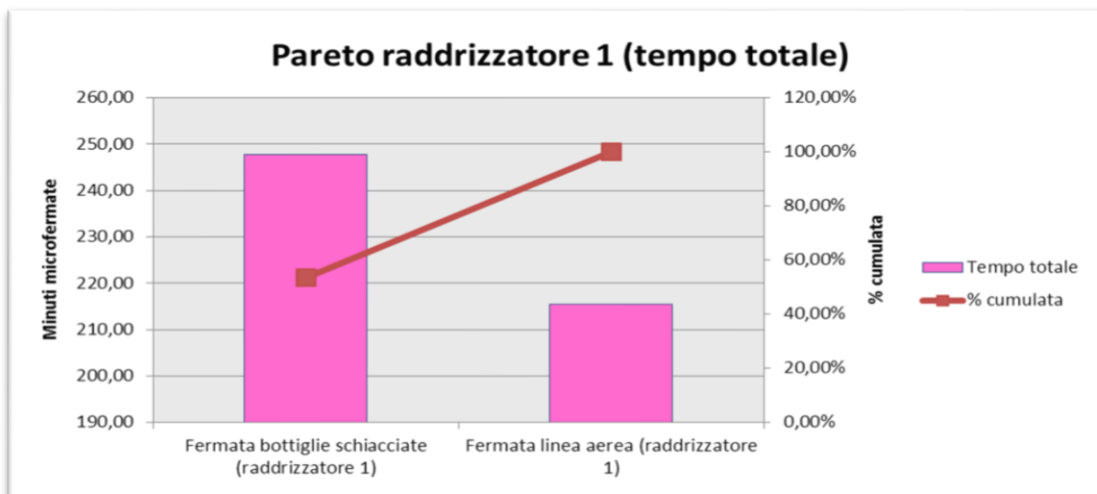


Figura 33: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (raddrizzatore 1)

In *figura 35, 36, 37 e 38* i grafici del raddrizzatore 2 che sono assolutamente analoghi a quelli del raddrizzatore 1, dal momento che la macchina è uguale.

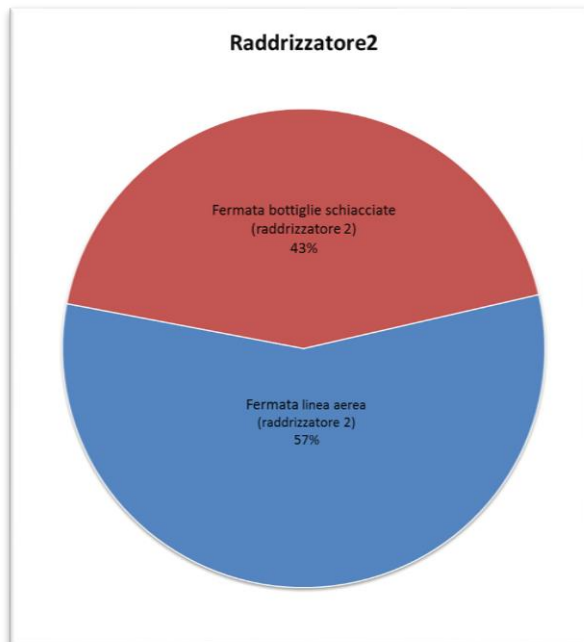


Figura 35: Raddrizzatore 2 (numero di microfermate)

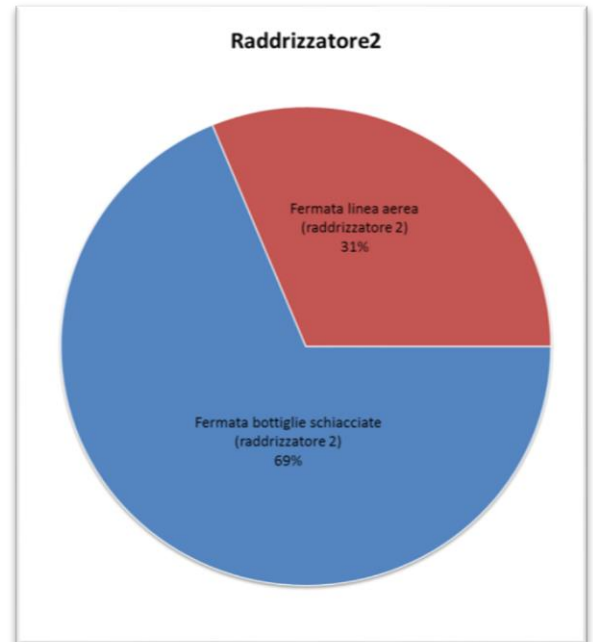


Figura 36: Raddrizzatore 2 (minuti di microfermate)

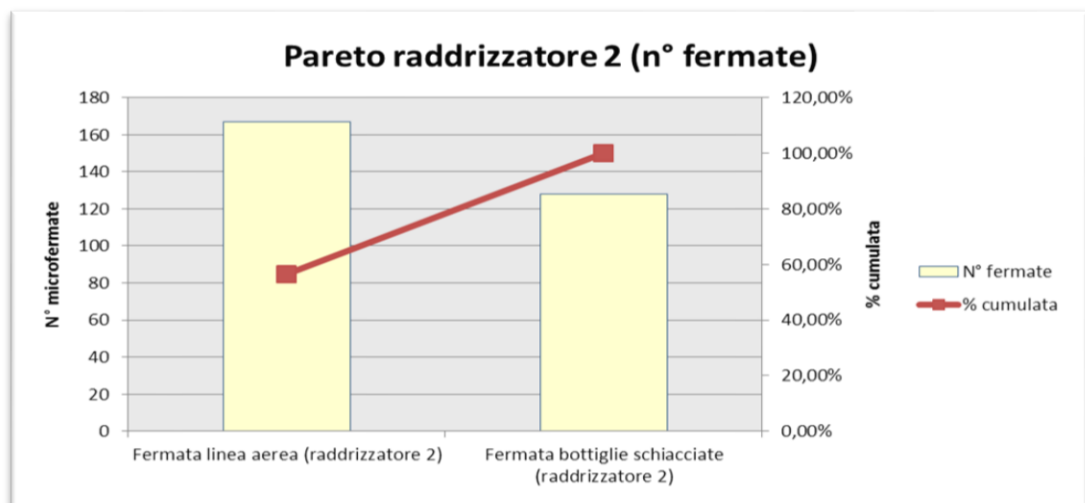


Figura 36: Diagramma di Pareto per numero di fermate (raddrizzatore 2)

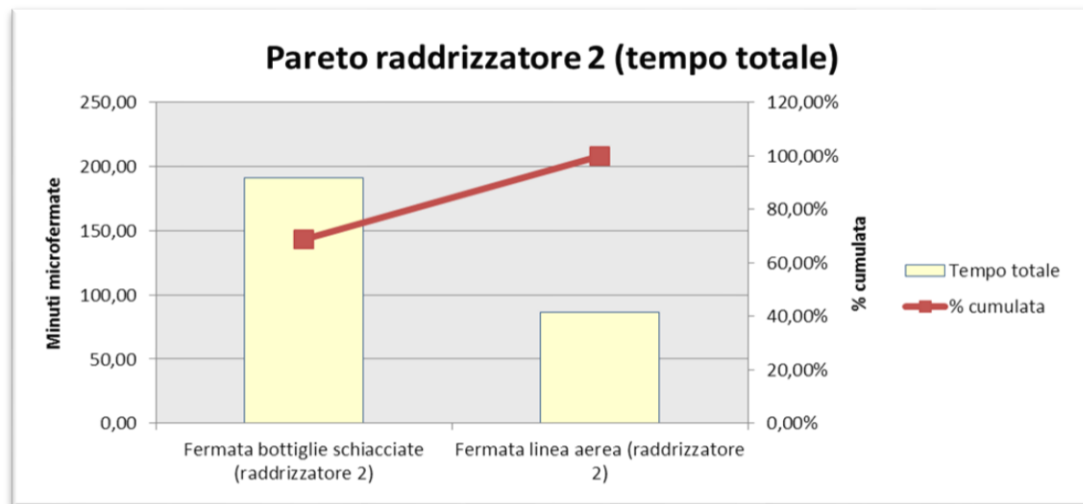


Figura 37: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (raddrizzatore 2)

6.1.2. L'etichettatrice

Per quanto riguarda l'etichettatrice, in *figura 39, 40, 41 e 42*, si possono visualizzare tutte le cause di microfermata, dove le principali sono: "mancanza etichetta", "spazio vuoto in macchina", "regolazione macchina" e "pulizia etichettatrice".

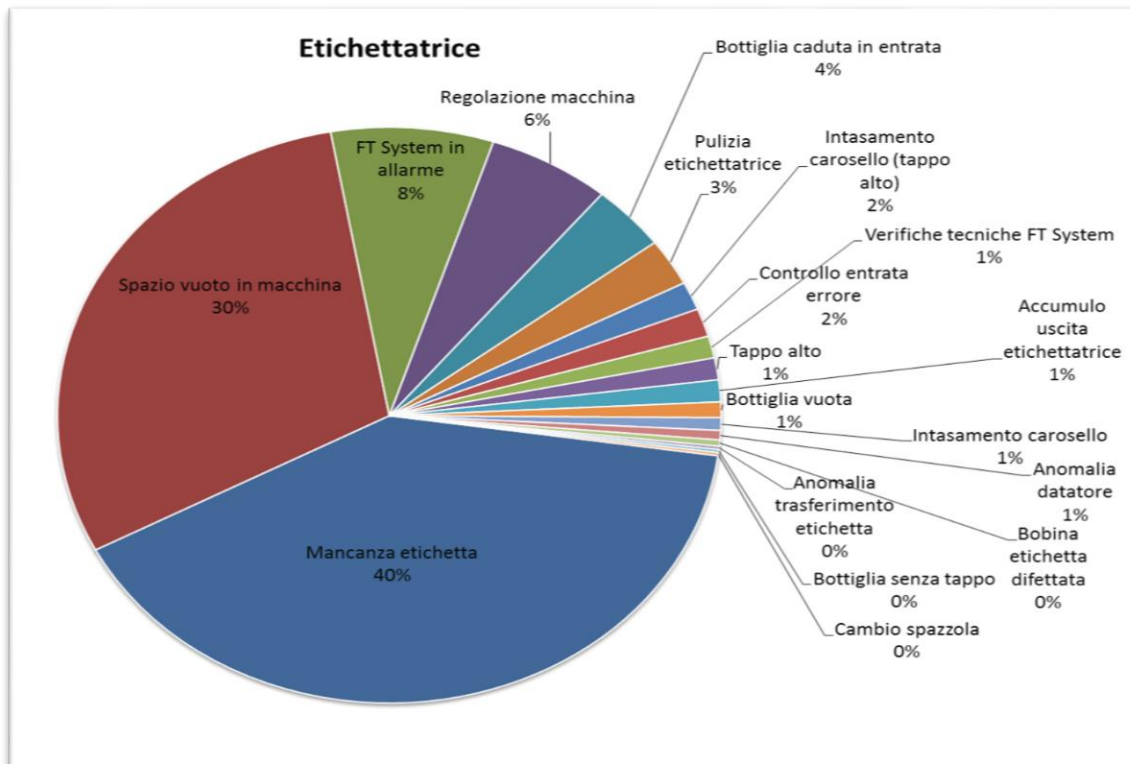


Figura 38: Etichettatrice (numero di microfermate)

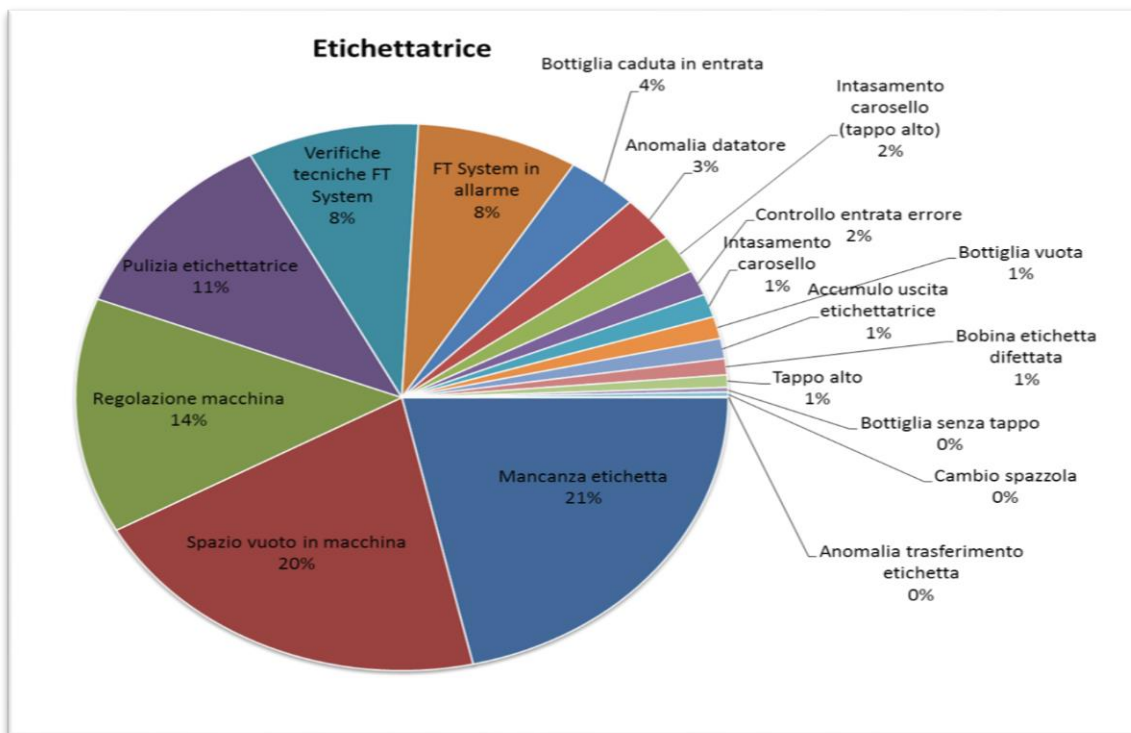


Figura 39: Etichettatrice (minuti di microfermate)

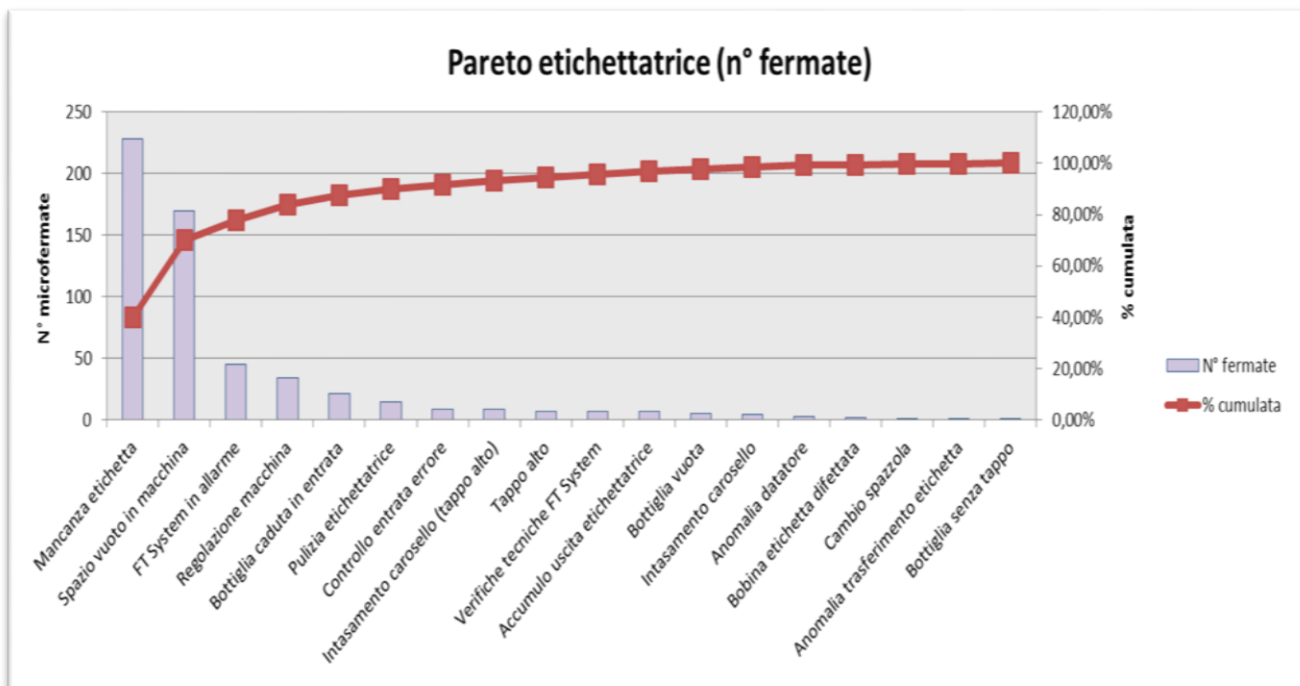


Figura 40: Diagramma di Pareto per numero di fermate (etichettatrice)

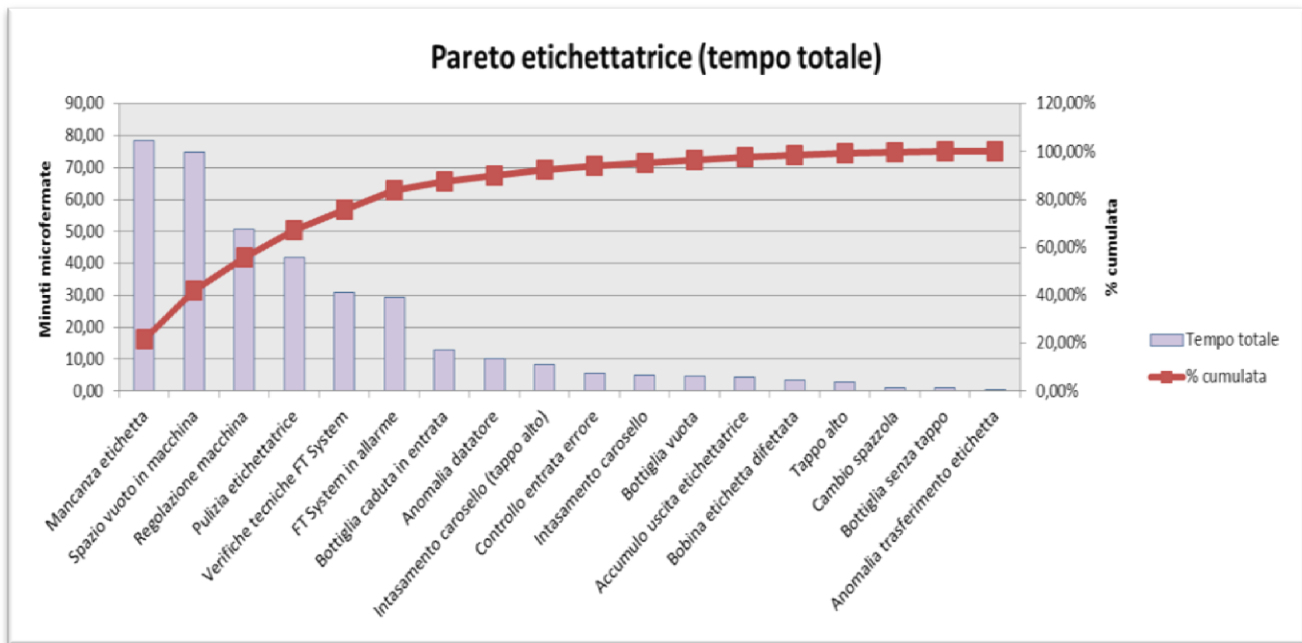


Figura 41: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (etichettatrice)

6.1.3. La confezionatrice

Nella confezionatrice invece le microfermate principali sono “prodotto rovesciato guide alimentazione”, “problema cartoline”, “doppia etichetta-bandiera”, “salita film superiore”, “intasamento disafonte (trasporto ingresso)” e “mancato compattamento allo spintore” (figura 43, 44, 45 e 46).

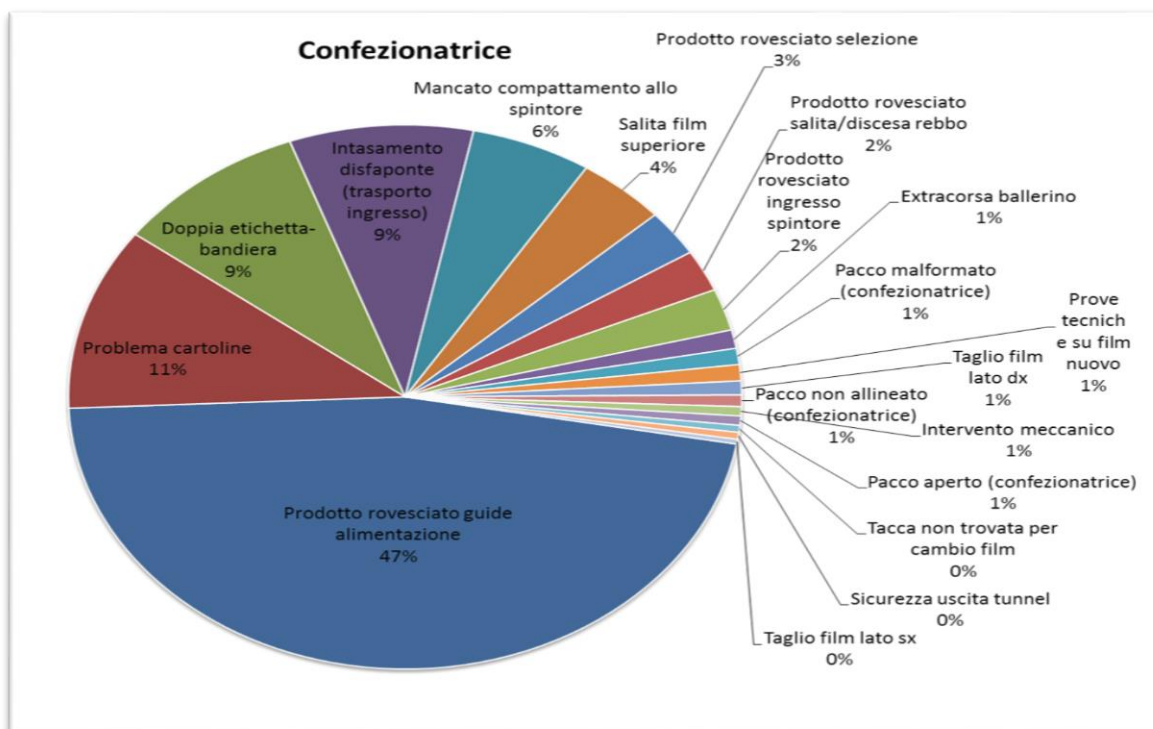


Figura 42: Confezionatrice (numero di microfermate)

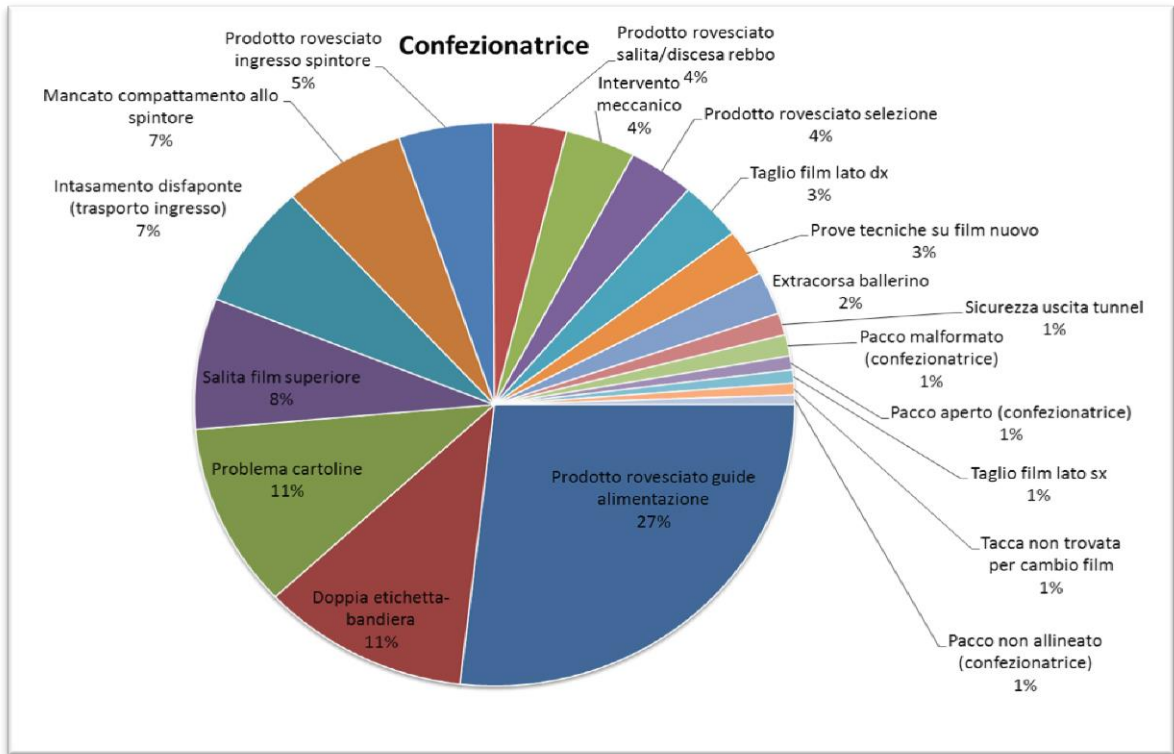


Figura 43: Confezionatrice (minuti di microfermate)

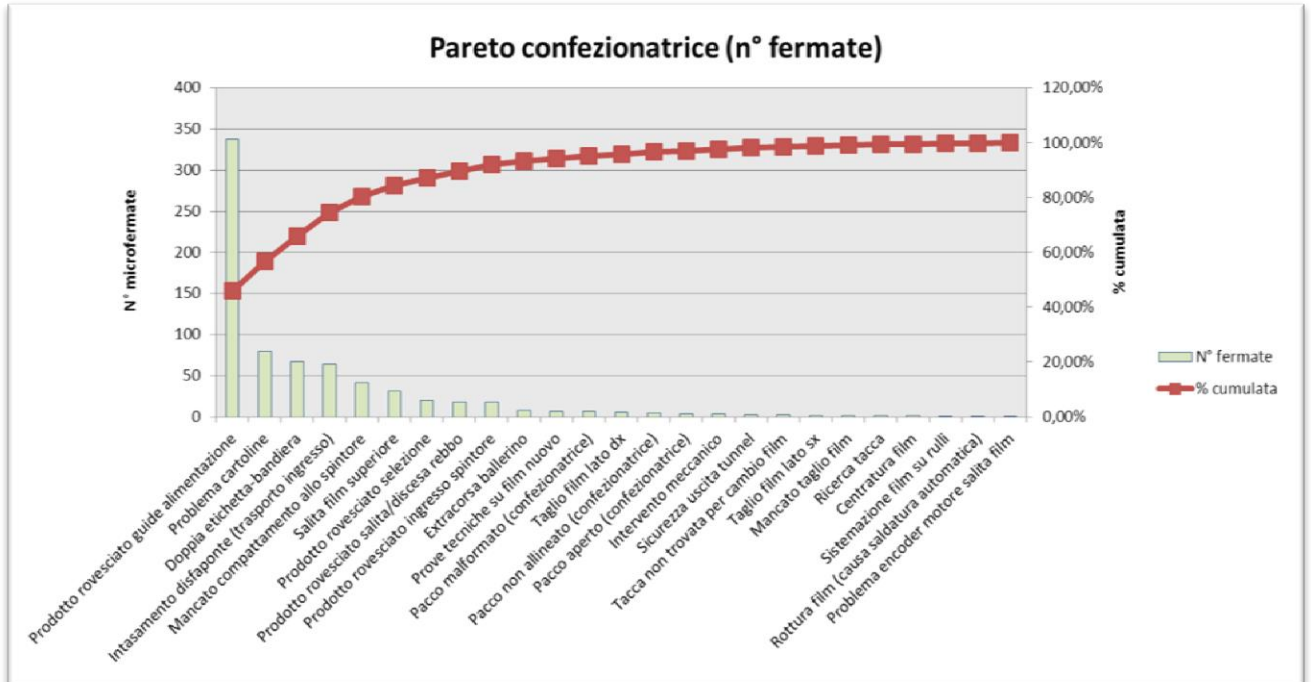


Figura 44: Diagramma di Pareto per numero di fermate (confezionatrice)

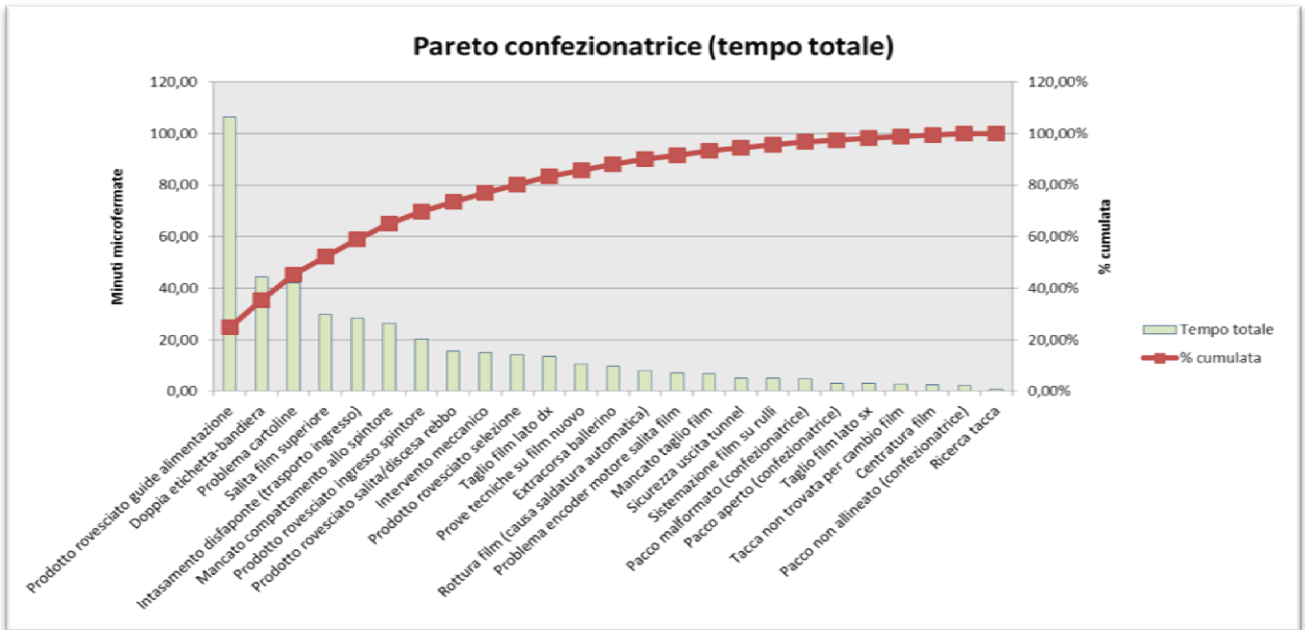


Figura 45: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (confezionatrice)

6.1.4. La manigliatrice

La manigliatrice presenta una varietà inferiore di microfermate, prevalentemente concentrate su “cambio carta maniglia”, “errore taglio maniglia”, “cambio bobina scotch”, “pacco aperto” e “pacco non allineato” (figura 47, 48, 49 e 50).

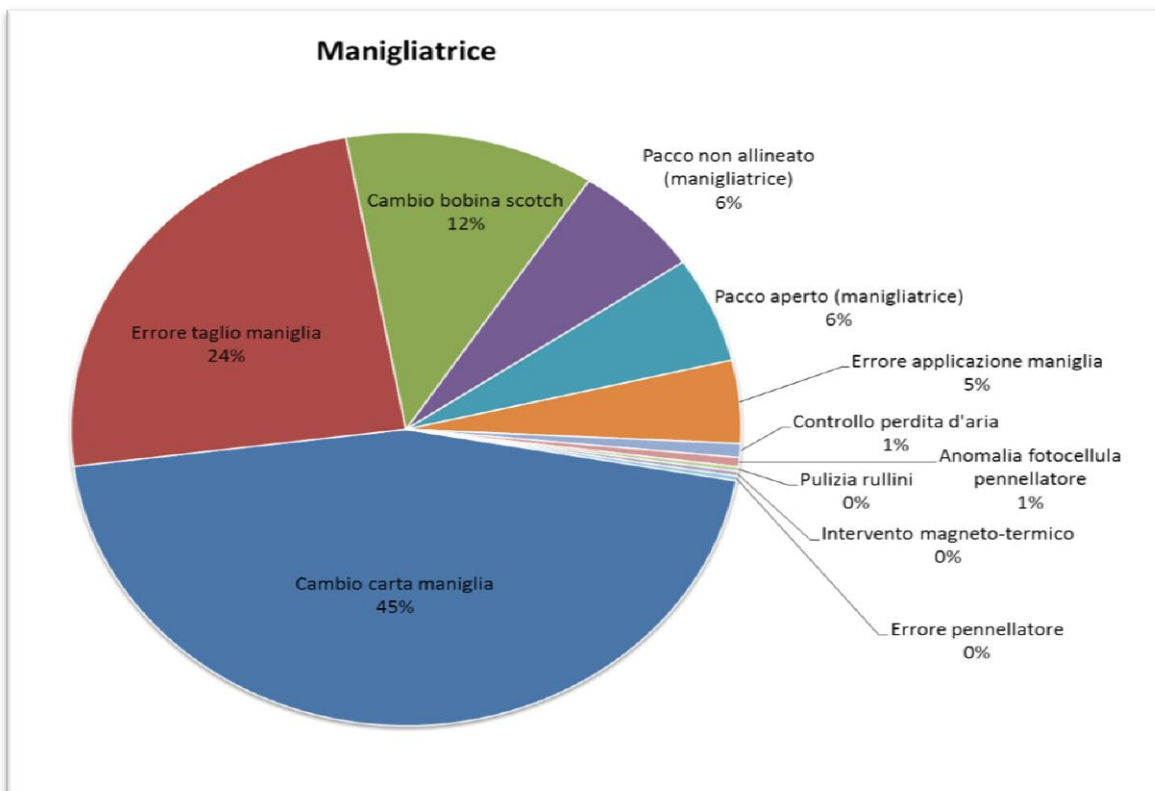


Figura 46: Manigliatrice (numero di microfermate)

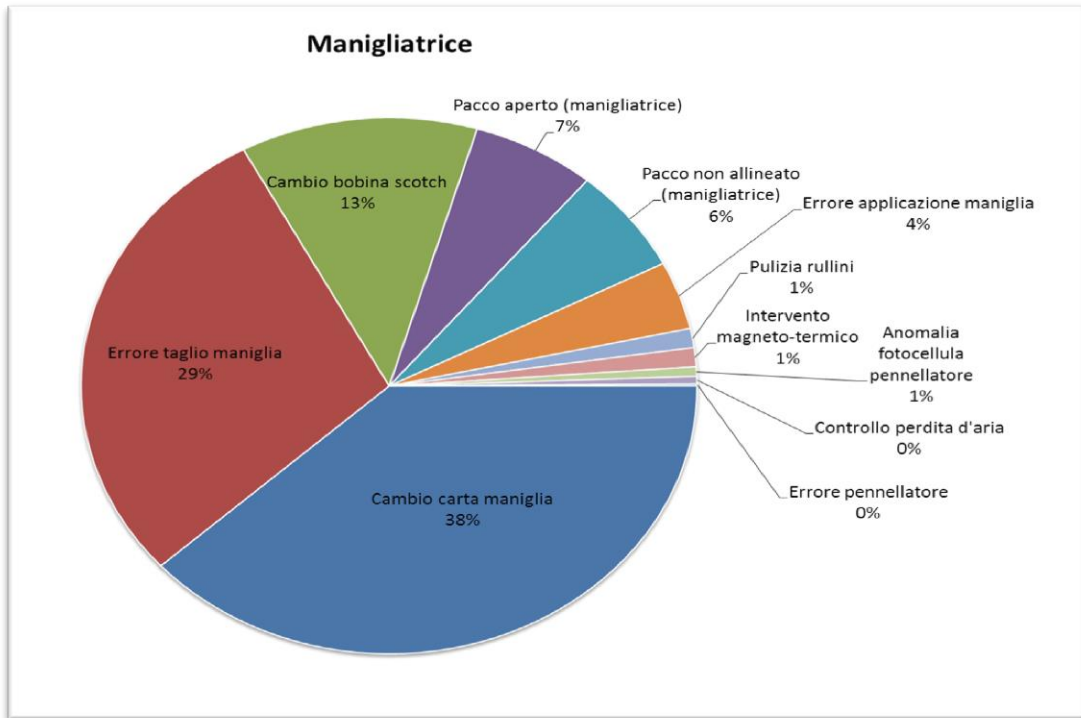


Figura 47: Manigliatrice (minuti di microfermate)

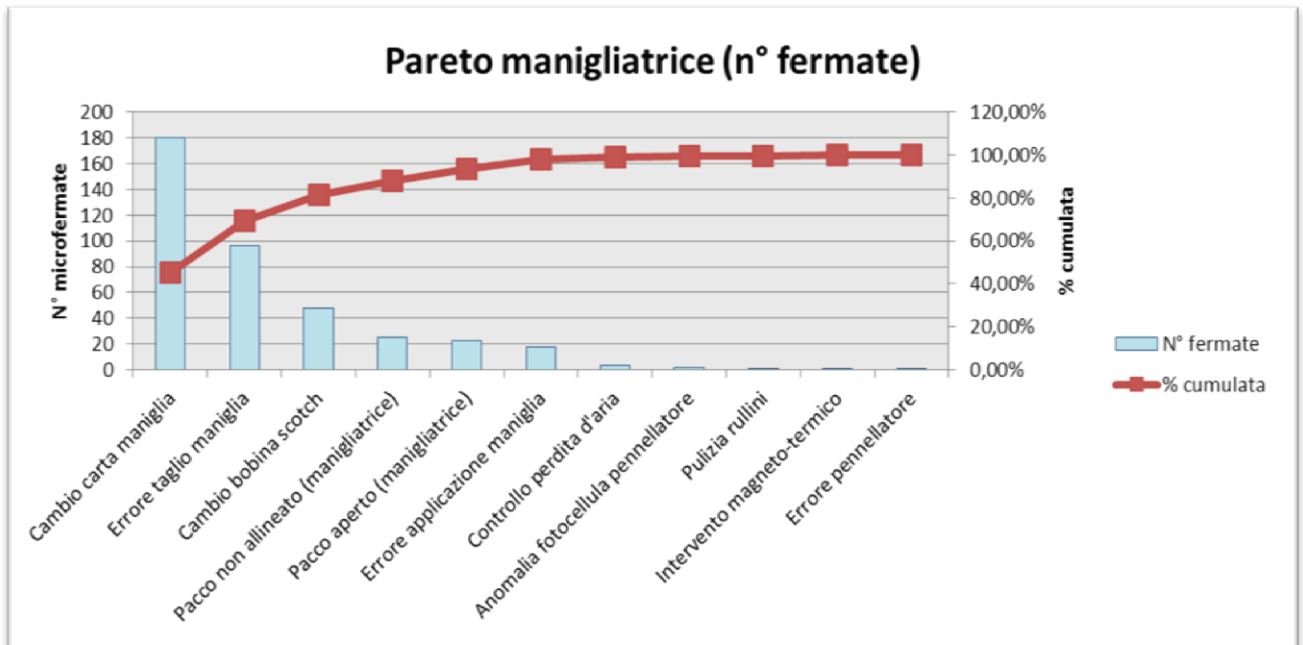


Figura 48: Diagramma di Pareto per numero di fermate (manigliatrice)

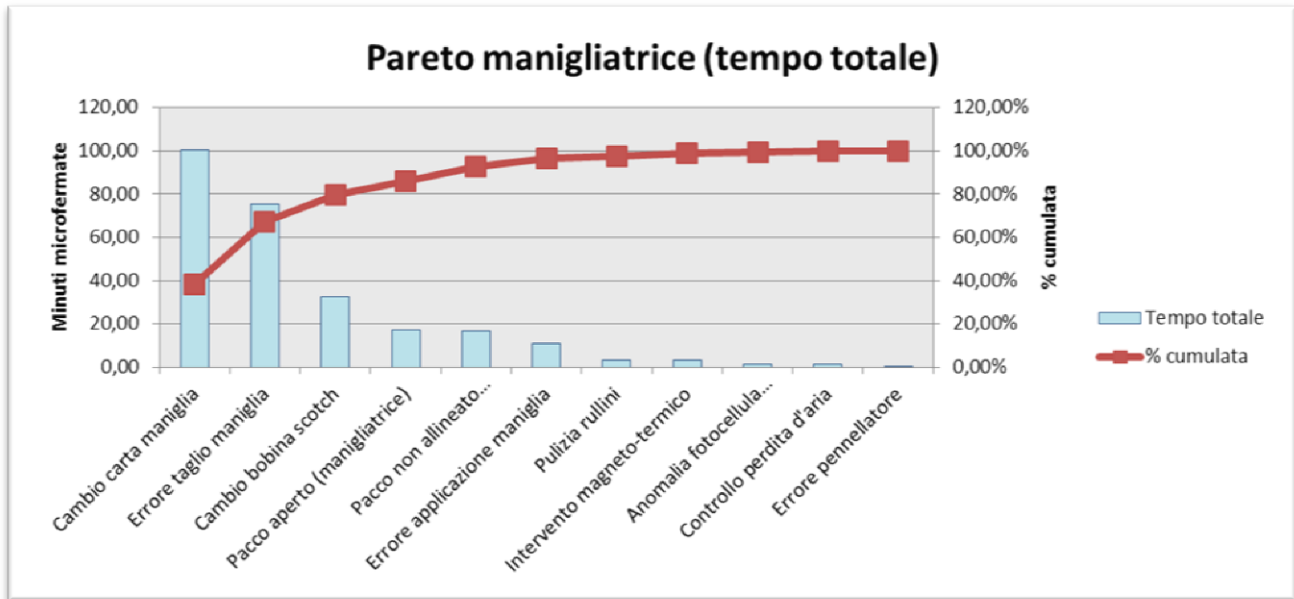


Figura 49: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (manigliatrice)

6.1.5. Il pallettizzatore

Per l'ultima macchina, ovvero il pallettizzatore, la complessità aumenta rispetto alla manigliatrice, presentando come fermate principali "pacco non allineato all'ingresso", "magazzino palette-mal posizionamento", "strato non formato correttamente carrello N°2", "strato non formato correttamente carrello N°1", "pacco caduto", "pacco aperto" e "pallet non allineato ingresso pallettizzatore" (figura 51, 52, 53 e 54).

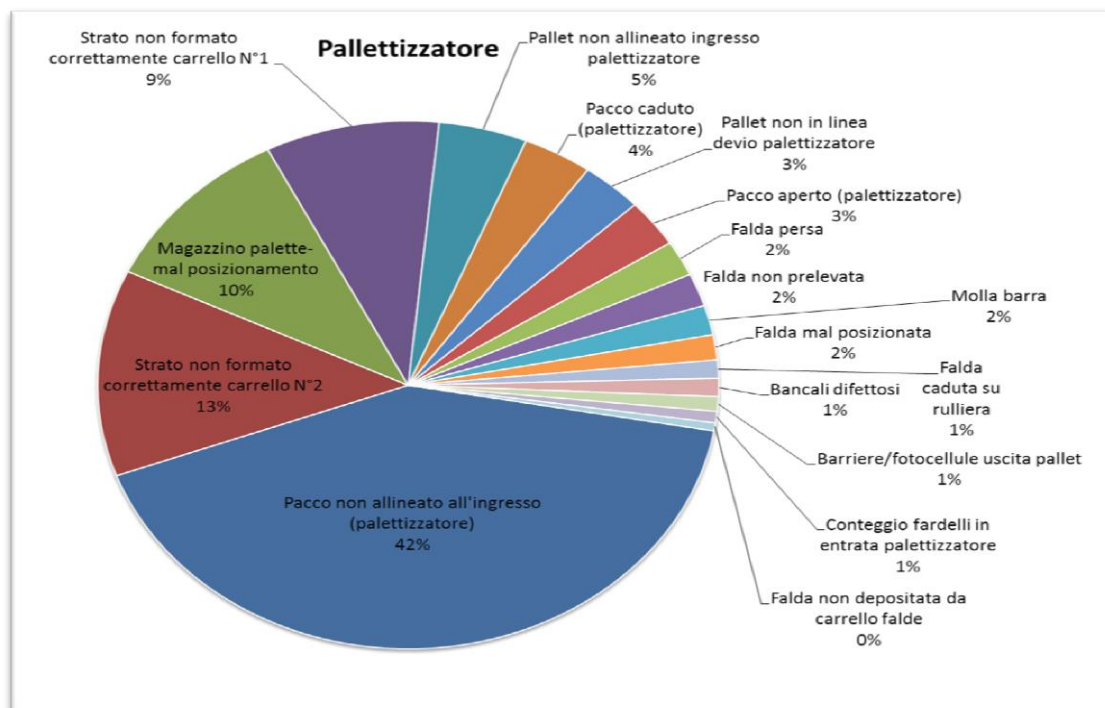


Figura 50: Pallettizzatore (numero di microfermate)

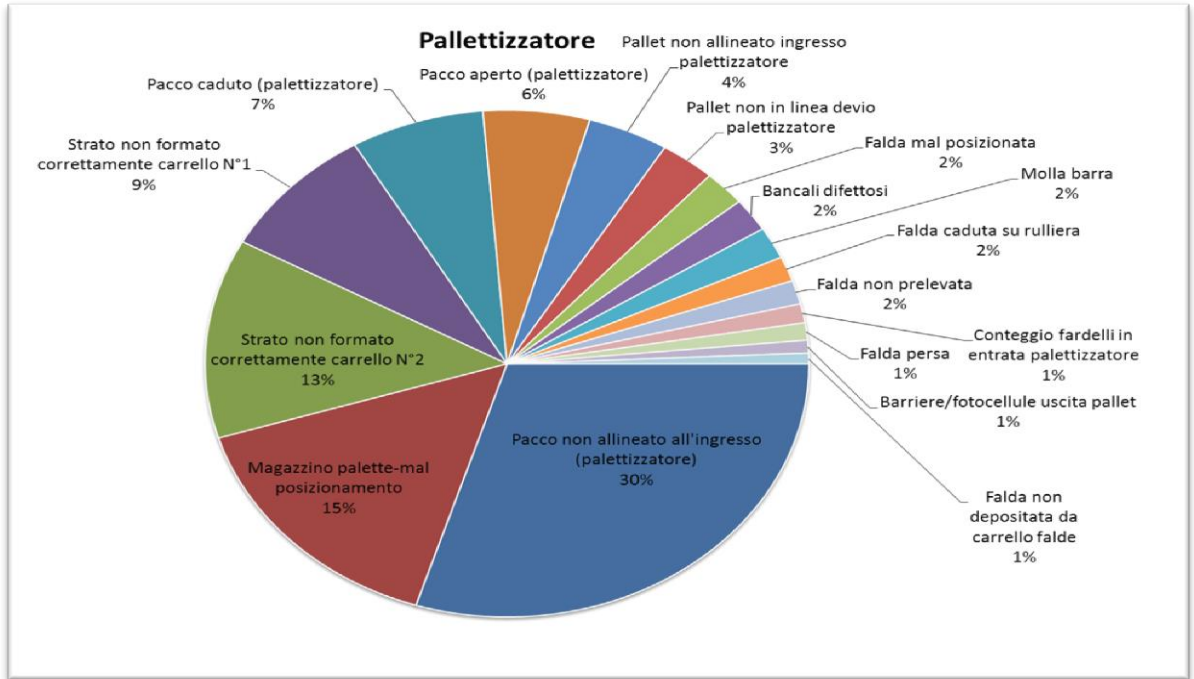


Figura 51: Pallettizzatore (minuti di microfermate)

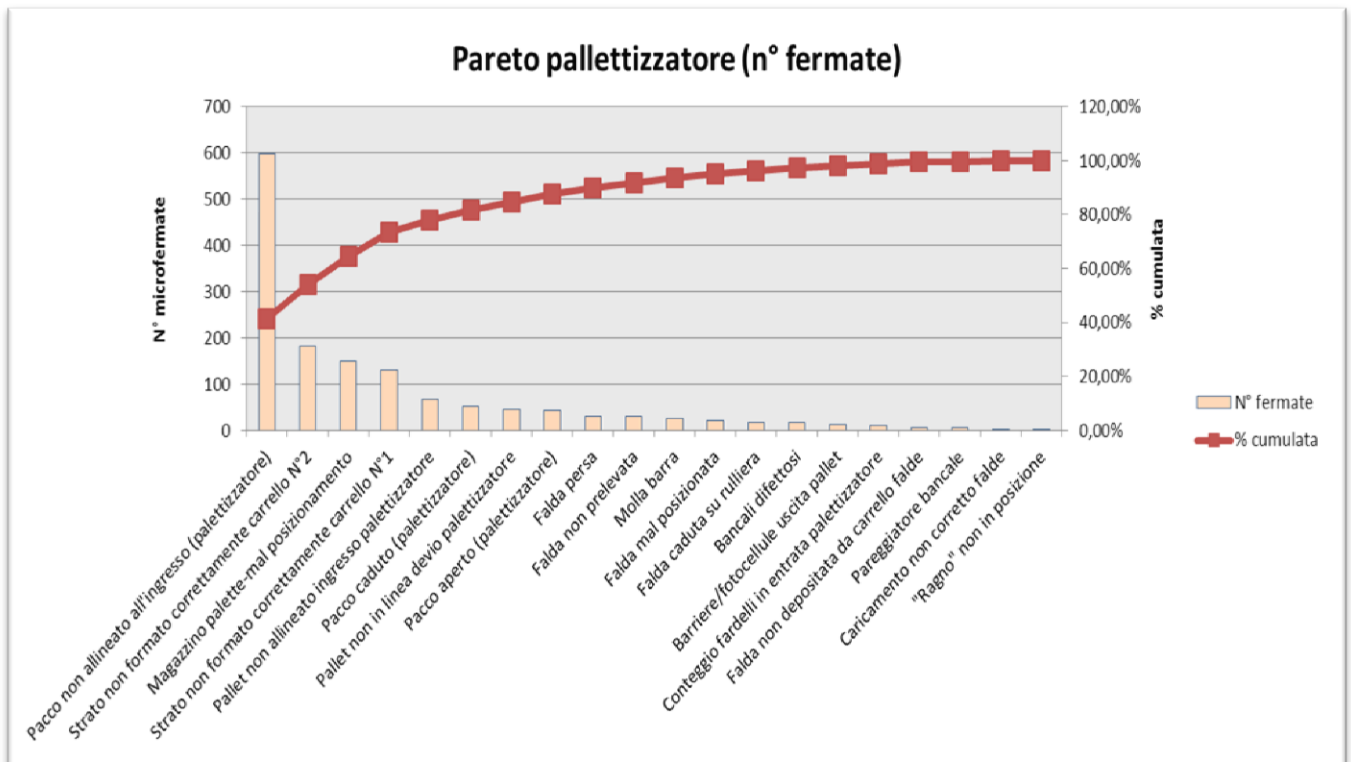


Figura 52: Diagramma di Pareto per numero di fermate (pallettizzatore)

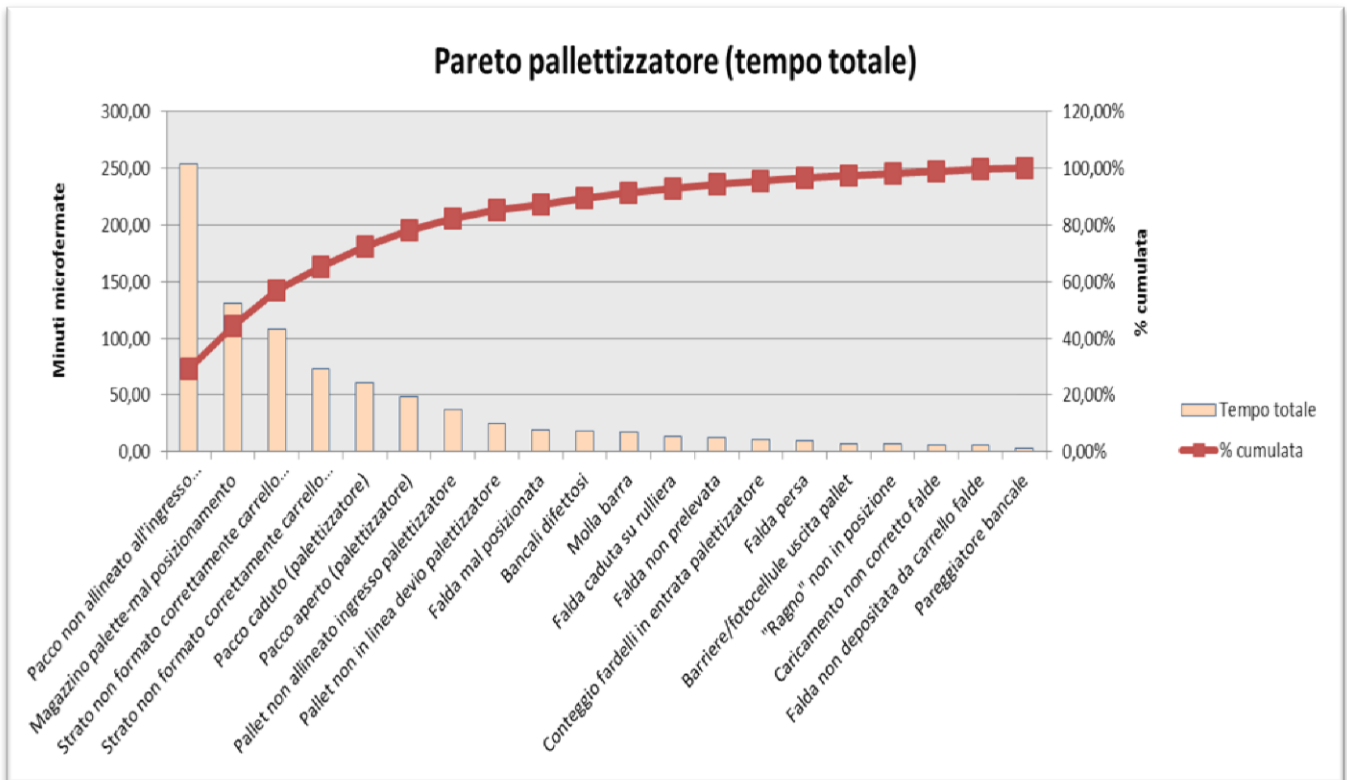


Figura 53: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (pallettizzatore)

In base a quanto ottenuto dall'analisi di Pareto si è poi deciso su quali microfermate concentrare maggiormente gli sforzi di miglioramento, dal momento che, secondo il principio dell'80-20, risolvendo una piccola parte delle cause si possono ottenere grandi benefici in termini di efficienza della linea.

Dopo aver verificato che le microfermate che determinano il maggior numero di ricorrenze sono anche quelle che pesano maggiormente sui tempi persi, si è deciso di selezionare quelle che causano circa l'80% del totale dei tempi persi sulla macchina. Alcune cause, nonostante determinino un'importante riduzione del tempo di funzionamento della macchina, non sono state considerate essendo fermate inevitabili nel processo produttivo, a meno di cambiare tecnologia (ad es. un cambio delle bobine di scotch in automatico anziché in manuale come prevede la tecnologia attuale); al contempo anche cause saltuarie di fermo, come le regolazioni o le pulizie, sono state escluse. Nelle tabelle sottostanti (*tabelle da 27 a 32*, indicanti solo i tempi e non il numero di fermate dato la pressoché equivalenza delle due nella valutazione) sono riportate le microfermate su cui ci si è concentrati a seguito dell'analisi di Pareto, mentre sono state barrate le fermate inevitabili sopracitate che non sono quindi state considerate nelle successive analisi.

RADDRIZZATORE 1	Min totali	%	% cum
Fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 1)	247,70	53,48%	53,48%
Fermata linea aerea (raddrizzatore 1)	215,50	46,52%	100,00%
Totale complessivo	463,20		

Tabella 27: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (raddrizzatore 1)

RADDRIZZATORE 2	Min totali	%	% cum
Fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 2)	190,83	68,77%	68,77%
Fermata linea aerea (raddrizzatore 2)	86,67	31,23%	100,00%
Totale complessivo	277,50		

Tabella 28: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (raddrizzatore 2)

ETICHETTATRICE	Min totali	%	% cum
Mancanza etichetta	78,50	21,50%	21,50%
Spazio vuoto in macchina	74,67	20,45%	41,95%
Regolazione macchina	50,83	13,92%	55,87%
Pulizia etichettatrice	41,83	11,46%	67,32%
Verifiche tecniche FT System	31,00	8,49%	75,81%
FT System in allarme	29,25	8,01%	83,82%
Bottiglia caduta in entrata	12,83	3,51%	87,33%

Tabella 29: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (etichettatrice)

CONFEZIONATRICE	Min totali	%	% cum
Prodotto rovesciato guide alimentazione	106,50	24,96%	24,96%
Doppia etichetta-bandiera	44,42	10,41%	35,36%
Problema cartoline	41,92	9,82%	45,19%
Salita film superiore	29,83	6,99%	52,18%
Intasamento disfaponte (trasporto ingresso)	28,25	6,62%	58,80%
Mancato compattamento allo spintore	26,25	6,15%	64,95%
Prodotto rovesciato ingresso spintore	20,17	4,73%	69,67%
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	15,67	3,67%	73,35%

Tabella 30: : Fermate considerate dopo analisi di Pareto (confezionatrice)

MANIGLIATRICE	Min totali	%	% cum
Cambio carta maniglia	100,17	38,29%	38,29%
Errore taglio maniglia	75,50	28,86%	67,16%
Cambio bobina scotch	32,58	12,46%	79,61%
Pacco aperto (manigliatrice)	17,00	6,50%	86,11%
Pacco non allineato (manigliatrice)	16,58	6,34%	92,45%
Errore applicazione maniglia	10,75	4,11%	96,56%

Tabella 31: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (manigliatrice)

PALLETTIZZATORE	Min totali	%	% cum
Pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)	253,67	29,33%	29,33%
Magazzino palette-mal posizionamento	130,58	15,10%	44,42%
Strato non formato correttamente carrello N°2	108,00	12,49%	56,91%
Strato non formato correttamente carrello N°1	72,83	8,42%	65,33%
Pacco caduto (pallettizzatore)	60,67	7,01%	72,34%
Pacco aperto (pallettizzatore)	48,42	5,60%	77,94%
Pallet non allineato ingresso pallettizzatore	36,75	4,25%	82,19%

Tabella 32: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (pallettizzatore)

6.2. Determinazione dell'OEE giornaliero della linea

Per poter valutare l'impatto benefico che può avere la risoluzione di tutte o alcune delle microfermate è importante avere a disposizione uno strumento che permetta di valutare e quantificare questo impatto. Un indicatore fondamentale che può esprimere la situazione "as is" della linea è l'Overall Equipment Effectiveness (OEE), già descritto nel *paragrafo 1.3*. Questo indice di efficienza globale della linea permette di valutare le prestazioni attuali e successivamente consente di determinare come e quanto un recupero dei tempi persi dovuti alle microfermate incida sulle *performance*. I principali indicatori utilizzati per valutare il miglioramento ottenibile sono l'OEE differenziale tra la situazione "as is" e quella "to be" e l'aumento percentuale dell'OEE.

Il primo *step* dunque prevede di calcolare l'OEE giornaliero della linea.

In San Benedetto l'OEE non viene determinato come da letteratura, ma è più vicino ad esigenze aziendali per comprendere anche eventuali responsabilità nelle sue variazioni. In *figura 55* si propone la sequenza di calcolo come da letteratura (con alcune voci esplicitate rispetto alle descrizioni classiche in modo da rendere evidente la differenza col metodo aziendale), mentre in *figura 56* come in azienda.

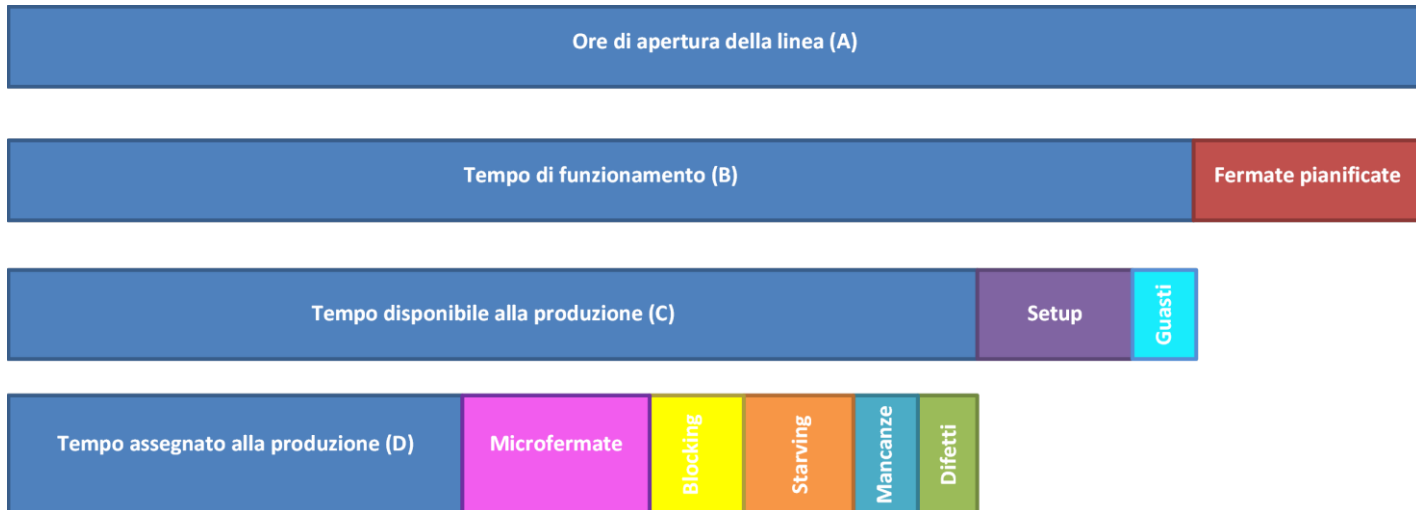


Figura 54: Calcolo OEE da letteratura

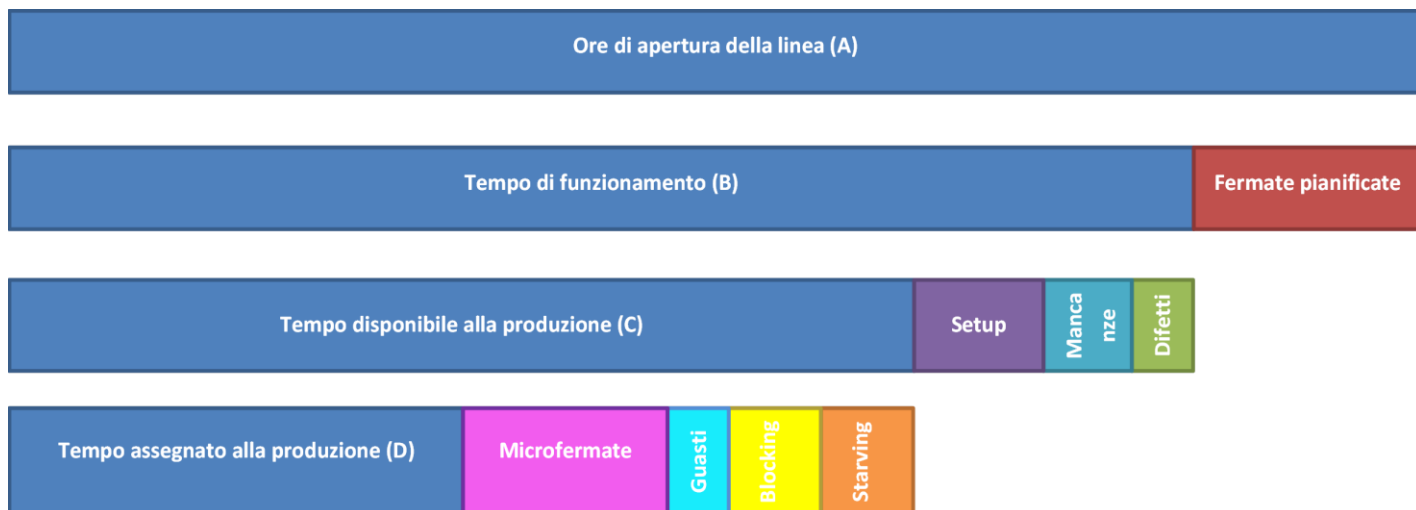


Figura 55: Calcolo OEE con metodo aziendale

Le principali differenze con quanto proposto in letteratura sono:

- Le fermate pianificate (ad es. manutenzione preventiva, sanificazione riempitrice, sciopero) vengono sottratte dal tempo disponibile a denominatore della disponibilità;
- I guasti non vengono sottratti dal numeratore della disponibilità;
- I tempi persi per mancanze e difetti vengono imputati alla disponibilità invece che essere quantificati come una minore produzione nell'efficienza meccanica;
- La qualità non viene considerata nel calcolo dell'OEE.

L'obiettivo è però quello di adeguare le formule per il calcolo di disponibilità ed efficienza meccanica a quanto indicato in letteratura ed esprimere il tutto solamente in termini di tempi, anche per l'efficienza meccanica. Fondamentale è dunque valutare la correlazione tra l'OEE

disponibile nei documenti aziendali e quello calcolabile grazie alle informazioni fornite dall'azienda e alla rilevazione dei dati sul campo.

Per ottenere questo secondo *OEE* si è applicato il metodo aziendale in modo da poter valutare correttamente la correlazione e poi, forti della solidità e della robustezza del calcolo eseguito, adeguare l'*OEE* alle formule presenti in letteratura in modo da rendere possibile anche un confronto con valori *world class*.

Dal momento che la rilevazione dati è stata eseguita per un tempo limitato e non sull'intero tempo produttivo giornaliero, è necessario fare una stima dei tempi delle microfermate per le ore e i giorni in cui non è stata effettuata la raccolta dati. Sono stati quindi calcolati i secondi di microfermata per ora lavorata per ogni macchina e dei moltiplicatori per valutare la durata totale delle microfermate giorno per giorno. Tali moltiplicatori sono dati dal rapporto:

$$\frac{\text{Ore giornaliere di lavoro}}{\text{Ore giornaliere di rilevazione dati}}$$

Nei giorni in cui è stata effettuata la rilevazione la stima dei tempi è stata fatta come:

$$\text{Durata delle microfermate nelle ore di rilevazione} \times \text{Moltiplicatore}$$

Quindi se la rilevazione dati è stata di 8 ore e la linea ha lavorato 16 ore, il moltiplicatore è pari a 2: si stabilisce una proporzionalità diretta tra durata delle microfermate e ore di lavoro. Questa ipotesi può sembrare molto semplificativa però, come si vedrà in seguito, in realtà fa combaciare piuttosto bene i dati dell'*OEE* utilizzato in azienda e quello calcolato solamente tramite i tempi; si può quindi considerare un'ipotesi molto plausibile.

Per i giorni in cui non è stata fatta la rilevazione invece si è proceduto come segue per la stima:

$$\text{Secondi di microfermata per ora lavorata} \times \text{Ore lavorate dalla linea}$$

In questo caso quindi il moltiplicatore è dato solamente dalle ore di lavoro.

6.2.1. Calcolo OEE con dati e metodo aziendali

Vengono di seguito presentate due tabelle (una per il mese di marzo e una per aprile 2015) (*tabelle 33 e 34*) e una con il dato riassuntivo del mese (*tabella 35*) con il calcolo dell'*OEE* usando i dati aziendali; inoltre è stato introdotto anche il dato riguardante la qualità; i giorni

senza dati la linea non è in produzione. Le formule utilizzate sono quelle del *paragrafo 5.1*, mentre per il calcolo completo si rimanda alle *tabelle 134, 135 e 136* in allegato.

Data	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	91,94%	78,41%	96,73%	69,74%
03/03/2015	97,45%	71,69%	98,40%	68,74%
04/03/2015	91,24%	71,97%	97,22%	63,84%
05/03/2015	93,61%	77,70%	97,31%	70,78%
06/03/2015	88,68%	86,85%	97,18%	74,84%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	90,52%	84,60%	96,46%	73,87%
10/03/2015	91,05%	79,27%	96,83%	69,89%
11/03/2015	92,19%	65,59%	96,08%	58,10%
12/03/2015	90,21%	60,04%	94,67%	51,27%
13/03/2015	93,89%	79,86%	96,07%	72,03%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	92,69%	72,29%	94,99%	63,64%
17/03/2015	95,25%	71,14%	96,51%	65,40%
18/03/2015	94,57%	66,99%	95,86%	60,73%
19/03/2015	90,29%	76,00%	95,50%	65,53%
20/03/2015	93,76%	80,64%	96,27%	72,78%
21/03/2015	87,50%	78,71%	96,67%	66,57%
22/03/2015				
23/03/2015	89,42%	87,09%	93,74%	73,01%
24/03/2015	88,83%	73,15%	95,71%	62,19%
25/03/2015	92,95%	81,87%	98,34%	74,83%
26/03/2015	91,20%	70,79%	95,96%	61,95%
27/03/2015	90,78%	80,98%	97,03%	71,33%
28/03/2015	85,47%	84,75%	95,86%	69,43%
29/03/2015				
30/03/2015	91,30%	82,67%	95,91%	72,38%
31/03/2015	94,19%	87,53%	98,47%	81,19%

Tabella 33: Calcolo dell'OEE con dati aziendali (marzo 2015)

Data	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
01/04/2015	90,39%	80,17%	95,75%	69,39%
02/04/2015	90,46%	75,67%	94,16%	64,45%
03/04/2015	91,99%	83,63%	96,45%	74,20%
04/04/2015	87,50%	91,40%	99,14%	79,29%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	91,76%	66,63%	95,60%	58,45%
08/04/2015	86,90%	83,87%	98,08%	71,48%
09/04/2015	92,22%	82,59%	97,11%	73,97%
10/04/2015	96,07%	82,57%	97,02%	76,96%
11/04/2015	90,26%	85,57%	96,83%	74,79%
12/04/2015				
13/04/2015	91,85%	77,60%	97,17%	69,26%
14/04/2015	90,99%	86,12%	98,06%	76,84%
15/04/2015	90,31%	83,34%	96,95%	72,97%
16/04/2015	92,22%	82,58%	97,83%	74,51%
17/04/2015	92,98%	81,78%	96,38%	73,28%
18/04/2015	91,16%	85,01%	96,67%	74,92%
19/04/2015				
20/04/2015	94,58%	58,88%	95,58%	53,23%
21/04/2015	93,61%	67,71%	95,44%	60,49%
22/04/2015	91,24%	84,57%	96,51%	74,47%
23/04/2015	93,53%	70,59%	94,13%	62,15%
24/04/2015	91,11%	76,39%	93,37%	64,99%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	94,06%	68,83%	97,99%	63,45%
28/04/2015	96,15%	81,35%	97,85%	76,53%
29/04/2015	89,48%	78,88%	95,54%	67,44%
30/04/2015	94,00%	84,78%	96,30%	76,75%

Tabella 34: Calcolo dell'OEE con dati aziendali (aprile 2015)

OEE mensile

Mese	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
Marzo	91,99%	76,77%	96,59%	68,21%
Aprile	91,93%	79,06%	96,51%	70,15%

Tabella 35: OEE mensile con dati aziendali

6.2.2. OEE con dati rilevati e metodo aziendale

Viene ora proposto invece il calcolo dell'OEE con i dati delle microfermate rilevati sulla linea, sempre adottando il metodo aziendale ma utilizzando solamente i tempi e non più la produzione per calcolare l'efficienza meccanica (*tabelle 36, 37 e 38*; per il calcolo completo si rimanda alla *tabelle 137, 138 e 139* in allegato).

Per calcolare l'OEE della linea ci si è focalizzati sul pallettizzatore: come visto questa macchina si è rilevata quella col maggior numero di fermate e quindi che penalizza di più la linea. Inoltre

è stata fatta un'ulteriore considerazione: il pallettizzatore è fondamentalmente l'ultima macchina della linea (in realtà ce ne sono altre ma raramente hanno delle fermate, quindi non vanno a determinare un blocco dell'intera linea, salvo guasti) perciò l'*output* della linea è determinato dal pallettizzatore (ipotesi plausibile come si vedrà dalla correlazione). Dunque la riempitrice è il collo di bottiglia teorico, però quello reale è probabile che sia il pallettizzatore.

I motivi per cui il pallettizzatore non può lavorare sono tre:

- Problemi della macchina: microfermate o guasti del pallettizzatore;
- Problemi a monte: fenomeni di *starving*, cioè tempi persi in cui la macchina è senza prodotto in ingresso e quindi non può lavorare a causa di fermate o rallentamenti dell'*up-stream flow*;
- Problemi a valle: fenomeni di *blocking*, cioè tempi persi in cui la macchina non può proseguire il proprio lavoro poiché il *buffer* a valle è pieno a causa di fermate o rallentamenti del *down-stream flow*.

Si può quindi dire che per determinare le *performance* della linea ci si può concentrare sul pallettizzatore poiché:

- Le microfermate e i guasti portano ad un minore *output* complessivo della linea, infatti anche se si avesse un *buffer* in ingresso potenzialmente infinito la linea a monte continuerebbe a lavorare ma dall'impianto non uscirebbero bottiglie;
- I fenomeni di *starving* sono dovuti alle macchine a monte quindi per capire come ridurre questi tempi bisogna andare a lavorare sulle microfermate e i guasti di manigliatrice, confezionatrice, etichettatrice, tappatrice, riempitrice, sciacquatrice e raddrizzatori;
- I fenomeni di *blocking* sono causati dalle macchine a valle del pallettizzatore e quindi per migliorare le *performance* di tutta la linea si può andare ad agire sulle microfermate e i guasti di fasciatrice, twiner, reggiatrice ed etichettatrice palette.

Si è quindi ipotizzato (e poi verificato) che possa essere la macchina rappresentativa di tutto l'impianto per determinare l'OEE. Per il pallettizzatore sono stati rilevati:

- La durata delle microfermate e dei guasti da parte degli operatori e del supervisore del progetto;
- I tempi di *starving* e di *blocking* dal sistema di rilevazione automatica dei tempi installato sulla linea.

Dal tempo di *starving* e *blocking* sono stati tolti i tempi di *setup* del pallettizzatore poiché il sistema di rilevazione tiene conto anche di questi tempi che però non devono essere considerati per valutare l'efficienza meccanica.

Data	Disponibilità	Efficienza	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	91,94%	78,46%	96,73%	69,78%
03/03/2015	97,45%	67,44%	98,40%	64,67%
04/03/2015	91,24%	67,53%	97,22%	59,90%
05/03/2015	93,61%	83,00%	97,31%	75,61%
06/03/2015	88,68%	89,00%	97,18%	76,70%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	90,52%	90,22%	96,46%	78,78%
10/03/2015	91,05%	78,99%	96,83%	69,64%
11/03/2015	92,19%	61,31%	96,08%	54,31%
12/03/2015	90,21%	58,12%	94,67%	49,64%
13/03/2015	93,89%	84,98%	96,07%	76,65%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	92,69%	75,62%	94,99%	66,57%
17/03/2015	95,25%	68,91%	96,51%	63,35%
18/03/2015	94,57%	64,07%	95,86%	58,08%
19/03/2015	90,29%	74,57%	95,50%	64,30%
20/03/2015	93,76%	86,51%	96,27%	78,08%
21/03/2015	87,50%	84,34%	96,67%	71,34%
22/03/2015				
23/03/2015	89,42%	92,26%	93,74%	77,34%
24/03/2015	88,83%	75,90%	95,71%	64,53%
25/03/2015	92,95%	86,50%	98,34%	79,06%
26/03/2015	91,20%	74,08%	95,96%	64,84%
27/03/2015	90,78%	86,65%	97,03%	76,33%
28/03/2015	85,47%	84,37%	95,86%	69,12%
29/03/2015				
30/03/2015	91,30%	85,99%	95,91%	75,29%
31/03/2015	94,19%	88,07%	98,47%	81,69%

Tabella 36: Calcolo dell'OEE con i dati delle microfermate (marzo 2015)

Data	Disponibilità	Efficienza	Qualità	OEE
01/04/2015	90,39%	75,44%	95,75%	65,29%
02/04/2015	90,46%	79,10%	94,16%	67,38%
03/04/2015	91,99%	86,66%	96,45%	76,89%
04/04/2015	87,50%	89,86%	99,14%	77,95%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	91,76%	69,54%	95,60%	61,00%
08/04/2015	86,90%	83,14%	98,08%	70,86%
09/04/2015	92,22%	88,84%	97,11%	79,56%
10/04/2015	96,07%	89,01%	97,02%	82,96%
11/04/2015	90,26%	81,16%	96,83%	70,93%
12/04/2015				
13/04/2015	91,85%	80,14%	97,17%	71,52%
14/04/2015	90,99%	87,73%	98,06%	78,28%
15/04/2015	90,31%	83,82%	96,95%	73,39%
16/04/2015	92,22%	87,57%	97,83%	79,00%
17/04/2015	92,98%	87,56%	96,38%	78,46%
18/04/2015	91,16%	86,42%	96,67%	76,16%
19/04/2015				
20/04/2015	94,58%	58,77%	95,58%	53,13%
21/04/2015	93,61%	67,98%	95,44%	60,74%
22/04/2015	91,24%	82,73%	96,51%	72,85%
23/04/2015	93,53%	77,68%	94,13%	68,38%
24/04/2015	91,11%	71,82%	93,37%	61,10%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	94,06%	70,83%	97,99%	65,28%
28/04/2015	96,15%	81,59%	97,85%	76,76%
29/04/2015	89,48%	76,76%	95,54%	65,63%
30/04/2015	94,00%	79,52%	96,30%	71,99%

Tabella 37: Calcolo dell'OEE con i dati delle microfermate (aprile 2015)

OEE mensile				
Mese	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
Marzo	91,99%	78,02%	96,59%	69,33%
Aprile	91,93%	80,25%	96,51%	71,21%

Tabella 38: OEE mensile con i dati delle microfermate

6.2.3. Validazione dati rilevati

È possibile ora fare un confronto tra l'OEE ottenuto con i dati aziendali e quello calcolato grazie ai tempi rilevati. In *tabella 39* viene riportato nella prima colonna l'OEE da *master* aziendale, nella seconda quello ottenuto con i tempi rilevati e nella terza colonna la differenza tra i due; sono stati naturalmente presi in considerazione solamente i giorni effettivi di lavoro per fare il confronto.

Data	OEE da master	OEE rilevato	Differenza
02/03/2015	69,74%	69,78%	0,04%
03/03/2015	68,74%	64,67%	-4,07%
04/03/2015	63,84%	59,90%	-3,94%
05/03/2015	70,78%	75,61%	4,83%
06/03/2015	74,84%	76,70%	1,85%
09/03/2015	73,87%	78,78%	4,90%
10/03/2015	69,89%	69,64%	-0,25%
11/03/2015	58,10%	54,31%	-3,79%
12/03/2015	51,27%	49,64%	-1,63%
13/03/2015	72,03%	76,65%	4,62%
16/03/2015	63,64%	66,57%	2,93%
17/03/2015	65,40%	63,35%	-2,05%
18/03/2015	60,73%	58,08%	-2,65%
19/03/2015	65,53%	64,30%	-1,23%
20/03/2015	72,78%	78,08%	5,30%
21/03/2015	66,57%	71,34%	4,76%
23/03/2015	73,01%	77,34%	4,33%
24/03/2015	62,19%	64,53%	2,33%
25/03/2015	74,83%	79,06%	4,23%
26/03/2015	61,95%	64,84%	2,89%
27/03/2015	71,33%	76,33%	5,00%
28/03/2015	69,43%	69,12%	-0,31%
30/03/2015	72,38%	75,29%	2,91%
31/03/2015	81,19%	81,69%	0,50%
01/04/2015	69,39%	65,29%	-4,09%
02/04/2015	64,45%	67,38%	2,92%
03/04/2015	74,20%	76,89%	2,69%
04/04/2015	79,29%	77,95%	-1,34%
07/04/2015	58,45%	61,00%	2,55%
08/04/2015	71,48%	70,86%	-0,62%
09/04/2015	73,97%	79,56%	5,60%
10/04/2015	76,96%	82,96%	6,00%
11/04/2015	74,79%	70,93%	-3,86%
13/04/2015	69,26%	71,52%	2,27%
14/04/2015	76,84%	78,28%	1,44%
15/04/2015	72,97%	73,39%	0,42%
16/04/2015	74,51%	79,00%	4,49%
17/04/2015	73,28%	78,46%	5,18%
18/04/2015	74,92%	76,16%	1,24%
20/04/2015	53,23%	53,13%	-0,11%
21/04/2015	60,49%	60,74%	0,24%
22/04/2015	74,47%	72,85%	-1,62%
23/04/2015	62,15%	68,38%	6,23%
24/04/2015	64,99%	61,10%	-3,89%
27/04/2015	63,45%	65,28%	1,84%
28/04/2015	76,53%	76,76%	0,22%
29/04/2015	67,44%	65,63%	-1,81%
30/04/2015	76,75%	71,99%	-4,76%

Tabella 39: Confronto OEE giornaliero da master e rilevato

OEE mensile

Mese	OEE da master	OEE rilevato	Differenza
Marzo	68,21%	69,33%	1,12%
Aprile	70,15%	71,21%	1,06%

Tabella 40: Confronto OEE da master e rilevato

Si può notare come l'OEE rilevato non corrisponda esattamente a quello da master, con alcuni giorni con differenze anche significative (al massimo circa 6%), però è del tutto normale in una situazione in cui si vanno a stimare i tempi persi relativi alle microfermate. In realtà confrontando i dati mensili la differenza tra i due OEE è minima (di poco superiore a 1%) (tabella 40) quindi, nonostante giornalmente potrebbe non risultare estremamente precisa, l'ipotesi della proporzionalità diretta tra durata dei *micro breakdown* e ore di lavoro, a livello mensile, è una approssimazione più che accettabile per avere un dato su cui fare delle valutazioni.

Prima però di confermare la validità di questa ipotesi è necessario valutare se vi sia una correlazione forte tra i due OEE. In figura 57 vengono inseriti in uno *scatter plot* i valori dell'OEE da master e quello rilevato. Il valore R^2 (coefficiente di determinazione) è pari a 0,8441: è un valore molto vicino a 1 quindi si può dire che il modello statistico utilizzato (ovvero la proporzionalità diretta tra microfermate e ore di lavoro) riesce a spiegare in modo soddisfacente i dati utilizzati. In questo modo si è dimostrata la validità dei dati rilevati sulla linea e quindi la possibilità di adeguare il calcolo dell'OEE a quanto espresso in letteratura poiché, anche se il risultato finale verrà diverso, la veridicità di questo rimane inalterata dal momento che si utilizzano dati affidabili.

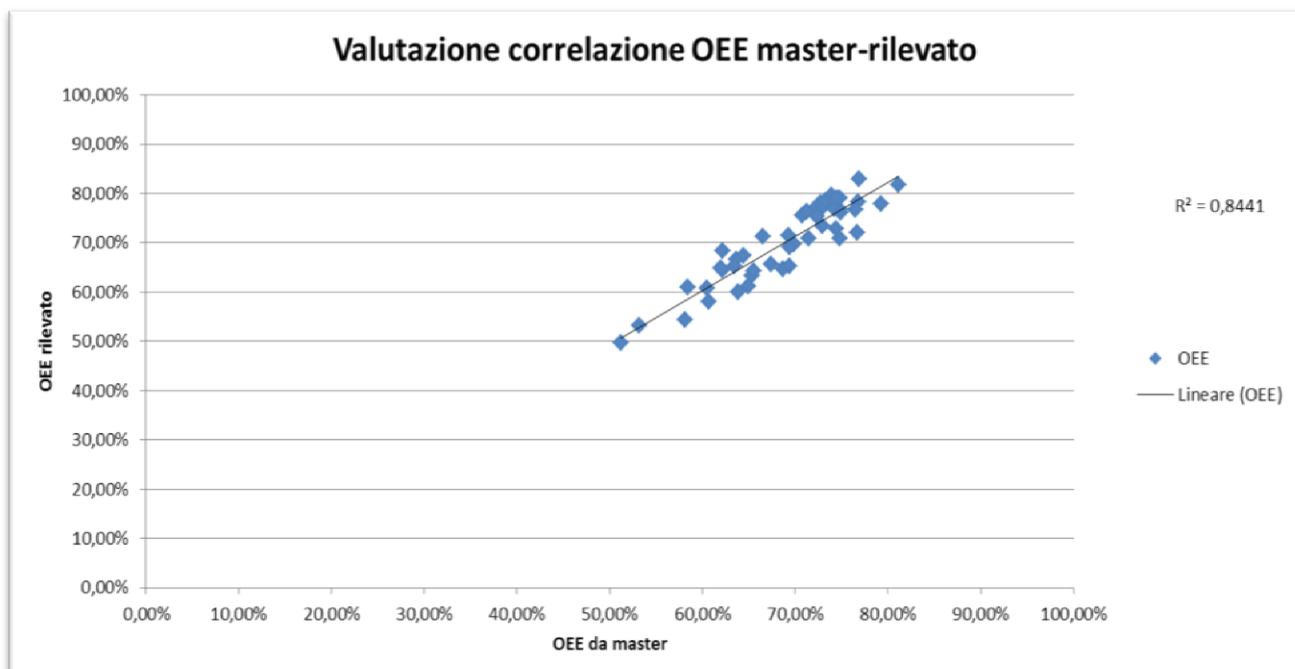


Figura 56: Correlazione OEE da master e rilevato

6.2.4. Calcolo OEE con dati rilevati e metodo classico

Si può allora passare alla formulazione classica delle varie voci dell'OEE, ovvero:

$$\begin{aligned} \text{Disponibilità} &= \frac{\text{Tempo di produzione disponibile}}{\text{Tempo totale disponibile}} = \\ &= \frac{\text{Ore di lavoro della linea} - \text{Fermate pianificate} - \text{Setup} - \text{Guasti}}{\text{Ore di lavoro della linea}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efficienza meccanica} &= \frac{\text{Tempo di produzione effettivo}}{\text{Tempo di produzione disponibile}} = \\ &= \frac{\text{Tempo di produzione disponibile} - \text{Microfermate} - \text{Starving} - \text{Blocking}}{\text{Tempo di produzione disponibile}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Qualità} &= \frac{\text{Bottiglie dopo raddrizzatori} - \text{Scarti}}{\text{Bottiglie dopo raddrizzatori}} = \\ &= \frac{\text{Bottiglie dopo raddrizzatori} - (\text{Bottiglie dopo raddrizzatori} - \text{Bottiglie dopo pallettizzatore})}{\text{Bottiglie dopo raddrizzatori}} \end{aligned}$$

In *tabella 41, 42 e 43* è riportato il calcolo dell'OEE per marzo e aprile 2015, mentre per il dettaglio si rimanda alla *tabelle 140, 141 e 142* in allegato.

Data	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	95,00%	79,15%	96,99%	72,93%
03/03/2015	83,61%	76,97%	99,47%	64,01%
04/03/2015	82,95%	73,32%	98,99%	60,21%
05/03/2015	94,81%	83,22%	96,96%	76,50%
06/03/2015	91,14%	89,54%	98,71%	80,55%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	91,25%	90,29%	98,77%	81,38%
10/03/2015	73,96%	79,23%	98,92%	57,96%
11/03/2015	84,90%	69,03%	98,96%	57,99%
12/03/2015	79,06%	67,50%	98,97%	52,82%
13/03/2015	70,42%	84,98%	99,21%	59,37%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	90,65%	78,13%	96,66%	68,46%
17/03/2015	84,51%	76,79%	98,97%	64,23%
18/03/2015	78,56%	75,57%	98,70%	58,59%
19/03/2015	87,22%	77,59%	97,05%	65,68%
20/03/2015	92,29%	86,58%	99,15%	79,22%
21/03/2015	87,50%	84,34%	93,96%	69,34%
22/03/2015				
23/03/2015	45,09%	92,61%	95,25%	39,77%
24/03/2015	89,10%	80,90%	98,95%	71,32%
25/03/2015	91,97%	86,67%	99,03%	78,94%
26/03/2015	96,30%	78,63%	96,80%	73,29%
27/03/2015	91,25%	87,00%	99,66%	79,12%
28/03/2015	85,12%	85,99%	99,77%	73,03%
29/03/2015				
30/03/2015	93,24%	86,28%	97,90%	78,76%
31/03/2015	93,33%	88,19%	98,72%	81,26%

Tabella 41: Calcolo OEE da letteratura (marzo 2015)

Data	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
01/04/2015	83,79%	80,89%	98,86%	67,00%
02/04/2015	90,28%	82,13%	96,57%	71,60%
03/04/2015	91,81%	86,91%	99,51%	79,40%
04/04/2015	58,33%	89,86%	92,32%	48,39%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	90,28%	72,12%	96,87%	63,07%
08/04/2015	87,88%	85,43%	99,45%	74,66%
09/04/2015	95,19%	89,19%	97,51%	82,78%
10/04/2015	79,10%	89,15%	99,19%	69,95%
11/04/2015	82,14%	81,27%	97,39%	65,01%
12/04/2015				
13/04/2015	95,83%	82,90%	97,50%	77,46%
14/04/2015	93,40%	88,29%	99,21%	81,82%
15/04/2015	91,36%	84,37%	99,68%	76,84%
16/04/2015	95,93%	88,05%	98,58%	83,26%
17/04/2015	91,74%	87,65%	98,40%	79,12%
18/04/2015	74,88%	86,42%	96,95%	62,73%
19/04/2015				
20/04/2015	77,92%	71,34%	98,54%	54,77%
21/04/2015	85,37%	75,20%	96,98%	62,26%
22/04/2015	86,89%	85,59%	98,86%	73,52%
23/04/2015	72,13%	81,95%	96,63%	57,12%
24/04/2015	63,41%	77,40%	99,17%	48,67%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	82,19%	81,06%	99,04%	65,98%
28/04/2015	92,60%	84,71%	99,50%	78,05%
29/04/2015	88,23%	80,92%	98,93%	70,63%
30/04/2015	87,60%	81,66%	99,41%	71,12%

Tabella 42: Calcolo OEE da letteratura (aprile 2015)

OEE mensile

Mese	Disponibilità	Efficienza meccanica	Qualità	OEE
Marzo	85,92%	81,64%	98,40%	69,02%
Aprile	85,86%	83,38%	98,44%	70,47%

Tabella 43: OEE mensile da letteratura

In *tabella 44* si può notare come l'OEE mensile calcolato da letteratura sia più basso rispetto a quello calcolato con metodo aziendale poiché vi è la differenza data dalle fermate pianificate; in realtà la differenza è minima poiché le fermate pianificate hanno un grande impatto a livello giornaliero, ma piccolo a livello mensile.

Mese	OEE rilevato	OEE da letteratura	Differenza
Marzo	69,33%	69,02%	-0,31%
Aprile	71,21%	70,47%	-0,74%

Tabella 44: Confronto OEE rilevato con i dati delle microfermate e da letteratura

6.2.5. Radar chart per l'OEE

Per visualizzare in modo più immediato l'OEE e i suoi componenti giorno per giorno è opportuno realizzare dei *radar chart* che mostrino molto efficacemente l'andamento degli elementi sopracitati. In questo modo è possibile determinare, con uno strumento molto compatto e facilmente fruibile, quale (o quali) dei tre fattori costituenti l'OEE va ad impattare maggiormente su quest'ultimo. Nelle *figure 58, 59, 60 e 61* sono riportati i *radar chart* di disponibilità, efficienza meccanica, qualità ed OEE per i mesi di marzo e aprile 2015.

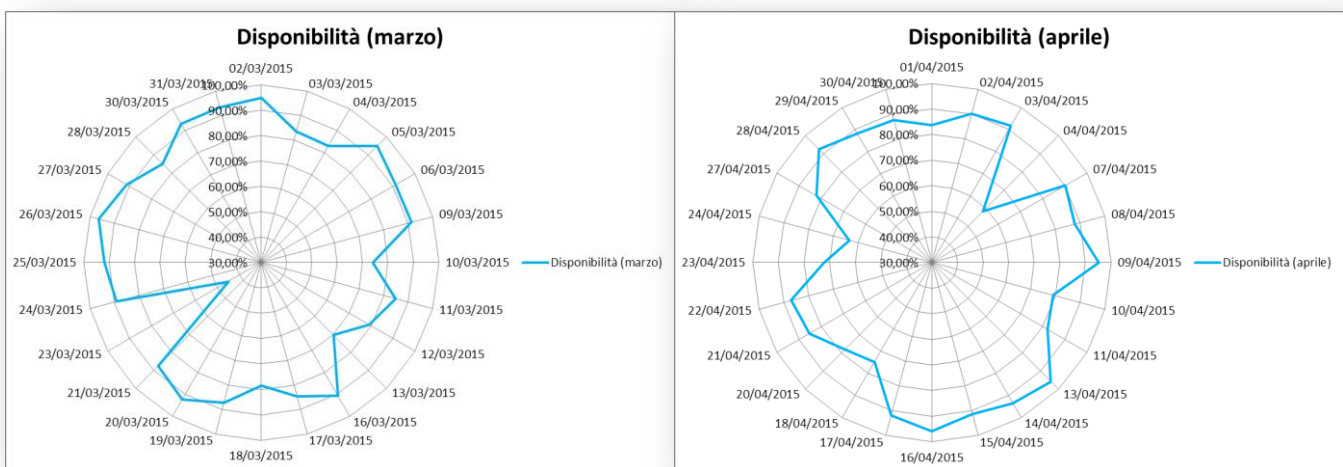


Figura 57: Radar chart disponibilità

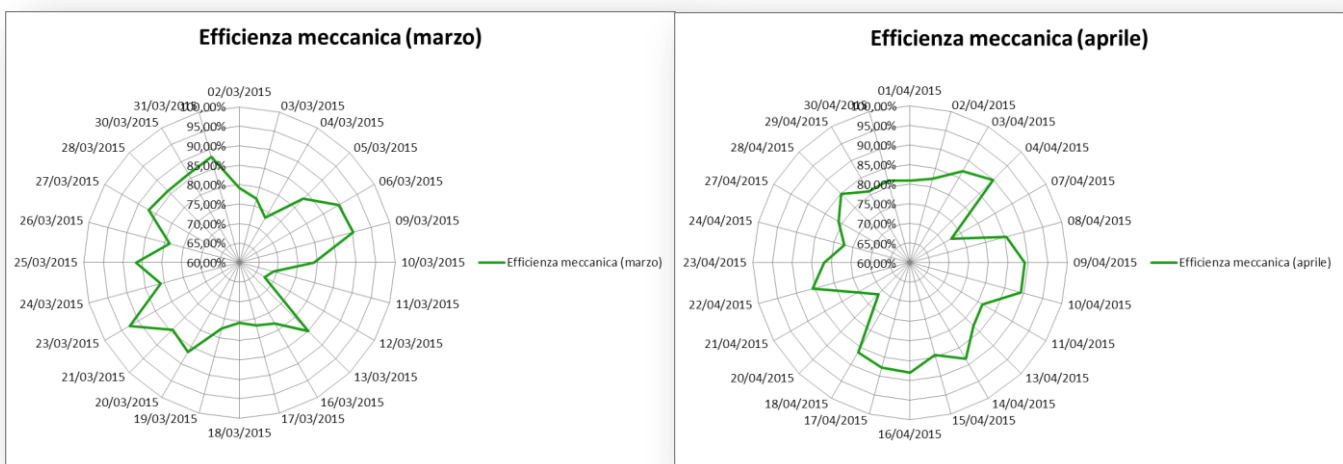


Figura 58: Radar chart efficienza meccanica

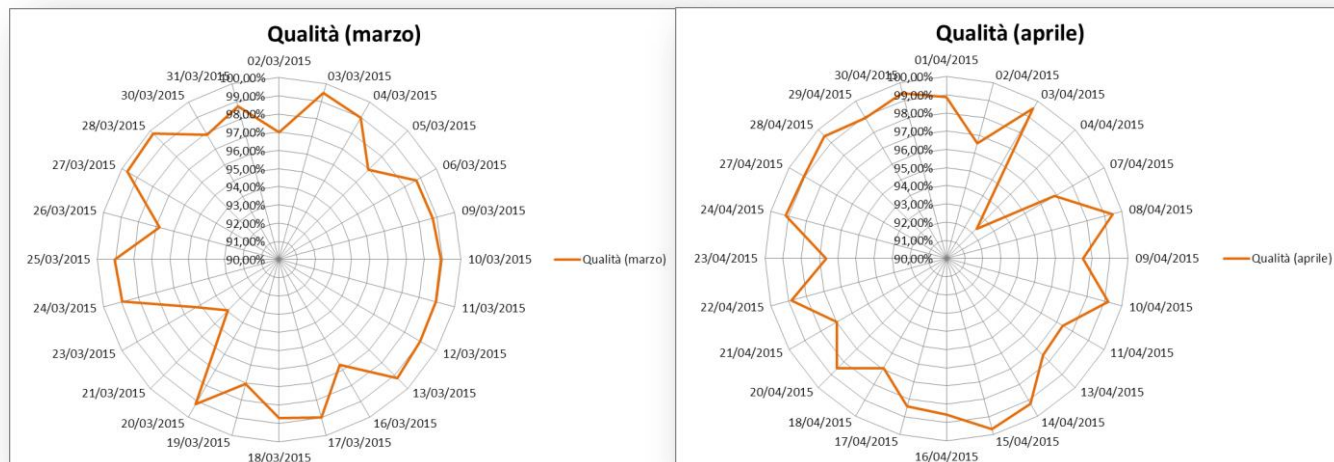


Figura 59: Radar chart qualità

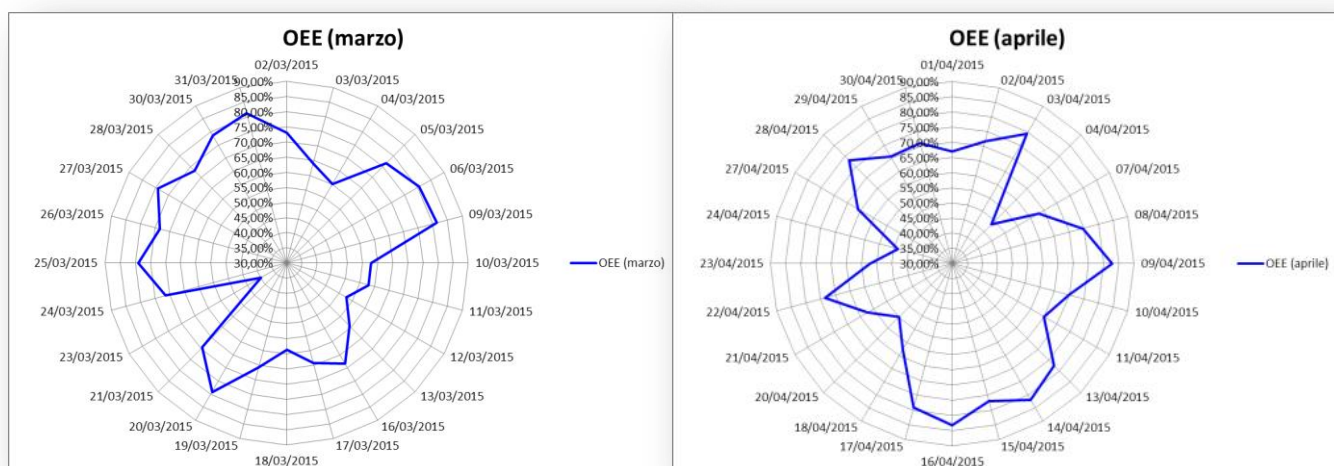


Figura 60: Radar chart OEE

6.3. Valutazione del recupero ottenibile

La fase successiva prevede di andare a quantificare il potenziale beneficio dato dall'eliminazione o dalla riduzione delle microfermate sull'OEE complessivo della linea. Questa fase risulta però particolarmente complessa: mentre i tempi recuperabili su una singola macchina sono facilmente identificabili poiché sono quelli che determinano un blocco dell'attrezzatura, capire i recuperi sull'intera linea è sicuramente molto più arduo, dal momento che i veri tempi recuperabili sono quelli che fanno bloccare l'intero flusso produttivo e non la singola macchina. Le varie stazioni sono disaccoppiate da *buffer* interoperazionali tra quasi tutti i macchinari quindi non è detto che la fermata di uno di questi si rifletta immediatamente in un blocco della linea, anzi il più delle volte viene assorbita dai polmoni di accumulo. A causa dei *buffer* una fermata non necessariamente si trasforma in un blocco della linea nell'istante in cui avviene ma potrebbe essere ritardata e se, nel frattempo, c'è stata una

fermata di un'altra macchina è difficile attribuire la responsabilità del blocco della linea ad una singola stazione di lavoro; solo fermate di una certa entità (almeno qualche minuto) fanno bloccare l'intero impianto. Il tutto poi è acuito dalla scarsa visibilità sull'intero processo produttivo: essendo la linea molto lunga e divisa in due parti da una parete, non si ha una completa visione sull'andamento della linea e quindi non è facilmente rilevabile se una fermata ha bloccato la produzione. Infine i *micro breakdown* possono determinare anche solo dei rallentamenti della linea a valle o a monte che fanno perdere produttività ma sono praticamente impossibili da rilevare a occhio nudo.

Questa fase è dunque affetta da incertezza nella valutazione a causa delle molte variabili implicate e può dare un'indicazione sull'entità del recupero più che una valutazione estremamente precisa e puntuale.

In base alle considerazioni fatte nel *paragrafo 6.2.2*, il focus è stato anche in questo caso sul pallettizzatore. I tempi di microfermata considerati riguardano solamente le macchine a monte del pallettizzatore poiché per la fase a valle non sono disponibili e comunque sono molto meno significativi i tempi persi (e generalmente dovuti a guasti e non a microfermate).

L'approccio utilizzato prevede di considerare tutti i tempi di *micro downtime* del pallettizzatore come tempi recuperabili sulla linea poiché ogni fermata della macchina è produzione che non "esce" dall'impianto, mentre i tempi di *starving* possono essere ridotti andando ad agire sulle microfermate delle macchine a monte. Questa procedura è stata applicata a ritroso fino all'etichettatrice poiché i tempi persi a livello di raddrizzatori e linee aeree sono difficilmente recuperabili poiché, essendo presenti due raddrizzatori che lavorano in contemporanea e avendo delle microfermate molto brevi (di solito 10-20 secondi), generalmente non determinano un fermo linea.

Andando più nel dettaglio viene descritto l'approccio utilizzato per la valutazione:

1. I tempi di microfermata del pallettizzatore possono essere tutti recuperati sull'intera linea;
2. I tempi di *starving* del pallettizzatore si possono ridurre andando ad abbassare i *micro downtime* della manigliatrice; in questo modo la manigliatrice può lavorare in modo più fluido e fornire prodotto con maggiore continuità al pallettizzatore;
3. I tempi di *starving* della manigliatrice possono essere recuperati sulle microfermate della confezionatrice; lavorando in modo più continuo, la confezionatrice può alimentare meglio la manigliatrice;
4. I tempi ridotti di *starving* della manigliatrice determinano però una maggiore produttività di quest'ultima che, ipotizzando che non ci siano *micro breakdown*

aggiuntivi, può far ridurre ulteriormente i tempi di *starving* del pallettizzatore e quindi garantirne un utilizzo migliore;

5. Per recuperare sui tempi di *starving* della confezionatrice si può andare ad agire sulle microfermate dell'etichettatrice, così da rifornire di prodotto la confezionatrice con più continuità e farla lavorare per un tempo maggiore;
6. Questa maggiore continuità porta ad una riduzione dello *starving* della manigliatrice e di conseguenza anche a quello del pallettizzatore per i motivi indicati in precedenza (sempre nell'ipotesi di non avere *micro downtime* aggiuntivi);
7. Giorno per giorno è necessario andare a verificare quale sia la macchina collo di bottiglia per quanto riguarda il recupero massimo dei tempi sulla linea: non è detto che il tempo recuperabile sia tutto quello del pallettizzatore, infatti il tempo di *starving* potrebbe essere superiore a quello recuperabile sulle macchine precedenti al pallettizzatore poiché ad esempio la somma dei tempi di microfermata e *starving* recuperabili sulla manigliatrice è inferiore; bisogna dunque indagare su quali siano i tempi massimi recuperabili sulla linea poiché un giorno, oltre alle microfermate del pallettizzatore (sempre recuperabili), si potrebbero aggiungere tutti i tempi di *starving* della macchina, mentre un altro giorno solamente una parte dello *starving* poiché la manigliatrice ha una durata delle microfermate inferiore al tempo di *starving* del pallettizzatore.

Come in precedenza i tempi di *starving* delle varie macchine sono stati rilevati con il sistema automatico presente sulla linea.

In *tabella 45* sono indicati i tempi recuperabili dallo *starving* sull'intera linea per marzo è aprile 2015, andando a vedere giorno per giorno la macchina collo di bottiglia, mentre il dettaglio è riportato in allegato nelle *tabelle 143* e *144*.

Data	Tempo recuperabile su starving [s]	Data	Tempo recuperabile su starving [s]
01/03/2015		01/04/2015	410
02/03/2015	1405	02/04/2015	2730
03/03/2015	650	03/04/2015	3910
04/03/2015	1285	04/04/2015	10
05/03/2015	770	05/04/2015	
06/03/2015	1770	06/04/2015	
07/03/2015		07/04/2015	1230
08/03/2015		08/04/2015	1900
09/03/2015	1248	09/04/2015	1530
10/03/2015	1598	10/04/2015	1939
11/03/2015	771	11/04/2015	1540
12/03/2015	30	12/04/2015	
13/03/2015	1350	13/04/2015	100
14/03/2015		14/04/2015	1640
15/03/2015		15/04/2015	2140
16/03/2015	4470	16/04/2015	2140
17/03/2015	2090	17/04/2015	2410
18/03/2015	1450	18/04/2015	730
19/03/2015	2324	19/04/2015	
20/03/2015	1860	20/04/2015	30
21/03/2015	260	21/04/2015	2376
22/03/2015		22/04/2015	790
23/03/2015	760	23/04/2015	1583
24/03/2015	3864	24/04/2015	2690
25/03/2015	1029	25/04/2015	
26/03/2015	3677	26/04/2015	
27/03/2015	1300	27/04/2015	2500
28/03/2015	1332	28/04/2015	1100
29/03/2015		29/04/2015	170
30/03/2015	1778	30/04/2015	1501
31/03/2015	2970		

Tabella 45: Calcolo tempi recuperabili sullo *starving* della linea

6.3.1. OEE recuperabile

Questi tempi sono poi stati inseriti nel calcolo del recupero potenziale di *OEE*: si vanno ad aggiungere al tempo assegnato alla produzione insieme ai tempi di microfermata del pallettizzatore; ciò determina, a parità di velocità meccanica della linea, un aumento del tempo assegnato e quindi anche della produzione di bottiglie.

Il tutto fa naturalmente aumentare l'efficienza meccanica della linea e di conseguenza l'*OEE*. In *tabella 46* e *47* viene riportato il calcolo della nuova efficienza meccanica, dove il tempo recuperabile sulla linea è il tempo di microfermate del pallettizzatore e i tempi recuperabili sullo *starving* sono quelli presentati in *tabella 45*. È poi indicato il moltiplicatore per stimare la durata giornaliera delle microfermate e una percentuale di recupero che si ipotizza di realizzare per i tempi persi (dipendenti anche questi da *micro breakdown*, ma delle macchine precedenti); questa percentuale viene inserita poiché non è detto che tutte le microfermate vengano recuperate, anzi sicuramente qualche microfermata è inevitabile che ci sia, e inoltre permette di valutare vari scenari possibili in modo da comprendere quale possa essere il potenziale impatto di interventi migliorativi che vanno a ridurre le microfermate.

Per calcolare la nuova efficienza meccanica è stata utilizzata la seguente formula:

$$Efficienza\ meccanica = \frac{Nuovo\ tempo\ assegnato}{Tempo\ di\ funzionamento} =$$

$$= \frac{Tempo\ assegnato + \% recupero \times (Moltiplicatore \times Microfermate + Recupero\ su\ starving)}{Tempo\ di\ funzionamento}$$

In *tabella 48* viene anche indicata l'efficienza meccanica differenziale e l'aumento percentuale a livello mensile, ipotizzando un recupero delle microfermate del 100%.

Data	Microfermate pallettizzatore [s]	Recupero su starving pallettizzatore [s]	Moltiplicatore per microfermate	% di recupero	Nuova efficienza meccanica
01/03/2015					
02/03/2015	900	1405	4,5	100%	88,01%
03/03/2015	155	650	24	100%	83,01%
04/03/2015	1470	1285	2,38	100%	80,60%
05/03/2015	1055	770	1,95	100%	87,82%
06/03/2015	1085	1770	2,38	100%	95,57%
07/03/2015					
08/03/2015					
09/03/2015	540	1248	2,29	100%	95,02%
10/03/2015	155	1598	16	100%	88,80%
11/03/2015	1120	771	1,83	100%	74,80%
12/03/2015	1730	30	1,83	100%	74,52%
13/03/2015	1260	1350	2,56	100%	96,26%
14/03/2015					
15/03/2015					
16/03/2015	1100	4470	4,5	100%	94,17%
17/03/2015	155	2090	24	100%	84,74%
18/03/2015	1110	1450	2,51	100%	82,37%
19/03/2015	2540	2324	2,06	100%	90,96%
20/03/2015	2060	1860	2,59	100%	95,60%
21/03/2015	155	260	6	100%	90,63%
22/03/2015					
23/03/2015	155	760	2	100%	96,27%
24/03/2015	155	3864	24	100%	90,76%
25/03/2015	1020	1029	2,51	100%	91,59%
26/03/2015	815	3677	2,06	100%	87,21%
27/03/2015	1010	1300	2,5	100%	91,85%
28/03/2015	155	1332	14	100%	94,15%
29/03/2015					
30/03/2015	455	1778	4,5	100%	92,61%
31/03/2015	155	2970	24	100%	96,49%

Tabella 46: Calcolo efficienza meccanica con tempi recuperati (marzo 2015)

Data	Microfermate pallettizzatore [s]	Recupero su starving pallettizzatore [s]	Moltiplicatore per microfermate	% di recupero	Nuova efficienza meccanica
01/04/2015	1065	410	2,51	100%	85,54%
02/04/2015	1815	2730	1,95	100%	92,85%
03/04/2015	1070	3910	2,74	100%	95,54%
04/04/2015	155	10	2	100%	92,40%
05/04/2015					
06/04/2015					
07/04/2015	155	1230	18	100%	78,99%
08/04/2015	1415	1900	2,51	100%	93,26%
09/04/2015	1160	1530	1,95	100%	95,33%
10/04/2015	980	1939	3,84	100%	97,50%
11/04/2015	155	1540	14	100%	90,23%
12/04/2015					
13/04/2015	940	100	4,32	100%	89,60%
14/04/2015	155	1640	24	100%	94,94%
15/04/2015	2580	2140	2,51	100%	96,28%
16/04/2015	1275	2140	2,06	100%	95,71%
17/04/2015	1290	2410	2,74	100%	95,15%
18/04/2015	155	730	14	100%	94,10%
19/04/2015					
20/04/2015	660	30	4,17	100%	77,54%
21/04/2015	155	2376	18	100%	84,53%
22/04/2015	1230	790	2,51	100%	91,22%
23/04/2015	570	1583	2,73	100%	88,67%
24/04/2015	710	2690	3,52	100%	87,73%
25/04/2015					
26/04/2015					
27/04/2015	520	2500	4,57	100%	91,36%
28/04/2015	155	1100	16	100%	91,42%
29/04/2015	1640	170	1,83	100%	87,16%
30/04/2015	880	1501	1,83	100%	87,83%

Tabella 47: Calcolo efficienza meccanica con tempi recuperati (aprile 2015)

Mese	Efficienza meccanica originale	Nuova efficienza meccanica	Efficienza meccanica differenziale	Aumento percentuale efficienza meccanica
Marzo	81,64%	87,06%	5,43%	6,65%
Aprile	83,38%	88,75%	5,37%	6,45%

Tabella 48: Efficienza differenziale e aumento percentuale mensile

L'obiettivo è sempre quello però di determinare l'OEE, che viene calcolato con la solita formula da letteratura, dove però come efficienza meccanica viene inserita quella sopra riportata.

Gli indicatori utilizzati per verificare il miglioramento sono l'OEE differenziale tra la situazione di partenza e quella migliorata e l'aumento percentuale di OEE, calcolato come:

$$\text{Aumento percentuale OEE} = \frac{\text{OEE migliorato} - \text{OEE originale}}{\text{OEE originale}}$$

In tabella 49 e 50 è riportato il calcolo del nuovo OEE, l'OEE differenziale e l'aumento percentuale di OEE per i mesi di marzo e aprile 2015.

Data	OEE originale	Disponibilità	Nuova efficienza meccanica	Qualità	Nuovo OEE	OEE differenziale	Aumento percentuale OEE
01/03/2015							
02/03/2015	72,93%	95,00%	88,01%	96,99%	81,09%	8,16%	11,20%
03/03/2015	64,01%	83,61%	83,01%	99,47%	69,04%	5,03%	7,86%
04/03/2015	60,21%	82,95%	80,60%	98,99%	66,19%	5,98%	9,93%
05/03/2015	76,50%	94,81%	87,82%	96,96%	80,74%	4,23%	5,53%
06/03/2015	80,55%	91,14%	95,57%	98,71%	85,97%	5,42%	6,73%
07/03/2015							
08/03/2015							
09/03/2015	81,38%	91,25%	95,02%	98,77%	85,64%	4,26%	5,24%
10/03/2015	57,96%	73,96%	88,80%	98,92%	64,96%	7,00%	12,08%
11/03/2015	57,99%	84,90%	74,80%	98,96%	62,84%	4,84%	8,35%
12/03/2015	52,82%	79,06%	74,52%	98,97%	58,31%	5,49%	10,40%
13/03/2015	59,37%	70,42%	96,26%	99,21%	67,25%	7,88%	13,28%
14/03/2015							
15/03/2015							
16/03/2015	68,46%	90,65%	94,17%	96,66%	82,51%	14,05%	20,53%
17/03/2015	64,23%	84,51%	84,74%	98,97%	70,88%	6,66%	10,36%
18/03/2015	58,59%	78,56%	82,37%	98,70%	63,87%	5,28%	9,01%
19/03/2015	65,68%	87,22%	90,96%	97,05%	77,00%	11,32%	17,23%
20/03/2015	79,22%	92,29%	95,60%	99,15%	87,48%	8,26%	10,42%
21/03/2015	69,34%	87,50%	90,63%	93,96%	74,51%	5,18%	7,47%
22/03/2015							
23/03/2015	39,77%	45,09%	96,27%	95,25%	41,35%	1,57%	3,95%
24/03/2015	71,32%	89,10%	90,76%	98,95%	80,01%	8,69%	12,18%
25/03/2015	78,94%	91,97%	91,59%	99,03%	83,42%	4,49%	5,69%
26/03/2015	73,29%	96,30%	87,21%	96,80%	81,29%	8,00%	10,92%
27/03/2015	79,12%	91,25%	91,85%	99,66%	83,53%	4,41%	5,58%
28/03/2015	73,03%	85,12%	94,15%	99,77%	79,96%	6,93%	9,49%
29/03/2015							
30/03/2015	78,76%	93,24%	92,61%	97,90%	84,54%	5,78%	7,34%
31/03/2015	81,26%	93,33%	96,49%	98,72%	88,90%	7,64%	9,41%

Tabella 49: Calcolo OEE differenziale e aumento percentuale (marzo 2015)

Data	OEE originale	Disponibilità	Nuova efficienza meccanica	Qualità	Nuovo OEE	OEE differenziale	Aumento percentuale OEE
01/04/2015	67,00%	83,79%	85,54%	98,86%	70,85%	3,85%	5,74%
02/04/2015	71,60%	90,28%	92,85%	96,57%	80,94%	9,34%	13,05%
03/04/2015	79,40%	91,81%	95,54%	99,51%	87,28%	7,88%	9,92%
04/04/2015	48,39%	58,33%	92,40%	92,32%	49,76%	1,37%	2,83%
05/04/2015							
06/04/2015							
07/04/2015	63,07%	90,28%	78,99%	96,87%	69,08%	6,01%	9,53%
08/04/2015	74,66%	87,88%	93,26%	99,45%	81,50%	6,85%	9,17%
09/04/2015	82,78%	95,19%	95,33%	97,51%	88,49%	5,71%	6,89%
10/04/2015	69,95%	79,10%	97,50%	99,19%	76,50%	6,55%	9,36%
11/04/2015	65,01%	82,14%	90,23%	97,39%	72,18%	7,17%	11,03%
12/04/2015							
13/04/2015	77,46%	95,83%	89,60%	97,50%	83,72%	6,26%	8,08%
14/04/2015	81,82%	93,40%	94,94%	99,21%	87,97%	6,15%	7,52%
15/04/2015	76,84%	91,36%	96,28%	99,68%	87,69%	10,84%	14,11%
16/04/2015	83,26%	95,93%	95,71%	98,58%	90,51%	7,25%	8,71%
17/04/2015	79,12%	91,74%	95,15%	98,40%	85,89%	6,77%	8,56%
18/04/2015	62,73%	74,88%	94,10%	96,95%	68,31%	5,58%	8,89%
19/04/2015							
20/04/2015	54,77%	77,92%	77,54%	98,54%	59,53%	4,76%	8,69%
21/04/2015	62,26%	85,37%	84,53%	96,98%	69,99%	7,73%	12,42%
22/04/2015	73,52%	86,89%	91,22%	98,86%	78,36%	4,84%	6,58%
23/04/2015	57,12%	72,13%	88,67%	96,63%	61,80%	4,68%	8,20%
24/04/2015	48,67%	63,41%	87,73%	99,17%	55,17%	6,50%	13,35%
25/04/2015							
26/04/2015							
27/04/2015	65,98%	82,19%	91,36%	99,04%	74,37%	8,38%	12,71%
28/04/2015	78,05%	92,60%	91,42%	99,50%	84,24%	6,18%	7,92%
29/04/2015	70,63%	88,23%	87,16%	98,93%	76,08%	5,45%	7,71%
30/04/2015	71,12%	87,60%	87,83%	99,41%	76,49%	5,37%	7,55%

Tabella 50: Calcolo OEE differenziale e aumento percentuale (aprile 2015)

È subito evidente come il recupero sia sempre sostanziale e anche a livello mensile (*tabella 51*) è più che soddisfacente, portando ad un *OEE* differenziale di circa 6,5% e un aumento percentuale di oltre il 9%.

Mese	OEE originale	OEE nuovo	OEE differenziale	Aumento percentuale OEE
Marzo	69,02%	75,57%	6,55%	9,49%
Aprile	70,47%	76,96%	6,49%	9,21%

Tabella 51: Calcolo di *OEE* differenziale e aumento percentuale mensile

Questo aumento di *OEE* prevede un recupero del 100% dei tempi persi per microfermate, quindi una situazione ottimale, non necessariamente del tutto realistica; ciò permette comunque di apprezzare quale sia il massimo recupero possibile e capire le potenzialità di impatto sulle *performance* di determinate azioni correttive che portino ad una eliminazione delle microfermate.

Una situazione più realistica potrebbe essere un recupero dei tempi persi intorno al 70%, quindi il guadagno di *OEE* mensile è naturalmente inferiore ma comunque molto significativo (*tabella 52*).

Mese	OEE originale	OEE nuovo	OEE differenziale	Aumento percentuale OEE
Marzo	69,02%	73,61%	4,59%	6,65%
Aprile	70,47%	75,01%	4,54%	6,45%

Tabella 52: Calcolo di *OEE* differenziale e aumento percentuale mensile (70% recupero)

6.3.1.1. Radar chart per valutare l'OEE recuperabile

Uno strumento molto utile per vedere quanto ampio può essere il margine di miglioramento è il *radar chart* già utilizzato in precedenza, infatti permette di visualizzare giorno per giorno l'*OEE* originale della linea, contemporaneamente l'*OEE* aumentato dal recupero sui tempi di microfermata e l'area del miglioramento ottenibile. Di seguito vengono presentati i grafici dell'efficienza meccanica e dell'*OEE* per marzo e aprile 2015 poiché disponibilità e qualità non vengono modificati dalla riduzione delle microfermate. In *figura 62* e *63* è indicata l'analisi per un recupero pari al 100%, mentre in *figura 64* e *65* per il 70%. Si può notare come il potenziale miglioramento sia sempre consistente in ogni giorno, tranne quelli in cui l'*OEE* è fortemente penalizzato dalla disponibilità della linea, poiché ad esempio era prevista una fermata pianificata o si è verificato un grosso guasto di durata consistente.

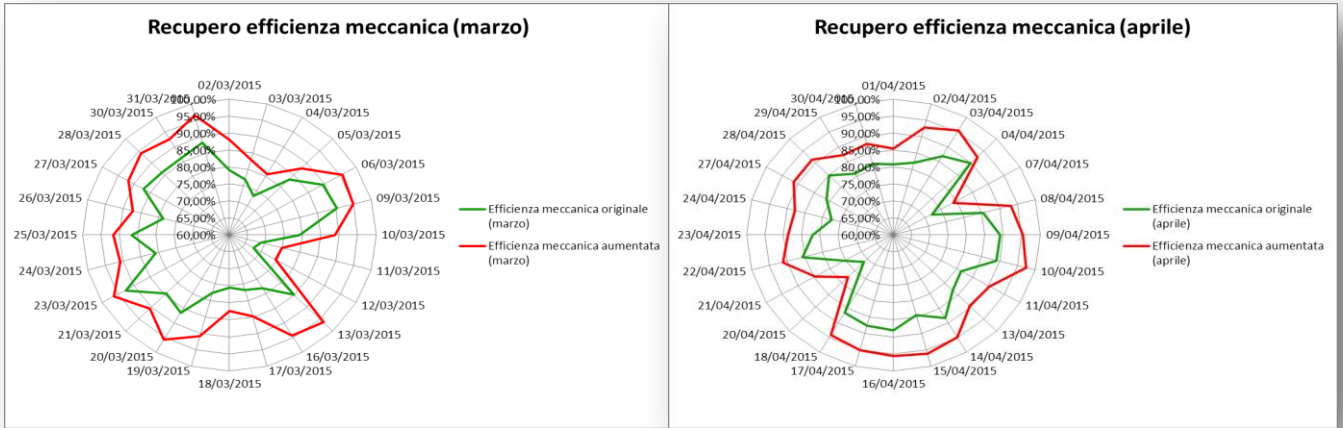


Figura 62: Radar chart recupero efficienza meccanica (recupero 100%)

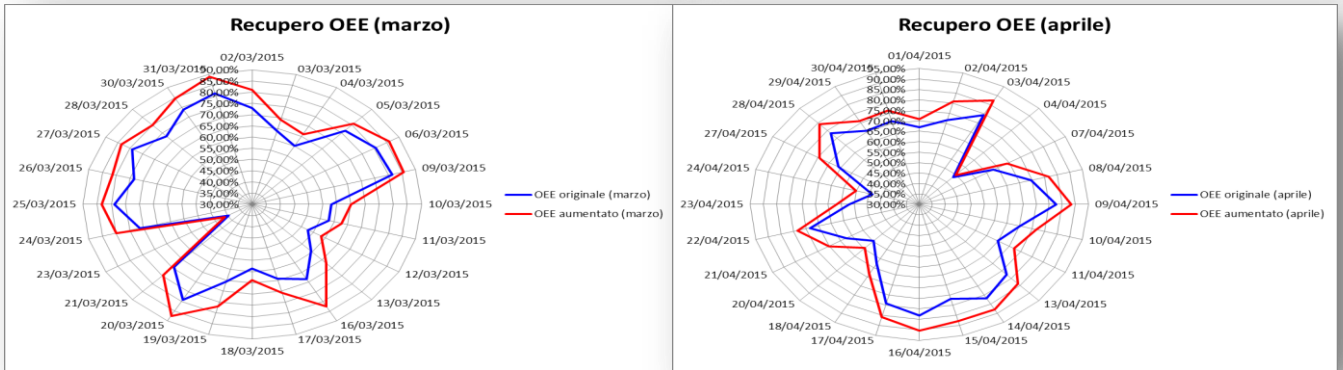


Figura 63: Radar chart recupero OEE (recupero 100%)

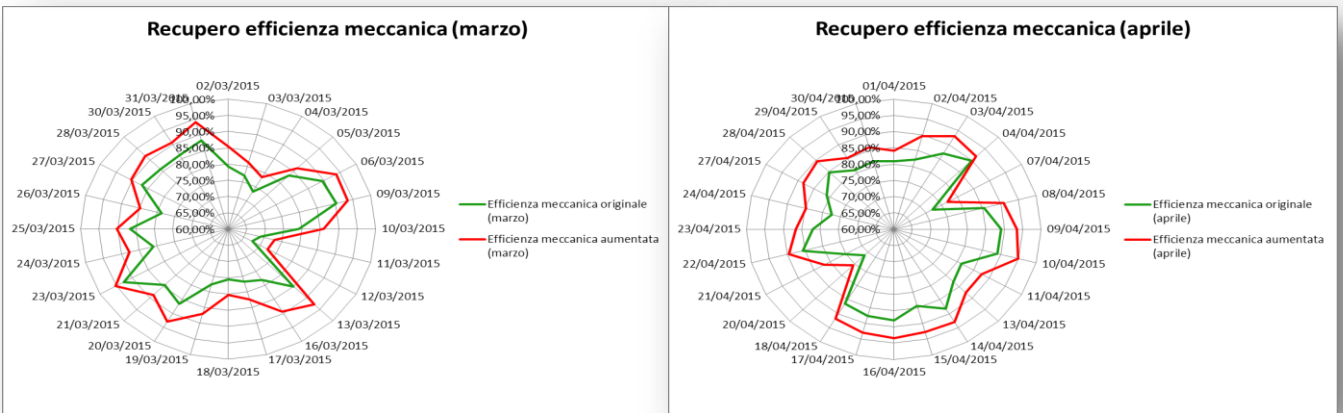


Figura 64: Radar chart recupero efficienza meccanica (recupero 70%)

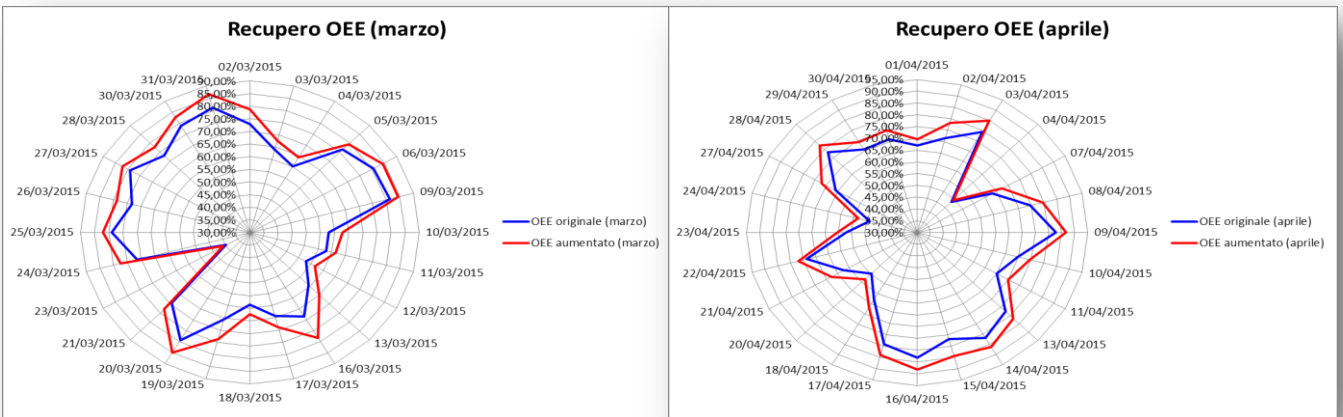


Figura 65: Radar chart recupero OEE (recupero 70%)

6.3.2. Produzione e ore di lavoro recuperabili

Una successiva valutazione possibile è la produzione e il numero di ore recuperabili sulla linea a livello mensile. Grazie al recupero sui tempi delle microfermate la linea può lavorare per un tempo maggiore e quindi aumentare la propria produzione o, di converso, se non è necessario produrre si possono risparmiare delle ore di manodopera; in realtà questa seconda possibilità è di minore interesse poiché, essendo la linea C un impianto di produzione acqua, c'è sempre richiesta di prodotti dal mercato e, nel caso di stoccaggio, meno problemi di date di scadenza e di degrado del prodotto; dunque il dato fondamentale da tenere in considerazione è la produzione recuperabile, anche se per completezza vengono riportate le ore recuperabili mensilmente.

Per stimare la produzione recuperabile è necessario determinare la velocità media della linea (dato disponibile dal sistema di rilevazione automatico dell'impianto); in realtà la valutazione può essere considerata anche leggermente cautelativa poiché andando a risolvere i problemi di *micro downtime* il flusso produttivo può essere più continuo e far anche aumentare la velocità media della linea. Per determinare la produzione aggiuntiva si è usata la seguente formula:

$$\text{Produzione recuperabile} = \text{Tempo recuperabile sulla linea} \times \text{Velocità media}$$

mentre le ore recuperabili sono:

$$\text{Ore recuperabili} = \frac{\sum \text{Tempi recuperabili sulla linea [min]}}{60}$$

In *tabella 53* sono riportati produzione e ore per un recupero del 100%, mentre in *tabella 54* per il 70%.

Mese	Velocità media di produzione [bott/ora]	Produzione mensile recuperabile [bottiglie]	Ore mensili recuperabili
Marzo	28.000	853.936	30,50
Aprile	29.000	852.525	29,40

Tabella 53: Calcolo produzione e ore recuperabili mensilmente (100% recupero)

Mese	Velocità media di produzione [bott/ora]	Produzione mensile recuperabile [bottiglie]	Ore mensili recuperabili
Marzo	28.000	597.755	21,35
Aprile	29.000	596.768	20,58

Tabella 54: Calcolo produzione e ore recuperabili mensilmente (70% recupero)

6.3.3. Contributo di ogni tipo di microfermata al recupero

In questa fase si vuole comprendere quali microfermate incidano maggiormente sull'OEE totale recuperabile a livello mensile. Questo permette di fare una valutazione su quali siano le microfermate su cui conviene focalizzare l'attenzione: quelle che incidono maggiormente sono quelle che danno il maggior contributo al recupero. Pertanto è possibile comprendere quali siano gli interventi migliorativi più opportuni da intraprendere, infatti, dato un budget limitato, è sicuramente meglio concentrarsi su cambiamenti che possono eliminare le cause delle microfermate più impattanti sulle *performance* della linea.

I tempi recuperabili dai *micro breakdown* del pallettizzatore possono essere valutati in base ai dati rilevati e stimati utilizzando i moltiplicatori già presentati, mentre per i tempi recuperabili sullo *starving* del pallettizzatore è necessario fare la seguente valutazione: questi tempi vengono recuperati andando ad agire sulle microfermate delle macchine a monte del pallettizzatore, però non è possibile determinare il dettaglio puntuale di quali microfermate, e in che misura, vengono recuperate, ma solo il totale del recupero per macchina poiché sono stimate sul totale. Quindi per calcolare il recupero di ogni tipo di microfermata è stata calcolata la percentuale di una tipologia sul totale delle microfermate della singola macchina e poi questa percentuale è stata applicata al tempo recuperabile giorno per giorno e mensilmente. In *tabella 55* vengono riportate le percentuali calcolate per ogni macchina coinvolta nell'analisi.

MANIGLIATRICE	Tempi persi [s]	% su totale
Errore taglio maniglia	5175	71,97%
Pacco aperto (manigliatrice)	1020	14,19%
Pacco non allineato (manigliatrice)	995	13,84%
Totale complessivo	7190	100,00%
CONFEZIONATRICE	Tempi persi [s]	% su totale
Prodotto rovesciato guide alimentazione	6390	34,03%
Doppia etichetta-bandiera	2665	14,19%
Problema cartoline	2515	13,39%
Salita film superiore	1790	9,53%
Intasamento disapponte (trasporto ingresso)	1695	9,03%
Mancato compattamento allo spintore	1575	8,39%
Prodotto rovesciato ingresso spintore	1210	6,44%
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	940	5,01%
Totale complessivo	18780	100,00%
ETICHELLATRICE	Tempi persi [s]	% su totale
Mancanza etichetta	4710	40,20%
Spazio vuoto in macchina	4480	38,24%
FT System in allarme	1755	14,98%
Bottiglia caduta in entrata	770	6,57%
Totale complessivo	11715	100,00%

Tabella 55: Percentuale microfermate

L'approccio utilizzato per calcolare il beneficio dato dalla riduzione di una singola tipologia di microfermata è lo stesso del recupero totale, solamente applicato ad una sola fermata. Inoltre sono stati calcolati anche produzione e ore recuperabili mensilmente come nel caso dell'OEE totale recuperabile. Di seguito sono riportate le *tabelle* da 56 a 77 con il calcolo dell'OEE recuperabile, dell'aumento percentuale di OEE, della produzione e delle ore recuperabili con l'ipotesi del 100% di recupero.

Pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	83,22%	84,98%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	70,36%	71,83%
OEE differenziale	1,34%	1,36%
Aumento percentuale OEE	1,94%	1,93%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	174451	178483
Ore mensili recuperabili	6,23	6,15

Tabella 57: Recupero OEE, produzione e ore (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))

Magazzino palette-mal posizionamento

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,46%	84,51%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,72%	71,43%
OEE differenziale	0,70%	0,96%
Aumento percentuale OEE	1,01%	1,36%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	90956	125964
Ore mensili recuperabili	3,25	4,34

Tabella 56: Recupero OEE, produzione e ore (magazzino palette-mal posizionamento)

Strato non formato correttamente carrello N°2

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,69%	84,05%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,91%	71,03%
OEE differenziale	0,90%	0,57%
Aumento percentuale OEE	1,30%	0,80%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	116673	74263
Ore mensili recuperabili	4,17	2,56

Tabella 59: Recupero OEE, produzione e ore (strato non formato correttamente carrello N°2)

Strato non formato correttamente carrello N°1

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,10%	84,09%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,41%	71,07%
OEE differenziale	0,39%	0,60%
Aumento percentuale OEE	0,56%	0,86%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	50669	79204
Ore mensili recuperabili	1,81	2,73

Tabella 58: Recupero OEE, produzione e ore (strato non formato correttamente carrello N°1)

Pacco caduto (pallettizzatore)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,06%	83,91%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,38%	70,92%
OEE differenziale	0,36%	0,45%
Aumento percentuale OEE	0,52%	0,64%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	47064	59541
Ore mensili recuperabili	1,68	2,05

Tabella 61: Recupero OEE, produzione e ore (pacco caduto (pallettizzatore))

Pallet non allineato all'ingresso

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,10%	83,90%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,41%	70,91%
OEE differenziale	0,39%	0,44%
Aumento percentuale OEE	0,57%	0,62%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	50834	57614
Ore mensili recuperabili	1,82	1,99

Tabella 60: Recupero OEE, produzione e ore (pallet non allineato all'ingresso)

Pacco aperto (pallettizzatore)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,17%	83,65%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,48%	70,70%
OEE differenziale	0,46%	0,23%
Aumento percentuale OEE	0,66%	0,33%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	59383	30743
Ore mensili recuperabili	2,12	1,06

Tabella 63: Recupero OEE, produzione e ore (pacco aperto (pallettizzatore))

Errore taglio maniglia

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,19%	83,93%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,49%	70,94%
OEE differenziale	0,47%	0,47%
Aumento percentuale OEE	0,67%	0,66%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	60716	61313
Ore mensili recuperabili	2,17	2,11

Tabella 62: Recupero OEE, produzione e ore (errore taglio maniglia)

Pacco aperto (manigliatrice)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,74%	83,49%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,11%	70,56%
OEE differenziale	0,09%	0,09%
Aumento percentuale OEE	0,13%	0,13%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	11967	12085
Ore mensili recuperabili	0,43	0,42

Tabella 65: Recupero OEE, produzione e ore (pacco aperto (manigliatrice))

Pacco non allineato (manigliatrice)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,74%	83,48%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,11%	70,56%
OEE differenziale	0,09%	0,09%
Aumento percentuale OEE	0,13%	0,13%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	11674	11789
Ore mensili recuperabili	0,42	0,41

Tabella 64: Recupero OEE, produzione e ore (pacco non allineato (manigliatrice))

Prodotto rovesciato guide alimentazione

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	82,15%	83,95%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,46%	70,96%
OEE differenziale	0,44%	0,49%
Aumento percentuale OEE	0,63%	0,69%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	56981	64057
Ore mensili recuperabili	2,04	2,21

Tabella 66: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato guide alimentazione)

Doppia etichetta-bandiera

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,85%	83,62%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,20%	70,67%
OEE differenziale	0,18%	0,20%
Aumento percentuale OEE	0,26%	0,29%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	23764	26716
Ore mensili recuperabili	0,85	0,92

Tabella 67: Recupero OEE, produzione e ore (doppia etichetta-bandiera)

Problema cartoline

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,84%	83,60%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,19%	70,66%
OEE differenziale	0,17%	0,19%
Aumento percentuale OEE	0,25%	0,27%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	22427	25212
Ore mensili recuperabili	0,80	0,87

Tabella 69: Recupero OEE, produzione e ore (problema cartoline)

Salita film superiore

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,78%	83,54%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,14%	70,60%
OEE differenziale	0,12%	0,14%
Aumento percentuale OEE	0,18%	0,19%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	15962	17944
Ore mensili recuperabili	0,57	0,62

Tabella 68: Recupero OEE, produzione e ore (salita film superiore)

Intasamento disafonte (trasporti ingresso)

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,77%	83,53%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,14%	70,60%
OEE differenziale	0,12%	0,13%
Aumento percentuale OEE	0,17%	0,18%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	15115	16992
Ore mensili recuperabili	0,54	0,59

Tabella 70: Recupero OEE, produzione e ore (intasamento disafonte (trasporti ingresso))

Mancato compattamento allo spintore

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,76%	83,52%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,13%	70,59%
OEE differenziale	0,11%	0,12%
Aumento percentuale OEE	0,16%	0,17%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	14045	15789
Ore mensili recuperabili	0,50	0,54

Tabella 71: Recupero OEE, produzione e ore (mancato compattamento allo spintore)

Prodotto rovesciato ingresso spintore

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,73%	83,49%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,10%	70,56%
OEE differenziale	0,08%	0,09%
Aumento percentuale OEE	0,12%	0,13%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	10790	12130
Ore mensili recuperabili	0,39	0,42

Tabella 73: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato ingresso spintore)

Prodotto rovesciato salita/discisa rebbo

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,71%	83,46%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,08%	70,54%
OEE differenziale	0,06%	0,07%
Aumento percentuale OEE	0,09%	0,10%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	8382	9423
Ore mensili recuperabili	0,30	0,32

Tabella 72: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato salita/discisa rebbo)

Mancanza etichetta

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,85%	83,47%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,20%	70,55%
OEE differenziale	0,18%	0,08%
Aumento percentuale OEE	0,27%	0,11%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	23961	10213
Ore mensili recuperabili	0,86	0,35

Tabella 75: Recupero OEE, produzione e ore (mancanza etichetta)

Spazio vuoto in macchina

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,84%	83,46%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,19%	70,54%
OEE differenziale	0,17%	0,07%
Aumento percentuale OEE	0,25%	0,10%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	22793	9715
Ore mensili recuperabili	0,81	0,34

Tabella 74: Recupero OEE, produzione e ore (spazio vuoto in macchina)

FT System in allarme

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,72%	83,41%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,09%	70,50%
OEE differenziale	0,07%	0,03%
Aumento percentuale OEE	0,10%	0,04%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	8929	3806
Ore mensili recuperabili	0,32	0,13

Tabella 77: Recupero OEE, produzione e ore (FT System in allarme)

Bottiglia caduta in entrata

	Marzo	Aprile
Efficienza originale	81,64%	83,38%
Efficienza nuova	81,67%	83,39%
OEE originale	69,02%	70,47%
OEE nuovo	69,05%	70,48%
OEE differenziale	0,03%	0,01%
Aumento percentuale OEE	0,04%	0,02%
Velocità media produzione	28.000	29.000
Produzione recuperabile	3916	1669
Ore mensili recuperabili	0,14	0,06

Tabella 76: Recupero OEE, produzione e ore (bottiglia caduta in entrata)

Viene presentata anche una tabella riassuntiva delle varie voci, accompagnate dal recupero totale di OEE, produzione e ore (tabelle 78, 79 e 80). Inoltre sono riportati due grafici che permettono di sintetizzare in modo molto efficace la situazione migliorata; nella figura 66 è presentato l'OEE recuperabile per marzo e aprile 2015: con la linea rossa è indicato l'OEE totale recuperabile a marzo, mentre l'istogramma azzurro permette di capire come il singolo tipo di microfermata incida sul totale; in viola e verde invece sono state indicate le stesse cose ma per il mese di aprile; in figura 67 è rappresentata la produzione e le ore recuperabili: i colori sono i medesimi di prima, dove con il grafico a linee sono indicate le ore recuperabili per singolo tipo di fermata, mentre con l'istogramma la produzione recuperabile. È facilmente visibile come le principali fermate siano dovute dal pallettizzatore stesso, escluso per "errore taglio maniglia" della manigliatrice e "prodotto rovesciato guide alimentazione" della confezionatrice.

OEE recuperabile

Fermata	Marzo	Aprile	Totale Marzo	Totale Aprile
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	1,34%	1,36%	6,55%	6,49%
Magazzino palette-mal posizionamento	0,70%	0,96%	6,55%	6,49%
Strato non formato correttamente carrello N°2	0,90%	0,57%	6,55%	6,49%
Strato non formato correttamente carrello N°1	0,39%	0,60%	6,55%	6,49%
Pacco caduto (palettizzatore)	0,36%	0,45%	6,55%	6,49%
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	0,39%	0,44%	6,55%	6,49%
Pacco aperto (palettizzatore)	0,46%	0,23%	6,55%	6,49%
Errore taglio maniglia	0,47%	0,47%	6,55%	6,49%
Pacco aperto (manigliatrice)	0,09%	0,09%	6,55%	6,49%
Pacco non allineato (manigliatrice)	0,09%	0,09%	6,55%	6,49%
Prodotto rovesciato guide alimentazione	0,44%	0,49%	6,55%	6,49%
Doppia etichetta-bandiera	0,18%	0,20%	6,55%	6,49%
Problema cartoline	0,17%	0,19%	6,55%	6,49%
Salita film superiore	0,12%	0,14%	6,55%	6,49%
Intasamento disaponte (trasporto ingresso)	0,12%	0,13%	6,55%	6,49%
Mancato compattamento allo spintore	0,11%	0,12%	6,55%	6,49%
Prodotto rovesciato ingresso spintore	0,08%	0,09%	6,55%	6,49%
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	0,06%	0,07%	6,55%	6,49%
Mancanza etichetta	0,18%	0,08%	6,55%	6,49%
Spazio vuoto in macchina	0,17%	0,07%	6,55%	6,49%
FT System in allarme	0,07%	0,03%	6,55%	6,49%
Bottiglia caduta in entrata	0,03%	0,01%	6,55%	6,49%

Tabella 78: OEE recuperabile mensilmente per tipo di microfermata

Produzione recuperabile

Fermata	Marzo	Aprile	Totale Marzo	Totale Aprile
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	174451	178483	853936	852525
Magazzino palette-mal posizionamento	90956	125964	853936	852525
Strato non formato correttamente carrello N°2	116673	74263	853936	852525
Strato non formato correttamente carrello N°1	50669	79204	853936	852525
Pacco caduto (palettizzatore)	47064	59541	853936	852525
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	50834	57614	853936	852525
Pacco aperto (palettizzatore)	59383	30743	853936	852525
Errore taglio maniglia	60716	61313	853936	852525
Pacco aperto (manigliatrice)	11967	12085	853936	852525
Pacco non allineato (manigliatrice)	11674	11789	853936	852525
Prodotto rovesciato guide alimentazione	56981	64057	853936	852525
Doppia etichetta-bandiera	23764	26716	853936	852525
Problema cartoline	22427	25212	853936	852525
Salita film superiore	15962	17944	853936	852525
Intasamento disaponte (trasporto ingresso)	15115	16992	853936	852525
Mancato compattamento allo spintore	14045	15789	853936	852525
Prodotto rovesciato ingresso spintore	10790	12130	853936	852525
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	8382	9423	853936	852525
Mancanza etichetta	23961	10213	853936	852525
Spazio vuoto in macchina	22793	9715	853936	852525
FT System in allarme	8929	3806	853936	852525
Bottiglia caduta in entrata	3916	1669	853936	852525

Tabella 79: Produzione recuperabile mensilmente per tipo di microfermata

Ore recuperabili

Fermata	Marzo	Aprile	Totale Marzo	Totale Aprile
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	6,23	6,15	30,50	29,40
Magazzino palette-mal posizionamento	3,25	4,34	30,50	29,40
Strato non formato correttamente carrello N°2	4,17	2,56	30,50	29,40
Strato non formato correttamente carrello N°1	1,81	2,73	30,50	29,40
Pacco caduto (palettizzatore)	1,68	2,05	30,50	29,40
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	1,82	1,99	30,50	29,40
Pacco aperto (palettizzatore)	2,12	1,06	30,50	29,40
Errore taglio maniglia	2,17	2,11	30,50	29,40
Pacco aperto (manigliatrice)	0,43	0,42	30,50	29,40
Pacco non allineato (manigliatrice)	0,42	0,41	30,50	29,40
Prodotto rovesciato guide alimentazione	2,04	2,21	30,50	29,40
Doppia etichetta-bandiera	0,85	0,92	30,50	29,40
Problema cartoline	0,80	0,87	30,50	29,40
Salita film superiore	0,57	0,62	30,50	29,40
Intasamento disaponte (trasporto ingresso)	0,54	0,59	30,50	29,40
Mancato compattamento allo spintore	0,50	0,54	30,50	29,40
Prodotto rovesciato ingresso spintore	0,39	0,42	30,50	29,40
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	0,30	0,32	30,50	29,40
Mancanza etichetta	0,86	0,35	30,50	29,40
Spazio vuoto in macchina	0,81	0,34	30,50	29,40
FT System in allarme	0,32	0,13	30,50	29,40
Bottiglia caduta in entrata	0,14	0,06	30,50	29,40

Tabella 80: Ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata

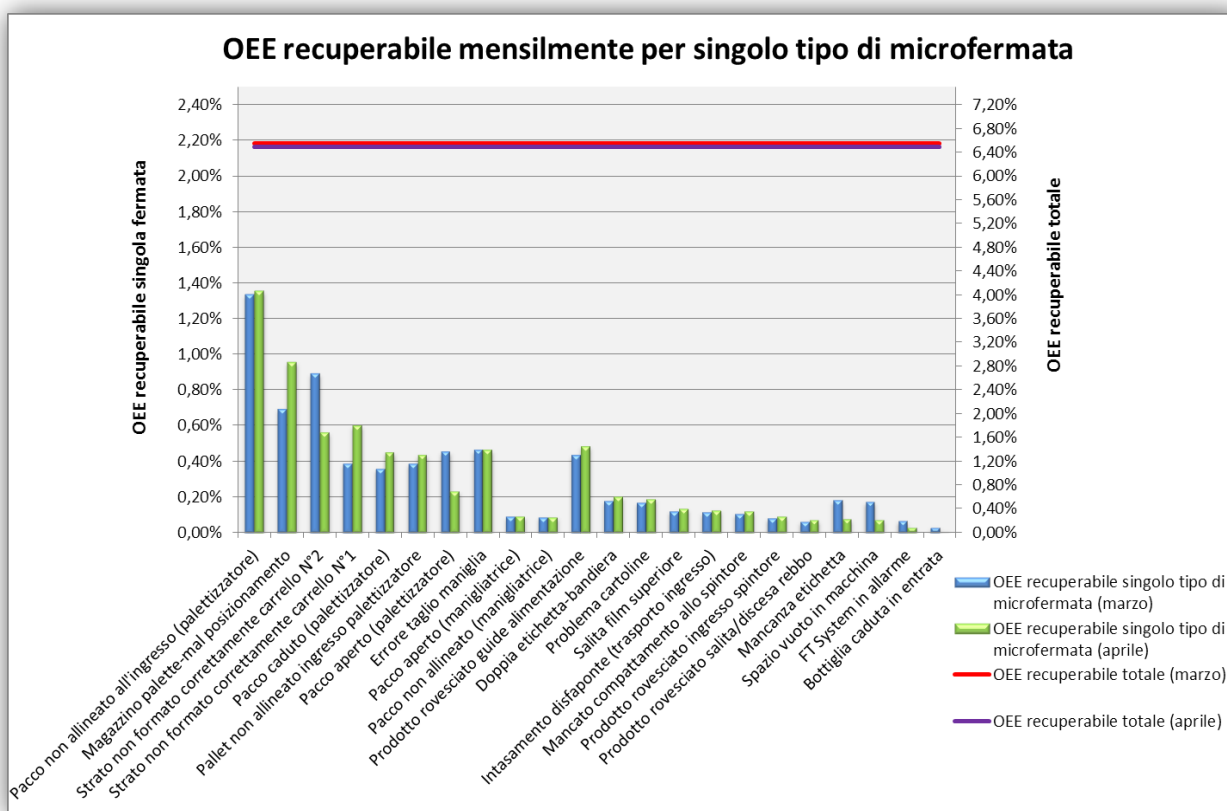


Figura 66: Sintesi OEE recuperabile mensilmente per tipo di microfermata (100% recupero)

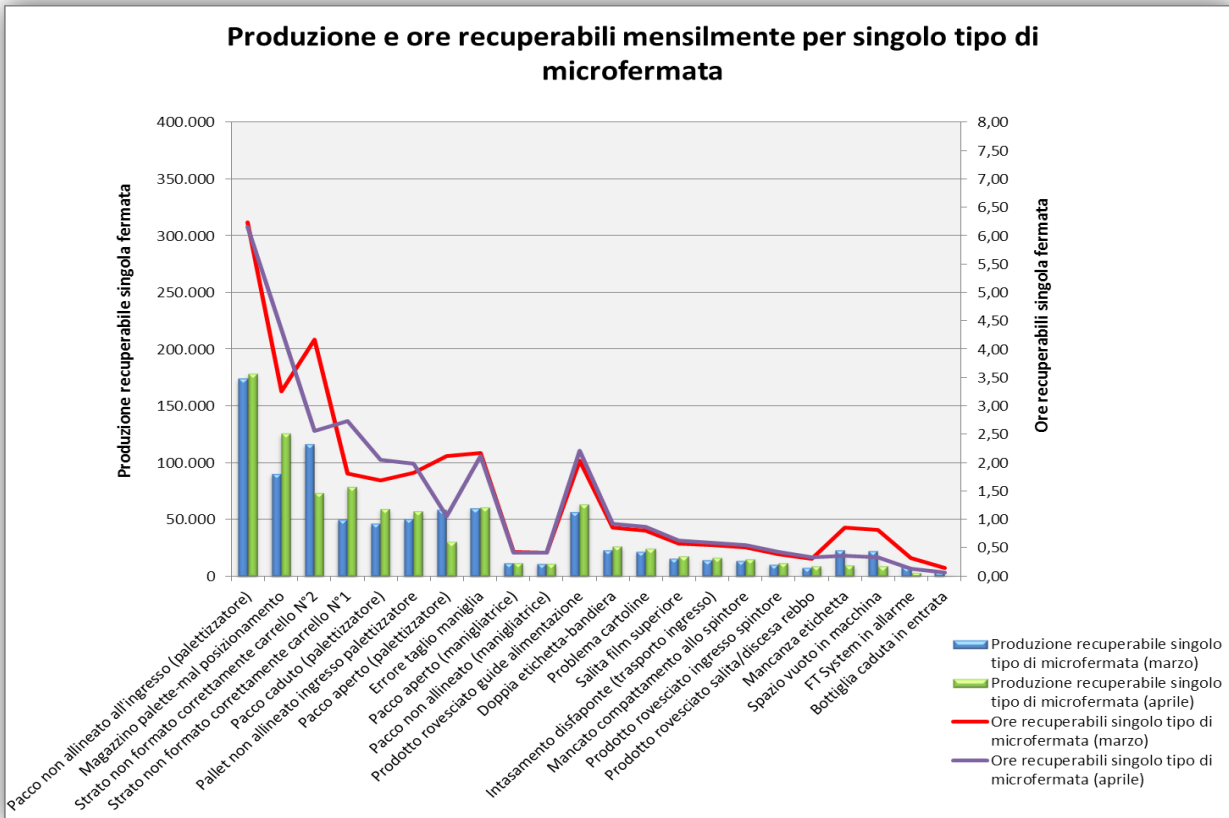


Figura 67: Sintesi produzione e ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata (100% recupero)

Queste valutazioni sono state fatte nell'ipotesi di recuperare il 100% delle microfermate, quindi permettono di comprendere l'aumento massimo ottenibile. Per una stima più veritiera è possibile rifare la stessa analisi con un recupero del 70% delle fermate; in figura 68 e 69 vengono ripresentati i grafici precedenti ma con una percentuale di recupero diversa.

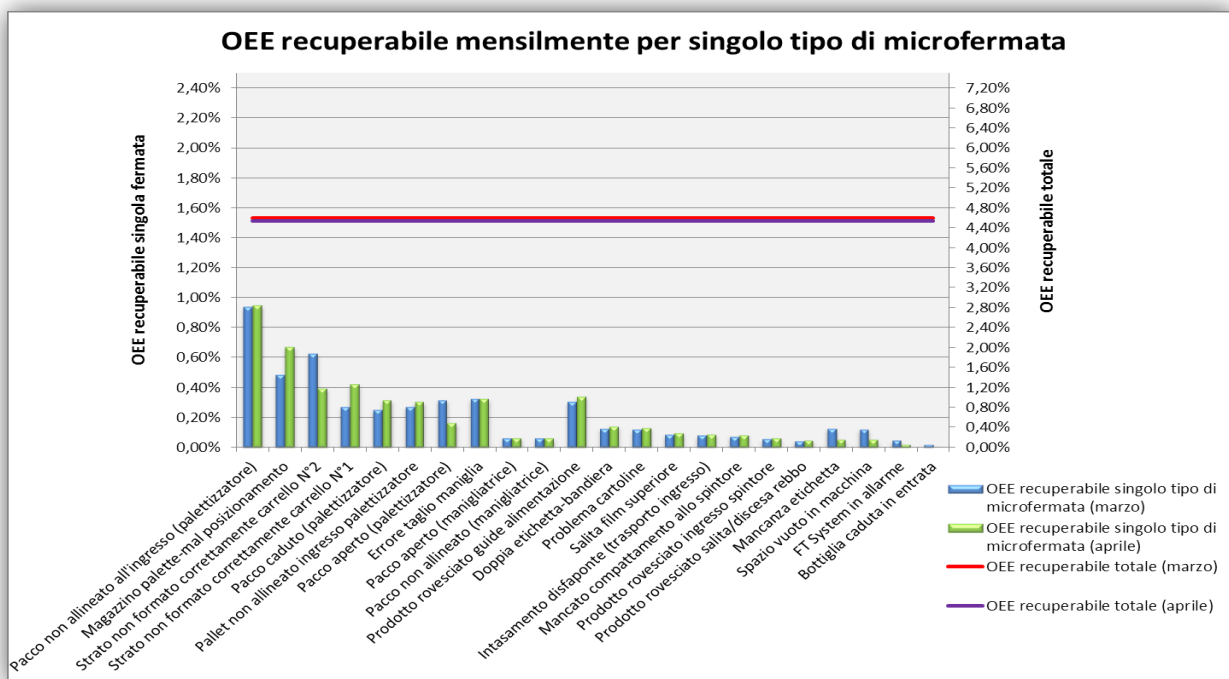


Figura 68: Sintesi OEE recuperabile mensilmente per tipo di microfermata (70% recupero)

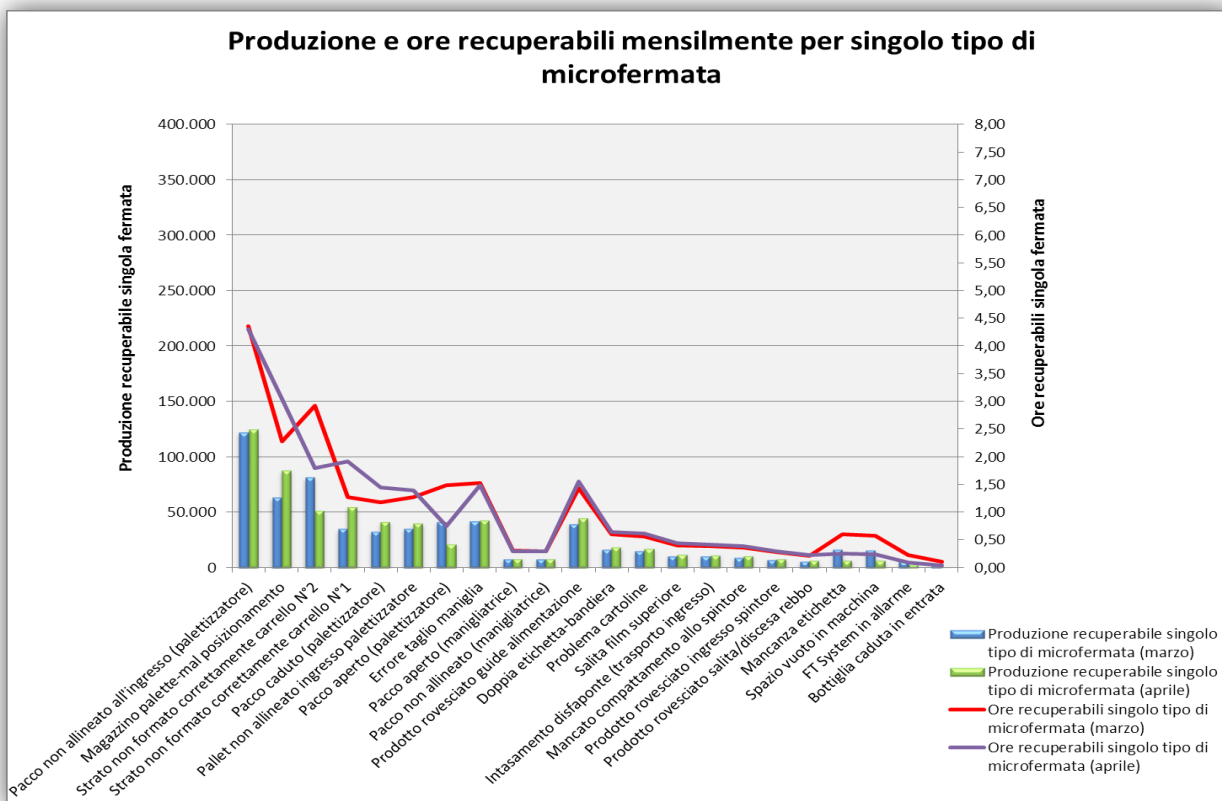


Figura 69: Sintesi produzione e ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata (70% recupero)

6.4. Relazione tra *TTR* e *TF*

Come proposto da Battini *et al.* (2006), un passaggio fondamentale prevede di analizzare la relazione esistente (se esiste) tra i *TTF* e i *TTR*, ovvero capire se una tipologia di microfermata è caratterizzata da alto o basso *TTF* e da alto o basso *TTR*, in modo da individuare la strategia più adeguata con cui agire per migliorare.

La combinazione di questi due elementi permette di fare delle considerazioni:

- A. Fermate con *TTR* e *TF* bassi: sono caratterizzate da una elevata frequenza e una durata di fermo macchina breve: tipicamente le microfermate; inoltre questa elevata frequenza indica che molto probabilmente sono delle fermate croniche che possono essere risolte o comunque fortemente limitate da interventi migliorativi mirati;
- B. Fermate con basso *TTR* e alto *TF*: hanno una bassa frequenza di accadimento e delle durate brevi, perciò non vanno ad influire quasi per nulla nelle prestazioni della linea dal momento che il loro impatto è minimale e probabilmente sono assorbibili dai *buffer* presenti: tipicamente le microfermate casuali;
- C. Fermate con alto *TTR* e alto *TF*: la durata della fermata è elevata ma l'intervallo di tempo tra una e l'altra è piuttosto lungo, quindi il loro impatto è molto importante se

considerato in un preciso istante temporale (ad esempio in un periodo di tre ore) ma a livello giornaliero possono incidere poco (se la fermata non è eccessivamente lunga): tipicamente i guasti;

- D. Fermate con alto *TTR* e basso *TTF*: sono fermate che necessitano di una analisi molto attenta e tempestiva poiché significa che la loro durata è elevata ma anche la frequenza di accadimento è molto alta; questa tipologia può indicare che il tipo di intervento che deve essere eseguito dall'operatore non è semplice o magari richiede anche l'intervento di personale tecnico specializzato; inoltre significa che non sono stati presi dei necessari provvedimenti specifici per evitare queste fermate altamente impattanti, quindi bisogna indagare se il piano manutentivo sia adeguato e se sia possibile introdurre dei miglioramenti che possano evitare la fermata o ridurre la difficoltà di ripristino della macchina, in modo che l'intervento dell'operatore possa essere più rapido; queste fermate hanno un notevole peso sulla prestazione della linea e sono difficilmente inquadrabili in una singola categoria come i casi precedenti perché possono andare da guasti frequenti a fermate della macchina che richiedono un alto tempo di ripristino a causa di varie operazioni necessarie per risolvere il problema e far ripartire l'attrezzatura; in ogni caso devono richiedere una immediata attenzione da parte dei responsabili e del personale tecnico della linea.

Con i dati ottenuti nella fase precedente è stato fatto questo tipo di analisi inserendo in uno *scatter plot* i dati relativi ai *TTR* e ai *TTF* di ogni microfermata; ogni punto rappresenta una coppia di *TTR* e *TTF*. Il grafico deve essere letto in questo modo:

- Punti che si accumulano in basso a sinistra del grafico sono caratterizzati da *TTR* e *TTF* bassi, quindi ricadono nella categoria A indicata nella lista precedente;
- Punti in basso a destra hanno *TTR* ridotto e *TTF* alto, perciò appartengono alla categoria B;
- Punti in alto a destra sono contraddistinti da *TTR* e *TTF* elevati, dunque sono nella categoria C;
- Punti in alto a sinistra possiede *TTR* alto e *TTF* basso, quindi sono compresi nella categoria D.

A livello di microfermate l'aspetto più interessante da rilevare in questi grafici è, per un dato tipo di fermata, l'eventuale accumulo dei punti nell'angolo basso sinistro poiché significa che sono dei *micro breakdown* cronici, cioè fortemente dipendenti da una causa (o più cause) specifica e quindi molto probabilmente è possibile trovare una soluzione tecnologica che permetta di risolvere tale problema in modo (quasi) definitivo; una piccola quantità dello

stesso tipo di microfermata può comunque essere possibile ma probabilmente, rifacendo lo *scatter plot* dopo l'intervento migliorativo, i punti si concentrerebbero in basso a destra, quindi con *TTR* bassi e *TTF* alti, simbolo di *downtime* casuali che non vanno a pesare sull'OEE.

Di seguito vengono riportati gli *scatter plot* per tutte le fermate di cui sono stati rilevati dei *TTF* (figure da 70 a 81). Un appunto da fare riguarda la collocazione dei punti, infatti essi non sono equamente distribuiti su tutto l'intervallo di valori poiché la rilevazione dei *TTR*, essendo stata fatta a livello manuale, non aveva la precisione al secondo ma generalmente con intervalli di 5-10 secondi (ciò è anche coerente col sistema di rilevazione automatico dei tempi installato sulla linea che lavora ad intervalli di 10 secondi).

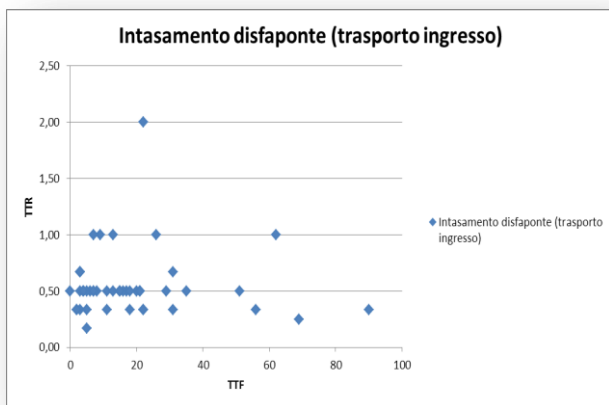


Figura 70: Relazione *TTR-TTF* (intasamento disfavonte (trasporto ingresso))

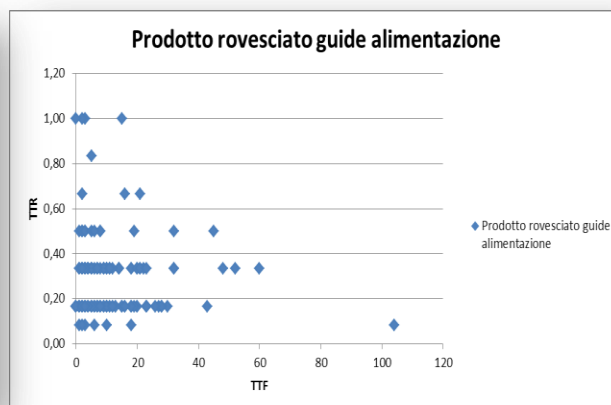


Figura 71: Relazione *TTR-TTF* (prodotto rovesciato guide alimentazione)

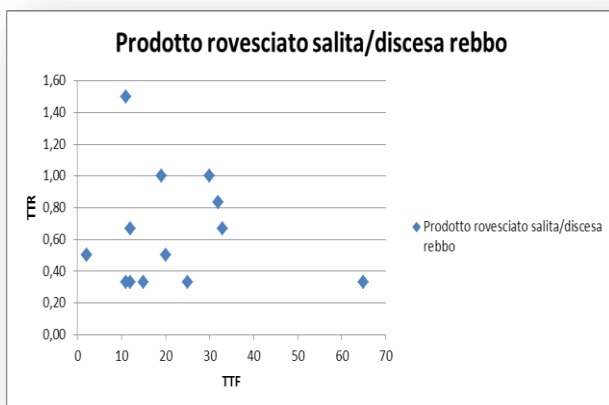


Figura 72: Relazione *TTR-TTF* (prodotto rovesciato salita/discisa rebbo)

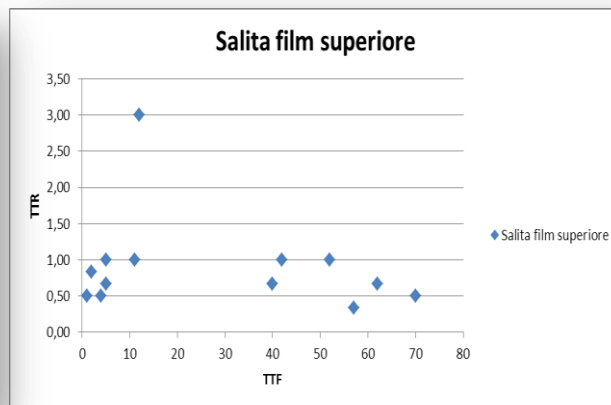


Figura 73: Relazione *TTR-TTF* (salita film superiore)

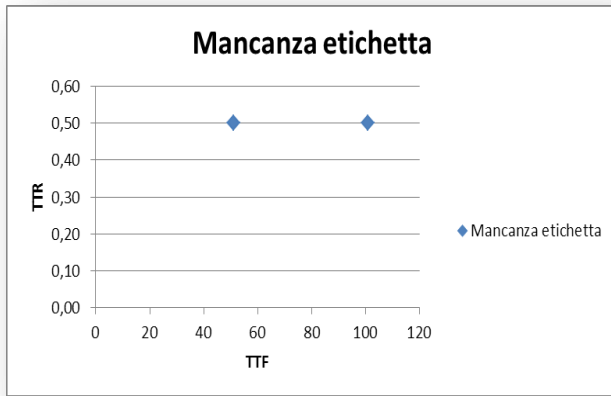


Figura 74: Relazione TTR-TTF (mancanza etichetta)

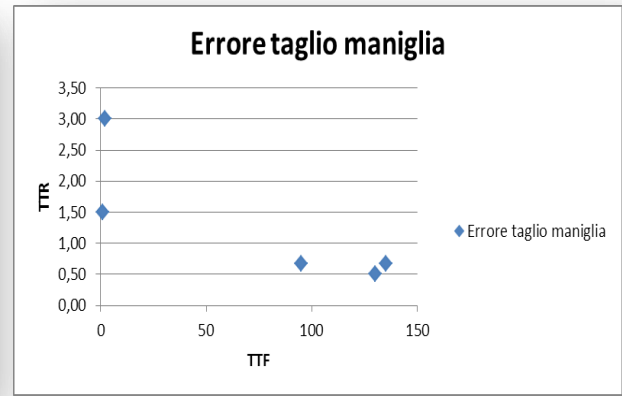


Figura 75: Relazione TTR-TTF (errore taglio maniglia)

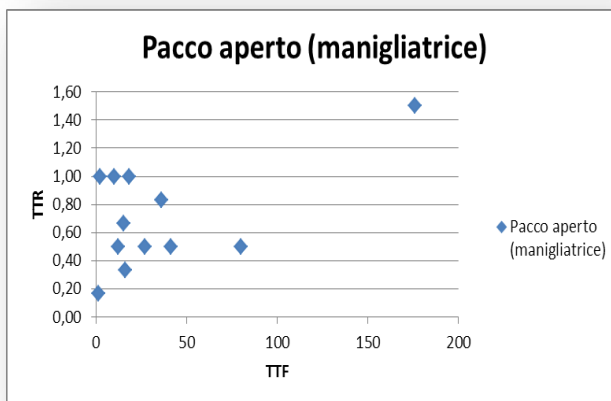


Figura 76: Relazione TTR-TTF (pacco aperto (manigliatrice))

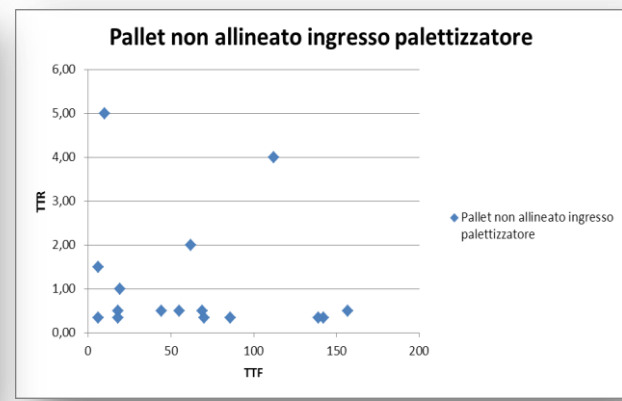


Figura 77: Relazione TTR-TTF (pallet non allineato ingresso palettizzatore)

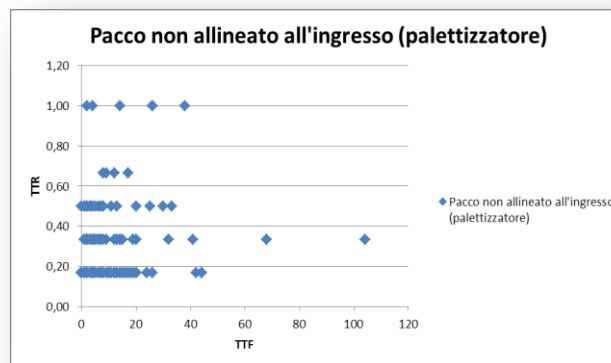


Figura 78: Relazione TTR-TTF (pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore))

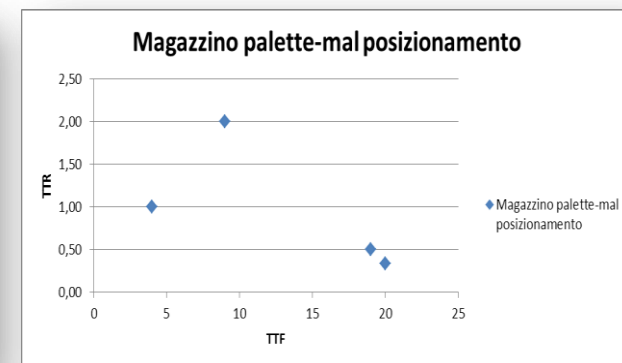


Figura 79: Relazione TTR-TTF (magazzino palette-mal posizionamento)

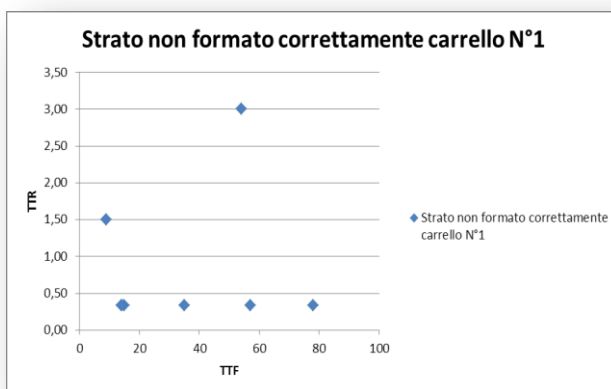


Figura 80: Relazione TTR-TTF (strato non formato correttamente carrello N°1)

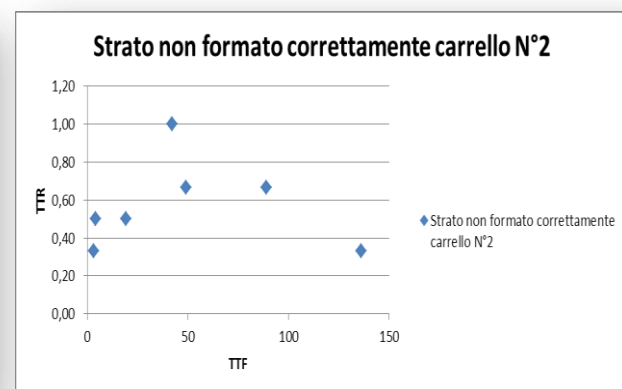


Figura 81: Relazione TTR-TTF (strato non formato correttamente carrello N°2)

Analizzando i grafici si può notare come le microfermate maggiormente caratterizzate da grafici con punti che si concentrano in basso a sinistra e che hanno un numero consistente di dati siano “prodotto rovesciato guide alimentazione” e “intasamento disfaponte (trasporti ingresso)” per la confezionatrice e “pacco non allineato all’ingresso (pallettizzatore)” appunto per il pallettizzatore. Queste sono le fermate su cui è necessario focalizzarsi maggiormente poiché sono fermate croniche e molto probabilmente risolvibili; in particolare è di primaria importanza capire come risolvere il problema del “pacco non allineato all’ingresso” poiché, come visto nel *paragrafo 6.3.3*, è anche la microfermata che determina la maggiore perdita di *performance* della linea. In seguito ci si potrà concentrare anche sulle altre, però la priorità d’intervento è inferiore.

Un appunto da fare su questa fase riguarda la breve durata della fase di rilevazione dei *TTF*, infatti per le fermate principali i dati sono risultati soddisfacenti, mentre per altre tipologie i dati risultano in quantità troppo bassa per dare delle conclusioni corrette e corroborate da dati significativi. Inoltre, essendo stata la rilevazione in un periodo successivo rispetto alla prima, alcune microfermate che risultavano piuttosto pesanti (ad es. “doppia etichetta-bandiera” o “mancanza etichetta”) erano già state risolte, quindi non sono stati rilevati dati significativi; ciò comunque significa che il problema poteva essere evitato, quindi probabilmente la tipologia di *downtime* ricadeva tra quelle croniche e risolvibili. Quindi non è detto che per ridurre le microfermate sia necessario obbligatoriamente cambiare tecnologia, ma può essere sufficiente anche un piano di manutenzione preventiva efficace sui componenti che possono determinarle, andando quindi ad abbassare la probabilità di accadimento.

È bene dunque, prima di fare degli investimenti (anche pesanti) in nuove tecnologie, chiedersi se non si abbia già a disposizione un’attrezzatura adeguata e ciò che deve essere rivisto è il piano di manutenzione che viene applicato, passando a svolgere determinate attività manutentive da una logica a guasto a una logica predittiva o preventiva.

6.5. Diagrammi causa-effetto e analisi *why-why*

Un punto essenziale per capire su cosa e come agire per ridurre o risolvere le microfermate è determinare tutte le possibili cause che possono condurre ad una fermata indesiderata. In questo modo è possibile isolare e analizzare, sia separatamente che congiuntamente con altre cause, tutti i motivi che possono causare dei tempi persi. Uno strumento molto utile che è possibile utilizzare in questa fase è il diagramma causa-effetto (o diagramma di Ishikawa). Questo *tool* è tipico del Total Quality Management (*TQM*) e della Total Productive

Maintenance (*TPM*) e permette, partendo da un singolo problema (in questo caso un tipo di microfermata), di procedere a ritroso e andare ad individuare tutte le possibili cause scatenanti del problema, suddividendole secondo sei fondamentali macro-cause:

- Macchine;
- Metodi;
- Misure;
- Materiali;
- Personale;
- Altro.

Tipicamente questo strumento è accompagnato anche dall'analisi *why-why*, cioè non ci si limita a capire solamente la prima causa di una fermata, ma si procede a ritroso chiedendosi più volte "perché" un certo fenomeno accade, in modo da giungere fino alle cause primarie e andare a risolvere alla radice il problema

Di seguito vengono riportati i diagrammi causa-effetto per le microfermate principali determinate nel *paragrafo 5.3.2 (figure da 82 a 108)*.

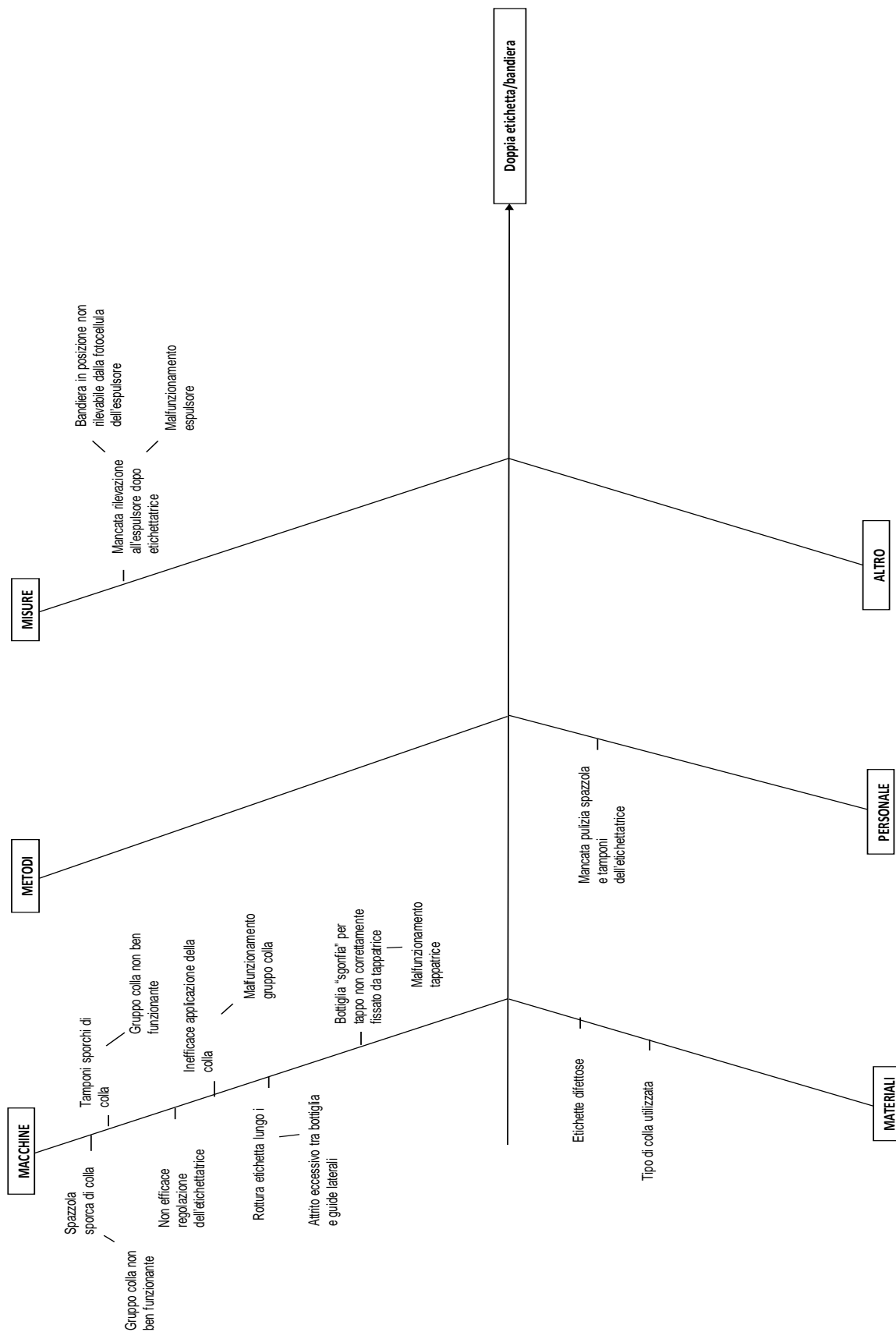


Figura 82: Diagramma causa-effetto (doppia etichetta-bandiera)

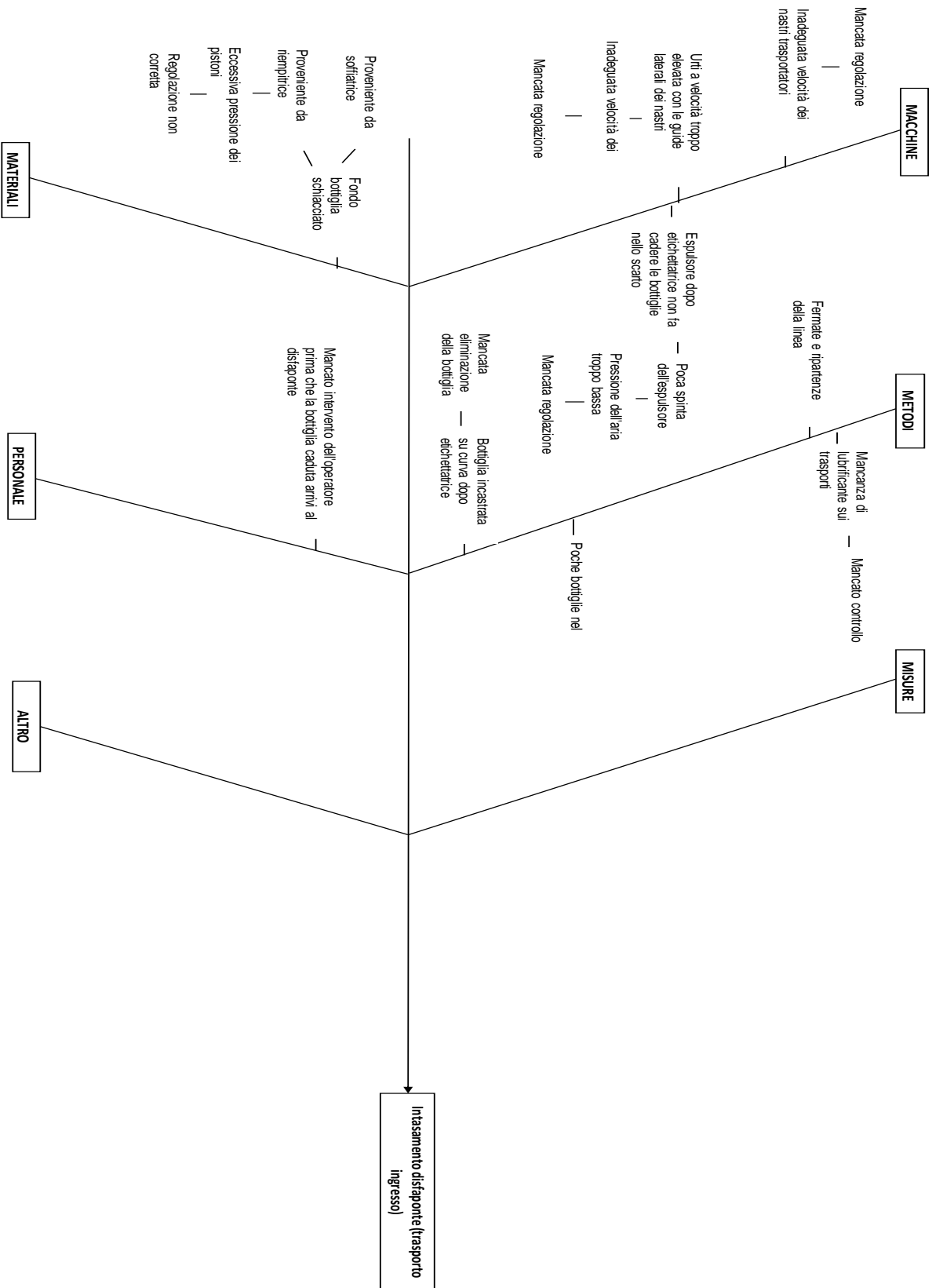


Figura 83: Diagramma causa-effetto (intasamento disfavore (trasporto ingresso))

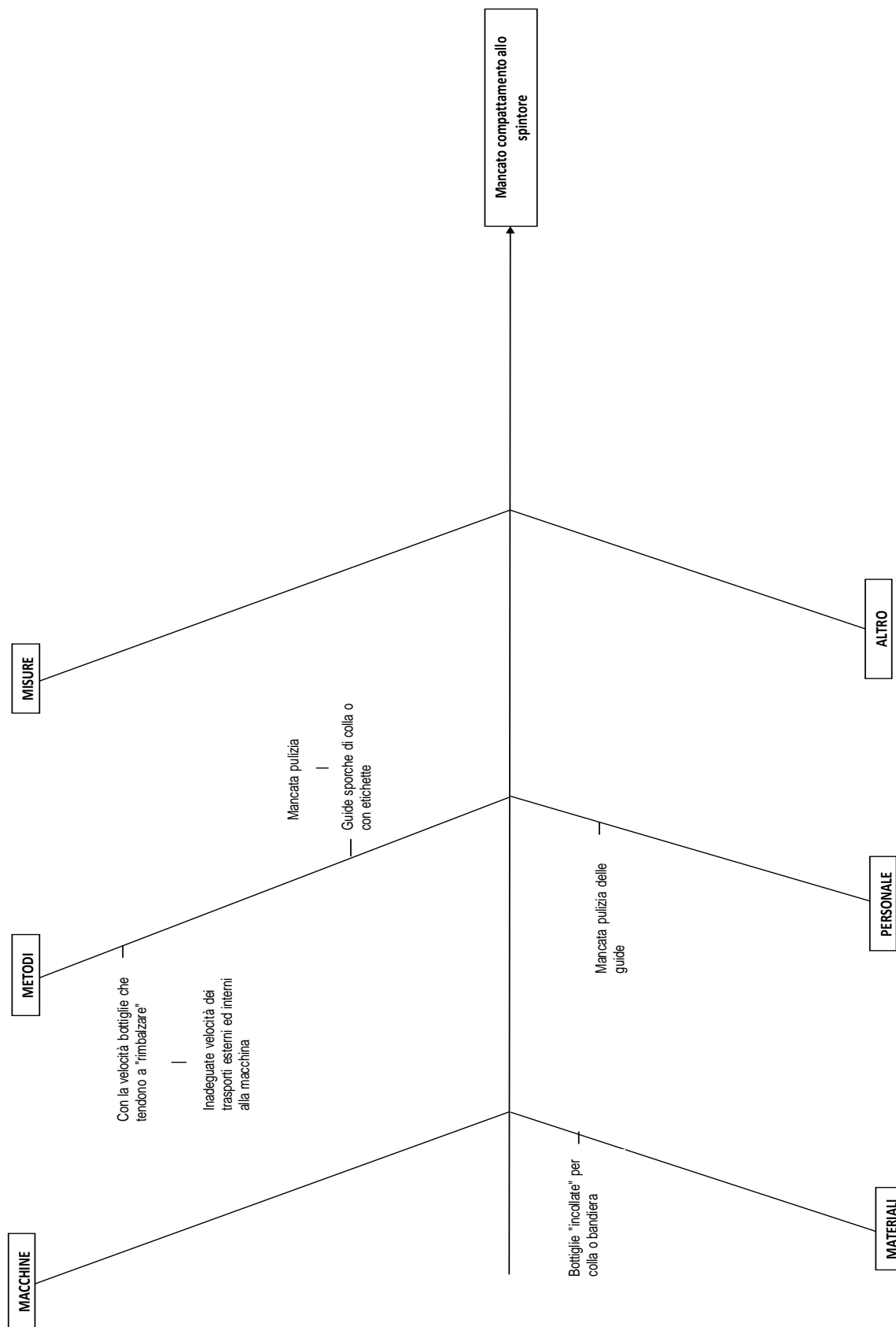


Figura 84: Diagramma causa-effetto (mancato compattamento allo spintore)

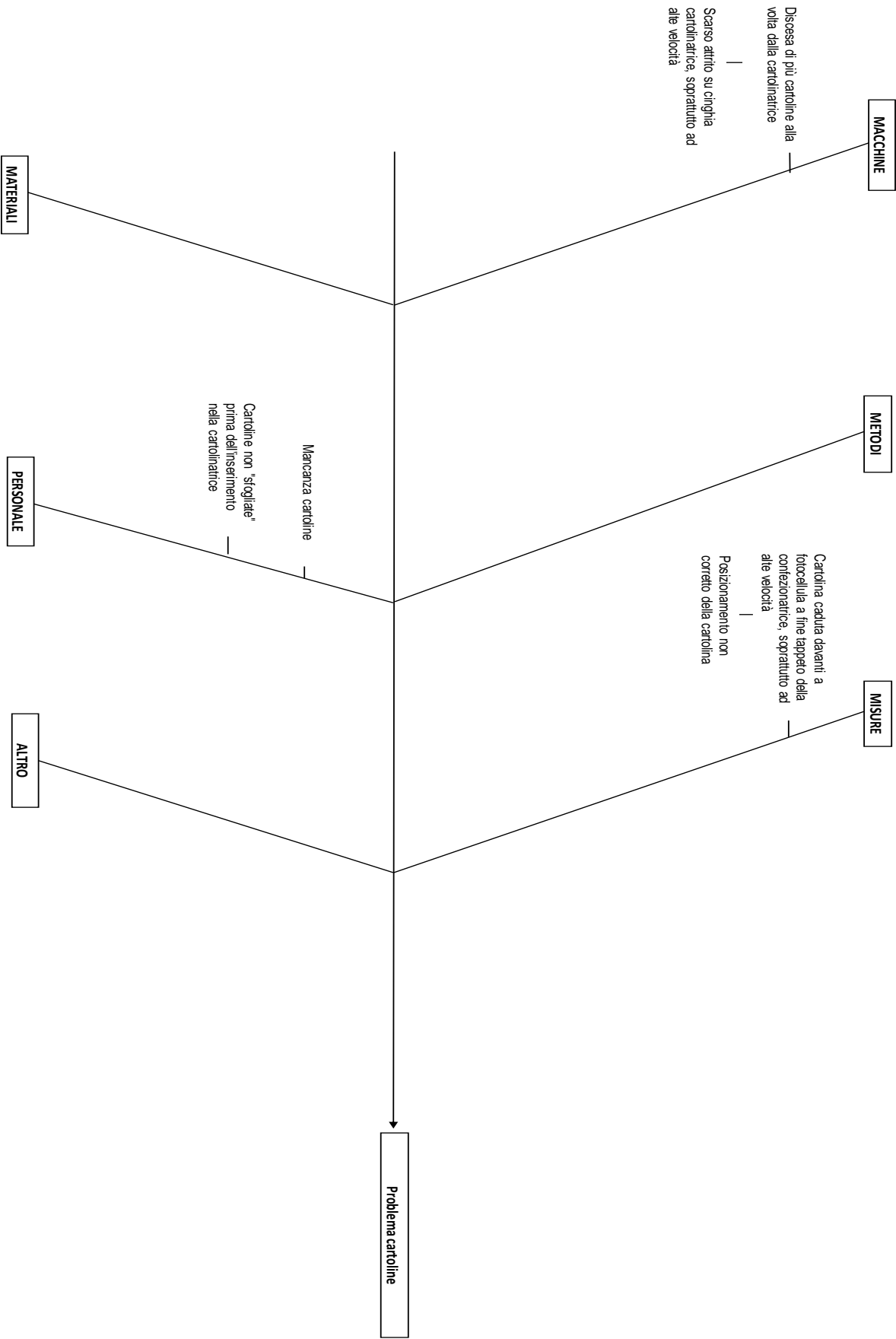


Figura 85: Diagramma causa-effetto (problema cartoline)

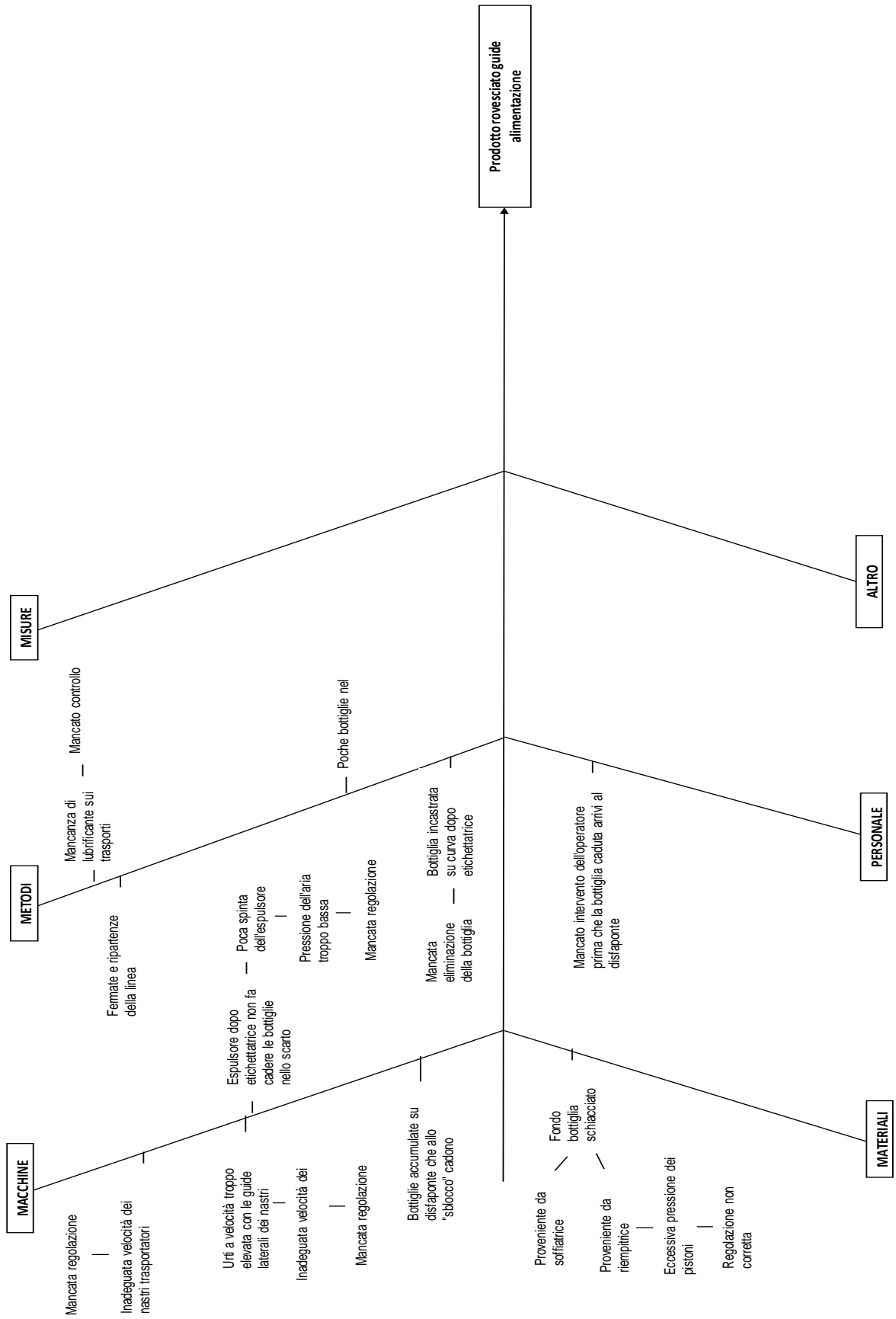


Figura 86: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato guide alimentazione)

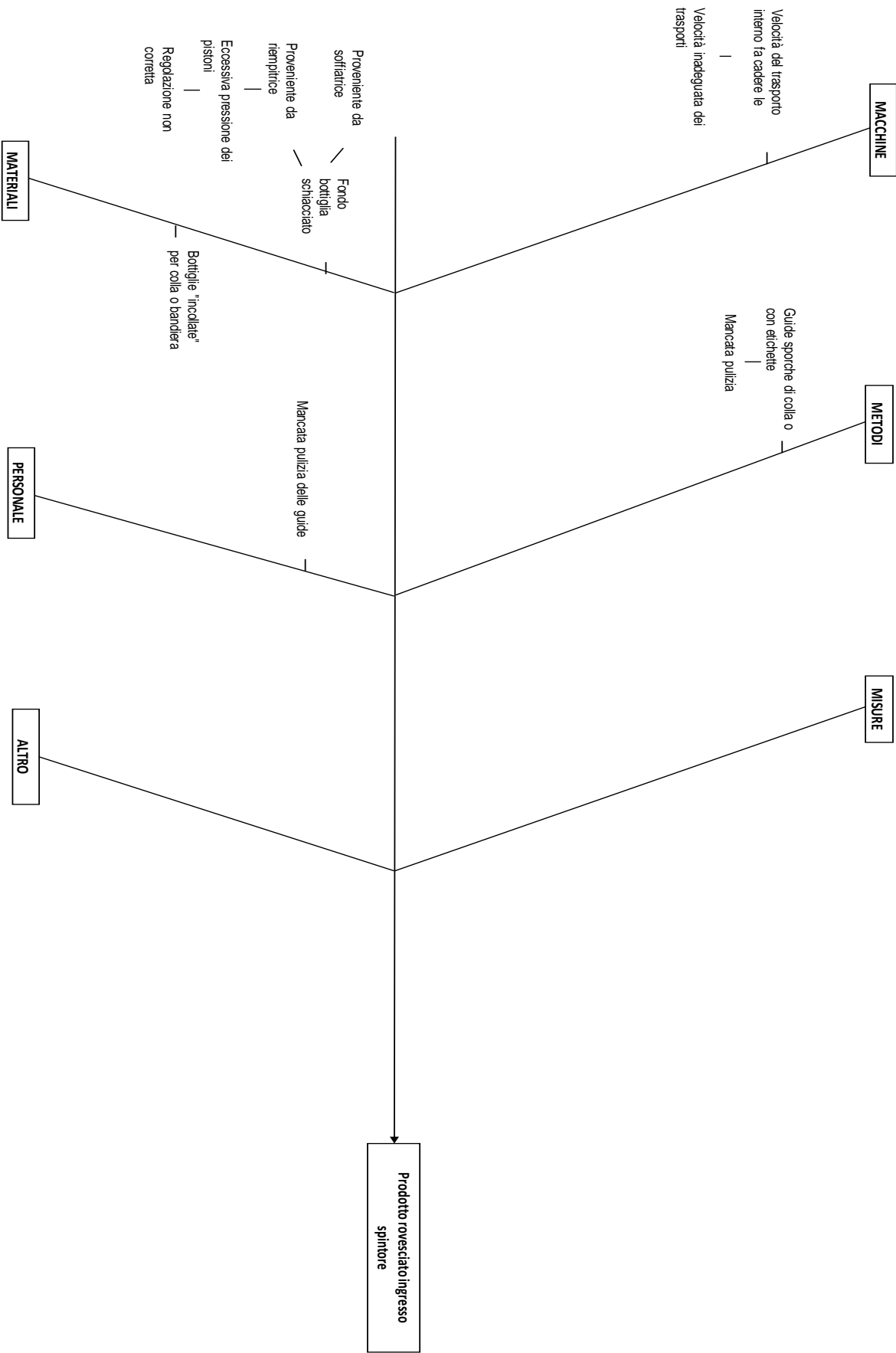


Figura 87: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato ingresso spintore)

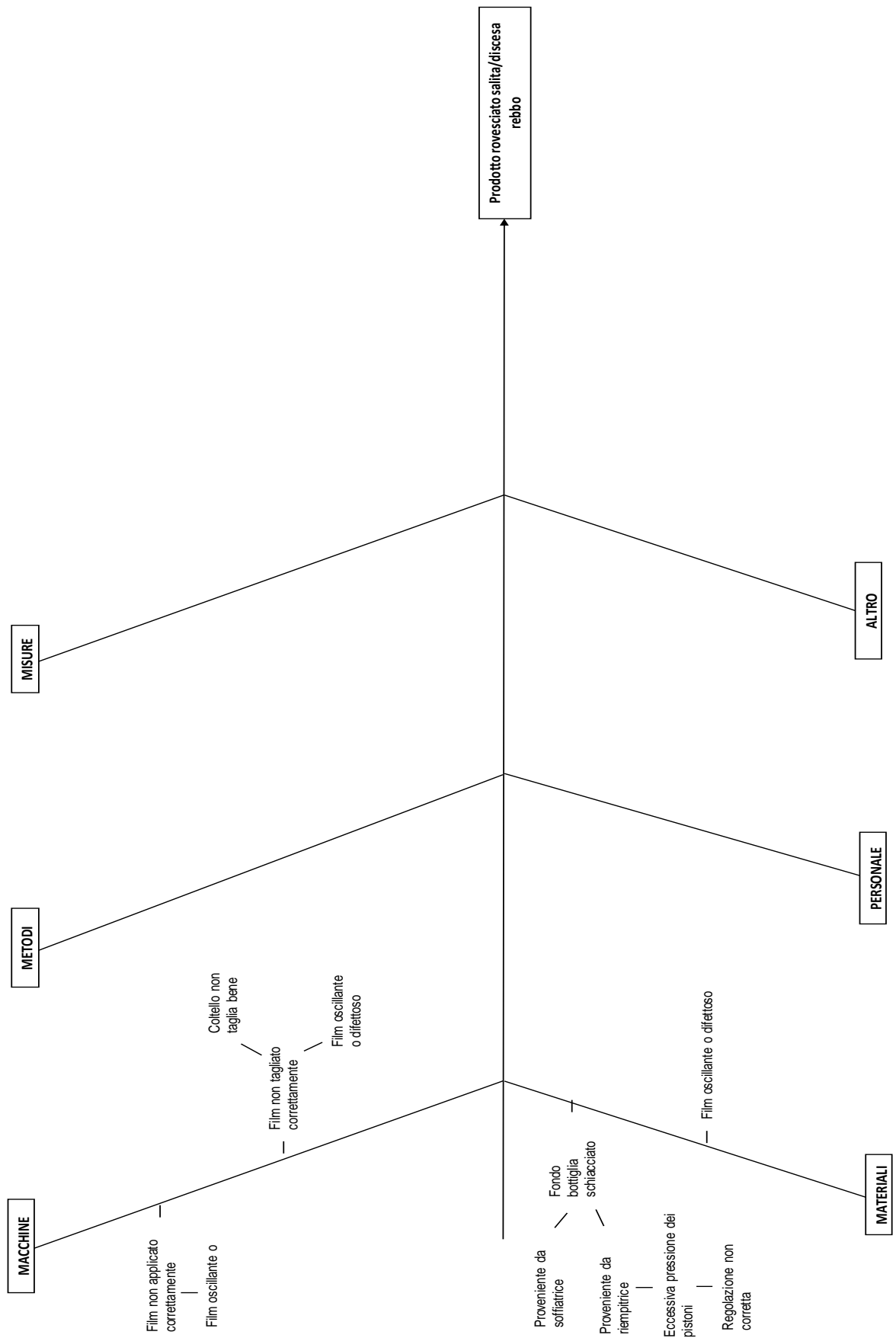


Figura 88: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato salita/discisa rebbò)

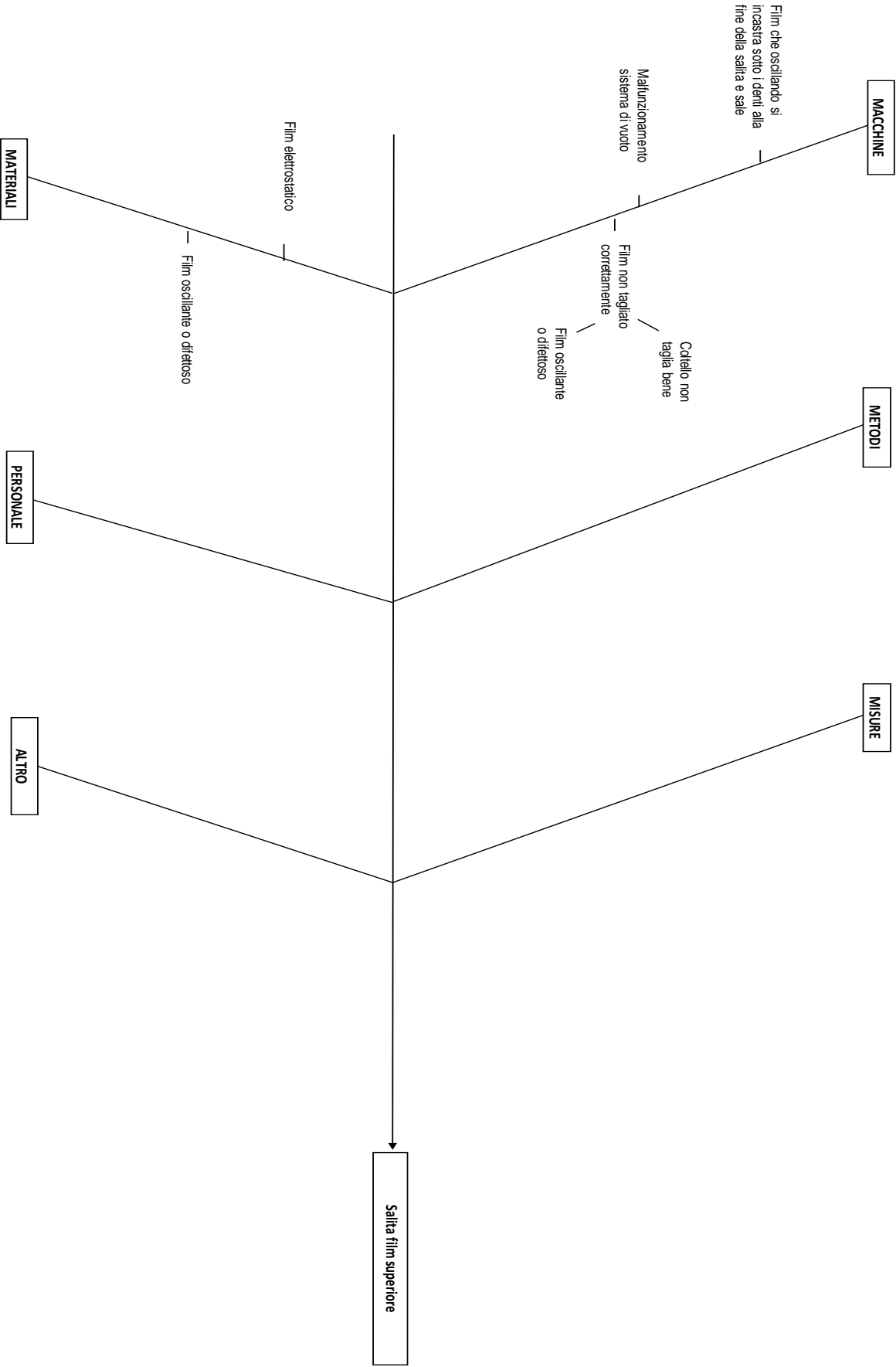


Figura 89: Diagramma causa-effetto (salita film superiore)

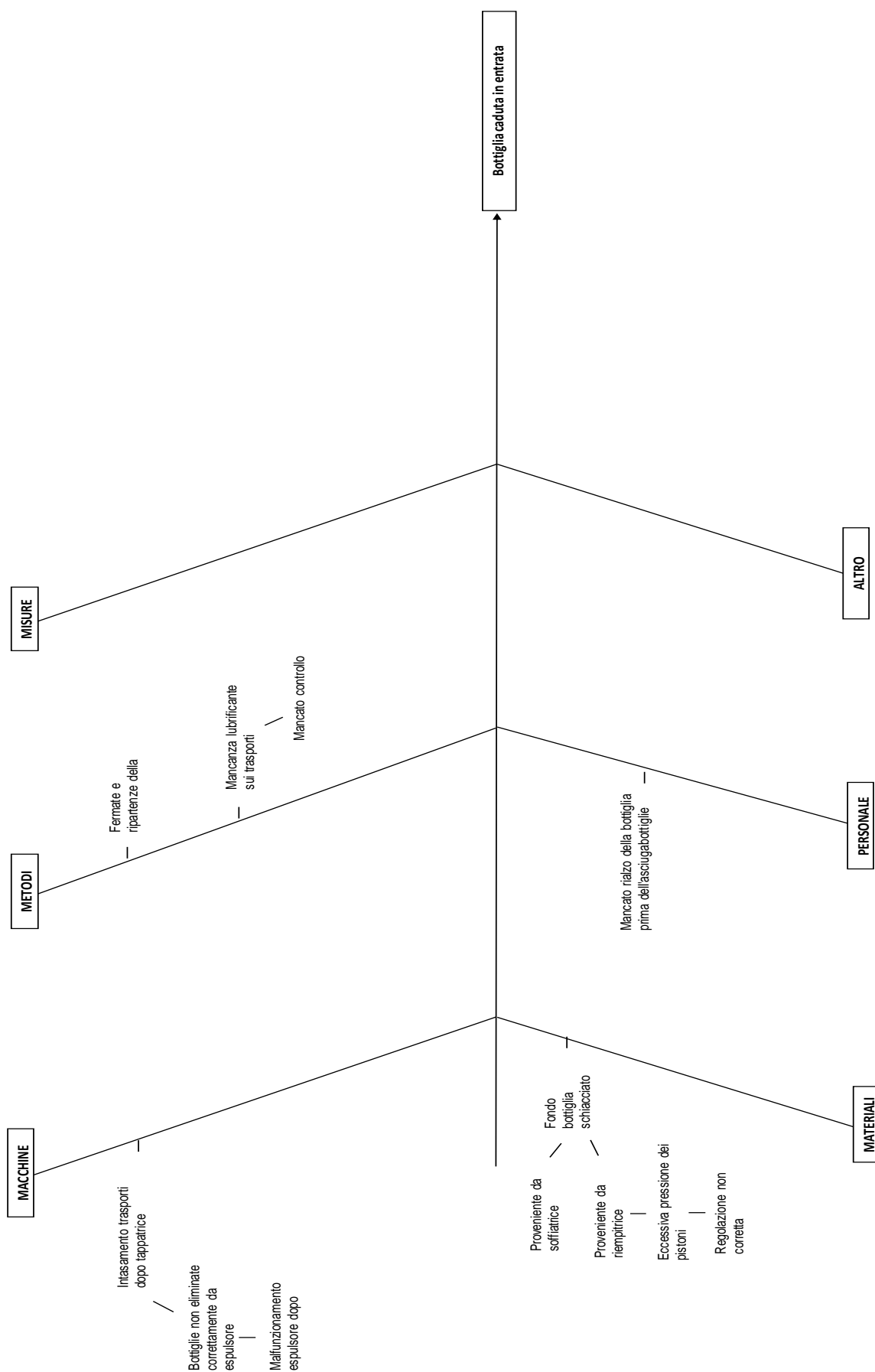


Figura 90: Diagramma causa-effetto (bottiglia caduta in entrata)

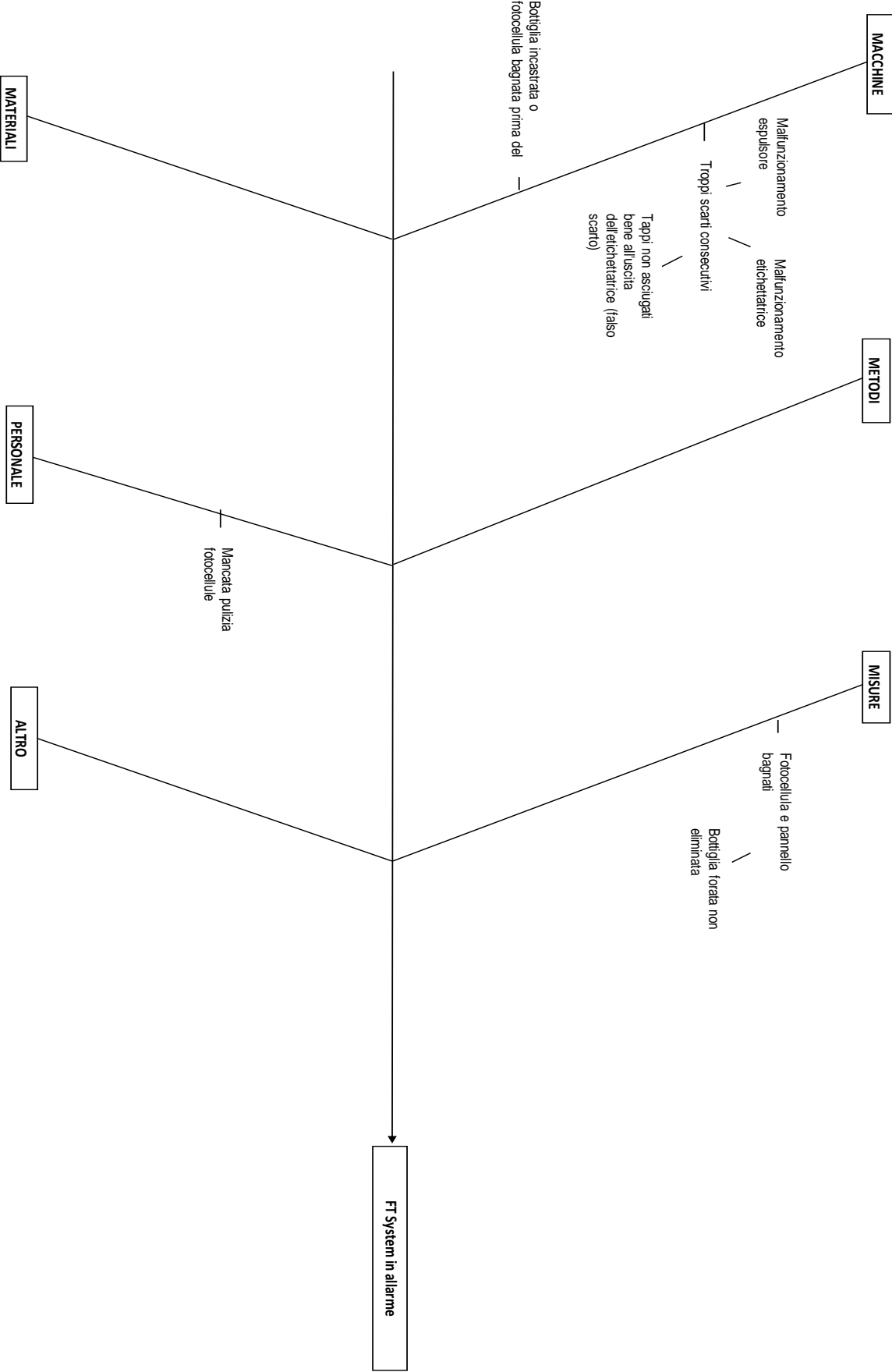


Figura 91: Diagramma causa-effetto (FT System in allarme)

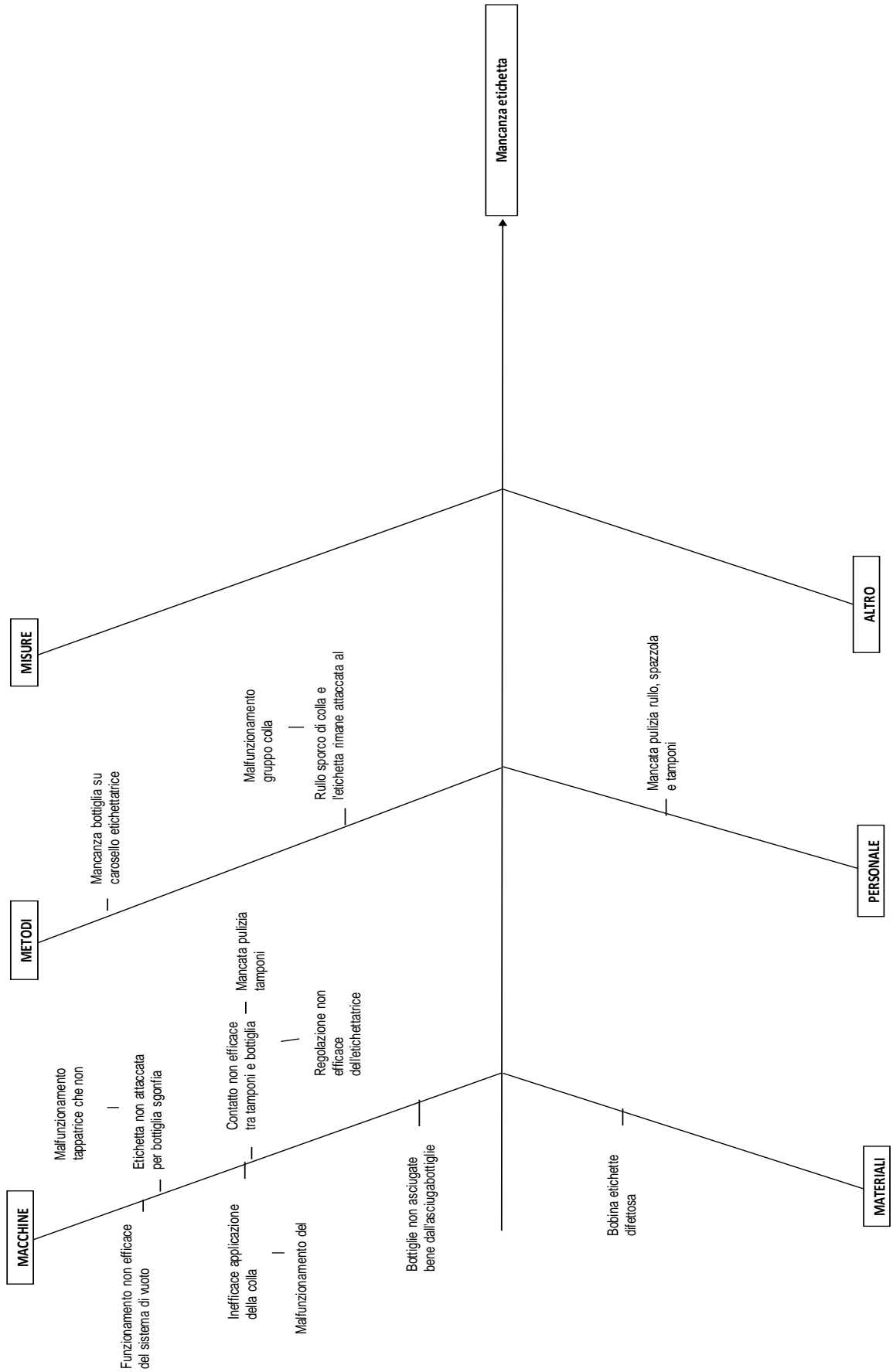


Figura 92: Diagramma causa-effetto (mancanza etichetta)

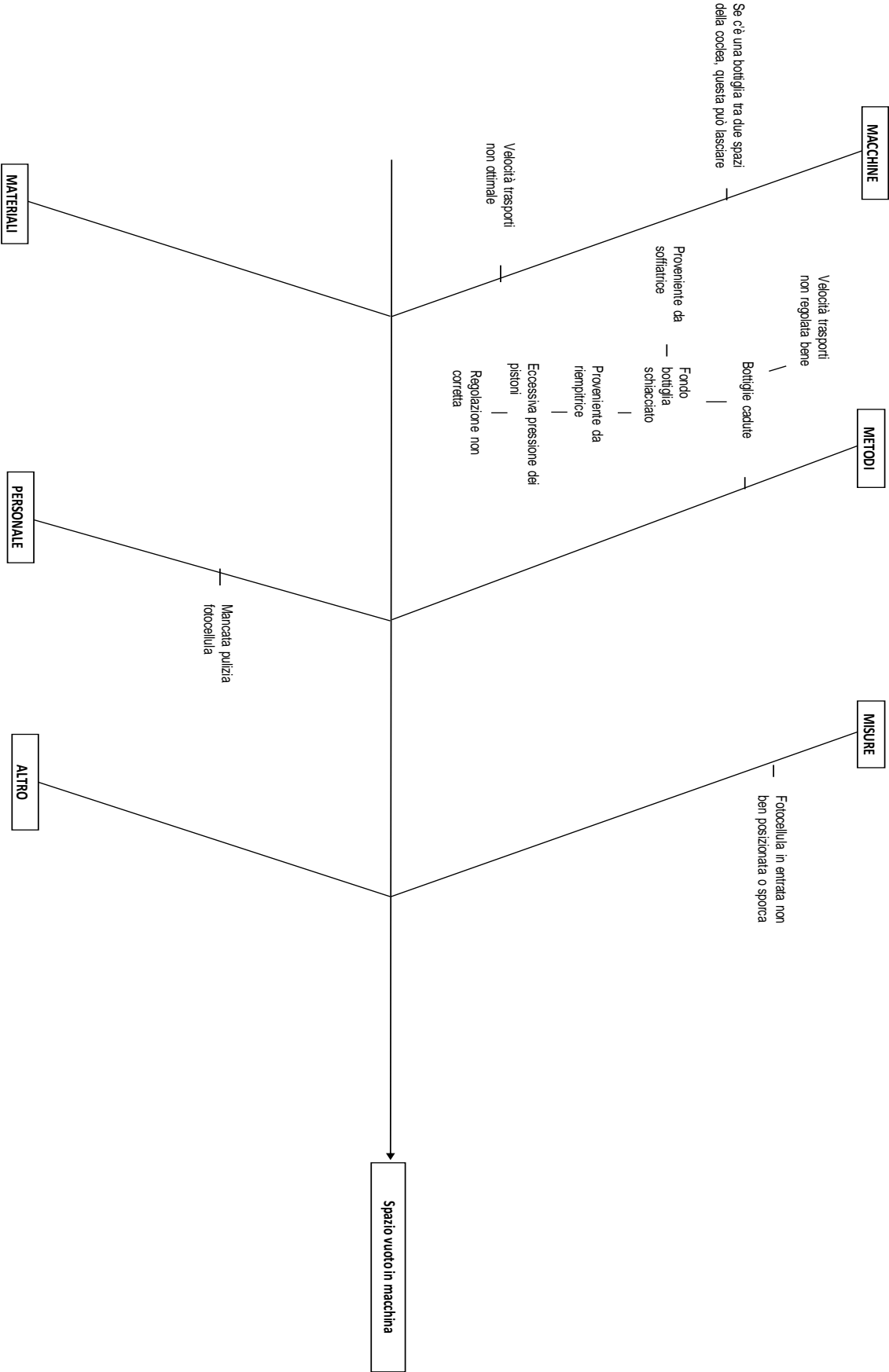


Figura 93: Diagramma causa-effetto (spazio vuoto in macchina)

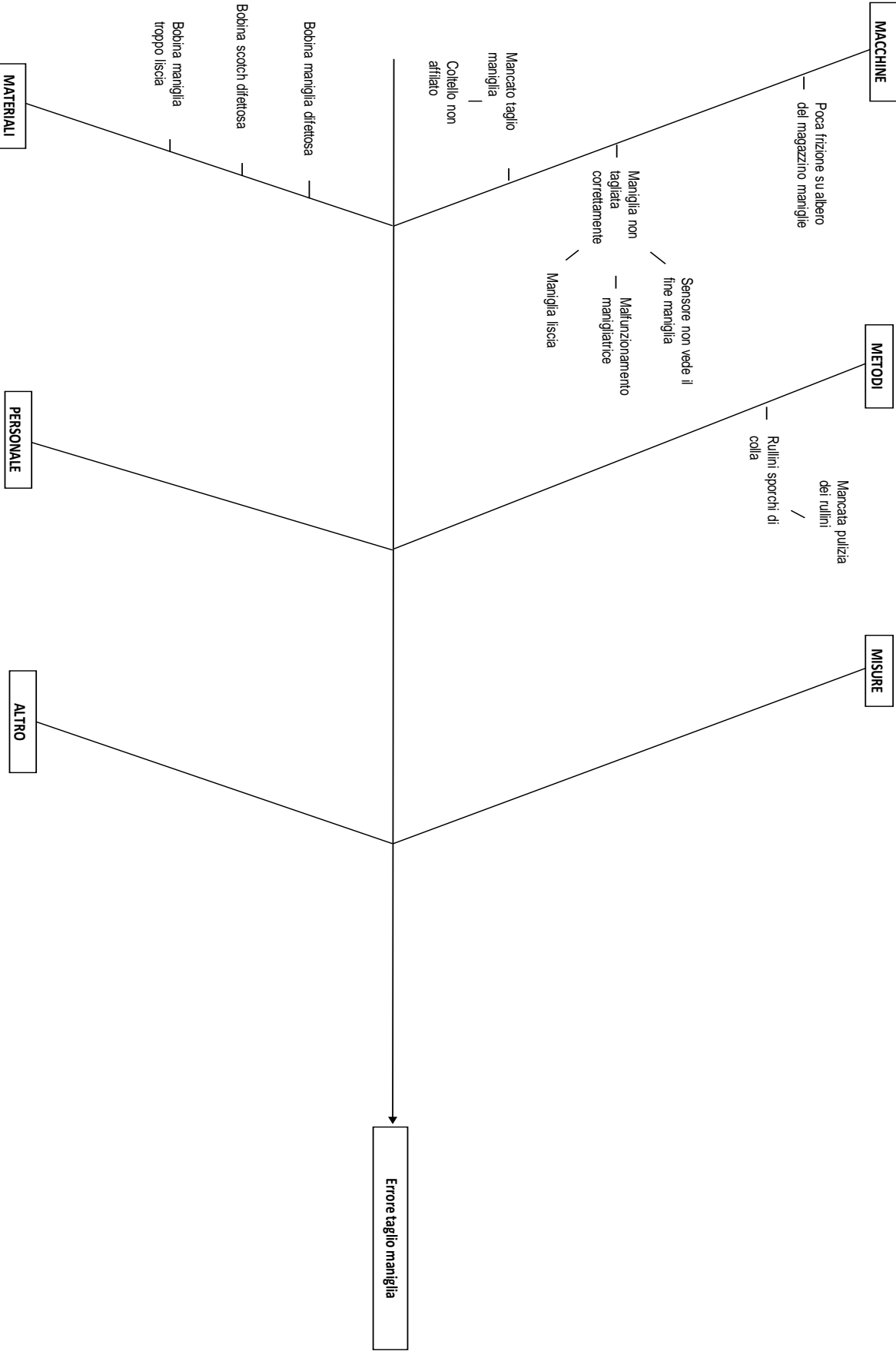


Figura 95: Diagramma causa-effetto (errore taglio maniglia)

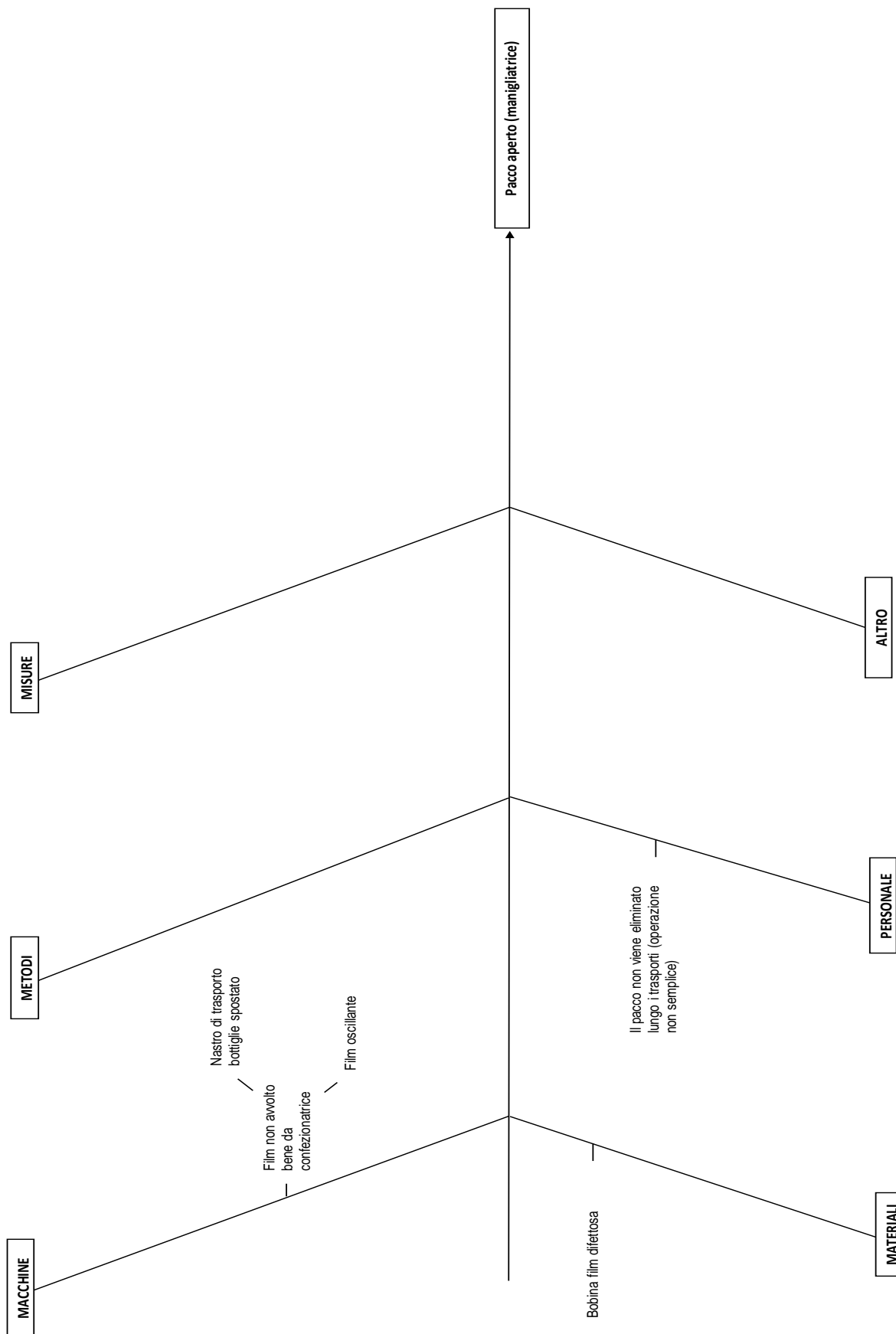


Figura 96: Diagramma causa-effetto (pacco aperto (manigliatrice))

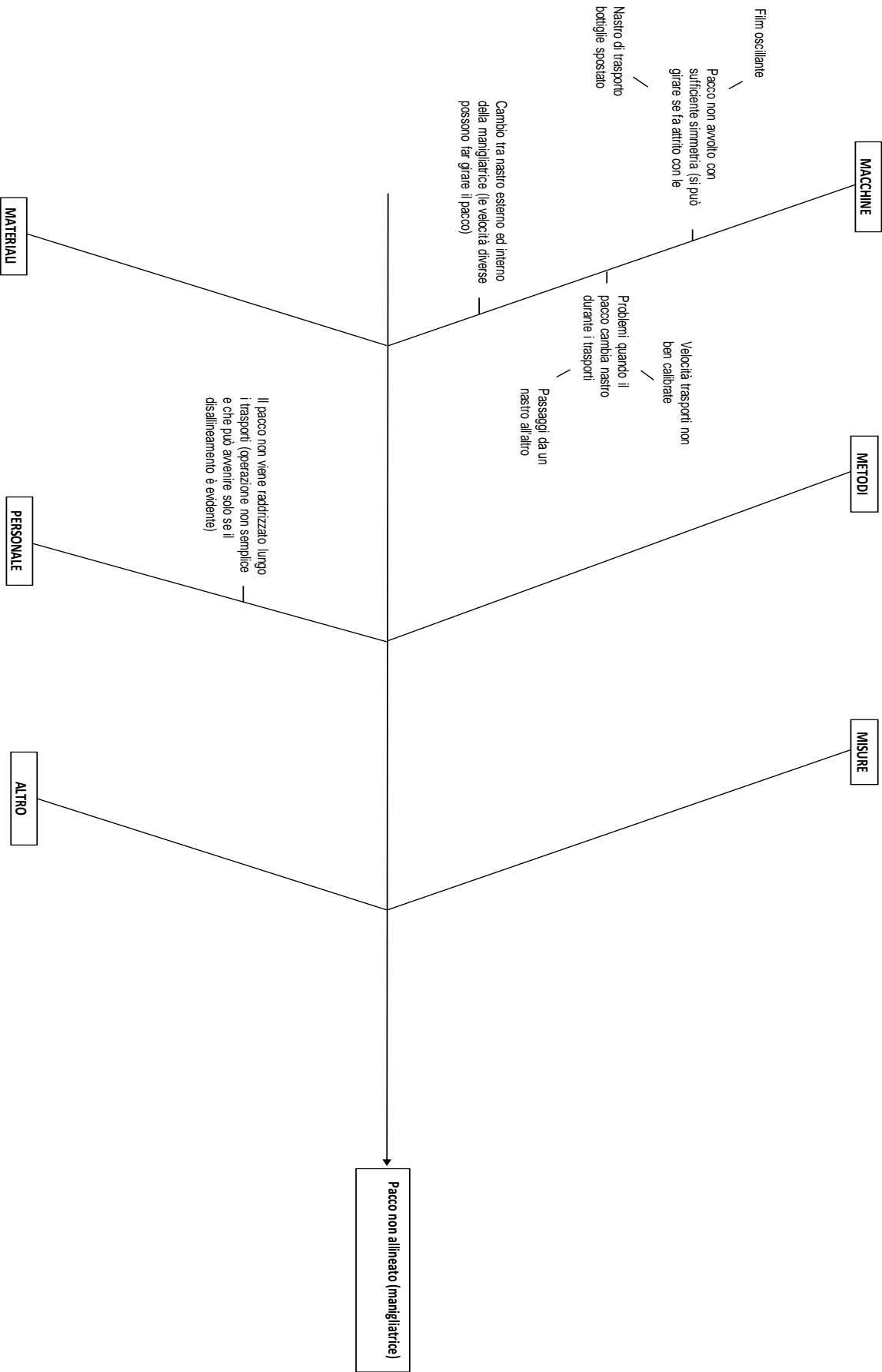


Figura 97: Diagramma causa-effetto (pacco non allineato (manigliatrice))

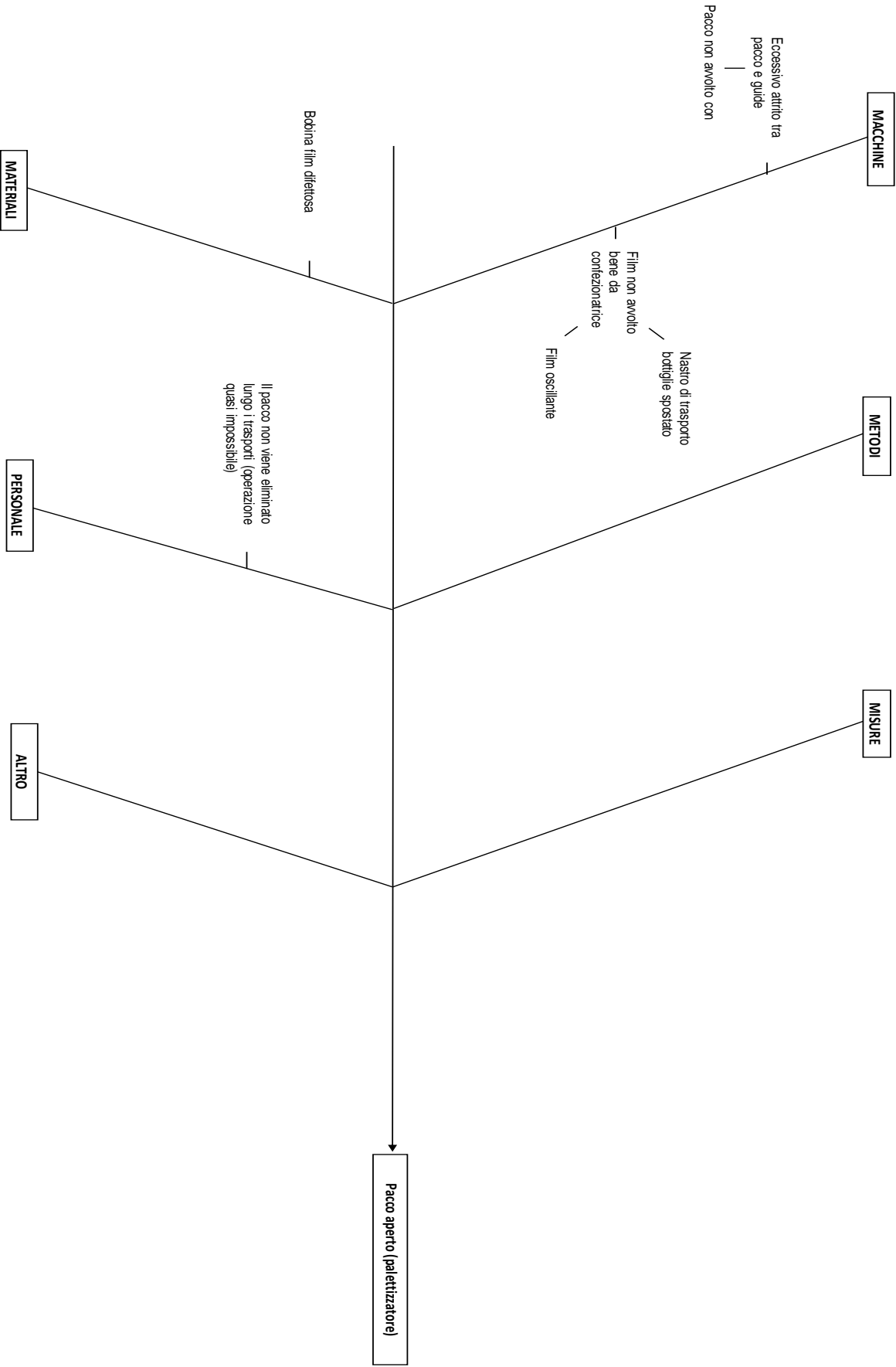


Figura 99: Diagramma causa-effetto (pacco aperto (pallettizzatore))

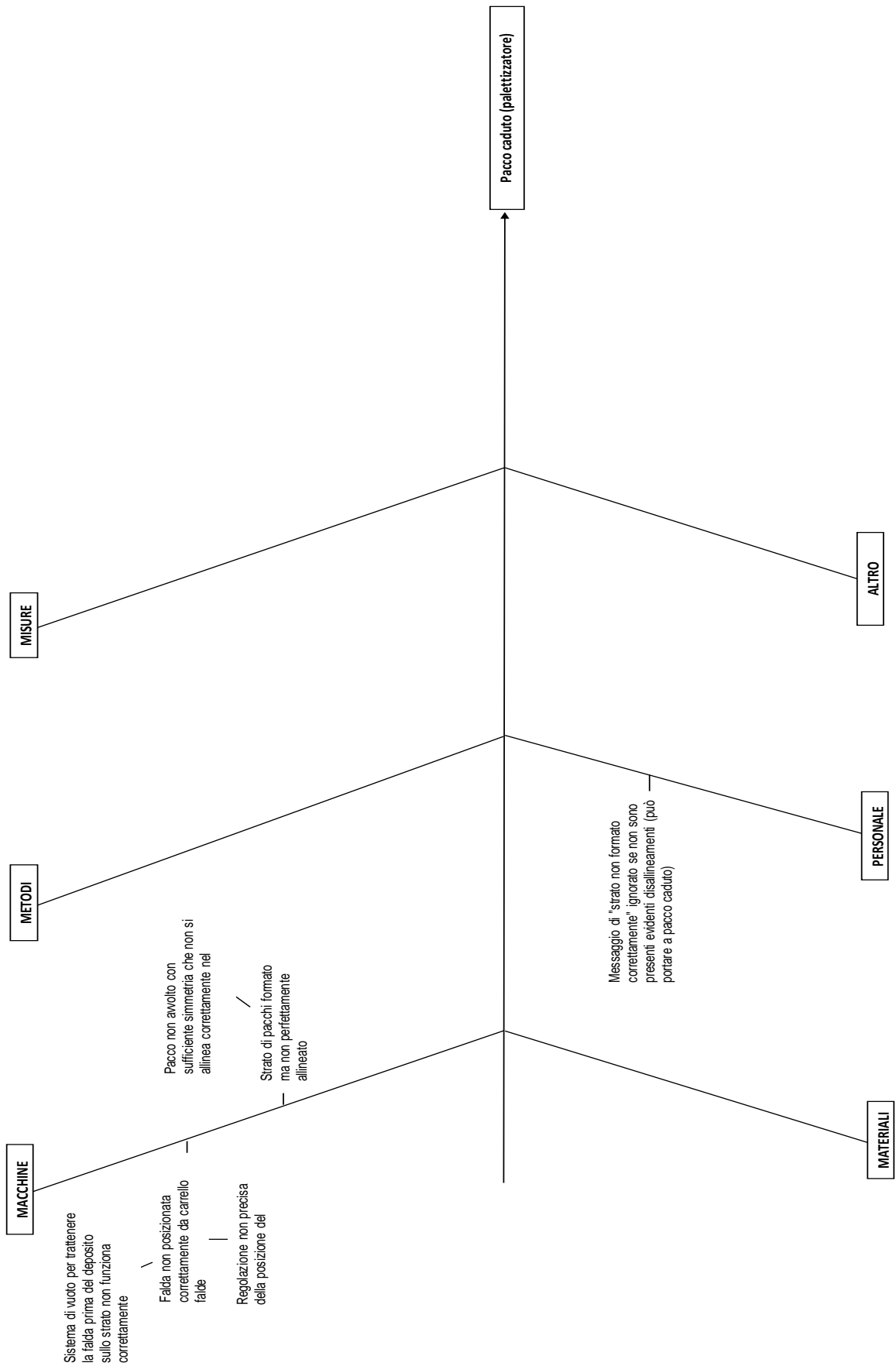


Figura 100: Diagramma causa-effetto (pacco caduto (palettizzatore))

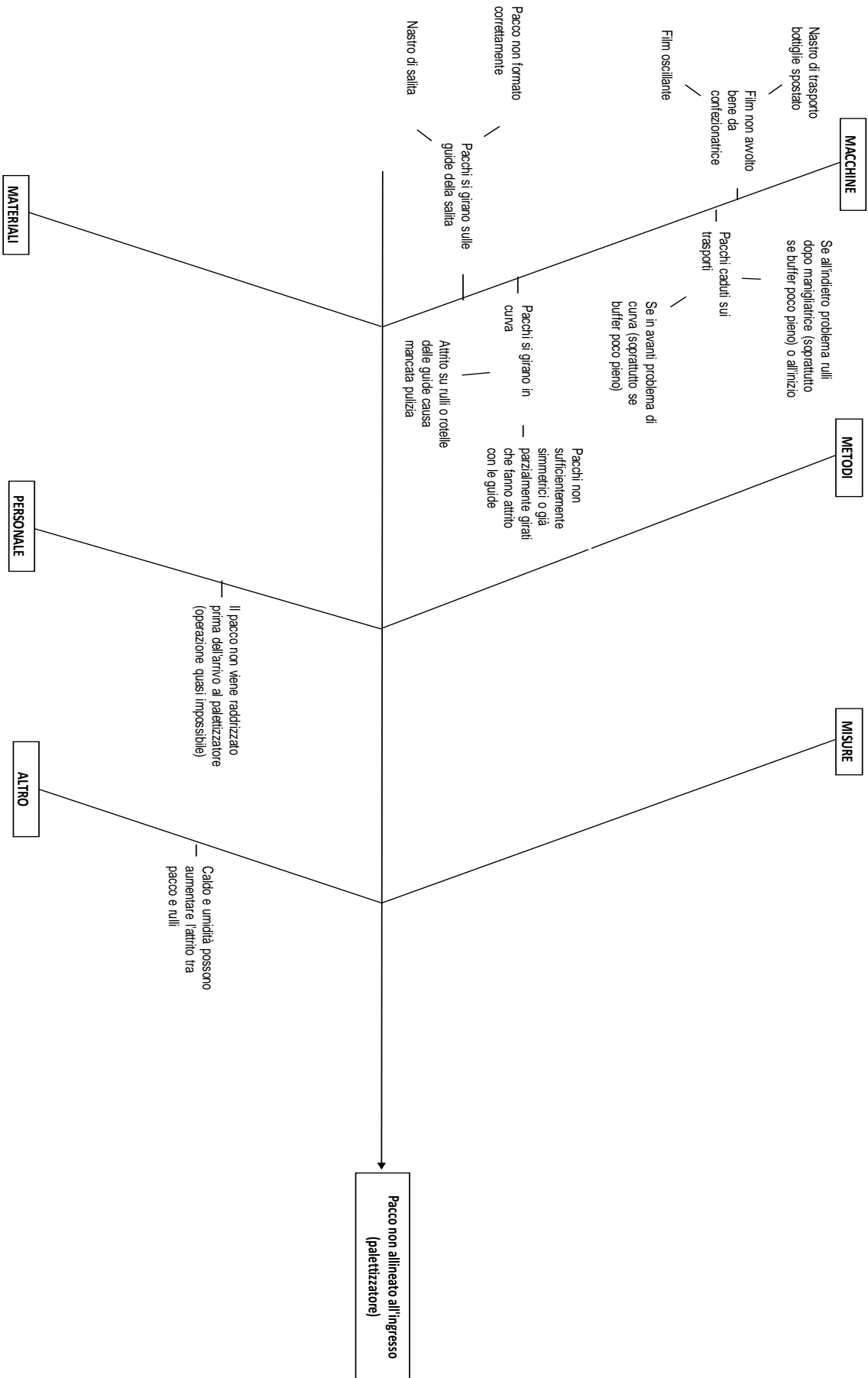


Figura 101: Diagramma causa-effetto (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))

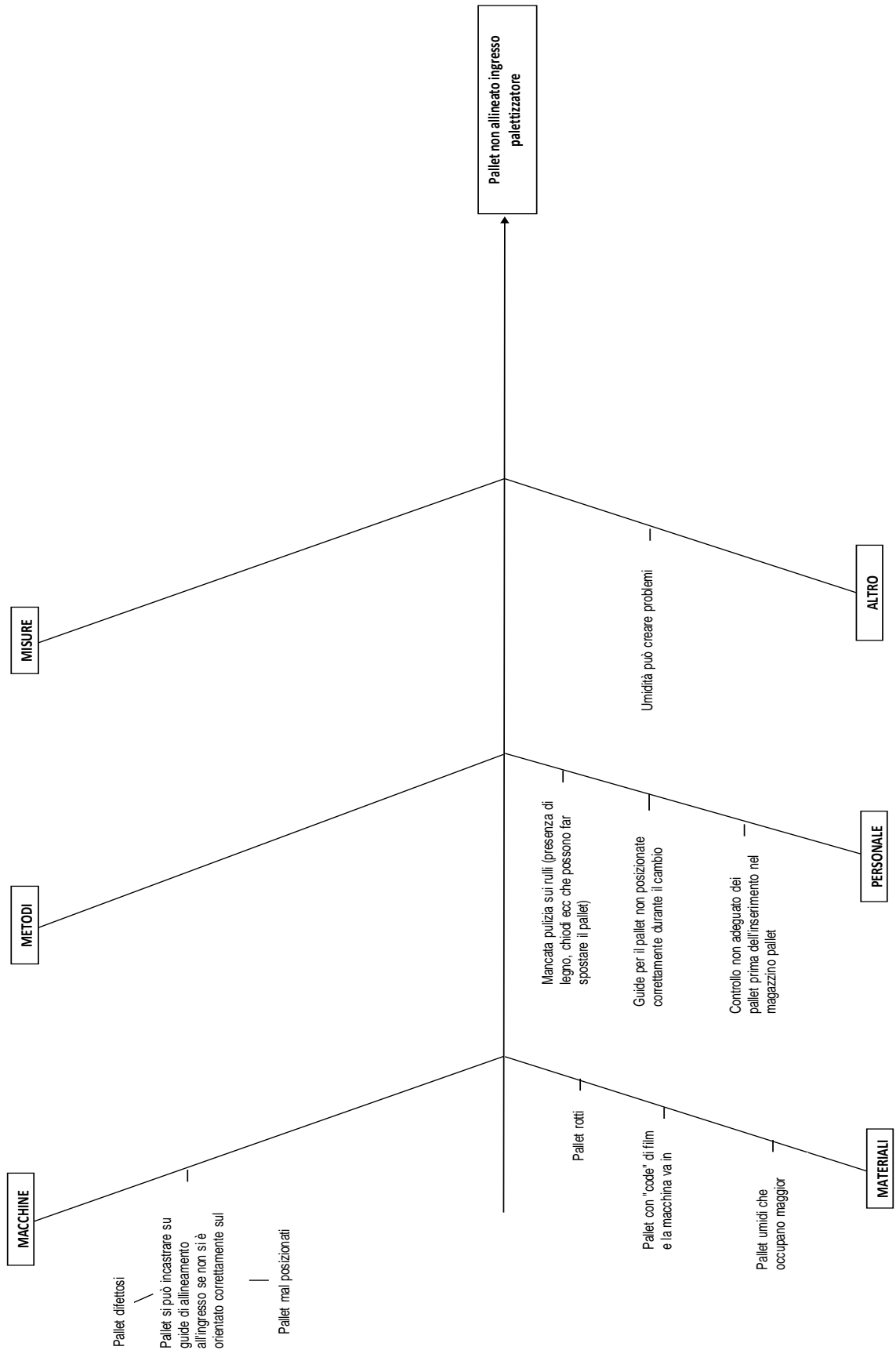


Figura 102: Diagramma causa-effetto (pallet non allineato ingresso pallettizzatore)

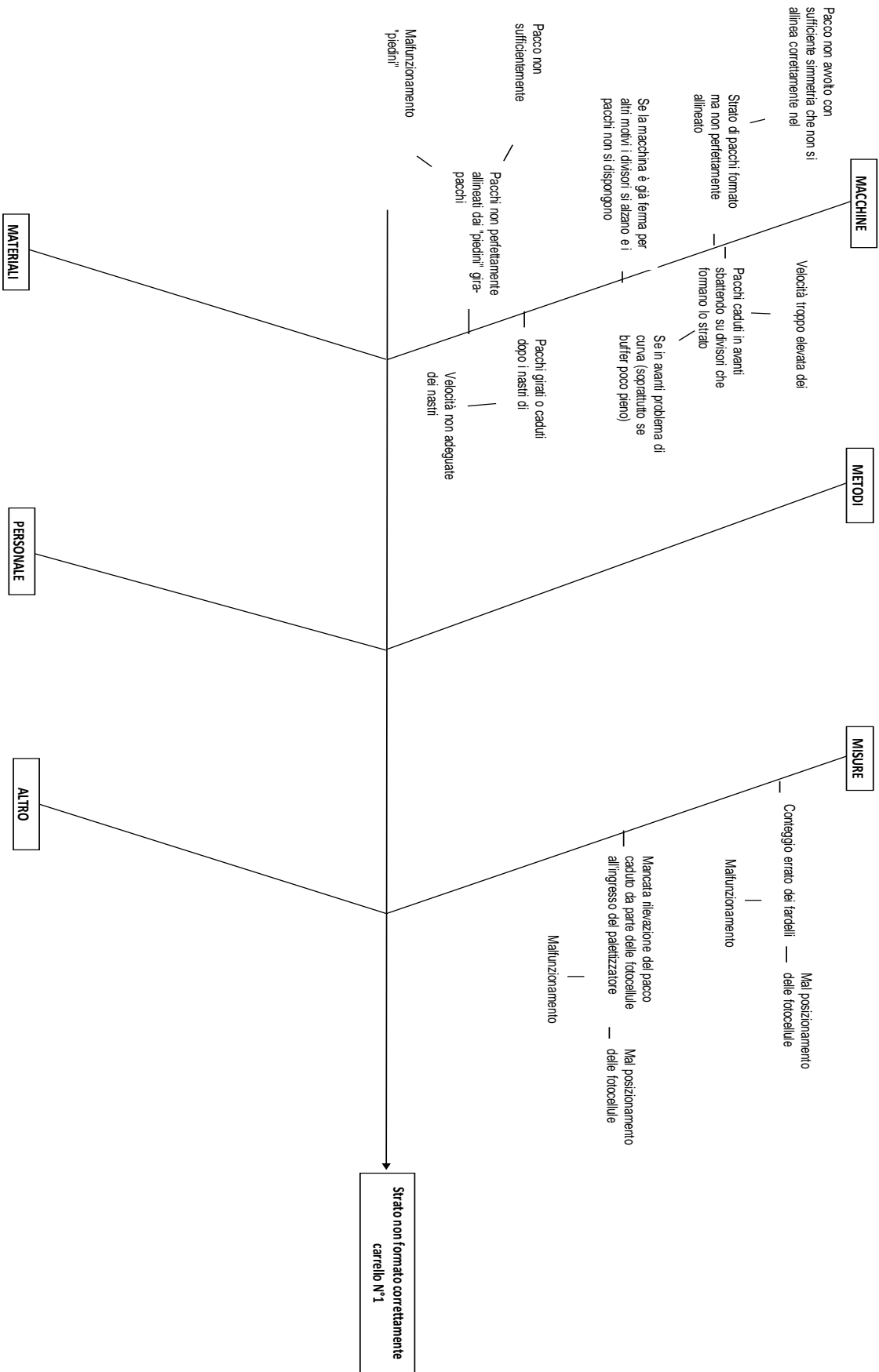


Figura 103: Diagramma causa-effetto (strato non formato correttamente carrello N°1)

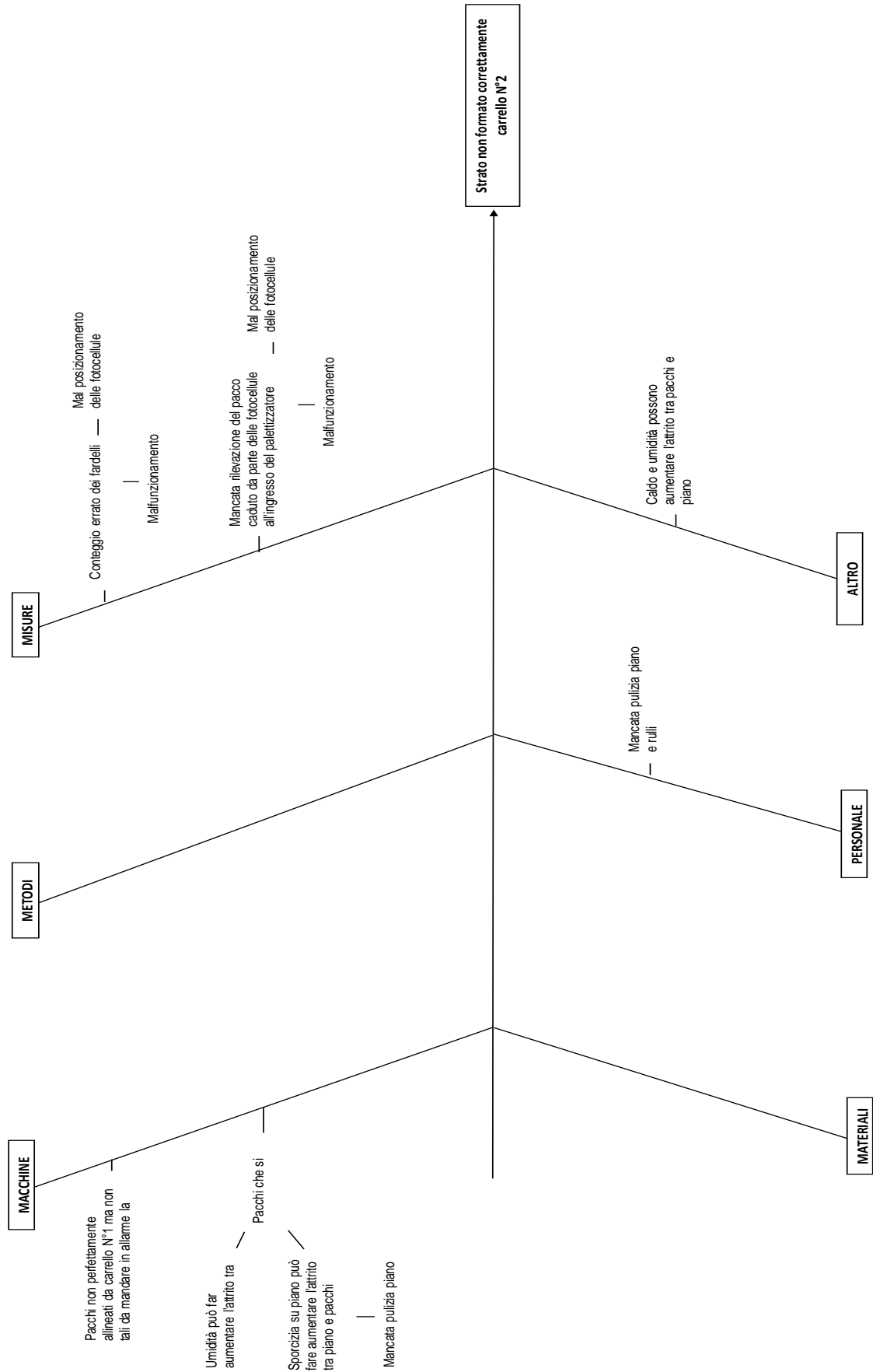


Figura 104: Diagramma causa-effetto (strato non formato correttamente carrello N°2)

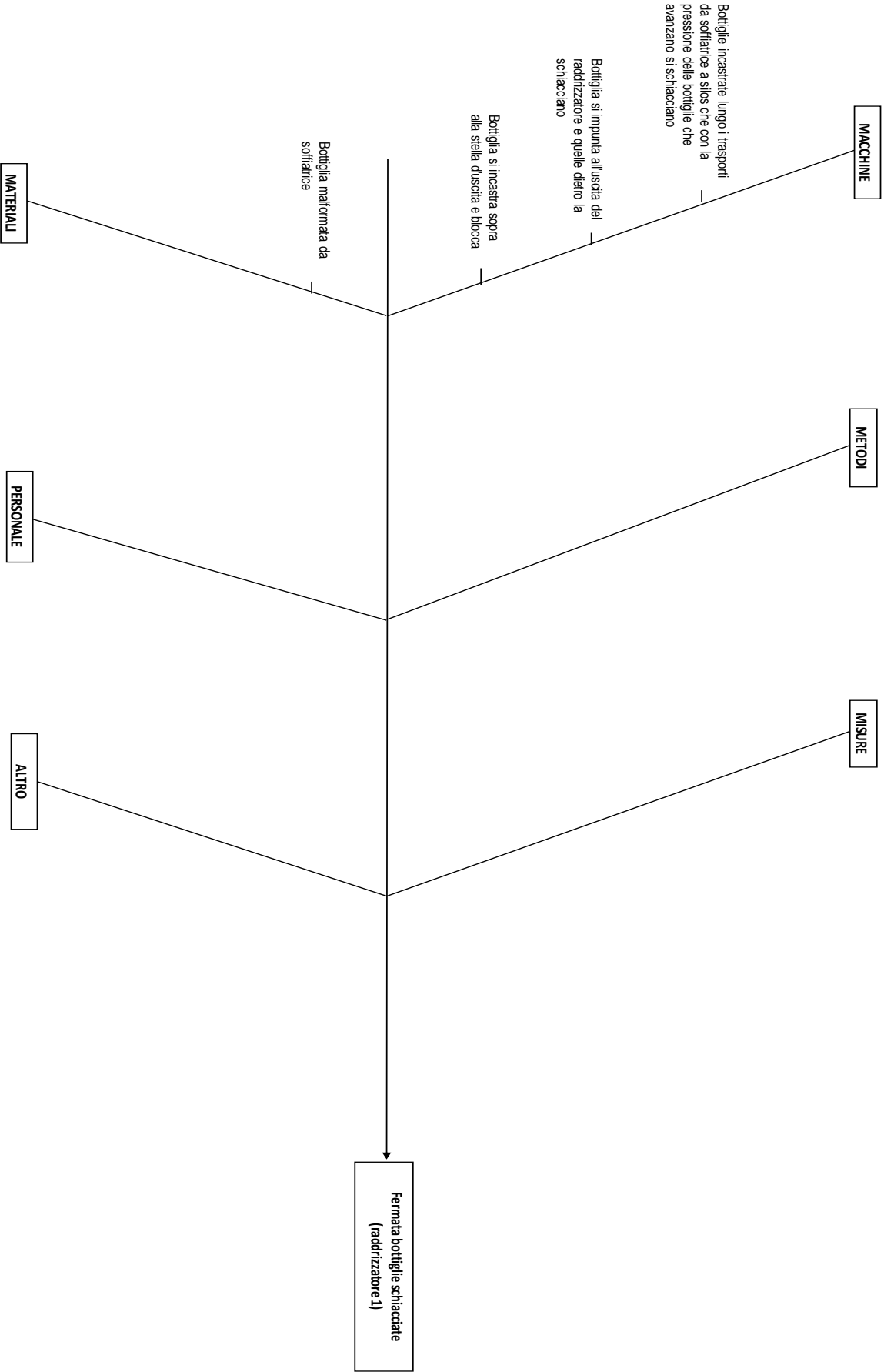


Figura 105: Diagramma causa-effetto (fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 1))

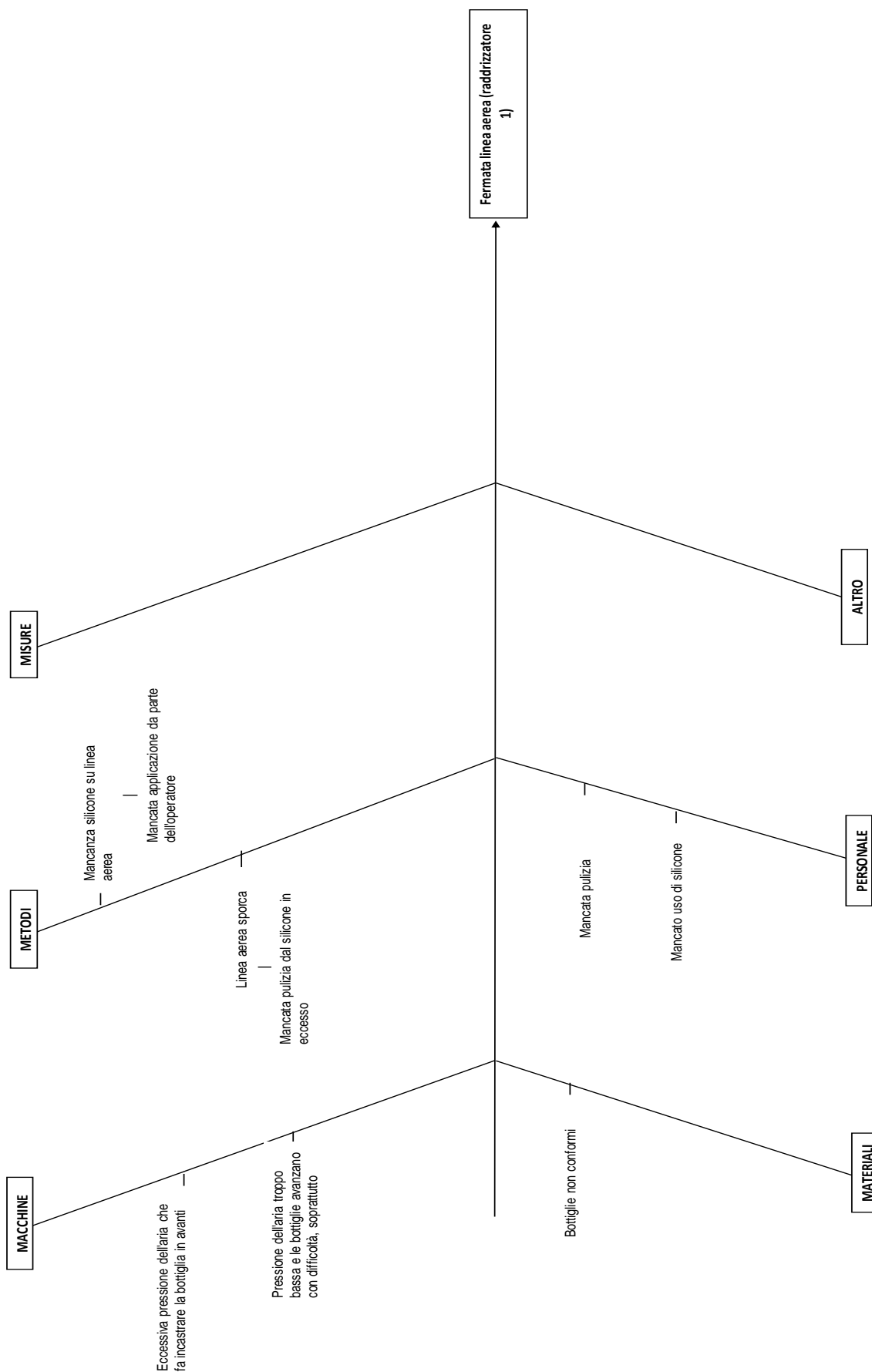


Figura 106: Diagramma causa-effetto (fermata linea aerea (raddrizzatore 1))

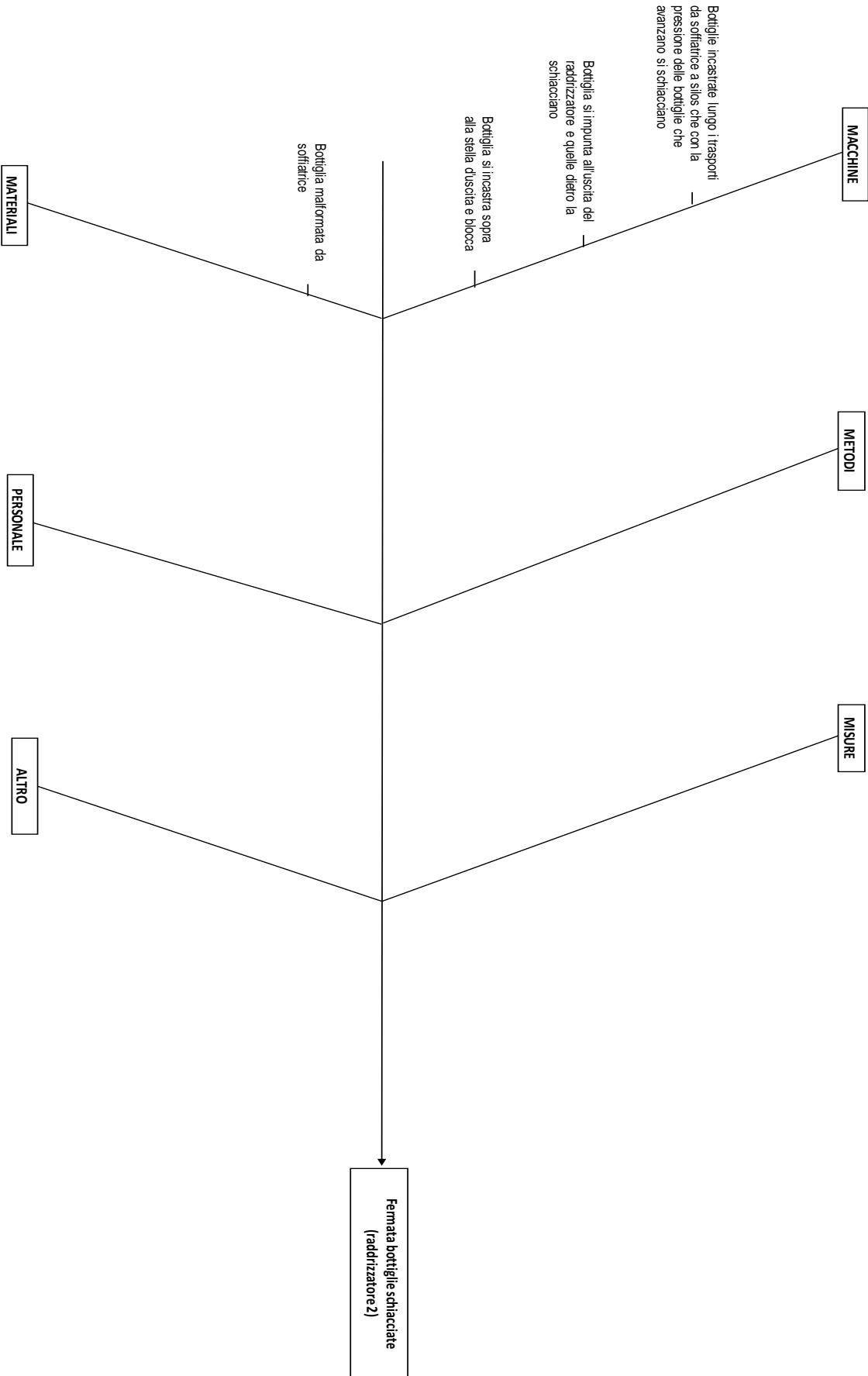


Figura 107: Diagramma causa-effetto (fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 2))

6.6. Statistica descrittiva e modellazione dei dati

Una volta a disposizione i dati relativi a *TTR* e *TTF* delle varie microfermate è possibile andare a modellare tali dati. La statistica descrittiva prevede di andare ad individuare quale distribuzione statistica riesca ad interpretare meglio i dati raccolti; questo è un passaggio fondamentale se si vuole procedere ad una simulazione software della linea.

La simulazione software è uno degli strumenti più utilizzati quando si vogliono vedere le implicazioni di determinate scelte progettuali o prima di apportare dei cambiamenti in un impianto produttivo (o logistico), infatti permette di simulare un comportamento complesso della linea e di valutare l'adeguatezza delle scelte considerate; la simulazione può essere molto utile per valutare aspetti quali la dimensione dei *buffer* interoperazionali, il bilanciamento della linea, il numero di macchine necessarie per far lavorare in modo fluido le attrezzature ed evitando dei carichi di lavoro eccessivi, valutare il coefficiente di utilizzo delle macchine. In particolare può essere uno strumento molto utile prima dell'acquisto di un nuovo impianto, in modo da determinare già in anticipo quali saranno le caratteristiche prestazionali e i costi delle possibili soluzioni tecnologiche adottabili.

Alla base della simulazione c'è, come detto, la modellazione statistica dei dati disponibili. Attribuire una distribuzione di probabilità ad ogni microfermata permette di descriverne il comportamento probabilistico nel corso del tempo e quindi di capire, dato un certo livello di significatività, la probabilità e la distribuzione temporale di una determinata microfermata.

Per eseguire questa analisi è stato utilizzato il software MINITAB®, in cui sono stati modellati i dati relativi a *TTR* e *TTF*, in modo da attribuire una distribuzione di probabilità (per ogni tipo di microfermata) sia alla durata del fermo macchina, sia all'intervallo di tempo tra una fermata e la successiva della stessa tipologia.

6.6.1. Statistica descrittiva per i TTR

Per ogni microfermata sono stati valutati la media (*mean*), il valore massimo (*maximum*), il valore minimo (*minimum*), la deviazione standard (*SD*), il coefficiente di variazione (*CV*), l'indice di asimmetria (*skewness*) e la kurtosi (*kurtosis*), già descritti nel *paragrafo 2.6.1.1*.

In *tabella 81* viene riportata l'analisi della statistica descrittiva per i *TTR* delle varie microfermate.

Analizzando la tabella è possibile fare alcune considerazioni sui TTR:

- Tutte le microfermate presentano un CV più basso o poco superiore a 1, quindi la variabilità di tali fermate è bassa;
- Tutte le microfermate possiedono un indice di skewness positivo, quindi tutte le distribuzioni che le descrivono presenteranno una asimmetria con coda verso destra (*right-skewed*), tipicamente le distribuzioni Weibull, Gamma, chi-quadro, lognormale e loglogistica;
- Quasi tutte le microfermate (eccetto “pacco aperto (manigliatrice)” e “pacco non allineato (manigliatrice)”) hanno un indice di kurtosi molto elevato, quindi tutte le distribuzioni che le caratterizzano presenteranno una forma piuttosto “appuntita”.

Microfermata	N	Mean	SD	CV	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
Doppia etichetta-bandiera	67	40,04	35,9	0,8966	5	186	2,48	6,76
Intasamento disfaonte (trasporti ingresso)	64	27,19	30,56	1,1241	8	240	5,71	38,33
Mancato compattamento allo spintore	42	38,12	47,34	1,242	5	300	4,45	23,53
Problema cartoline	79	32,57	29,13	0,8944	7	180	2,8	9,79
Prodotto rovesciato guide alimentazione	338	19,58	18,79	0,9594	5	180	4,27	24,59
Prodotto rovesciato ingresso spintore	18	65,8	92,2	1,4021	10	420	3,69	14,67
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	18	50,89	42,11	0,8275	5	180	2,03	4,72
Salita film superiore	31	56,84	36,62	0,6443	10	180	1,43	2,95
Bottiglia caduta in entrata	21	37,14	33,99	0,915	18	180	4,08	17,62
FT System in allarme	45	38,96	34,77	0,8925	10	180	3,1	9,94
Mancanza etichetta	228	21,29	17,8	0,8359	5	120	3,13	12,53
Spazio vuoto in macchina	170	26,65	17,62	0,6613	9	180	5,12	37,72
Cambio bobina scotch	48	40,79	46,43	1,1383	10	300	4,45	22,29
Cambio carta maniglia	180	33,61	28,56	0,8498	10	240	3,93	19,84
Errore taglio maniglia	114	44,74	41,35	0,9242	10	300	3,66	16,89
Pacco aperto (manigliatrice)	23	43,96	29,32	0,6669	18	120	1,59	1,55
Pacco non allineato (manigliatrice)	25	39,96	35,36	0,8848	8	125	1,45	1,01
Pacco aperto (palettizzatore)	42	68,3	78,3	1,1465	5	480	3,84	18,69
Pacco caduto (palettizzatore)	52	69,56	55,56	0,7988	10	300	2,05	5,73
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	598	25,79	27,35	1,0604	5	300	4,83	34,08
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	66	33,71	21,71	0,6439	10	120	2,31	6,47
Magazzino palette-mal posizionamento	150	52,85	34,51	0,653	10	184	1,67	3,44
Strato non formato correttamente carrello N°1	130	34,35	28,75	0,8371	10	180	2,35	6,51
Strato non formato correttamente carrello N°2	182	36,99	44,95	1,2153	10	480	6,49	55,57

Tabella 81: Statistica descrittiva TTR

6.6.2. Statistica descrittiva per i TTF

La stessa analisi è possibile farla anche per i TTF (tabella 82), tenendo presente però che la rilevazione dati non è stata di una durata particolarmente elevata e che alcune fermate non erano più presenti (o in misura molto minore) nella seconda rilevazione, rispetto alla prima; dunque per microfermate che presentano un numero consistente di ricorrenze si possono considerare affidabili, mentre per le altre sarebbe necessario un tempo più lungo sul campo,

anche se è già possibile avere una indicazione di massima delle caratteristiche della distribuzione seguita.

Microfermata	N	Mean	SD	CV	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
Intasamento disafoponte (trasporti ingresso)	49	1089	1134	1,0414	120	5400	2,04	4,44
Prodotto rovesciato guide alimentazione	203	570,4	721	1,2639	0	6240	3,61	20,6
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	14	1239	973	0,7859	120	3900	1,58	3,56
Salita film superiore	13	1675	1574	0,9396	60	4200	0,4	-1,72
Errore taglio maniglia	5	4356	4003	0,9189	60	8100	-0,39	-3,12
Pacco aperto (manigliatrice)	12	2170	2942	1,3556	60	10560	2,48	6,61
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	168	566,8	761,2	1,343	0	6240	3,72	20,63
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	16	3799	3082	0,8114	360	9420	0,6	-0,9
Magazzino palette-mal posizionamento	4	780	467	0,5991	240	1200	-0,33	-3,98
Strato non formato correttamente carrello N°1	8	2070	1546	0,7471	540	4680	0,67	-1,09
Strato non formato correttamente carrello N°2	7	2931	2925	0,9978	180	8160	1,03	0,35

Tabella 82: Statistica descrittiva TTF

Alcune possibili valutazioni riguardo ai TTF sono:

- Tutte le microfermate sono caratterizzate da un CV più basso o poco superiore a 1, perciò la variabilità dei TTF è bassa;
- Ad eccezione di “errore taglio maniglia” e “magazzino palette-mal posizionamento” lo *skewness* è positivo, quindi le distribuzioni saranno di tipo *right-skewed*, mentre per le due fermate citate prima la distribuzione sarà leggermente *left-skewed*, poiché il valore di asimmetria è molto vicino a 0;
- Il curtosi di “salita film superiore”, “errore taglio maniglia”, “pallet non allineato ingresso palettizzatore”, “magazzino palette-mal posizionamento” e “strato non formato correttamente carrello N°1” è negativo quindi la distribuzione che le caratterizza è “più piatta” della normale, mentre per le restanti il valore è superiore a 0 perciò la forma sarà “più appuntita”.

6.6.3. Distribuzioni di probabilità per i TTR

Una volta determinate le caratteristiche generali dei campioni di dati è necessario andare a modellare le varie microfermate, definendo qual è la distribuzione di probabilità che meglio fitta i dati. Per eseguire questa fase è stata svolta un *goodness-of-fit test* dei tempi rilevati; si è quindi proceduto ad individuare, tra le distribuzioni presenti, quella che, per ogni tipo di microfermata, meglio riesce a descrivere i dati rilevati sulla linea. Il livello di significatività utilizzato per tutte le valutazioni è del 5%.

Gli indicatori utilizzati per valutare la bontà di una determinata distribuzione sono:

- L'indice di Anderson-Darling (*AD*) (ricavabile dal test di *goodness-of-fit* di Anderson-Darling) ottenuto da una verifica d'ipotesi per determinare se un campione di valori può essere generato da una determinata variabile casuale; generalmente, quando si confrontano più distribuzioni di probabilità, quella che restituisce il valore di *AD* più basso è la più adatta a descrivere i dati;
- Il *p-value* che, in un test di verifica d'ipotesi, indica la probabilità di ottenere un risultato pari o più estremo di quello osservato, supposta l'ipotesi nulla o, equivalentemente, il minimo livello di significatività per il quale l'ipotesi nulla viene rifiutata, quindi l'ipotesi nulla viene rifiutata se il test fornisce un valore di *p* inferiore al livello di significatività del test; generalmente valori vicini a 0 indicano che il modello non è accettabile poiché non riesce a descrivere i dati, mentre un indice vicino a 0,5 rappresenta la situazione ideale (molto vicino alla condizione di normalità);
- L'indice *LRT P* che indica, per una distribuzione con tre parametri, se inserire la terza variabile porta ad un significativo miglioramento nella descrizione del fenomeno o se è sufficiente accontentarsi della versione con due parametri; un valore vicino a 0 di *LRT P* implica che aggiungendo la terza variabile la distribuzione approssima molto meglio i dati, mentre un valore grande suggerisce di utilizzare la distribuzione con due parametri poiché la complessità introdotta dal terzo parametro non è giustificabile dal miglioramento del modello descrittivo.

Nella valutazione si è cercato di considerare tutti e tre i parametri anche se in realtà il vero indice utilizzato è stato l'*AD*, come indicato da Tsarouhas e Arvanitoyannis (2009); nelle *tabelle* da 83 a 106 è riportata l'analisi di *goodness-of-fit* per i *TTR*, dove le distribuzioni considerate sono:

- Normale (normal);
- Lognormale (lognormal);
- Lognormale con 3 parametri (3-parameter lognormal);
- Esponenziale (exponential);
- Esponenziale con 2 parametri (2-parameter exponential);
- Weibull;
- Weibull con 3 parametri (3-parameter Weibull);
- Smallest Extreme Value;
- Largest Extreme Value;
- Gamma;

- Gamma con 3 parametri (3-parameter Gamma)
- Logistica (logistic);
- Loglogistica (loglogistic);
- Loglogistica con 3 parametri (3-parameter loglogistic).

In rosso è evidenziata la distribuzione scelta.

Doppia etichetta-bandiera

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	6,184	<0,005	
Lognormal	0,771	0,043	
3-Parameter Lognormal	0,756	*	0,945
Exponential	4,089	<0,003	
2-Parameter Exponential	2,209	<0,010	0
Weibull	2,353	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,733	<0,005	0,002
Smallest Extreme Value	9,838	<0,010	
Largest Extreme Value	2,186	<0,010	
Gamma	1,809	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,545	*	0,076
Logistic	3,629	<0,005	
Loglogistic	0,49	0,178	
3-Parameter Loglogistic	0,47	*	0,591

Tabella 84: Scelta distribuzione TTR (doppia etichetta-bandiera)

Intasamento disafonte (trasporti ingresso)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	9,779	<0,005	
Lognormal	1,126	0,006	
3-Parameter Lognormal	0,809	*	0,003
Exponential	7,115	<0,003	
2-Parameter Exponential	1,92	<0,010	0
Weibull	4,777	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,997	<0,005	0
Smallest Extreme Value	15,932	<0,010	
Largest Extreme Value	2,173	<0,010	
Gamma	3,102	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,769	*	0
Logistic	3,415	<0,005	
Loglogistic	0,52	0,145	
3-Parameter Loglogistic	0,538	*	0,023

Tabella 83: Scelta distribuzione TTR (intasamento disafonte (trasporti ingresso))

Mancato compattamento allo spintore

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	5,764	<0,005	
Lognormal	0,61	0,106	
3-Parameter Lognormal	0,52	*	0,349
Exponential	2,554	<0,003	
2-Parameter Exponential	1,487	0,022	0,002
Weibull	2,112	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,479	<0,005	0,004
Smallest Extreme Value	9,227	<0,010	
Largest Extreme Value	1,957	<0,010	
Gamma	1,726	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,427	*	0,043
Logistic	2,785	<0,005	
Loglogistic	0,376	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,308	*	0,303

Tabella 86: Scelta distribuzione TTR (mancato compattamento allo spintore)

Problema cartoline

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	6,35	<0,005	
Lognormal	0,536	0,165	
3-Parameter Lognormal	0,649	*	0,061
Exponential	4,579	<0,003	
2-Parameter Exponential	0,756	0,211	0
Weibull	2,151	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,755	0,051	0
Smallest Extreme Value	11,897	<0,010	
Largest Extreme Value	1,726	<0,010	
Gamma	1,48	<0,005	
3-Parameter Gamma	0,719	*	0
Logistic	3,119	<0,005	
Loglogistic	0,452	0,22	
3-Parameter Loglogistic	0,682	*	0,065

Tabella 85: Scelta distribuzione TTR (problema cartoline)

Prodotto rovesciato guide alimentazione

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	37,286	<0,005	
Lognormal	5,688	<0,005	
3-Parameter Lognormal	2,061	*	0
Exponential	31,167	<0,003	
2-Parameter Exponential	8,355	<0,010	0
Weibull	18,205	<0,010	
3-Parameter Weibull	8,013	<0,005	0
Smallest Extreme Value	69,359	<0,010	
Largest Extreme Value	12,082	<0,010	
Gamma	13,089	<0,005	
3-Parameter Gamma	7,231	*	0
Logistic	17,39	<0,005	
Loglogistic	4,206	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,77	*	0

Tabella 88: Scelta distribuzione TTR (prodotto rovesciato guide alimentazione)

Prodotto rovesciato ingresso spintore

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	3,1	<0,005	
Lognormal	0,375	0,376	
3-Parameter Lognormal	0,296	*	0,248
Exponential	1,051	0,094	
2-Parameter Exponential	0,783	0,124	0,049
Weibull	1,043	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,656	0,092	0,023
Smallest Extreme Value	4,084	<0,010	
Largest Extreme Value	1,205	<0,010	
Gamma	1,005	0,017	
3-Parameter Gamma	0,765	*	0,066
Logistic	1,526	<0,005	
Loglogistic	0,28	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,239	*	0,263

Tabella 87: Scelta distribuzione TTR (prodotto rovesciato ingresso spintore)

Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	1,505	<0,005	
Lognormal	0,646	0,077	
3-Parameter Lognormal	0,51	*	0,346
Exponential	1,142	0,073	
2-Parameter Exponential	0,954	0,072	0,197
Weibull	0,659	0,078	
3-Parameter Weibull	0,687	0,079	0,28
Smallest Extreme Value	2,314	<0,010	
Largest Extreme Value	0,641	0,086	
Gamma	0,586	0,153	
3-Parameter Gamma	0,737	*	1
Logistic	0,993	0,005	
Loglogistic	0,505	0,156	
3-Parameter Loglogistic	0,433	*	0,528

Tabella 89: Scelta distribuzione TTR (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)

Salita film superiore

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,879	0,021	
Lognormal	0,318	0,52	
3-Parameter Lognormal	0,276	*	0,633
Exponential	2,329	0,004	
2-Parameter Exponential	1,04	0,072	0,002
Weibull	0,313	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,257	>0,500	0,1
Smallest Extreme Value	2,268	<0,010	
Largest Extreme Value	0,316	>0,250	
Gamma	0,245	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,268	*	1
Logistic	0,601	0,078	
Loglogistic	0,331	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,316	*	0,877

Tabella 93: Scelta distribuzione TTR (salita film superiore)

Bottiglia caduta in entrata

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	4,184	<0,005	
Lognormal	1,433	<0,005	
3-Parameter Lognormal	0,649	*	0,001
Exponential	3,861	<0,003	
2-Parameter Exponential	1,202	0,035	0
Weibull	2,904	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,048	0,01	0
Smallest Extreme Value	5,23	<0,010	
Largest Extreme Value	1,622	<0,010	
Gamma	2,336	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,157	*	0
Logistic	2,125	<0,005	
Loglogistic	0,61	0,072	
3-Parameter Loglogistic	0,503	*	0,015

Tabella 94: Scelta distribuzione TTR (bottiglia caduta in entrata)

FT System in allarme

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	6,187	<0,005	
Lognormal	1,318	<0,005	
3-Parameter Lognormal	0,902	*	0,042
Exponential	5,203	<0,003	
2-Parameter Exponential	2,251	<0,010	0
Weibull	3,44	<0,010	
3-Parameter Weibull	2,1	<0,005	0
Smallest Extreme Value	8,719	<0,010	
Largest Extreme Value	2,211	<0,010	
Gamma	2,657	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,994	*	0,005
Logistic	3,223	<0,005	
Loglogistic	0,682	0,044	
3-Parameter Loglogistic	0,483	*	0,07

Tabella 90: Scelta distribuzione TTR (FT System in allarme)

Mancanza etichetta

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	20,563	<0,005	
Lognormal	3,857	<0,005	
3-Parameter Lognormal	2,229	*	0
Exponential	20,805	<0,003	
2-Parameter Exponential	6,556	<0,010	0
Weibull	10,27	<0,010	
3-Parameter Weibull	5,226	<0,005	0
Smallest Extreme Value	37,51	<0,010	
Largest Extreme Value	7,45	<0,010	
Gamma	7,547	<0,005	
3-Parameter Gamma	4,814	*	0
Logistic	10,64	<0,005	
Loglogistic	3,341	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	2,266	*	0

Tabella 92: Scelta distribuzione TTR (mancanza etichetta)

Spazio vuoto in macchina

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	15,687	<0,005	
Lognormal	3,068	<0,005	
3-Parameter Lognormal	2,879	*	0,022
Exponential	28,876	<0,003	
2-Parameter Exponential	11,244	<0,010	0
Weibull	11,492	<0,010	
3-Parameter Weibull	6,309	<0,005	0
Smallest Extreme Value	36,478	<0,010	
Largest Extreme Value	3,153	<0,010	
Gamma	5,552	<0,005	
3-Parameter Gamma	4,299	*	0
Logistic	5,423	<0,005	
Loglogistic	1,626	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,59	*	0,086

Tabella 91: Scelta distribuzione TTR (spazio vuoto in macchina)

Cambio bobina scotch

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	7,992	<0,005	
Lognormal	1,536	<0,005	
3-Parameter Lognormal	1,001	*	0,013
Exponential	5,374	<0,003	
2-Parameter Exponential	2,515	<0,010	0
Weibull	4,199	<0,010	
3-Parameter Weibull	2,522	<0,005	0
Smallest Extreme Value	11,306	<0,010	
Largest Extreme Value	2,795	<0,010	
Gamma	3,327	<0,005	
3-Parameter Gamma	2,426	*	0,001
Logistic	3,772	<0,005	
Loglogistic	0,79	0,022	
3-Parameter Loglogistic	0,522	*	0,036

Tabella 100: Scelta distribuzione TTR (cambio bobina scotch)

Cambio carta maniglia

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	24,661	<0,005	
Lognormal	7,795	<0,005	
3-Parameter Lognormal	4,859	*	0
Exponential	25,394	<0,003	
2-Parameter Exponential	11,109	<0,010	0
Weibull	16,149	<0,010	
3-Parameter Weibull	10,006	<0,005	0
Smallest Extreme Value	37,305	<0,010	
Largest Extreme Value	10,614	<0,010	
Gamma	12,823	<0,005	
3-Parameter Gamma	9,3	*	0
Logistic	14,031	<0,005	
Loglogistic	4,886	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	3,033	*	0

Tabella 99: Scelta distribuzione TTR (cambio carta maniglia)

Errore taglio maniglia

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	13,039	<0,005	
Lognormal	2,282	<0,005	
3-Parameter Lognormal	1,958	*	0,046
Exponential	10,797	<0,003	
2-Parameter Exponential	4,234	<0,010	0
Weibull	6,503	<0,010	
3-Parameter Weibull	3,913	<0,005	0
Smallest Extreme Value	21,657	<0,010	
Largest Extreme Value	4,445	<0,010	
Gamma	4,829	<0,005	
3-Parameter Gamma	3,462	*	0
Logistic	6,857	<0,005	
Loglogistic	1,409	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,216	*	0,051

Tabella 98: Scelta distribuzione TTR (errore taglio maniglia)

Pacco aperto (manigliatrice)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	2,07	<0,005	
Lognormal	0,686	0,063	
3-Parameter Lognormal	0,236	*	0,016
Exponential	2,577	<0,003	
2-Parameter Exponential	0,379	>0,250	0
Weibull	1,295	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,333	>0,500	0
Smallest Extreme Value	2,664	<0,010	
Largest Extreme Value	1,194	<0,010	
Gamma	1,12	0,007	
3-Parameter Gamma	0,366	*	0,002
Logistic	1,655	<0,005	
Loglogistic	0,562	0,098	
3-Parameter Loglogistic	0,256	*	0,016

Tabella 97: Scelta distribuzione TTR (pacco aperto (manigliatrice))

Pacco non allineato (manigliatrice)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	2,077	<0,005	
Lognormal	0,389	0,358	
3-Parameter Lognormal	0,187	*	0,095
Exponential	0,997	0,113	
2-Parameter Exponential	0,398	>0,250	0,003
Weibull	0,836	0,027	
3-Parameter Weibull	0,356	0,473	0,008
Smallest Extreme Value	2,701	<0,010	
Largest Extreme Value	1,323	<0,010	
Gamma	0,821	0,041	
3-Parameter Gamma	0,417	*	0,019
Logistic	1,688	<0,005	
Loglogistic	0,388	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,198	*	0,058

Tabella 96: Scelta distribuzione TTR (pacco non allineato (manigliatrice))

Pacco aperto (palettizzatore)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	4,346	<0,005	
Lognormal	0,312	0,538	
3-Parameter Lognormal	0,291	*	0,809
Exponential	1,471	0,033	
2-Parameter Exponential	1,002	0,088	0,037
Weibull	1,103	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,905	0,023	0,086
Smallest Extreme Value	7,921	<0,010	
Largest Extreme Value	1,3	<0,010	
Gamma	0,868	0,032	
3-Parameter Gamma	0,835	*	0,476
Logistic	2,132	<0,005	
Loglogistic	0,2	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,203	*	0,846

Tabella 95: Scelta distribuzione TTR (pacco aperto (palettizzatore))

Pacco caduto (palettizzatore)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	2,652	<0,005	
Lognormal	0,607	0,109	
3-Parameter Lognormal	0,557	*	0,442
Exponential	2,639	<0,003	
2-Parameter Exponential	1,048	0,082	0
Weibull	1,03	<0,010	
3-Parameter Weibull	0,637	0,1	0,005
Smallest Extreme Value	5,575	<0,010	
Largest Extreme Value	1,406	<0,010	
Gamma	0,916	0,023	
3-Parameter Gamma	0,775	*	0,12
Logistic	1,926	<0,005	
Loglogistic	0,728	0,034	
3-Parameter Loglogistic	0,628*		0,222

Tabella 106: Scelta distribuzione TTR (pacco caduto (palettizzatore))

Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	55,244	<0,005	
Lognormal	3,311	<0,005	
3-Parameter Lognormal	3,109	*	0
Exponential	30,491	<0,003	
2-Parameter Exponential	4,621	<0,010	0
Weibull	16,28	<0,010	
3-Parameter Weibull	5,375	<0,005	0
Smallest Extreme Value	126,673	<0,010	
Largest Extreme Value	12,193	<0,010	
Gamma	10,454	<0,005	
3-Parameter Gamma	4,764	*	0
Logistic	20,301	<0,005	
Loglogistic	3,893	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	4,085	*	0

Tabella 105: Scelta distribuzione TTR (pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore))

Pallet non allineato ingresso palettizzatore

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	4,522	<0,005	
Lognormal	0,902	0,02	
3-Parameter Lognormal	0,644	*	0,11
Exponential	8,146	<0,003	
2-Parameter Exponential	2,489	<0,010	0
Weibull	2,704	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,346	<0,005	0
Smallest Extreme Value	8,451	<0,010	
Largest Extreme Value	1,513	<0,010	
Gamma	1,751	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,166	*	0,006
Logistic	2,701	<0,005	
Loglogistic	0,703	0,039	
3-Parameter Loglogistic	0,476	*	0,082

Tabella 104: Scelta distribuzione TTR (pallet non allineato ingresso palettizzatore)

Magazzino palette-mal posizionamento

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	6,211	<0,005	
Lognormal	1,668	<0,005	
3-Parameter Lognormal	1,688	*	0,324
Exponential	12,689	<0,003	
2-Parameter Exponential	4,826	<0,010	0
Weibull	2,786	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,599	<0,005	0
Smallest Extreme Value	13,786	<0,010	
Largest Extreme Value	2,547	<0,010	
Gamma	2,059	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,486	*	0,001
Logistic	3,947	<0,005	
Loglogistic	1,984	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	2,003	*	0,152

Tabella 103: Scelta distribuzione TTR (magazzino palette-mal posizionamento)

Strato non formato correttamente carrello N°1

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	10,866	<0,005	
Lognormal	1,811	<0,005	
3-Parameter Lognormal	0,95	*	0
Exponential	9,134	<0,003	
2-Parameter Exponential	1,694	0,018	0
Weibull	4,885	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,223	<0,005	0
Smallest Extreme Value	17,737	<0,010	
Largest Extreme Value	4,857	<0,010	
Gamma	4,001	<0,005	
3-Parameter Gamma	1,362	*	0
Logistic	7,156	<0,005	
Loglogistic	1,527	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,067	*	0

Tabella 102: Scelta distribuzione TTR (strato non formato correttamente carrello N°1)

Strato non formato correttamente carrello N°2

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	25,499	<0,005	
Lognormal	2,427	<0,005	
3-Parameter Lognormal	1,198	*	0
Exponential	15,4	<0,003	
2-Parameter Exponential	3,468	<0,010	0
Weibull	10,865	<0,010	
3-Parameter Weibull	3,725	<0,005	0
Smallest Extreme Value	46,129	<0,010	
Largest Extreme Value	6,68	<0,010	
Gamma	7,565	<0,005	
3-Parameter Gamma	3,597	*	0
Logistic	10,143	<0,005	
Loglogistic	1,374	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	0,787	*	0

Tabella 101: Scelta distribuzione TTR (strato non formato correttamente carrello N°2)

In *tabella 107* è presentato un riassunto delle distribuzioni scelte per i *TTR*.

Microfermata	Distribuzione TTR
Doppia etichetta-bandiera	Loglogistic
Intasamento disapponte (trasporti ingresso)	3-Parameter Loglogistic
Mancato compattamento allo spintore	Loglogistic
Problema cartoline	Loglogistic
Prodotto rovesciato guide alimentazione	3-Parameter Loglogistic
Prodotto rovesciato ingresso spintore	Loglogistic
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	Loglogistic
Salita film superiore	Gamma
Bottiglia caduta in entrata	3-Parameter Loglogistic
FT System in allarme	3-Parameter Loglogistic
Mancanza etichetta	3-Parameter Loglogistic
Spazio vuoto in macchina	3-Parameter Loglogistic
Cambio bobina scotch	3-Parameter Loglogistic
Cambio carta maniglia	3-Parameter Loglogistic
Errore taglio maniglia	3-Parameter Loglogistic
Pacco aperto (manigliatrice)	3-Parameter Lognormal
Pacco non allineato (manigliatrice)	3-Parameter Lognormal
Pacco aperto (palettizzatore)	Loglogistic
Pacco caduto (palettizzatore)	Lognormal
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	3-Parameter Lognormal
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	3-Parameter Loglogistic
Magazzino palette-mal posizionamento	3-Parameter Gamma
Strato non formato correttamente carrello N°1	3-Parameter Loglogistic
Strato non formato correttamente carrello N°2	3-Parameter Loglogistic

Tabella 107: Distribuzione scelte per i *TTR* delle microfermate

Si può notare che la maggior parte delle microfermate segue come distribuzione statistica per i *TTR* quella loglogistica o loglogistica con 3 parametri, ad eccezione di “salita film superiore” (distribuzione Gamma), “pacco caduto (palettizzatore)” (lognormale), “magazzino palette-mal posizionamento” (Gamma con 3 parametri), “pacco aperto (manigliatrice)”, “pacco non allineato (manigliatrice)” e “pacco non allineato all’ingresso (palettizzatore)” (lognormale con 3 parametri).

Nelle *figure* da 109 a 132 sono riportati i grafici dell’analisi di *goodness-of-fit* per i *TTR*, dove viene riportato solamente quello relativo alla distribuzione scelta.

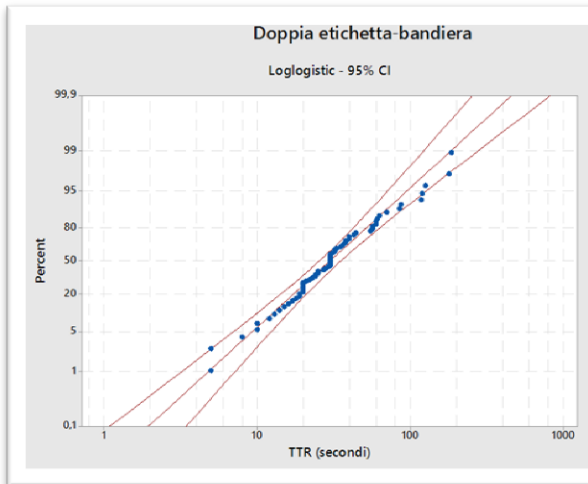


Figura 109: *Goodness-of-fit TTR* (doppia etichetta-bandiera)

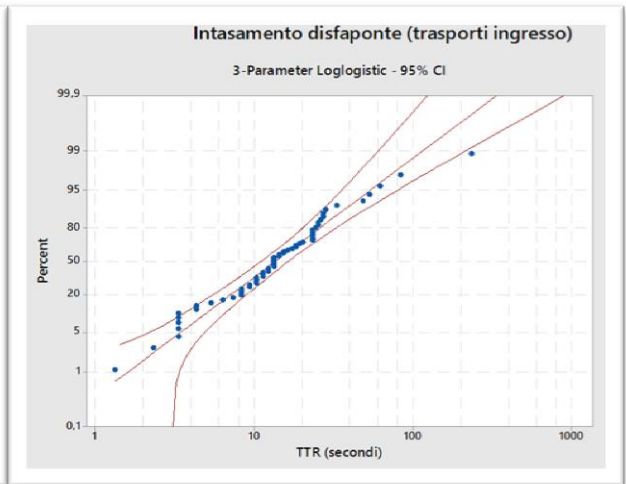


Figura 110: *Goodness-of-fit TTR* (intasamento disafante (trasporti ingresso))

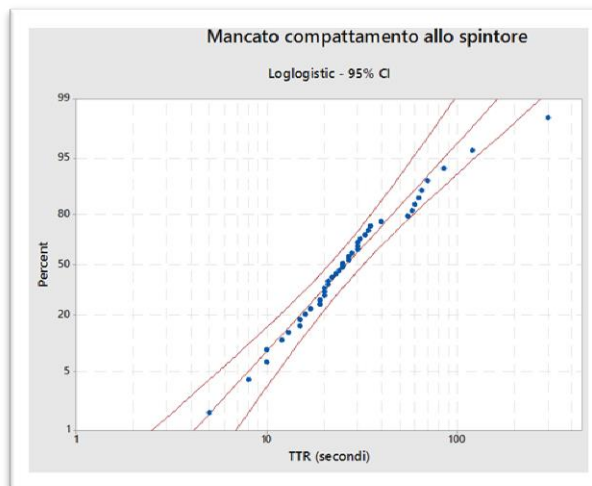


Figura 111: *Goodness-of-fit TTR* (mancato compattamento allo spintore)

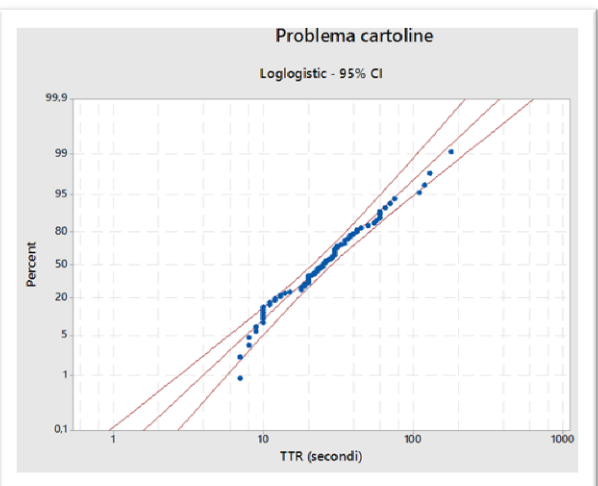


Figura 112: *Goodness-of-fit TTR* (problema cartoline)

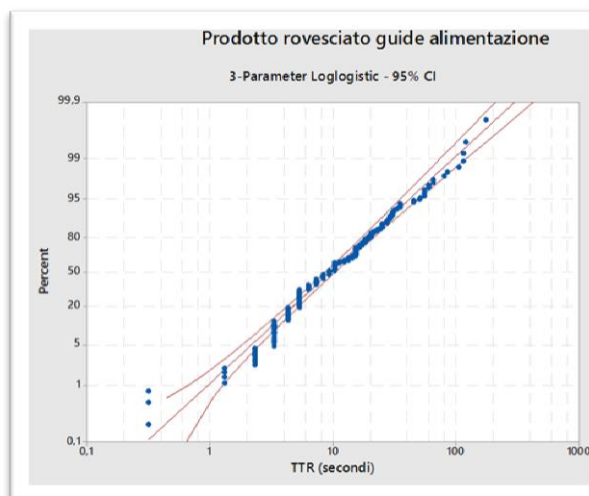


Figura 113: *Goodness-of-fit TTR* (prodotto rovesciato guide alimentazione)

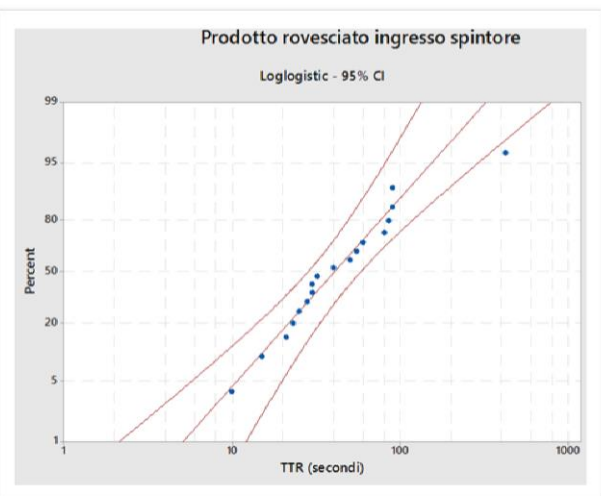


Figura 114: *Goodness-of-fit TTR* (prodotto rovesciato ingresso spintore)

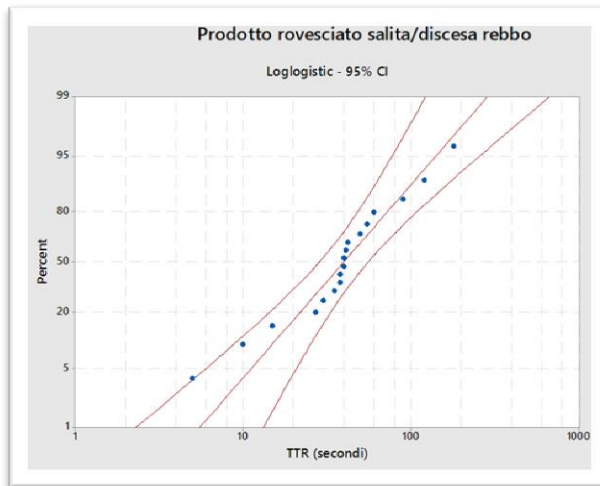


Figura 115: *Goodness-of-fit TTR* (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)

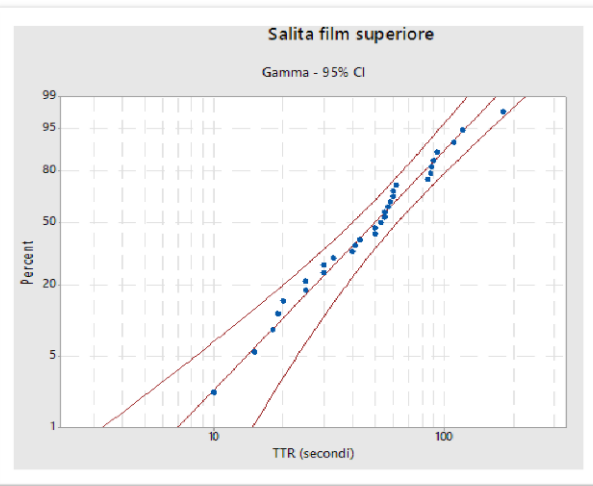


Figura 116: *Goodness-of-fit TTR* (salita film superiore)

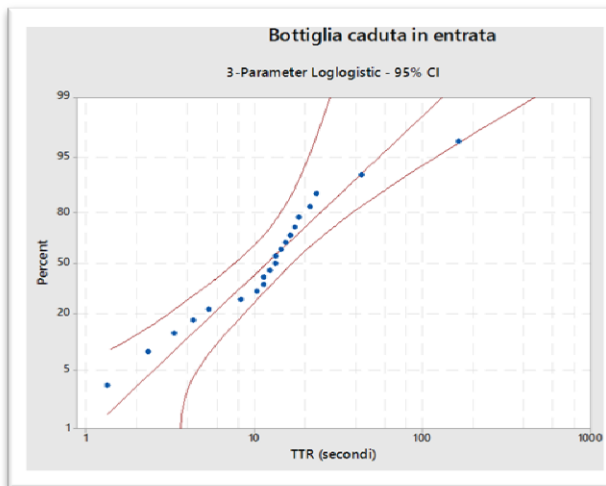


Figura 117: *Goodness-of-fit TTR* (bottiglia caduta in entrata)

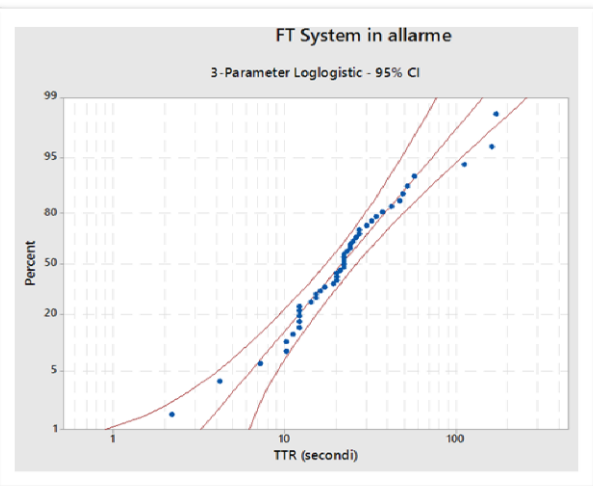


Figura 118: *Goodness-of-fit TTR* (FT System in allarme)

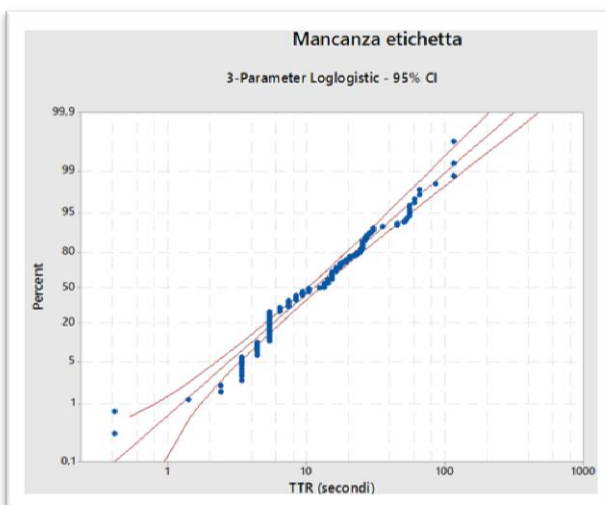


Figura 119: *Goodness-of-fit TTR* (mancanza etichetta)

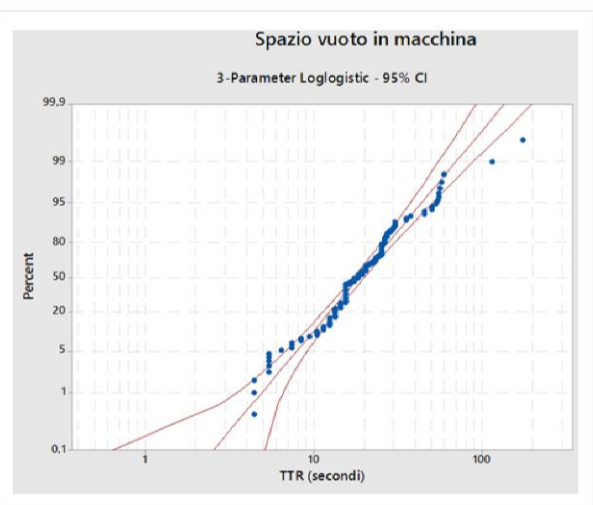


Figura 120: *Goodness-of-fit TTR* (spazio vuoto in macchina)

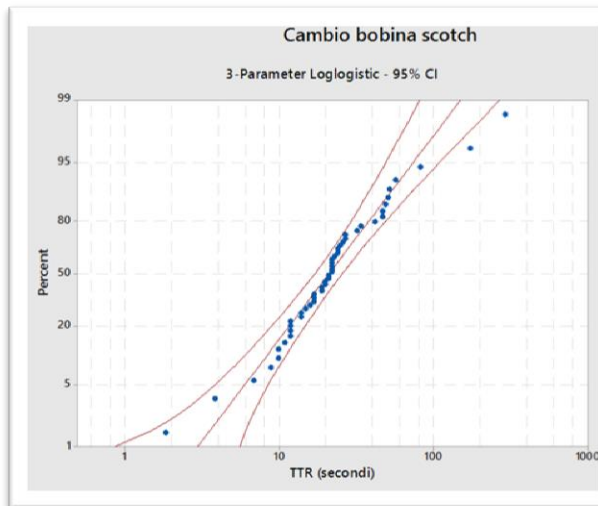


Figura 121: Goodness-of-fit TTR (cambio bobina scotch)

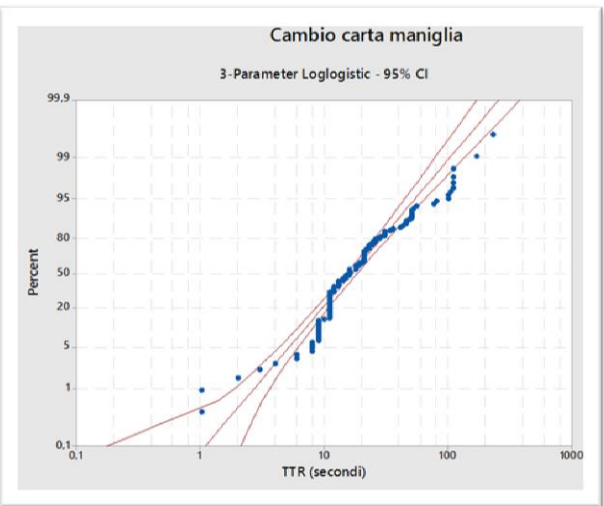


Figura 122: Goodness-of-fit TTR (cambio carta maniglia)

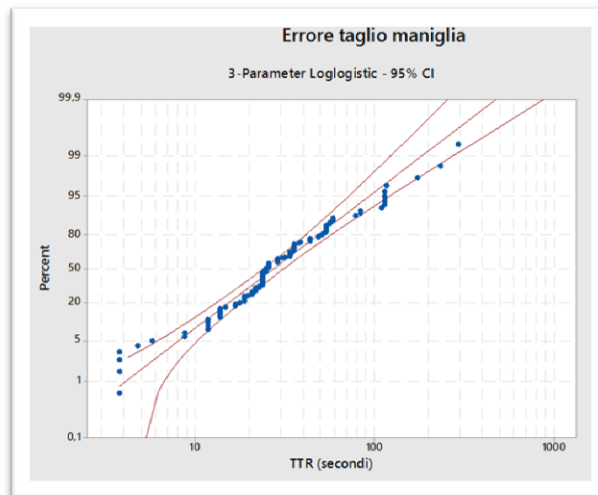
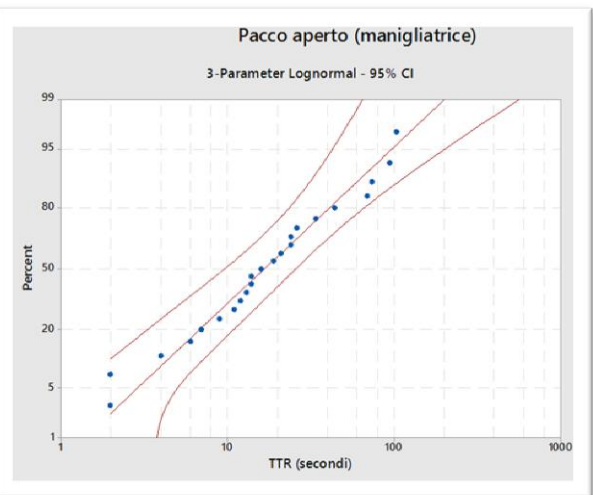
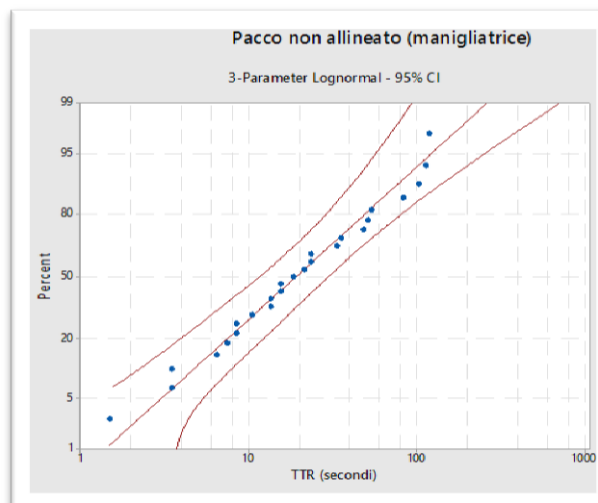
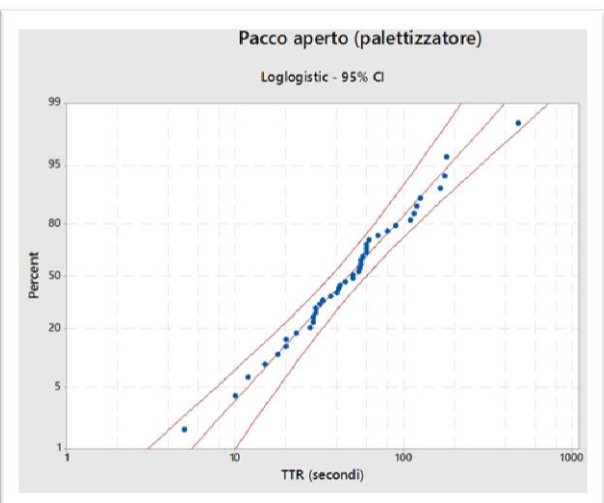


Figura 123: Goodness-of-fit TTR (errore taglio maniglia)

Figura 124: Goodness-of-fit TTR (pacco aperto
(manigliatrice))Figura 125: Goodness-of-fit TTR (pacco non allineato
(manigliatrice))Figura 126: Goodness-of-fit TTR (pacco aperto
(palettizzatore))

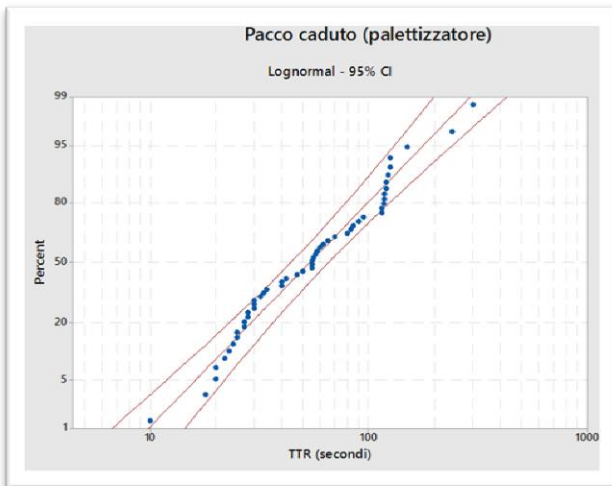


Figura 127: *Goodness-of-fit TTR* (pacco caduto (palettizzatore))

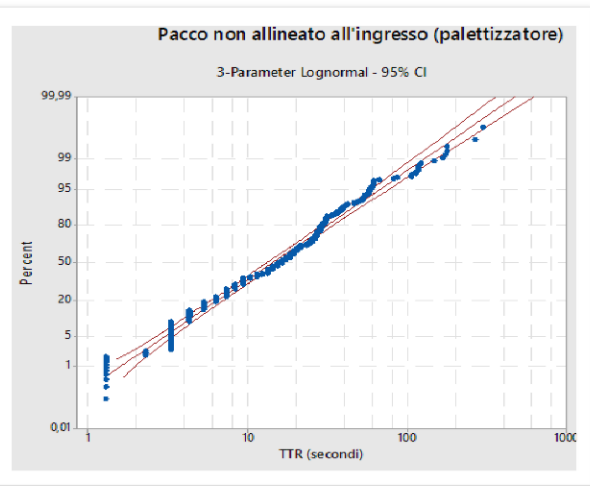


Figura 128: *Goodness-of-fit TTR* (pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore))

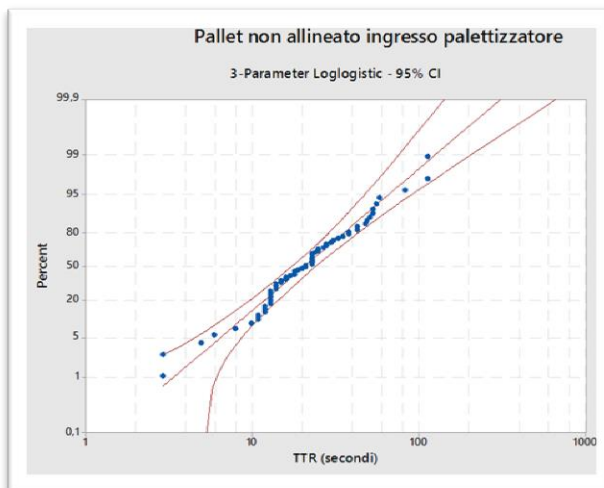


Figura 129: *Goodness-of-fit TTR* (pallet non allineato ingresso palettizzatore)

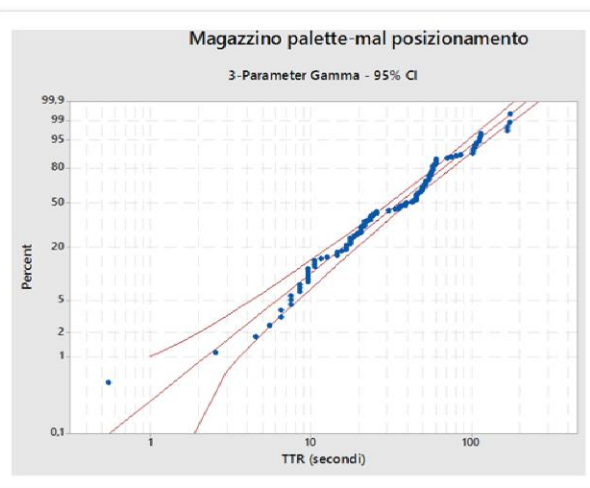


Figura 130: *Goodness-of-fit TTR* (magazzino palette-mal posizionamento)

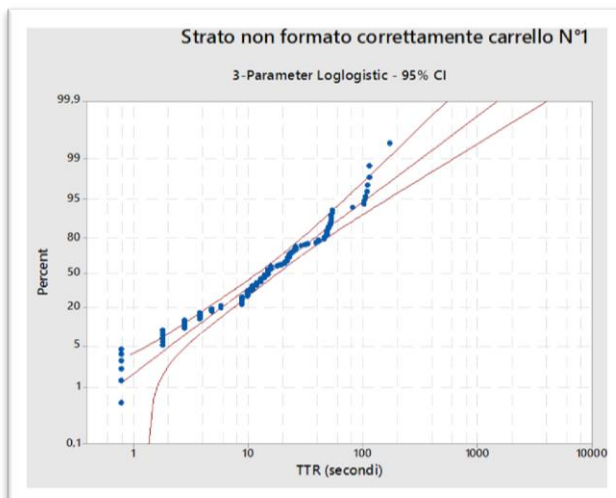


Figura 131: *Goodness-of-fit TTR* (strato non formato correttamente carrello N°1)

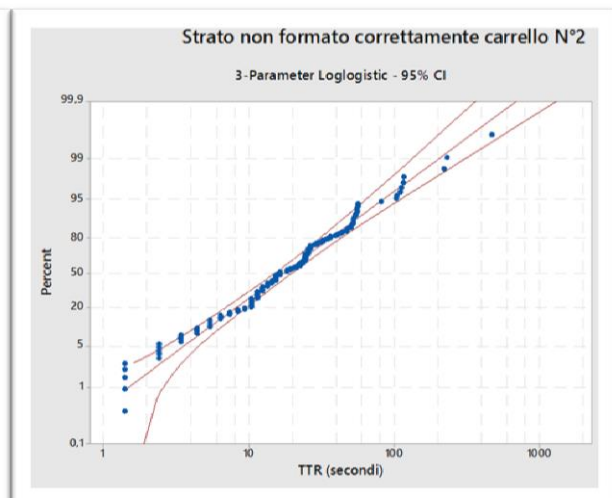


Figura 132: *Goodness-of-fit TTR* (strato non formato correttamente carrello N°2)

6.6.4. Distribuzioni di probabilità per i TTF

La medesima analisi è stata ripetuta anche per i TTF, applicando gli stessi metodi e distribuzioni indicate nel *paragrafo 6.6.3*; nelle *tabelle da 108 a 118* è riportata l'analisi per ogni microfermata.

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	3,544	<0,005	
Lognormal	0,58	0,124	
3-Parameter Lognormal	0,647	*	0,107
Exponential	0,731	0,248	
2-Parameter Exponential	0,789	0,174	0,002
Weibull	0,747	0,048	
3-Parameter Weibull	0,371	0,445	0,001
Smallest Extreme Value	5,846	<0,010	
Largest Extreme Value	1,629	<0,010	
Gamma	0,8	0,047	
3-Parameter Gamma	0,378	*	0,001
Logistic	2,215	<0,005	
Loglogistic	0,685	0,044	
3-Parameter Loglogistic	0,759	*	0,037

Tabella 109: Scelta distribuzione TTF (intasamento disafonte (trasporti ingresso))

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	16,639	<0,005	
3-Parameter Lognormal	1,203	*	
2-Parameter Exponential	2,682	<0,010	
3-Parameter Weibull	2,138	<0,005	
Smallest Extreme Value	35,11	<0,010	
Largest Extreme Value	8,01	<0,010	
3-Parameter Gamma	2,286	*	
Logistic	10,56	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,391	*	

Tabella 108: Scelta distribuzione TTF (prodotto rovesciato guide alimentazione)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,639	0,076	
Lognormal	0,703	0,051	
3-Parameter Lognormal	0,313	*	0,192
Exponential	0,655	0,292	
2-Parameter Exponential	0,604	0,213	0,378
Weibull	0,362	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,329	>0,500	1
Smallest Extreme Value	1,292	<0,010	
Largest Extreme Value	0,302	>0,250	
Gamma	0,393	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,336	*	1
Logistic	0,416	>0,250	
Loglogistic	0,533	0,122	
3-Parameter Loglogistic	0,289	*	0,341

Tabella 110: Scelta distribuzione TTF (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,885	0,017	
Lognormal	0,561	0,119	
3-Parameter Lognormal	0,587	*	0,588
Exponential	0,911	0,135	
2-Parameter Exponential	0,723	0,129	1
Weibull	0,677	0,068	
3-Parameter Weibull	0,746	0,055	1
Smallest Extreme Value	0,878	0,02	
Largest Extreme Value	1,026	<0,010	
Gamma	0,646	0,109	
3-Parameter Gamma	0,708	*	1
Logistic	0,906	0,009	
Loglogistic	0,595	0,078	
3-Parameter Loglogistic	0,665	*	1

Tabella 111: Scelta distribuzione TTF (salita film superiore)

Errore taglio maniglia

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,481	0,119	
Lognormal	0,614	0,048	
3-Parameter Lognormal	0,729	*	1
Exponential	1,715	0,011	
2-Parameter Exponential	0,57	0,143	1
Weibull	0,785	0,03	
3-Parameter Weibull	0,582	0,075	1
Smallest Extreme Value	0,541	0,144	
Largest Extreme Value	0,624	0,082	
Gamma	0,725	0,074	
3-Parameter Gamma	0,735	*	1
Logistic	0,523	0,116	
Loglogistic	0,667	0,041	
3-Parameter Loglogistic	0,553	*	1

Tabella 116: Scelta distribuzione TTF (errore taglio maniglia)

Pacco aperto (manigliatrice)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	1,512	<0,005	
Lognormal	0,34	0,434	
3-Parameter Lognormal	0,286	*	0,818
Exponential	0,5	0,469	
2-Parameter Exponential	0,405	>0,250	1
Weibull	0,277	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,332	>0,500	1
Smallest Extreme Value	1,974	<0,010	
Largest Extreme Value	0,816	0,028	
Gamma	0,318	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,397	*	1
Logistic	1,048	<0,005	
Loglogistic	0,277	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,2	*	1

Tabella 117: Scelta distribuzione TTF (pacco aperto (manigliatrice))

Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	14,629	<0,005	
3-Parameter Lognormal	0,83	*	
2-Parameter Exponential	2,888	<0,010	
3-Parameter Weibull	1,742	<0,005	
Smallest Extreme Value	29,865	<0,010	
Largest Extreme Value	6,37	<0,010	
3-Parameter Gamma	2,281	*	
Logistic	8,61	<0,005	
3-Parameter Loglogistic	1,107	*	

Tabella 115: Scelta distribuzione TTF (pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore))

Pallet non allineato ingresso palettizzatore

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,574	0,116	
Lognormal	0,553	0,129	
3-Parameter Lognormal	0,617	*	0,917
Exponential	0,384	0,646	
2-Parameter Exponential	0,395	>0,250	0,29
Weibull	0,432	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,432	0,327	1
Smallest Extreme Value	0,811	0,03	
Largest Extreme Value	0,524	0,18	
Gamma	0,425	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,425	*	1
Logistic	0,552	0,102	
Loglogistic	0,561	0,096	

Tabella 114: Scelta distribuzione TTF (pallet non allineato ingresso palettizzatore)

Magazzino palette-mal posizionamento

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,324	0,307	
Lognormal	0,323	0,31	
3-Parameter Lognormal	0,898	*	1
Exponential	0,49	0,418	
2-Parameter Exponential	0,427	>0,250	0,424
Weibull	0,42	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,716	0,025	1
Smallest Extreme Value	0,446	0,235	
Largest Extreme Value	0,376	>0,250	
Gamma	0,389	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,906	*	1
Logistic	0,375	>0,250	
Loglogistic	0,36	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,44	*	0,777

Tabella 113: Scelta distribuzione TTF (magazzino palette-mal posizionamento)

Strato non formato correttamente carrello N°1

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,52	0,126	
Lognormal	0,456	0,191	
3-Parameter Lognormal	0,446	*	0,245
Exponential	0,539	0,398	
2-Parameter Exponential	0,398	>0,250	0,1
Weibull	0,509	0,185	
3-Parameter Weibull	0,503	0,215	0,579
Smallest Extreme Value	0,568	0,127	
Largest Extreme Value	0,622	0,088	
Gamma	0,529	0,203	
3-Parameter Gamma	0,551	*	1
Logistic	0,55	0,098	
Loglogistic	0,503	0,149	
3-Parameter Loglogistic	0,5	*	0,789

Tabella 112: Scelta distribuzione TTF (strato non formato correttamente carrello N°1)

Strato non formato correttamente carrello N°2

Distribuzione	AD	P	LRT P
Normal	0,356	0,343	
Lognormal	0,335	0,391	
3-Parameter Lognormal	0,282	*	1
Exponential	0,333	0,717	
2-Parameter Exponential	0,208	>0,250	1
Weibull	0,274	>0,250	
3-Parameter Weibull	0,242	>0,500	1
Smallest Extreme Value	0,512	0,18	
Largest Extreme Value	0,307	>0,250	
Gamma	0,256	>0,250	
3-Parameter Gamma	0,286	*	1
Logistic	0,341	>0,250	
Loglogistic	0,352	>0,250	
3-Parameter Loglogistic	0,246	*	1

Tabella 118: Scelta distribuzione TTF (strato non formato correttamente carrello N°2)

In tabella 119 è indicato un riassunto delle distribuzioni dei TTF.

Microfermata	Distribuzione TTF
Intasamento disaponte (trasporti ingresso)	Lognormal
Prodotto rovesciato guide alimentazione	3-Parameter Lognormal
Prodotto rovesciato salita/discesa rebbo	Largest Extreme Value
Salita film superiore	Lognormal
Errore taglio maniglia	Normal
Pacco aperto (manigliatrice)	Weibull
Pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore)	3-Parameter Lognormal
Pallet non allineato ingresso palettizzatore	Gamma
Magazzino palette-mal posizionamento	Lognormal
Strato non formato correttamente carrello N°1	Lognormal
Strato non formato correttamente carrello N°2	Gamma

Tabella 119: Distribuzione scelte per i TTF delle microfermate

Per quanto riguarda i TTF le distribuzioni seguite dalle varie microfermate sono più varie rispetto a quelle dei TTR; ciò può essere dovuto anche al fatto che non erano disponibili un gran numero di dati, quindi la determinazione delle distribuzioni può essere ancora un po' approssimativa, anche se permette di avere già un'idea. Le principali distribuzioni seguite sono la lognormale o la lognormale con 3 parametri, passando poi per la Gamma, la Weibull, la normale e la Largest Extreme Value. Per i TTF non sono disponibili le distribuzioni di probabilità di tutti i *micro breakdown* poiché alcune non sono state rilevate durante la seconda raccolta dati oppure il numero di ricorrenze era insufficiente per ottenere una distribuzione affidabile. Nelle figure da 133 a 143 invece sono riportati i grafici dell'analisi *goodness-of-fit* delle distribuzioni scelte per i TTF.

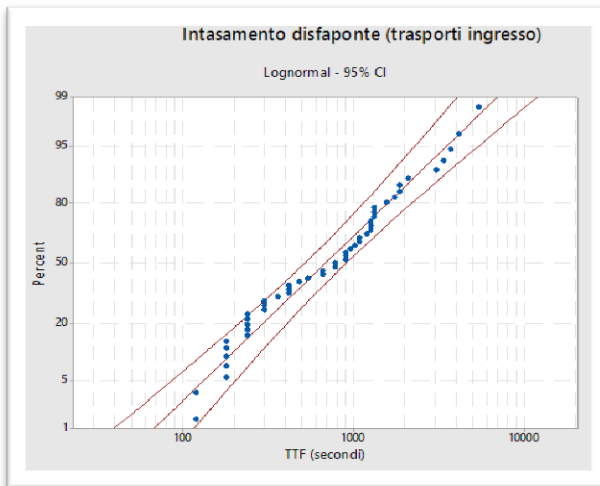


Figura 133: *Goodness-of-fit TTF* (intasamento disafopnte (trasporti ingresso))

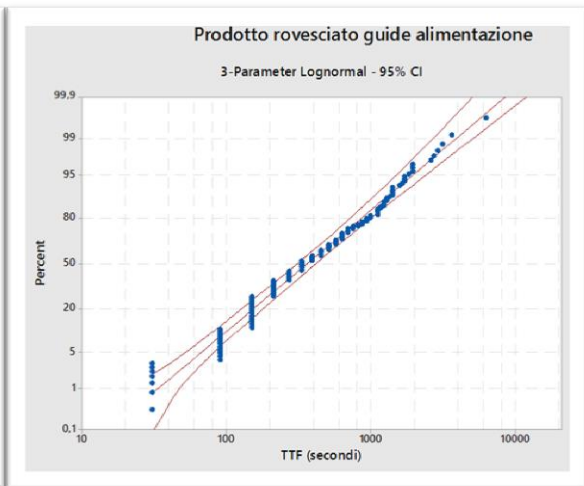


Figura 134: *Goodness-of-fit TTF* (prodotto rovesciato guide alimentazione)

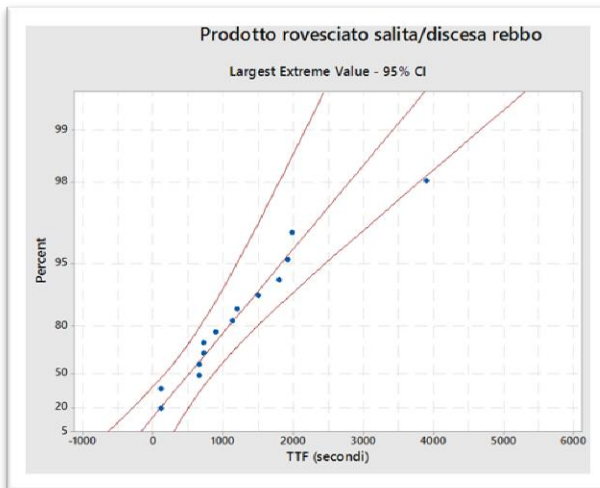


Figura 135: *Goodness-of-fit TTF* (prodotto rovesciato salita/discisa rebbo)

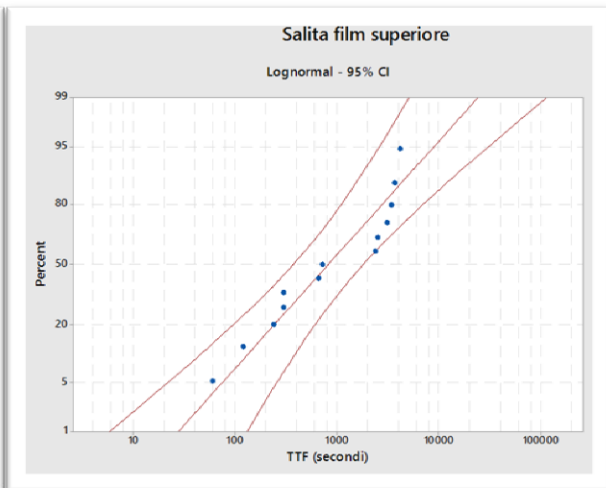


Figura 136: *Goodness-of-fit TTF* (salita film superiore)

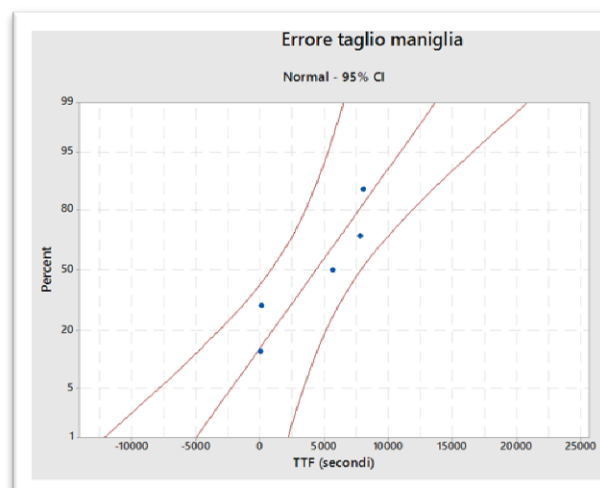


Figura 137: *Goodness-of-fit TTF* (errore taglio maniglia)

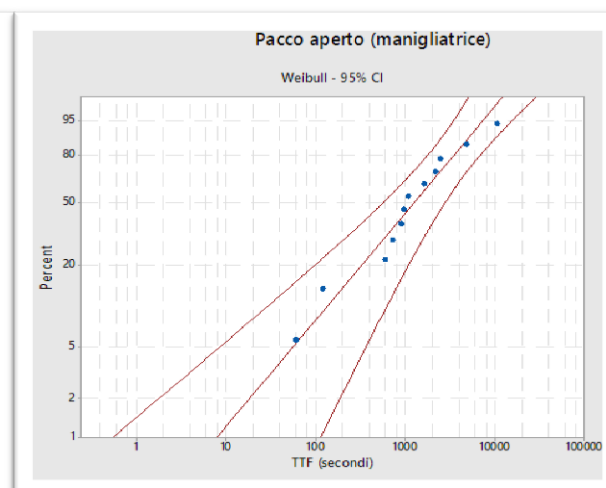


Figura 138: *Goodness-of-fit TTF* (pacco aperto (manigliatrice))

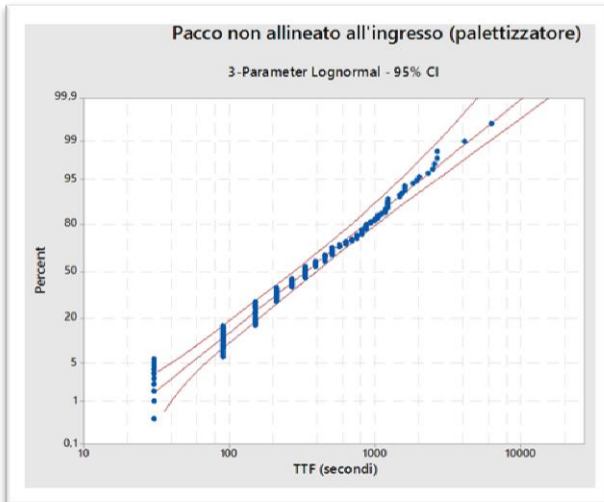


Figura 139: *Goodness-of-fit TTF* (pacco non allineato all'ingresso (palettizzatore))

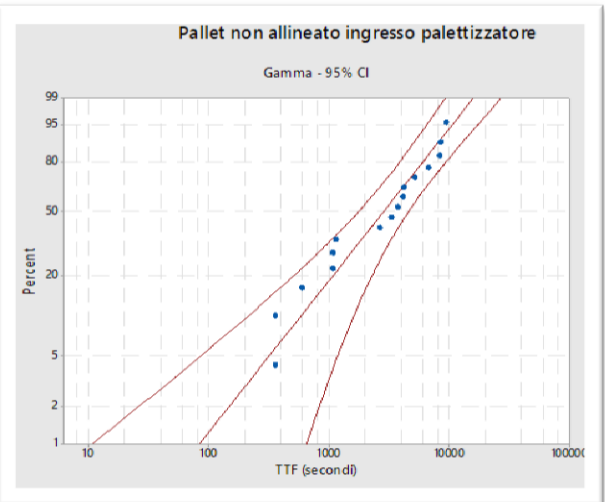


Figura 140: *Goodness-of-fit TTF* (pallet non allineato ingresso palettizzatore)

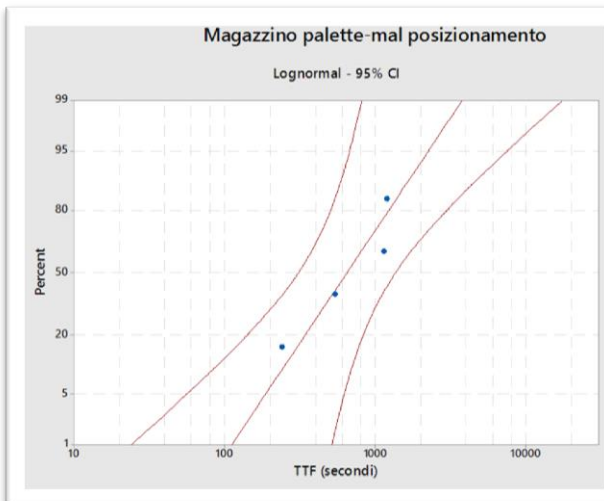


Figura 141: *Goodness-of-fit TTF* (magazzino palette-mal posizionamento)

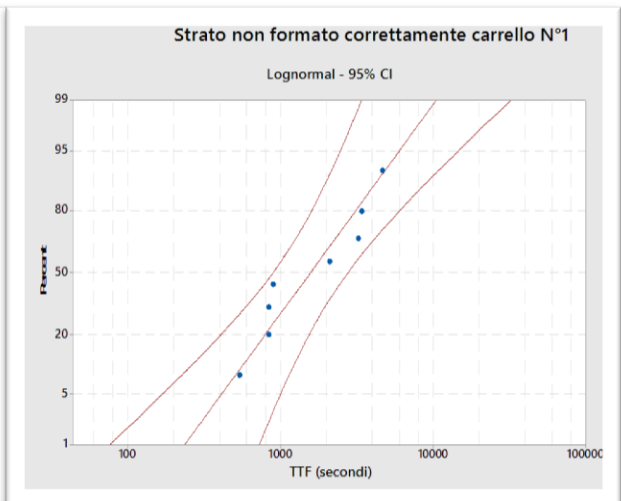


Figura 142: *Goodness-of-fit TTF* (strato non formato correttamente carrello N°1)

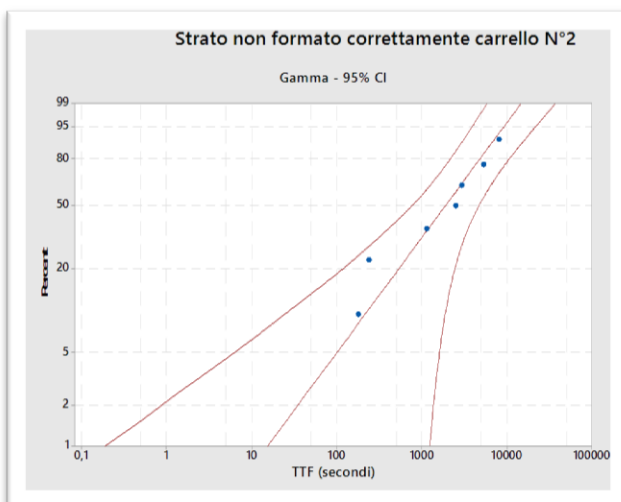


Figura 143: *Goodness-of-fit TTF* (strato non formato correttamente carrello N°2)

6.7. Valutazione tecnico-economica di progetti di miglioramento

Una volta determinate le microfermate e il potenziale incremento di *OEE* che possono fornire è necessario capire come eliminare (o ridurre) tali microfermate se si vuole che il progetto intrapreso sia realmente utile. Le possibili strade che si possono percorrere sono fondamentalmente due:

- Agire con delle azioni e dei piani di manutenzione preventiva o ciclica che possano mitigare l'impatto di determinate microfermate sull'*OEE* della linea; si intende quindi azioni che fondamentalmente vanno a ridurre la frequenza di accadimento oppure possono anche risolvere il problema, a patto che la manutenzione avvenga con costanza e secondo un piano ben preciso basato sul mantenimento dell'affidabilità dell'attrezzatura; si tratta di una politica che può essere molto efficace ma non per forza risolve il problema in modo definitivo; un aspetto molto importante da valutare è anche l'auto-manutenzione e la pulizia delle macchine da parte degli operatori;
- Sostituire le macchine presenti, quindi proporre una nuova soluzione tecnologica adatta ad eliminare o ridurre le microfermate (o un particolare tipo di queste); naturalmente questa seconda opzione prevede degli investimenti molto maggiori rispetto alla prima, però, se la scelta della nuova tecnologia avviene in modo corretto, permette di eliminare in modo definitivo certe microfermate; poiché questa possibilità prevede un acquisto (e quindi un investimento da ammortizzare) è necessario fare una analisi tecnica ma anche economica della soluzione, in modo da valutare l'esborso monetario e il *payback period*, cioè il periodo di recupero dell'investimento.

È bene precisare che non c'è un metodo migliore rispetto ad un altro, ma dipende dalla particolare situazione e dal tipo di microfermata considerata; per fare una valutazione ci si può aiutare con la classificazione presentata nel *paragrafo 6.4* per la relazione tra *TTR* e *TTF*:

- Fermate con alto *TTR* e basso *TTF*, quindi molto frequenti e pesantemente impattanti sulle prestazioni della linea richiedono una particolare attenzione e probabilmente necessitano di una valutazione riguardo alla tecnologia adottata, se sia o meno adeguata (specialmente in termini di affidabilità) e se si può trovare una soluzione al problema cambiando attrezzatura o se è legato alla scarsa manutenzione; sono sicuramente le tipologie di fermate che richiedono la maggiore attenzione;
- Fermate con *TTR* e *TTF* elevati (tipicamente i guasti) non vanno ad influire molto sulle prestazioni della linea, quindi può essere utile valutarne la gravità e stabilire se il piano manutentivo è adeguato, cioè se garantisce una affidabilità della macchina

soddisfacente, o se è necessario rivederlo; è bene comunque tenere monitorata la situazione dei guasti per capire se vi è un degrado graduale delle prestazioni delle attrezzature e quindi decidere come e quando intervenire per ripristinare le condizioni standard, prima che avvenga un guasto particolarmente critico;

- Fermate con *TTR* basso e *TTF* elevato non meritano particolare attenzione poiché sono casuali e vista la loro breve durata non influiscono sulle *performance*;
- Fermata con *TTR* e *TTF* bassi sono quelle che permettono una valutazione più attenta poiché generalmente sono croniche e, seppur di breve durata, impattano molto sull'efficienza delle macchine; in questi casi (ma anche nel primo sopra citato) è necessario capire come intervenire e se si decide di procedere con l'acquisto di una nuova tecnologia fare una attenta valutazione di ritorno economico dell'investimento e confrontare più alternative; nel caso in cui invece si pervenga alla conclusione che la tecnologia utilizzata è adeguata bisogna rivedere il piano manutentivo per capire se è adeguato oppure valutare se è sufficiente fare degli aggiustamenti alle attrezzature già in possesso per mantenere elevate le prestazioni della linea e risolvere le cause delle microfermate.

Naturalmente tutti i possibili miglioramenti si vanno a scontrare con ovvi limiti di budget disponibile, motivo per cui è essenziale valutare con attenzione quali interventi fare e stimarne il ritorno economico.

In San Benedetto ci si è focalizzati sulla realizzazione di un intervento migliorativo di tipo sostitutivo della tecnologia esistente. Visti i vincoli di budget si è deciso di valutare insieme ai responsabili aziendali e ai tecnici una soluzione risolutiva per la microfermata che determina la maggior perdita di *OEE*, ovvero "pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)".

Questo tipo di microfermata è caratterizzata da pacchi che non sono perfettamente allineati o che arrivano caduti nei trasporti in ingresso del pallettizzatore; le fotocellule rilevano l'anomalia e mandano la macchina in allarme, fermandola insieme ai trasporti. È stato poi fondamentale capire i motivi per cui il pacco può arrivare in queste condizioni e si è determinato, grazie all'esperienza dei tecnici di linea (sia meccanici che elettrici), dei responsabili, degli operatori, dei campi impianto e alla consapevolezza maturata sul campo dal supervisore del progetto durante la raccolta dati, che:

- I pacchi caduti provengono dalla manigliatrice oppure possono ribaltarsi sui trasporti, in particolare sulle salite (con nastri trasportatori) che sono presenti tra manigliatrice e pallettizzatore; possono essere dovuti alle guide laterali dei trasporti non regolate in modo corretto o anche da rulli sporchi o parzialmente bloccati sulle curve presenti tra

le due macchine; inoltre possono essere causati dai collegamenti tra un trasporto e l'altro all'inizio delle salite;

- I pacchi non allineati invece possono provenire dalla manigliatrice oppure disallinearsi sui cambi da un sistema di trasporto ad un altro, anche se il punto più critico risiede nelle curve dove la presenza di rulli folli in discesa è problematica poiché sporczia o malfunzionamenti di questi rulli possono portare facilmente il pacco a girarsi; inoltre possono esserci anche ulteriori cause, come l'eccessivo attrito sulle guide a causa di rullini laterali bloccati.

L'obiettivo è stato dunque comprendere come risolvere tale problematica e si è pervenuti all'idea che fosse necessario cambiare tecnologia poiché la sola manutenzione potrebbe risolvere solo parzialmente i problemi o comunque richiederebbe un controllo costante delle prestazioni per garantire un impatto molto basso di questa tipologia di microfermate sull'OEE. Si è deciso di andare a sostituire il sistema di trasporto dei pacchi tra manigliatrice e pallettizzatore eliminando tutte le salite e le curve, in modo da non avere più gli elementi principali che determinano tale microfermata.

Al posto di questa soluzione tecnologica si è pensato ad un trasporto rettilineo all'uscita della manigliatrice e ad un elevatore fardelli costituito da una chiocciola con dei nastri motorizzati che portano il pacco dal trasporto all'uscita della manigliatrice (ad una altezza di circa 1,5 metri) fino ai trasporti in ingresso del pallettizzatore (a circa 3 metri).

In questo modo, oltre ad eliminare le principali cause che disallineano o fanno cadere il pacco, si rende anche la linea meno complessa, facilitandone la manutenzione e rendendo il flusso più rettilineo ed omogeneo.

Dopo aver ottenuto l'approvazione tecnica è stato necessario fare una valutazione economica dell'investimento. Innanzitutto bisogna effettuare una stima dell'entità monetaria dell'intervento, ottenuta in base all'esperienza dei tecnici; poi è fondamentale determinare i flussi di cassa annuali, stimando i potenziali ricavi e costi differenziali rispetto alla situazione attuale.

Nel caso di San Benedetto i ricavi differenziali sono dati dalla produzione aggiuntiva che è possibile realizzare grazie al tempo recuperato dalla risoluzione della microfermata di "pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)", mentre i costi differenziali derivano fondamentalmente da variazioni nelle spese di manutenzione ed energia elettrica. In realtà un potenziale ricavo da valutare sarebbe anche la riduzione delle ore di manodopera, però sicuramente il tempo recuperato viene utilizzato per produrre e la linea non viene fermata, quindi il costo del personale di linea rimane invariato e non è quindi da valutare in una analisi degli investimenti.

In *tabella 120, 121 e 122* viene riportata la valutazione dell'investimento e i vari costi/ricavi differenziali. L'investimento ipotizzato per la nuova tecnologia è di circa 80 000 Euro al quale vengono aggiunti anche i costi per la realizzazione del progetto di rilevazione e analisi dei dati, in modo da comprendere il costo complessivo di tutto l'investimento fatto dal momento che, se l'analisi è molto lunga e richiede varie persone, il costo di rilevazione e analisi può essere anche predominante.

È poi necessario valutare la produzione recuperabile andando ad eliminare le microfermate: ciò è ricavabile ipotizzando una velocità media della linea (intorno alle 28 500 bottiglie/ora) e sapendo il tempo annuo stimato recuperabile dalle microfermate di "pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)". Per fare un'analisi corretta bisogna considerare solamente la produzione incrementale che è possibile vendere, però, essendo quella considerata una linea di produzione acqua che non crea particolari problemi di distribuzione e vendita, si può considerare tutta la produzione aggiuntiva come vendibile.

Per valutare i ricavi differenziali bisogna conoscere anche il margine di contribuzione unitario di un prodotto, cioè la differenza tra prezzo di vendita e costo variabile unitario per realizzare una bottiglia d'acqua; moltiplicando il margine di contribuzione per la produzione recuperabile si ottengono i ricavi differenziali. Questa valutazione si basa sul concetto di margine di contribuzione totale di 1° livello, cioè considerando solamente i costi variabili.

Per una valutazione più completa è necessario valutare anche i costi fissi aggiuntivi dell'investimento, cioè i costi di energia e manutenzione. Sottraendo questi al margine di contribuzione di 1° livello si ottiene il margine di contribuzione di 2° livello, il quale permette una valutazione dell'investimento più accurata.

Nel caso di San Benedetto il margine di contribuzione è stato ipotizzato poiché è un dato sensibile che non può essere diffuso; sono stati definiti due margini di contribuzione diversi in modo da fare una analisi parametrizzata su un margine variabile. Naturalmente tutti i costi e ricavi considerati sono a livello annuale.

Numero di persone coinvolte	1
Costo orario per persona	€ 30,00
Numero di ore giornaliere dedicate al progetto	8
Numero di giorni dedicati al progetto	60
Costo totale del personale coinvolto	€ 14.400

Tabella 120: Costo del personale coinvolto nel progetto

	Situazione "as is "	Situazione "to be "	Costi/ricavi
Potenza motori [kW]	1,5	3	
Ore annue di lavoro	4800	4800	
Energia elettrica necessaria [kWh]	7200	14400	
Costo energia al kWh [€/kWh]	€ 0,118	€ 0,118	
Costo totale energia elettrica	€ 850	€ 1.699	-€ 850
Costo manutenzione	€ 1.000	€ 2.500	-€ 1.500
Costi fissi annuali	€ 1.850	€ 4.199	-€ 2.350

Tabella 121: Costi fissi annuali

	Prima ipotesi di MdC	Seconda ipotesi di MdC
Investimento	€ 80.000	€ 80.000
Costo totale del personale coinvolto	€ 14.400	€ 14.400
Investimento totale	€ 94.400	€ 94.400
MdC 1° livello	€ 0,05	€ 0,10
Produzione annua aggiuntiva vendibile	1.482.324	1.482.324
MdC 1° livello totale	€ 74.116	€ 148.232
Costi fissi annuali (energia elettrica, manutenzione)	€ 2.350	€ 2.350
MdC 2° livello	€ 71.767	€ 145.883

Tabella 122: Valutazione margine di contribuzione totale con MdC unitario di 0,05 € e 0,10 € (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))

Si può notare dalle tabelle come, pur essendo i costi fissi annuali maggiori nella nuova soluzione tecnologica, il vantaggio economico è sicuramente molto significativo. Per fare una stima più accurata bisognerebbe avere a disposizione il margine di contribuzione unitario reale ma anche così è possibile farsi un'idea del risparmio ottenibile annualmente (ipotizzando che siano plausibili i margini). Si può dunque apprezzare come, con un margine di contribuzione di 0,05 Euro, sia garantito un flusso di cassa annuo positivo di oltre 70 000 Euro e di oltre 145 000 Euro nel caso di 0,10 Euro di margine.

In base al flusso di cassa netto annuo ottenuto è possibile fare una valutazione del periodo di recupero dell'investimento (*payback period analysis*), quindi in quanti anni l'investimento viene remunerato e quando inizia a portare degli utili all'azienda. Per questa analisi sono stati utilizzati i flussi di cassa netti (*net cash flow*) attualizzati, in modo da riflettere il valore del denaro nel tempo, e un tasso di interesse del 5%; le formule utilizzate sono quelle del *paragrafo 2.5.6.2.2*.

È inoltre possibile valutare anche il Valore Attuale Netto (VAN) dell'investimento, cioè il valore dei flussi di cassa futuri attualizzati; per l'analisi sono stati considerati 4 anni per valutare il VAN ed è stata utilizzata la formula con i flussi di cassa già attualizzati del *paragrafo 2.5.6.2.2*.

Infine è stato calcolato anche un indice finanziario per stimare il ritorno dell'investimento, ovvero il Return On Investment (ROI), il quale permette di definire, in percentuale, quanto è il ritorno economico annuale rispetto all'investimento fatto; più alto è il ROI e più remunerativo

è l'investimento e minore è il tempo per ripagarlo. Il calcolo avviene come da *paragrafo* 2.5.6.2.2.

Questi tre indicatori possono essere valutati congiuntamente per avere una visione completa del progetto di investimento.

Nel caso aziendale sono state valutate queste tre voci sia considerando il margine di contribuzione di 1° livello, quindi prendendo in considerazione solo la remunerazione dei costi variabili di produzione, sia quello di 2° livello, includendo anche i costi fissi annuali. Inoltre sono state inserite due ipotesi di margine di contribuzione, come per le analisi precedenti.

Nelle *tabelle* da 123 a 126 vengono riportati i calcoli sopra indicati.

Con MdC totale 1° livello e MdC unitario di 0,05 €

Anno	Cash flow		Cash flow cumulato
0	-€ 94.400	↓	-€ 94.400
1	€ 70.587	↓	-€ 23.813
2	€ 67.226	↑	€ 43.412
3	€ 64.024	↑	€ 107.437
4	€ 60.976	↑	€ 168.412
5	€ 58.072	↑	€ 226.484
6	€ 55.307	↑	€ 281.791
7	€ 52.673	↑	€ 334.464
8	€ 50.165	↑	€ 384.629
9	€ 47.776	↑	€ 432.405
10	€ 45.501	↑	€ 477.906

Payback period **1,35** anni
VAN 4 anni **€ 168.412**
ROI **78,51%**

INVESTIMENTO CONVENIENTE

Tabella 123: Valutazione *payback period*, VAN e ROI con MdC totale di 1° livello e MdC unitario di 0,05 € (pacco non allineato all'ingresso pallettizzatore)

Con MdC 2° livello e MdC unitario di 0,05 €

Anno	Cash flow		Cash flow cumulato
0	-€ 94.400	↓	-€ 94.400
1	€ 68.349	↓	-€ 26.051
2	€ 65.094	↑	€ 39.044
3	€ 61.995	↑	€ 101.038
4	€ 59.043	↑	€ 160.081
5	€ 56.231	↑	€ 216.312
6	€ 53.553	↑	€ 269.865
7	€ 51.003	↑	€ 320.868
8	€ 48.574	↑	€ 369.443
9	€ 46.261	↑	€ 415.704
10	€ 44.058	↑	€ 459.763

Payback period **1,40** anni
VAN 4 anni **€ 160.081**
ROI **76,02%**

INVESTIMENTO CONVENIENTE

Tabella 124: Valutazione *payback period*, VAN e ROI con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,05 € (pacco non allineato all'ingresso pallettizzatore)

Con MdC totale 1° livello e MdC unitario di 0,10 €

Anno	Cash flow		Cash flow cumulato
0	-€ 94.400	↓	-€ 94.400
1	€ 141.174	↑	€ 46.774
2	€ 134.451	↑	€ 181.225
3	€ 128.049	↑	€ 309.274
4	€ 121.951	↑	€ 431.225
5	€ 116.144	↑	€ 547.369
6	€ 110.613	↑	€ 657.982
7	€ 105.346	↑	€ 763.328
8	€ 100.330	↑	€ 863.657
9	€ 95.552	↑	€ 959.209
10	€ 91.002	↑	€ 1.050.211

Payback period **0,67** anni
VAN 4 anni **€ 431.225**
ROI **157,03%**

INVESTIMENTO CONVENIENTE

Tabella 125: Valutazione *payback period*, VAN e ROI con MdC totale di 1° livello e MdC unitario di 0,10 € (pacco non allineato all'ingresso pallettizzatore)

Con MdC 2° livello e MdC unitario di 0,10 €

Anno	Cash flow		Cash flow cumulato
0	-€ 94.400	↓	-€ 94.400
1	€ 138.936	↑	€ 44.536
2	€ 132.320	↑	€ 176.856
3	€ 126.019	↑	€ 302.875
4	€ 120.018	↑	€ 422.893
5	€ 114.303	↑	€ 537.196
6	€ 108.860	↑	€ 646.056
7	€ 103.676	↑	€ 749.732
8	€ 98.739	↑	€ 848.471
9	€ 94.037	↑	€ 942.509
10	€ 89.559	↑	€ 1.032.068

Payback period **0,68** anni
VAN 4 anni **€ 422.893**
ROI **154,54%**

INVESTIMENTO CONVENIENTE

Tabella 126: Valutazione *payback period*, VAN e ROI con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,10 € (pacco non allineato all'ingresso pallettizzatore)

Si può subito notare come il *payback* dell'investimento avvenga in tempi piuttosto brevi sia con il margine di 1° livello che con quello di 2° livello dal momento che i costi fissi incidono molto poco. Naturalmente con un margine di contribuzione unitario di 0,10 Euro il recupero avviene molto più velocemente, infatti dopo circa 8 mesi l'investimento è già stato ripagato. Anche analizzando il VAN a 4 anni è evidente come l'investimento sia certamente conveniente poiché il suo valore è molto elevato e anche considerando il ROI si può concludere che il vantaggio è sicuramente enorme dal momento che anche considerando un margine di 0,05 Euro viene recuperato, all'anno, più del 75% dell'investimento iniziale grazie al flusso di cassa netto positivo che si verifica annualmente.

Una possibile valutazione è anche capire quanto ingente potrebbe essere l'investimento sopportabile per risolvere tutte le microfermate che sono state considerate critiche nelle analisi precedenti. La produzione recuperabile è valutata come in precedenza, mentre i costi fissi annuali incrementali sono stati ipotizzati pari a 20 000 Euro annui anche se in realtà non è possibile valutare con esattezza fino a che non vengono prese delle decisioni (probabilmente sono anche sovrastimati ma comunque non incidono molto sul margine di contribuzione totale). Aiutandosi con le tabelle per il calcolo del *payback* e fissando come periodo massimo di recupero e per il VAN 4 anni come in precedenza è possibile stimare l'investimento massimo accettabile per restare all'interno di tali vincoli; poi naturalmente sarebbe necessario valutare la fattibilità tecnica delle soluzioni e se il budget disponibile è sufficiente. Nelle *tabelle* da 127 a 131 viene svolta questa analisi.

	Prima ipotesi di MdC	Seconda ipotesi di MdC
Investimento	€ 1.200.000	€ 2.600.000
Costo totale del personale coinvolto	€ 14.400	€ 14.400
Investimento totale	€ 1.214.400	€ 2.614.400
MdC 1° livello	€ 0,05	€ 0,10
Produzione annua aggiuntiva vendibile	7.585.672	7.585.672
MdC 1° livello totale	€ 379.284	€ 758.567
Costi fissi annuali (energia elettrica, manutenzione)	€ 20.000	€ 20.000
MdC 2° livello	€ 359.284	€ 738.567

Tabella 127: Valutazione margine di contribuzione totale con MdC unitario di 0,05 € e 0,10 € (tutte le microfermate)

Con MdC totale 1° livello e MdC unitario di 0,05 €

Anno	Cash flow	Cash flow cumulato
0	-€ 1.214.400	↓ -€ 1.214.400
1	€ 361.222	↓ -€ 853.178
2	€ 344.021	↓ -€ 509.156
3	€ 327.639	↓ -€ 181.517
4	€ 312.038	↑ € 130.521
5	€ 297.179	↑ € 427.700
6	€ 283.027	↑ € 710.727
7	€ 269.550	↑ € 980.277
8	€ 256.714	↑ € 1.236.991
9	€ 244.490	↑ € 1.481.480
10	€ 232.847	↑ € 1.714.327

Payback period **3,58** anni
 VAN 4 anni **€ 130.521** **INVESTIMENTO CONVENIENTE**
 ROI **31,23%**

Tabella 128: Valutazione *payback period*, *VAN* e *ROI* con MdC totale di 1° livello e MdC unitario di 0,05 € (tutte le microfermate)

Con MdC 2° livello e MdC unitario di 0,05 €

Anno	Cash flow	Cash flow cumulato
0	-€ 1.214.400	↓ -€ 1.214.400
1	€ 342.175	↓ -€ 872.225
2	€ 325.881	↓ -€ 546.344
3	€ 310.363	↓ -€ 235.982
4	€ 295.584	↑ € 59.602
5	€ 281.508	↑ € 341.110
6	€ 268.103	↑ € 609.213
7	€ 255.336	↑ € 864.549
8	€ 243.177	↑ € 1.107.726
9	€ 231.597	↑ € 1.339.324
10	€ 220.569	↑ € 1.559.893

Payback period **3,80** anni
 VAN 4 anni **€ 59.602** **INVESTIMENTO CONVENIENTE**
 ROI **29,59%**

Tabella 129: Valutazione *payback period*, *VAN* e *ROI* con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,05 € (tutte le microfermate)

Con MdC totale 1° livello e MdC unitario di 0,10 €

Anno	Cash flow	Cash flow cumulato
0	-€ 2.614.400	↓ -€ 2.614.400
1	€ 722.445	↓ -€ 1.891.955
2	€ 688.043	↓ -€ 1.203.912
3	€ 655.279	↓ -€ 548.633
4	€ 624.075	↑ € 75.442
5	€ 594.357	↑ € 669.799
6	€ 566.055	↑ € 1.235.854
7	€ 539.100	↑ € 1.774.953
8	€ 513.428	↑ € 2.288.381
9	€ 488.979	↑ € 2.777.360
10	€ 465.694	↑ € 3.243.055

Payback period **3,88** anni
 VAN 4 anni **€ 75.442** **INVESTIMENTO CONVENIENTE**
 ROI **62,46%**

Tabella 130: Valutazione *payback period*, *VAN* e *ROI* con MdC totale di 1° livello e MdC unitario di 0,10 € (tutte le microfermate)

Con MdC 2° livello e MdC unitario di 0,10 €

Anno	Cash flow	Cash flow cumulato
0	-€ 2.614.400	↓ -€ 2.614.400
1	€ 703.397	↓ -€ 1.911.003
2	€ 669.902	↓ -€ 1.241.100
3	€ 638.002	↓ -€ 603.098
4	€ 607.621	↑ € 4.523
5	€ 578.687	↑ € 583.210
6	€ 551.130	↑ € 1.134.340
7	€ 524.886	↑ € 1.659.226
8	€ 499.891	↑ € 2.159.117
9	€ 476.087	↑ € 2.635.204
10	€ 453.416	↑ € 3.088.620

Payback period **3,99** anni
 VAN 4 anni **€ 4.523** **INVESTIMENTO CONVENIENTE**
 ROI **60,82%**

Tabella 131: Valutazione *payback period*, *VAN* e *ROI* con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,10 € (tutte le microfermate)

In base ai vincoli e alle condizioni sopra esposti, gli investimenti massimi possibili sono:

- Nell'ipotesi di 0,05 Euro di margine unitario: 1 200 000 Euro;
- Nell'ipotesi di 0,10 Euro di margine unitario: 2 600 000 Euro.

Nel caso fosse disponibile un margine di contribuzione reale la valutazione dell'investimento potrebbe essere molto più precisa e affidabile, però il metodo resta valido, portando solamente ad un ammontare dell'esborso diverso.

Si può quindi notare come anche investimenti veramente molto ingenti possono essere giustificati dal recupero di efficienza sulla linea considerando solamente le microfermate. È perciò evidente come l'analisi e la risoluzione delle microfermate, spesso sottovalutata, può diventare una leva strategica molto importante per il miglioramento dell'efficienza e dell'efficacia degli impianti produttivi.

Conclusioni

La corretta gestione e l'ottimizzazione degli impianti produttivi è un argomento centrale per tutti le aziende che realizzano dei beni; questo permette loro di essere competitive nel mercato globale odierno, offrendo ai propri clienti prodotti a basso prezzo e garantendo una certa flessibilità interna ed esterna.

Tale funzione di controllo e miglioramento dei processi produttivi è svolta dall'area produzione, che risulta quindi fondamentale non solo a livello operativo, ma anche strategico per l'intera azienda; performare in modo efficace ed efficiente in quest'area comporta grandi vantaggi per l'intero *business*.

Per avere successo in tale obiettivo è fondamentale misurare le *performance* dell'impianto produttivo, tramite indicatori come l'OEE, in modo da valutare la condizione attuale delle attrezzature e capire dove e come migliorare; ciò porta anche alla possibilità di quantificare l'entità del miglioramento, in modo da comprenderne i reali benefici e giustificare eventuali interventi.

Il presente lavoro di tesi si inserisce in tale contesto, ovvero lo studio delle prestazioni di una linea di imbottigliamento presso l'azienda Acqua Minerale San Benedetto S.p.A., la determinazione delle sue criticità, la proposta e la valutazione di interventi migliorativi.

Lo studio è stato svolto proponendo una metodologia che si rifà a vari passaggi di diversi articoli scientifici inerenti all'argomento dello studio dell'OEE e dei *downtime*.

Per il calcolo dell'OEE nella situazione "*as is*" sono stati utilizzati i dati disponibili all'interno dell'azienda, mentre in seguito sono stati impiegati i dati rilevati direttamente durante il progetto.

Gli strumenti utilizzati sono quelli tipici di analisi dei *downtime* identificati in letteratura, come i diagrammi di Pareto, i diagrammi causa-effetto, l'analisi *why-why*.

Per il calcolo dell'OEE nella situazione "*to be*" è stato proposto un metodo basato solamente sul calcolo dei tempi persi, focalizzandosi sull'ultima macchina significativa della linea (che risulta anche essere la più critica), come suggerito da Braglia *et al.* (2008). In tal modo è risultato più agevole il calcolo del recupero sull'OEE dato dalla riduzione delle microfermate, dal momento che l'efficienza delle *performance* (*P*) della linea è stata espressa tramite i tempi e non ricorrendo alla produzione reale.

Infine nella valutazione degli interventi migliorativi è stata proposta un'analisi tecnica ed economica, utilizzando i tipici strumenti di analisi degli investimenti, come il *payback period*, il *VAN* e il *ROI* (Sullivan *et al.*, 2006).

Dalla valutazione dell'*OEE* della linea scelta nella situazione "*as is*" è emerso come l'*OEE* medio per gli anni dal 2012 al 2014 sia pari a 71,6%, quindi ben lontano dal valore *world class* di 85% (Nakajima, 1988). Analizzando le singole voci, la disponibilità risulta del 93,3%, quindi in linea con i valori *world class*, la qualità non viene considerata poiché poco significativa (intorno all'1%, allineato ai valori proposti da Nakajima), mentre l'efficienza delle *performance* è pari a 76,7%, contro un valore *world class* di 95% (Nakajima, 1988). È quindi evidente come la linea sia fortemente penalizzata da quest'ultima.

All'interno di questa voce le microfermate determinano la maggior parte delle perdite di *performance*, con una media del 16,2%, giustificando quindi la necessità dello studio effettuato.

Il progetto svolto ha portato innanzitutto ad un adeguamento del calcolo dell'*OEE* così come da letteratura, dal momento che in azienda è adattato per soddisfare specifiche esigenze; inoltre è stato anche determinato con i dati rilevati e correlato con quello disponibile internamente per verificare la correttezza dei tempi definiti, dimostrata dal valore del coefficiente di determinazione $R^2=0,8441$.

Sulla base di questo *OEE* è stato valutato il recupero sull'intera linea, focalizzandosi solamente sui *micro breakdown* individuati grazie ai dati rilevati manualmente nei mesi di marzo e aprile 2015 e tramite l'analisi di Pareto; l'*OEE* stimato aumenterebbe da 69% a 75,6% per marzo e da 70,5% a 76,6% per aprile 2015.

Analizzando le singole tipologie di microfermata sono stati identificati i relativi contributi per il recupero sull'*OEE*, determinando come "pacco non allineato all'ingresso del pallettizzatore" sia quella che incide maggiormente (1,4% di media); questo *micro downtime* è stato definito come cronico dall'analisi su *TTR* e *TTF* e quindi molto probabilmente risolvibile (così come anche altre tipologie di microfermata).

A tal proposito è stato analizzato il diagramma causa-effetto realizzato per comprendere tutte le problematiche potenzialmente scatenanti la fermata ed è stata avanzata una proposta migliorativa di sostituzione della tecnologia esistente, che si è rivelata fattibile sia a livello tecnico che economico per gli obiettivi dell'azienda, con un *payback period* previsto inferiore all'anno.

La fase di modellazione dei tempi, utile per una successiva simulazione della linea, ha mostrato come per la maggior parte dei *TTR* delle varie microfermate la distribuzione di probabilità seguita è la loglogistica (semplice o a 3 parametri), in contrasto con quanto rilevato in letteratura, la quale riporta la lognormale (Tsarouhas *et al.* (2009); Tsarouhas e Arvanitoyannis (2012)) o la logistica (Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010)). Per i *TTF* invece la principale distribuzione seguita è la lognormale (semplice o a 3 parametri), non coerente con quelle

preferibili ritrovate in letteratura, ovvero la Weibull (Barabady (2005); Tsarouhas e Arvanitoyannis (2012; 2014); Tsarouhas *et al.* (2009); Regattieri *et al.* (2010)) e la normale (Tsarouhas e Arvanitoyannis (2010)).

In *tabella 132* viene riportato un riassunto dei risultati ottenuti, mentre in *tabella 133* un confronto tra la situazione “*as is*” e quella “*to be*”.

Step del progetto	Risultati ottenuti
Analisi della situazione “ <i>as is</i> ” della linea	OEE pari a 71,6%, con penalizzazione data dall'efficienza delle <i>performance</i> (76,7%)
Valutazione delle principali inefficienze della linea	Rilevanza delle microfermate (16,2% medio di penalizzazione sull'OEE)
Metodo di calcolo dell'OEE solo tramite tempi e considerando la macchina critica della linea	Validazione del metodo utilizzato tramite una analisi di correlazione con l'OEE disponibile in azienda ($R^2=0,8441$)
Valutazione del recupero sull'OEE della linea dato dalle microfermate principali	Da un OEE medio del 70% a uno del 76,5% (recupero di 6,5%)
Determinazione del contributo del singolo tipo di <i>micro breakdown</i> sul recupero	La principale microfermata è “pacco non allineato all'ingresso del pallettizzatore” (1,4% di recupero su 6,5%)
Valutazione della cronicità dei <i>micro downtime</i>	Rilevazione di alcune microfermate croniche relazionando <i>TTR</i> e <i>TTF</i>
Realizzazione di diagrammi causa-effetto	Determinazione di tutte le possibili cause scatenanti una microfermata
Modellazione statistica di <i>TTR</i> e <i>TTF</i>	Definizione della distribuzione loglogistica (semplice o a 3 parametri) per i <i>TTR</i> , lognormale (semplice o a 3 parametri) per i <i>TTF</i>
Valutazione tecnico-economica di interventi migliorativi	Proposta di sostituzione della tecnologia esistente per risolvere il problema di “pacco non allineato all'ingresso del pallettizzatore” validata a livello tecnico ed economico (<i>payback period</i> inferiore ad un anno)

Tabella 132: Risultati ottenuti nel progetto

Situazione "as is"	Situazione "to be"
OEE medio della linea pari a 70%	OEE medio della linea pari a 76,5% (recupero di 6,5% considerando tutte le microfermate principali), circa 10 milioni di bottiglie in più all'anno o in alternativa circa 360 ore di lavoro annue della linea risparmiate
OEE medio della linea pari a 70%	OEE medio della linea pari a 71,4% (recupero di 1,4% considerando solamente l'intervento migliorativo proposto), circa 2 milioni di bottiglie in più all'anno o in alternativa circa 74 ore di lavoro annue della linea risparmiate

Tabella 133: Confronto situazione "as is" e "to be"

Possibili sviluppi futuri di questo progetto possono riguardare la risoluzione di altre tipologie di microfermate, visto che sono già disponibili i dati sui recuperi e i diagrammi causa-effetto che consentono la valutazione di nuove soluzioni adottabili. Inoltre tale analisi può essere ampliata anche a nuove linee produttive dal momento che il metodo è piuttosto generale; tuttavia la fase di rilevazione dei dati dovrebbe essere adattata, in particolar modo i moduli per la raccolta dei tempi. Infine è possibile ampliare tale metodologia anche ad altre tipologie di *downtime*, andando a rilevare dei dati diversi rispetto ai *micro breakdown*.

Bibliografia

1. Abdul Samat H., Kamaruddin S., Abdul Azid I., 2012, "Integration of Overall Equipment Effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness", *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol 23, pp. 92-113.
2. Al-Chalabi H. S., Lundberg J., Wijaya A., Ghodrati B., 2014, "Downtime analysis of drilling machines and suggestions for improvements", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 20, Issue 4, pp. 306 – 332.
3. Al-Hawari T., Aqlan F., Al-Buhaisi M., Al-Faqeer Z., 2010, "Simulation-based analysis and productivity improvement of a fully automatic bottle-filling production system: a practical case study", *IEEE Computer Society, 2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, pp. 195-199.
4. Andersson C., Bellgran M., 2015, "On the complexity of using *performance* measures: enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity", *Journal of Manufacturing Systems* 35, pp. 144-154.
5. Anvari F., Edwards R., 2011, "Performance measurement based on a total quality approach", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 60, Issue 5, pp. 512 – 528.
6. ASME, 1947, *Operation and flow process chart*, The American Society of Mechanical Engineers, 29 West 39th Street, New York 18, N.Y..
7. Babbs D., Gaskins R., 2008, "Effect of reduced equipment downtime variability on cycle time in a conventional 300mm fab", *2008 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 237-242.
8. Barabady J., 2005, "Reliability and maintainability analysis of crushing plants in Jajarm bauxite mine of Iran", *IEE, RAMS 2005*, pp.109-115.

9. Battini D., Manzini R., Persona A., Regattieri A., 2006, "TPM approach and new *buffer* design paradigm in plant layout", *12th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, NY*.
10. Batumalay Ir. K., Santhapparaj A. S., 2009, "Overall Equipment Effectiveness (OEE) through Total Productive Maintenance (TPM) practices - A study across the Malaysian Industries", *Technical Postgraduates (TECHPOS)*, Kuala Lumpur , pp. 1-5.
11. Beamon B. M., 1999, "Measuring supply chain performance", *International Journal of Operation Management*, Vol. 19, No.3, pp. 275-291.
12. Braglia M., Frosolini M., Zammori F., 2008, "Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML)", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 20, Issue 1, pp. 8 – 29.
13. Dal B., Tugwell P., Greatbanks R., 2000, "Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement – A practical analysis", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20, Issue 12, pp. 1488 – 1502.
14. De Carlo F., Arleo M. A., Tucci M., 2014, "OEE Evaluation of a paced assembly line through different calculation and simulation methods: a case study in the pharmaceutical environment", *International Journal of Engineering Business Management*, pp. 1-11.
15. De Groote P., "Maintenance performance analysis: a practical approach", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 1, Issue 2, pp. 4-24.
16. De Ron A. J., Rooda J. E., 2005, "Equipment Effectiveness: OEE revisited", *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 18, No. 1, pp. 190-196.
17. De Ron A. J., Rooda J. E., 2006, "OEE and equipment effectiveness: an evaluation", *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 23, pp. 4987–5003.
18. Ericsson J., 1997, *Disruption Analysis – an important tool in Lean Production*, Department of Production and Materials Engineering, University of Lund.

19. Ferrari E., Pareschi A., Regattieri A., Persona A., 2002, "TPM: situation and procedure for a soft introduction in Italian factories", *The TQM Magazine*, Vol. 14, Issue 6, pp. 350 – 358.
20. Garza-Reyes J. A., Eldridge S., Barber K. D., Soriano-Meier H., 2010, "Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 27, Issue 1, pp. 48 – 62.
21. Ghalayini A. M., Noble J. S., 1996, "The changing basis of performance measurement", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, No. 8, pp. 63-80.
22. Jain A., Bhatti R. S., Singh H., 2015, "OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 32, Issue 5, pp. 503 – 516.
23. Jonsson P., Lesshammar M., 1999, "Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19, Issue 1, pp. 55 – 78.
24. Kaplan R. S., Norton D. P., 1992, "The balanced scorecard – measures that drive performance", *Harvard Business Review*, Vol. 70, No. 1, pp. 71-79.
25. Kotze D., 1993, "Consistency, accuracy lead to maximum OEE benefits", *TPM News Letter*, Vol. 4, No. 2, AITPM, Productivity Inc., Norwalk, CT.
26. Ljungberg O., 1998, "Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 18, Issue 5, pp. 495 – 507.
27. Lynch R. L., Cross K. F., 1991, *Measure up! Yardsticks for continuous improvement*, Basil Blackwell, Cambridge, MA.
28. Manzini R., Regattieri A., 2007, *Manutenzione dei sistemi di produzione*, Bologna, Progetto Leonardo.

29. Maskell B. H., 1991, *Performance measurement for world class manufacturing: a model for American companies*, Productivity Press, Portland, OR.
30. Minitab, Inc., *Getting started with Minitab 17*, disponibile al sito: http://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17_GettingStarted-en.pdf, ultimo accesso: 04/09/2015.
31. Muchiri P., Pintelon L., 2008, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion", *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 13, pp. 3517–3535.
32. Nachiappan R. M., Anantharaman N., 2006, "Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17, Issue 7, pp. 987 – 1008.
33. Nakajima S., 1988, *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*, Productivity Press, Cambridge, MA.
34. Nord C., Pettersson B., Johansson B., 1997, *TPM: Total Productive Maintenance in the Volvo company*, Idrottens Grafiska I Goteborg AB, Molnlycke.
35. Ohunakin O. S., Leramo R. O., 2012, "Total Productive Maintenance implementation in a beverage industry: a case study", *Journal of Engineering and Applied Sciences* 7, pp. 128-133.
36. Patti A. L., Watson K. J., 2010, "Downtime variability: the impact of duration–frequency on the performance of serial production systems", *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 19, pp. 5831-5841.
37. Puvanasvaran A. P., Mei C. Z., Alagendran V.A., 2013, "Overall Equipment Efficiency improvement using time study in an aerospace industry", *Procedia Engineering* 68, pp. 271 – 277.
38. Rahman C. M. L., Hoque M. A., Uddin S. M., 2014, " Assessment of Total Productive Maintenance implementation through downtime and mean downtime analysis (case

- study: a semi-automated manufacturing company of Bangladesh)", *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 4, Issue 9, pp. 38-47.
39. Regattieri A., Manzini R., Battini D., 2010, "Estimating reliability characteristics in the presence of censored data: a case study in a light commercial vehicle manufacturing system", *Reliability Engineering and System Safety* 95, pp.1093-1102.
40. Rößler M. P., Abele E., 2013, "Uncertainty in the analysis of the overall equipment effectiveness on the shop floor", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 46, pp. 1-9.
41. Singh Jolly S., Jit Singh B., 2014, "An approach to enhance availability of repairable systems: a case study of SPMs", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 31, Issue 9, pp. 1031-1051.
42. Sullivan W.G., Wicks E.M., Luxhoj J.T., 2006, *Economia applicata all'ingegneria*, Milano, Pearson.
43. Tsarouhas P. H., 2007, "Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 13, Issue 1, pp. 5 – 18.
44. Tsarouhas P. H., 2013a, "Equipment performance evaluation in a production plant of traditional Italian cheese", *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 19, pp. 5897–5907.
45. Tsarouhas P. H., 2013b, "Evaluation of overall equipment effectiveness in the beverage industry: a case study", *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 2, pp. 512-523.
46. Tsarouhas P. H., Arvanitoyannis I. S., 2010, "Assessment of operation management for beer packaging line based on field failure data: a case study", *Journal of Food Engineering* 98, pp. 51–59.

47. Tsarouhas P. H., Arvanitoyannis I. S., 2012, "Reliability and maintainability analysis to improve the operation of the limoncello production line", *International Journal of Food Science and Technology* 47, pp. 1669–1675.
48. Tsarouhas P. H., Arvanitoyannis I. S., 2014, "Yogurt production line: reliability analysis", *Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal*, Vol. 2, No. 1, pp. 11-23.
49. Tsarouhas P. H., Arvanitoyannis I. S., Ampatzis Z. D., 2009, "A case study of investigating reliability and maintainability in a Greek juice bottling medium size enterprise (MSE)", *Journal of Food Engineering* 95, pp. 479–488.
50. Tsarouhas P. H., Varzakas T. H., Arvanitoyannis I. S., 2009, "Reliability and maintainability analysis of strudel production line with experimental data – A case study", *Journal of Food Engineering* 91, pp. 250–259.
51. Wudhikarn R., 2013, "A framework for integrating Overall Equipment Effectiveness with Analytic Network Process Method", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 4, No. 3., pp. 351-355.
52. Zammori F., Braglia M., Frosolini M., 2011, "Stochastic overall equipment effectiveness", *International Journal of Production Research*, Vol. 49, No. 21, pp. 6469-6490.
53. Zhu X., 2011, "Analysis and improvement of enterprise's equipment effectiveness based on OEE", *IEEE, College of Mechanical and Electronic, China*, pp. 4167-4171.

Tabelle di calcolo

Data	Ore lavoro	Tempo fermate pianificate [min]	Tempo setup/difetti [min]	Tempo totale di produzione disponibile [min]	Disponibilità
01/03/2015				0	
02/03/2015	18	0	87	993	91,94%
03/03/2015	24	30	36	1374	97,45%
04/03/2015	22	30	113	1177	91,24%
05/03/2015	18	0	69	1011	93,61%
06/03/2015	22	30	146	1144	88,68%
07/03/2015				0	
08/03/2015				0	
09/03/2015	16	0	91	869	90,52%
10/03/2015	16	189	69	702	91,05%
11/03/2015	16	0	75	885	92,19%
12/03/2015	16	0	94	866	90,21%
13/03/2015	16	240	44	676	93,89%
14/03/2015				0	
15/03/2015				0	
16/03/2015	18	0	79	1001	92,69%
17/03/2015	24	30	67	1343	95,25%
18/03/2015	22	30	70	1220	94,57%
19/03/2015	18	30	102	948	90,29%
20/03/2015	24	30	88	1322	93,76%
21/03/2015	6	0	45	315	87,50%
22/03/2015				0	
23/03/2015	18	560	55	465	89,42%
24/03/2015	24	44	156	1240	88,83%
25/03/2015	22	30	91	1199	92,95%
26/03/2015	18	0	95	985	91,20%
27/03/2015	24	30	130	1280	90,78%
28/03/2015	14	90	109	641	85,47%
29/03/2015				0	
30/03/2015	18	0	94	986	91,30%
31/03/2015	24	28	82	1330	94,19%
01/04/2015	22	30	124	1166	90,39%
02/04/2015	18	0	103	977	90,46%
03/04/2015	24	30	113	1297	91,99%
04/04/2015	6	120	30	210	87,50%
05/04/2015				0	
06/04/2015				0	
07/04/2015	18	0	89	991	91,76%
08/04/2015	22	30	169	1121	86,90%
09/04/2015	18	0	84	996	92,22%
10/04/2015	24	270	46	1124	96,07%
11/04/2015	14	80	74	686	90,26%
12/04/2015				0	
13/04/2015	18	0	88	992	91,85%
14/04/2015	24	30	127	1283	90,99%
15/04/2015	22	30	125	1165	90,31%
16/04/2015	18	0	84	996	92,22%
17/04/2015	24	30	99	1311	92,98%
18/04/2015	14	150	61	629	91,16%
19/04/2015				0	
20/04/2015	16	0	52	908	94,58%
21/04/2015	18	0	69	1011	93,61%
22/04/2015	22	30	113	1177	91,24%
23/04/2015	18	215	56	809	93,53%
24/04/2015	22	330	88	902	91,11%
25/04/2015				0	
26/04/2015				0	
27/04/2015	16	0	57	903	94,06%
28/04/2015	16	0	37	923	96,15%
29/04/2015	16	0	101	859	89,48%
30/04/2015	16	60	54	846	94,00%

Tabella 134: Calcolo disponibilità con dati e metodo aziendale

Data	Produzione cadenza 1	Produzione cadenza 2	Produzione cadenza 3	Velocità cadenza 1	Tempo assegnato cadenza 1 [min]	Velocità cadenza 2	Tempo assegnato cadenza 2 [min]	Velocità cadenza 3	Tempo assegnato cadenza 3 [min]	Efficienza meccanica
01/03/2015										
02/03/2015	158436	280986	60138	37000	257	421	421	36000	100	78,41%
03/03/2015	312960	318830	0	37000	508	477	477	36000	0	71,69%
04/03/2015	310158	185154	39816	37000	503	278	278	36000	66	71,97%
05/03/2015	159360	351408	0	37000	258	527	527	36000	0	77,70%
06/03/2015	334404	300822	0	37000	542	451	451	36000	0	86,85%
07/03/2015										
08/03/2015										
09/03/2015	90240	319274	66000	37000	146	479	479	36000	110	84,60%
10/03/2015	231090	121282	0	37000	375	182	182	36000	0	79,27%
11/03/2015	199440	121384	0	37000	323	257	257	36000	0	65,99%
12/03/2015	175926	120984	31886	37000	285	181	181	36000	53	60,04%
13/03/2015	164124	182472	0	37000	286	274	274	36000	0	79,88%
14/03/2015										
15/03/2015										
16/03/2015	119790	219006	120504	37000	194	329	329	36000	201	72,29%
17/03/2015	480972	63000	48600	37000	780	95	95	36000	81	71,14%
18/03/2015	81822	278754	159852	37000	133	418	418	36000	266	66,99%
19/03/2015	278064	146088	30240	37000	451	219	219	36000	50	76,00%
20/03/2015	394260	178338	95502	37000	639	268	268	36000	159	80,64%
21/03/2015	25080	138188	0	37000	41	207	207	36000	0	78,71%
22/03/2015										
23/03/2015	307720	45426	0	37000	337	68	68	36000	0	87,09%
24/03/2015	228980	200124	140478	37000	373	300	300	36000	234	73,15%
25/03/2015	415002	205764	0	37000	673	309	309	36000	0	81,87%
26/03/2015	401988	30240	0	37000	652	45	45	36000	0	70,79%
27/03/2015	272148	396786	0	37000	441	595	595	36000	0	80,98%
28/03/2015	180588	117552	44436	37000	293	176	176	36000	74	84,75%
29/03/2015										
30/03/2015	210690	204186	100290	37000	342	306	306	36000	167	82,67%
31/03/2015	466866	0	244236	37000	757	0	0	36000	407	87,53%
01/04/2015	264924	336816	0	37000	430	505	505	36000	80,17%	80,17%
02/04/2015	221478	141806	100614	37000	359	212	212	36000	188	75,67%
03/04/2015	152520	401508	141078	37000	247	602	602	36000	235	83,63%
04/04/2015	118362	0	0	37000	192	0	0	36000	0	91,40%
05/04/2015										
06/04/2015										
07/04/2015										
08/04/2015	222024	16584	30240	37000	360	250	250	36000	50	66,63%
09/04/2015	291504	311640	0	37000	473	467	467	36000	0	83,87%
10/04/2015	189720	343302	0	37000	308	515	515	36000	0	82,59%
11/04/2015	167520	437610	0	37000	272	656	656	36000	0	82,57%
12/04/2015	361998	0	0	37000	587	0	0	36000	0	85,57%
13/04/2015										
14/04/2015	393976	80982	0	37000	648	121	121	36000	0	77,60%
15/04/2015	291048	421988	0	37000	472	633	633	36000	0	86,12%
16/04/2015	200466	430548	0	37000	325	646	646	36000	0	83,34%
17/04/2015	140160	398680	0	37000	227	595	595	36000	0	82,58%
18/04/2015	310506	333238	41226	37000	504	500	500	36000	69	81,78%
19/04/2015	260844	22542	46758	37000	423	34	34	36000	78	85,01%
20/04/2015										
21/04/2015	0	222516	120528	37000	0	334	334	36000	201	58,88%
22/04/2015	148482	184212	100464	37000	241	276	276	36000	167	67,71%
23/04/2015	266916	197028	160212	37000	433	296	296	36000	67	84,57%
24/04/2015	68640	306534	0	37000	111	460	460	36000	0	70,59%
25/04/2015	185628	221466	33516	37000	301	332	332	36000	56	76,39%
26/04/2015										
27/04/2015	100518	305718	0	37000	163	459	459	36000	0	68,83%
28/04/2015	144862	338586	0	37000	243	508	508	36000	84	81,35%
29/04/2015	262644	111780	50400	37000	426	168	168	36000	0	78,88%
30/04/2015	377520	70056	0	37000	612	105	105	36000	0	84,78%

Tabella 135: Calcolo efficienza meccanica con dati e metodo aziendale

Data	Bottiglie dopo raddrizzatori	Bottiglie dopo palettizzatore	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	505978	489432	96,73%	69,74%
03/03/2015	626714	616704	98,40%	68,74%
04/03/2015	529807	515064	97,22%	63,84%
05/03/2015	519982	505986	97,31%	70,78%
06/03/2015	626495	608820	97,18%	74,84%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	480128	463152	96,46%	73,87%
10/03/2015	354890	343632	96,83%	69,89%
11/03/2015	373867	359226	96,08%	58,10%
12/03/2015	332028	314322	94,67%	51,27%
13/03/2015	348144	334452	96,07%	72,03%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	466146	442788	94,99%	63,64%
17/03/2015	587812	567294	96,51%	65,40%
18/03/2015	513343	492114	95,86%	60,73%
19/03/2015	458915	438270	95,50%	65,53%
20/03/2015	664604	639810	96,27%	72,78%
21/03/2015	153335	148230	96,67%	66,57%
22/03/2015				
23/03/2015	257119	241032	93,74%	73,01%
24/03/2015	567514	543174	95,71%	62,19%
25/03/2015	612713	602550	98,34%	74,83%
26/03/2015	438590	420876	95,96%	61,95%
27/03/2015	663238	643530	97,03%	71,33%
28/03/2015	341765	327606	95,86%	69,43%
29/03/2015				
30/03/2015	516363	495228	95,91%	72,38%
31/03/2015	711179	700326	98,47%	81,19%
01/04/2015	594682	569424	95,75%	69,39%
02/04/2015	469997	442566	94,16%	64,45%
03/04/2015	691519	666990	96,45%	74,20%
04/04/2015	109272	108336	99,14%	79,29%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	421614	403044	95,60%	58,45%
08/04/2015	599570	588042	98,08%	71,48%
09/04/2015	536324	520836	97,11%	73,97%
10/04/2015	600197	582306	97,02%	76,96%
11/04/2015	352197	341040	96,83%	74,79%
12/04/2015				
13/04/2015	486481	472710	97,17%	69,26%
14/04/2015	710204	696438	98,06%	76,84%
15/04/2015	628326	609138	96,95%	72,97%
16/04/2015	543878	532056	97,83%	74,51%
17/04/2015	685496	660684	96,38%	73,28%
18/04/2015	320023	309378	96,67%	74,92%
19/04/2015				
20/04/2015	346865	331548	95,58%	53,23%
21/04/2015	437720	417762	95,44%	60,49%
22/04/2015	616540	595020	96,51%	74,47%
23/04/2015	380535	358188	94,13%	62,15%
24/04/2015	435684	406800	93,37%	64,99%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	409533	401310	97,99%	63,45%
28/04/2015	490188	479628	97,85%	76,53%
29/04/2015	428540	409446	95,54%	67,44%
30/04/2015	450213	433560	96,30%	76,75%

Tabella 136: Calcolo qualità e OEE con dati e metodo aziendale

Data	Ore lavoro	Tempo fermate pianificate [min]	Tempo setup/difetti [min]	Tempo totale di produzione disponibile [min]	Disponibilità
01/03/2015					
02/03/2015	18	0	87	993	91,94%
03/03/2015	24	30	36	1374	97,45%
04/03/2015	22	30	113	1177	91,24%
05/03/2015	18	0	69	1011	93,61%
06/03/2015	22	30	146	1144	88,68%
07/03/2015					
08/03/2015					
09/03/2015	16	0	91	869	90,52%
10/03/2015	16	189	69	702	91,05%
11/03/2015	16	0	75	885	92,19%
12/03/2015	16	0	94	866	90,21%
13/03/2015	16	240	44	676	93,89%
14/03/2015					
15/03/2015					
16/03/2015	18	0	79	1001	92,69%
17/03/2015	24	30	67	1343	95,25%
18/03/2015	22	30	70	1220	94,57%
19/03/2015	18	30	102	948	90,29%
20/03/2015	24	30	88	1322	93,76%
21/03/2015	6	0	45	315	87,50%
22/03/2015					
23/03/2015	18	560	55	465	89,42%
24/03/2015	24	44	156	1240	88,83%
25/03/2015	22	30	91	1199	92,95%
26/03/2015	18	0	95	985	91,20%
27/03/2015	24	30	130	1280	90,78%
28/03/2015	14	90	109	641	85,47%
29/03/2015					
30/03/2015	18	0	94	986	91,30%
31/03/2015	24	28	82	1330	94,19%
01/04/2015	22	30	124	1166	90,39%
02/04/2015	18	0	103	977	90,46%
03/04/2015	24	30	113	1297	91,99%
04/04/2015	6	120	30	210	87,50%
05/04/2015					
06/04/2015					
07/04/2015	18	0	89	991	91,76%
08/04/2015	22	30	169	1121	86,90%
09/04/2015	18	0	84	996	92,22%
10/04/2015	24	270	46	1124	96,07%
11/04/2015	14	80	74	686	90,26%
12/04/2015					
13/04/2015	18	0	88	992	91,85%
14/04/2015	24	30	127	1283	90,99%
15/04/2015	22	30	125	1165	90,31%
16/04/2015	18	0	84	996	92,22%
17/04/2015	24	30	99	1311	92,98%
18/04/2015	14	150	61	629	91,16%
19/04/2015					
20/04/2015	16	0	52	908	94,58%
21/04/2015	18	0	69	1011	93,61%
22/04/2015	22	30	113	1177	91,24%
23/04/2015	18	215	56	809	93,53%
24/04/2015	22	330	88	902	91,11%
25/04/2015					
26/04/2015					
27/04/2015	16	0	57	903	94,06%
28/04/2015	16	0	37	923	96,15%
29/04/2015	16	0	101	859	89,48%
30/04/2015	16	60	54	846	94,00%

Tabella 137: Calcolo disponibilità con dati rilevati e metodo aziendale

Data	Tempo guasto [min]	Tempo microfermata [s]	Tempo starving [s]	Tempo blocking [s]	Tempi per setup [s]	Tempo reale blocking/starving [s]	Moltiplicatore	Tempo totale di produzione effettivo [min]	Efficienza
01/03/2015									
02/03/2015	0	1790	2690	2090	0	4780	4,5	779	78,46%
03/03/2015	170	11980	1110	1190	1130	11960	24	927	67,44%
04/03/2015	90	1660	11510	3010	940	13580	2,38	795	67,53%
05/03/2015	0	1365	5150	2900	0	7650	1,95	839	89,00%
06/03/2015	0	1375	2680	2510	910	4280	2,38	1018	89,00%
07/03/2015									
08/03/2015									
09/03/2015	0	765	5600	1000	3250	3350	2,29	784	90,22%
10/03/2015	0	195	10980	2430	7680	5730	16	555	78,99%
11/03/2015	90	1150	9420	5390	1770	13040	1,83	543	61,31%
12/03/2015	116	1770	10470	1090	0	11560	1,83	503	58,12%
13/03/2015	0	1680	2210	570	860	1920	2,56	574	84,98%
14/03/2015									
15/03/2015									
16/03/2015	30	1290	6860	770	590	7040	4,5	757	75,62%
17/03/2015	135	195	3270	10180	1180	12270	24	926	68,91%
18/03/2015	185	1320	2150	10440	700	11890	2,51	782	64,07%
19/03/2015	30	3230	5550	780	320	6010	2,06	707	74,57%
20/03/2015	0	2380	2690	2680	830	4540	2,59	1144	86,51%
21/03/2015	0	195	1300	500	10	1790	6	266	84,34%
22/03/2015									
23/03/2015	0	195	760	1010	0	1770	2	429	92,26%
24/03/2015	0	195	10390	4200	1340	13250	24	941	75,90%
25/03/2015	0	1160	3460	3410	70	6800	2,51	1037	86,50%
26/03/2015	0	1440	7710	4650	10	12350	2,06	730	74,08%
27/03/2015	0	1400	2490	4600	340	6750	2,5	1109	86,65%
28/03/2015	0	195	3450	1350	1520	3280	14	541	84,37%
29/03/2015									
30/03/2015	0	515	3550	2440	20	5970	4,5	848	85,99%
31/03/2015	0	195	1870	1870	0	4840	24	1171	88,07%
01/04/2015	75	1275	4050	6250	820	9480	2,51	880	75,44%
02/04/2015	30	2115	2750	3600	20	6330	1,95	773	79,10%
03/04/2015	0	1420	4400	2580	490	6490	2,74	1124	86,66%
04/04/2015	0	194	420	880	410	890	2	189	89,86%
05/04/2015									
06/04/2015									
07/04/2015	30	194	15300	1390	3870	12820	18	689	69,54%
08/04/2015	20	1495	3210	4490	1310	6390	2,51	932	83,14%
09/04/2015	0	1300	3100	1095	0	4135	1,95	885	88,84%
10/04/2015	0	980	4650	830	1830	3650	3,84	1000	89,01%
11/04/2015	0	194	1650	3500	110	5040	14	557	81,16%
12/04/2015									
13/04/2015	20	1255	820	4380	0	5200	4,32	795	80,14%
14/04/2015	0	194	1700	3150	60	4790	24	1126	87,73%
15/04/2015	0	3290	2950	910	810	3050	2,51	977	83,82%
16/04/2015	0	1505	2380	2190	240	4330	2,06	872	87,57%
17/04/2015	0	2010	2930	1450	100	4280	2,74	1148	87,56%
18/04/2015	0	194	2790	1680	2060	2410	14	544	86,42%
19/04/2015									
20/04/2015	160	730	11230	490	1900	9820	4,17	534	58,77%
21/04/2015	95	194	8220	2140	130	10230	18	687	67,98%
22/04/2015	38	1250	3970	3710	900	6780	2,51	974	82,73%
23/04/2015	40	570	17770	1080	11920	6880	2,73	628	77,68%
24/04/2015	65	1190	9280	4470	6590	7160	3,52	648	71,82%
25/04/2015									
26/04/2015									
27/04/2015	114	590	3360	3770	860	6270	4,57	640	70,83%
28/04/2015	34	194	3910	1910	770	5050	16	753	81,59%
29/04/2015	38	2080	5130	3440	2680	5890	1,83	659	76,16%
30/04/2015	19	1685	4000	2500	330	6170	1,83	673	79,52%

Tabella 138: Calcolo dell'efficienza meccanica con dati rilevati e metodo aziendale

Data	Bottiglie dopo raddrizzatori	Bottiglie dopo palettizzatore	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	505978	489432	96,73%	69,78%
03/03/2015	626714	616704	98,40%	64,67%
04/03/2015	529807	515064	97,22%	59,90%
05/03/2015	519982	505986	97,31%	75,61%
06/03/2015	626495	608820	97,18%	76,70%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	480128	463152	96,46%	78,78%
10/03/2015	354890	343632	96,83%	69,64%
11/03/2015	373867	359226	96,08%	54,31%
12/03/2015	332028	314322	94,67%	49,64%
13/03/2015	348144	334452	96,07%	76,65%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	466146	442788	94,99%	66,57%
17/03/2015	587812	567294	96,51%	63,35%
18/03/2015	513343	492114	95,86%	58,08%
19/03/2015	458915	438270	95,50%	64,30%
20/03/2015	664604	639810	96,27%	78,08%
21/03/2015	153335	148230	96,67%	71,34%
22/03/2015				
23/03/2015	257119	241032	93,74%	77,34%
24/03/2015	567514	543174	95,71%	64,53%
25/03/2015	612713	602550	98,34%	79,06%
26/03/2015	438590	420876	95,96%	64,84%
27/03/2015	663238	643530	97,03%	76,33%
28/03/2015	341765	327606	95,86%	69,12%
29/03/2015				
30/03/2015	516363	495228	95,91%	75,29%
31/03/2015	711179	700326	98,47%	81,69%
01/04/2015	594682	569424	95,75%	65,29%
02/04/2015	469997	442566	94,16%	67,38%
03/04/2015	691519	666990	96,45%	76,89%
04/04/2015	109272	108336	99,14%	77,95%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	421614	403044	95,60%	61,00%
08/04/2015	599570	588042	98,08%	70,86%
09/04/2015	536324	520836	97,11%	79,56%
10/04/2015	600197	582306	97,02%	82,96%
11/04/2015	352197	341040	96,83%	70,93%
12/04/2015				
13/04/2015	486481	472710	97,17%	71,52%
14/04/2015	710204	696438	98,06%	78,28%
15/04/2015	628326	609138	96,95%	73,39%
16/04/2015	543878	532056	97,83%	79,00%
17/04/2015	685496	660684	96,38%	78,46%
18/04/2015	320023	309378	96,67%	76,16%
19/04/2015				
20/04/2015	346865	331548	95,58%	53,13%
21/04/2015	437720	417762	95,44%	60,74%
22/04/2015	616540	595020	96,51%	72,85%
23/04/2015	380535	358188	94,13%	68,38%
24/04/2015	435684	406800	93,37%	61,10%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	409533	401310	97,99%	65,28%
28/04/2015	490188	479628	97,85%	76,76%
29/04/2015	428540	409446	95,54%	65,63%
30/04/2015	450213	433560	96,30%	71,99%

Tabella 139: Calcolo qualità e OEE con dati rilevati e metodo aziendale

Data	Ore lavoro [h]	Tempo fermate pianificate [min]	Tempo setup [min]	Tempo guasto [min]	Tempo totale di produzione disponibile [s]	Disponibilità
01/03/2015						
02/03/2015	18	0	54	0	1026	95,00%
03/03/2015	24	30	36	170	1204	83,61%
04/03/2015	22	30	105	90	1095	82,95%
05/03/2015	18	0	56	0	1024	94,81%
06/03/2015	22	30	87	0	1203	91,14%
07/03/2015						
08/03/2015						
09/03/2015	16	0	84	0	876	91,25%
10/03/2015	16	189	61	0	710	73,96%
11/03/2015	16	0	55	90	815	84,90%
12/03/2015	16	0	85	116	759	79,06%
13/03/2015	16	240	44	0	676	70,42%
14/03/2015						
15/03/2015						
16/03/2015	18	0	71	30	979	90,65%
17/03/2015	24	30	58	135	1217	84,51%
18/03/2015	22	30	68	185	1037	78,56%
19/03/2015	18	30	78	30	942	87,22%
20/03/2015	24	30	81	0	1329	92,29%
21/03/2015	6	0	45	0	315	87,50%
22/03/2015						
23/03/2015	18	560	33	0	487	45,09%
24/03/2015	24	44	113	0	1283	89,10%
25/03/2015	22	30	76	0	1214	91,97%
26/03/2015	18	0	40	0	1040	96,30%
27/03/2015	24	30	96	0	1314	91,25%
28/03/2015	14	90	35	0	715	85,12%
29/03/2015						
30/03/2015	18	0	73	0	1007	93,24%
31/03/2015	24	28	68	0	1344	93,33%
01/04/2015	22	30	109	75	1106	83,79%
02/04/2015	18	0	75	30	975	90,28%
03/04/2015	24	30	88	0	1322	91,81%
04/04/2015	6	120	30	0	210	58,33%
05/04/2015						
06/04/2015						
07/04/2015	18	0	75	30	975	90,28%
08/04/2015	22	30	110	20	1160	87,88%
09/04/2015	18	0	52	0	1028	95,19%
10/04/2015	24	270	31	0	1139	79,10%
11/04/2015	14	80	70	0	690	82,14%
12/04/2015						
13/04/2015	18	0	25	20	1035	95,83%
14/04/2015	24	30	65	0	1345	93,40%
15/04/2015	22	30	84	0	1206	91,36%
16/04/2015	18	0	44	0	1036	95,93%
17/04/2015	24	30	89	0	1321	91,74%
18/04/2015	14	150	61	0	629	74,88%
19/04/2015						
20/04/2015	16	0	52	160	748	77,92%
21/04/2015	18	0	63	95	922	85,37%
22/04/2015	22	30	105	38	1147	86,89%
23/04/2015	18	215	46	40	779	72,13%
24/04/2015	22	330	88	65	837	63,41%
25/04/2015						
26/04/2015						
27/04/2015	16	0	57	114	789	82,19%
28/04/2015	16	0	37	34	889	92,60%
29/04/2015	16	0	75	38	847	88,23%
30/04/2015	16	60	40	19	841	87,60%

Tabella 140: Calcolo disponibilità con dati rilevati e metodo classico

Data	Tempo microfermata [s]	Tempo staving [s]	Tempo blocking [s]	Tempi per setup [s]	Tempo staving/blocking [s]	Moltiplicatore per microfermate	Tempo totale di produzione effettivo [s]	Efficienza meccanica
01/03/2015								
02/03/2015	1790	2690	2090	0	4780	4,5	812	79,15%
03/03/2015	195	11980	1110	1130	11960	24	927	76,97%
04/03/2015	1660	3010	3000	940	13580	2,38	803	73,32%
05/03/2015	1365	5150	2500	0	7650	1,95	852	83,22%
06/03/2015	1375	2680	2510	910	4280	2,38	1077	89,54%
07/03/2015								
08/03/2015								
09/03/2015	765	5600	1000	3250	3350	2,29	791	90,29%
10/03/2015	195	10980	2430	7680	5730	16	563	79,23%
11/03/2015	1150	9420	5380	1770	13040	1,83	563	69,03%
12/03/2015	1770	10470	1090	0	11560	1,83	512	67,50%
13/03/2015	1630	2210	570	860	1920	2,56	574	84,98%
14/03/2015								
15/03/2015								
16/03/2015	1290	6860	770	590	7040	4,5	765	78,13%
17/03/2015	195	3270	10180	1180	12270	24	935	76,79%
18/03/2015	1320	2150	10440	700	11890	2,51	784	75,57%
19/03/2015	3230	5550	780	320	6010	2,06	731	77,59%
20/03/2015	2380	2690	2680	830	4540	2,59	1151	86,58%
21/03/2015	195	1300	500	10	1790	6	266	84,34%
22/03/2015								
23/03/2015	195	760	1010	0	1770	2	451	92,61%
24/03/2015	195	10390	970	1340	10020	24	1038	80,90%
25/03/2015	1160	3460	3410	70	6800	2,51	1052	86,67%
26/03/2015	1440	7710	2670	10	10370	2,06	818	78,63%
27/03/2015	1400	2490	4600	340	6750	2,5	1143	87,00%
28/03/2015	195	3450	1350	1520	3280	14	615	85,99%
29/03/2015								
30/03/2015	515	3550	2440	0	5970	4,5	869	86,28%
31/03/2015	195	2970	1870	820	4840	24	1185	88,19%
01/04/2015	1275	4050	6250	0	9480	2,51	895	80,89%
02/04/2015	2115	2750	3600	20	6330	1,95	801	82,13%
03/04/2015	1420	4400	2580	490	6490	2,74	1149	86,91%
04/04/2015	194	420	880	410	890	2	189	89,86%
05/04/2015								
06/04/2015								
07/04/2015	194	15300	1390	3870	12820	18	703	72,12%
08/04/2015	1495	3210	4490	1310	6390	2,51	991	85,43%
09/04/2015	1300	3100	1035	0	4135	1,95	917	89,19%
10/04/2015	980	4650	830	1830	3650	3,84	1015	89,15%
11/04/2015	194	1650	3500	110	5040	14	561	81,27%
12/04/2015								
13/04/2015	1255	820	4380	0	5200	4,32	858	82,90%
14/04/2015	194	1700	3150	60	4790	24	1188	88,29%
15/04/2015	3290	2950	910	810	3050	2,51	1018	84,37%
16/04/2015	1505	2380	2190	240	4330	2,06	912	88,05%
17/04/2015	2010	2930	1450	100	4280	2,74	1158	87,65%
18/04/2015	194	2790	1680	2060	2410	14	544	86,42%
19/04/2015								
20/04/2015	730	11230	490	1900	9820	4,17	534	71,34%
21/04/2015	194	8220	2140	130	10230	18	693	75,20%
22/04/2015	1250	3970	3710	900	6780	2,51	982	85,59%
23/04/2015	570	17770	1030	11920	6880	2,73	638	81,95%
24/04/2015	1190	9280	4470	6590	7160	3,52	648	77,40%
25/04/2015								
26/04/2015								
27/04/2015	590	3360	3770	860	6270	4,57	640	81,06%
28/04/2015	194	3910	1910	770	5050	16	753	84,71%
29/04/2015	2080	5130	3440	2680	5890	1,83	685	80,92%
30/04/2015	1685	4000	2500	330	6170	1,83	687	81,66%

Tabella 141: Calcolo efficienza meccanica con dati rilevati e metodo classico

Data	Bottiglie dopo raddrizzatori	Bottiglie dopo palettizzatore	Qualità	OEE
01/03/2015				
02/03/2015	515.069	499.560	96,99%	72,93%
03/03/2015	634.666	631.290	99,47%	64,01%
04/03/2015	535.428	530.039	98,99%	60,21%
05/03/2015	526.769	510.768	96,96%	76,50%
06/03/2015	635.226	627.011	98,71%	80,55%
07/03/2015				
08/03/2015				
09/03/2015	481.370	475.464	98,77%	81,38%
10/03/2015	356.117	352.272	98,92%	57,96%
11/03/2015	374.326	370.416	98,96%	57,99%
12/03/2015	332.216	328.794	98,97%	52,82%
13/03/2015	349.356	346.596	99,21%	59,37%
14/03/2015				
15/03/2015				
16/03/2015	475.171	459.300	96,66%	68,46%
17/03/2015	597.210	591.072	98,97%	64,23%
18/03/2015	520.428	513.665	98,70%	58,59%
19/03/2015	468.197	454.392	97,05%	65,68%
20/03/2015	673.835	668.100	99,15%	79,22%
21/03/2015	163.266	153.403	93,96%	69,34%
22/03/2015				
23/03/2015	265.775	253.146	95,25%	39,77%
24/03/2015	576.567	570.492	98,95%	71,32%
25/03/2015	619.326	613.334	99,03%	78,94%
26/03/2015	448.612	434.238	96,80%	73,29%
27/03/2015	668.934	666.669	99,66%	79,12%
28/03/2015	342.576	341.792	99,77%	73,03%
29/03/2015				
30/03/2015	526.231	515.166	97,90%	78,76%
31/03/2015	720.329	711.102	98,72%	81,26%
01/04/2015	601.740	594.851	98,86%	67,00%
02/04/2015	480.179	463.698	96,57%	71,60%
03/04/2015	698.520	695.106	99,51%	79,40%
04/04/2015	118.362	109.273	92,32%	48,39%
05/04/2015				
06/04/2015				
07/04/2015	432.378	418.848	96,87%	63,07%
08/04/2015	603.144	599.803	99,45%	74,66%
09/04/2015	546.624	533.022	97,51%	82,78%
10/04/2015	610.048	605.130	99,19%	69,95%
11/04/2015	361.998	352.563	97,39%	65,01%
12/04/2015				
13/04/2015	493.097	480.768	97,50%	77,46%
14/04/2015	718.649	712.986	99,21%	81,82%
15/04/2015	631.014	629.009	99,68%	76,84%
16/04/2015	544.750	537.000	98,58%	83,26%
17/04/2015	696.095	684.960	98,40%	79,12%
18/04/2015	330.144	320.062	96,95%	62,73%
19/04/2015				
20/04/2015	348.126	343.044	98,54%	54,77%
21/04/2015	447.134	433.638	96,98%	62,26%
22/04/2015	623.676	616.551	98,86%	73,52%
23/04/2015	388.275	375.174	96,63%	57,12%
24/04/2015	440.610	436.931	99,17%	48,67%
25/04/2015				
26/04/2015				
27/04/2015	410.176	406.236	99,04%	65,98%
28/04/2015	490.921	488.454	99,50%	78,05%
29/04/2015	429.430	424.824	98,93%	70,63%
30/04/2015	450.237	447.576	99,41%	71,12%

Tabella 142: Calcolo qualità e OEE con dati rilevati e metodo classico

Data	Tempo pasto [min]	Tempo starving pallettizzatore	Tempi recuperabili mangifera	Tempo recuperabile su starving pallettizzatore	Tempo starving imminente pallettizzatore	Tempo starving mangifera	Tempi recuperabili confezione	Tempo recuperabile su starving mangifera
01/03/2015	0	2690	0	0	2690	4260	675	675
02/03/2015	170	650	672	650	0	1760	1608	1608
03/03/2015	130	2770	0	2770	2770	2770	357	357
04/03/2015	0	2520	234	234	2286	2990	224	224
05/03/2015	0	1770	762	762	1008	2100	881	881
07/03/2015								
08/03/2015	0	2220	412	412	1808	1650	389	389
09/03/2015	0	3300	448	448	2852	1150	1072	1072
10/03/2015	238	7650	92	92	7599	5950	549	549
11/03/2015	116	30	933	30	0	4680	988	988
12/03/2015	0	1350	102	102	1248	3600	3699	3600
13/03/2015								
14/03/2015								
15/03/2015								
16/03/2015	30	4470	900	900	3570	5300	685	5300
17/03/2015	135	2090	672	672	1418	2450	1608	1608
18/03/2015	185	1450	201	201	1249	3150	3012	3012
19/03/2015	30	3450	402	402	3028	4450	412	412
20/03/2015	0	1860	2590	1860	0	3340	492	492
21/03/2015	0	260	188	188	92	550	402	402
22/03/2015								
23/03/2015	0	760	504	504	256	2660	1206	1206
24/03/2015	0	9050	672	672	8378	9490	1608	1608
25/03/2015	0	3390	402	402	2988	4840	628	628
26/03/2015	0	7700	845	845	6855	8140	2153	2153
27/03/2015	0	2150	338	338	1813	3660	788	788
28/03/2015	0	1930	392	392	1538	940	938	938
29/03/2015								
30/03/2015	0	3530	90	90	3440	3470	1418	1418
31/03/2015	0	2970	672	672	2288	3380	1608	1608
01/04/2015	75	410	402	402	8	2080	1343	1343
02/04/2015	30	2730	800	800	1931	5590	2252	2252
03/04/2015	0	3910	822	822	3088	3700	2726	2726
04/04/2015	0	10	150	10	0	10	480	10
05/04/2015								
06/04/2015								
07/04/2015	150	1230	450	450	780	1970	1440	1440
08/04/2015	20	1900	251	251	1649	3130	1205	1205
09/04/2015	0	1530	332	332	1199	2200	1316	1316
10/04/2015	0	2350	384	384	1966	2940	1555	1555
11/04/2015	0	1540	350	350	1199	1440	1120	1120
12/04/2015								
13/04/2015	20	100	389	100	0	4820	130	130
14/04/2015	0	1640	600	600	1040	3300	1920	1920
15/04/2015	0	2140	100	100	2040	3340	1970	1970
16/04/2015	0	474	474	474	1666	2360	1998	1998
17/04/2015	0	2410	658	658	1752	3970	986	986
18/04/2015	0	730	350	350	380	1630	1120	1120
19/04/2015								
20/04/2015	160	30	0	0	30	3220	3482	3220
21/04/2015	95	2390	450	450	1940	5940	1440	1440
22/04/2015	38	790	402	402	388	3440	1632	1632
23/04/2015	40	3450	0	0	3450	5660	846	846
24/04/2015	65	2890	211	211	2479	3100	3573	3100
25/04/2015								
26/04/2015								
27/04/2015	114	2500	3885	2500	0	3180	663	663
28/04/2015	34	1100	400	400	700	1280	720	720
29/04/2015	38	170	110	110	60	1630	805	805
30/04/2015	19	4530	421	421	4109	4280	860	860

Tabella 143: Calcolo tempi recuperabili dallo starving (1)

Data	Tempo starwing rimanente manipolatrice	Tempo starwing rimanente palletizzatore	Tempo starwing confezionatrice	Tempo recuperabili etichettatrice	Tempo recuperabile su starwing confezionatrice	Tempo starwing rimanente manipolatrice 2	Tempo starwing rimanente palletizzatore 3	Tempo recuperabili su starwing (s)
01/03/2015	3955	2015	730	1755	730	2855	1285	1405
02/03/2015	152	-1608	1100	1584	1100	-948	-2708	650
03/03/2015	2413	2413	1120	928	928	1485	1485	1285
04/03/2015	2062	2062	312	420	312	2054	1750	770
05/03/2015	1219	128	1150	1095	1095	125	-967	1770
07/03/2015								
08/03/2015	1261	1419	830	447	447	814	972	1248
10/03/2015	1780	1780	490	1056	490	-412	1290	1598
11/03/2015	5401	7000	130	1327	130	5271	6880	771
12/03/2015	3692	-988	3700	2873	2873	819	-3661	30
13/03/2015	0	-2352	840	1766	840	-840	-3192	1350
14/03/2015								
15/03/2015								
16/03/2015	0	-1730	930	3510	930	-930	-2660	4470
17/03/2015	842	-190	1360	1584	1360	-518	-1550	2090
18/03/2015	138	-1763	630	452	452	-314	-2215	1450
19/03/2015	4038	2616	1510	1844	1510	2528	1106	2324
20/03/2015	2848	-492	620	3228	620	2228	-1112	1860
21/03/2015	148	-310	180	396	180	-32	-490	260
22/03/2015								
23/03/2015	1454	-950	460	1188	460	984	-1410	760
24/03/2015	7882	6770	5560	1584	1584	6298	5186	3864
25/03/2015	4213	2381	510	0	0	4213	2381	1029
26/03/2015	5987	4703	3150	680	680	5308	4023	3677
27/03/2015	2873	1025	2300	175	175	2698	850	1300
28/03/2015	2	600	520	924	520	-518	80	1332
29/03/2015								
30/03/2015	2053	2023	1290	270	270	1783	1753	1778
31/03/2015	1972	600	2960	1584	1584	388	-894	2970
01/04/2015	737	-1334	1710	1104	1104	-367	-2439	410
02/04/2015	3338	-322	3270	468	468	2870	-790	2730
03/04/2015	974	362	2660	466	466	508	-104	3910
04/04/2015	0	-10	50	162	50	-50	-60	10
05/04/2015								
06/04/2015								
07/04/2015	530	-660	520	486	486	44	-1146	1230
08/04/2015	1925	444	1840	954	954	971	-510	1900
09/04/2015	884	-118	1690	585	585	299	-703	1530
10/04/2015	985	411	1910	0	0	985	411	1939
11/04/2015	320	70	340	378	340	-20	-270	1540
12/04/2015								
13/04/2015	4690	-130	1190	259	259	4431	-389	100
14/04/2015	1390	-880	990	648	648	732	-1528	1640
15/04/2015	1370	69	2540	653	653	717	-583	2140
16/04/2015	362	-332	470	618	470	-108	-802	2140
17/04/2015	2984	766	1490	795	795	2189	-29	2410
18/04/2015	510	-740	450	378	378	132	-1118	730
19/04/2015								
20/04/2015	0	-3190	83	83	83	-83	-3273	30
21/04/2015	4500	500	530	486	486	4014	14	2376
22/04/2015	1809	-1243	1150	703	703	1106	-1946	790
23/04/2015	4814	2604	2980	737	737	4077	1867	1583
24/04/2015	0	-621	930	387	387	-387	-1008	2690
25/04/2015								
26/04/2015								
27/04/2015	2517	-663	2180	457	457	2060	-1120	2500
28/04/2015	0	-20	80	432	80	-80	-100	1100
29/04/2015	825	-745	910	275	275	550	-1020	170
30/04/2015	3420	3249	300	220	220	3200	3029	1501

Tabella 144: Calcolo tempi recuperabili dallo starwing (2)

Indice delle figure

Figura 1: Gli otto pilastri del TPM (Batumalay e Santhapparaj, 2009).....	11
Figura 2: <i>Bathtub curve</i> (Abdul Samat <i>et al.</i> , 2012)	16
Figura 3: Schema di calcolo dell'OEE (Nachiappan e Anantharaman, 2006)	19
Figura 4: Schema dei tempi persi (Braglia <i>et al.</i> , 2008)	25
Figura 5: Stati di una attrezzatura (de Ron e Rooda, 2006)	28
Figura 6: Struttura OEE-LB (Anvari e Edwards, 2011)	30
Figura 7: Struttura OEE-CB (Anvari e Edwards, 2011).....	32
Figura 8: Minimizzazione dei costi totali (Battini <i>et al.</i> , 2006).....	51
Figura 9: Diagramma di Pareto (Tsarouhas, 2013).....	54
Figura 10: Diagramma di Pareto	59
Figura 11: Diagramma causa-effetto	61
Figura 12: <i>Radar chart</i> per disponibilità, efficienza delle <i>performance</i> , qualità ed OEE (Battini <i>et al.</i> , 2006)	64
Figura 13: Esempio di <i>goodness-of-fit</i> grafico.....	74
Figura 14: Prodotti dell'azienda	79
Figura 15: <i>Layout</i> linea di imbottigliamento	82
Figura 16: Il raddrizzatore	85
Figura 17: I trasporti Convair	86
Figura 18: La sciacquatrice	87
Figura 19: La riempitrice	88
Figura 20: La tappatrice.....	89
Figura 21: L'etichettatrice	90
Figura 22: La confezionatrice	91
Figura 23: Il pallettizzatore.....	93
Figura 24: La fasciatrice.....	94
Figura 25: OEE medio 2012-2014.....	98
Figura 26: OEE differenziale per tipo di fermata (2012-2014)	101
Figura 27: Tempi di microfermata per macchina (2012-2014)	102
Figura 28: Modulo per la raccolta dati del pallettizzatore	104
Figura 29: Numero di microfermate per macchina	105
Figura 30: Minuti di microfermate per macchina	106
Figura 31: Raddrizzatore 1 (numero di microfermate)	112

Figura 32: Raddrizzatore 1 (minuti di microfermate).....	112
Figura 33: Diagramma di Pareto per numero di fermate (raddrizzatore 1).....	112
Figura 34: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (raddrizzatore 1)	112
Figura 35: Raddrizzatore 2 (numero di microfermate)	113
Figura 36: Raddrizzatore 2 (minuti di microfermate).....	113
Figura 37: Diagramma di Pareto per numero di fermate (raddrizzatore 2).....	113
Figura 38: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (raddrizzatore 2)	114
Figura 39: Etichettatrice (numero di microfermate).....	114
Figura 40: Etichettatrice (minuti di microfermate)	115
Figura 41: Diagramma di Pareto per numero di fermate (etichettatrice)	115
Figura 42: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (etichettatrice).....	116
Figura 43: Confezionatrice (numero di microfermate)	116
Figura 44: Confezionatrice (minuti di microfermate).....	117
Figura 45: Diagramma di Pareto per numero di fermate (confezionatrice)	117
Figura 46: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (confezionatrice).....	118
Figura 47: Manigliatrice (numero di microfermate)	118
Figura 48: Manigliatrice (minuti di microfermate).....	119
Figura 49: Diagramma di Pareto per numero di fermate (manigliatrice)	119
Figura 50: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (manigliatrice).....	120
Figura 51: Pallettizzatore (numero di microfermate)	120
Figura 52: Pallettizzatore (minuti di microfermate).....	121
Figura 53: Diagramma di Pareto per numero di fermate (pallettizzatore)	121
Figura 54: Diagramma di Pareto per i tempi di microfermata (pallettizzatore)	122
Figura 55: Calcolo <i>OEE</i> da letteratura	125
Figura 56: Calcolo <i>OEE</i> con metodo aziendale	125
Figura 57: Correlazione <i>OEE</i> da master e rilevato.....	133
Figura 58: <i>Radar chart</i> disponibilità	136
Figura 59: <i>Radar chart</i> efficienza meccanica.....	136
Figura 60: <i>Radar chart</i> qualità.....	137
Figura 61: <i>Radar chart OEE</i>	137
Figura 62: <i>Radar chart</i> recupero efficienza meccanica (recupero 100%).....	145
Figura 63: <i>Radar chart</i> recupero <i>OEE</i> (recupero 100%)	145
Figura 64: <i>Radar chart</i> recupero efficienza meccanica (recupero 70%).....	145
Figura 65: <i>Radar chart</i> recupero <i>OEE</i> (recupero 70%)	145
Figura 66: Sintesi <i>OEE</i> recuperabile mensilmente per tipo di microfermata (100% recupero)	153

Figura 67: Sintesi produzione e ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata (100% recupero).....	154
Figura 68: Sintesi OEE recuperabile mensilmente per tipo di microfermata (70% recupero)..	154
Figura 69: Sintesi produzione e ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata (70% recupero).....	155
Figura 70: Relazione TTR-TTF (intasamento disfaponte (trasporto ingresso))	157
Figura 71: Relazione TTR-TTF (prodotto rovesciato guide alimentazione)	157
Figura 72: Relazione TTR-TTF (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)	157
Figura 73: Relazione TTR-TTF (salita film superiore).....	157
Figura 74: Relazione TTR-TTF (mancanza etichetta)	158
Figura 75: Relazione TTR-TTF (errore taglio maniglia).....	158
Figura 76: Relazione TTR-TTF (pacco aperto (manigliatrice))	158
Figura 77: Relazione TTR-TTF (pallet non allineato ingresso pallettizzatore)	158
Figura 78: Relazione TTR-TTF (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	158
Figura 79: Relazione TTR-TTF (magazzino palette-mal posizionamento)	158
Figura 80: Relazione TTR-TTF (strato non formato correttamente carrello N°1)	158
Figura 81: Relazione TTR-TTF (strato non formato correttamente carrello N°2)	158
Figura 82: Diagramma causa-effetto (doppia etichetta-bandiera).....	161
Figura 83: Diagramma causa-effetto (intasamento disfaponte (trasporto ingresso)).....	162
Figura 84: Diagramma causa-effetto (mancato compattamento allo spintore).....	163
Figura 85: Diagramma causa-effetto (problema cartoline)	164
Figura 86: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato guide alimentazione)	165
Figura 87: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato ingresso spintore)	166
Figura 88: Diagramma causa-effetto (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo).....	167
Figura 89: Diagramma causa-effetto (salita film superiore)	168
Figura 90: Diagramma causa-effetto (bottiglia caduta in entrata)	169
Figura 91: Diagramma causa-effetto (FT System in allarme).....	170
Figura 92: Diagramma causa-effetto (mancanza etichetta)	171
Figura 93: Diagramma causa-effetto (spazio vuoto in macchina)	172
Figura 94: Diagramma causa-effetto (errore applicazione maniglia)	173
Figura 95: Diagramma causa-effetto (errore taglio maniglia)	174
Figura 96: Diagramma causa-effetto (pacco aperto (manigliatrice)).....	175
Figura 97: Diagramma causa-effetto (pacco non allineato (manigliatrice))	176
Figura 98: Diagramma causa-effetto (magazzino palette-mal posizionamento)	177
Figura 99: Diagramma causa-effetto (pacco aperto (pallettizzatore))	178

Figura 100: Diagramma causa-effetto (pacco caduto (pallettizzatore))	179
Figura 101: Diagramma causa-effetto (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))	180
Figura 102: Diagramma causa-effetto (pallet non allineato ingresso pallettizzatore)	181
Figura 103: Diagramma causa-effetto (strato non formato correttamente carrello N°1).....	182
Figura 104: Diagramma causa-effetto (strato non formato correttamente carrello N°2).....	183
Figura 105: Diagramma causa-effetto (fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 1)).....	184
Figura 106: Diagramma causa-effetto (fermata linea aerea (raddrizzatore 1)).....	185
Figura 107: Diagramma causa-effetto (fermata bottiglie schiacciate (raddrizzatore 2)).....	186
Figura 108: Diagramma causa-effetto (fermata linea aerea (raddrizzatore 2)).....	187
Figura 109: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (doppia etichetta-bandiera)	197
Figura 110: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (intasamento disfaponte (trasporti ingresso))	197
Figura 111: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (mancato compattamento allo spintore)	197
Figura 112: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (problema cartoline).....	197
Figura 113: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (prodotto rovesciato guide alimentazione).....	197
Figura 114: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (prodotto rovesciato ingresso spintore).....	197
Figura 115: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)	198
Figura 116: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (salita film superiore).....	198
Figura 117: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (bottiglia caduta in entrata).....	198
Figura 118: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (FT System in allarme)	198
Figura 119: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (mancanza etichetta).....	198
Figura 120: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (spazio vuoto in macchina)	198
Figura 121: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (cambio bobina scotch)	199
Figura 122: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (cambio carta maniglia)	199
Figura 123: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (errore taglio maniglia)	199
Figura 124: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pacco aperto (manigliatrice))	199
Figura 125: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pacco non allineato (manigliatrice)).....	199
Figura 126: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pacco aperto (pallettizzatore))	199
Figura 127: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pacco caduto (pallettizzatore)).....	200
Figura 128: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))	200
Figura 129: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (pallet non allineato ingresso pallettizzatore).....	200
Figura 130: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (magazzino palette-mal posizionamento)	200
Figura 131: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (strato non formato correttamente carrello N°1)	200
Figura 132: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (strato non formato correttamente carrello N°2)	200
Figura 133: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (intasamento disfaponte (trasporti ingresso)).....	204
Figura 134: <i>Goodness-of-fit TTR</i> (prodotto rovesciato guide alimentazione)	204

Figura 135: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo)	204
Figura 136: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (salita film superiore).....	204
Figura 137: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (errore taglio maniglia)	204
Figura 138: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (pacco aperto (manigliatrice))	204
Figura 139: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	205
Figura 140: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (pallet non allineato ingresso pallettizzatore).....	205
Figura 141: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (magazzino palette-mal posizionamento)	205
Figura 142: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (strato non formato correttamente carrello N°1)	205
Figura 143: <i>Goodness-of-fit TTF</i> (strato non formato correttamente carrello N°2)	205

Indice delle tabelle

Tabella 1: Dimensioni da valutare nella realizzazione di un sistema di misura	13
Tabella 2: Vantaggi e limiti dell'OEE tradizionale.....	23
Tabella 3: <i>Equipment dependent e independent losses</i>	25
Tabella 4: Indicatori alternativi all'OEE	33
Tabella 5: Indicatori di produttività	37
Tabella 6: Analisi di letteratura	44
Tabella 7: Vantaggi e limiti dei tre tipi di raccolta dati	55
Tabella 8: Statistica descrittiva (Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2010).....	72
Tabella 9: Esempio di <i>goodness-of-fit</i> con indice di Anderson-Darling (Tsarouhas e Arvanitoyannis, 2012)	74
Tabella 10: <i>Layout</i> linea di imbottigliamento con simbologia ASME.....	83
Tabella 11: Calcolo dell'OEE 2012-2014	99
Tabella 12: Impatto fermate su OEE (2012-2014)	100
Tabella 13: Determinazione dell'MTTR di ogni macchina.....	106
Tabella 14: Determinazione MTTR di ogni microfermata.....	107
Tabella 15: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (intasamento disparte (trasporti ingresso)).....	109
Tabella 16: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (salita film superiore)	109
Tabella 17: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo).....	109
Tabella 18: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (prodotto rovesciato guide alimentazione)	109
Tabella 19: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (pacco aperto (manigliatrice)).....	109
Tabella 20: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (mancanza etichetta)	109
Tabella 21: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (pallet non allineato ingresso pallettizzatore)	109
Tabella 22: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (errore taglio maniglia)	109
Tabella 23: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (strato non formato correttamente carrello N°1)	110
Tabella 24: TTF suddivisi per giorno e MTTF in minuti (magazzino palette-mal posizionamento)	110

Tabella 25: <i>TTF</i> suddivisi per giorno e <i>MTTF</i> in minuti (strato non formato correttamente carrello N°2)	110
Tabella 26: <i>TTF</i> suddivisi per giorno e <i>MTTF</i> in minuti (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	110
Tabella 27: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (raddrizzatore 1).....	123
Tabella 28:Fermate considerate dopo analisi di Pareto (raddrizzatore 2).....	123
Tabella 29: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (etichettatrice).....	123
Tabella 30: : Fermate considerate dopo analisi di Pareto (confezionatrice)	123
Tabella 31: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (manigliatrice)	123
Tabella 32: Fermate considerate dopo analisi di Pareto (pallettizzatore)	124
Tabella 33: Calcolo dell' <i>OEE</i> con dati aziendali (marzo 2015).....	127
Tabella 34: Calcolo dell' <i>OEE</i> con dati aziendali (aprile 2015).....	128
Tabella 35: <i>OEE</i> mensile con dati aziendali	128
Tabella 36: Calcolo dell' <i>OEE</i> con i dati delle microfermate (marzo 2015)	130
Tabella 37: Calcolo dell' <i>OEE</i> con i dati delle microfermate (aprile 2015)	131
Tabella 38: <i>OEE</i> mensile con i dati delle microfermate	131
Tabella 39: Confronto <i>OEE</i> giornaliero da master e rilevato.....	132
Tabella 40: Confronto <i>OEE</i> da master e rilevato	132
Tabella 41: Calcolo <i>OEE</i> da letteratura (marzo 2015)	134
Tabella 42: Calcolo <i>OEE</i> da letteratura (aprile 2015)	135
Tabella 43: <i>OEE</i> mensile da letteratura	135
Tabella 44: Confronto <i>OEE</i> rilevato con i dati delle microfermate e da letteratura	135
Tabella 45: Calcolo tempi recuperabili sullo <i>starving</i> della linea	140
Tabella 46: Calcolo efficienza meccanica con tempi recuperati (marzo 2015).....	141
Tabella 47: Calcolo efficienza meccanica con tempi recuperati (aprile 2015).....	142
Tabella 48: Efficienza differenziale e aumento percentuale mensile	142
Tabella 49: Calcolo <i>OEE</i> differenziale e aumento percentuale (marzo 2015).....	143
Tabella 50: Calcolo <i>OEE</i> differenziale e aumento percentuale (aprile 2015).....	143
Tabella 51: Calcolo di <i>OEE</i> differenziale e aumento percentuale mensile.....	144
Tabella 52: Calcolo di <i>OEE</i> differenziale e aumento percentuale mensile (70% recupero)	144
Tabella 53: Calcolo produzione e ore recuperabili mensilmente (100% recupero).....	146
Tabella 54: Calcolo produzione e ore recuperabili mensilmente (70% recupero).....	147
Tabella 55: Percentuale microfermate.....	148
Tabella 56: Recupero <i>OEE</i> , produzione e ore (magazzino palette-mal posizionamento).....	148

Tabella 57: Recupero OEE, produzione e ore (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))	148
Tabella 58: Recupero OEE, produzione e ore (strato non formato correttamente carrello N°1)	149
Tabella 59: Recupero OEE, produzione e ore (strato non formato correttamente carrello N°2)	149
Tabella 60: Recupero OEE, produzione e ore (pallet non allineato all'ingresso)	149
Tabella 61: Recupero OEE, produzione e ore (pacco caduto (pallettizzatore))	149
Tabella 62: Recupero OEE, produzione e ore (errore taglio maniglia)	149
Tabella 63: Recupero OEE, produzione e ore (pacco aperto (pallettizzatore))	149
Tabella 64: Recupero OEE, produzione e ore (pacco non allineato (manigliatrice))	149
Tabella 65: Recupero OEE, produzione e ore (pacco aperto (manigliatrice))	149
Tabella 66: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato guide alimentazione)	150
Tabella 67: Recupero OEE, produzione e ore (doppia etichetta-bandiera)	150
Tabella 68: Recupero OEE, produzione e ore (salita film superiore)	150
Tabella 69: Recupero OEE, produzione e ore (problema cartoline)	150
Tabella 70: Recupero OEE, produzione e ore (intasamento disfaponte (trasporti ingresso))	150
Tabella 71: Recupero OEE, produzione e ore (mancato compattamento allo spintore)	150
Tabella 72: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato salita/discisa rebbo)	150
Tabella 73: Recupero OEE, produzione e ore (prodotto rovesciato ingresso spintore)	150
Tabella 74: Recupero OEE, produzione e ore (spazio vuoto in macchina)	151
Tabella 75: Recupero OEE, produzione e ore (mancanza etichetta)	151
Tabella 76: Recupero OEE, produzione e ore (bottiglia caduta in entrata)	151
Tabella 77: Recupero OEE, produzione e ore (FT System in allarme)	151
Tabella 78: OEE recuperabile mensilmente per tipo di microfermata	152
Tabella 79: Produzione recuperabile mensilmente per tipo di microfermata	152
Tabella 80: Ore recuperabili mensilmente per tipo di microfermata	153
Tabella 81: Statistica descrittiva TTR	189
Tabella 82: Statistica descrittiva TTF	190
Tabella 83: Scelta distribuzione TTR (intasamento disfaponte (trasporti ingresso))	192
Tabella 84: Scelta distribuzione TTR (doppia etichetta-bandiera)	192
Tabella 85: Scelta distribuzione TTR (problema cartoline)	192
Tabella 86: Scelta distribuzione TTR (mancato compattamento allo spintore)	192
Tabella 87: Scelta distribuzione TTR (prodotto rovesciato ingresso spintore)	192
Tabella 88: Scelta distribuzione TTR (prodotto rovesciato guide alimentazione)	192

Tabella 89: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo).....	193
Tabella 90: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (FT System in allarme).....	193
Tabella 91: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (spazio vuoto in macchina).....	193
Tabella 92: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (mancanza etichetta).....	193
Tabella 93: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (salita film superiore).....	193
Tabella 94: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (bottiglia caduta in entrata).....	193
Tabella 95: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pacco aperto (pallettizzatore)).....	194
Tabella 96: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pacco non allineato (manigliatrice)).....	194
Tabella 97: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pacco aperto (manigliatrice)).....	194
Tabella 98: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (errore taglio maniglia).....	194
Tabella 99: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (cambio carta maniglia).....	194
Tabella 100: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (cambio bobina scotch).....	194
Tabella 101: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (strato non formato correttamente carrello N°2).....	195
Tabella 102: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (strato non formato correttamente carrello N°1).....	195
Tabella 103: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (magazzino palette-mal posizionamento).....	195
Tabella 104: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pallet non allineato ingresso pallettizzatore).....	195
Tabella 105: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	195
Tabella 106: Scelta distribuzione <i>TTR</i> (pacco caduto (pallettizzatore)).....	195
Tabella 107: Distribuzione scelte per i <i>TTR</i> delle microfermate.....	196
Tabella 108: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (prodotto rovesciato guide alimentazione).....	201
Tabella 109: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (intasamento disfaponte (trasporti ingresso)).....	201
Tabella 110: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (prodotto rovesciato salita/discesa rebbo).....	201
Tabella 111: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (salita film superiore).....	201
Tabella 112: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (strato non formato correttamente carrello N°1).....	202
Tabella 113: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (magazzino palette-mal posizionamento).....	202
Tabella 114: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (pallet non allineato ingresso pallettizzatore).....	202
Tabella 115: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	202
Tabella 116: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (errore taglio maniglia).....	202
Tabella 117: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (pacco aperto (manigliatrice)).....	202
Tabella 118: Scelta distribuzione <i>TTF</i> (strato non formato correttamente carrello N°2).....	203
Tabella 119: Distribuzione scelte per i <i>TTF</i> delle microfermate.....	203
Tabella 120: Costo del personale coinvolto nel progetto.....	209
Tabella 121: Costi fissi annuali.....	210
Tabella 122: Valutazione margine di contribuzione totale con MdC unitario di 0,05 € e 0,10 € (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore)).....	210

Tabella 123: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC totale di 1° livello e MdC unitario di 0,05 € (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))	211
Tabella 124: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,05 € (pacco non allineato all'ingresso (pallettizzatore))	211
Tabella 125: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC totale	211
Tabella 126: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC di 2°	211
Tabella 127: Valutazione margine di contribuzione totale con MdC unitario di 0,05 € e 0,10 € (tutte le microfermate)	212
Tabella 128: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC totale	213
Tabella 129: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,05 € (tutte le microfermate)	213
Tabella 130: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC totale	213
Tabella 131: Valutazione <i>payback period</i> , <i>VAN</i> e <i>ROI</i> con MdC di 2° livello e MdC unitario di 0,10 € (tutte le microfermate)	213
Tabella 132: Risultati ottenuti nel progetto	217
Tabella 133: Confronto situazione " <i>as is</i> " e " <i>to be</i> "	218
Tabella 134: Calcolo disponibilità con dati e metodo aziendale	225
Tabella 135: Calcolo efficienza meccanica con dati e metodo aziendale	226
Tabella 136: Calcolo qualità e <i>OEE</i> con dati e metodo aziendale	227
Tabella 137: Calcolo disponibilità con dati rilevati e metodo aziendale	228
Tabella 138: Calcolo dell'efficienza meccanica con dati rilevati e metodo aziendale	229
Tabella 139: Calcolo qualità e <i>OEE</i> con dati rilevati e metodo aziendale	230
Tabella 140: Calcolo disponibilità con dati rilevati e metodo classico	231
Tabella 141: Calcolo efficienza meccanica con dati rilevati e metodo classico	232
Tabella 142: Calcolo qualità e <i>OEE</i> con dati rilevati e metodo classico	233
Tabella 143: Calcolo tempi recuperabili dallo <i>starving</i> (1)	234
Tabella 144: Calcolo tempi recuperabili dallo <i>starving</i> (2)	235

