POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi dei fattori impattanti sulla produttività

Relatore

prof. Giulio Mangano

Candidato

Valentina Cannata

A.A. 2018/2019

...a mia madre

Capitolo 1 3
1.1 Premessa e scopo del lavoro 3
1.2 Azienda cliente: Drink International 4
1.3 Azienda consulente: Macro Service s.r.l 5
Capitolo 2 7
2.1 Produttività di un processo 7
2.2 Guasti 10
2.3 Microfermi 14
2.4 Setup 18
2.5 Material shortages e gestione dell'inventory 21
2.6 Valore degli ordini e backlog 22
Capitolo 3 - Case study: Drink International 26
3.1 Descrizione del prodotto e del processo 26
3.2 Descrizione del Magazzino, gestione dei flussi fisici e informativi 28
3.3 Collocazione dell'impresa nella supply chain 30
3.4 Pianificazione e schedulazione degli ordini 32
3.5 Dimensionamento della capacità produttiva e scelta dei valori target 33
3.6 Raccolta dati 35
3.6.1 Efficienza delle risorse 36
3.6.2 Guasti e microfermi 40
3.6.3 Capacità delle linee 47
3.6.4 Tasso di backlog 49
Capitolo 4 50
4.1 Metodologia 50
4.2 Introduzione al Modello di Regressione Lineare 50
4.3 Scelta del campione e statistiche descrittive 56
Capitolo 5 67
5.1 Descrizione del data set 67
5.2 Regressione: Modello 1 69
5.3 Regressione Modello 2 77
5.4 Regressione Modello 3 80
5.5 Conclusioni 83
References 90
Ringraziamenti 97

Capitolo 1

1.1 Premessa e scopo del lavoro

Il presente lavoro di tesi fa riferimento alle informazioni raccolte durante l'attività di assemblaggio e confezionamento di cesti regalo, prevista per la campagna natalizia dell'azienda Drink International s. p. a., nell'intervallo di tempo compreso tra il 08/10/2018 e il 07/12/2018.

Nata nel 1971, si tratta di un'impresa leader in Italia nel settore delle confezioni regalo. Lo stabilimento contiene complessivamente 12 linee, l'attività si svolge a carattere stagionale e consiste nell'allestimento di una campagna natalizia, nel periodo che intercorre tra la fine di Settembre e l'inizio di Dicembre e di una pasquale nel mese di Febbraio, raggiungendo volumi, solo in Italia, di circa 3 milioni di pezzi all'anno.

Il primo step è stato quello di quantificare le perdite produttive, effettuando un'analisi dei tempi del processo di confezionamento eseguito su 10 linee di assemblaggio, confrontando la produzione oraria teorica stabilita per ciascuna linea, con il numero di pezzi orario effettivamente prodotto.

Il secondo step si è basato invece, su un'analisi dei metodi attraverso i quali si è svolto il processo di assemblaggio dei prodotti, in modo tale da risalire ai fattori alla base delle criticità del processo e ai quali può essere imputato un rallentamento del ciclo produttivo; in particolare, sono state rilevate, sia gli elementi impattanti negativamente in termini di efficienza che quelli responsabili di una diminuzione di efficacia del sistema.

L'ultimo step infine, ha previsto la valutazione del peso, quindi dell'impatto, con il quale ciascuna delle cause rintracciate nelle fasi precedenti avesse influito in maniera rilevante sulla produttività.

I primi due step hanno reso necessaria un'attività di reportistica, svolta essenzialmente nella prima fase dello studio, quella di raccolta dati, finalizzata principalmente, a tenere traccia, in termini giornalieri, del valore delle perdite e delle loro cause scatenanti. In tale fase si è ritenuto anche utile effettuare la misurazione di alcuni KPI (Key performace Indicators), allo scopo di evidenziare il livello di prestazioni del sistema.

La seconda fase, invece, è stata essenzialmente di analisi dei dati e in essa si è ritenuto opportuno ricorrere, dapprima, alla statistica descrittiva, allo scopo di ricavare delle

informazioni di carattere generale sulle osservazioni (concentrazione dei punti attorno al valore medio e livello di dispersione della funzione di distribuzione di probabilità).
Solo successivamente si è fatto uso invece, della statistica inferenziale, utilizzando in particolare, l'approccio della regressione lineare ed elaborando tre modelli differenti per mezzo dell'utilizzo del software statistico "Minitab".
Alla luce del campione di dati disponibili, sono state rintracciate tre diverse modalità di stima della variabile dipendente produttività, la prima in termini di numero di pezzi processati, la seconda in termini di tempo di processo effettivo e l'ultima in termini di rapporto tra tempo di processo effettivo e tempo di processo teorico. Come variabili indipendenti o regressori sono stati assunti infine, quei fattori che erano stati registrati in partenza, tramite l'attività di reportistica, come probabili elementi impattanti sulla variabile risposta.
I risultati della regressione hanno in ultima istanza, confermato o smentito la significatività statistica delle cause rintracciate, supportando o rifiutando, in tal modo, le ipotesi formulate precedentemente all'analisi.

1.2 Azienda cliente: Drink International

Drink International nasce nel 1971 ed è un'impresa leader in Italia nel settore delle confezioni regalo. Lo stabilimento contiene 12 linee, l'attività si svolge a carattere stagionale e consiste nell'allestimento di una campagna natalizia nel periodo che intercorre tra la fine di Settembre e l'inizio di Dicembre e di una pasquale, nel mese di Febbraio, con un volume di produzione di circa 3 milioni di pezzi all'anno processati e consegnati in tutta Italia [66].
Il successo dell'azienda dipende essenzialmente da alcune Key activities su cui essa fa leva:

- Accurata *selezione delle materie prime* fornite da una vasta gamma di suppliers;
- *Controllo qualità dei prodotti* in tutte le fasi di lavorazione e rispetto degli standard qualitativi richiesti dai clienti;
- *Logistica avanzata*: il rifornimento delle materie prime e la consegna dei prodotti finiti risponde, infatti, a requisiti di flessibilità e reattività, con una fitta rete distributiva che prevede anche l'esistenza di quattro transit point o centri di smistamento, localizzati in Emilia Romagna, Lazio, Campania, finalizzati alla riorganizzazione dei prodotti finiti in lotti più piccoli, pronti ad essere consegnati ai retailers;
- *Stoccaggio automatizzato* che consente una gestione efficiente del flusso di merci in entrata e in uscita dal magazzino.

1.3 Azienda consulente: Macro Service s.r.l

Macro Service s.r.l. è un'azienda di consulenza logistica specializzata nella risoluzione di problemi legati alla supply chain, in particolare si occupa di organizzare i processi logistici dei clienti e anche di fornire supporto su aspetti riguardanti l'amministrazione del personale e le norme giuridiche legate alla terziarizzazione delle attività, tra i suoi clienti Drink International gode dell'assistenza fornita [67].

In particolare, si tratta di un'impresa che offre ai suoi clienti tre diverse tipologie di servizi, impegnandosi affinché il cliente raggiunga i livelli di performance prefissati:

1. Servizi di confezionamento: kitting, termo-retrazione, etichettature, includendo anche un'analisi di tempi e metodi;
2. Servizi logistici: metodi per l'ottimizzazione degli spazi e della gestione merci;
3. Servizi aggiuntivi: montaggio scaffalature, fattorinaggio, pulizie.

L'azienda si propone di progettare delle soluzioni ad hoc per ogni cliente, con lo scopo di riorganizzare il processo logistico al fine di apportare miglioramenti nella gestione operativa, economica e finanziaria dell'impresa committente.

Le Key activities dell'azienda sono le seguenti:

- Identificazione dei fattori chiave di successo legati al segmento di mercato servito dall'azienda committente;
- Consulenza e supporto su temi legati all'amministrazione del personale, diritto del lavoro e terziarizzazione delle attività;
- Monitoraggio continuo delle attività operative delle singole commesse, accompagnato dalla schedulazione delle attività nei tempi opportuni e con l'adeguato impego di risorse.

In sintesi, il supporto consulenziale offerto dall'azienda o "Metodo Macro", si articola in tre fasi:

1. *Fase di audit*: mira ad analizzare il processo dell'azienda cliente, sia cogliendo le criticità che lo caratterizzano, sia individuando le esigenze attuali di miglioramento. Inoltre, si cerca anche di rintracciare i potenziali bisogni del sistema che potrebbero insorgere, allo scopo di elaborare soluzioni adeguate al caso in questione;
2. *Fase di progettazione*: prevede la combinazione tra i risultati ottenuti dalla fase di audit, la valutazione delle risorse disponibili e la fedeltà al piano strategico dell'impresa cliente;

3. *Fase di Kick-off:* implementazione sul piano operativo della soluzione elaborata, sia in termini strategici che di fornitura delle risorse umane necessarie per la sua attuazione.

Capitolo 2

2.1 Produttività di un processo

Sumanth [1] definisce la produttività come il *rapporto* tra il totale degli *output* tangibili e il totale degli *intput* intangibili, quindi come una misura del tasso di produzione, cioè output per unità di input.

In particolare, A. Smith [65] ha posto l'attenzione sugli *elementi* che incidono sulla produttività di un processo, tra questi è possibile individuare:

- La *divisione del lavoro*: ovvero una efficace organizzazione delle mansioni e una precisa suddivisione dei compiti tra gli operai all'interno dello stabilimento, permettono infatti, di produrre una quantità di output maggiore di quella che si potrebbe ottenere se ogni lavoratore operasse in maniera indipendente processando un item individualmente, dall'inizio alla fine.
- L'*innovazione e il progresso tecnico:* cioè l'introduzione e l'utilizzo di macchinari e input che sfruttino tecnologie innovative.
- L'*Organizzazione delle attività produttive:* essa implica di pianificare in maniera razionale le attività e di valorizzare il personale, riuscendo, così, ad aumentare la quantità di output per ora lavorata.

A.J. De Ron et al. [2] sottolinea, inoltre, che misurare la produttività aiuta ad identificare i problemi e a trovare le soluzioni per migliorare le performance di un sistema.

Alla luce di ciò, preso atto dell'importanza di tale misura di performance, ci si chiede in che modalità essa possa essere misurata.

Innanzitutto, è bene sottolineare, come Kling [3] afferma che la produttività e l'efficienza siano spesso utilizzati come sinonimi.

In realtà, per essere precisi, la produttività di un sistema può essere scomposta in due componenti principali. Essa infatti, può essere identificata come una combinazione di efficienza ed efficacia, dove in particolare l'efficienza rappresenta il massimo ammontare di output a cui corrisponde un ammontare minimo di input (Pritchard [4]), mentre l'efficacia rappresenta una misura della capacità di un'impresa di soddisfare le esigenze dei clienti (Schmidt et al. [5]).

In altre parole, l'efficienza è legata al processo di utilizzo ottimale delle risorse al fine di minimizzare i costi operativi (Achabal et al. [6]), invece l'efficacia consiste nell'abilità dell'impresa di riuscire a raggiungere gli obiettivi prefissati (Keh et al. [7]).
Per tali ragioni, efficienza ed efficacia possono essere considerati come i parametri centrali nella misurazione delle performance di un'organizzazione (Mouzas [8]).
Alla luce di ciò e allo scopo di misurare le performance di un processo industriale, sorge la necessità di un indicatore che tenga conto di entrambi i parametri sopracitati. Secondo Kumar et al. [9], uno strumento adeguato è rappresentato dall'OEE (Overall Equipment Efficient). Tale indicatore, infatti, indentifica le opportunità di miglioramento di un impianto, focalizzandosi essenzialmente sugli aspetti legati all'efficienza e all'efficacia.
L'OEE è costituito, in particolare, da tre componenti di base (availability, performance efficiency, quality), ciascuno dei quali fa riferimento ad uno specifico aspetto del processo che può essere migliorato [10].
In particolare, l'**Availability (A),** ovvero la disponibilità dell'impianto, è influenzata dai tempi di fermo pianificati e non pianificati; la **Performance Efficiency (PE)** è legata al flusso delle operazioni, infine la componente **Quality (Q),** si riferisce al tasso di difettosità del prodotto e/o del processo. [11]
In formule, l'OEE è calcolato come il prodotto delle tre grandezze sopradescritte [12]:

$$OEE = A*PE*Q$$

$$A = \text{Operating time/ Loading time} = \text{Loading Time-Downtime / Loading Time;}$$

$$PE = \text{Net operating time/ Operating time} = \text{Cycle time* Processed amount/ Operating time;}$$

$$Q = \text{Processed amount - Defect amount/ Processed amount.}$$

In particolare, l'**Availability (A)** è data dal rapporto tra l'*Operating time*, cioè il tempo operativo effettivo e il *Loading time*, ovvero il tempo pianificato disponibile per il processo nell' unità di tempo considerata (giorno, settimana, mese). L'operating time, è calcolato sottraendo il downtime al loading time. Per downtime si intende, il tempo totale in cui il sistema non è operativo per via di guasti ai macchinari, set up, riattrezzaggi etc.
L'**Efficienza delle Performance (PE)** si ottiene come il rapporto tra il *Net operating time* e l'*Operating time*. Il Net operating time, cioè il tempo operativo netto, è ottenuto sottraendo all'operating time le *Performance time losses*. Queste ultime coincidono con le normali perdite del processo causate da avviamenti, arresti e cambi formato, unite alle perdite anormali, ovvero riduzione della produttività per cause non ordinarie.

Infine, il **tasso di Qualità (Q)** è dato dal rapporto tra il numero di pezzi conformi alle specifiche e il numero complessivo di pezzi processati (*Processed amount*). In particolare, il numeratore si ottiene sottraendo al totale dei pezzi processati, il numero di items rigettati a causa della presenza dei difetti di qualità, i quali potrebbero rendere necessario un processo di rilavorazione, oppure venire del tutto scartati.
Soniya Parihar et al. [14] sottolineano che misurare l'OEE può fornire dei benefici riguardanti tre aspetti principali:

- **Equipment**: riduzione dei tempi di fermo macchina e dei costi di manutenzione e migliore gestione del ciclo di vita delle attrezzature;
- **Personale:** efficienza del lavoro e aumento della produttività, migliorando la visibilità delle operazioni e responsabilizzando gli operatori;
- **Processo**: miglioramento della produttività identificando i colli di bottiglia:
- **Qualità:** aumento del tasso di qualità e conseguente riduzione del tasso degli scarti.

Le perdite che riducono l'efficienza e che influiscono quindi sull'OEE, posso essere classificate in sei principali categorie [13]:

1. perdite dovute ai guasti dei macchinari che interrompono il loro normale funzionamento e riducono il tasso di produttività;
2. perdite causate da setup e regolazioni, cioè perdite di tempo che si verificano quando l'assemblaggio di una determinata tipologia di item termina e il macchinario viene riattrezzato per soddisfare i requisiti di un altro item;
3. perdite dovute a microfermi: si verificano quando il processo viene interrotto da un malfunzionamento temporaneo o quando un macchinario funziona al minimo;
4. perdite dovute a riduzione della velocità, a causa di rallentamenti nel funzionamento rispetto alla velocità nominale del macchinario;
5. perdite causate da difetti nel prodotto o rilavorazioni in corso;
6. riduzione delle prestazioni, perdite per mancanza di materiale a causa di differenze nella valutazione del peso degli input e degli output.

Queste tipologie di perdite influiscono nella determinazione dell'OEE, in quanto le prime due, sono definite *time losses* e impattano sull'availability (A), la terza e la quarta categoria costituiscono le perdite di velocità, *speed losses,* e influiscono sulla Performance Efficiency (PE), infine le ultime due voci costituiscono perdite di qualità, *quality losses* e impattano direttamente sul terzo termine dell'OEE, il tasso di qualità Q [12].

$$OEE = Availability\ rate \times Performance\ rate \times Quality\ rate \qquad (14)$$

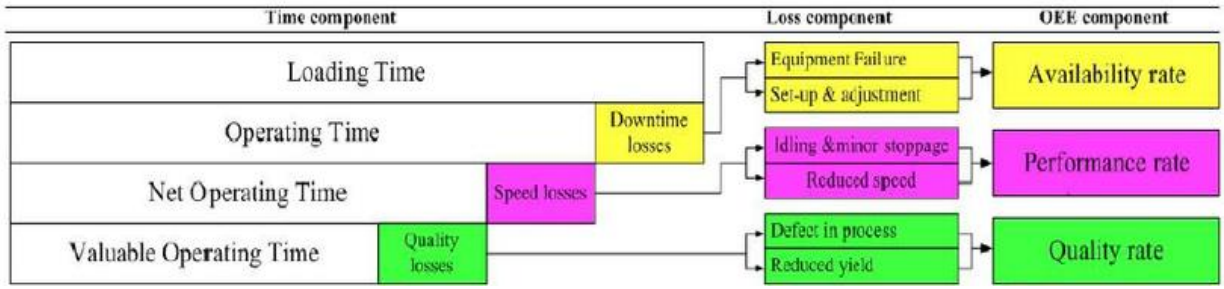


Figura 2.1.1: *OEE Components*

Può quindi essere utile, effettuare un'analisi dei fattori che concorrono alla determinazione di tali perdite, considerando infine, un ultimo, ma non meno importante, elemento che impatta sulla produttività: il *tasso di backlog*, cioè il numero di ordini non evasi entro i tempi previsti e che quindi subiranno un ritardo nella consegna; esso può costituire un'indicazione del livello di servizio offerto al cliente.

2.2 Guasti

"Per *evento di guasto* s'intende "la cessazione dell'attitudine di un'entità ad eseguire una funzione richiesta". (UNI 9910/1991).

Lo stato di guasto implica un'interruzione del funzionamento di un macchinario a causa di rotture o danni (Ilenia Zennaro et al. [15]). A differenza delle interruzioni pianificate, quali arresti organizzati delle apparecchiature utilizzate nel processo dovuti ad attività di manutenzione, di pulizia o setup, il guasto rappresenta, invece, un evento non previsto che è in grado di innescare un cambiamento nel sistema, da uno stato di buon funzionamento ad uno stato di avaria.

I guasti possono essere classificati in base alla *causa* oppure in base alla *modalità di accadimento*. In base al primo aspetto distinguiamo [17]:

- Guasti legati alla *progettazione* del macchinario, connessi quindi ad effetti non considerati in fase di progetto;
- Guasti legati alla fase di *produzione* dell'apparecchiatura, quindi connessi al non completo rispetto delle specifiche di progetto;
- Guasti legati all'*utilizzo*, connessi quindi al fatto che nonostante il macchinario sia stato ben progettato per adibire ad una specifica funzione, se ne fa un uso improprio;
- Guasti legati all'*usura*, connessi sostanzialmente al deterioramento che le attrezzature subiscono in seguito all'utilizzo.

Invece, in relazione alla modalità di accadimento, è possibile distinguere:

- Guasti dovuti a *rotture* istantanee e improvvise;
- Guasti causati da *rilassamento*, cioè causati da un aumento della probabilità di interruzione del funzionamento di un componente, nelle situazioni in cui essa dipende strettamente dall'avaria di altri componenti;
- Guasti dovuti alla combinazione di due o più cause sopracitate.

In relazione a ciò è bene evidenziare i parametri direttamente collegati ai guasti che occorre quindi tenere sotto controllo [16]:

- *Reliability R(t):* affidabilità, cioè la probabilità che un componente o sistema funzioni senza guasti per un certo intervallo di tempo T in predeterminate condizioni ambientali e operative;

  Tale definizione è valida sotto le seguenti assunzioni [17]:

  1. Il componente o il sistema in esame ammette solo due stati possibili: lo stato di buon funzionamento e lo stato di avaria;
  2. Siano stabilite esattamente le condizioni ambientali e di impiego e che tali condizioni si mantengano costanti lungo il periodo di tempo in questione;
  3. Sia definito l'intervallo di tempo 0-T durante il quale si richiede che l'elemento funzioni;
- *Availability A(t):* disponibilità, cioè la probabilità che un componente o sistema svolga la sua funzione in un istante prefissato in condizioni ambientali e operative ben definite;
- *Maintainability:* manutenibilità, cioè la probabilità che il componente venga riparato entro il tempo prefissato.

Per quanto riguarda l'Availability di un sistema, secondo Javad Barabady et al. [18], una misura dell'affidabilità può essere effettuata in funzione del tasso di guasto (MTBF) e del tasso di riparazione (MTTR). In particolare, si definisce [16]:

1. *MTBF* (*Mean Time Between Failures*): il tempo che intercorre tra un guasto e il successivo;
2. *MTTR* (*Mean Time to Repair*): il tempo medio di durata della riparazione, considerando sia il tempo necessario a rilevare il guasto, che il tempo utilizzato per ripristinarne il buon funzionamento.

Risulta possibile determinare l'Availability di un sistema, sotto le seguenti ipotesi [18]:

- Il sistema è composto da n sottosistemi indipendenti;
- Il tasso di guasto (MTBF) e il tasso di riparazione (MTTR) dei singoli componenti e sottosistemi sono noti;
- Tutti gli elementi sono riparabili. Successivamente alla riparazione i componenti sono come nuovi;
- Ciascun componente, sottosistema, sistema ha due stati possibili: in funzione o guasto.

Secondo Ebeling [19], l'Availability del sistema si calcola come il prodotto delle disponibilità dei singoli componenti:

$$\boldsymbol{A} = \prod_{i=1}^{i=N} \boldsymbol{A_i} = \prod_{i=1}^{i=N} \frac{\boldsymbol{MTBF_i}}{\boldsymbol{MTBF_i + MTTR_i}} \quad \textbf{(1)}$$

In cui:

MTBF$_i$ = tempo medio tra due guasti di ciascun componente i-esimo;

MTTR$_i$ = tempo medio di riparazione del componente i-esimo.

Infine, occorre sottolineare che le conseguenze del guasto hanno un impatto differente a seconda che si parli di *sistemi serie* (o non ridondanti), tali per cui il guasto di un singolo componente implica il guasto di tutto il sistema, oppure di *sistemi parallelo* (ridondanti), il cui funzionamento non è interrotto in caso di guasto di un singolo componente [17].

Per quanto riguarda la manutenibilità, il suo miglioramento è strettamente legato alle scelte di manutenzione.

In particolare, le due categorie principali di manutenzione sono [21]:

1. *Reactive Maintenance (RM)*: manutenzione reattiva, intervento di manutenzione eseguito a seguito di un guasto, per ripristinare la funzionalità del macchinario. Tale tecnica implica l'esigenza di avere un numeroso team di manutenzione pronto all'intervento e un magazzino ben fornito di pezzi di ricambio per le macchine;
2. *Preventive Maintenance (PM)*: manutenzione preventiva, intervento di manutenzione effettuato antecedentemente al guasto per prevenirlo. Prevede una manutenzione svolta a intervalli fissi stabiliti da calendario, oppure in base alle ore di funzionamento del macchinario.

Secondo Stadnicka et al. [22], entrambe le tecniche RM e PM richiedono un'attività di pianificazione e supporto. In tal senso, uno strumento che può guidare le decisioni in termini

di manutenzione è effettuare una valutazione del livello di criticità dei macchinari (*Machine Criticality Assessment*).

Da cui l'organizzazione delle attività di manutenzione in base alle *priorità*, ovvero in base al livello di criticità dei macchinari, è un aspetto importante per l'efficienza del sistema (Levitt [23]).

Marquez et al. [24] evidenziano che il processo di gestione della manutenzione consiste di un aspetto *strategico* che riguarda la scelta delle strategie di mainteinance e la determinazione degli obiettivi e un di aspetto *operativo* avente invece a che fare con l'implementazione della strategia adottata attraverso le fasi di pianificazione della manutenzione, controllo, supervisione e miglioramento continuo.

I *problemi* che si presentano nell'implementazione del Machine criticality assessment da parte delle aziende sono differenti:

- Gli *CMMS* (*Computerized Maintenance Management Systems*), ovvero i sistemi informatizzati di gestione della manutenzione, i quali dovrebbero svolgere una funzione di supporto alle decisioni, spesso non vengono inutilizzati, oppure ne vengono impiegate delle versioni ormai obsolete e quindi non più in grado di aderire alle esigenze dinamiche delle operazioni di manutenzione (Ni et al [25]);
- Esistono strumenti per la valutazione del livello di criticità dei macchinari ma che di fatto non sempre vengono usati nella pratica dalle aziende (Gopalakrishnan et al. [26]).

  Tra di essi è possibile indicare la metodologia FMEA (Failure and Effect Analysis): utilizzata per la valutazione dei modi di guasto dei componenti di un macchinario (Moubray [27]), la quale prende il nome di FMECA se si vuole valutare anche la criticità del macchinario stesso.

  La ragione è che le aziende percepiscono gli attuali strumenti esistenti come poco affidabili nella scelta dei macchinari critici [20];
- Le imprese sono focalizzate essenzialmente sulle performance individuali dei macchinari e ciò non basta a migliorare le prestazioni dell'intero sistema, inoltre esse tendono a considerare i macchinari tutti allo stesso livello di criticità senza stabilire una priorità tra di essi nella programmazione delle attività di manutenzione [20].

Secondo Fraser et al [28], le possibili soluzioni per migliorare il processo di decision making in termini di manutenzione, verso una corretta implementazione del machine criticality assessment, sono:

- Avere la produttività del sistema come obiettivo principale;
- Effettuare un monitoraggio continuo dello stato dei macchinari allo scopo di identificarne le criticità;
- Riuscire a definire la tipologia di criticità della macchina in aggiunta all'entità;
- Manutenzione predittiva allo scopo di stabilire la frequenza delle operazioni di manutenzione.

Infine, coerentemente con l'obiettivo principale di incremento della produttività, nella gestione delle attività di manutenzione, occorrerebbe assegnare un più alto livello di criticità e quindi una priorità maggiore ai macchinari *bottleneck*, ovvero a quelle risorse critiche che risultano essere vincolanti per il sistema [20].

2.3 Microfermi

La terza e la quarta tipologia di perdite tra quelle sopraindicate è imputabile a microfermi, ovvero soste brevi, di pochi minuti che potrebbero essere definiti come *errori di processo*, in quanto non sono direttamente correlate a un guasto alla macchina, ma al processo stesso. Tali fermate possono essere suddivise in due tipologie [15]:

1. Inattività di natura micro, cioè quando la macchina si ferma perché non funziona ma per un tempo molto breve, a causa di un malfunzionamento del macchinario, della mancanza di prodotto, di un inceppamento, etc;
2. Riduzione della velocità di produzione, cioè quando le macchine non sono in esecuzione nel ritmo richiesto, ovvero continuano a funzionare ma ad una velocità inferiore rispetto a quella nominale.

Gli aspetti che principalmente differenziano i microfermi dai guasti, sono la frequenza e la durata con cui entrambi si manifestano. Infatti, i primi hanno alta frequenza e bassa durata, i secondi hanno alta durata e bassa frequenza. Tali fermi non sono sempre collegati a guasti o danni, quindi non richiedono, nella maggior parte dei casi, l'intervento del team di manutenzione. Nonostante ciò spesso costituiscono una causa *core* di improduttività per diverse ragioni [15]:

- Per via della loro breve durata, vengono spesso sottovalutati dagli operatori di processo e quindi risultano sottostimati;
- Insieme ai guasti appartengono alla categoria dei *downtime,* quindi costituiscono uno dei fattori più influenti in termini di impatto negativo sull'OEE e sono una causa rilevante di inefficienza;
- L'elevata frequenza con la quale si manifestano e la mancanza di reazione da parte del personale, spesso fa sì che risultino più dannosi dei guasti.

Per quanto riguarda i rallentamenti in un processo di assemblaggio, in termini di velocità, le *speed losses,* sono dovute a cause differenti [14]:

1. Inceppamenti del macchinario;
2. Flusso di prodotto rallentato in seguito ad un accumulo di items, avvenuto in seguito ai microfermi di uno dei macchinari in linea;
3. Blocco dei sensori, ciò rallenta il passaggio dell'item al task successivo;
4. Attività di pulizia e/o controllo.

Tra gli strumenti che possono essere utilizzati per tenere traccia dei microfermi e in generale di tutti i *breakdown* che influiscono sul processo, anche quelli di maggiore durata, si può utilizzare la *TTF-TTR data statistical analysis* [15], in base al quale, si analizzano i dati di un campione di n osservazioni raccolti con una cadenza prefissata, su ogni linea, in termini di *tempo tra due fermi (TTF)* e *tempo di riparazione (TTR)*. In particolare, tale analisi avviene effettuando delle statistiche descrittive e ottenendo così i valori medi, coincidenti con il MTTR e il MTBF rispettivamente, le deviazioni standard, i valori massimi, i valori minimi ecc e mettendo infine a confronto i risultati ottenuti. Tale procedura sarà maggiormente approfondita nel capitolo 4.

Ci si chiede quindi, quale possa essere la *soluzione* per ridurre i microfermi. Sicuramente un'attenzione maggiore da parte di coloro che sono direttamente coinvolti nel processo: secondo Ilenia Zennaro et al. [15], i microfermi possono essere infatti gestiti e controllati direttamente dagli operatori; a tale scopo un approccio basato sulla *TPM (Total Productive Maintenance)*, può essere uno strumento utile.

Secondo Nakajima [27], la TPM infatti, ha come finalità principale quella di massimizzare l'efficacia dei macchinari durante tutta la loro vita utile e di farlo soprattutto attraverso la partecipazione e la collaborazione della *forza lavoro*.

Le imprese, tra l'altro tendono a sostenere grossi investimenti in nuove attrezzature al fine di incrementare la produttività, ma ciò non è sufficiente se non se ne fa un pieno utilizzo, scopo che può essere raggiunto tramite l'implementazione del *TPM program*, al fine di garantire un alto livello di affidabilità dei macchinari (Rahaman et al. [29]).

Secondo Jain et al. [30], l'approccio TPM si basa essenzialmente su 8 pilastri:

1. **Autonomous maintenance**: manutenzione autonoma, in base alla quale l'insieme delle attività di manutenzione preventiva sono eseguite direttamente dagli operai, coinvolti nella gestione dei macchinari;
2. **Focussed improvement:** miglioramento mirato dei macchinari, avviene continuamente in piccoli step;
3. **Planned maintenance/mobile maintenance:** manutenzione pianificata/manutenzione mobile, punta all'aumento dell'availability dei macchinari, riducendo i tempi di fermo (microfermi e guasti);
4. **Quality maintenance:** manutenzione della qualità, ha lo scopo di stabilire le condizioni che impediranno il verificarsi di difetti di prodotto in linea col programma "zero difetti";
5. **Education and training:** attività di formazione della forza lavoro, in modo tale da far sì che questa possieda le competenze tecniche necessarie all'esecuzione della manutenzione autonoma;
6. **Initial control**: punta a stabilire un sistema di gestione della fase di start up dei macchinari e di quella di riattrezzaggio, in tempi brevi;
7. **Safety and hygiene**: sicurezza e igiene, mira a creare un ambiente di lavoro sicuro e salutare, riducendo il rischio di incidenti;
8. **Environment office TPM**: mira a creare un contesto lavorativo efficiente, volto all'eliminazione delle perdite.

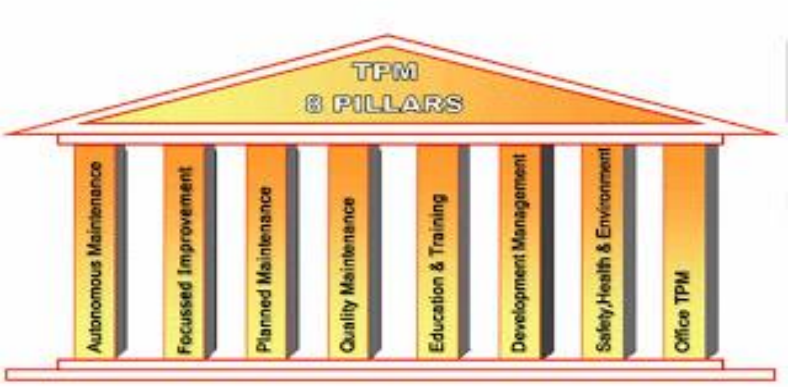


Figura 2.2.2: *TPM 8 Pillars [30]*

L'implementazione della TPM presenta delle *criticità* per diverse ragioni, in primo luogo perché ci vuole tempo per l'acquisizione delle conoscenze e competenze necessarie all'attuazione, in secondo luogo perché è richiesta la partecipazione delle funzioni aziendali a tutti i livelli e infine perché i risultati completi possono essere visualizzati solo dopo un anno, per via del tempo necessario al miglioramento dell'attrezzatura (Jagdeep Singh et al. [31]).

Nonostante ciò, i *benefici* della TPM sono piuttosto rilevanti, in quanto ognuno dei suoi 8 pilastri punta ad un "zero target", ovvero all'obiettivo di azzerare una qualche causa di inefficienza.

Riguardo al primo pilastro della TPM, la *manutenzione autonoma,* essa prevede la partecipazione attiva degli operai ad attività di natura preventiva quali ispezioni, pulizie, controlli, sostituzioni, piccole riparazioni etc [21]. Al perseguimento di tale scopo incorre in aiuto il quinto pilastro, *Education and Training*, basato sulla formazione degli operatori di linea, finalizzata allo svolgimento delle mansioni sopraindicate.
Infine, il problema oggetto d'analisi in questo paragrafo, ovvero la gestione dei microfermi (e in generale di tutti i downtime), è connessa strettamente al terzo obiettivo, cioè la *manutenzione mobile.* Anche nell'attuazione di questa soluzione, come per la manutenzione preventiva, l'approccio TPM punta a dare una formazione adeguata sui macchinari, agli operatori. Nessuno infatti, può comprendere il funzionamento di un macchinario meglio di chi ne risulta continuamente in contatto, essendo coinvolto direttamente nel processo.
A tale scopo sorge la necessità di fornire agli operai le informazioni utili a rilevare i piccoli malfunzionamenti prima che si traducano in gravi guasti successivamente.

Per tali ragioni è necessario che gli addetti alla manutenzione siano regolarmente in contatto con gli operatori, aumentando le loro relazioni di lavoro e la loro capacità coordinamento. Queste soluzioni potrebbero quindi, ridurrei tempi di inattività non pianificati e mantenere l'efficienza dei macchinari al massimo livello possibile.

Infine, è importante sottolineare che la metrica per misurare i risultati ottenuti dall'attuazione della TPM è fornita dall'indicatore OEE, inteso come una combinazione di manutenzione operativa, gestione delle attrezzature e risorse disponibili [31].

2.4 Setup

La seconda delle 6 Big Losses a cui si fa riferimento nel paragrafo 2.1, è causata dai setup. Benjamin et al [32] definisce il setup come il processo di passaggio dalla produzione o assemblaggio di determinato prodotto ad un altro, operazione che può richiedere un cambio nel formato, nei pezzi di un macchinario, o nelle attrezzature.

Özcan et al. [33] definiscono in particolare un setup in una linea di assemblaggio, come l'insieme delle *attività* necessarie per eseguire un task, quale ad esempio movimentazioni, selezione di un nuovi strumenti di assemblaggio, assunzione di una determinata posizione/postazione al fine di utilizzare la procedura di installazione più adatta, attività di pulizia, ispezione dei pezzi di montaggio, impostazione degli strumenti, ecc. Il tempo richiesto per eseguire tali attività di configurazione è quindi definito *tempo di setup*.

La scelta della *batch size*, in un processo di produzione o assemblaggio in presenza di setup, implica l'esistenza di un tradeoff tra massimizzazione della capacità e minimizzazione dell'inventory, in particolare occorre distingure tra due casi [34]:

- Se il setup si verifica in una *fase bottleneck* e il processo è capacity costrained, ovvero la domanda è più alta della capacità, la scelta migliore corrisponde ad aumentare la dimensione del lotto, in modo da ridurre il numero di cambi, incrementare la capacità del processo e quindi aumentare il flow rate, cioè il numero di flow units che attraversano il sistema nell'unita di tempo;
- Se il setup si verifica in una *fase nonbottleneck* invece, o se il processo è demand constarined, cioè la capacità è superiore alla domanda, allora sarebbe meglio scegliere lotti di dimensione più piccola, in modo tale da ridurre il livello di inventory e il flow

time, cioè il tempo impiegato da un item per completare il proprio percorso all'interno del sistema.

Il problema dei setup e del dimensionamento dei lotti, sta acquisendo negli ultimi tempi sempre più rilevanza, anche per via del fatto che sempre più imprese, in linea con l'implementazione di un approccio "Lean", volto soprattutto a soddisfare le esigenze dei clienti, tendono a scegliere lotti di piccola dimensione. La conseguenza di ciò è che tanto più piccola risulta la dimensione del lotto, tanto maggiore sarà il numero di cambi necessari, con conseguente aumento del tempo di setup.
Il problema, quindi, sta nel fatto che tale tempo di changeover è sostanzialmente improduttivo, infatti come sottolineano Singh et al. [35] il tempo produttivo per un macchinario aumenta tanto di più quanto maggiormente si è in grado di ridurre il tempo di setup.
Una modalità che può essere adottata per abbassare i tempi di riattrezzaggio è la metodologia *SMED*
(*Shingo's single minute exchange of die*), in base alla quale risulta possibile svolgere le operazioni di setup, che Shingo [38] definisce come l'insieme delle attività di preparazione o riattrezzaggio svolte ogni volta che un lotto è stato ultimato, prima del processamento del lotto successivo, in un tempo non superiore ai 10 minuti, cioè in un numero di minuti espresso tramite una singola cifra.
Desai [39] sostiene che tale metodologia aiuti a ridurre la dimensione dei lotti, ma nello stesso tempo consenta un abbassamento del tempo non produttivo attraverso la velocizzazione e standardizzazione delle attività di setup, usando delle tecniche semplici.

Ci sono essenzialmente quattro fasi che vengono attuate per ridurre il tempo di setup usando la metodologia SMED [38], [40]:

1. **Preliminary stage**: consiste nell'analizzare e nel comprendere quale processo di setup è utilizzato dall'impresa in quel momento e quali sono le principali cause di variabilità; a tale scopo è necessaria una raccolta dei tempi di setup;
2. **Stage 1: Separazione tra setup interni e setup esterni**, cioè analizzare tutti i task che sono parte del tempo di setup e poi dividere tali task in due gruppi i setup interni, ovvero quei

task che possono essere eseguiti solo mentre la macchina è ferma e i setup esterni cioè quei task che possono essere eseguiti mentre la macchina è ancora operativa, in altre parole, essi possono essere svolti, prima che inizi il changeover;

3. **Stage 2: conversione dei setup interni in setup esterni**, a tale scopo occorre riesaminare le attività interne per controllare se qualcuna di queste può essere stata erroneamente considerata come interna. Oppure cercare di trovare delle alternative che permettano di eseguire un'attività di setup interna esternamente, in maniera totale o parziale, ovvero compierla quando ancora la macchina è in funzione;
4. **Stage 3: Snellimento di tutti gli aspetti del processo di setup:** cioè tale step mira a migliorare tutte le operazioni di setup, sia interne che esterne, riducendone la durata e provando ad eliminare se è possibile alcune operazioni.

Un ulteriore attività importante nell'implementazione della SMED è la *standardizzazione* delle attività; infatti, è più semplice svolgere le operazioni di changeover se queste sono standardizzate [38].

In relazione allo step 3 potrebbe essere interessante chiedersi se e in quali casi la conversione dei setup interni in esterni sia un investimento fruttuoso.

Esistono infatti, due differenti situazioni [34]:

- Se la SMED è applicata a fasi che non costituiscono collo di bottiglia, essa non arreca alcun miglioramento al processo. Questo per via del fatto che le *fasi non-bottleneck* hanno un eccesso di capacità, per cui i setup sono relativamente liberi, o per meglio dire, l'unico vincolo è legato all'aumento dell'inventory. Quindi investire in qualche risorsa tecnica o umana può essere uno spreco, conduce ad uno scarso miglioramento della capacità e/o la sottrae a progetti che ne avrebbero più necessità;
- Se la SMED è invece applicata in *fasi bottleneck*, può apportare dei miglioramenti e l'investimento di conversione dei setup interni in esterni, sarà con buona probabilità profittevole.

Secondo Pannesi [36] la riduzione dei tempi di setup, mediante l'utilizzo della metodologia SMED, determina differenti *benefici*:

- Rende più fattibile la scelta di lotti di dimensioni minori, in quanto per rispondere ai cambiamenti del mercato, è necessario essere flessibili, quindi produrre in piccoli lotti senza che ciò comporti costi troppo elevati;
- Riduce gli scarti generati dalle operazioni di changeover;
- Riduce i costi, infatti, specialmente sulle risorse bottleneck, la riduzione dei tempi di setup impatta positivamente sul costo di produzione/assemblaggio del prodotto, in quanto esso è direttamente collegato alle prestazioni dei macchinari;
- Aumenta la capacità della risorsa bottleneck, la quale può essere una buona soluzione nei casi in cui la domanda di mercato aumenti [37].

Infine, vale la pena sottolineare che l'approccio SMED nella sua forma convenzionale ha dei *limiti.* Il primo limite è che si tratta di un approccio pensato per essere applicabile ad un sistema con una sola macchina e una sola risorsa, ma i sistemi industriali sono nella realtà ben più complessi, con più risorse e più operatori, per cui l'approccio SMED nella sua forma semplice non è sufficiente. Il secondo aspetto in cui la SMED risulta carente è invece, quello di non considerare come fattore rilevante l'impegno e la motivazione della forza lavoro, pensando che le attività di riattrezzaggio possano essere meglio gestite solamente aumentando le performance dei macchinari, quando in realtà vanno presi in considerazione anche gli operatori, poiché anch'essi costituiscono una parte fondamentale del processo di setup [41].

2.5 Material shortages e gestione dell'inventory

Un altro fattore rilevante che influisce sulla produttività e quindi causa delle perdite è la *mancanza di materia prima*. Nel senso che il materiale non viene rilasciato in linea nei tempi opportuni dagli addetti al magazzino e ciò impedisce di avviare la commessa. Le cause di tale ritardo nel trasferimento dei componenti dal magazzino può essere riconducibile a due tipologie di criticità, la prima è data dal fatto che il materiale non è prelevato dal magazzino nei tempi opportuni, per via di limiti legati ad un non corretto funzionamento del software di gestione dello stock adottato dalle aziende, le quali utilizzano sempre più frequentemente sistemi di picking *paperless* incorrendo talvolta però in difficoltà di adattamento di questi strumenti al sistema corrente; tale aspetto sarà approfondito maggiormente nel capitolo 3.

La seconda causa è legata alla gestione dell'inventory. La materia prima infatti, potrebbe non essere consegnata in linea nei tempi previsti perché non è presente in magazzino, cioè non è

stata ancora consegnata dai fornitori. Ciò può essere dovuto ad un errore da parte dell'azienda nel fissare il livello di riordino R, molto probabilmente dovuto al fatto che si è verificato un improvviso aumento della domanda che non era stato messo in conto, oppure nell'allungamento imprevisto dei Lead Time di consegna dei suppliers.

Per sopperire a tale eventualità la soluzione è quella di mantenere delle *safety stock,* cioè scorte di sicurezza che consentano di gestire variabilità imprevedibili della domanda, cercando di trasformare una variabilità incerta in una prevedibile e soprattutto studiando e raccogliendo informazioni sui probabili comportamenti dei clienti, così da rendere più facilmente rintracciabili i momenti di picco degli ordini e cercando di attuare una previsione della domanda più puntuale [47].

Nell'attuare tale scelta, occorre però gestire il trade-off tra la minimizzazione del rischio di backlog tramite l'aumento delle scorte di sicurezza e la minimizzazione del costo dell'inventory, tenendo il livello delle scorte più basso possibile.

2.6 Valore degli ordini e backlog

Un altro elemento che potrebbe influenzare la produttività è il ritardo nell'evasione degli ordini. A tal proposito si può distinguere tra i concetti di backorder e backlog.

Per *backorder* nel periodo t si intende la quantità di domanda non soddisfatta nel periodo t, mentre per *backlog* nel periodo t, si intende il numero di backorders nei periodi compresi da 1 a t che non sono stati coperti entro la fine del periodo. (Helber et al. [46]).

All'interno di un sistema capacity constrained può anche risultare profittevole avere un backorder su un item meno profittevole a patto che la domanda degli items più profittevoli sia soddisfatta in tempo [44]. In altre parole, sarebbe in tal caso una strategia consigliabile per l'impresa, stabilire una correlazione positiva tra il valore degli ordini, inteso come margine di contribuzione associato alla loro vendita e la priorità con cui questi vengono soddisfatti. Quindi, occorrerebbe sfruttare la capacità produttiva disponibile per eseguire dapprima le commesse a valore più elevato, in modo tale da minimizzare la probabilità che essi si traducano in backorder e solo successivamente passare all'esecuzione di quelle meno importanti.

L'attribuzione di un livello di priorità differente tra gli ordini, va fatta anche in relazione all'importanza del cliente per l'impresa. Mossman et al. [51], affermano infatti, che i clienti non contribuiscono tutti equamente al successo dell'azienda e che lo scopo di quest'ultima è identificare quali siano i clienti che desiderano un trattamento speciale che hanno quindi

pretese più elevate; dopodiché adattare l'offerta alle loro esigenze, la cui soddisfazione permetterà all'impresa di raggiungere gli obiettivi di profitto prefissati.
Un ulteriore criterio per la prioritizzazione delle commesse può essere stabilito applicando le regole di gestione dell'inventory, analizzate da Onal M. et al. [45], anche a livello di ordini, soprattutto nei casi in cui essi si tramutino in backlog e quindi si verifichi un ritardo nel soddisfare la domanda. Tra le regole di gestione del magazzino, infatti, la *FIFO (First in First Out),* può essere anche utilizzata come politica di gestione degli ordini, la quale impone di soddisfare la domanda del periodo t prima di soddisfare quella del periodo t+1. In altre parole, sia che si preveda di evadere l'ordine entro la data di consegna prevista, sia in caso di backorder, la priorità va assegnata alle commesse con data di consegna anteriore.
Il concetto di backorder è inoltre, strettamente legato a quello di *Customer Service Level;* Gade et al. [43] forniscono due definizioni di livello di servizio, la prima che lo esprime come un limite al numero di periodi in cui possono verificarsi i backlog, la seconda lo indica come una soglia percentuale di domanda minima che deve essere soddisfatta in tempo.
Altre due misure di livello di servizio rilevanti sono il *fill rate* e il *cycle service level* [46]. Il fill rate detto anche *gamma service level* è dato dal rapporto tra il backlog atteso nel periodo t e la domanda attesa nel periodo t. Esso riflette infatti, la grandezza del backlog e quindi in senso più esteso riflette l'entità del tempo di attesa. Il suo punto di debolezza è costituito dal fatto che non può essere definito in caso di domanda attesa nulla. Invece il cycle service level, detto anche *delta service level*, prende in considerazione il tempo di attesa dei clienti e la dimensione del backorder. Esso è dato dal rapporto tra il backlog atteso totale e il backlog atteso totale massimo, che equivale al totale della domanda cumulata attesa che non si riesce ad evadere entro il periodo considerato. Secondo gli autori è preferibile utilizzare il delta service level piuttosto che il fill rate, perché esso permette di tenere conto del tempo di attesa dei clienti e di fissare anche un limite sul backlog.
Un altro indicatore del livello di servizio offerto al cliente può essere rappresentato da *Lead time*, esso costituisce l'intervallo di tempo compreso tra la ricezione dell'ordine e la consegna al cliente. [48]. Uno degli obiettivi dell'impresa è quello di minimizzare tale arco temporale.
Altre *misure di performance* sono state messe in evidenza da Berge et al [53]:

1. Percentuale complessiva di domanda soddisfatta;
2. Percentuale di ordini evasi in pieno;
3. Tasso di clienti non pienamente soddisfatti;
4. Domanda inevasa per mancanza di materia prima.

Inoltre, c'è da sottolineare che nello stabilire la soglia minima di livello di servizio da garantire al cliente, sorge una *criticità*. Sterling e Lambert [50] fanno notare infatti, come spesso le imprese s'impongano di offrire livelli di servizio più alti del necessario, solo perché non comprendono che i clienti hanno delle esigenze differenti rispetto ai venditori, nel senso che l'impresa effettua delle previsioni rispetto a quelli che potrebbero essere gli aspetti ritenuti più importanti su cui il cliente non transige, ma in realtà gli elementi che questo percepisce davvero come cruciali, sono diversi da quelli che l'azienda aveva previsto.
Infine, l'ultimo aspetto rilevante è quello riguardante il costo della domanda non soddisfatta in tempo; la sua entità dipende dal cliente con il quale si interagisce. Nel caso in cui non si riesca ad evadere l'ordine nei tempi previsti, infatti, sono due le possibili *reazioni* dei clienti [47]:

1) **Caso lost sales:** si tratta del caso estremo in cui si assume che la domanda inevasa non possa più essere recuperata e che quindi il cliente non soddisfatto si rivolga ad un altro fornitore, o comunque non accetti una consegna dilazionata, rifiutandosi di pagare se l'ordine è in ritardo;
2) **Caso backorder:** in tal caso si assume che la domanda insoddisfatta in un determinato periodo rimanga come domanda da soddisfare per i periodi successivi; questa situazione si riscontra quindi, nel caso in cui i clienti siano disposti ad attendere che l'ordine sia pronto e ad accettare un ritardo nella consegna.

In termini di costi, si ha in particolare che nel caso lost sales si parla di mancate vendite, poiché si assume che i clienti non accettano più l'ordine oltre la data di consegna stabilita. Quindi il costo del backorder in tal caso coincide almeno con il valore dell'ordine, ovvero con il *margine* che si sarebbe guadagnato in caso di consegna entro i tempi. Nel secondo caso invece, il cliente è disposto ad accettare una consegna dilazionata**,** talvolta dietro pagamento di una *penale* dovuta al ritardo, la quale è in alcuni casi specificata da contratto e con cui i clienti riescono a trasferire all'azienda i costi della mancata o parziale consegna dei prodotti richiesti.
Un ulteriore conseguenza del ritardo nell'evasione degli ordini, difficilmente quantificabile, è la *Customer Goodwill* ovvero la perdita d'immagine in cui può incorrere l'azienda agli occhi del cliente, la quale potrebbe iniziare a dubitare della sua affidabilità, generando come effetto nel lungo periodo la scelta del cliente di rivolgersi ad un competitor. Un tentativo di quantificare il valore della customer goodwill è il calcolo della *customer lifetime value,* cioè il

valore che l'azienda genera per il cliente lungo il suo ciclo di vita; questo concetto aiuta ad avere un'idea del possibile costo che la perdita di un cliente può comportare, anche se risulta molto difficile stimare la probabilità con cui la non evasione dell'ordine nei tempi programmati, generi come conseguenza una perdita definitiva del cliente [47].

Capitolo 3 - Case study: Drink International

3.1 Descrizione del prodotto e del processo

Come accennato nel capitolo 1, i dati raccolti fanno riferimento alla campagna natalizia svolta presso lo stabilimento di Drink International s.p.a., nel periodo compreso tra Ottobre e Dicembre 2018.

In particolare, l'azienda si occupa del confezionamento di cesti natalizi e pasquali, svolgendo un'attività di assemblaggio di tipo stagionale per un periodo complessivo di quattro mesi l'anno, diversamente, durante i mesi di fermo, si svolge la progettazione e lo sviluppo di idee regalo innovative per la successiva campagna, illustrando così il catalogo con i nuovi prodotti ai clienti abituali, in modo tale che questi riescano già a pianificare gli ordini dei nuovi modelli.

Per quanto riguarda i *prodotti,* questi possono essere distinti in relazione a diversi criteri:

- *Forma:* dipende dal contenitore utilizzato, può trattarsi di cesto, strenna o vassoio;

Figura 3. 1.1: *cesto"Brillante"*

- *Componenti:* Alimenti dolci o salati con marchi selezionati;
- *Cliente:* ci sono infatti, tre categorie di prodotti: quelli destinati a soddisfare gli ordini dei *distributors italiani*, quelli realizzati esclusivamente per essere indirizzati al *mercato estero*, infine quelli appartenenti alla classe *private label,* cioè i prodotti richiesti dai partner commerciali (Coop, Conad, Passioni by Auchan) che ottengono dall'azienda il servizio di confezionamento dei prodotti mantenendo, però, il loro marchio.

Figura 3.1.2: *strenna "sapori Italiani"*

Figura 3.1.3: *vassoio "Porto fino" (mercato estero)*

Per quanto riguarda il *processo di confezionamento*, esso consiste di un'attività di assemblaggio dei componenti che si svolge in tre turni di 8 ore ciascuno, su 10 linee, oltre a due ulteriori linee in cui non avviene il confezionamento dei prodotti, bensì soltanto la produzione dei cesti esterni.

In particolare, il processo di si articola in più fasi:

- *Ricezione della materia prima in linea*: operazione eseguita dall' asservitore;
- *Composizione del cesto*: l'item scorre sul nastro e ogni addetto di linea provvede all'inserimento di due componenti all'interno, il ritmo del processo in tale fase è scandito dalla potenza del nastro stesso;
- *Cellofanatura:* due operatori per ogni pezzo, quattro operatori per linea, sono addetti a tale funzione, gestita interamente dalla forza lavoro senza mezzi automatizzati, su due banchi disposti in sequenza, in tale fase è molto importante l'esperienza e le competenze delle risorse impiegate;
- *Inscatolamento*: attività automatizzata, dipende fortemente dal buon funzionamento dei macchinari e delle attrezzature (etichettatrice, chiudi-falde, metti-foto, reggiatrice ecc), un ruolo coadiuvante è ricoperto da un addetto che si occupa dell'apertura delle scatole e dell'accurato posizionamento del pezzo all'interno della scatola, prima della chiusura automatizzata della stessa;
- *Palletizzazione*: tale operazione di prelievo del prodotto finito e composizione del pallet è anch'essa automatizzata ed è generalmente eseguita dal fanuc, un braccio meccanico adibito al servizio di due linee contemporaneamente;
- *Ritiro del pallet*: un addetto magazzino provvede al prelievo del pallet ultimato e al suo trasferimento presso il magazzino PF.

Ogni linea è caratterizzata da una produzione oraria teorica fissata, calcolata in base alla capacità della linea stessa. Inoltre, allo scopo di monitorarne le prestazioni, il livello di pezzi

prodotto su ogni linea si può rilevare grazie alla presenza di *RTPS* (Real Time Production System), è un sistema di gestione e controllo della produzione, che consente un controllo puntuale e in tempo reale dei pezzi processati, permettendo una precisa tracciabilità del prodotto. Tale sistema informativo infatti, aggiorna lo stato corrente del livello di items su ogni linea, non appena un nuovo pallet viene rilasciato.
Per quanto riguarda il *controllo qualità*, esso viene effettuato lungo tutto il processo di assemblaggio, sia sulle materie prime che sul prodotto confezionato. La cadenza è definita secondo tempistiche necessarie a garantire una ciclicità lungo tutte le linee e l'operazione è affidata all'addetto controllo qualità, uno per ogni turno.
Gli addetti a tale compito devono controllare che tutte le etichette del materiale proveniente dal magazzino siano quelle riferite alla commessa che sta per essere iniziata, cioè ai codici dei componenti presenti nella BOM del prodotto, in caso affermativo si può procedere ad avviare la commessa sulla linea. Inoltre, l'addetto alla qualità è adibito anche al conteggio degli scarti provenienti da fornitore prima dell'inizio della commessa, oltre a tenere traccia del numero degli scarti di prodotto finito al completamento di essa.

3.2 Descrizione del Magazzino, gestione dei flussi fisici e informativi

Il magazzino centrale ha sede a Settimo Torinese, dentro lo stabilimento stesso ed ha una estensione di 30000 m^2. Esso si compone di:

1. Un magazzino automatico MP, con una capienza di 4800 posti pallet;
2. Un magazzino automatico PF, con una capienza di 22000 posti pallet.

In questi due magazzini automatici viene stoccato tutto ciò che è UDC standard.
Inoltre, sono presenti altri tre magazzini a scaffale verticale non automatizzati:

- **MN**: magazzino materie prime non UDC standard, con una capienza di 1920 posti pallet;
- **MB**: magazzino imballi, 500 posti pallet;
- **MT**: mg materiale area comune, 205 posti pallet.

La consegna dei prodotti finiti ai clienti è organizzata in modo tale da far viaggiare i camion carichi, per quanto possibile, cercando di minimizzare il costo del trasporto, in particolare la gestione del flusso di merci prevede che arrivino in stabilimento 3 camion all'ora, in grado di trasportare 33 pallet ciascuno. Talvolta la sequenza con cui vengono eseguite le commesse,

risulta essere modificata rispetto alla schedulazione iniziale, proprio per soddisfare le esigenze di pieno sfruttamento dello spazio presente nei mezzi di trasporto.
Inoltre, l'azienda si serve, come indicato nel Capitolo 1, anche di alcuni *transit point*, ovvero un centro di smistamento dei prodotti finiti dislocati in Italia, i quali permettono all'azienda di ridistribuire più facilmente la merce ai clienti, agevolando i trasporti.
Per quanto riguarda i flussi informativi, l'azienda fa uso, anche per l'esecuzione delle operazioni di *picking*, ovvero di prelievo dal magazzino delle materie prime necessarie all'esecuzione della commessa, di un software chiamato *Stock system***,** un sistema informativo di gestione del magazzino che permette uno stoccaggio automatizzato. Esso infatti, sfrutta l'utilizzo di un palmare, tramite il quale gli addetti possono facilmente eseguire la scansione del codice sui bancali di materie prime corrispondenti alla prossima commessa, presenti in magazzino. Tale scansione viene eseguita sia al prelievo del materiale che alla sua consegna in linea, così facendo il palmare invia al computer centrale del magazzino il segnale di avvenuta ricezione.
Inoltre, gli addetti allo stoccaggio, sono chiamati ad inviare rifornimenti di materie prime per la commessa in corso, quando il sistema segnala che la quantità in linea di un dato componente, sia scesa al di sotto di una *soglia di sicurezza S*, pari a 240 unità.
Una delle *cause* dei ritardi nell'esecuzione delle commesse è proprio rappresentata dalla *mancanza di materiale*. Ciò può essere imputabile, come già introdotto nel capitolo 2, all'assenza del materiale in magazzino a causa di un imprevisto allungamento dei Lead time di consegna dei fornitori, oppure a dei ritardi nella movimentazione del materiale dal magazzino in linea.
Quest'ultimo problema può essere dovuto a dei limiti connessi al sistema informativo *paperless* sopracitato, utilizzato per gestire lo stock. Esso infatti, avrebbe dovuto essere in grado di segnalare al sistema centrale del magazzino, tramite i computer di linea, il caso in cui la quantità di materiale risultasse inferiore alla soglia S, in modo tale da garantire un intervento tempestivo degli addetti magazzino. Poiché di fatto, ciò non si verificava, tale segnalazione era effettuata direttamente dai referenti di linea, dopodiché l'informazione era trasferita dagli stessi al capoturno, il quale si premurava di contattare per via telefonica l'addetto magazzino per i rifornimenti in linea, allungando così i tempi in maniera considerevole.

3.3 Collocazione dell'impresa nella supply chain

Per quanto riguarda la posizione dell'impresa nella catena del valore, si può notare come Drink International si colloca, in linea con la sua funzione d'assemblaggio, in posizione centrale nella supply chain, la cui struttura risulta convergente dal lato *fornitori*, infatti prevede la presenza di più suppliers che riforniscono l'azienda delle materie prime (food and beverage) necessarie per il confezionamento dei prodotti finiti, invece è arborescente dal lato *cliente*: l'azienda serve infatti la *Grande distribuzione organizzata (GDO)*, rappresentata dai distributors, i quali si occupano poi di rifornire i retailers, che a loro volta rivendono i prodotti ai clienti finali.

In particolare, i principali clienti dell'azienda sono:

- Amazon;
- Conad;
- Coop;
- Crai;
- Carrefour;
- E. Leclerc;
- Penny market;
- Pam;
- Metro;
- SISA;
- Auchan;
- Unes Supermercati;
- Bennet;
- Lidl.

Inoltre, il confezionamento dei prodotti può avvenire sotto il *marchio* proprio dell'azienda *"Regali idea",* oppure per *conto-terzi*, cioè l'azienda stipula delle *partnership commerciali* con alcuni clienti, i cui ordini rivestono un'importanza rilevante, principalmente si tratta di Conad e Coop, riservandosi di garantire loro il servizio richiesto, ma i componenti e il marchio applicato sulla confezione, rimane il loro.

Figura 3.3.1: *Marchio "Regalidea"*

Un altro cliente di importanza non trascurabile è Amazon, per soddisfare gli ordini del quale l'azienda si riserva di eseguire delle *rilavorazioni* sui prodotti, per aggiungere delle caratteristiche peculiari al prodotto che lo rendano customizzato, in base alle richieste specifiche del cliente. Per eseguire tali rilavorazioni ci si serve quindi, di una delle dieci linee d'assemblaggio ordinarie, oppure di una delle due linee extra, R1 ed R2, adibite esclusivamente a questa mansione. L'impresa infine, serve anche il *mercato estero,* con articoli pensati appositamente per essere indirizzati all'esportazione.

Per quanto riguarda la fase di approvigionamento delle materie prime, l'azienda ricorre a numerosi fornitori esterni, nei confronti dei quali ha un potere contrattuale non trascurabile. Questi forniscono materie prime selezionate (alimenti e bevande) la cui scelta è un fattore critico per tre ragioni:

- La reputazione e il brand dell'azienda fornitrice, influenzano in maniera sostanziale il valore del prodotto confezionato, impattando così sul margine di contribuzione dell'azienda;
- Il rapporto contrattuale con i suppliers non si basa sulla necessità di questi ultimi di compiere investimenti specifici, ciò fa sì che i fornitori siano abbastanza sostituibili tra loro, anche se occorre non trascurare l'aspetto legato alla fedeltà, da parte dei clienti,al marchio dei componenti inseriti in ogni singolo cesto, la sostituzione dei quali potrebbe renderli non del tutto soddisfatti;
- Considerare il miglior rapporto qualità-prezzo;
- Valutare come criterio prioritario di selezione dei fornitori il rispetto del lead time di consegna delle materie prime stabilito.

Alla luce di tali criteri, i più importanti fornitori di materie prime scelti dall'azienda sono:

- Domori;
- Illy;
- Parmigiano Reggiano;
- Grana Padano;

- Venchi;
- Baratti & Milano;
- Bauli;
- Lindt;
- Tre Marie;
- Caffarel;
- Motta.

3.4 Pianificazione e schedulazione degli ordini

L'azienda utilizza per la pianificazione e schedulazione degli ordini l'*MRP* (*Material Requirements Planning*), il quale si occupa di gestire la domanda dei componenti, quindi calcola i *fabbisogni* netti di materie prime, operazione detta di *Netting*, essa avviene moltiplicando il numero di componenti necessari per realizzare un singolo prodotto finito (dati ricavati dalla *Bill of material (BOM)*), per il numero di prodotti finiti che è necessario realizzare in base a quanto stabilito dall'MRP. Successivamente, si occupa di scomporre il fabbisogno netto di componenti in lotti (*Lot sizing*).
Inoltre, l'MRP fornisce informazioni su [55]:

- Il livello di riordino, quindi quando emettere l'ordine;
- Quali ordini emettere e la loro dimensione;
- Quali ordini sollecitare o cancellare;
- Il livello di scorta di MP netto;
- Il bilanciamento del lead time di ciascun componente, ovvero la traslazione nel tempo degli ordini di rifornimento in modo tale che le materie prime possano esser rese disponibili nelle date in cui è necessario avviare la commessa.

Per gestire invece la domanda dei prodotti finiti, si utilizza l'MPS (Master Production Schedule). Si tratta di un componente dell'MRP che si occupa di *pianificare* le commesse, indicando la *quantità* di prodotti finiti da realizzare e *quando* devono essere realizzati in base alla *data di consegna* richiesta dal cliente [56].
Per realizzare l'MPS occorre quindi quantificare la domanda di prodotti finiti. Ciò come avviene?
L'azienda si serve essenzialmente per quantificarla, sia degli ordini (O_t) effettivamente ricevuti dai clienti nel periodo t, sia di previsioni (F_t) per il periodo t-esimo, elaborate basandosi sulle serie storiche dei dati delle campagne precedenti, in particolare l'MPS, per

precauzione, assume di presupporre come valore di domanda D_t, il massimo tra questi due valori. Quindi la pianificazione della quantità da assemblare nel periodo t fornita dall'MPS sarà:

$$\mathbf{MPS_t = I_t - I_{t-1} + max\ (F_t, O_t)} \qquad \mathbf{(1)}$$

Dove:

Max (F_t, O_t) = D_t;

I_t = previsione delle scorte disponibili nel periodo t, dopo aver soddisfatto la domanda di quel periodo;

I_{t-1} = previsione delle scorte disponibili nel periodo t-1, dopo aver soddisfatto la domanda di quel periodo.

Il vincolo da rispettare è che **I_t** risulti sempre positivo.

Dopo la pianificazione degli ordini eseguita dall'MPS, l'MRP si occupa di schedularli, in presenza di ritardi nella consegna delle materie prime, infatti, occorrerà stabilire quali ordini di prodotto finito potranno essere completati in tempo e quale invece subiranno ritardi rispetto a quanto stabilito nei *Planned Orders Releases*. In relazione a ciò, un'altra funzione dell'MRP sono le *Change Notices*, ovvero notifiche di variazione nell'ordine di processamento degli items, in base ad esse occorrerà infatti sequenziare prima i job considerati più urgenti, posticipando invece l'esecuzione di quelli per i quali la data di consegna è stata ritardata [56].

3.5 Dimensionamento della capacità produttiva e scelta dei valori target

Il problema principale dell'uso dell'MRP è che non tiene conto della capacità produttiva del sistema, quindi talvolta i piani realizzati non sono ammissibili per via del vincolo della capacità delle linee.

Di conseguenza, la fedeltà al piano è realizzabile finché si rientra nei limiti di capacità, superati i quali occorre riaggiornare le date di rilascio degli ordini. Ciò innesca come conseguenza la presenza di backlog, ovvero di ordini non soddisfatti entro la data di consegna stabilita;

Per minimizzare il tasso di backlog si è fatto ricorso a due strumenti principali:

- Ore di lavoro straordinario;
- Impiego di risorse extra-ciclo;

Quando una commessa non viene completata nei tempi previsti infatti, la quantità inevasa di quell'articolo si va ad aggiungere a quella ancora da evadere, relativamente ad un diverso ordine di quello stesso prodotto; tale procedimento si ripete in modo iterativo finché non si

imponga che l'ultima commessa del prodotto in questione, sia vincolata, cioè soggetta al vincolo tale che $Q_{evasa} = Q_{ordinata}$.

Ma tale vincolo non sempre viene rispettato, per via di rallentamenti del ritmo produttivo, motivo per cui la quantità rimasta inevasa alla fine del periodo t considerato andrà ad accrescere il valore del backlog.

Riguardo alla prima soluzione a tale problematica, si ricorre a delle giornate di lavoro straordinario, rispetto ai 5 giorni lavorativi settimanali pianificati.

Al termine di ogni settimana, quando necessario infatti, si usufruisce del sabato per recuperare i pezzi non prodotti di alcune commesse. In particolare, sono impiegate 8 ore (1 turno) oppure 16 ore (2 turni) di lavoro straordinario per linea, in base alle esigenze, solo per le linee interessate.

Riguardo alla seconda soluzione invece, è previsto l'inserimento in linea di risorse cosiddette extra-ciclo, in aggiunta al dimensionamento standard. Le risorse infatti, sono ordinariamente dimensionate per ogni turno, in relazione al numero di elementi di cui si compone il prodotto finito della commessa e in relazione alla categoria a cui esso appartiene (cesti, strenne, vassoi). In particolare, nel caso in cui vengano eseguite più commesse su una stessa linea durante uno stesso turno, la scelta del numero di risorse ricade sul livello di dimensionamento più alto tra quello delle commesse pianificate su quella linea.

In entrambi i casi però, sono necessarie delle *ore uomo* aggiuntive per raggiungere il livello di produzione prefissato, comportando dei costi ulteriori per l'azienda.

Quindi, la cosa più opportuna sarebbe riuscire a capire quali siano le principali cause di riduzione della produttività che comportano tali perdite in termini di tempo, rispetto alle previsioni.

Per riuscire a tenere traccia di tali perdite, è stato necessario comprendere con quale criterio l'azienda stabilisca la *produzione oraria teorica (PO),* ovvero il valore *target* in termini di numero di pezzi orario che può essere assemblato in ogni singola linea, imposto dalla capacità della stessa.

Il *dimensionamento* della capacità di ciascuna linea è effettuato infatti, dall'azienda, in base alla *capacità* dell'attività più critica, il *collo di bottiglia*, la quale impone il ritmo dell'intero processo.

Il sistema in questione è infatti, *capacity constrained,* ovvero in esso la capacità produttiva risulta essere inferiore alla domanda, motivo per il quale vi è sempre una risorsa con un utilizzo pari al 100%. Da ciò ne deriva che su ogni linea, l'attività che fa uso di tale risorsa,

automatizzata o non, detta appunto *bottleneck*, costituirà l'attività vincolante nel determinare il throughput del sistema.

3.6 Raccolta dati

Una volta stabilito ciò, per monitorare le performance dell'impresa si è ritenuto utile registrare, con *cadenza giornaliera*, alcune importanti informazioni:

1) Per ogni commessa, su ogni linea, in ogni turno, è stata calcolata la differenza tra il numero di pezzi prodotti e la produzione teorica, ottenendo così l'ammontare dei pezzi non prodotti:

   Δpezzi = Pezzi prodotti - PO **(2)**

2) Rapportare i pezzi prodotti alla produzione oraria, per ricavare le ore effettive di processo, da confrontare con le ore teoriche (7,5ore/turno):

   Δore = ore prodotte - ore lavorate **(3)**

3) Dimensionare la linea in base alla commessa, tenendo conto di eventuali cambi commessa durante il turno;
4) Tenere traccia del numero di cambi commessa su ogni linea per ogni turno;
5) Ricavare le ore uomo necessarie per ogni commessa moltiplicando le risorse per le ore lavorate (7,5), cioè:

   Totale ore dimensionamento = dimensionamento*ore lavorate; **(4)**

6) Calcolare il livello di produzione teorica totale per commessa che si raggiungerebbe in condizioni ottimali:

   Target = PO*ore lavorate; **(5)**

7) Registrare il numero di ore, per turno, per linea, in cui sono state inserite delle risorse extra-ciclo e il tipo di attività eseguita, così da poter ricavare le ore uomo aggiuntive utilizzate:

   Extradimensionamento = ore extraciclo*numero risorse impiegate **(6)**

8) Calcolare il totale delle ore uomo improduttive, per turno, associate ad ogni commessa:

   Totale ore uomo improduttive = dimensionamento*Δore **(7)**

Tali perdite a cosa sono dovute? Per risalire alle cause è stato necessario registrare giornalmente i fermi delle linee e classificarli in base alla tipologia. Tramite un'attività di segnalazione richiesta alle referenti di linea su ogni turno, è stato possibile risalire alla durata dei fermi di grossa entità, mentre riguardo ai microfermi per essi è stata eseguita solo una

classificazione, chiedendo di inserirli nella categoria corrispondente qualora si fossero manifestati.
Le segnalazioni delle referenti di linea, sono state raccolte in un report all'interno del quale, per ogni giorno, veniva riportata la durata dei fermi (in minuti), su ogni linea, per ogni turno. Non conoscendo, a differenza dei fermi prolungati, la durata esatta dei microfermi ma solo il loro numero, essa è stata assunta come pari a 1 minuto. I guasti segnalati sono stati così raggruppati in tre categorie principali:
1) *Guasti e microfermi;*
2) Fermo per attesa trasferimento materiale dal magazzino;
3) Fermo dovuto a setup;

Altre cause evidenziate, durante le rilevazioni dei tempi di linea sono:
4) Rallentamenti nel collo di bottiglia;
5)Rallentamenti per inefficienza delle risorse.

Tenendo conto del numero di risorse impiegate ogni giorno, su ogni linea è stato possibile calcolare le perdite in termini di ore uomo per turno per linea:
Ore uomo improduttive per fermi = [(durata fermo[min]*dimensionamento)/60] (8)

A questo punto, a partire dalle informazioni raccolte con il monitoraggio giornaliero delle linee, è possibile effettuare delle elaborazioni sui dati registrati al fine di rilevare il livello di performance ottenuto in termini di produttività.
L'obiettivo è stato quello di eseguire infatti un'*analisi dei tempi e dei metodi* attraverso i quali si è svolto il processo di assemblaggio, in modo tale da risalire alle cause impattanti sul ciclo produttivo, cercando di comprendere in che misura ciascuno di questi fattori influisse. A tal fine i dati sono stati categorizzati, come è mostrato nei paragrafi successivi, in relazione alle differenti *cause* di improduttività rintracciate e aggregati facendo riferimento all'intera campagna natalizia, intercorsa nel periodo compreso tra l'8 Ottobre e il 7 Dicembre 2018.

3.6.1 Efficienza delle risorse

L'orario lavorativo si è svolto su tre turni, eseguiti da tre differenti squadre, ciascuna composta da circa 130 operatori di linea, la squadra A e B si sono alternate settimanalmente lavorando o nel turno del mattino o in quello pomeridiano, mentre la terza squadra è rimasta fissa nello svolgimento del turno notturno.

Le squadre sono quindi, molto numerose e sono distribuite su ciascuna linea, in ogni turno, in modo variabile in base al dimensionamento richiesto dalla commessa con più alto numero di componenti pianificata in quel turno. Sicuramente più aumentano le risorse impiegate, più aumentano le ore uomo utilizzate che devono tradursi in output, di conseguenza maggiore è la probabilità che ciò non si verifichi del tutto, provocando quindi un aumento delle perdite di processo.

In riferimento a ciò, è stata svolta un'analisi della produttività delle singole squadre, in modo tale da tenere in considerazione come variabile che impatta sulla produttività, anche l'efficienza delle risorse costituenti ciascuna squadra, indipendentemente dall'orario lavorativo svolto.

Tabella 3.6.1.1: *"Perdite per squadra-Ottobre"*

%perdite Sq A	**% perdite Sq B**	**% Perdite notte**	**tot perdite**
30%	37%	33%	-9342,77
%guasti Sq A	**% guasti Sq B**	**% guasti notte**	**tot guasti**
28%	34%	37%	5964,26
%CC Sq A	**%CC Sq B**	**%CC notte**	**N CC tot**
37%	42%	22%	227

Fonte*:"Report perdite produttive giornaliere Ottobre-Redditività squadre"*

Tabella 3.6.1.2: *"Perdite per squadra giustificate da guasti-Ottobre"*

Tot perdite Sq A	**Tot perdite Sq B**	**Tot perdite notte**
-2809,6	-3427,69	-3105,48
Tot guasti Sq A	**Tot guasti Sq B**	**Tot guasti Sq notte**
1692,11	2037,03	2235,12
% PG(Sq A)	**% PG (Sq B)**	**% PG(Notte)**
-60%	-59%	-72%

Fonte*:"Report perdite produttive giornaliere Ottobre-Redditività squadre"*

Squadra A

Squadra B

Notte

Come si osserva dai dati, nel mese di Ottobre la percentuale più elevata di perdite produttive calcolate in termini di ore uomo, è stata riportata dalla squadra B (37%), di cui il 59 % giustificate dai guasti segnalati.

Una delle cause di tale risultato è sicuramente attribuibile ai setup, il livello più elevato di cambi commessa infatti, il 42% del totale mensile, è stato eseguito dalla squadra B.

Mentre, il tasso più alto di guasti, il 37% del totale, è stato rilevato nel turno notturno. Inoltre, rapportando le perdite per guasti al totale delle perdite, si ottiene un valore di PG% per la squadra notturna del 72%.

Un tale risultato è da considerarsi positivo, perché da esso si evince come la maggior parte delle perdite del terzo turno sia giustificata da fermi, escludendo quindi che la causa sia riscontrabile nell'inefficienza delle risorse.

Il livello più basso di perdite produttive è stato riportato invece dalla squadra A, in buona parte giustificate dai guasti segnalati (60%).

Tabella 3.6.1.3 *"Perdite per squadra - Novembre*

%perdite Sq A	% perdite Sq B	% Perdite notte	tot perdite
42%	26%	32%	- 7.138,00
%guasti Sq A	**% guasti Sq B**	**% guasti notte**	**tot guasti**
30%	38%	32%	6.587,78
%CC Sq A	**%CC SqB**	**%CC notte**	**N CC tot**
35%	38%	26%	265

Fonte*:"Report perdite produttive giornaliere Novembre-Redditività squadre"*

Tabella 3.6.1.4 *Perdite per squadra giustificate da guasti-Novembre"*

Tot perdite Sq A	Tot perdite Sq B	Tot perdite notte
-3022,95	-1824,77	-2290,27
Tot guasti Sq A	**Tot guasti Sq B**	**Tot guasti Sq notte**
1992,08	2497,10	2098,60
% PG(SqA)	**% PG (SqB)**	**% PG(Notte)**
-66%	-137%	-92%

Fonte*: "Report perdite produttive giornaliere Novembre-Redditività squadre"*

Squadra A

Squadra B

Notte

Per quanto riguarda il mese di Novembre, la percentuale più elevata di perdite produttive, calcolate in termini di ore uomo, è stata riportata dalla squadra A (42%), di cui il 66% giustificate dai guasti segnalati.

La situazione è migliore per gli altri due turni (squadra B e notte) i quali non solo hanno riportato un livello inferiore di perdite (26% e 32% rispettivamente), ma totalmente o quasi

totalmente giustificate dai fermi (137% per la squadra B, cioè livello di guasti è sovrastimato e 92% per il turno notturno).

Considerando inoltre, che la squadra B ha effettuato il numero più elevato di cambi commessa 38%, si può anche in tal caso, con buona probabilità, affermare che l'inefficienza delle risorse è una causa trascurabile nella determinazione delle perdite di tale squadra come pure di quella notturna.

Tabella 3.6.1.5 *"Perdite per squadra-Dicembre"*

%perdite SqA	% perdite Sq B	% Perdite notte	tot perdite
59%	35%	6%	-1004,76
%guasti Sq A	**% guasti Sq B**	**% guasti notte**	**tot guasti**
65%	31%	3%	470,33
%CC Sq A	**%CC SqB**	**%CC notte**	**N CC tot**
56%	32%	12%	25,00

Fonte*: "Report perdite produttive giornaliere Dicembre-Redditività squadre"*

Tabella 3.6.1.6 *"Perdite per squadra giustificate da guasti-Dicembre"*

Tot perdite Sq A	Tot perdite Sq B	Tot perdite notte
-356,68	-590,04	-58,04
Tot guasti Sq A	**Tot guasti Sq B**	**Tot guasti Sq notte**
147,46	307,21	15,67
% PG(SqA)	**% PG (SqB)**	**% PG(Notte)**
-52%	-41%	-27%

Fonte*: "Report perdite produttive giornaliere Dicembre-Redditività squadre"*

Squadra A

Squadra B

Notte

Infine, nel mese di Dicembre i dati sono poco confrontabili tra un turno e un altro per via del fatto che alcune linee erano attive solo per una determinata fascia oraria della giornata, generalmente al mattino e quindi sarebbe poco attendibile fare dei confronti sulla base di un numero differente di linee in funzione, considerando che maggiore è il numero di linee in funzione, maggiore è comprensibilmente la probabilità di riscontrare delle perdite.

Alla luce di quanto riportato sopra, si può quindi affermare che il numero totale di perdite della campagna di produzione in termini di ore uomo risulti pari a:

Perdite totali= (Perdite Ottobre + Perdite Novembre+ Perdite Dicembre) =

= (9342,77+7138,00+1004,76) = **17575,73 ore uomo**

3.6.2 Guasti e microfermi

Tabella 3.6.2.1: *"Fermi"*

Dati complessivi sulla campagna di produzione						
	D fermo macchina [min]	D set-up [min]	D trasf. Mg [min]	Freq. Fermo	Perdite D T [ore]	Perdite D T [min]
L1	9659	1155	2360	1767	371,29	22277,4
L2	7108	1355	1260	2772	272,2	16332
L3	2218	810	885	969	123,47	7408,2
L4	4230,8	490	646	1267	148,52	8911,9
L5	4246	440	635	1153	126,98	7642,8
L6	2337	160	265	278	-3,78	-151,2
L7	1984	425	1322	1007	80,3	4818
L8	1836	285	1069	160	173,43	10395,8
L9	1195	220	1264	106	78,9	4734
L10	3609,2	900	676	609	186,87	11212,2
totale	**38423**	**6240**	**10382**	**10088**	**1558,18**	**93581,1**

Tabella 3.6.2.2: *"Impatto dei fermi sulle perdite"*

	D fermo macchina%	D set-up %	D trasf. Mg%	P per fermi %	P per altre cause %	ore teoriche totali di lavoro	Improduttività totale		
L1	43%	5%	8%	59%	41%	1132,5	33%	**Tot ore perse per fermi** **916,53**	**1558,18**
L2	44%	8%	17%	60%	40%	1125	24%		
L3	30%	11%	13%	53%	47%	1125	11%	**Tot ore perse per altre cause** **641,65**	
L4	47%	5%	14%	60%	40%	1125	13%		
L5	56%	6%	15%	70%	30%	1125	11%		
L6	0%	0%	0%	0%	0%	1125	0%	**Improduttività per guasti** **8%**	**14%**
L7	41%	9%	21%	77%	23%	1125	7%		
L8	18%	3%	2%	31%	69%	1125	15%		
L9	25%	5%	2%	57%	43%	1125	7%	**Improduttività per altre cause** **6%**	
L10	32%	8%	5%	46%	54%	1125	17%		
totale	**41%**	**7%**	**11%**	**59%**	**41%**	**11257,5**	**14%**		

Fonte: *"Improduttività-con fattore di correzione per guasti sovrastimati"*

La tabella sovrastante mostra i dati relativi alla durata complessiva in minuti, per ogni linea, dei guasti segnalati durante l'intera campagna di produzione. Inoltre, rapportando il loro valore al totale delle perdite riportate su ciascuna linea, si è riusciti a quantificare con che peso tali fermi incidessero su di esse.

Ciò che è emerso in termini generali, è che risulta una percentuale di perdite dovute ai fermi (P per fermi%) pari al 59%, di cui il 41% è dovuto ai fermi macchina, il 7% ai cambi

commessa, e l'11% al mancato trasferimento da parte del magazzino del materiale nei tempi opportuni.

Inoltre, è stata calcoltata l'improduttività associata ad ogni singola linea, rapportando le ore perse complessivamente, alle ore teoriche di funzionamento totali.

Alle ore di lavoro teoriche si risale moltiplicando le ore complessive sui tre turni giornalieri (22,5 ore, non considerando le pause di durata pari a 0,5 ore per turno), per i giorni lavorativi eseguiti su ogni linea. Ne deriva una stima dell'*improduttività complessiva* pari al *14%,* la quale può essere scorporata in due differenti componenti, la prima pari *all'8%* , dovuta ai *fermi,* ottenuta rapportando la loro complessiva durata *(916,54 ore)* al tempo teorico di funzionamento totale, la seconda componente non giustificata dai fermi, pari al *6%*, risultante dal rapporto tra le perdite per cause differenti ai guasti (*648,31 ore)* e le ore totali di lavoro teoriche.

Tra le cause che hanno influito sulle perdite produttive esterne ai fermi, si può rintracciare la mancanza di personale, talvolta le linee, infatti, soprattutto durante il turno notturno hanno lavorato con delle risorse in meno rispetto al dimensionamento associato a quella commessa e ciò ha determinato un rallentamento del ciclo produttivo.

Una seconda causa esterna, può essere rintracciata nel processo di apprendimento graduale degli operai alla prima esperienza che ha probabilmente influito, in particolare, la prima settimana.

Una terza causa infine, può essere identificata nella non piena attendibilità della segnalazione dei guasti, soprattutto nel caso dei microfermi, non sempre registrati.

Nello specifico osserviamo che la linea che ha riportato il maggior livello di improduttività totale (33%) è la linea 1, seppur le sue perdite siano giustificate dai fermi per il 59%, diversamente le linee risultate con performance migliori, oltre alla 6 che non ha riscontrato perdite, sono la 7 e la 9, entrambe con improduttività pari al 7%.

Inoltre, le perdite rilevate su tali linee risultano giustificate dai fermi per il 77% e il 57%, rispettivamente. Mentre, il livello maggiore di perdite per cause esterne ai fermi è stato riportato dalle linee 8 e 10 ("P per altre cause% ", rispettivamente pari al 69% e al 54%).

Oltre alle cause esterne riportate sopra, riguardo alla linea 10 , si può supporre che le perdite ingiustificate siano in parte dovute alle attese generate all'ingresso della mecwrap, soprattutto quando i pezzi della 10 risultavano configurati in demipallet, i quali ultimati dal fanuc, attendevano all'ingresso della fasciatrice, occupata con priorità dai pallet della 8 e della 9.

Oltretutto, a contribuire a tali rallentamenti subiti dalla linea, è stato anche il ritardo da parte dei carrelisti nel ritiro dei pallet in uscita dalla mecwrap, ritiro in assenza del quale, un nuovo

pallet non poteva effettuare il suo ingresso. Un altro aspetto da sottolineare, riguarda la gravità dei fermi, essa si può quantificare in base alla durata, o in base alla frequenza.
Dal punto di vista della durata si ha:

- I guasti ai macchinari di durata maggiore si sono verificati sulle linee 1 e 2 (9659 e 7108 minuti rispettivamente);
- Anche i fermi per i cambi comessa di durata maggiore si sono verificati sulle linee 1 e 2 (1155 e 1355 minuti rispettivamente);
- I fermi per mancanza di materiale trasferito dal magazzino con durata maggiore hanno riguardato invece, le linee 1, 7, 9,2 (con 2360, 1322, 1264 e 1260 minuti, rispettivamente).

Peraltro:

- Il massimo livello di perdite giustificate dai fermi macchina (Δfermi macchina%) è rilevato sulle linee 2 e 1 (44% e 43% , rispettivamente);
- La più alta percentuale di perdite giustificate dai cambi commessa (Δset-up%) ha riguardato le linee 3 e 7 (11% e 9%, rispettivamente);
- Il più elevato tasso di perdite giustificate da mancanza di materiale dal magazzino (Δtrasf.mg%) è stato riscontrato sulle linee 7 e 2 (21% e 17%, rispettivamente).

Infine, è opportuno analizzare i fermi anche dal punto di vista della frequenza con cui essi si sono manifestati:

Tabella 3.6.2.3: *"Frequenza fermi"*

LINEE	Freq. Fermo
L1	1767
L2	2772
L3	969
L4	1267
L5	1153
L6	278
L7	1007
L8	160
L9	106
L10	609
totale	**10088**

Fonte*: "Improduttività-con fattore di correzione per guasti sovrastimati"*

Osservando i dati complessivi nella tabella sovrastante, ciò che si può notare è che la linea 2 è quella per la quale è stato segnalato un numero maggiore di fermi (2772), seguita dalla linea 1 (1767).

Il livello minimo è invece associato alle linee 8 e 9, anche se la linea 8, ha riportato un livello di improduttività del 15% , il quale risulta seppur non molto elevato, comunque non trascurabile, per cui se ne deduce che le perdite su tale linea, siano state dovute principalmente o ad altre cause diverse dai fermi, oppure anche ad una parte di essi che non è stata segnalata.

Tabella 3.6.2.4: *Frequenza fermi macchina per tipologia"*

TIPOLOGIA FERMI MACCHINA	N. TOTALE	
FERMO STAMPANTE INSC.	315	
FERMO INSCATOLATORE	121	
FERMO FORMA CARTONI	903	
FERMO CHIUDIFALDE	1112	
FERMO REGGIATRICE	2609	
FERMO METTI FOTO	397	
FERMO ETICHETT. LINEA	518	
FERMO FANUC	2066	**MAX**
VARIE NON SPECIFICATE	1423	**2609**

Fonte*: "Frequenza fermi per tipologia"*

Inoltre, dal punto di vista della tipologia dei guasti ai macchinari, osservando la tabella sovrastante si rileva che il problema di maggiore rilevanza è stato il blocco o il cambio della reggetta (2609 fermi), seguita dal fermo del fanuc (2066), il quale ha un ruolo particolarmente rilevante, poiché uno stesso fanuc serve due linee contemporaneamente (ne sono presenti quattro , uno per la linea 1 e la 5, uno per la 2 e la 3, uno per la 4 e la 6 e l'ultimo per la 7 e la 10), per cui ogni blocco del braccio meccanico produce un impatto doppio.

Da notare, infine, come un numero elevato di fermi sia stato ricondotto a cause differenti rispetto a quelle elencate in tabella (varie non specificate = 1423).

Tabella 3.6.2.5: *"Guasti Ottobre"*

Tipo di fermo	Reparto di confezionamento				Reparto Macchine								
Linea	MANC. CESTI	MANC. COMP	FERMO CELL.	VARI NON SPEC.	STAMP. INSC.	INSCAT.	FORMA CART.	CHIUDIF.	REGGETTA	METTI FOTO	ETICHET.	FANUC	VARI NON SPEC.
1	3	23	1	19	4	4	36	60	285	200	18	109	80
2	0	20	7	20	8	8	61	249	311	74	26	257	135
3	1	6	3	6	1	1	58	2	394	7	32	61	21
4	1	12	7	30	18	18	53	37	195	8	62	122	71
5	2	5	5	4	8	8	87	16	232	3	30	76	74
6	0	3	1	1	2	2	3	11	4	0	2	41	11
7	0	36	0	7	8	8	70	65	1	0	33	70	60
8	0	20	9	3	3	3	2	0	0	0	8	5	13
9	1	14	4	2	4	4	2	0	0	0	8	2	8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTALI	8	139	37	92	56	56	372	440	1422	292	219	743	473

Fonte: *"Report perdite produttive aggiornato Ottobre-Riepilogo guasti"*

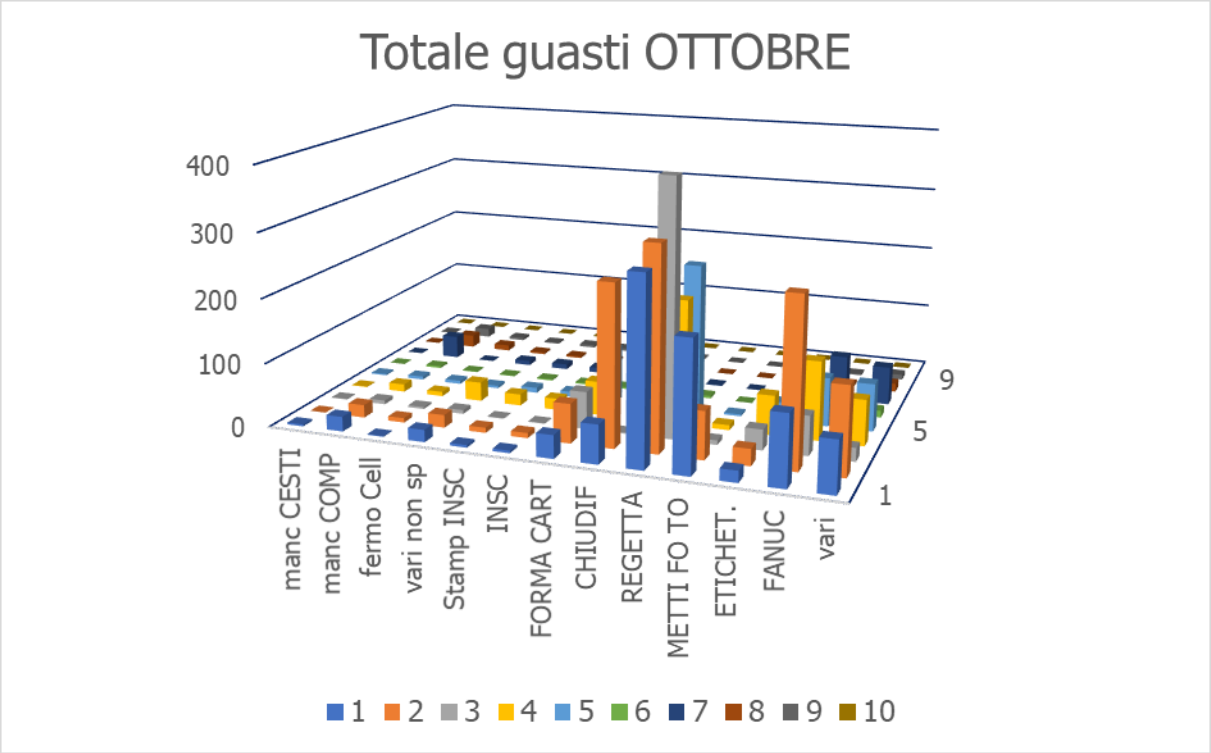


Figura 3.6.2.1: *Grafico "Guasti Ottobre"*
Fonte: *"Report perdite produttive aggiornato Ottobre-Riepilogo guasti"*

In particolare, la tabella sovrastante mostra la registrazione dei fermi del mese di Ottobre per ogni linea, distinguendo tra i fermi macchina e quelli invece non legati al processo

automatizzato, bensì a problemi connessi al magazzino (materiale non consegnato in linee in tempo), oppure all'inefficienza delle risorse nelle attività critiche (fermo cellophan).
Ad ogni modo, dal grafico si può osservare che i fermi associati al reparto macchinari hanno un impatto molto più rilevante, rispetto ai primi, in parte perché rispetto al rallentamento da cellofanatrici, ad esempio, questi sono molto più facili da quantificare e da segnalare, in parte perché si sono manifestati con maggiore frequenza.
Si osserva come i guasti più ricorrenti nel mese di Ottobre, siano risultati:

- fermo della reggiatrice, riguardante principalmente le linee dalla 1 alla 5, rintracciando il livello massimo (394) sulla linea 3;
- fermo fanuc, sulle linee 1, 2, 4;
- fermo mettifoto, sulla linea 1;
- fermo chiudifalde, sulla linea 2.

Inoltre, la regetta ha riportato tra tutte le tipologie il numero totale mensile di fermi maggiore (1422).

Tabella 3.6.2.6: *"Guasti Novembre"*

Tipo di fermo	Reparto di confezionamento				Reparto Macchine								
Linea	MANC.CESTI	MANC. COMP.	FERMO CELL.	VARI NON SPEC.	STAMP. INSC	INSCAT.	FORMA CART.	CHIUDIF.	REGGETTA	METTI FOTO	ETICHET.	FANUC	VARI NON SPEC.
1	0	30	0	14	12	0	33	71	430	0	10	158	57
2	1	16	0	9	51	0	5	302	276	124	24	237	313
3	0	14	0	12	8	3	91	8	115	1	25	70	20
4	1	23	0	36	18	5	13	19	123	2	41	206	96
5	5	13	3	21	21	12	37	13	191	0	40	95	70
6	0	12	0	2	0	0	0	6	0	0	6	165	5
7	0	33	0	9	1	8	157	13	2	2	87	110	173
8	1	25	0	1	16	9	0	10	1	0	2	1	15
9	0	18	0	0	0	9	0	0	0	0	1	3	17
10	0	8	1	3	0	0	0	115	1	0	14	208	30
TOTALI	8	192	4	107	127	46	336	557	1139	129	250	1253	796

Fonte: *"Report perdite produttive aggiornato Novembre-Riepilogo guasti"*

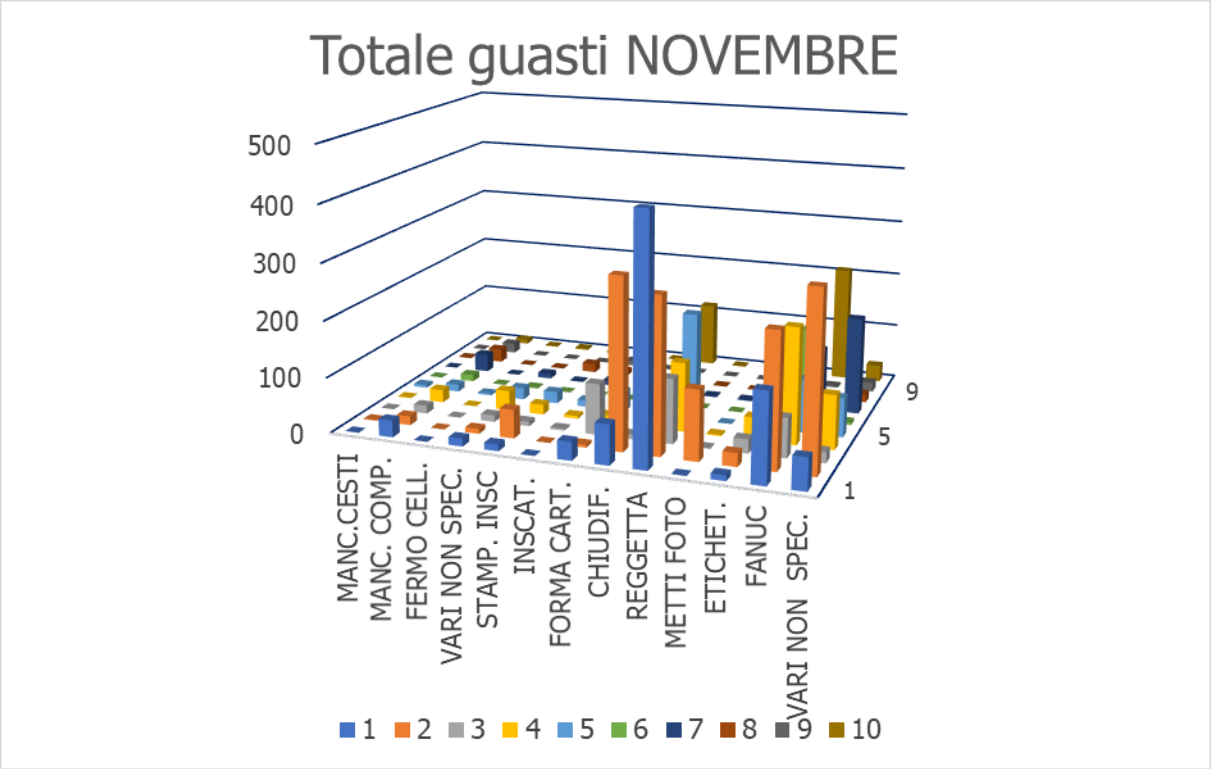


Figura 3.6.2.2: *"Guasti Novembre"*
Fonte: *"Report perdite produttive aggiornato Novembre-Riepilogo guasti"*

Per quanto riguarda il mese di Novembre, è stato rilevato principalmente:

- fermo della reggiatrice, che ha continuato ad interessare le linee dalla 1 alla 5, raggiungendo in tale mese il livello massimo sulla linea 1 (430);
- fermo fanuc, peggiorato rispetto ad Ottobre, si è manifestato ricorrentemente oltre che sulle linee 1, 2, 4, anche sulle linee 6, 7e 10;
- fermo mettifoto, riscontrato principalmente sulla linea 2 (124);
- fermo chiudifalde, peggiorato sulla linea 2, inizia a ricorrere anche sulla linea 10.

Quindi, globalmente nel mese di Novembre si può osservare rispetto al mese precedente, da un lato una diminuzione della frequenza del fermo regetta del 19.9% (da 1422 a 1139), ma dall'altro lato un aumento della frequenza del fermo fanuc del 68.6 % (da 743 a 1253).

3.6.3 Capacità delle linee

Tabella 3.6.3.1: *"Confronto PO teorica e PO effettiva"*

Linee	OTTOBRE		NOVEMBRE	
	PO effettiva	PO teorica	PO effettiva	PO teorica
L1	173	300	251,4	300
L2	218	300	229,24	300
L3	235,5	300	275,4	300
L4	242,9	300	268,45	300
L5	248,57	300	282,16	300
L6	240	240	253,75	240
L7	414,25	480	440,6	480
L8	246,2	300	239,08	300
L9	261,5	300	276,56	300
L10	351,5	480	376,19	480

Fonte: *"Capacità delle linee"*

I dati in tabella mettono a confronto la produzione oraria effettiva media rispetto a quella prefissata per ogni linea, nei mesi di Ottobre e Novembre, trascurando il mese di Dicembre in quanto la produzione si è svolta per una sola settimana, solo per alcuni turni e non su tutte le linee, quindi i confronti sarebbero poco significativi. I valori medi effettivi sono stati ottenuti sommando i pezzi prodotti su ogni linea, in tutti i giorni lavorativi, in ciascuno dei due mesi e dividendo tale valore per il numero complessivo di ore mensili lavorate.

Dal confronto tra i due mesi, si nota che per tutte le linee eccetto la 6, la produzione effettiva media è risultata inferiore alla PO teorica, anche se con un miglioramento delle prestazioni effettive a Novembre rispetto ad Ottobre per tutte le linee, fatta eccezione per la linea 8 che ha subito invece un leggero calo del 2.9% rispetto al mese precedente. In particolare, risulta rilevante l'aumento dei pezzi prodotti da un mese all'altro per la linea 1 (incremento del 45.3%).

Confrontando invece la PO teorica con quella effettiva, assumendo di considerare per il confronto il mese di Novembre in cui le performance risultano certamente migliorate, dal momento che la campagna era stata già ben avviata e si era quindi in condizioni di maggiore stabilità ed esperienza rispetto ad Ottobre, risulta che per le linee 1, 2, 8 e 10 il divario tra le performance media effettiva e quella teorica risulta superiore al 15% (in particolare, è pari al 19.3%, 37.6%, 25.4%, 27.5%, rispettivamente).

Per le linee 1 e 2 ha influito molto, anche se non solo, la presenza dei fermi, infatti la percentuale di perdite dovute ai guasti risulta pari al 59% e al 60%, rispettivamente. Non solo i fermi macchina, i cui dati segnalati sono abbastanza affidabili, ma hanno impattato

decisamente anche i fermi setup, spesso però registrati solo in parte o non riportati del tutto; in particolare, nei casi di cambio formato è stato necessario un tempo di fermo non trascurabile.

Quanto alla linea 8, è risultato come i problemi maggiori siano dovuti, come già accennato, a cause esterne ai fermi. Una ipotetica causa potrebbe essere legata alla fase di applicazione del cellofan. Infatti, facendo una media delle rilevazioni eseguite sulla linea 8 a Novembre, è risultato un tempo medio impiegato dalle due risorse al tavolo per incellofanare un pezzo pari a 27s circa *("Fonte: Report perdite produttive Novembre-Report tempi e flussi").*

Quindi, da ciò ne deriva un numero di pezzi al minuto pari a 2.2 unità, cioè 133.3 pezzi all'ora; moltiplicando per due tale valore, data la presenza di due tavoli adibiti all'attività, si ottiene come risultato 266,6 pezzi all'ora. Se si osserva la tabella sovrastante, tra l'altro, si nota che la linea 8 a Novembre ha generato una produzione oraria effettiva media di 239,08 pezzi. Per poter produrre 300 pezzi all'ora, quindi, il tempo medio per incellofanare un pacco non avrebbe dovuto superare i 24s.

Infine, considerando la linea 10, il valore effettivo medio orario di pezzi prodotti è risultato più basso di quello teorico, sia per i motivi precedentemente descritti, sia perché nel caso di commesse da 10 pezzi, una PO teorica di 480 risultava troppo elevata. In virtù di questo, essa è stata abbassata a 400 pezzi all'ora, modifica necessaria soltanto nel caso di commesse così numerose; così facendo è stato possibile gestire questa problematica, nonostante alcune perdite siano state comunque riscontrate su tale linea. Tuttavia, esse potrebbero essere riconducibili alla fase di transizione da una situazione e all'altra.

3.6.4 Tasso di backlog

Tabella 3.6.4.1: *"Tasso di backlog"*

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
delta pezzi totale	5099	4445	4023	211	793	377	23292	4572	60	713
N. tot commesse	109	63	50	31	51	17	35	52	25	36
N. commesse chiuse a delta nullo	42	19	22	13	25	9	18	41	24	22
% commesse chiuse a delta nullo	39%	30%	44%	42%	49%	53%	51%	79%	96%	61%
Qpc(media)%	**2%**	**3%**	**2%**	**0%**	**0%**	**0%**	**5%**	**2%**	**1%**	**3%**

Fonte*: "Delta pezzi complessivo"*

I dati inseriti in tabella mostrano la percentuale media di pezzi per linea non processati in tempo rispetto a quanto pianificato, o tasso di backlog Q_{pc}%. Tali valori sono stati ottenuti estraendo le informazioni dal piano di produzione, calcolando per ogni commessa, per ogni linea, la differenza alla data di chiusura programmata dell'ordine, tra la quantità ordinata e quella effettivamente evasa, rapportando poi tale differenza al totale dei pezzi ordinati per commessa.

Infine, è stata eseguita la media dei valori ottenuti. Come si osserva, il livello più elevato di pezzi non evasi nei tempi previsti, si osserva per le linee 7, 2 e 10 (con Q_{pc}% pari a 5%, 3% e 3%, rispettivamente), viceversa, tale valore risulta nullo per le linee 4, 5 e 6.

Un altro indicatore di performance, può essere identificato dalla percentuale di commesse chiuse nei tempi senza pezzi inevasi, il quale, come si evince dai dati, assume i livelli più alti in corrispondenza delle linee 9 e 8 (96% e 79%, rispettivamente), mentre le prestazioni peggiori, da questo punto di vista, risultano associate alle linee 2 e 1 (30 % e 39 % rispettivamente).

Tali valori ottenuti però, costituiscono soltanto delle stime, motivo per cui, per valutare in maniera più rigorosa ed accurata l'impatto di ogni singolo fattore considerato sulla produttività, si ritiene opportuno ricorrere ad un *metodo statistico*, tale aspetto verrà approfondito, infatti, nel capitolo 4.

Capitolo 4

4.1 Metodologia

Nel capitolo precedente sono stati messi in evidenza gli elementi che influiscono sulle performance del sistema. Per valutare in che misura ciascuno di essi influisca, si può ricorrere alla *regressione lineare multipla*, ovvero un metodo statistico che permette di verificare la significatività dell'impatto generato da ciascun fattore, ognuno espresso da una variabile indipendente X_i, sulla produttività, espressa dalla variabile dipendente Y_i.

4.2 Introduzione al Modello di Regressione Lineare

L'*inferenza statistica* è il procedimento in base al quale a partire dalle caratteristiche di un sottogruppo di dati (*campione*), estratto a caso da un gruppo più grande, si cerca di risalire alle caratteristiche del gruppo più grande (*popolazione*). Si assume inoltre, che il campione considerato sia costituito da n osservazioni (X_i, Y_i) [62].

La *Regressione lineare* consente di stimare la *pendenza* della retta di regressione, ovvero l'effetto causale su Y di una variazione unitaria di X:

$$\boldsymbol{Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \mu_i} \qquad \textbf{(1)}$$

con i=1, ……,n;

I parametri e le variabili che entrano in gioco sono i seguenti [58]:

- Y è la variabile dipendente;
- X è la variabile indipendente o regressore;
- β_0 è l'intercetta della retta di regressione della popolazione;
- β_1 è il coefficiente angolare, cioè la *pendenza* della retta di regressione della popolazione;
- μ_i è l'errore statistico. Esso è costituito sia da due fattori:
    1. fattori omessi, ovvero in genere altri fattori, diversi dalla variabile X, che influenzano Y generando variabilità;
    2. errore commesso nella misura di Y, ovvero in termini di scostamento tra la retta di regressione e le osservazioni.

I parametri β_0 e β_1 della popolazione, non sono noti, quindi occorre effettuarne una stima. La retta di regressione stimata sarà quindi:

$$\boldsymbol{\hat{Y} = b_0 + b_1 X} \qquad \textbf{(2)}$$

Come si ottengono le stime dell'intercetta e della pendenza della retta di regressione?

Esiste un metodo, detto *Metodo dei Minimi Quadrati (Ordinary Least Square)*, mediante il quale è possibile minimizzare la somma dei quadrati delle differenze tra i valori reali (osservati) di Y_i e i valori predetti in base alla retta di regressione stimata (2). Lo stimatore OLS è dato da:

$$\min_{b_0 b_1} \sum_{1=1}^{N} [Yi - (b_0 + b_1 X_i)]^2 \qquad \textbf{(3)}$$

Tale problema di minimizzazione si può risolvere con il calcolo differenziale, il risultato sono gli stimatori OLS di β_0 e di β_1:

$$\widehat{\beta}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2} = \frac{s_{Xy}}{s_X^2} \qquad \textbf{(4)}$$

$$\text{con } \bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i$$

$$\widehat{\beta}_1 = \bar{Y} - B_1\bar{X} \qquad \textbf{(5)}$$

Le stime b_0 e b_1 dei parametri β_0 e β_1 della retta di regressione, effettuate tramite gli stimatori B_0 e B_1, si ottengono sostituendo le n coppie di osservazioni (X_i, Y_i), nella (4) e nella (5). Si ottiene quindi:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} = \frac{s_{Xy}}{s_X^2} \qquad \textbf{(6)}$$

$$\text{con } \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i$$

$$b_0 = \bar{y} - B_1\bar{x} \qquad \textbf{(7)}$$

Quando la variabile indipendente Y dipende linearmente da più variabili esplicative X_j, con j=1,…, k si parla di *regressione lineare multipla*:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1{}^i + \cdots .. + \beta_k X_k{}^i + \mu_i \qquad \textbf{(8)}$$

- Y è la variabile dipendente;
- $X_1, X_2, \ldots, X_K$ sono le variabili indipendenti o regressori;
- β_0 è l'intercetta della retta di regressione della popolazione, è il valore assunto da Y se $X_1 = X_2 = \ldots\ldots = X_k = 0$;
- β_j è l'effetto su Y di una variazione di X_j, tenendo costanti gli altri regressori;
- μ_i è l'errore di regressione.

Mediante il metodo dei Minimi quadrati OLS è possibile ottenere le stime $b_0, b_1, \ldots, b_k$ dei parametri $\beta_0, \beta_1, \ldots\ldots, \beta_k$.

La retta di regressione della popolazione sarà quindi uguale a [58]:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + \ldots + b_k X_k \qquad (9)$$

Una volta costruito un modello di regressione è importante valutare:

- la *bontà di adattamento* del modello di regressione;
- la *significatività statistica* dei parametri stimati.

Per misurare la bontà di adattamento del modello, occorre comprendere se la regressione sia in grado o meno di spiegare il comportamento della variabile dipendente Y, in altre parole il modello si adatta ai dati tanto meglio quanto più è elevata la frazione di variabilità di Y spiegata dalle variabili indipendenti X_j, e quanto più è piccola invece la deviazione residua.

In altre parole, tanto più è alta la varianza spiegata dal modello, tanto più piccola sarà la variabilità dovuta a fattori omessi diversi da X_j che influenzano Y.

Misure della bontà di adattamento del modello sono [59]:

1. L'indice $\mathbf{R^2}$, è dato dal rapporto tra ES*S* (*Explained Sum of Squares*), ovvero la frazione della varianza di Y spiegata da X e TSS (*Total Sum of Squares*), ovvero la varianza totale. Tanto più è alto il valore di R^2, tanto maggiore sarà la frazione di variabilità spiegata tramite la regressione, in particolare l'indicatore, compreso tra 0 e 1, quando assume valore nullo implica nessun adattamento del modello di regressione ai dati, mentre se assume un valore unitario implica un perfetto adattamento. In formule:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = -\frac{\sum_{i=1}^{N} (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{N} (y_i - \bar{y})^2} \qquad (10)$$

La (10) vale in caso di regressione semplice, in caso di regressione lineare multipla si ha:

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{SSR}{TSS} \qquad (11)$$

con: $SSR = \sum_{i=1}^{N} \hat{u}_i^2$ (12)

e $\hat{u}_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (13)

Il termine $\hat{u}_i$ fornisce una stima dell'errore di regressione ed è dato dallo scostamento tra il valore effettivo dell'ordinata di ogni singola osservazione Y_i e il valore predetto $\hat{Y}_i$ tramite la retta di regressione. Quindi *SSR* rappresenta la *devianza residua o errore*, ovvero quella parte di variabilità che non si riesce a spiegare tramite il

modello di regressione. Differentemente, *ESS* costituisce la devianza della regressione ovvero lo scostamento tra le osservazioni e la retta di regressione, quindi indica quella parte di variabilità che si riesce a spiegare tramite il modello. La *devianza totale TSS*, è quindi scomponibile nel seguente modo:

$$TSS = (ESS+SSR) \quad (14)$$

2. **R^2 Adjusted:** anche chiamato R^2 corretto non diminuisce mai quando una nuova variabile X è aggiunta al modello, ciò può essere uno svantaggio se si desidera confrontare modelli con un numero di variabili esplicative diverso. I vantaggi sono dati dal fatto che mostra la proporzione di variabilità di Y spiegata da tutte le variabili indipendenti X, corretta però, per il numero di variabili X utilizzate. Inoltre, penalizza l'impiego eccessivo di variabili indipendenti poco importanti. La sua espressione analitica è:

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2)\left(\frac{n-1}{n-k-1}\right) \quad (15)$$

Dove n rappresenta la dimensione del campione e k il numero di variabili indipendenti del modello.

L'R^2e R^2_{adj} permettono di capire se le variabili esplicative siano idonee a spiegare i valori della variabile dipendente, ma non sono in grado di dare informazioni sulla significatività statistica dei regressori, o sull'adeguatezza del gruppo di variabili indipendenti esplicative scelto, ne sono capaci di stabilire se i movimenti della variabile dipendente siano davvero causate dalle variabili indipendenti o meno.

3. **Errore standard della regressione (SER)**: misura la dispersione della distribuzione di u, cioè esso è quasi uguale alla deviazione standard campionaria dei residui.

In caso di regressione lineare a singolo regressore:

$$SER= \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{N}\hat{u}_i} \quad (16)$$

A denominatore è presente il termine n-2 anziché n per effettuare una correzione dei gradi di libertà, in quanto sono stati stimati i parametri β_0 e β_1.

In caso di regressione lineare multipla:

$$SER= \sqrt{\frac{1}{n-k-1}\sum_{i=1}^{n}\hat{u}_i^2} \quad (17)$$

Soffermandoci adesso solo sul caso di regressione multipla, è interessante analizzare gli strumenti tramite i quali è possibile valutare la significatività dei parametri di regressione. Essa è valutata infatti:

- Tramite test F, per ipotesi congiunte;
- Tramite un test t effettuato per ogni singolo parametro β_j;

Per poter analizzare questi strumenti è necessario introdurre le proprietà della distribuzione campionaria degli stimatori OLS, le condizioni di non distorsione e la loro varianza. Tali proprietà poggiano su tre assunzioni principali, dette *Assunzioni dei minimi quadrati* [58]:

1) La distribuzione di u condizionata alle X ha media nulla, cioè

$$\mathbf{E(u_i|X_{1i} = x_1,...,X_{ki} = x_k) = 0} \qquad \textbf{(18)}$$

per ogni dato valore di X, la media di u è zero. Questo implica che lo stimatore di β_j è non distorto. Uno stimatore è non distorto se per qualche ragione ha valor atteso diverso dalla quantità che stima; uno stimatore non distorto è detto stimatore corretto;

2) $(X_{1j,....,}X_{Kj})$, i = 1,……,n sono variabili indipendenti e identicamente distribuite (i.i.d).

Questa assunzione è soddisfatta automaticamente se i dati sono raccolti mediante campionamento casuale semplice;

3) Gli outlier in X e/o Y sono rari. Un outlier, è un valore anomalo che all'interno di un insieme di osservazioni può influenzare fortemente i risultati, perciò è necessario escluderlo. Si tratta spesso di distorsioni dei dati dovute a problemi nella codifica o nella registrazione. Sono in altre parole, osservazioni che non dovrebbero essere presenti nel dataset;

4) Non vi è collinearità perfetta, essa si ha quando uno dei singoli regressori è funzione lineare esatta degli altri. Nel caso in cui non vi sia collinearità perfetta ad esempio β_1 sarà l'effetto su Y di una variazione unitaria di X_1 tenendo X_2 costante, se invece vi fosse stata collinearità, allora sarebbe stato impossibile far variare X_1 tenendo costante X_2, essendo X_2 una funzione lineare esatta di X_1.

Lo stimatore OLS di β_1 è calcolato partendo da un campione di dati. Un campione diverso porta ad una stima diversa del parametro β_1. Per quantificare l'incertezza campionaria associata allo stimatore $\hat{\beta}_1$, è necessario determinare la distribuzione campionaria dello stimatore OLS $\hat{\beta}_1$; essa risulta complessa per piccoli campioni, ma in caso di dimensione n del campione elevata, diventa approssimabile ad una *normale,* con media pari a:

$$\mathbf{E(\hat{\beta}_1) = \beta_1} \qquad \textbf{(19)}$$

La (17) vale essendo $\hat{\beta}_1$ uno stimatore non distorto di β_1 e varianza pari a:

$$\mathbf{var}(\hat{\boldsymbol{\beta}}_1) = \frac{1}{n}\frac{VAR[(x_1-\mu_x)u_i]}{(\sigma_x^2)^2} \qquad \textbf{(20)}$$

La radice quadrata della varianza di $\hat{\beta}_1$, prende il nome di ***SE***$(\hat{\boldsymbol{\beta}}_1)$, cioè ***Standard Error*** dello stimatore.

Osservando l'espressione (18), si nota che la varianza di $\hat{\beta}_1$ è inversamente proporzionale alla varianza di X_1, infatti maggiore è la varianza di X_1, minore sarà la varianza di $\hat{\beta}_1$, quindi migliore sarà l'adattamento del modello di regressione ai dati.

Il primo strumento per valutare la significatività è il *test F* per la verifica di *ipotesi congiunte*. Tale test si utilizza per verificare la *significatività globale del modello*. In particolare, un'ipotesi congiunta specifica un valore per due o più coefficienti, cioè impone una restrizione su due o più coefficienti. Un test d'ipotesi congiunta, quindi, implicherà k restrizioni e ha la seguente forma:

$$\begin{cases} H_\theta = \beta_1 = \cdots = \beta_k = 0 \\ H_A = almeno\ un\ B_J \neq 0 \end{cases} \qquad \textbf{(24)}$$

Tale test per la significatività globale utilizza la statistica F per verificare se ci sia una relazione lineare tra tutte le variabili X considerate insieme e Y. In particolare, calcolo F come [61]:

$$\mathbf{F} = \frac{MQR}{MQE} = \frac{\frac{ESS}{k}}{\frac{SSR}{n-k-1}} \qquad \textbf{(25)}$$

Con ESS devianza della regressione ed SSR devianza residua, n dimensione del campione e k numero di restrizioni imposte sui coefficienti, nonché numero di variabili indipendenti.

Si rifiuta l'ipotesi nulla, con un livello di significatività pari ad α, se il valore di F calcolato con la (25), cade all'interno della regione di rifiuto, ovvero, $F > F_{\alpha, k, n-k-1}$.

Rifiutare l'ipotesi nulla vuol dire affermare che esiste almeno un regressore statisticamente significativo, ovvero c'è almeno una variabile indipendente tra quelle presenti nel modello che influenza in maniera significativa Y.

Se il modello globale è significativo, si può procedere con la verifica di significatività di ogni singolo regressore, questo perché anche se il modello globale è significativo, non è detto che tutte le variabili indipendenti siano legate a Y significativamente.

Per questa verifica, si utilizza la t di Student. Se la statistica è significativa, la variabile indipendente testata può stare nel modello, altrimenti sarebbe opportuno escluderla dal modello, in quanto non fornisce nessun contributo nella spiegazione della variabile Y.

Inoltre, l'uso della statistica T di Student è giustificato dal fatto che varianza di $\hat{\beta}_1$ è un valore stimato tramite i dati del campione. Ad esempio, per valutare la significatività del regressore X_1 si costruisce un test d'ipotesi nel seguente modo [58]:

$$\begin{cases} H_0: \hat{\beta}_1 = 0 \\ H_A: \hat{\beta}_1 \neq 0 \end{cases} \quad \textbf{(19)}$$

La statistica utilizzata sarà:

$$T = \frac{\hat{\beta}_1 - E(\beta_1)}{SE(\hat{\beta}_1)} \quad \textbf{(20)}$$

Per dimensioni del campione grandi, n>=50, $\hat{\beta}_1$ è distribuito come una normale N (0,1), da cui:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - 0}{SE(\hat{\beta}_1)} \quad \textbf{(21)}$$

Con un livello di significatività α =5%, si rifiuta l'ipotesi nulla nel caso in cui, dal calcolo di t con (21), risulti |t|>1,96 o nel caso in cui il valore del p-value, con (22), sia p<5%.

$$\textbf{p-value} = 2\bar{\Phi}(-t) \quad \textbf{(22)}$$

Da ciò ne deriva che la costruzione dell'intervallo di confidenza al 95% per β_1 sarà:

$$\hat{\beta}_1 \pm 1{,}96 \cdot SE(\hat{\beta}_1) \quad \textbf{(23)}$$

Ciò vuol dire che l'intervallo di confidenza contiene il valore effettivo del parametro β_1 nel 95 % dei campioni.

Rifiutare l'ipotesi nulla a favore dell'ipotesi alternativa in cui si assume che $\hat{\beta}_1 \neq 0$, equivale a verificare la significatività statistica del regressore X_1. Tale metodologia può essere applicata in maniera analoga sugli stimatori OLS dei restanti parametri $\beta_2, \dots \beta_k$, per verificare anche la significatività statistica degli altri regressori $X_2, \dots, X_k$..

4.3 Scelta del campione e statistiche descrittive

I dati raccolti presso Drink International si basano su un periodo di 7 settimane che intercorre tra l'8 Ottobre 2018 e il 24 Novembre 2018 e fanno riferimento a 10 linee di assemblaggio e confezionamento.

Essi sono stati ottenuti aggregando i valori di un campione di dimensione pari a:

n = 10 linee*7 settimane*6 giorni/sett = 420 osservazioni **(1)**

Tali dati sono stati aggregati passando da un time bucket giornaliero ad uno settimanale, ottenendo così, come si osserva nella tabella 4.1, un campione di dimensione

N = 10 linee * 7 settimane = 70 osservazioni. **(2)**

Si è scelto tale periodo per l'analisi, in quanto le condizioni operative del sistema risultavano omogenee, ovvero tutte le linee erano attive e operanti contemporaneamente su ogni turno. Fa eccezione solo la linea 6 attivata a partire dalla settimana 4, inoltre per la settimana 1, Sabato 13 non è stato lavorativo.

Tabella 4.3.1: *"Data set"*

		DFM	DS	DMG	T1FR	T2FC	T3FE	T4FM	T5FF	FA	PMO	IMO	PR	Freq. Fermo tot
		x1	x2	x3	x4,1	x4,2	x4,3	x4,4	x4,5	T6FA	x6	x7	x8	
S1(8/10-12/10)	L1S1	1010	45	190	69	20	1	63	37	39	16	32,27	2890,8	229
	L2S1	1065	90	205	27	6	9	1	17	113	11	10,29	1230	173
	L3S1	870	60	85	79	1	11	4	14	25	7,8	10,46	975,6	134
	L4S1	555	45	20	20	10	13	2	20	35	5,13	6,97	1009,9	100
	L5S1	592	15	25	10	5	6	0	14	39	8,4	14,37	1138,2	74
	L6S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	12,74	0	0
	L7S1	225	10	150	1	20	3	0	10	16	9,2	5,34	428,4	50
	L8S1	30	10	30	0	0	0	0	0	8	6,5	6,94	761	8
	L9S1	180	0	20	0	0	4	0	0	13	5	4,85	804	17
	L10S1	235	0	70	0	11	1	0	15	15	5,2	5,01	1284	42
S2(15/10-20/10)	L1S2	1269	105	55	52	16	8	72	33	97	14,9	23,54	2182,2	278
	L2S2	1697	165	0	27	6	9	1	17	306	11,4	20,32	2185,8	366
	L3S2	99	35	0	79	1	11	4	14	103	8	7,46	648	212
	L4S2	964	35	0	20	10	13	2	20	142	5,4	6,13	663	207
	L5S2	660	30	15	10	5	6	0	14	78	10,44	14,42	565,2	113
	L6S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/	/	0	0
	L7S2	315	30	35	0	25	1	0	3	16	9,9	5,34	124,2	45
	L8S2	80	30	205	0	0	3	0	0	12	6,1	11,76	862,2	15
	L9S2	320	60	30	0	0	2	0	0	6	7	9,45	401,4	8
	L10S2	383	60	75	0	11	1	0	15	21	5,5	6,4	1029,6	48
S3(22/10-27/10)	L1S3	1192	120	55	112	18	7	43	31	31	14,7	22,29	2482,2	242
	L2S3	2165	90	55	130	111	4	25	100	79	10,6	18,35	1902	449
	L3S3	855	50	15	143	1	7	0	16	29	8,2	9,53	510	196
	L4S3	1219	100	26	64	13	17	1	50	97	6,1	8,08	1965,6	242
	L5S3	1143	75	5	35	8	5	3	30	81	10	14,11	1278,6	162
	L6S3	445	45	0	0	9	2	0	15	19	5	4,85	1330,2	45
	L7S3	693	80	55	0	19	20	0	31	102	9,4	14,39	375,6	172
	L8S3	647	30	30	0	0	5	0	0	31	5,8	6,16	1880,4	36
	L9S3	120	30	160	0	0	2	0	0	23	6,6	10,03	462,6	25
	L10S3	531	240	40	0	26	4	0	23	11	6,12	6,61	1571,4	64
S4(29/10-02/11)	L1S4	1435	90	695	63	11	3	22	11	17	15,9	25,28	2350,2	127
	L2S4	1060	10	50	92	81	4	7	55	33	10	13,91	430,8	272
	L3S4	593	35	165	150	1	8	0	19	0	8,6	14,08	880,2	178
	L4S4	554	30	75	69	13	20	1	59	0	6,7	10,24	667,2	162
	L5S4	930	50	55	180	5	10	0	10	76	10	13,01	501	281
	L6S4	307	0	50	4	2	0	0	26	5	5	12,25	-366	37
	L7S4	567	0	152	0	19	20	0	31	14	9,9	23,09	191,4	84
	L8S4	284	15	75	0	0	5	0	0	15	5	6,62	749,4	20
	L9S4	505	0	445	0	0	2	0	0	6	6,5	/	504	8
	L10S4	957	140	161	2	22	5	0	26	9	6,3	5,3	1167	64
S5(05/11-10/11)	L1S5	715	135	280	105	17	3	0	16	38	14,3	24,98	1967,4	179
	L2S5	1595	90	145	57	78	6	39	42	115	10,8	18,32	1420,2	337
	L3S5	470	65	10	33	3	7	0	10	24	8,1	11,67	144	77
	L4S5	795	30	20	41	14	7	2	44	50	6,5	6,27	426	158
	L5S5	440	90	125	54	3	6	0	16	51	10,5	29,57	319,8	130
	L6S5	500	20	25	0	0	0	0	42	5	5	6,81	-885	47
	L7S5	840	20	15	0	0	40	0	50	83	9,3	13,21	972	173
	L8S5	325	65	99	0	0	0	0	0	16	7,9	6,88	1143,6	16
	L9S5	160	0	60	0	0	0	0	1	4	7,3	9,06	223,2	5
	L10S5	1319	45	145	1	22	5	0	83	7	5,1	6,21	1281,6	118
S6(12/11-17/11)	L1S6	1135	155	210	108	9	2	0	57	48	15,7	23,28	2325,6	224
	L2S6	1475	110	135	82	81	5	6	72	116	10,2	13,06	1470	362
	L3S6	770	230	65	20	2	4	1	38	52	8,1	11,67	766,8	117
	L4S6	805	60	105	41	14	7	2	44	41	7,1	7,2	895,8	149
	L5S6	780	0	75	54	3	6	0	16	106	11	11,76	/	185
	L6S6	430	50	85	0	1	4	0	42	7	5,2	6,8	/	54
	L7S6	440	20	185	0	0	40	0	50	25	9,4	10,69	390	115
	L8S6	205	75	220	0	0	0	0	0	32	6,7	8,42	1582,2	32
	L9S6	250	30	384	0	0	0	0	1	21	6,1	9,06	1075,8	22
	L10S6	855	110	50	0	50	2	0	48	19	8,3	6,07	1993,8	119

S7(19/11-24/11)	L1S7	955	220	195	117	24	3	0	60	45	16,4	23,28	1744,8	249
	L2S7	1725	265	155	69	88	2	45	72	118	11,4	14,96	2829,6	394
	L3S7	390	90	130	31	0	6	0	15	55	8	14,22	252,6	107
	L4S7	470	75	220	21	1	10	0	48	38	6,6	10,41	903	118
	L5S7	800	100	70	15	0	12	0	28	45	10,2	10,33	850,8	100
	L6S7	540	45	105	0	1	1	0	65	7	5,3	5,91	-195	74
	L7S7	325	80	110	0	1	15	0	12	68	8,6	9,37	280,2	96
	L8S7	130	10	250	1	10	2	0	1	9	6,5	7,42	1469,4	23
	L9S7	200	10	95	0	0	0	0	0	12	6,5	8,53	358,2	12
	L10S7	495	220	115	0	4	2	0	32	5	6,1	7,13	892,2	43

Per ogni singola variabile oggetto d'analisi, sono state calcolate delle *statistiche descrittive*, le quali hanno lo scopo di descrivere le caratteristiche di base dei dati raccolti all'interno dello studio, fornendo così una sintesi semplice del campione e delle misure raccolte.

In altre parole, si fa uso delle statistiche descrittive allo scopo semplicemente di descrivere ciò che si osserva dai dati e ciò che essi evidenziano nei loro tratti essenziali.

Per ogni variabile, sono state calcolate, in particolare, le seguenti statistiche:

- Media;
- Errore standard della media;
- Deviazione standard;
- Varianza;
- Somma;
- Valore Minimo;
- Valore Massimo;
- Range.

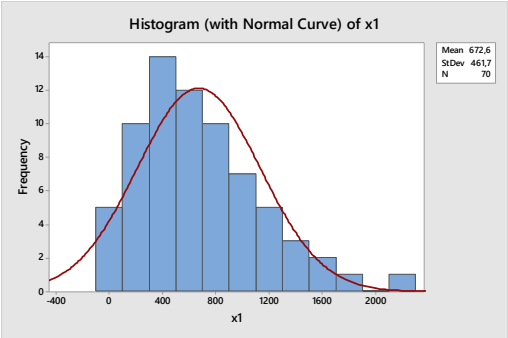
L'errore standard della media, la varianza, la deviazione standard e il range sono indici della *dispersione* della distribuzione seguita dalle variabili X_i,

Con N indichiamo la dimensione del campione di osservazioni e con N* il numero di dati mancanti, nel caso in cui la linea non fosse attiva.

Tabella 4.3.2: *Variabile X_1-"Durata Fermi macchina"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x1	70	0	672,6	55,2	461,7	213199,5	47085,0	0,0	2165,0	2165,0



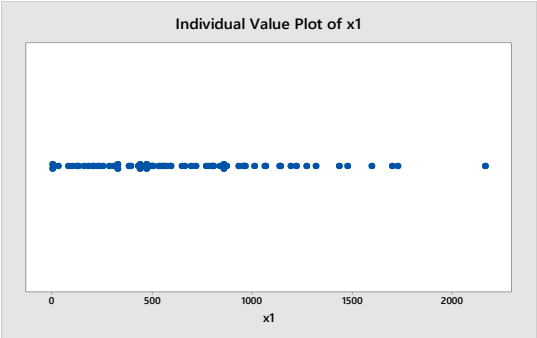


Grafico 4.3.1: "*Histogram of x_1*"

Grafico 4.3.2: *"Individual value plot x_1"*

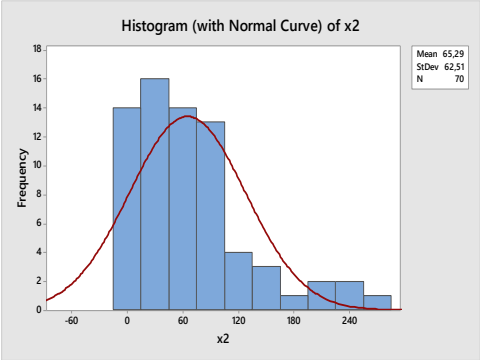
La prima variabile oggetto d'analisi è la variabile x_1, essa esprime la durata settimanale complessiva dei fermi macchina, calcolata in minuti, su singola ogni linea. Come si osserva dal grafico 4.3.1 la variabile x_1 si approssima bene ad una normale con valore medio pari a 672,6 e deviazione standard pari a 461.

Dal grafico 4.3.2 si evince che la durata dei fermi assume più frequentemente valori compresi tra 0 e 1200 minuti. Si evidenzia anche la presenza di un outlier in corrispondenza del valore massimo 2165.

Tabella 4.3.3: *Variabile X_2-"Durata setup"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x2	70	0	65,29	7,47	62,51	3907,89	4570,00	0,00	265,00	265,00



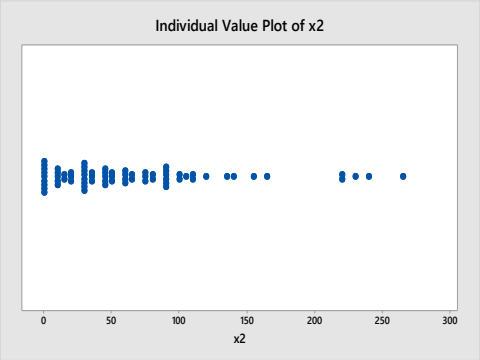


Grafico 4.3.3: "*Histogram of x_2*"

Grafico 4.3.4: *"Individual value plot of x_2"*

La seconda variabile analizzata è x_2, essa esprime la durata settimanale complessiva dei fermi in linea causati dai setup (cambi commessa, cambi formato etc), calcolata in minuti, su singola ogni linea. Come si nota dal grafico 4.3.3 la variabile x_2 si approssima ad una normale con valore medio pari a 65,29 e deviazione standard pari a 62,51. Dal grafico 4.3.4 si osserva che la durata dei fermi assume più frequentemente valori compresi tra 0 e 100 minuti. Si notano inoltre, degli outliers nell'intervallo compreso tra i 220 e i 260 minuti.

Tabella 4.3.4: *Variabile X_3-"Durata trasferimento materiale dal mg"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x3	70	0	106,5	13,7	114,4	13077,5	7457,0	0,0	695,0	695,0

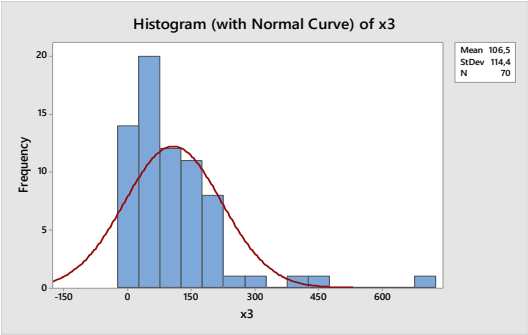


Grafico 4.3.5: "*Histogram of x_3*"

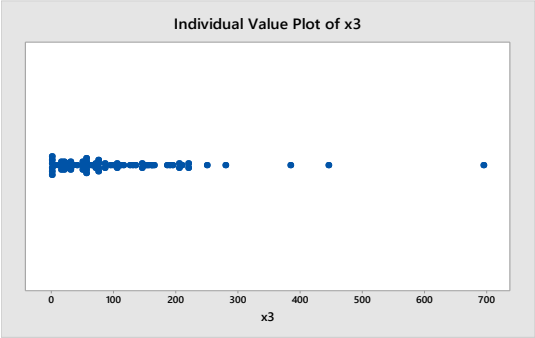


Grafico 4.3.6: *"Individual value plot of of x_3"*

La terza variabile analizzata è x_3, essa esprime la durata settimanale complessiva dei fermi in linea causati da mancanza di materia prima, dovuta ad un mancato trasferimento tempestivo di essa dal magazzino, espressa in minuti. Come si nota dal grafico 4.3.5 la variabile x_3 si approssima ad una normale con valore medio pari a 106,5 e deviazione standard pari a 114,4. Dal grafico 4.3.6 si rileva invece, che la durata dei fermi assume più frequentemente valori compresi tra 0 e 220 minuti. Si notano peraltro, degli outliers intorno al valore 400, 450 e in corrispondenza del valore massimo pari a 695 minuti. A differenza delle variabili precedenti, per le quali la distribuzione risultava più dispersa, in tal caso la dispersione risulta inferiore, la gaussiana tende infatti ad essere più stretta e lunga, con un *range* pari a 695 minuti.

Tabella 4.3.5: *Variabile $X_{4,1}$ -"frequenza tipologia1: fermo reggiatrice"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x4,1	70	0	32,69	5,35	44,78	2005,41	2288,00	0,00	180,00	180,00

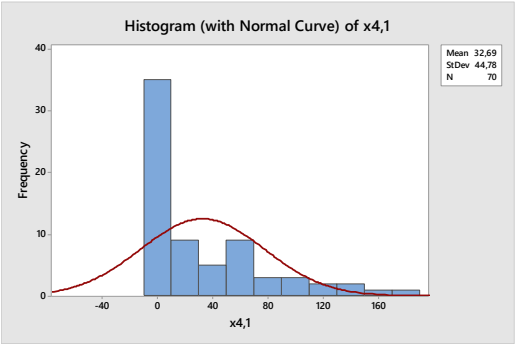


Grafico 4.3.7: "*Histogram of $x_{4,1}$*"

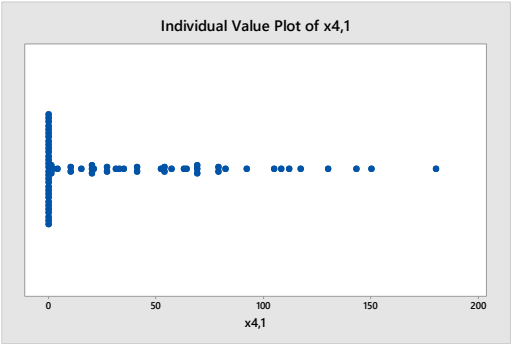


Grafico 4.3.8: *"Individual value plot of $x_{4,1}$"*

La quarta variabile analizzata è $x_{4,1}$, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi e dei microfermi in linea causati dal blocco della reggiatrice, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.7 la variabile $x_{4,1}$ si approssima ad una normale con valore medio pari a 32,69 e deviazione standard pari a 44,78. Tale valore elevato assunto dallo scarto quadratico medio, indica un livello alto di dispersione dei dati rispetto alla media.
Inoltre, dal grafico 4.3.8 si rileva inoltre come la frequenza del fermo reggiatrice assuma, nella maggior parte dei casi, valore nullo e in pochi casi valori elevati, ciò farebbe pensare che tale tipologia di fermo interessi in maniera peculiare solo alcune linee.

Tabella 4.3.6: *Variabile $X_{4,2}$ "Frequenza tipologia 2: fermo chiudifalde"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x4,2	70	0	13,31	2,75	22,98	527,87	932,00	0,00	111,00	111,00

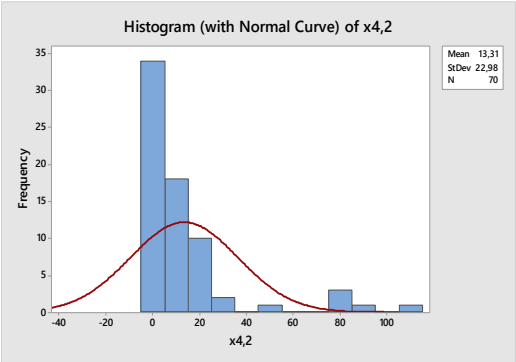


Grafico 4.3.9: "*Histogram of $x_{4,2}$*"

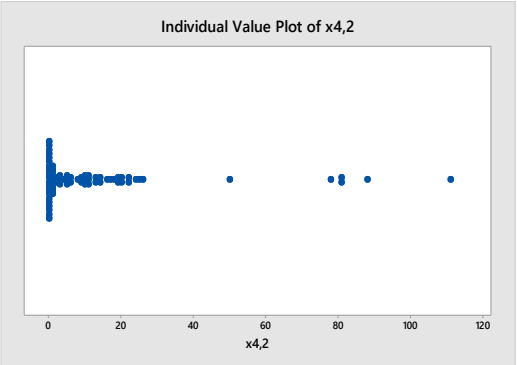


Grafico 4.3.10: *"Individual value plot of $x_{4,2}$"*

La quinta variabile analizzata $x_{4,2}$, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi e dei microfermi in linea causati dal blocco della chiudifalde, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.9 la variabile $x_{4,2}$ si approssima ad una normale con valore medio pari a 13,31 e deviazione standard pari a 22,98. La distribuzione è abbastanza dispersa, come si rileva dalla varianza, ovvero la media dei quadrati degli scarti delle singole osservazioni rispetto al valore medio, la quale risulta pari a 527,87.
Inoltre, dal grafico 4.3.10 si osserva che la frequenza del fermo chiudifalde assume spesso valori compresi nel range ristretto [0,30]. Alcuni outliers si osservano intorno ai valori 50, 80 e in corrispondenza del valore massimo 111.

Tabella 4.3.7: *Variabile $X_{4,3}$-"Frequenza tipologia 3: fermo etichettatrice"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x4,3	70	0	6,414	0,915	7,653	58,565	449,000	0,000	40,000	40,000

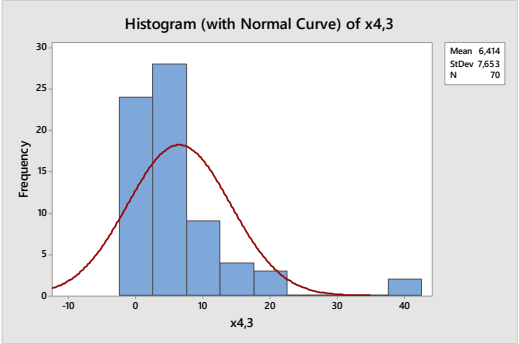


Grafico 4.3.11: "*Histogram of $x_{4,3}$*"

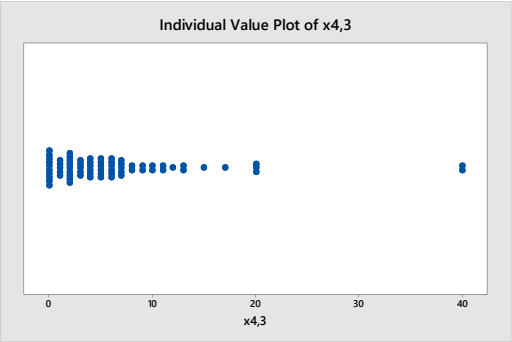


Grafico 4.3.12: *"Individual value plot of $x_{4,4}$"*

La sesta variabile analizzata $x_{4,3}$, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi e dei microfermi in linea causati dal blocco dell'etichettatrice, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.11 la variabile $x_{4,3}$ si approssima ad una normale con valore medio pari a 6,414 e deviazione standard pari a 7,653. L'approssimazione con la normale è abbastanza buona, inoltre, dal grafico 4.3.12 si rileva che la frequenza del fermo chiudifalde assume anche in tal caso valori contenuti nel range di valori ristretto [2,8]. Meno frequentemente la variabile assume valori tra [8,20] e si rileva la presenza di un outlier in corrispondenza del valore massimo 40.

Tabella 4.3.8: *Variabile $X_{4,4}$ -"Frequenza tipologia 4: Fermo Metti foto"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x4,4	70	0	4,94	1,71	14,29	204,26	346,00	0,00	72,00	72,00

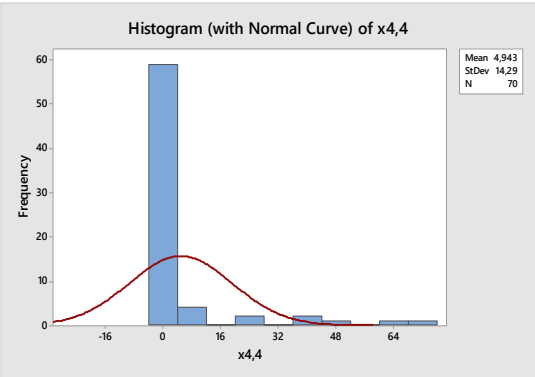


Grafico 4.3.13: "*Histogram of $x_{4,4}$*"

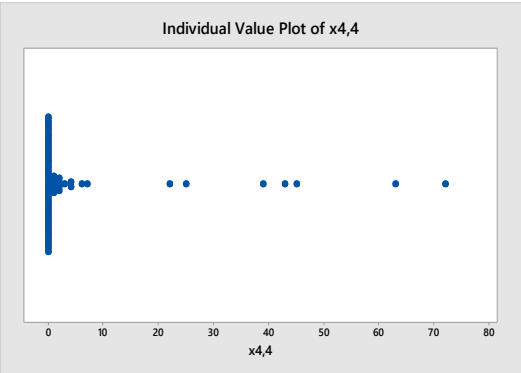


Grafico 4.3.14: *"Individual value plot of $x_{4,4}$"*

La settima variabile analizzata $x_{4,3}$, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi e dei microfermi in linea causati dal blocco della metti foto, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.13 la variabile $x_{4,4}$ si approssima ad una normale con valore medio pari a 4,94 e deviazione standard pari a 14,29.

Inoltre, dal grafico 4.3.14 si rileva che la frequenza del fermo mettifoto assume più spesso valori compresi tra 2 e 6. Tutti gli altri valori inferiori al valore massimo 72 sono poco frequenti e la dispersione è abbastanza elevata, con uno scostamento dei quadrati delle osservazioni dalla media pari a 204,26.

Tabella 4.3.9: *Variabile $X_{4,5}$-"Frequenza tipologia 5: Fermo Fanuc"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x4,5	70	0	25,44	2,77	23,22	539,03	1781,00	0,00	100,00	100,00

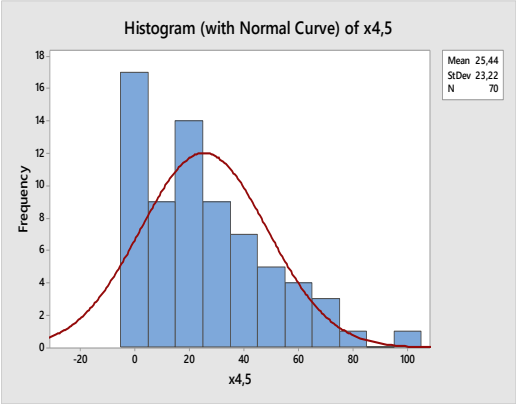


Grafico 4.3.15: "*Histogram of $x_{4,5}$*"

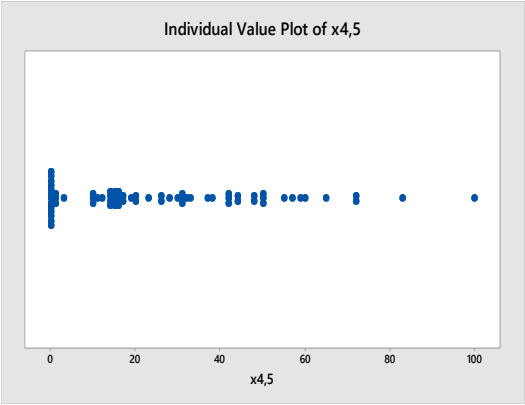


Grafico 4.3.16: *"Individual value plot of $x_{4,5}$"*

L'ottava variabile analizzata $x_{4,5}$, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi e dei microfermi in linea causati dal blocco del fanuc, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.15 la variabile $x_{4,5}$ si approssima ad una normale con valore medio pari a 25,44 e deviazione standard pari a 23,22. La dispersione non è elevata, infatti i valori si distribuiscono bene attorno al valore medio, concentrandosi come mostrato dal grafico 4.3.16 nell'intervallo tra 0 e 60. Da 60 fino al valore massimo 100, le osservazioni sono più disperse.

Tabella 4.3.10: *Variabile X_5 - "Frequenza altre tipologie"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x5	70	0	43,20	5,78	48,37	2339,87	3024,00	0,00	306,00	306,00

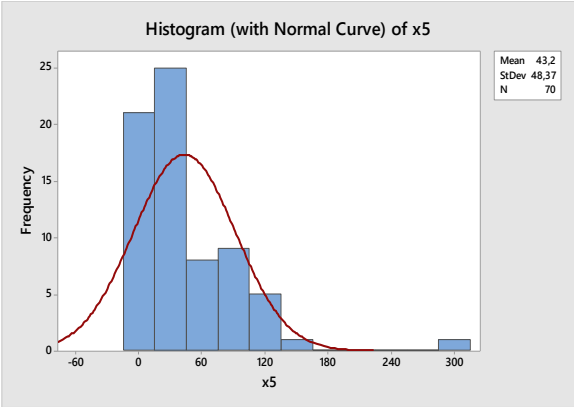


Grafico 4.3.17: "*Histogram of x_5*"

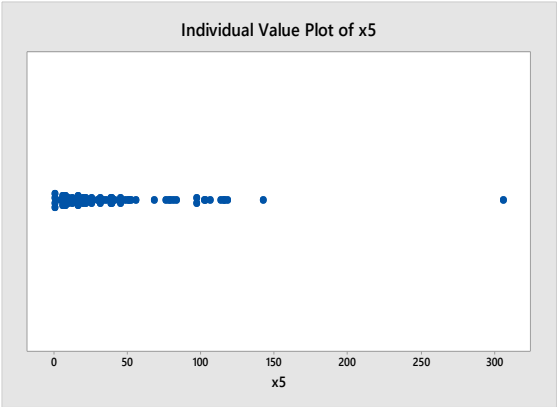


Grafico 4.3.18: *"Individual value plot of x_5"*

La nona variabile analizzata x_5, indica la frequenza settimanale complessiva dei fermi avvenuti in linea per cause differenti dalle tipologie sopraelencate, espressa in conteggio semplice. Come si nota dal grafico 4.3.17 la variabile x_5 si approssima ad una normale con valore medio pari a 43,20 e deviazione standard pari a 48,37. Dal grafico 4.3.18 si nota una concentrazione dei valori all'interno dell'intervallo [0,50], da 50 a 120 le osservazioni sono più disperse, con un outlier in corrispondenza del valore massimo 306.

Tabella 4.3.11: *Variabile X_6-"Peso medio degli ordini":*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x6	68	2	8,493	0,369	3,045	9,270	577,490	5,000	16,400	11,400

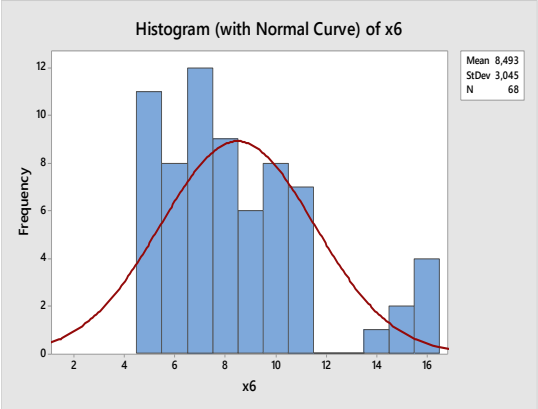


Grafico 4.3.19: "*Histogram of x_6*"

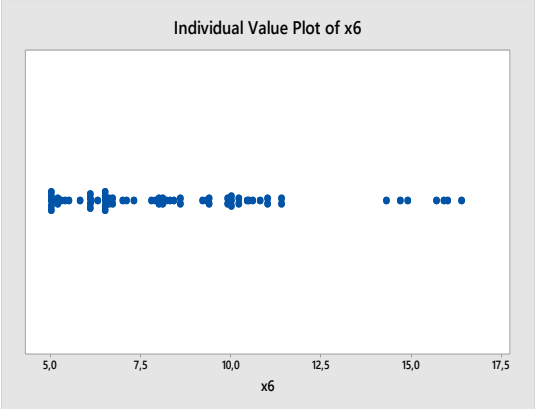


Grafico 4.3.20: *"Individual value plot of x_6"*

La decima variabile analizzata x_6, indica il peso medio degli ordini, ovvero il numero medio di componenti di cui sono costituiti i prodotti realizzati su ciascuna linea in ogni settimana. Tale variabile può assumere un valore compreso tra la dimensione minima di un cesto (5 componenti) e la su dimensione massima (19 componenti). Come si nota dal grafico 4.3.19 la variabile x_6 si approssima ad una normale con media 8,493 e deviazione standard pari 3,045. Da quest'ultimo dato si evince che la dispersione della distribuzione non è elevata, come si

nota infatti anche dal grafico 4.3.20, la maggior parte delle osservazioni è concentrata attorno al valore medio. Inoltre, è possibile notare che nessuna osservazione ricade nell'intervallo [11.5, 13].

Tabella 4.3.12: *Variabile X_7 -"Importanza ordini"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x7	68	2	11,835	0,780	6,434	41,395	804,790	4,850	32,270	27,420

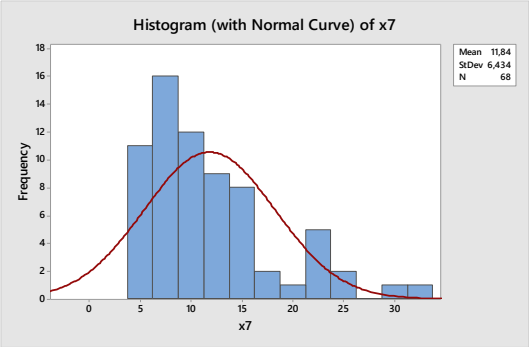
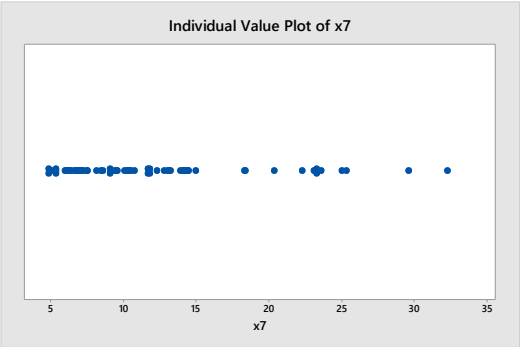


Grafico 4.3.21: *"Histogram of x_7"*



*"**Grafico 4.3.22**: "Individual value plot of x_7"*

L'undicesima variabile analizzata x_7, indica l'importanza degli ordini, misurata in termini di valore, ovvero di prezzo medio unitario (euro) dei prodotti realizzati su una stessa linea in ogni settimana. Come si nota dal grafico 4.3.21 la variabile x_7 si approssima ad una normale con media 11,835 e deviazione standard pari 6,434, inoltre dal grafico 4.3.22 si rileva che la maggior parte delle osservazioni è concentrata intorno al valore medio. Una maggiore dispersione delle osservazioni si osserva nell'intervallo compreso tra 18 e il valore massimo 32.27.

Tabella 4.3.12: *Variabile X_8-"Perdite residue"*

Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Sum	Minimum	Maximum	Range
x8	68	2	984,1	93,4	770,4	593453,3	66915,9	-885,0	2890,8	3775,8

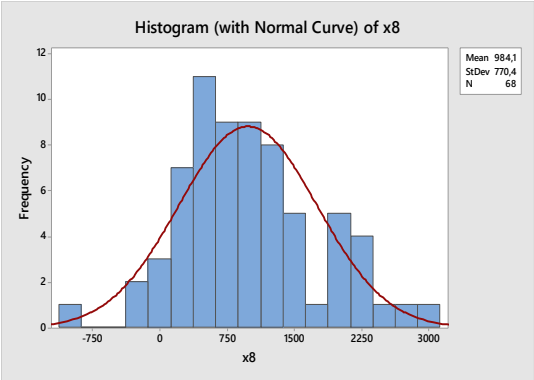


***Grafico 4.3.23**: "Histogram of x_8"*

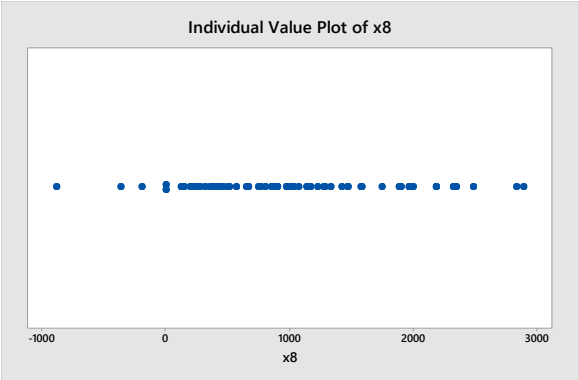


***Grafico 4.3.24**: "Individual value plot of x_8"*

L'ultima variabile analizzata x_8, indica le perdite in minuti, riscontrate su ogni linea in ogni settimana, per cause diverse da quelle analizzate sopra. Come si nota dal grafico 4.3.23 la variabile x_7 si approssima bene ad una normale con media 984,1 e deviazione standard pari 770,5. Inoltre, dal grafico 4.3.24 si rileva che la maggior parte delle osservazioni è concentrata intorno al valore medio. Osserviamo degli outliers in corrispondenza del valore massimo 2890,8, oppure in corrispondenza di valori negativi, ciò sta ad indicare dei casi sporadici di perdite negative, o meglio dei recuperi di tempo su qualche linea.

Successivamente a tale descrizione, come già accennato sopra, tramite la statistica inferenziale o inferenza statistica, si può tentare di raggiungere risultati che si estendano oltre i dati campionari e che possano quindi essere validamente riferiti e applicati all'intera popolazione e non solo al singolo campione. La regressione lineare multipla, che sarà applicata nel Capitolo 5, può essere un valido strumento per raggiungere tale fine.

Capitolo 5

5.1 Descrizione del data set

Prima di procedere con l'applicazione del modello di regressione, è opportuno, innanzitutto, riepilogare il *set di variabili indipendenti* oggetto d'analisi e la notazione utilizzata:

- **DFM** = Durata fermo macchina;
- **DS** = Durata setup;
- **DMG** = Durata trasferimento della materia prima dal magazzino;
- **T1FR** = Tipologia 1: frequenza fermo reggiatrice;
- **T2FC** = Tipologia 2: frequenza fermo chiudifalde;
- **T3FE** = Tipologia 3: frequenza fermo etichettatrice;
- **T4FM** = Tipologia 4: frequenza fermo metti-foto;
- **T5FF** = Tipologia 5: frequenza fermo fanuc;
- **FA** = Frequenza fermi di altre tipologie;
- **PMO** = Peso medio degli ordini;
- **IMO** = Importanza ordini;
- **PR** = Perdite residue, per cause diverse dalle tipologie indicate.

La variabile dipendente Y esprime invece la *produttività* che può essere calcolata in tre modalità differenti:

- $\mathbf{Y_1}$ = *Numero di pezzi processati (NPP)*, per linea, nel time bucket di riferimento (settimanale);
- $\mathbf{Y_2}$ = *Tempo di processo effettivo (TPE)*, considera le ore effettive di lavoro in cui è stato generato un output;
- $\mathbf{Y_3}$ = *Tempo di processo effettivo/ Tempo di processo teorico (Te/Tt),* considera il rapporto tra le ore effettive di lavoro in cui è stato generato un output, rispetto al totale di ore complessive eseguite sui tre turni, nell'intervallo di tempo considerato.

Nel primo modello analizzato la retta di regressione derivante avrà la seguente forma:

$$\boldsymbol{Y_1} = \text{NPP} = \beta_0 + \beta_1 \boldsymbol{DFM} + \beta_2 \boldsymbol{DS} + \beta_3 \boldsymbol{DMG} + \beta_4 \boldsymbol{T1FR} + \beta_5 \boldsymbol{T2FC} + \beta_6 \boldsymbol{T3FE} + \beta_7 \boldsymbol{T4FM} + \beta_8 \boldsymbol{T5FF} + \beta_9 \boldsymbol{FA} + \beta_{10} \boldsymbol{PMO} + \beta_{11} \boldsymbol{IMO} + \beta_{12} \boldsymbol{PR} \qquad \textbf{(1)}$$

nel secondo modello:

$$\boldsymbol{Y_2} = \text{TPE} = \beta_0 + \beta_1\boldsymbol{DFM} + \beta_2\boldsymbol{DS} + \beta_3\boldsymbol{DMG} + \beta_4\boldsymbol{T1FR} + \beta_5\boldsymbol{T2FC} + \beta_6\boldsymbol{T3FE} + \beta_7\boldsymbol{T4FM} + \beta_8\boldsymbol{T5FF} + \beta_9\boldsymbol{FA} + \beta_{10}\boldsymbol{PMO} + \beta_{11}\boldsymbol{IMO} + \beta_{12}\boldsymbol{PR} \quad \textbf{(2)}$$

Infine, nel terzo modello:

$$\boldsymbol{Y_3} = \text{Te/Tt} = \beta_0 + \beta_1\boldsymbol{DFM} + \beta_2\boldsymbol{DS} + \beta_3\boldsymbol{DMG} + \beta_4\boldsymbol{T1FR} + \beta_5\boldsymbol{T2FC} + \beta_6\boldsymbol{T3FE} + \beta_7\boldsymbol{T4FM} + \beta_8\boldsymbol{T5FF} + \beta_9\boldsymbol{FA} + \beta_{10}\boldsymbol{PMO} + \beta_{11}\boldsymbol{IMO} + \beta_{12}\boldsymbol{PR} \quad \textbf{(3)}$$

Per quanto riguarda l'*impatto atteso* di ogni singolo regressore X_i sulla variabile risposta Y, è possibile presupporre intuitivamente l'esistenza di una correlazione positiva con le variabili *PMO* (Peso medio degli ordini) e *IMO* (Importanza degli ordini), mentre si può ipotizzare che a generare un impatto negativo sulla produttività, siano tutte le rimanenti variabili indipendenti, sia quelle esplicative di una durata (*DFM, DS e DMG, PR*) che quelle indicanti una frequenza (*T1FR, T2FC, T3FE, T4FM, T5FF, FA*); l'applicazione del modello di regressione fornirà gli strumenti adeguati per confermare o smentire le previsioni formulate.

Per quanto riguarda il campione di dati analizzato, si osserva, nella tabella 5.1, il cluster di osservazioni per la variabile dipendente "Produttività", espressa sia in termini di pezzi (Y_1), in termini di tempo (Y_2), in termini di rapporto tra tempi (Y_3), in riferimento invece, al data set dei predittori, esso è stato già indicato e descritto nel capitolo 4, tabella 4.1.

Tabella 5.1.1: *Data set variabile dipendente*

		Y1=N. pezzi prodotti	Y2=T di processo effettivo	Y3=T effettivo/T teorico
S1(8/10-12/10)	L1S1	17777	64,32	0,572
	L2S1	27738	92,45	0,822
	L3S1	28872	96,24	0,855
	L4S1	28702	95,68	0,85
	L5S1	26265	87,53	0,822
	L6S1	/	/	/
	L7S1	32563	67,86	0,904
	L8S1	15943	53,15	0,805
	L9S1	18480	61,6	0,821
	L10S1	25720	53,6	0,715
S2(15/10-20/10)	L1S2	25091	83,63	0,697
	L2S2	25075	83,57	0,696
	L3S2	30512	101,7	0,904
	L4S2	31562	105,2	0,905
	L5S2	33177	110,58	0,922
	L6S2	/	/	/
	L7S2	34640	76,68	0,973
	L8S2	20440	68,13	0,825
	L9S2	20946	68,31	0,91
	L10S2	31358	65,34	0,792
S3(22/10-27/10)	L1S3	21935	73,13	0,638
	L2S3	26788	89,3	0,738
	L3S3	33451	111,5	0,929
	L4S3	29609	98,69	0,885
	L5S3	21920	91,33	0,804
	L6S3	21920	91,33	0,805
	L7S3	51558	113,75	0,948
	L8S3	29208	98,66	0,822
	L9S3	30892	104,79	0,931
	L10S3	45030	93,81	0,781
S4(29/10-02/11)	L1S4	12095	43,33	0,525
	L2S4	22596	75,32	0,913
	L3S4	20349	67,83	0,822
	L4S4	21416	71,38	0,865
	L5S4	22245	74,15	0,898
	L6S4	21732	88,6	1073
	L7S4	30867	64,31	1,049
	L8S4	21706	70,01	0,848
	L9S4	19880	66,6	0,888
	L10S4	30264	63,05	0,764
S5(05/11-10/11)	L1S5	26163	87,21	0,726
	L2S5	28198	93,99	0,783
	L3S5	33029	110,1	0,979
	L4S5	32221	107,4	0,937
	L5S5	32310	107,7	0,957
	L6S5	32340	134,75	1,12
	L7S5	48622	101,3	0,851
	L8S5	28825	96,08	0,8
	L9S5	34884	116,28	0,969
	L10S5	42789	89,14	0,778
S6(12/11-17/11)	L1S6	24372	81,24	0,677
	L2S6	28651	95,5	0,795
	L3S6	32167	107,22	0,893
	L4S6	31520	105,07	0,875
	L5S6	33869	112,9	1,003
	L6S6	29534	121,26	1,01
	L7S6	51360	107	0,942
	L8S6	28089	93,63	0,78
	L9S6	30620	102,07	0,85
	L10S6	39056	86,77	0,723
S7(19/11-24/11)	L1S7	25882	90,92	0,757
	L2S7	21853	72,84	0,607
	L3S7	34737	115,79	0,965
	L4S7	31486	104,95	0,874
	L5S7	31747	105,82	0,881
	L6S7	29579	123,25	1,02
	L7S7	55357	115,33	0,961
	L8S7	28654	95,51	0,795
	L9S7	33808	112,69	0,939
	L10S7	48110	105,13	0,876

5.2 Regressione: modello 1

Prendendo in considerazione il primo modello che assume come variabile dipendente Y_1= *NPP (Numero pezzi processati)*, il passo preliminare da compiere è quello di verificare *l'ipotesi di normalità* della variabile risposta. A tale scopo si utilizza il *Probability Plot*. Si tratta di un grafico che presenta i valori delle osservazioni sulle ascisse e sulle ordinate mostra in che percentuale ciascun valore risulta presente nel campione. Esso è utilizzato per

comprendere se i dati seguano o meno una distribuzione normale. Per determinare se i dati risultino normalmente distribuiti, occorre valutare quanto le osservazioni si distribuiscano secondo l'andamento della retta centrale.

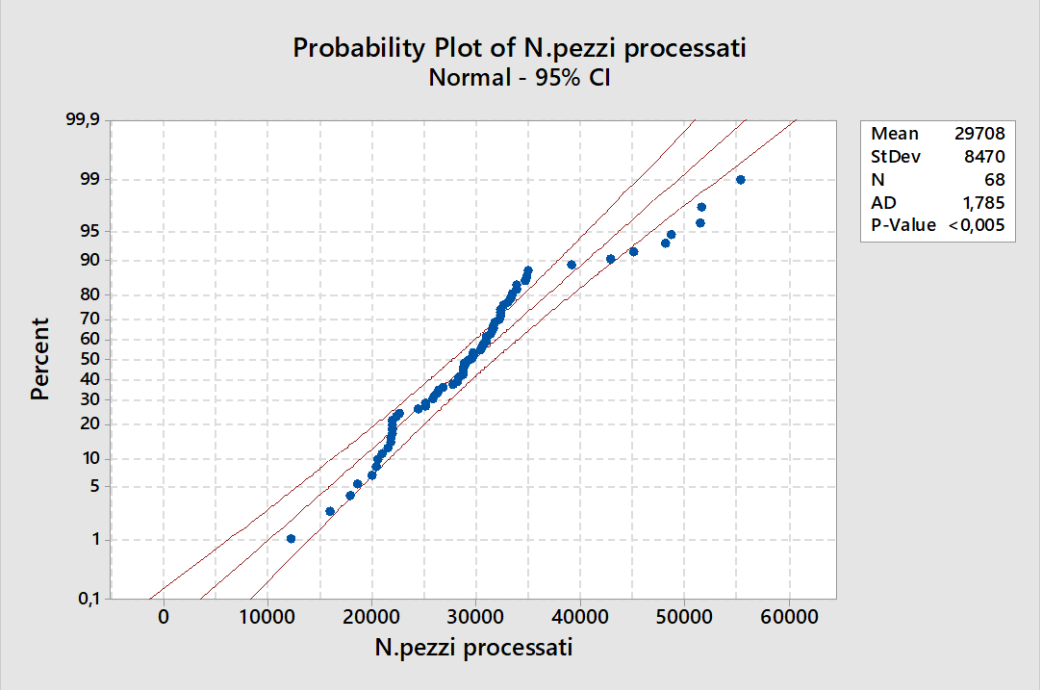


Grafico 5.2.1 *"Probability Plot: Y_1 = NPP - (1)"*

Quindi, prendendo in considerazione il *Probability Plot* della variabile Y_1 = *NPP,* si osserva che le osservazioni non si adattano del tutto all'andamento della linea centrale e sono presenti degli outliers, nell'intervallo [47000, 55000].

Conseguentemente al risultato ottenuto, poiché è necessario che sia soddisfatta l'ipotesi di normalità della variabile dipendente per poter applicare il modello di regressione, è possibile provare ad eliminare dal dataset le osservazioni anomale presenti e controllare i risultati ottenuti.

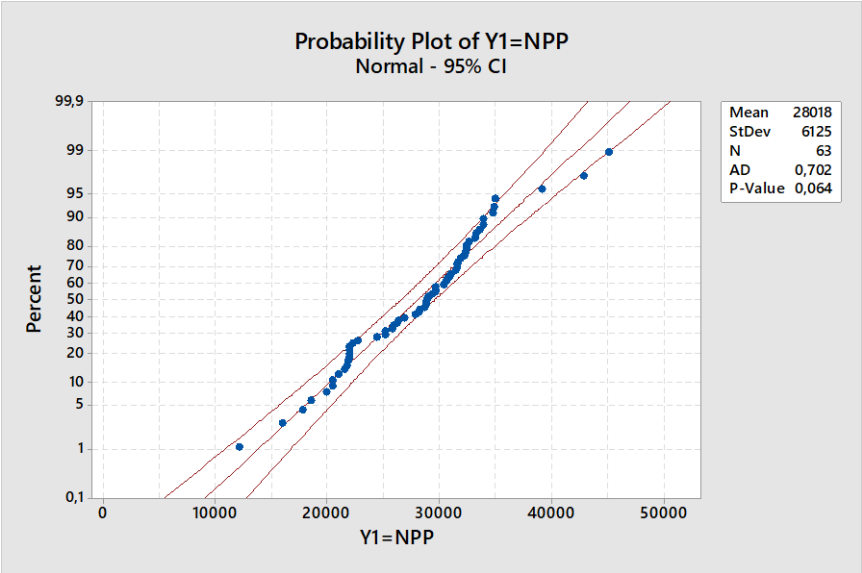


Grafico 5.2.2 *"Probability Plot: Y_1=(NPP)-(2)"*

Come si osserva dal grafico 5.2.2, dopo l'eliminazione delle 5 osservazioni i cui valori rientrano nell'intervallo sopraindicato, relative alla linea 7 (settimane 3, 5, 6 e 7) e alla linea 10 (settimana 7), si ottiene un buon adattamento dei punti alla retta centrale. Quindi in tal caso, l'ipotesi di normalità risulta soddisfatta.

In seguito alle considerazioni messe in luce, è adesso possibile lanciare il modello utilizzando il software "Minitab" e la retta di regressione ottenuta avrà la seguente forma:

Tabella 5.2.1*: "Retta di regressione-Modello 1-(1)"*

Regression Equation

Y1=NPP = 28631 - 0,20 DFM + 35,4 DS - 6,17 DMG - 43,2 T1FR + 21,7 T2FC + 157 T3FE - 67,1 T4FM + 39,7 T5FF - 6,7 FA + 322 PMO - 214 IMO - 2,17 PR

Tabella 5.2.2: *"Coefficienti di correlazione-Modello1-(I)"*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	28631	2823	10,14	0	
DFM	**-0,2**	**3,67**	**-0,05**	**0,956**	**5,91**
DS	35,4	16,1	2,2	0,033	1,9
DMG	-6,17	8,05	-0,77	0,447	1,58
T1FR	-43,2	21,7	-2	0,052	1,95
T2FC	21,7	46,5	0,47	0,642	2,46
T3FE	157	182	0,86	0,393	1,44
T4FM	-67,1	69,9	-0,96	0,342	2,2
T5FF	39,7	52,9	0,75	0,457	3,05
FA	-6,7	22,2	-0,3	0,766	2,32
PMO	322	524	0,61	0,542	5,32
IMO	-214	216	-0,99	0,327	4,14
PR	-2,17	1,45	-1,5	0,141	2,48

Osservando la tabella 5.2.2 è possibile notare la colonna *"Coef*", la quale mostra i valori stimati dei coefficienti di correlazione $\beta_0,....,\beta_K$.

La stima di tali parametri, effettuata tramite i minimi quadrati e mostrata in tabella 5.3, può avvenire solo sotto l'assunzione di indipendenza tra le variabili esplicative. Nel caso in cui invece, una variabile indipendente sia linearmente dipendente dalle altre, essa si definisce affetta da *collinearità perfetta* o *multicollinearità*. Ciò implica che le informazioni contenute in quella variabile siano già presenti nel dataset in quanto già fornite dalle altre variabili. Pertanto, tale variabile risulta essere superflua e può quindi essere eliminata, in quanto la sua esclusione non comporta la perdita di alcuna informazione aggiuntiva. Esiste perciò, un insieme di statistiche utilizzate per individuare la presenza di multicollinearità chiamato *VIF* (*Variance Inflation Factors)*. Un VIF indica quanto una variabile esplicativa risulti spiegata dalla altre, quindi, il suo valore associato ad ogni variabile indipendente è indicativo di quanto la multicollinearità stia provocando l'aumento della varianza del coefficiente stimato corrispondente. In particolare, la presenza di multicollinearità è segnalata per valori di VIF superiori a 5. Dalla tabella 5.2.2 si osserva che l'unica variabile con VIF>5 è *DFM* (*Durata dei Fermi Macchina),* la quale va quindi, esclusa dal set di variabili indipendenti;
Dopodiché, si può procedere a rilanciare il modello di regressione senza la variabile affetta da multicollinearità.

La nuova retta di regressione avrà la seguente forma:

***Tabella 5.2.3**: Retta di regressione-Modello 1-(2)*

Regression Equation

Y1=NPP = 28629 + 35,4 DS - 6,24 DMG - 43,5 T1FR + 21,1 T2FC + 156 T3FE - 67,8 T4FM + 38,2 T5FF - 7,3 FA + 319 PMO - 213 IMO - 2,19 PR

***Tabella 5.2.4:** Coefficienti di correlazione-modello1-(II)*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	**28629**	**2794**	**10,25**	**0**	
DS	**35,4**	**15,9**	**2,22**	**0,031**	**1,89**
DMG	-6,24	7,87	-0,79	0,432	1,54
T1FR	**-43,5**	**20,9**	**-2,08**	**0,043**	**1,86**
T2FC	21,1	44,4	0,47	0,637	2,29
T3FE	156	178	0,87	0,388	1,41
T4FM	-67,8	68,2	-0,99	0,326	2,15
T5FF	38,2	44,8	0,85	0,398	2,24
FA	-7,3	18,4	-0,4	0,691	1,62
PMO	319	516	0,62	0,54	5,26
IMO	-213	213	-1	0,322	4,12
PR	-2,19	1,4	-1,57	0,123	2,35

La tabella 5.2.4 mostra alla colonna "*Coef*" il valore relativo ai coefficienti di correlazione associati ai regressori dopo aver eliminato dal dataset la variabile indipendente "*DFM*", affetta da multicollinearità. Osservando i valori dei VIF associati agli altri regressori, si nota come i valori siano nella maggior parte dei casi diminuiti, oppure siano rimasti invariati e come presentino, in ogni caso, tutti un valore inferiore a 5. Ciò è indicativo del fatto che l'assunzione di *indipendenza lineare* tra predittori risulta essere adesso soddisfatta.

Il passo successivo è quello di verificare quali regressori risultino essere *statisticamente significativi.* Un predittore è statisticamente significativo se il p-value presenta un valore inferiore ad una certa soglia fissata al 5%, infatti se ciò si verifica si rifiuta l'ipotesi nulla H_0 che il coefficiente β_j associato al regressore j-esimo sia nullo.

Dalla tabella 5.5 si osserva che i regressori statisticamente significativi sono:

- ***DS*** = Durata setup, con p-value= 3.1%;
- ***T1FR*** = Tipologia 1: frequenza fermo reggiatrice, con p-value=4.3%.

Al contrario, tutte gli altri predittori non generano un impatto rilevante sulla produttività, in quanto ad essi è associato un p-value > 5%.

La relazione esistente tra la variabile dipendente e quelle indipendenti è una relazione di tipo *lineare*, in particolare i coefficienti β_j, esprimono l'impatto su Y generato da una variazione della j-esima variabile indipendente, tenendo costanti le altre e si ottengono nel seguente modo:

$$\beta_j = \frac{\Delta y}{\Delta x} \qquad \textbf{(4)}$$

In particolare, analizzando il comportamento dei regressori statisticamente significativi, si nota che la variabile *T1FR* è correlata negativamente con la produttività, in particolare un incremento Δx di una unità della frequenza di fermo della reggiatrice, provoca una diminuzione del numero di pezzi processati di 43,5 unità. Se i risultati per tale variabile si mostrano in linea con il comportamento atteso, la stessa cosa non vale per la variabile *DS* la quale, contrariamente a quanto previsto, risulta essere correlata positivamente con la variabile risposta anche se si riscontra comunque che la variabile più impattante in valore assoluto su Y_1 è T1FR, con β_{T1FR}= |43,5|.

Tabella 5.2.5: *Bontà di adattamento-Modello 1*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5472,64	35,34%	20,52%	0,00%

La bontà di adattamento del modello di regressione ai dati è espressa tramite l'indice R^2. Tale indicatore assume un valore pari a 35.34%, ciò sta ad indicare che più di un terzo della variabilità totale dei dati è spiegata tramite il modello di regressione. Il valore dell'R^2_{adj} è più basso (20,52%), perché è depurato di quell' effetto di incremento che invece subisce l'R^2 all'aumentare del numero di variabili indipendenti considerate.

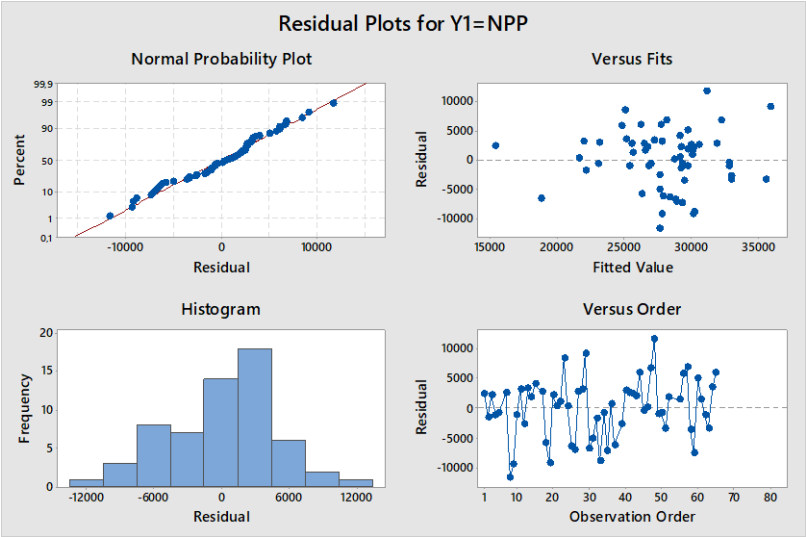


***Grafico 5.2.3**: Residual plots - Regressione Modello 1*

Come già precedentemente sottolineato, per poter adottare un modello di regressione è necessario che sia soddisfatta l'assunzione relativa ai residui: $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, dove $\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i$, ovvero essi esprimono lo scostamento tra il valore osservato della variabile risposta e il corrispondente valore stimato dal modello di regressione. In altre parole, è necessario che:

1) gli errori siano variabili *aleatorie incorrelate* con *media zero*;
2) gli errori devono avere *varianza costante*;
3) gli errori devono essere *normalmente distribuiti*.

Per poter verificare se tali assunzioni sono soddisfatte nel caso analizzato si utilizzano i quattro grafici in figura 5.2.3, detti *Residual Plots*.

Il grafico in alto a sinistra è detto *Normal Probability Plot.* Il Normal probability plot è una tecnica grafica che serve per stabilire se i dati si distribuiscono come una normale o meno (Chambers et al., 1983, [63]).

I dati sono plottati secondo una distribuzione normale se i punti si distribuiscono in modo da formare una linea retta. Allontanamenti da tale andamento indicano scostamenti rispetto alla distribuzione normale.

In particolare, dal Normal Probability Plot sovrastante si osserva come l'andamento delle osservazioni sia perfettamente lineare. I punti infatti, seguono perfettamente l'andamento della linea retta e non si evidenziano valori anomali. Da ciò ne deriva che la distribuzione normale costituisce un buon modello di approssimazione dei dati, quindi l'assunzione 3 risulta verificata.

Lo scopo dell'*Histogram*, in basso a sinistra, è quello di riassumere graficamente la funzione di distribuzione di probabilità da cui provengono i dati. Esso fornisce informazioni riguardo

alla *centratura*, ovvero la posizione dei dati, il loro livello di *dispersione* e di *asimmetria*, oltre all'eventuale presenza di *valori anomali*.
La forma più comune di istogramma si ottiene suddividendo i dati in classi di dimensioni uguali. In particolare, il grafico riporta in ascisse la frequenza, ovvero il numero di conteggi per ciascuna classe e in ordinate la variabile di risposta.
Osservando l'Histogram sovrastante si osserva che la distribuzione dei dati è abbastanza simmetrica e non sono presenti valori anomali, l'andamento descritto dalle classi è quello di una gaussiana, in linea con il risultato già in evidenza dal Normal Probability Plot.
In particolare, il *Residual Versus Fits*, invece, si utilizza per verificare l'ipotesi che i residui siano distribuiti casualmente e abbiano una varianza costante. A livello ideale infatti, i punti dovrebbero essere distribuiti casualmente a destra e a sinistra dello 0, senza che ci siano degli schemi riconoscibili nelle osservazioni. Viceversa, ci possono essere diversi casi in cui il grafico mostra che i presupposti del modello di regressione non siano soddisfatti:

1. Una dispersione disomogenea dei residui è indicazione di varianza non costante;
2. Un andamento curvilineo indica la mancanza di un termine di ordine superiore;
3. Se un punto è lontano dallo zero indica un valore anomalo;
4. Se un punto è lontano dalle altre osservazioni in direzione x costituisce un punto influente.

Osservando il grafico in alto a destra, si nota, però, che non ci sono disomogeneità nella dispersione dei residui, ciò indica una varianza costante, inoltre data l'assenza di schemi riconoscibili, le osservazioni possono essere definite random cioè casuali, per cui l'assunzione n.1 di aleatorietà dei dati e l'assunzione n.2, risultano soddisfatte.
Il *Residual Versus Order*, infine, è usato per verificare l'assunzione che i residui siano indipendenti gli uni dagli altri. I residui infatti, si definiscono *indipendenti* solo nel caso in cui non si riscontrino t schemi nei dati nel momento in cui questi vengono visualizzati in ordine cronologico. Se esistono invece dei pattern nelle osservazioni, ciò può essere indice del fatto che i residui vicini tra loro siano correlati e quindi non indipendenti.
Anche nel caso in cui il grafico mostri un *trend*, un *ciclo* o un *cambio* nell'andamento dei punti, ciò può essere sintomo di dipendenza tra i residui.
Alla luce di ciò, osservando il Residual Versus Order in basso a destra, si osserva come non si individuano particolari trend nei punti, quindi è soddisfatta l'ipotesi di *indipendenza* dei residui, ovvero di *non correlazione* tra gli stessi (assunzione1).

5.3 Regressione Modello 2

Prendendo in considerazione il secondo modello che assume come variabile dipendente Y_1= *TPE (Tempo di processo Effettivo),* come nel caso precedente occorre verificare *l'ipotesi di normalità* della variabile risposta.

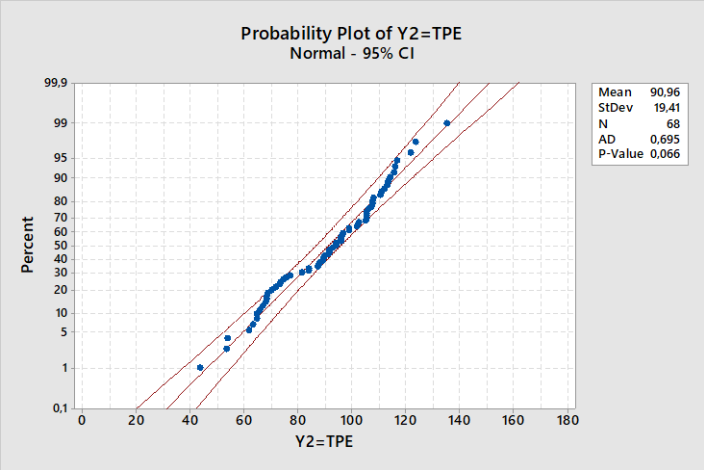


***Grafico 5.3.1**: "Probability Plot - Modello 2"*

Osservando il Normal Probability plot, si nota che i dati si adattano bene all'andamento della retta centrale, per cui l'ipotesi di normalità è verificata.

La retta di regressione ottenuta con Minitab in output è:

***Tabella 5.3.1**: "Retta di regressione-Modello 2-(1)"*

Regression Equation

Y2=TPE = 97,17 - 0,0048 DFM + 0,0725 DS - 0,0032 DMG - 0,0147 T1FR - 0,255 T2FC - 0,140 T3FE + 0,102 T4FM + 0,325 T5FF + 0,1292 FA - 0,16 PMO - 0,234 IMO - 0,01337 PR

***Tabella 5.3.2**: "Coefficient-Modello 1-(1)"*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	97,17	7,65	12,71	0	
DFM	**-0,0048**	**0,0107**	**-0,45**	**0,654**	**5,73**
DS	0,0725	0,0431	1,68	0,098	1,72
DMG	-0,0032	0,0234	-0,14	0,892	1,54
T1FR	-0,0147	0,0604	-0,24	0,808	1,8
T2FC	-0,255	0,136	-1,88	0,065	2,42
T3FE	-0,14	0,321	-0,44	0,665	1,49
T4FM	0,102	0,205	0,5	0,62	2,17
T5FF	0,325	0,156	2,09	0,042	3,12
FA	0,1292	0,065	1,99	0,052	2,35
PMO	-0,16	1,48	-0,11	0,913	4,83
IMO	-0,234	0,627	-0,37	0,71	3,99
PR	-0,01337	0,00417	-3,21	0,002	2,41

Considerazioni analoghe al caso precedente possono essere fatte riguardo alla variabile *DFM* che va eliminata in quanto presenta un valore di VIF superiore a 5.

Il modello risultante dopo l'eliminazione della variabile affetta da mulicollinearità è il seguente:

***Tabella 5.3.3**: "Retta di regressione-Modello 2-(2)"*

Regression Equation

Y2=TPE = 96,87 + 0,0722 DS - 0,0045 DMG - 0,0229 T1FR - 0,270 T2FC - 0,133 T3FE + 0,088 T4FM + 0,289 T5FF + 0,1125 FA - 0,19 PMO - 0,226 IMO - 0,01389 PR

***Tabella 5.3.4**: "Coefficient-Modello 2-(2)"*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	**96,87**	**7,56**	**12,82**	**0**	
DS	0,0722	0,0427	1,69	0,097	1,72
DMG	-0,0045	0,023	-0,2	0,846	1,52
T1FR	-0,0229	0,0571	-0,4	0,69	1,63
T2FC	**-0,27**	**0,131**	**-2,06**	**0,044**	**2,28**
T3FE	-0,133	0,318	-0,42	0,678	1,49
T4FM	0,088	0,201	0,44	0,662	2,12
T5FF	**0,289**	**0,132**	**2,18**	**0,034**	**2,29**
FA	**0,1125**	**0,053**	**2,12**	**0,038**	**1,59**
PMO	-0,19	1,46	-0,13	0,898	4,82
IMO	-0,226	0,622	-0,36	0,718	3,99
PR	**-0,0139**	**0,00398**	**-3,49**	**0,001**	**2,23**

Osservando la tabella 5.10 si osserva che i regressori con p-value>5%, quindi statisticamente significativi sono i seguenti:

- ***T2FC*:** Frequenza del fermo chiudifalde, con p-value=4.4%;
- ***T5FF*:** Frequenza del fermo fanuc, con p-value=3.4%
- ***FA*:** Frequenza fermi di altre tipologie, con p-value=3.8%;
- ***PR*:** Perdite residue, con p-value=1%.

In particolare, si osserva che la Frequenza fermo chiudifalde (T2FC) è correlata negativamente con la variabile risposta; anche la variabile PR impatta negativamente su Y, ciò vuol dire che un incremento dell'1% delle perdite in termini di tempo per cause differenti da quelle analizzate, provoca una diminuzione del Tempo di Processo Effettivo dello 0.0138%, alla luce della relazione lineare tra PR e Y_2. Tali risultati sono in linea con il comportamento atteso, viceversa un risultato differente da quello previsto si ottiene per i regressori T5FF

(Frequenza Fermo Fanuc) e FA (Frequenza Fermo Altre Tipologie), i quali risultano correlati positivamente con la variabile dipendente.

Ad ogni modo, la variabile che impatta maggiormente su Y_2 in valore assoluto, è T5FF che presenta un coefficiente β_{T5FF} =|0,289|.

Tabella 5.3.5 *"Bontà di adattamento-Modello 2"*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
16,3248	39,19%	26,57%	0,70%

Per quanto riguarda la bontà di adattamento del modello ai dati, si evince dal valore dell'R^2 che più del 39% della variabilità complessiva è spiegata tramite il modello di regressione lineare. Da notare anche, l'*R2 Predicted,* il quale, in tal caso, presenta un valore piuttosto basso (0,7%), esso in generale riflette la capacità del modello di prevedere i dati futuri.

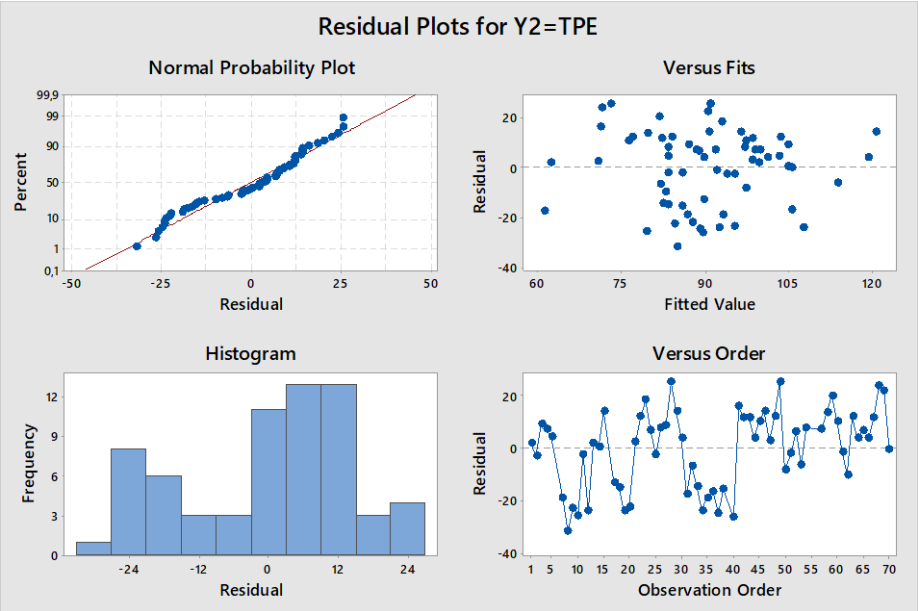


Grafico 5.3.1: *Residual Plots - Modello 2*

Per quanto riguarda l'analisi dei residui del secondo modello di regressione, dal Normal Probability Plot si evince che i punti risultano distribuiti lungo la retta, ciò implica che sia verificata l'ipotesi di normalità degli ε_i. Il risultato è confermato dall'Histogram, il quale riflette oltretutto una certa asimmetria dei dati. Il Residual Versus Fit mostra come le osservazioni siano distribuite casualmente sopra e sotto lo zero, senza che siano riscontrabili specifici schemi. La dispersione dei residui è inoltre, abbastanza omogenea, quindi la varianza risulta essere costante.

Infine, dal Residual Versus Order, non si riscontra presenza di trend, cicli o cambi di andamento nei punti che possano indurre a pensare che ci sia correlazione tra i residui, quindi si può concludere che essi risultino indipendenti.

5.4 Regressione Modello 3

Prendendo in considerazione il terzo modello, esso assume di misurare la variabile dipendente produttività come Y_3= Y_3= *Te/Tt= Tempo di processo effettivo/ Tempo di processo teorico.*

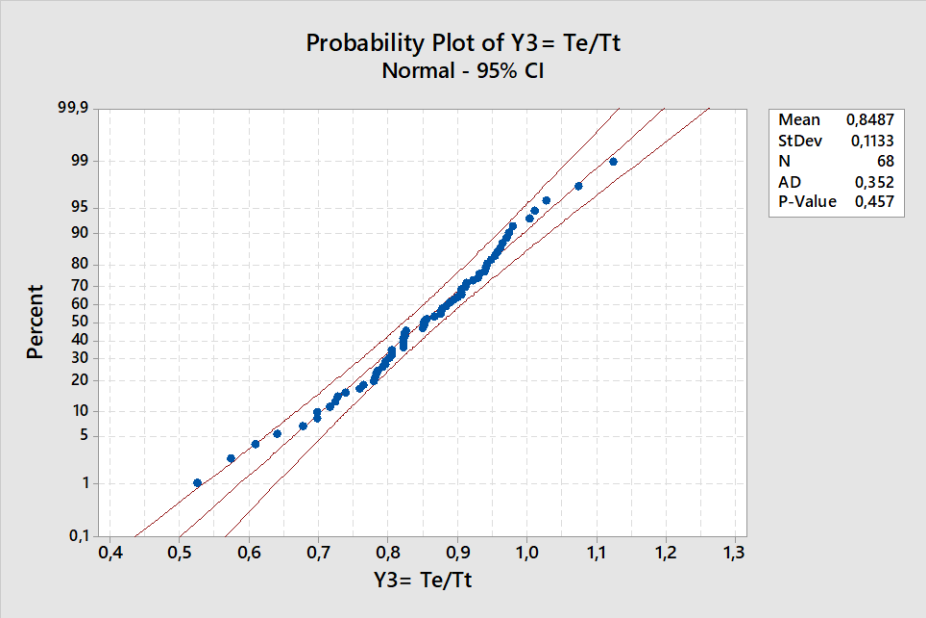


***Grafico 5.4.1**: "Probability Plot - Modello 3"*

Dal grafico 5.4.1 si osserva anche in tal caso una distribuzione normale della variabile Y_3, confermata dal fatto che i punti stanno sulla retta centrale e nessun punto cade al di fuori delle rette esterne.

Per cui, è possibile lanciare il modello e la retta di regressione ottenuta dal modello 3 è la seguente:

***Tabella 5.4.1**: "Retta di regressione- Modello 3"*

Regression Equation

Y3= Te/Tt = 0,9849 - 0,000020 DFM + 0,000105 DS - 0,000100 DMG + 0,000027 T1FR
- 0,000123 T2FC + 0,000126 T3FE - 0,000133 T4FM + 0,000427 T5FF + 0,000190 FA
- 0,00165 PMO + 0,00078 IMO - 0,000136 PR

***Tabella 5.4.2**: "Coefficient - Modello di regressione 3-(1)"*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,9849	0,0156	63,14	0	
DFM	**-2E-05**	**2,2E-05**	**-0,91**	**0,368**	**5,73**
DS	0,000105	0,000088	1,19	0,239	1,72
DMG	-0,0001	0,000048	-2,11	0,04	1,54
T1FR	0,000027	0,000123	0,22	0,826	1,8
T2FC	-0,00012	0,000277	-0,44	0,659	2,42
T3FE	0,000126	0,000655	0,19	0,849	1,49
T4FM	-0,00013	0,000418	-0,32	0,751	2,17
T5FF	0,000427	0,000318	1,34	0,185	3,12
FA	0,00019	0,000133	1,44	0,157	2,35
PMO	-0,00165	0,00301	-0,55	0,587	4,83
IMO	0,00078	0,00128	0,61	0,546	3,99
PR	-0,00014	0,000009	-15,98	0	2,41

Dopo aver proceduto, anche in tale situazione, con l'eliminazione della variabile *DFM* affetta da multicollinearità (VIF>5), occorre rilanciare il modello e si ottiene:

***Tabella 5.4.3**: "Retta di regressione-Modello 3-(2)"*

Regression Equation

Y3= Te/Tt = 0,9837 + 0,000103 DS - 0,000106 DMG - 0,000006 T1FR - 0,000183 T2FC + 0,000155 T3FE - 0,000191 T4FM + 0,000277 T5FF + 0,000122 FA - 0,00175 PMO + 0,00081 IMO - 0,000138 PR

***Tabella 5.4.3**: "Coefficient- Modello di regressione 3-(2)"*

Coefficients					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	**0,9837**	**0,0155**	**63,42**	**0**	
DS	0,000103	0,000088	1,18	0,244	1,72
DMG	**-0,0001**	**4,7E-05**	**-2,24**	**0,029**	**1,52**
T1FR	-6E-06	0,000117	-0,05	0,957	1,63
T2FC	-0,00018	0,000268	-0,68	0,499	2,28
T3FE	0,000155	0,000653	0,24	0,814	1,49
T4FM	-0,00019	0,000413	-0,46	0,646	2,12
T5FF	0,000277	0,000271	1,02	0,312	2,29
FA	0,000122	0,000109	1,12	0,268	1,59
PMO	-0,00175	0,003	-0,58	0,562	4,82
IMO	0,00081	0,00128	0,64	0,528	3,99
PR	**-0,0001**	**8E-06**	**-16,92**	**0**	**2,23**

Passando all'analisi delle variabili indipendenti statisticamente significative (p-value>5%), osservando la tabella 5.4.3, si rileva:

- ***DMG***: Durata trasferimento della materia prima dal magazzino, con p-value=2.9%;
- ***PR:*** Perdite residue, con p-value=0%.

In particolare, si nota dalla colonna *"Coef"* che PR è correlata negativamente con Y_3, risultato già trovato nel secondo modello. Un nuovo risultato riguarda invece, la variabile DMG, la quale impatta negativamente sulla variabile risposta, infatti ad esempio, un aumento dell'10% del tempo di trasferimento della materia prima dal magazzino, comporterebbe una riduzione della produttività dello 0,00106%. Tra le due variabili, comunque, la correlazione è maggiore in valore assoluto per la variabile PR, con β_{PR} =|0,0001|.

Tabella 5.4.4: *"Bontà di adattamento-Modello 3"*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0335034	92,62%	91,09%	87,80%

Per quanto riguarda la bontà di adattamento del modello ai dati, si osserva dal valore dell'R^2 che più del 90% della variabilità complessiva è spiegata tramite il modello di regressione lineare, quindi vi è un livello molto buono di adattamento della retta di regressione ai dati. Inoltre, il valore elevato dell'R^2 *Predicted,* indica una elevata capacità del modello di prevedere i dati futuri.

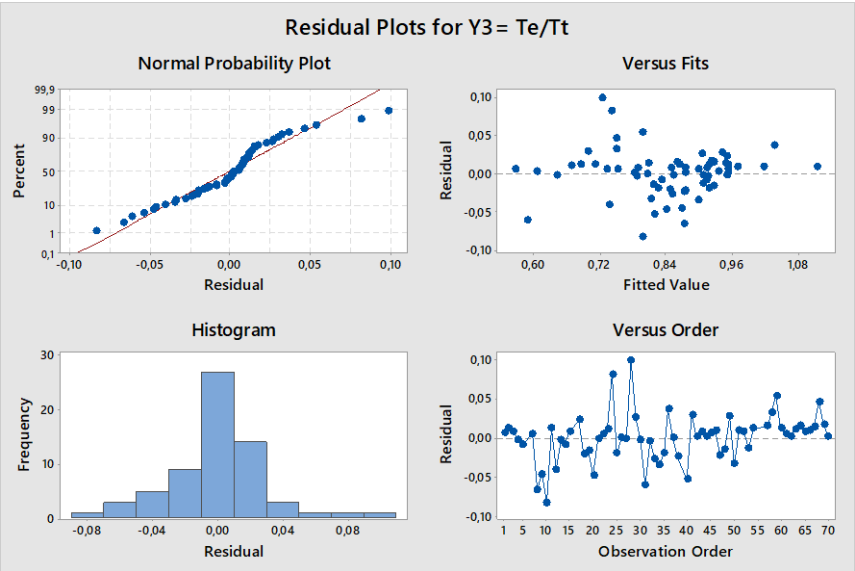


Grafico 5.4.2: *"Residual Plots - Modello 3"*

Infine, riguardo all'analisi dei residui del terzo modello, dal Normal Probability Plot si rileva che quasi tutti i punti risultano distribuiti lungo la retta, ciò implica che sia soddisfatta l'assunzione di normalità.

Dall'Histogram, si nota, inoltre, che la variabile risposta, assume con maggiore frequenza valori intorno allo 0, ciò è linea col fatto, che in tale terzo modello sia stato assunto, come stima della produttività, il rapporto tra *Tempo di processo effettivo* e *Tempo di processo teorico*, il quale, salvo eventuali casi di guadagni sulle linee in termini di tempo, risulta essere in generale compreso tra 0 e 1. Inoltre, si nota un buon livello di simmetria, rispetto allo 0, nella distribuzione dei dati.

Il Residual Versus Fit, invece, mostra la distribuzione aleatoria delle osservazioni a destra e a sinistra dello zero, con un livello di dispersione dei residui omogenea.

Infine, dal Residual Versus Order, l'assenza di trend conferma, ancora una volta, l'assunzione di indipendenza dei residui.

5.5 Conclusioni

Dai risultati ottenuti per mezzo dei *tre modelli di regressione*, si rileva che i *fattori* principalmente impattanti sulla *produttività* sono:

- ***Setup***: è risultata, in particolare, una correlazione positiva della variabile *DS (Durata Setup)* con Y_1 *=NPP (Numero pezzi processati*). In linea di massima tale risultato è in contrasto con il comportamento atteso, perché ci si aspetterebbe che più aumenti il tempo dedicato alle operazioni di setup, più si riduca quello dedicato effettivamente al processo e di conseguenza si riduca il numero di pezzi processati. Il fatto che DS e NPP siano positivamente correlate, probabilmente è dipeso dallo sforzo eseguito, più nel mese di Novembre che in quello di Ottobre, nel convertire, per quanto possibile, le attività di setup interne, in attività esterne, secondo l'approccio SMED descritto nel Capitolo 2; così facendo, buona parte delle attività di riattrezzaggio relative alla commessa successiva in linea, potevano già essere svolte durante il completamento del lotto precedente.
- ***Microfermi dei macchinari Chiudifalde e Reggiatrice***: si nota una correlazione negativa tra la *Frequenza del Fermo della Reggiatrice* e il *Numero di pezzi processati (NPP)* (Modello 1), mentre la *Frequenza del Fermo della Chiudifalde* risulta correlata negativamente con il *Tempo di Processo effettivo (TPE)* (Modello 2). Ciò sta ad indicare che più aumenta la frequenza di blocco di questi due macchinari, meno il sistema è produttivo.

- ***Trasferimento della materia prima dal magazzino***: si riscontra una correlazione negativa tra la *Durata del trasferimento del materiale in linea (DMG)* e Y_3 = *Tempo di processo effettivo/ tempo di processo teorico (Te/Tt).*
- ***Perdite residue***: si osserva una correlazione negativa significativa tra le perdite residue e le due stime della produttività Y_2=*Tempo di Processo Effettivo* e Y_3= *Tempo di Processo Effettivo/ Tempo di Processo Teorico*, ciò indica che esistono delle cause esterne a quelle analizzate che provocano delle perdite in termini di tempo, incidendo negativamente sulla produttività.

Inoltre, è interessante confrontare le stime dell'improduttività ottenute prima dell'analisi e descritte nel capitolo 3, con i risultati ottenuti dai modelli di regressione, per capire se essi risultino o meno allineati con quanto emerso dal metodo statistico applicato, secondo un approccio *bottom-up*. Riprendendo infatti, le tabelle 3.7b, e 3.8 si può notare:

Tabella 5.5.1 *"Impatto dei fermi sulle perdite"*

	D fermo macchina%	D set-up %	D trasf. Mg%	P per guasti %	P per altre cause %	ore teoriche totali di lavoro	Improduttività totale		
L1	43%	5%	8%	59%	41%	1132,5	33%	Tot ore perse per guasti 916,53	1558,18
L2	44%	8%	17%	60%	40%	1125	24%		
L3	30%	11%	13%	53%	47%	1125	11%	Tot ore perse per altre cause 641,65	
L4	47%	5%	14%	60%	40%	1125	13%		
L5	56%	6%	15%	70%	30%	1125	11%		
L6	0%	0%	0%	0%	0%	1125	0%	Improduttività per guasti 8%	14%
L7	41%	9%	21%	77%	23%	1125	7%		
L8	18%	3%	2%	31%	69%	1125	15%		
L9	25%	5%	2%	57%	43%	1125	7%	Improduttività per altre cause 6%	
L10	32%	8%	5%	46%	54%	1125	17%		
totale	**41%**	**7%**	**11%**	**59%**	**41%**	**11257,5**	**14%**		

Tabella 5.5.2 *"Frequenza fermi*

LINEE	Freq. Fermo
L1	1767
L2	2772
L3	969
L4	1267
L5	1153
L6	278
L7	1007
L8	160
L9	106
L10	609
totale	**10088**

1. Una percentuale di perdite dovute ai fermi (P per guasti%) pari al 59%, di cui:
    - Il 7% dovuto ai cambi commessa, ciò giustifica la significatività statistica della variabile *DS (Durata Setup);*
    - L'11% dovuto al mancato trasferimento da parte del magazzino del materiale nei tempi necessari. Ciò è in linea con la significatività statistica della variabile *DMG (durata trasferimento materiale dal magazzino);*
    - Il 41% dovuto ai fermi macchina, ciò giustifica la significatività statistica delle variabili *T1FR (Frequenza fermo reggiatrice) e T2FC (Frequenza Fermo chiudifalde).*
2. Risulta, inoltre, una percentuale complessiva di perdite per cause esterne ai fermi piuttosto elevata e pari al 41%, ciò è in linea con la significatività statistica della variabile *PR (Perdite Residue).*

Infine, occorre, tirando le somme, cercare di capire *per ciascuna linea*, quale tra le cause indicate, è quella che ha generato maggiori perdite e che approccio l'azienda possa utilizzare in futuro al fine di risolvere tali criticità:

- ***Microfermi dei macchinari*:** è un *problema* che ha riguardato principalmente le *linee 1, 2,4,5* come si osserva dallaetabelle 3.7b e 3.8, tra l'altro, tale fattore ha un'importanza molto rilevante in quanto le linee 1 e 2 sono quelle che hanno riportato il livelli più alti di *Improduction* tra tutte le linee del sistema *(33% e 24% rispettivamente)*;

  Per cui, la *soluzione* a tale problema potrebbe essere implementata in due forme:

  1) Aumentare la *Preventive Maintenance (PM)* cioè le operazioni di manutenzione da effettuare prima del guasto/fermo a scopo preventivo, soprattutto sui due macchinari risultati critici (chiudifalde e reggiatrice), non appena questi abbiano raggiunto una soglia prefissata di ore di funzionamento, il cui superamento potrebbe far sorgere il rischio di futuri malfunzionamenti. L'azienda utilizza già in parte la manutenzione preventiva, insieme alla manutenzione reattiva, ma invece di prevedere, come è avvenuto fin ora, lo stesso numero di sedute di *Preventive Maintenance* per tutti i macchinari, potrebbe essere utile una volta rintracciati i macchinari critici, incrementare la PM concentrandosi solo sui due macchinari risultati critici (*Machine Criticality Assessment*), riuscendo

così a ridurre le perdite in termini di produttività su 4 linee, quindi su 1/3 del sistema;

2) Implementare l'approccio TPM descritto nel Capitolo 2, in particolare gli aspetti della *manutenzione autonoma*, la quale coinvolge la collaborazione dei dipendenti nelle attività preventive e della *manutenzione mobile,* per eseguire la quale i dipendenti ricevono una formazione sui macchinari che permetta loro di intervenire in caso di microfermi o problemi di lieve entità;

- ***Fermi Setup***: si tratta di un fattore che ha inciso complessivamente peril 7 % sulle perdite del sistema, in particolare la percentuale più alta è stata riportata dalla linea 3 (11%). Si tratta comunque di percentuali non troppo elevate, ciò sicuramente grazie al tentativo, come spiegato sopra, di implementazione dell'approccio SMED. In realtà, la realizzazione di tale obiettivo, è risultata di più complessa attuazione sulla *linea 3*, probabilemente a causa della varietà degli ordini, essi infatti, erano schedulati solo in relazione alla loro *due date*, dando quindi priorità a quelli con maggiore urgenza nella consegna, ma così facendo, spesso si susseguivano consecutivamente su tale linea, più che sulle altre, lotti con numero di pezzi e caratteristiche del tutto differenti e ciò allungava i tempi di setup.

  La *soluzione* proposta, quindi, oltre alla conversione per quanto possibile delle attività di setup interne in esterne,estesa a tutte le linee, potrebbe essere per la linea 3, quella di schedulare gli ordini disponendo in sequenza i lotti con lo stesso numero di pezzi e le stesse caratteristiche, in modo tale da semplificare il processo di *changeover.*

- ***Tempo di trasferimento della materia prima dal magazzino***: il ritardo nella consegna del materiale in linea è imputabile, come spiegato nel capitolo 3, principalmente all'allungamento dei tempi di picking e consegna del materiale in linea, a causa di un malfunzionamento del software di gestione del magazzino. In particolare, ciò era essenzialmente dovuto all'*assenza* di un flag nel codice di programmazione che impediva il corretto funzionamento del sistema informativo, rendendo impossibile un collegamento informatizzato tra le linee e il magazzino.

  Essendo quindi riusciti a risalire alla causa del problema durante la campagna natalizia e in seguito alla sua tempestiva *risoluzione* è stato possibile, già nella successiva campagna pasquale, gestire le consegne di materiale in linea in tempi

molto più brevi, tramite un segnale di approvigionamento inviato *in automatico* al magazzino in caso di raggiungimento, in linea, della soglia minima di scorta.

In particolare, il problema si è manifestato in misura maggiore sulla *linea 7 (21%),* perché trattandosi di una linea adibita a produrre esclusivamente strenne (quindi è assente la fase di cellofanatura eseguita esclusivamente da forza lavoro umana) ed essendo dotata di una capacità produttiva maggiore, il ritmo del processo risultava più intenso, di conseguenza sarebbe stata necessaria una reattività ancora maggiore nella consegna del materiale in tale linea, rispetto alle altre linee.

Inoltre, ciò che è risultato dalla stima dell'*Improduttività complessiva* pari al *14%,* è che se l'*8%* è attribuibile alle cause di fermo indicate, la restante parte, ovvero il *6%*, risulta però dovuta alle *Perdite Residue(PR)*, di conseguenza vale la piena chiedersi da cosa queste possano essere state generate.

Tra le possibili cause delle *Perdite residue* si riscontra:

- ***Sovradimensionamento della capacità del collo di bottiglia*:** la capacità delle linee è stata stabilita, infatti, in base a quella della risorsa bottleneck, ma in alcuni casi essa è stata probabilmente sovradimensionata. Ciò si è riscontrato principalmente nella linea 8, dove, come già spiegato nel capitolo 3 le risorse responsabili della fase critica di cellofanatura impiegavano un tempo per processare un item superiore a quello imposto dalla PO teorica della linea.

  Quindi, le possibili *soluzioni* a tale problema potrebbero essere:

  - *Trovare il valore di produzione oraria target adeguata a ciascuna linea*: ovvero misurare in maniera più accurata le capacità delle risorse automatizzate e non automatizzate coinvolte in ciascun *task* e vedere quale di queste risulti essere inferiore alla PO teorica che si vorrebbe raggiungere per soddisfare la domanda. Una volta individuata la capacità dell'attività critica, quindi, si potrebbe decidere di *adeguare* la PO teorica alla capacità di tale attività.
  - *Aumentare la capacità del collo di bottiglia stesso*, allo scopo di incrementare la capacità di tutto il processo, fino al raggiungimento del valore di PO teorica desiderato. Tale soluzione si rende necessaria in presenza di esigenze più stringenti (forte aumento della domanda) e la sua implementazione richiede uno sforzo diverso, a seconda che il collo di

bottiglia si identifichi con un'attività svolta da un macchinario, dotato quindi una capacità fissata in base alla sua potenza (Mecwrap sulla linea 10), oppure che l'attività critica sia svolta invece esclusivamente dal lavoro umano (cellofanatrici). In quest'ultimo caso, infatti, la capacità non risulta fissa, ma varia a seconda di alcuni fattori. Tra questi, sicuramente, l'abilità e l'esperienza delle risorse assunte, cioè la loro *curva di apprendimento* e la *dimensione* del cesto prodotto, quindi il numero di pezzi della commessa, potrebbero influire notevolmente sul ritmo del processo produttivo.

- *Inserimento di buffer prima della fase bottleneck*: nel caso della linea 8, ad esempio, inserire un buffer prima della fase di cellofanatura, permetterebbe di disaccoppiare il processo produttivo, in modo tale che il flusso continui a proseguire anche in seguito a rallentamenti nella fase critica. Ciò che accadeva infatti, come osservato nelle rilevazioni dei tempi in linea, era che l'attività collo di bottiglia spesso causasse il blocco dell'intero processo, poiché un nuovo item non poteva essere immesso sul nastro finché la fotocellula all'ingresso della fase bottleneck non avesse rilevato il prelievo del cesto da parte di uno degli addetti alla cellofanatura; con l'introduzione di un buffer invece, l'item potrebbe essere rimosso dal nastro e inserito nel buffer, così da evitare l'interruzione del flusso.

- La ***mancanza di personale***: talvolta le linee, infatti, soprattutto durante il turno notturno hanno lavorato con delle risorse in meno rispetto al dimensionamento idoneo a quella commessa e ciò ha determinato un rallentamento del ciclo produttivo.

  La *soluzione* proposta senza costi ulteriori, potrebbe essere quella di spostare, nei turni notturni, alcune risorse extraciclo già inserite nei turni diurni, dato che di notte la probabilità che gli operatori di linea si assentino senza un ragionevole preavviso è di gran lunga superiore.

- ***Non piena attendibilità della segnalazione dei guasti***: soprattutto nel caso dei microfermi, che non sempre sono stati accuratamente intercettati dai referenti di linea. La *soluzione* potrebbe essere, se non si vuole investire rendendo informatizzato il processo di segnalazione dei guasti, affidandolo ad un apposito software, si potrebbe cercare di sensibilizzare maggiormente, prima dell'inizio di ogni campagna, i referenti di linea sull'importanza di mettere nero su bianco tutte

le informazioni inerenti le criticità riscontrate, non trascurando alcuna segnalazione.

- ***Parziale inefficienza/inesperienza della forza lavoro***: le risorse umane impiegate, in alcuni casi non possedevano ancora l'esperienza e le competenze adeguate allo svolgimento delle mansioni alle quali erano addette, in particolare nella prima settimana, ciò è causato principalmente dal *carattere stagionale* dell'attività svolta e dall'*elevato turnover dei dipendenti*.

  Le *soluzioni* proposte potrebbero essere:

  - Allungare la durata del processo di formazione dei dipendenti, prima che inizi la campagna.
  - Introdurre, tramite anche l'aiuto dei referenti di linea, dei metodi per motivare maggiormente gli operai, cioè per incentivarli ad impegnarsi al massimo durante il loro turno di lavoro. In altre parole, per estrarre l'impegno massimo dai lavoratori, si potrebbe cercare di renderli partecipi il più possibile di ciò che accade sulla loro linea. Ciò si è verificato già in parte nella campagna natalizia 2018, mancava però l'informazione di confronto tra una linea e l'altra. Quindi, per creare un margine di sana competizione tra le risorse, si potrebbe pensare di stilare, al termine di ogni settimana, una classifica sulle prestazioni raggiunte dalle singole linee nei singoli turni, come se si trattasse di una sfida a tutti gli effetti, ma il responso sulla posizione in classifica raggiunta da ogni linea sarebbe comunicato settimanalmente ad ogni referente, il quale si farebbe carico di fungere da portavoce presso la propria squadra del risultato raggiunto. Questo potrebbe aumentare la *consapevolezza* e la *motivazione* degli operai, di conseguenza la *fidelizzazione* verso la mansione che svolgono, facendoli sentire ancor di più parte di un team, aspetto che talvolta viene a mancare, per via della discontinuità nel tempo dell'attività svolta.

References

[1]
Sumanth, D.J. (1979), “Productivity measurement and evaluation models for manufacturing companies”, University Microfilms International, MI.

[2]
A. J. de Ron and J. E. Rooda, "Equipment effectiveness: OEE revisited," in *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 18, no. 1, pp. 190-196, Feb. 2005.

[3]
Kling, R. (2006), “In search of efficiency – concurrent concept elaboration and improvement”, Technovation, Vol. 26 No. 7, pp. 753-760.

[4]
Pritchard, R.D. (1992), “Organizational productivity”, in Dunnette, M.D. and Hough, L.M.(Eds), Handbook of Industrial and Organizational Psychology, 2nd ed., Vol. 3, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA, pp. 443-471.

[5]
Schmidt, W.H. and Finnigan, J.P. (1992), Race Without a Finish Line: America’s Quest for Total Quality, Jossey-Bass, San Francisco, CA.

[6]
Achabal, D.D., Heineke, J.M. and McJntyre, S.H. (1984), “Issues and perspectives on retail productivity”, Journal of Retailing, Vol. 60 No. 3, pp. 107-127.

[7]
Keh, H.T., Chu, S. and Xu, J. (2006), “Efficiency, effectiveness and productivity of marketing in services”, European Journal of Operational Research, Vol. 170 No. 1, pp. 265-276.

[8]
Mouzas, S. (2006), “Efficiency versus effectiveness in business networks”, Journal of Business Research, Vol. 59 Nos 10/11, pp. 1124-1132.

[9]
Kumar, S. and Gulati, R. (2009), “Measuring efficiency, effectiveness and performance of Indian public sector banks”, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 59 No. 1, pp. 51-74.

[10]
Parida, A., Kumar, U., Galar, D. and Stenström, C. (2014), “Performance measurement and management for maintenance: a literature review”, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 21 No. 1, pp. 2-33.

[11]
D.E. Blumenfeld, J.S. LiAn analytical formula for throughput of a production line with identical stations and random failures
Math Probl Eng, 3 (2005), pp. 293-308.

[12]
Panagiotis Tsarouhas, (2019) "Improving operation of the croissant production line through overall equipment effectiveness (OEE): A case study", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 68 Issue: 1, pp.88-108.

[13]
Nakajima, S. (1988), Introduction to TPM, Productivity Press, Cambridge, MA.

[14]
Soniya Parihar, Sanjay Jain, Dr. Lokesh Bajpai, "Calculation of OEE for an Assembly Process", IJRMET, Vol2, Issue 2, July- Dec 2012.

[15]
Ilenia Zennaro, Daria Battini, Fabio Sgarbossa, Alessandro Persona, Rosario De Marchi, (2018) "Micro downtime: Data collection, analysis and impact on OEE in bottling lines the San Benedetto case study", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 35 Issue: 4, pp.965-995.

[16]
G. Sala, L.Di landro, A.Airoldi, P.Bettini, Tecnologie e materiali aereospaziali-Ver.01, Cap 61, "Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità, Sicurezza".

[17]
http://www00.unibg.it/dati/corsi/22028/46050L9%20%2001%20%20Affidabilita%20e%20Disponibilita.pdf

[18]
Javad Barabady, Uday Kumar, (2007) "Availability allocation through importance measures", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 24 Issue: 6, pp.643-657

[19]
Ebeling, C.E. (1997), An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, McGraw-Hill,New York, NY.

[20]
Maheshwaran Gopalakrishnan, Anders Skoogh, Antti Salonen, Martin Asp, (2019) "Machine criticality assessment for productivity improvement: Smart maintenance decision support" International Journal of Productivity and Performance Management.

[21]
Dario Antonelli, Giuseppe Murari, “Sistemi di Produzione- Introduzione ai processi produttivi e alla loro gestione” Seconda edizione, CLUT, Capitolo7.

[22]
Stadnicka, D., Antosz, K. and Ratnayake, R.M.C. (2014), “Development of an empirical formula for
machine classification: prioritization of maintenance tasks”,Safety Science, Vol. 63, pp. 34-41.

[23]
Levitt, J. (1997), The Handbook of Maintenance Management, Industrial Press, New York, NY.

[24]
Márquez, A.C., León, P., Fernández, J.F., Márquez, C.P. and Campos, M.L. (2009), “The maintenance
management framework: a practical view to maintenance management”,Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 15 No. 2, pp. 167-178.

[25]
Ni, J. and Jin, X. (2012), “Decision support systems for effective maintenance operations”,CIRP Annals–Manufacturing Technology, Vol. 61 No. 1, pp. 411-414.

[26]
Moubray, J. (1997), Reliability-Centered Maintenance, Butterworths-Heinemann, Burlington, MA.

[27]
Fraser, K., Hvolby, H.H. and Tseng, T.L. (2015), “Maintenance management models: a study of the
published literature to identify empirical evidence: a greater practical focus is needed”, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 32 No. 6, pp. 635-664.

[28]
Nakajima, S. (1988), Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Productivity Press, Inc.

[29]
Rahman, C.M., Hoque, M.A. and 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)”, Assessment, Vol. 4 No. 9.

[30]
Jain, A., Bhatti, R., Deep, H.S. and Sharma, S.K. (2012), “Implementation of TPM for enhancing OEE of small scale industry”, International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research, Vol. 1 No. 2, pp. 14-25.

[31]
Jagdeep Singh, Harwinder Singh, Vinayak Sharma, (2018) "Success of TPM concept in a manufacturing unit – a case study", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 67 Issue: 3, pp.536-549.

[32]
Benjamin, S.J., Murugaiah, U. and Marathamuthu, M.S. (2013), “The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm”, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 24 No. 5, pp. 792-807.

[33]
Özcan, Uğ., Balancing and scheduling tasks in parallel assembly lines with sequence-dependent setup times, *International Journal of Production Economics* (2019).

[34]
Arianna Alfieri, “Batching and Other Flow Interruptions: Setup Times and Economic Order Quantity Model”, Programmazione e controllo-MC Graw Hill, Capitolo 10.

[35]
Singh, B.J. and Khanduja, D. (2010), “SMED: for quick changeovers in foundry SMEs”, International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 59 No. 1, pp. 98-116.

[36]
Pannesi, R.T. (1995), “Lead time competitiveness in make-to-order manufacturing firm”, International Journal of Production Research, Vol. 3 No. 6, pp. 150-163.

[37]
Jagdeep Singh, Harwinder Singh, Inderdeep Singh, (2018) "SMED for quick changeover in manufacturing industry – a case study", Benchmarking: An International Journal, Vol. 25 Issue: 7, pp.2065-2088.

[38]
Shingo, S. (1985), A Revolution in Manufacturing: The SMED System (translated by Dillon, A.P.), Productivity Press.

[39]
Desai, M.S. (2012), “Productivity enhancement by reducing setup time – SMED: case study in the automobile factory”, Global Journal of Research in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering, Vol. 12 No. 5, pp. 15-20.

[40]
Caner Ekincioğlu, Semra Boran, (2018) "SMED methodology based on fuzzy Taguchi method", Journal of Enterprise Information Management, Vol. 31 Issue: 6, pp.867-878.

[41]
Cakmakci, M. (2009), “Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 41 No. 1, pp. 168-179.

[42]
Helber S, Sahling F, Schimmelpfeng K. Dynamic capacitated lot sizing with ran- dom demand and dynamic safety stocks. Omega 2013;35:75–105.

[43]
Gade D, Küçükyavuz S. Formulations for dynamic lot sizing with service levels. Naval Res Logist 2013; 60:87–101.

[44]
Matthieu Gruson , Jean-François Cordeau, Raf Jans “The impact of service level constraints in deterministic lot sizing with backlogging “*HEC Montréal and GERAD, 30 0 0 Chemin de la Côte-Sainte-Catherine, Montréal H3T 2A7, Canada*.

[45]
Onal M, Romeijn H, Sapra A, Van den Heuvel W. The economic lot-sizing prob- lem with perishable items and consumption order preference. Eur J Oper Res 2015; 244:881–91.

[46]
Helber S, Sahling F, Schimmelpfeng K. Dynamic capacitated lot sizing with ran- dom demand and dynamic safety stocks. Omega 2013;35:75–105.

[47]
Giulio Zotteri e Paolo Brandimarte, “Gestione delle scorte in condizioni di incertezza”, Logistica di Distribuzione, CLUT, Capitolo 5.

[48]
James H. Bookbinder, Maureen E. Lynch, (1997) "Customer service in physical distribution: a utility-function approach", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 27 Issue: 9/10, pp.540-558.

[49]
Douglas M. Lambert, (2009) "Customer relationship management as a business process", Journal of Business & Industrial Marketing, Vol. 25 Issue: 1, pp.4-17.

[50]
Sterling, J.U. and Lambert, D.M. (1989), "Customer service research: past, present and future", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 19 No. 2, pp. 3-23.

[51]
Mossman, F.H., Crissy, W.J.E. and Fischer, P.M. (1978), Financial Dimensions of Marketing Management, John Wiley & Sons, New York, NY.

[52]
R.K. Sinha, A. Subash Babu, (1998) "Quality of customer service in supply chain system: a diagnostic study", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 15 Issue: 8/9, pp.844-859.

[53]
Berg, M., Posner, M.J.M. and Zhao, H. (1994), ``Production-inventory systems with unreliable machines", Operations Research, Vol. 42 No. 1, pp. 111-18.

[54]
James H. Stock, Mark W. Watson, "Introduzione all'econometria", Terza edizione, Edizione italiana a cura di Franco Peracchi, Capitoli 1,2,3, PEARSON.

[55]
Luca Settineri, "Analisi e gestione dei sistemi produttivi- Domanda dipendente-MRP", Lezione 18.

[56]
Giulia Bruno, "Analisi e gestione dei sistemi produttivi, Gestione delle scorte-Domanda indipendente" Lezione 16.2.

[57]
James H. Stock, Mark W. Watson, "Introduzione all'econometria", Terza edizione, Edizione italiana a cura di Franco Peracchi, Capitoli 1,2,3, PEARSON.

[58]
J. H. Stock e M. W. Watson, Introduzione all'Econometria, Pearson, 2009.

[59]
Grazia Vicario, Raffaello Levi, "Regressione", Metodi Statistici per la sperimentazione-Esculapio, Capitolo 11.

[60]
https://www.germanorossi.it/mi/file/disp/Regression.pdf

[61]
https://www.uniba.it/docenti/campobasso.../13Regressionelinearemultipla09.ppt

[62]
http://static.gest.unipd.it/~livio/PDF/PDF_CIVILE/Elementi%20di%20statistica%20descrittiva.pdf

[63]
M. Chambers, S. Cleveland, Kleiner, A. Tukey, "Graphical Methods for Data Analysis (vol 17, pg 180, 1983)"

[64]
http://static.gest.unipd.it/~livio/PDF/PDF_CIVILE/Modelli%20empirici.pdf

[65]
http://www.treccani.it/enciclopedia/produttivita_%28Dizionario-di-Economia-e-Finanza%29/

[66]
https://www.regalidea.net/

[67]
http://www.macrosrl.eu/

Ringraziamenti

Un ringraziamento sincero va al mio tutor **Prof. Giulio Mangano** per i preziosi consigli ricevuti, per la disponibilità, l'aiuto e la pazienza con cui mi ha seguito durante il lavoro di tesi, con grande professionalità, attenzione e gentilezza, dandomi fiducia e facendomi sentire, in questi mesi impegnativi, sempre guidata.

Grazie alla mia famiglia e ai miei parenti:

Grazie **Mamma**, per il tuo immenso amore e per essere sempre stata il mio punto di riferimento, a te dedico la mia tesi, perché tu sei stata e sarai sempre la mia forza ed è a te che devo tutto. Grazie per avermi ascoltata ogni volta che ne avevo bisogno e per avermi sempre capita, per non aver mai smesso di credere in me anche quando non ci credevo più neanche io. Oggi voglio dirti dal profondo del cuore che sei una persona straordinaria e rappresenti il mio esempio di vita.

Grazie **Papà** per avermi accompagnata ogni giorno da lassù, a volte ne ho dubitato, ma adesso so che lo hai fatto.

Grazie a **Mio Fratello** per avermi insegnato con i consigli e con la sua forza a non arrendermi mai, a guardare le difficoltà con la luce del coraggio e della fede, a vedere in ogni problema un'opportunità e in ogni fine un nuovo inizio, a non perdere mai la speranza.

Grazie al mio nipotino **Vittorio**, per il tuo sorriso, per avermi trasmesso con la tua genuinità e saggezza da bambino, che la vita è una cosa semplice, basterebbe solo accorgersene.

Grazie a mia zia **Mariagrazia**, per essermi sempre stata vicino in questi anni, per essere stata un aiuto concreto, per avermi consigliata e appoggiata nelle mie scelte e aver condiviso con me tutti i momenti gioiosi e quelli difficili, con la tua presenza e il tuo affetto costanti.

Grazie ai miei cugini **Sara** e **Simone** per avermi aiutato con la vostra esperienza e il vostro supporto a vedere con più lucidità le sfumature della vita, a cercare di comprenderle, a cogliere il buono di ogni giorno. Terrò nel cuore tutto ciò che avete fatto per me.

Grazie ai miei zii **Carmela** e **Salvatore**, per essere stati con il vostro grande affetto degli altri nonni per me, per aver rappresentato sempre un porto sicuro ad ogni mio ritorno.

Grazie anche ai miei cugini **Giusi** e **Marco** per il bene, la stima e l'attenzione sempre dimostrata nei miei confronti, sin da piccola.

Grazie ai miei zii **Carmela** e **Corrado**, **Natale** e **Maria Concetta** e ai miei cugini **Giulia**, **Giorgio, Livia, Rosario**, per la vostra fiducia in me, per avermi sempre incoraggiata, per avermi fatta sempre sentire pensata nonostante la distanza.

Inoltre:
Grazie alla mia migliore amica **Marta**, per aver condiviso e vissuto un'intera vita insieme a me, ogni mia emozione, gioia o difficoltà, in un modo così forte e sincero che la distanza è sempre stato un ostacolo senza importanza. Tu sei per me la sorella che non ho mai avuto e sapere che fai parte di questo mondo mi rasserena, perché so che qualunque cosa accada mi sarai vicina e questa è per me la più grande benedizione che abbia ricevuto dalla vita.

Grazie **Antonio**, per questi anni, per la tua presenza, per la nostra condivisione, per tutte le volte in cui anche nelle difficoltà il tuo coraggio è stato più forte della paura e la tua generosità più forte della stanchezza. Grazie anche per il tuo tempo che è la cosa più preziosa che si possa donare ad una persona e per avermi trasmesso un po' degli aspetti più belli della tua personalità, che porterò sempre dentro di me come una grande ricchezza.

Grazie **Raffaele**, per essere il mio amico di sempre e per sempre, ogni giorno scopro sempre di più quanto tu sia grande. Con la tua sincerità, il tuo bene autentico e la serenità che mi hai trasmesso ogni giorno, mi hai sempre aiutata a ritrovare me stessa, mi hai dimostrato il tuo esserci nei fatti, ogni volta che mi sono voltata indietro ti ho trovato lì e non smetterò mai di esserti grata per questo.

Grazie **Giulia,** per la tua forte amicizia, per essere una persona vera che fa molto per quello in cui crede e per le persone a cui vuole bene, una persona di grande valore, grazie per avermi fatta sempre sentire una persona importante per te, spero di essere riuscita a farti capire che conti tanto per me.

Grazie **Anna**, per avermi trasmesso la tua determinazione e il tuo senso d' indipendenza, per il nostro legame che resiste nonostante la lontananza.

Grazie **Valeria**, ci conosciamo da sempre e ne abbiamo passate tante, ma volevo ringraziarti per questi ultimi anni, per avermi fatto rivivere la stessa persona speciale di sempre, che riscopro ogni volta che ci incontriamo, grazie per la tua vicinanza.

Grazie **Stefania**, per essere stata sempre presente nella mia vita in un modo o nell'altro, di avermi resa partecipe delle cose importanti per te e di esserti ricordata sempre delle mie anche con un semplice pensiero o gesto d'affetto.

Grazie anche a tutti i miei compagni di una vita:

Grazie **Meluccio**, per i bei momenti trascorsi insieme, per le battute, le risate, il buon tempo, quello che fa bene al cuore.

Grazie anche ad **Alessio, Pinzio, Peppe, Dario, Giovanni, Fabio C., Ciccio, Elia, Sebastiano, Gloria, Renata, Clara, Iolanda, Stefano, Corradina,** per i bei momenti condivisi, le nostre rimpatriate, i nostri ritorni in Sicilia impazienti e felici.

Grazie ai miei colleghi e amici di Torino:

Grazie **Benedetta**, tu sei la più bella scoperta di questi ultimi anni, una persona ricca dentro, buona e rara, con cui ho molto condiviso e con cui ho molto in comune, grazie per avermi aiutata tantissimo in maniera disinteressata; grazie per il legame che abbiamo costruito, per la tua instancabile pazienza e per essere stata un punto di riferimento per me.

Grazie **Irene**, per le nostre risate, per la gioia vissuta insieme e l'affetto che mi hai sempre dimostrato, per l'attenzione e amicizia nei miei confronti, perché infondi sempre positività ed energia in chi ti sta accanto. Grazie per esserci stata sempre.

Grazie **Ludovica**, per i bei momenti insieme, l'affetto e la stima reciproca che nutriamo, per essere sempre un vulcano di emozioni belle a cui anche io ho avuto la fortuna di attingere.

Grazie **Serena**, per la tua spontaneità e il tuo coraggio, per avermi insegnato che nella vita vale la pena buttarsi a volte, grazie per il tuo senso di libertà contagioso.

Grazie **Francesca**, per il nostro lavoro di squadra, per aver condiviso con me ansie e gioie, cene, notti, per il tuo entusiasmo e la tua grande forza di volontà.

Grazie **Gabri**, per essermi stato vicino sempre e per aver creduto in me dal primo giorno, per avermi fatta ridere, grazie per esserti aperto tanto con me e per il bel rapporto che abbiamo costruito.

Grazie **Melo**, per aver reso molto più leggero e divertente questo percorso, con il tuo instancabile senso dell'umorismo e la tua capacità di vedere le cose in modo più "easy" per usare un tuo termine, grazie per il tuo affetto e la tua amicizia.

Grazie **Stefano, Filippo, Tiziano** perché siete stati più di compagni di gruppo e di progetto, delle persone di cui fidarsi che mi hanno fatta sentire voluta bene e stimata.

Grazie **Federica**, per avermi affiancata nella mia prima vera esperienza lavorativa, facendomi sentire accolta e a mio agio, per aver reso quelle giornate piacevoli e divertenti con la tua simpatia e dolcezza.

Grazie **Alessandra**, per il tuo supporto, i consigli l'aiuto e la grande gentilezza che ti contraddistingue, in questi anni ho sempre trovato in te una porta aperta.

Grazie **Valentina**, per il tuo senso di concretezza e per avermi sempre aiutato a vedere la realtà in modo più lineare, positivo e tranquillo.

Grazie **Michele C,** per tutto quello che hai fatto per me, soprattutto quest'anno, per il tuo altruismo, la tua bontà e per avermi dimostrato in più occasioni di essere un vero amico.

Grazie **Lorenzo**, per la nostra amicizia che è resistita negli anni, grazie alla volontà di entrambi di portarla avanti.

Grazie **Michele S**, per lo studio di gruppo, la collaborazione, l'affetto.

Grazie **Anita**, per i nostri momenti di convivenza, i gelati serali davanti alla tv, la quotidianità negli scorsi due anni.

Grazie **Bea**, per avermi sempre pensata anche a distanza.

Grazie, inoltre, ai miei tre coinquilini:

Grazie **Gimmi**, sei per me un grande amico, mi hai accolta dal primo giorno che mi hai conosciuta e dalla prima volta che ti ho rivolto la parola mi sono già sentita a casa, con la tua empatia fuori dal comune e la tua dolcezza conquisti il cuore di chi ti sta vicino.

Grazie **Valeria,** quest'anno di convivenza lo porterò sempre nel mio cuore, sei una persona in gamba, piena di vita e con tanti sogni, grazie per avermi trasmesso la tua immensa voglia di vivere e di cogliere le opportunità della vita e per le tue inesauribili iniezioni di autostima.

Grazie **Filippo**, per la tua gentilezza, delicatezza e disponibilità.

Inoltre, grazie a Benedetta, Gimmi e Michele C. anche per l'aiuto tecnico spesso fornito nel raggiungimento di questo traguardo.

Grazie, in ultimo, a chi non dimenticherò mai e a tutti coloro che hanno reso ogni attimo unico e irripetibile, perché l'unica cosa che non passa è quello che ci portiamo dentro.