



**Politecnico  
di Torino**

## Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale  
In Ingegneria Gestionale  
A.a. 2020/2021  
Sessione di Laurea Luglio 2021

# **Progettazione di un nuovo modello di controllo di produzione**

Un caso di realizzazione e convalida di un nuovo modello di controllo qualità in un'azienda del settore di capsule di caffè

Relatori:

Prof. Maurizio Galetto

Candidati:

Cesare Tosadori



## **Ringraziamenti**

Desidero innanzitutto ringraziare il Prof. Maurizio Galetto per la disponibilità, l'attenzione e la gentilezza dimostrate durante la stesura del lavoro, oltre che per l'opportunità di avermi assegnato questo elaborato di tesi in azienda.

Un ringraziamento speciale va alla Caffitaly S.p.A. e in particolar modo alla mia tutor aziendale, la Dott.ssa Giulia Canova, per avermi affiancato e istruito lungo tutto il percorso di tirocinio, per aver subito capito il mio carattere e per la sua fiducia riposta fin dalle prime attività. Mi ha insegnato che non tutto si può sempre ricondurre al bianco o nero.

Un grande ringraziamento alla mia famiglia che mi ha sempre supportato durante tutti gli anni di università sia nei momenti più difficili che in quelli più felici; in particolare a mia nonna che ha sempre creduto in tutto e per tutto in me.

Grazie al mio coinquilino Giacomo, compagno costante di progetti e lavori di gruppo, che mi ha sopportato nei momenti di tensione. Ho trovato in te un sincero amico.

Ringrazio i miei amici di lunga data che non mi hanno mai abbandonato, rallegrando le mie giornate e illuminando ogni momento buio. Siete la mia certezza su cui sempre posso contare.



## Sommario

Le crisi, che siano finanziarie o sanitarie, nel corso della storia hanno sempre portato a rivoluzioni più o meno disruptive a vantaggio della collettività e l'emergenza epidemiologica COVID-19 non è stata da meno. Molti settori economici, soprattutto quelli legati alla dislocazione, sono stati gravemente messi in ginocchio mentre modelli di business non consolidati sono stati esposti alle criticità assopite dei propri processi non integrati. Altri invece, come il mercato delle capsule di caffè monodose, hanno avuto una robusta crescita, causata dall'incremento della domanda e dallo spostamento delle abitudini dei consumatori durante la pandemia. Caffitaly ha sfruttato questo momento di forte stress produttivo per innovarsi, trasformando la minaccia in opportunità. Il top management ha dato un forte segnale di cambiamento, avviando una serie di trasformazioni organizzative atte ad imprimere una nuova immagine all'azienda con l'idea che ogni cambiamento passi necessariamente dalla cultura della qualità, in quanto a monte di prodotti tecnicamente perfetti, vi sono sempre risorse umane coordinate ed allineate verso obiettivi condivisi. Lo scopo di questo elaborato è proprio quello di realizzare una parte del disegno di Business Process Management concepito ad alto livello, ovvero quello di progettare e convalidare un nuovo modello di controllo del processo di produzione, dalla tostatura al confezionamento delle capsule di caffè. Questo tramite la realizzazione di una mappatura puntuale dei processi e degli attuali controlli di qualità presenti in azienda, con l'identificazione delle relazioni interfunzionali e punti critici. Dal controllo sul prodotto finito da parte della qualità si è passato, in ottica Lean Manufacturing, al controllo del processo da parte della produzione con enormi benefici per la produttività, come l'aumento della velocità di individuazioni della deriva, e un migliore utilizzo del tempo per attività a valore aggiunto. Tutto ciò grazie all'uso corretto degli strumenti di analisi statistica, come le carte di controllo, capability del processo e grafici a sostegno, che hanno supportato e convalidato oggettivamente, e non a sentimento, i cambiamenti sia a livello organizzativo che a livello metodologico e matematico. La statistica è stata la chiave di volta che ha permesso di convincere anche i responsabili e gli operatori di linea più scettici, che si nascondevano dietro al "abbiamo sempre fatto così, perché cambiare ora", della bontà e dei vantaggi delle novità introdotte. I primi risultati sono stati molto promettenti, come una migliore centratura del processo di produzione rispetto ai limiti di specifica, ma l'effettiva differenza si nota nel comportamento e nel modo d'agire delle risorse umane coinvolte che sono molto più consapevoli dell'impatto e dell'importanza delle loro attività.

Ovviamente la fase di ottimizzazione del nuovo modello di controllo necessita ancora di analisi e convalide oggettive su un periodo di tempo più lungo ma è essenziale proseguire con la costante formazione e feedback con gli operatori di produzione, in quanto sono parte integrante del miglioramento continuo.



## Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Qualità</b> .....	<b>10</b>
1.1 L'evoluzione del concetto di qualità nel tempo .....	10
1.2 Total Quality Management (TQM).....	12
1.3 Controllo statistico di qualità .....	14
1.3.1 Istogramma di frequenza .....	14
1.3.2 Diagramma di Pareto .....	15
1.3.3 Analisi per stratificazione.....	16
1.3.4 Carta di controllo .....	16
1.3.5 Capacità di processo .....	18
<b>2. Dalle attività al BPM</b> .....	<b>20</b>
2.1 Processi e metodologie di gestione .....	20
2.2 Business Process Improvement (BPI) .....	25
2.3 Business Process Reengineering .....	26
2.4 Business Process Management .....	28
2.4.1 Pianificazione .....	30
2.4.2 Raccolta informazioni .....	31
2.4.3 Mappatura: BPMN .....	31
2.4.5 Condivisione e monitoraggio .....	35
<b>3. Business Case: Caffitaly S.p.A.</b> .....	<b>37</b>
3.1 Caffitaly S.p.A.....	37
3.2 Mercato e target di riferimento.....	37
3.3 Analisi di mercato .....	38
3.4 Capsula System .....	39
3.5 Struttura stabilimento .....	40
3.6 Processo di produzione: dal caffè verde alla capsula confezionata .....	40
<b>4. Pianificazione generale</b> .....	<b>43</b>
4.1 Contesto di cambiamento .....	43
4.2 Obiettivo .....	43
4.3 Raccolta dati.....	44
<b>5. BPM: controllo qualità in confezionamento</b> .....	<b>46</b>
5.1 Obiettivo .....	46
5.2 Process owner ed organizzazione .....	46
5.3 Metodologia.....	47
5.3.1 Analisi del processo.....	48
5.4 Indicatori.....	50

<b>5.5</b>	<b>Mappatura: situazione “as is”</b>	<b>50</b>
5.5.1	Piano di controllo attuale	51
5.5.2	Criticità rilevate	54
5.5.3	Risultati analisi statistica	55
<b>5.6</b>	<b>Referenza 1</b>	<b>56</b>
5.6.1	Peso capsula	56
5.6.2	Peso box	59
5.6.3	Erogazione (peso)	62
5.6.4	Ossigeno	65
<b>5.7</b>	<b>Referenza 2</b>	<b>68</b>
5.7.1	Peso capsula	68
5.7.2	Peso box	71
5.7.3	Erogazione (portata)	74
5.7.4	Ossigeno	78
<b>5.8</b>	<b>Regressione</b>	<b>81</b>
<b>5.9</b>	<b>Modellazione del processo</b>	<b>83</b>
<b>5.10</b>	<b>Validazione e primi risultati</b>	<b>86</b>
5.10.1	Peso capsula	86
5.10.2	Erogazione (portata)	89
5.10.3	Ossigeno	91
<b>5.11</b>	<b>Sviluppi futuri</b>	<b>92</b>
<b>6.</b>	<b><i>BPM: controllo qualità in tostatura</i></b>	<b><i>94</i></b>
<b>6.1</b>	<b>Obiettivo</b>	<b>94</b>
<b>6.2</b>	<b>Process owner ed organizzazione</b>	<b>95</b>
<b>6.3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>95</b>
<b>6.4</b>	<b>Indicatori</b>	<b>95</b>
<b>6.5</b>	<b>Mappatura: situazione as is</b>	<b>95</b>
6.5.1	Piano di controllo attuale	96
6.5.2	Gage R&R	97
<b>6.6</b>	<b>Risultati analisi statistica</b>	<b>100</b>
6.6.1	Referenza 1	101
6.6.2	Referenza 2	103
<b>6.7</b>	<b>Modellazione di processo</b>	<b>104</b>
<b>6.8</b>	<b>Validazione e primi risultati</b>	<b>105</b>
<b>6.9</b>	<b>Sviluppi futuri</b>	<b>107</b>
<b>7.</b>	<b><i>Conclusioni</i></b>	<b><i>109</i></b>
	<b><i>Bibliografia</i></b>	<b><i>111</i></b>



# Introduzione

Questa tesi è frutto del lavoro svolto durante un periodo di tirocinio presso la Caffitaly S.P.A., sita nello stabilimento di San Gervasio in provincia di Bergamo, in occasione dell'avvio di un progetto di analisi e revisione del piano di controllo qualità riguardante la produzione di capsule di caffè monodose proprietarie. Tale iniziativa nasce dalla volontà del top management di dare un forte segnale di innovazione a 360° dell'organizzazione e struttura aziendale, dalle risorse umane ai flussi operativi di processo. Lo scopo di questo elaborato è proprio quello di realizzare e convalidare una parte del progetto di Business Process Management concepito ad alto livello, ovvero quello di rappresentare l'attuale situazione reale della catena del valore dell'azienda in modo da ottenere una visione globale, utile per identificare i punti critici, i KPI e i fattori critici di successo. Ciò tramite la realizzazione di una mappatura puntuale dei processi in essere, in particolare quelli trasversali all'intero ciclo di produzione, ovvero il controllo qualità, e l'analisi statistica delle rispettive capacità e performances. L'approccio alla gestione della qualità ha subito considerevoli progressi nel tempo, passando da semplice problema di garanzia della conformità del prodotto a specifici requisiti, al concetto di soddisfazione totale dei fattori critici di successo dell'impresa. Questi sviluppi sono effetto di veloci e improvvisi cambiamenti dei mercati, accompagnati dalla costante innovazione tecnologica e scientifica. Le aziende più sviluppate si trovano a dover fronteggiarsi in un contesto competitivo sempre più globalizzato, caratterizzato da una concorrenza serrata e *time to market* sempre più corti. In questo scenario, per riuscire ad imporsi e non perdere quote di mercato, le organizzazioni devono riuscire a sfruttare queste evoluzioni e cogliere le opportunità che il settore offre. È per ciò che i consumatori hanno iniziato a esigere dalle imprese sempre più qualità, intesa inizialmente come maggior rispondenza alle proprie attese sia esplicite che implicite, ma successivamente richiedendo anche costanza nel tempo e soprattutto in tutta la catena del valore. Parallelamente la gestione per processi ha sempre preso più importanza in quanto è una metodologia organizzativa che si propone di individuare i processi critici, ovvero quelli che influenzano in maggior misura le prestazioni aziendali, e di organizzarli in modo che diventino più efficienti ed efficaci e contribuiscano a migliorare i risultati complessivi dell'azienda. La trasformazione di prospettiva della gestione aziendale ha quindi come risultato, oltre al raggiungimento di risultati economico-finanziari, la trasformazione dei criteri di gestione della stessa, finalizzati in modo sinergico alla creazione di valore per il cliente. È fondamentale, però, che alla base di questa scelta ci sia una cultura orientata al cambiamento, sostenuta e incoraggiata in primo luogo dal management in quanto sono proprio le risorse umane, e le loro relazioni, la base di ogni società. Infatti, diventa necessario per ogni persona impiegata nell'azienda condividere gli obiettivi e collaborare con i propri colleghi, che diventano, a loro volta clienti e fornitori interni, a cui rivolgere la massima attenzione cercando di assecondarne le esigenze operative, al fine di massimizzare il valore aggiunto percepito dal cliente finale. Inoltre, con lo sviluppo della gestione per processi, si è reso necessario studiare ed analizzare le diverse metodologie attraverso le quali realizzare il miglioramento all'interno dell'impresa. A tal proposito, è possibile individuare due diverse impostazioni: quella orientata ad un cambiamento costante e graduale, per incremento, e quella che prevede un cambiamento radicale e dirompente. La prima è conosciuta con il nome di Business Process Improvement (BPI) e, nella sua versione strettamente rivolta alla *customer satisfaction*, anche come Total

Quality Management (TQM) e la seconda viene identificata come Business Process Reengineering (BPR). Queste due strategie saranno poi integrate nel Business Process Management in modo da consentire di ottenere un miglioramento sostanziale delle prestazioni mediante la riprogettazione dei processi di business sia di mantenere tale miglioramento e di incrementarlo attraverso l'adeguamento dei processi ai mutamenti dell'ambiente esterno. Quindi, in uno scenario di mercato caratterizzato da instabilità e complessità come quello attuale, dove gli elementi principali per differenziarsi e creare vantaggio competitivo sono proattività, controllo dei costi ed innovazione, le imprese devono sempre più affrontare nuove sfide nella gestione di sistemi organizzativi sempre più complessi ed in continua trasformazione. L'organizzazione dinamica dei processi, l'eliminazione delle inefficienze e l'individuazione delle possibili aree di miglioramento, diventano quindi obiettivi indispensabili per un'azienda che voglia mantenere un elevato grado di leadership sul mercato. Giacché esiste una stretta relazione tra processi e profittabilità aziendali, vi è una maggiore necessità di aumentare il valore aggiunto delle attività, diminuendo allo stesso tempo le risorse impiegate ed incrementando e assicurando la qualità percepita dal cliente. Coordinando quindi tra loro i processi di business, anche di supporto, in modo da poterli controllare ed ottimizzare secondo un orientamento univoco alla mission aziendale, si sfruttano appieno le potenzialità di un sistema di Business Process Management. Si può ribadire quindi che il BPM rappresenta un ottimo strumento per la gestione dei processi soprattutto di quelle organizzazioni che si trovano in una fase di profondo cambiamento che si pongono come obiettivo l'incremento della customer satisfaction, la misurazione delle performance aziendali e la maggiore attenzione per le risorse impiegate.

# Capitolo 1

## Qualità

In questo capitolo si descriverà l'evoluzione del concetto di qualità nel corso degli anni e le sue principali implicazioni ed applicazioni ai processi di produzione, in particolare per quanto riguarda il Total Quality Management. Inoltre, si esporrà una rapida e sintetica enunciazione degli strumenti statistici a disposizione del controllo qualità, al fine di rendere il lettore a suo agio con le principali rappresentazione grafiche impiegate nella trattazione dell'elaborato.

### 1.1 L'evoluzione del concetto di qualità nel tempo

La gestione della qualità ha radici fin nel XIX secolo e la sua evoluzione ha seguito, da sempre, lo sviluppo dell'economia ed il concetto di impresa in generale: inizialmente legata all'agricoltura, vincolata da eventi atmosferici ed ambientali, per transitare poi nell'era industriale dove lo scopo primario era la produttività, valutata come quantità di prodotto per unità di tempo, ed infine, arrivando agli anni recenti, in cui la preponderanza dei servizi ha portato ad una forte interesse all'intero ciclo produttivo e in particolar modo al cliente. Focalizzandoci agli ultimi decenni, è possibile evidenziare i cambiamenti del contesto esterno come l'incremento della competizione dei beni, favorita anche da un mercato sempre più libero, meno protetto da dazi e barriere, l'uniformità delle tecnologie e dei processi produttivi, grazie anche ad una maggiore velocità di diffusione delle informazioni e l'aumento delle esigenze del consumatore. Si possono quindi identificare quattro livelli di sviluppo della gestione della qualità che sono susseguiti nel tempo, ovvero:

- Ispezione, ossia la verifica *ex-post* della conformità di un prodotto rispetto alle specifiche di progetto. Si basa, quindi, su misurazioni, test, analisi da eseguire sul prodotto finito per decidere se è conforme o, in caso contrario, scartato, rilavorato

## Capitolo 1 - Qualità

- o riparato. Questo primo livello di gestione della qualità, essendo a valle della produzione, opera in modo “reattivo”, cioè a incidente avvenuto, non consentendo quindi di operare miglioramenti nella qualità a monte del processo ma limitandosi ad evidenziare dei difetti prima che essi giungano al cliente;
- Controllo, ovvero il mantenimento della *process capability*, la potenzialità del processo, entro determinati limiti di tolleranza, spostando l’attenzione dal prodotto finito al ciclo di produzione. Il focus del controllo qualità è la realizzazione di processi produttivi sempre più affidabili e costanti e lo studio delle cause di variabilità delle caratteristiche dei prodotti finiti. Inoltre è possibile distinguere due livelli di controllo: controllo della qualità e controllo per la qualità: con il primo si intende il processo attraverso il quale si giudicano le performance qualitative, si paragonano con gli *standard* ed eventualmente si avviano le idonee azioni correttive per riportarle nei limiti stabiliti; con il secondo, il termine “controllo” assume il significato di mantenimento della situazione attuale, ovvero si riferisce a tutte quelle azioni a monte del ciclo produttivo capaci di assicurare un certo livello di qualità. Tuttavia, in questo livello, gli *standard* qualitativi sono stabiliti internamente, ovvero dall’azienda stessa;
- Assicurazione, ovvero sia il controllo per la qualità anche a tutte le attività che ruotano attorno al prodotto in modo da offrire ai clienti una garanzia del rispetto di determinate specifiche o requisiti formalmente richiesti. Inoltre, si rafforza l’approccio basato sulla prevenzione degli incidenti che provocano la non-qualità attraverso la creazione di sistemi formali che permettano di evitarle. La qualità diviene di natura progettuale, influenzando anche temi organizzativi oltre che tecnici.
- *Total Quality Management (TQM)*, ovvero sistema di gestione della qualità il cui approccio è basato non solo sul prodotto e sulle attività connesse, ma si estende a tutte le aree aziendali, ultimando la nozione di prevenzione delle non conformità con il focus del miglioramento continuo per la soddisfazione del cliente. La qualità, in altre parole, inizia a rivestire il ruolo di un fattore critico di successo.

## Capitolo 1 - Qualità

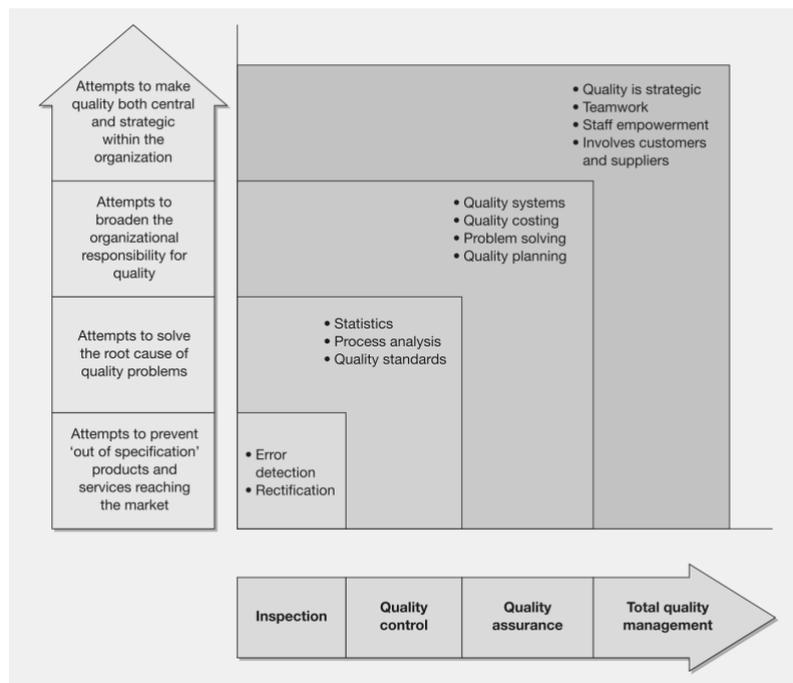


Figura 1: Evoluzione del concetto di qualità nel corso del tempo.  
Slack, N., 2010. *Operations Management*. Financial Times, Prentice Hall.

### 1.2 Total Quality Management (TQM)

*Total Quality Management* nasce in Giappone dopo la Seconda guerra mondiale e, secondo il BSI (*British Standard Institution*) “è una filosofia di gestione che abbraccia tutte le attività attraverso le quali i desideri e le aspettative dei clienti e della comunità e gli obiettivi dell’organizzazione vengono soddisfatti nel modo più efficiente, massimizzando il potenziale di tutto il personale in una continua ricerca del miglioramento”.

Il TQM costituisce, prima di tutto, un approccio a 360°, che, in quanto tale, deve partire dai membri dell’organizzazione in quanto è *in primis* un aspetto culturale dell’azienda, ovvero rappresenta l’insieme di questi valori e principi volti alla gestione totale per la qualità. Questi principi alla base della teoria sono la naturale evoluzione delle nozioni del Company Wide Quality Control, strategia diffusa in oriente, e del Total Quality Control, conosciuta in occidente, e consistono in:

- Competizione sul valore percepito del cliente, ovvero il consumatore di un determinato bene o servizio, confronta le esperienze pregresse fatte e le alternative presenti sul mercato sulla base del rapporto valore globale percepito e costi globali dove il dividendo comprende le voci come prezzo d’acquisto, canoni, costi di esercizio, mentre il divisore è dato da quanto il prodotto o servizio rispecchia le attese;
- Qualità rispetto ai processi come variabile strategica competitiva, ossia minimizzazione la difettosità o. non conformità ma al contempo massimizzazione qualità positiva, sia essa degli obiettivi che delle realizzazioni;

## Capitolo 1 - Qualità

- Rapporto fornitore/Cliente all'interno dell'azienda, ovvero sia comprendere che un rapporto di *partnership* fornitore-cliente mira al vantaggio di entrambe le parti, evitando il rapporto tradizionale conflittuale;
- Strategia del miglioramento continuo, ovvero un ciclo ripetuto sistematicamente ad ogni singolo processo, tramite un approccio PDCA, al fine di ridurre progressivamente le difettosità ma al contempo aumentare il valore percepito dal cliente tramite l'eliminazione di tutto ciò che non crea valore per il cliente;
- Estensione dell'approccio TQM a tutte le attività aziendali, ovvero estendere il concetto di qualità a tutte le attività aziendali in modo che tutti gli attori dell'organizzazione siano orientati alla collaborazione e facilitino la comunicazione.

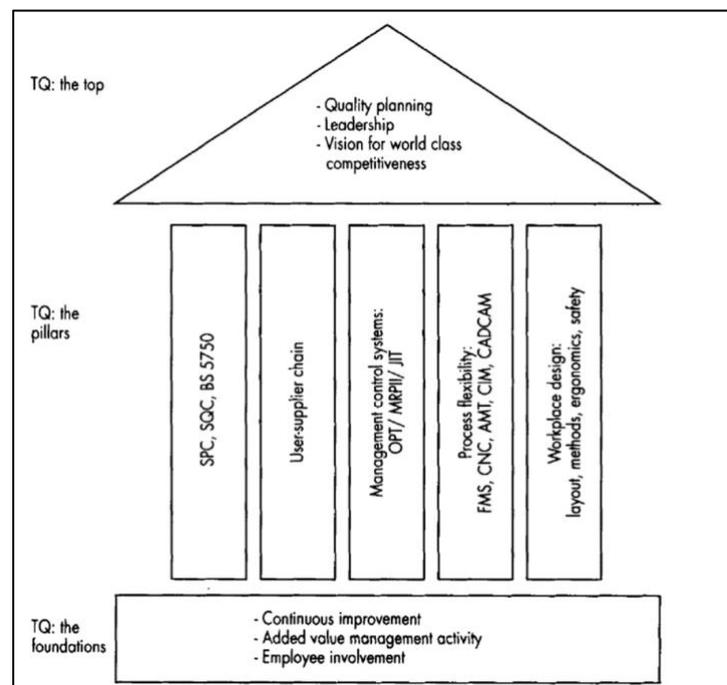


Figura 2: Rappresentazione grafica della casa della qualità del Total Quality Management.

Proprio questo ultimo concetto ha dato origine alla definizione di “qualità totale” che significa sia estensione orizzontale a tutte le funzioni aziendali, anche a quelle che non generano prodotti direttamente per il mercato, che verticale, la cui qualità è cruciale per l'eccellenza dei flussi di informazione e responsabilità. Seppur molto potente, la filosofia TQM non è immune da criticità, in particolare nella sua implementazione pratica. Innanzitutto, gli approcci troppo generici, in cui non sia stato preventivamente programmato, gestito e controllato il flusso, e quelli troppo tecnici o filosofici, dove non si trasmette il giusto concetto di qualità distribuita, sono sbagliati. Risultano altresì inconsistenti anche approcci che non prevedono l'integrazione nella gestione, in quanto la qualità totale deve essere finalizzata ad obiettivi di *business*, unificata alle routine e alle procedure operative e di controllo del processo.

### 1.3 Controllo statistico di qualità

Il Controllo Statistico del Processo, SPC, nasce come primo efficace strumento a sostegno dell'attività di decisione ad ogni livello organizzativo al fine di realizzare un prodotto di qualità che rispettasse determinate specifiche e livelli di tolleranza. È definito come una metodologia che, in riferimento ad una determinata attività, fase o processo caratterizzato da ripetitività, fa ricorso a tecniche statistiche al fine di analizzare e verificare le condizioni che individuano la variabilità del processo in studio. Dalla definizione si evince che il processo produttivo realizza nel tempo una serie di prodotti, gli elementi della popolazione di pezzi, ma è influenzato intrinsecamente da una certa variabilità in quanto nessun pezzo prodotto è uguale ad un altro. Ovvero, valutando una medesima caratteristica  $X$ , come il peso o il diametro, su ogni prodotto, si nota una certa mutabilità della stessa. La proprietà  $X$  rilevata sul singolo prodotto viene assunta come fenomeno di una variabile casuale su una data distribuzione di probabilità. In particolare, si deve tenere conto che:

- La grandezza  $X$ , in ogni punto nel tempo, è descritta da un particolare modello distributivo che, nell'elaborato, è associato ad un modello parametrico noto dove si è in grado di identificare perfettamente la distribuzione partendo da parametri. Per esempio, nel modello normale conoscendo i valori di media e varianza si individua specificamente la distribuzione;
- Il determinato valore osservato su un prodotto è considerato come un valore generato da quel particolare modello, ovvero è assimilato ad un campione casuale semplice di 1 unità, estratto dalla popolazione di riferimento;
- Se la distribuzione cambia nel tempo, ossia i parametri sono cambiati, come media o varianza, allora sono intervenute delle variazioni sistematiche che hanno mutato la popolazione di riferimento.

Dopo queste premesse, le principali tecniche statistiche impiegabili nella metodologia SPC, utili ad analizzare il comportamento del processo, che andremo successivamente a descrivere sono:

- Istogramma di frequenza;
- Diagramma di Pareto;
- Analisi della stratificazione;
- Carte di controllo;
- Analisi della capacità del processo;

#### 1.3.1 Istogramma di frequenza

Nell'ambito del controllo di processo è di fondamentale interpretare i dati di output del processo produttivo studiato, per comprenderne la dispersione, ovvero l'intervallo tra il massimo ed il minimo dei valori, e capire la variabilità del fenomeno. Per far ciò, è utile avvalersi di un diagramma a colonne che presenta in ordinata il numero di osservazioni in ciascuna classe e in ascissa le classi, dove il centro di ogni colonna coincide con il valore centrale della classe. Con il termine classe si indica la dimensione di un intervallo definito dei dati che si è preso come punto di partenza per la rappresentazione degli stessi.

Dopo avere creato l'istogramma è possibile rilevare l'esistenza di problemi nel processo tramite l'analisi di alcune caratteristiche, come:

- La forma del grafico, ovvero verificare se la distribuzione dei dati segue un andamento a campana o al contrario siano presenti due o più picchi di frequenza, tipici della distribuzione bimodale o multimodale, dovuti spesso alla sovrapposizione di dati di origine diversa. È possibile osservare una asimmetria (skewness) nella distribuzione, rivelatrice di qualche errore nella raccolta dati o nella misurazione, e uno sbilanciamento nel processo in senso positivo, maggiori valori a sinistra, o negativo, maggiori valori a destra;
- La posizione o tendenza centrale, ossia se la curva è centrata sul target, fornendo indicazioni sull'accuratezza del processo;
- La dispersione, ovvero sia il comportamento del processo produttivo rispetto ai limiti di tolleranza. Per esempio, i diagrammi a campana molto appiattiti indicano un'importante dispersione dei valori mentre quelli concentrati rispetto ad una classe denotano una dispersione minore.

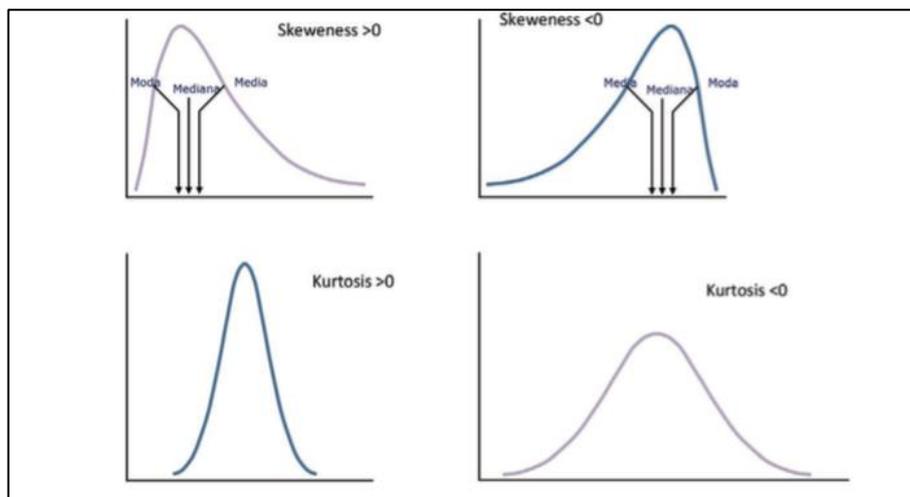


Figura 3: Rappresentazione grafica della curva di distribuzione rispetto ai valori di curtosi e simmetria.

### 1.3.2 Diagramma di Pareto

L'analisi di Pareto è una rilevante rappresentazione grafica di supporto all'azione del *problem solving* frequentemente utilizzata nell'ambito del SPC. La teoria alla base ritiene che tra tutte le possibili cause, solo poche di esse sono responsabili della maggior parte dei problemi riscontrati. Infatti, se si registrano i problemi occorsi a seconda della tipologia o della causa che li ha determinati, si scopre che la maggior parte di essi è in realtà attribuibile ad un sottogruppo ristretto delle cause di partenza. Il diagramma di Pareto è una semplice rappresentazione grafica barre dove in ascissa sono riportati i tipi di difetti ed in ordinata la loro incidenza percentuale. Nello specifico, le colonne dell'istogramma sono ordinate in ordine decrescente di frequenza, in modo da favorire l'individuazione dei fattori prioritari da risolvere e, in corrispondenza del diagramma a barre, è tracciata la linea dei valori cumulati.



processo nel tempo a supporto dell'operatore nel riconoscimento di un processo fuori controllo e nell'individuazione delle cause di variazione. Inoltre, consente di evitare due errori diffusi, ovvero l'inesatta interpretazione di una causa comune come una straordinaria, con la conseguente azione correttiva sbagliata, e viceversa, con il risultato di non intervenire immediatamente per migliorare il sistema.

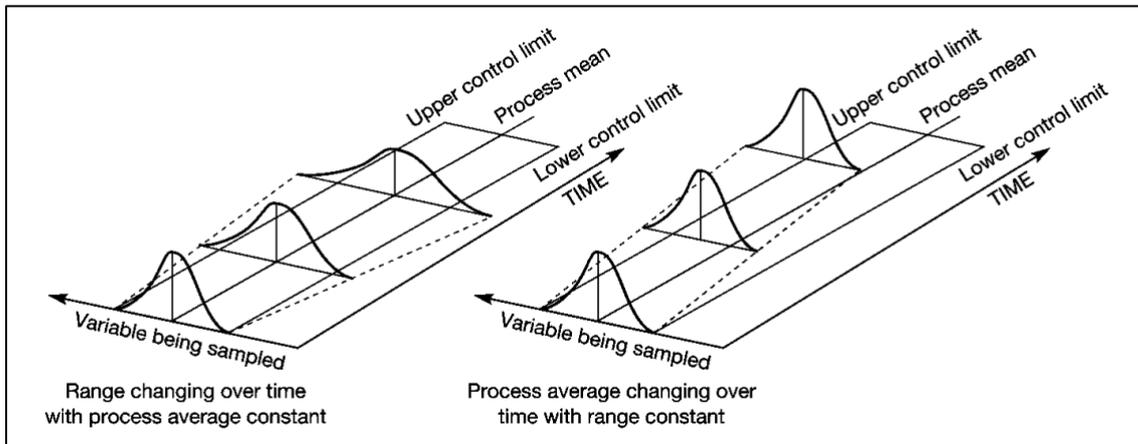


Figura 5: Rappresentazione grafica della capability del processo rispetto ai limiti di controllo.  
Slack, N., 2010. *Operations Management*. Financial Times, Prentice Hall

Generalmente le carte di controllo sono composte da tre linee orizzontali continue denominate linea centrale (CL), limite superiore di controllo (UCL) e limite inferiore di controllo (LCL) che definiscono rispettivamente il valore medio desiderato e l'intervallo di dispersione per i valori presenti sul grafico. I limiti inferiori e superiori sono calcolati in base a una distribuzione di frequenza nota a priori, normale, Gamma, Poisson, in funzione del tipo di dati che vengono analizzati. Comunemente una carta di controllo fissa dei limiti che si collocano a  $\pm 3$  scarti quadratici medi dalla misura di interesse, come media, varianza, ecc. Quindi in generale per costruire una carta abbiamo i seguenti valori, dove Y è una statistica campionaria generica:

$$CL = E[Y]$$

$$UCL = E[Y] + 3 (Var[Y])^{1/2}$$

$$LCL = E[Y] - 3 (Var[Y])^{1/2}$$

Dopo aver definito i limiti di controllo e plottato i dati all'interno del grafico, la carta ci consente di determinare eventuali andamenti sistematici, i cosiddetti *pattern*, dei valori che rappresentano il processo nel tempo e di stabilire se ciascun punto cade all'interno o all'esterno dei limiti imposti, in modo da identificare un processo fuori controllo. I singoli punti rappresentati sono spesso il risultato di una stima campionaria, ovvero il valore non rappresenta una singola misura, ma, ad esempio, è la media di una serie di grandezze eseguite campionando vari elementi dallo stesso insieme. I campioni utilizzati sono quindi chiamati sottogruppi in cui all'interno è presente solo la variabilità casuale, mentre le cause speciali influenzano solitamente la dispersione fra diversi insiemi. L'interpretazione della carta di controllo passa per la valutazione dei valori o della loro

distribuzione all'interno dei limiti di controllo superiore ed inferiori. In particolare, si può notare:

- Uno o più punti cadono al di fuori dai limiti di controllo, ovvero il processo, in quel periodo, è fuori controllo statistico e potrebbero essere intervenute delle cause speciali di variazione;
- La maggioranza dei punti è collocata in una specifica zona del grafico o si osserva un andamento ciclico, ossia il processo è influenzato da fattori ricorrenti o specifici, come operatore o macchina;
- La successione dei valori presenta un trend di tendenza, sia di crescita che di decrescita, ovvero è presente una causa di deriva del processo, come per esempio l'usura di un utensile.

Infine, le carte di controllo si differenziano in base alle caratteristiche dei dati e si dividono in due gruppi, ovvero per variabili, per le misure quantitative, e per attributi, per le misure qualitative.

### 1.3.5 Capacità di processo

Come si è già osservato nel capitolo precedente, nel TQM è il cliente, sia esso interno che esterno, al centro della qualità di un servizio o di un prodotto e il management tradurre i bisogni e le attese in caratteristiche facilmente misurabili, definendo le relative specifiche tecniche. Il limite di specifica superiore (*USL*) è il valore estremo a destra che una caratteristica può assumere in conformità ai limiti funzionali o di qualità stabiliti, a priori, all'esterno del processo, così come il corrispondente valore estremo a sinistra, limite di specifica inferiore (*LSL*). Inoltre, si determina un valore *target* *T*, che, in presenza di due limiti di specificazione, è generalmente centrato, ovvero:

$$T = (LSL + USL) / 2$$

Se un processo soddisfa i limiti superiori e inferiori ed è centrato rispetto al valore target attribuito, allora è capace di soddisfare la qualità. La capacità del processo è valutata quindi principalmente tramite la variabilità rispetto ai limiti di specifica e alla centratura rispetto al target di riferimento. In caso contrario, l'eccessiva dispersione o la distanza fra *media* e il valore *target* determina una porzione di area al di fuori dei limiti di specificazione, ovvero la presenza di possibili non conformità.

FOTO

È fondamentale definire misure di *process capability* in grado di evidenziare l'effetto delle due possibili cause responsabili di una cattiva performance del processo, come gli **indici di capacità** che, essendo adimensionali, e sono facilmente interpretabili e comparabili tra loro.

Il primo è il *C<sub>p</sub>*, definito come:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Confronta l'ampiezza dell'intervallo di conformità, ovvero la dispersione ammissibile per il processo, il numeratore, con la variabilità naturale del processo rappresentata dal valore  $6\sigma$ , detta anche Tolleranza Naturale, il denominatore. A questo proposito è importante dire che, la grandezza  $6\sigma$  è considerata una misura della cosiddetta *variabilità naturale* del processo sotto controllo. Per una distribuzione normale, l'intervallo compreso fra i due estremi  $\mu \pm 3\sigma$  include il 99.73% dei valori di  $X$  e, di conseguenza, si ha il 0.27% di valori esterni. Questa misura si è rilevata, nella pratica, molto efficace nella costruzione di indici e misure per il monitoraggio del processo tanto da diventare lo standard di riferimento. Quindi se la dispersione  $6\sigma$  del processo è inferiore all'intervallo di specifica, ovvero se l'indice  $C_p > 1$ , allora il processo è capace e si producono mediamente meno del 2.7% di pezzi non conformi. Un valore superiore a 1 è considerato un buon risultato seppur ultimamente per essere in sicurezza puntano ad un 1,33. Dato che  $C_p$  controlla solo la dispersione del processo, senza fornire alcuna informazione sulla sua centratura, è necessario introdurre l'indice  $C_{p,k}$ , che tiene conto del grado di 'centratura' del processo rispetto al *target*:

$$C_{p,k} = \frac{\min\{\mu - LSL; USL - \mu\}}{3\sigma}$$

In generale, è consigliabile utilizzare tutti e due gli indici in quanto il processo potrebbe non essere capace per il valore  $C_{p,k} < 1$  mentre per il valore  $C_p > 1$  potrebbe avere una buona variabilità del processo ma ciò è da attribuire al fatto che la media non è centrata rispetto all'intervallo di conformità rispetto ad un'eccessiva dispersione.

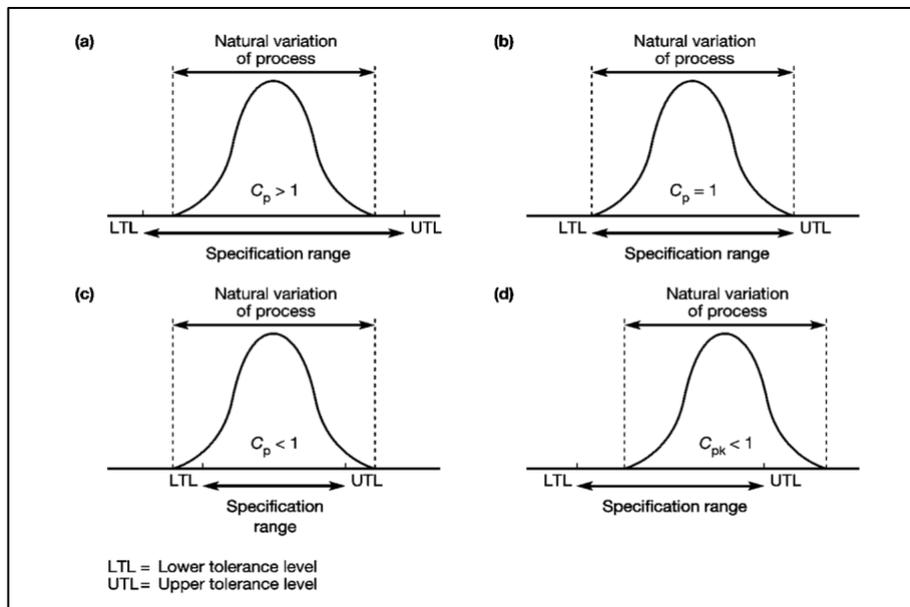


Figura 6: Rappresentazione grafica di una distribuzione normale rispetto ai valori di  $C_p$ .  
 (Slack, N., 2010. Operations Management. Financial Times, Prentice Hall)

# Capitolo 2

## Dalle attività al BPM

In questo capitolo si andrà ad analizzare velocemente lo stato dell'arte per quanto riguarda la gestione dei processi aziendali e la loro evoluzione rispetto ai cambiamenti macroscopici avvenuti nell'industria moderna, ovvero lo sviluppo verso una produzione orientata al cliente caratterizzata dalla costante ricerca del miglioramento continuo.

### 2.1 Processi e metodologie di gestione

L'analisi scientifica dei processi aziendali nasce sicuramente nei primi anni '20 con le teorie di Frederick W. Taylor, con l'idea che l'aumento della produttività si consegue focalizzando l'attenzione sull'organizzazione all'interno delle unità produttive, ovvero tramite lo studio delle attività compiute dai singoli lavoratori per scoprire le procedure più idonee a produrre il massimo *output* con il minimo *input* di energie e risorse. Ciò richiede sia la conoscenza approfondita delle azioni individuali sia la trasformazione radicale dell'intera organizzazione del lavoro al fine di rendere efficiente ed efficace l'atto fisico tramite la sua integrazione nella struttura di processo e, successivamente, in quella del ciclo produttivo.

La rapida trasformazione dei mercati e il costante miglioramento delle tecnologie IT necessitano di un continuo controllo e un conseguente adattamento dei processi e delle metodologie di coordinamento in tutte le aziende, rendendo la gestione dei processi di business centrale per il successo e la sopravvivenza. In particolare, è essenziale comprendere i vari modelli organizzativi delle aziende per ottimizzare la distribuzione dei processi in fasi e l'impiego efficiente della manodopera.

Il modello aziendale di riferimento, fin dagli anni '50 è stato quello *gerarchico-piramidale* dove tutte le attività elementari, divise per compiti di natura strategica, direzionali e operative, vengono gestite tramite rigide strutture di coordinamento gerarchico. Le attività elementari sono generalmente qualificate da tre componenti

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

fondamentali, ovvero il costo, suddiviso in materie prime e manodopera, il tempo di esecuzione per trasformare gli input in output e la qualità del risultato finale, direttamente influenzata da tutti i precedenti fattori. Questi elementi costituiscono un indicatore dell'efficacia ed efficienza con cui si svolge l'attività, in quanto tanto minori sono i costi e i tempi impiegati per ottenere i risultati voluti, e tanto maggiore, teoricamente, è la loro qualità. Un processo che è dotato mediamente di queste caratteristiche crea valore, perché il cliente ha un beneficio superiore alle risorse impiegate. Il processo, pertanto, può essere spiegato come un insieme strutturato di attività e di decisioni, indirizzato alla creazione di un output effettivamente richiesto dal cliente, e al quale assegna un valore ben definito. Il cliente, non necessariamente deve essere esterno, ovvero compratore di beni e servizi in cambio di moneta, ma può essere anche un processo produttivo dell'impresa medesima che utilizza il risultato finale come input necessario per lo svolgimento di una fase successiva. L'output di un processo può quindi essere l'input di un processo consecutivo, generando all'interno della stessa filiera produttiva una catena di clienti e fornitori da soddisfare.

È necessario quindi disciplinare tutti i processi aziendali tramite un coordinamento attuato attraverso l'utilizzo di procedure operative e regolamenti definiti nei minimi dettagli. L'organizzazione del lavoro si basa su principi di suddivisione e inglobamento del personale in unità organizzative specializzate in cui vengono svolti, in assoluta omogeneità, compiti specifici in base alle funzioni aziendali di appartenenza. Questo modello si può differenziare rispetto al criterio di aggregazione utilizzato, ovvero se per funzioni, dove le unità organizzative vengono costituite aggregando le attività simili, la cui realizzazione richiede il medesimo ciclo produttivo, tecniche e competenze, o se per "divisioni", in cui vengono costituite rispetto alla soddisfazione delle esigenze di uno stesso gruppo di clienti o un'area geografica.

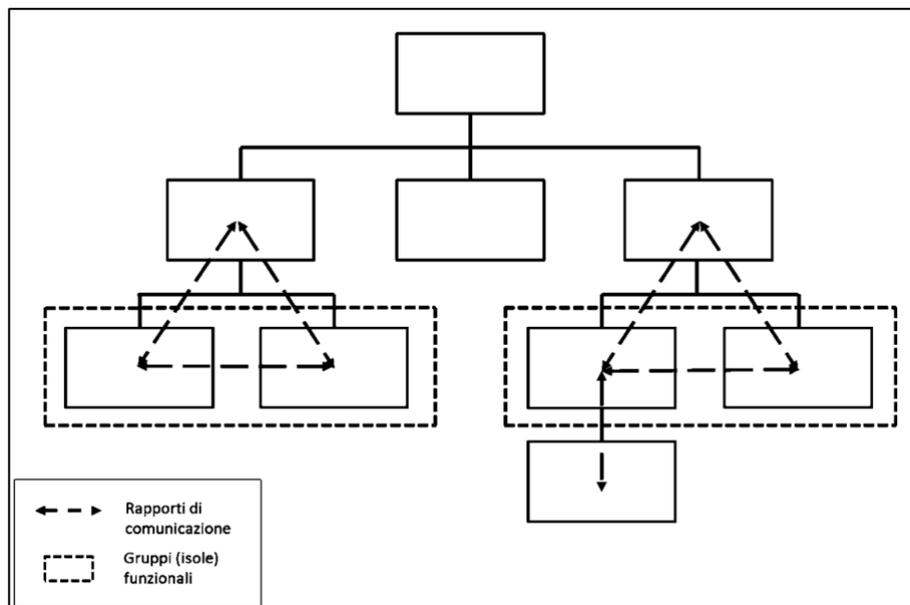


Figura 7: Rappresentazione grafica di una struttura organizzata per funzioni (Sinibaldi, 2009)



## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

- Fase, ovvero sia il modo in cui un processo è implementato (per esempio, per il processo di spedizione: carico, trasporto, consegna). Una fase è uno stadio di un processo;
- Attività, ovvero il livello “base” su cui costruire i processi (emissione documenti, imballaggio, consegna spedizioniere), o meglio identificabile come la singola attività aziendale;
- Operazione, ossia l’azione elementare con cui è eseguita una determinata attività.

La chiave di volta resta comunque che ogni attività, processo ed organizzazione deve essere rivolta al cliente in modo sia da creare valore per gli stakeholders sia soddisfare il bisogno del consumatore. In quest’ottica, secondo Michael Porter in “*Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*” possono essere identificati due tipologie di processo: quelli primari e quelli secondari. I primi sono chiamati in questo modo in quanto producono un risultato diretto percepibile dal cliente esterno e sono essenzialmente:

- Logistica in ingresso, comprende tutte quelle attività di gestione dei flussi di beni materiali verso l’interno dell’organizzazione;
- Attività operative, attività di produzione di beni e/o servizi;
- Logistica in uscita, comprende quelle attività di gestione dei flussi di beni materiali verso l’esterno dell’organizzazione, come per esempio quelli che portano sul mercato i risultati delle attività operative;
- Marketing e vendite, attività di promozione del prodotto o servizio nei mercati e gestione del processo di vendita;
- Assistenza al cliente e servizi, tutte quelle attività post-vendita e gestione reclami che sono di supporto al cliente.

I secondi, invece, forniscono attività “di servizio”, essenziali ma non sempre riconosciute dal cliente esterno anche perché volte a garantire il corretto funzionamento dell’azienda. Un esempio sono:

- Approvvigionamenti, ovvero l’insieme di tutte quelle attività preposte all’acquisto delle risorse necessarie alla produzione dell’output ed al funzionamento dell’organizzazione;
- Gestione delle risorse umane, ossia ricerca, selezione, assunzione, addestramento, formazione, aggiornamento etc...;
- Sviluppo delle tecnologie, cioè tutte quelle attività finalizzate al miglioramento del prodotto e dei processi, come principalmente il processo R&D (Research and Development);
- Attività infrastrutturali, ovvero sia tutte le altre attività quali pianificazione, contabilità finanziaria, organizzazione, informatica, affari legali, direzione generale, etc.

Il valore aggiunto per l’impresa, nell’utilizzare una visione per processi piuttosto che per funzioni risiede proprio nell’obiettivo generale e condiviso di creazione del valore in tutte le attività svolte dall’organizzazione solo però se esse sono coordinate tra loro; ciò

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

significa che deve esserci efficienza soprattutto nei processi trasversali. Lo sforzo compiuto da una singola unità organizzativa, come per esempio aumentare la produttività riducendo il tempo di operazione, può risultare inutile, e controproducente, se non si ottimizza l'intero processo di produzione in quanto si potrebbe aumentare i vari tempi morti di trasporto e creare involontariamente dei colli di bottiglia con tutte le difficoltà di gestione. L'azienda risulta quindi in grado di soddisfare il proprio cliente solo quando è in grado di garantire un livello accettabile di efficienza e coordinamento di tutti i processi aziendali, avendo sempre però una visione a 360°.

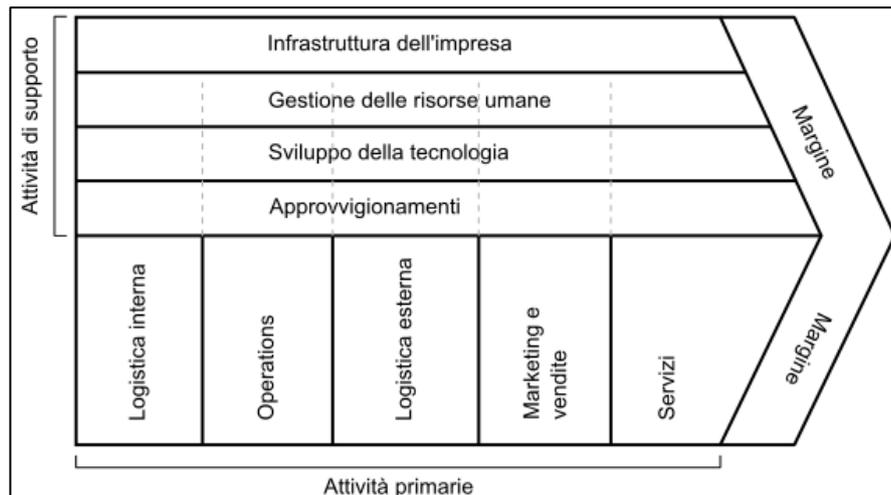


Figura 9: Rappresentazione grafica della catena del valore di Porter.

La catena del valore di una qualsiasi organizzazione si può riassumere, oltre che tramite la suddivisione ideata da Porter, anche in chiave di business process in tre principali macro-parti: la prima è rivolta all'individuazione e gestione dei rapporti con fornitori utili alla realizzazione del bene o servizio. Gli strumenti a supporto a queste operazioni sono solitamente i sistemi di Supply Chain Management e digital market. La seconda fase è incentrata sulla progettazione, implementazione e monitoraggio dei processi interni all'azienda, al fine di ottenere una riduzione dei costi di funzionamento e della durata dei processi. È il momento in cui si concretizzano le strategie operative rispetto alla Vision e Mission aziendale e dove i dati vengono elaborati per renderli fruibili a tutte le funzioni aziendali, sia di alto che di basso livello, con l'obiettivo di produrre un bene o un servizio qualitativamente ed economicamente competitivo. In questa fase trovano applicazione i sistemi ERP che mettono a disposizione procedure software personalizzabili e in grado di interagire, sulla rete Internet, con i sistemi informativi anche di organizzazioni diverse. Infine, l'ultima fase è orientata ai processi di marketing, vendita, distribuzione dei prodotti, servizio postvendita e assistenza al cliente. La corretta implementazione di questa fase consente di rilevare il livello di gradimento del cliente verso il bene o servizio offerto, con una naturale diminuzione dei costi di transazione. In questa fase, solitamente, vengono utilizzati sistemi CRM, portali web, E-Marketplace e sistemi di Business Intelligence.

## 2.2 Business Process Improvement (BPI)

Il BPI è una metodologia che ricerca il miglioramento di tipo bottom-up dei processi tramite una serie di cambiamenti incrementali, ovvero quella tipologia di variazione che avviene attraverso un progresso che si protrae gradualmente nel tempo. Il cambiamento non muterà radicalmente la struttura funzionale ma interesserà solo uno specifico aspetto. Lo scopo non è quello di riprogettare i processi partendo da zero, ma di razionalizzarli e migliorarli per passi successivi. Infatti, generalmente si parte da una strategia e struttura organizzativa già esistenti proponendosi di individuare i punti di debolezza e di realizzare interventi mirati a correggere le inefficienze riscontrate. In particolari devono sussistere i seguenti presupposti fondamentali perché il BPI sia efficace e sono:

- La presenza di una vision aziendale dove siano esposti dei chiari obiettivi di business;
- L'identificazione dei processi da ottimizzare, ovvero di tutti quei processi aziendali che non sono allineati con la vision aziendale;
- La misurazione oggettiva di tutti i processi esistenti, in modo da avere un quadro generale di riferimento per i miglioramenti futuri;
- L'individuazione delle leve di information technology (IT);
- Lo sviluppo di un prototipo dei nuovi processi aperto a modifiche successive.

Il Business Process Improvement è dunque un insieme di tecniche orientate al miglioramento del processo, il quale però dev'essere ottenuto progressivamente, puntando sull'aumento del grado di soddisfazione del cliente. Questa metodologia si traduce concretamente con la semplificazione delle attività di processo esistenti e l'eliminazione degli sprechi e delle inefficienze burocratiche, in modo da incrementare l'efficienza e la flessibilità dell'azienda allo scopo di ottenere un vantaggio competitivo. Trova quindi applicazione nei casi dove si decide di cambiare solo in parte la struttura ed il funzionamento dei processi, pur avendo accertato la presenza di debolezze. Infatti, sono mantenuti gli elementi considerati validi mentre quelli valutati inefficienti sono riprogettati a step gradualmente nel tempo. Questo tipo di approccio risulta adeguato soprattutto in assenza di contesti di emergenza, come crisi economiche e finanziarie, o in situazioni per cui i processi critici non sono interamente inadeguati. La gestione incrementale non si adatta a cambiamenti strategici dell'azienda in quanto le caratteristiche del core business, riguardanti la tecnologia, i prodotti ed i mercati, rimangono pressoché invariate. Fattore determinante per il buon esito di un'iniziativa di miglioramento incrementale sono invece i contributi "provenienti dal basso" in quanto sono proprio coloro che operano quotidianamente all'interno dei processi che conoscono le debolezze sono in grado di riconoscere le cause radice molto più consapevolmente e rapidamente rispetto ai manager. Inoltre, la gradualità dell'intervento ed il coinvolgimento degli operatori riescono a conquistare più facilmente la disponibilità al cambiamento ed il sostegno da parte dell'intera organizzazione. Infine, la realizzazione del Business Process Improvement all'interno di un'organizzazione può essere sintetizzata in cinque fasi:

- Organizzazione per il miglioramento, ovvero selezionare i processi critici, nominare i process owner ed organizzare gruppi di lavoro finalizzati a

stabilire i confini del miglioramento del processo, come i vincoli, i metodi di misurazione, gli obiettivi e lo sviluppo del piano di progetto;

- Comprensione del progetto, ossia rappresentare graficamente il processo attuale, analizzando il rispetto delle procedure esistenti e raccogliendo tutte le informazioni disponibili ed allineare le attività operative alle procedure di alto livello;
- “Fluidificazione” del processo, ovverosia rendere il processo fluido, privo per quanto possibile di criticità e ostacoli, rimuovendo e semplificando le attività non a valore aggiunto;
- Implementazione, misure e controllo, ovvero mettere in funzione il processo già migliorato e stabilire dei sistemi di misura e controllo tramite un efficiente sistema di report, in modo da poter attuare e tracciare in tempi brevi tutte le modifiche necessarie.
- Miglioramento continuo: migliorare costantemente i processi ripetendo le prime quattro fasi in modo ciclico, analogo al ciclo di Deming, PDCA.

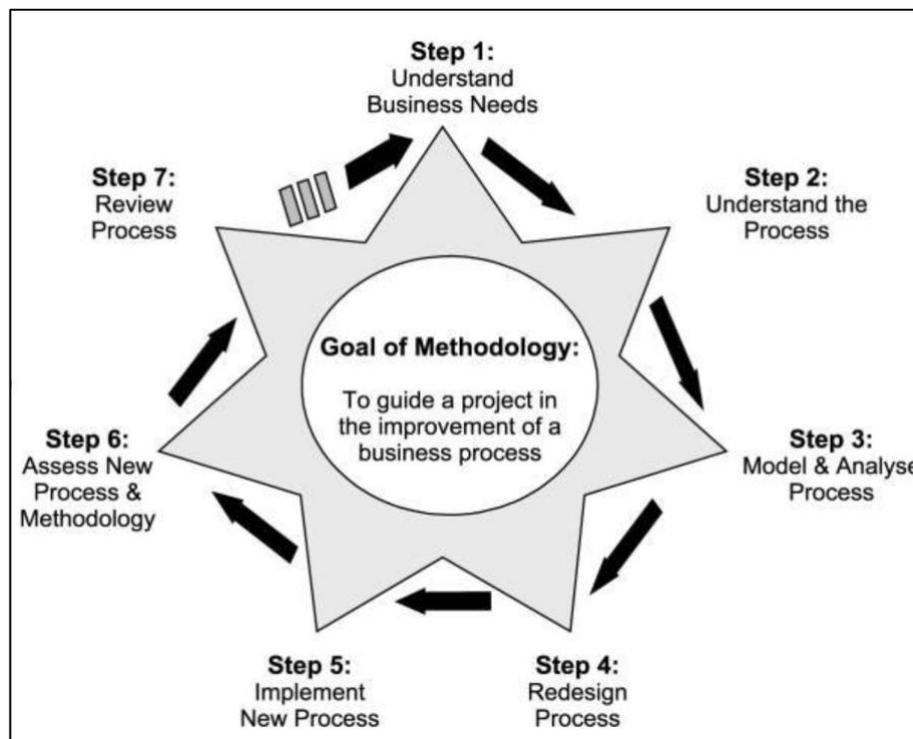


Figura 10: Rappresentazione grafica delle principali fasi del Business Process Improvement.

## 2.3 Business Process Reengineering

Il BPR è una metodologia che cerca il miglioramento attraverso il cambiamento radicale dei processi attuali, elaborando soluzioni totalmente o in larga parte, nuove. Tale tipologia di cambiamento opera una drastica rottura con il modello di riferimento dell'organizzazione, in cui la situazione esistente non viene ritenuta la base di partenza sulla quale operare modifiche. Il Business Process Reengineering è quindi la profonda riprogettazione e il ridisegno totale dei processi aziendali, diretto ad ottenere forti

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

miglioramenti delle prestazioni e dei fattori critici dell'impresa, come i costi, la qualità, il servizio e la velocità, per mezzo del supporto della tecnologia informatica. Uno degli elementi sostanziali è il superamento dell'organizzazione funzionale, in favore di una gestione dell'impresa per processi mirata esclusivamente a come dovrebbe essere l'impresa per raggiungere gli obiettivi desiderati, ignorando la sua attuale struttura e mix di risorse. Inoltre, una progettazione radicale permette di raggiungere un importante salto prestazionale e qualità che non sarebbe possibile ottenere attraverso approccio basato su piccoli e graduali miglioramenti come quello del BPI. Come tutte le metodologie di gestione per processi analizzate, il BPR prevede che i processi vengano esaminati e ridisegnati dalla prospettiva del cliente, poiché lo scopo di questa strategia è quello di implementare processi orizzontali efficaci ed efficienti che siano in grado di assicurare rapidamente la soddisfazione del cliente. Il motivo per cui si intraprende il Business Process Reengineering nasce dopo che è stata rilevata un'assoluta criticità delle strategie adottate per raggiungere gli obiettivi aziendali ed il BPR si configura come una soluzione di gestione eccezionale in cui si ricorre per far fronte a particolari casi di crisi, come caduta della domanda o perdita di quote di mercato. In queste condizioni, una revisione solo parziale dei processi non sarebbe sufficiente in quanto i processi critici di core business, sia il loro funzionamento interno che il flusso esterno, non sono allineati con gli obiettivi stabiliti. Il cambiamento deve coinvolgere i processi orizzontali e trasversali rispetto alle funzioni aziendali in quanto i cambiamenti radicali richiedono spesso un notevole consumo in termini di tempi, costi e risorse impiegate. Un'altra caratteristica del BPR è l'impostazione di tipo top down: come detto in precedenza l'oggetto di questa metodologia sono pochi processi ma trasversali e per questo motivo è necessario avere una visione d'insieme della totalità dell'organizzazione, appartenente al top management, seppur è necessario costantemente analizzare il flusso informativo inviato dagli operatori. Le caratteristiche quindi basilari per una corretta reingegnerizzazione dei processi sono:

- L'organizzazione deve essere orientata ai risultati e non alle mansioni;
- Il cliente, anche interno, deve poter seguire direttamente il processo;
- La raccolta delle informazioni deve avvenire una sola volta e direttamente dalla fonte senza rischiare duplicati e documenti non aggiornati.

Sulla base di questi principi, si devono articolare le varie fasi di un intervento di Business Process Reengineering, che consistono in:

- Analisi del problema
  - Osservazione, determinazione e quantificazione del problema e, di conseguenza, della necessità di un cambiamento;
  - Istituzione del gruppo di lavoro e condivisione dei metodi operativi;
- Analisi dei processi
  - Analisi e classificazione dei processi esistenti, con l'utilizzo di KPI prima del cambiamento;
  - Identificazione dei processi da riprogettare;
- Fase di progettazione e sviluppo
  - Definizione degli obiettivi e individuazione dei risultati del miglioramento atteso;

- Sviluppo del nuovo modello di processo
  - Individuazione degli attori
  - Determinazione della sequenza delle operazioni
  - Analisi dei punti decisionali
  - Definizione delle interdipendenze
- Determinazione del nuovo prototipo di processo e simulazioni
- Fase di attivazione del cambiamento
  - Pianificazione, implementazione e valutazione dei risultati attraverso l'analisi degli scostamenti e l'utilizzo di KPI dopo l'applicazione del cambiamento radicale;

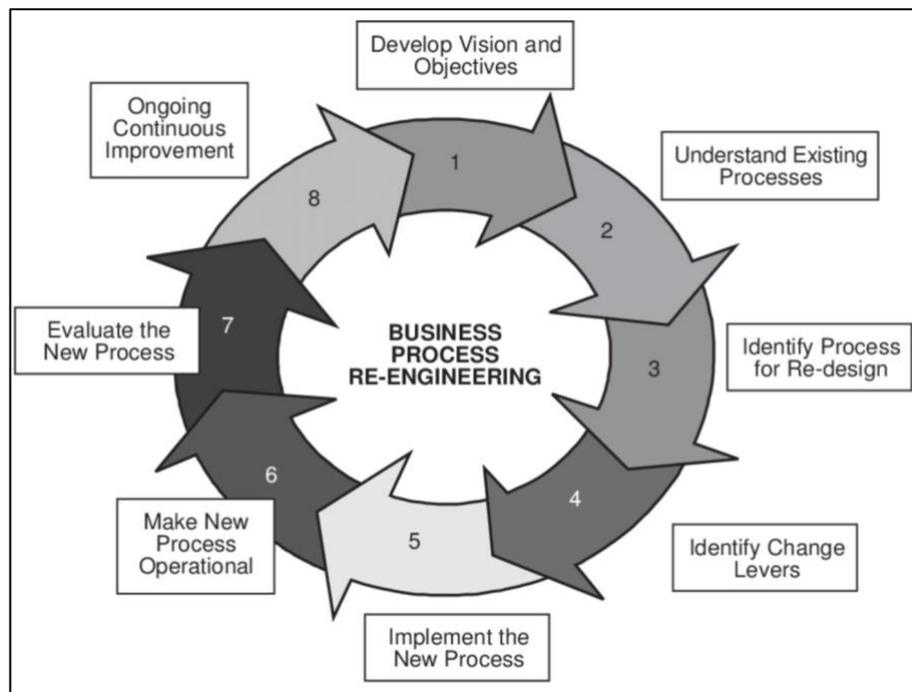


Figura 11: Rappresentazione grafica delle principali fasi del Business Process Reengineering.

## 2.4 Business Process Management

Il Business Process Management è l'insieme delle attività rivolte alla determinazione, miglioramento, controllo continuo e integrazione dei processi aziendali, al fine di ottimizzare il core business aziendale. Come abbiamo analizzato nel capitolo precedente, il Processo Management è una strategia finalizzata al miglioramento dell'efficacia ed efficienza dell'organizzazione tramite lo sviluppo delle attività aziendali, della comunicazione e coordinamento tra i diversi settori, e in generale di tutti i flussi operativi e lavorativi dell'azienda. Si sviluppa dall'integrazione delle nozioni del BPR e BPI, ovvero il primo consente di ottenere un miglioramento sostanziale delle prestazioni mediante la riprogettazione dei processi di business mentre il secondo permette di mantenere tale cambiamento e di incrementarlo attraverso l'adeguamento delle attività ai mutamenti dell'ambiente esterno. Lo scopo del BPM è la sinergia tra i processi e l'Information and Communication Technology (ICT), ovvero il canale di comunicazione principale all'interno di ogni azienda, tramite un approccio di tipo top-down,

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

caratteristico del BPR, che parte considerando il processo nella sua globalità, lo scompone in fasi e, a loro volta, in attività, ottimizza i flussi documentali ed informativi ed infine li automatizza grazie alla tecnologia. Il Business Process Management richiede, per la sua applicazione, di software informatici in quanto i processi sono costituiti da informazioni che devono essere memorizzate e tracciate mediante standard condivisi. Perciò, il supporto di tecnologie informatiche si rende necessario soprattutto per la catalogazione dei dati in database che possano consentire azioni di estrapolazione rapida e viste delle informazioni in funzione delle interrogazioni che possono giungere da settori diversi dell'azienda. Anche i dati dei processi costituiscono un'informazione di riferimento per l'azienda e, allo stesso modo, devono essere consultabili mediante un comune strumento, come per esempio il linguaggio SQL o paradigmi derivati. Obiettivo ulteriore è quello di identificare nuove soluzioni per le problematiche esistenti e per quelle future, garantendo la salvaguardia del valore dell'esperienza aziendale. Il processo, come abbiamo visto, rappresenta l'elemento centrale di studio per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. In questo scenario, il cliente non rappresenta più esclusivamente l'elemento che attribuisce il valore al prodotto, ma è parte integrante del ciclo di produzione di beni e servizi dell'azienda. In questa prospettiva, la funzione del cliente è sia quella classica come consumatore finale sia quella di fornitore o di un settore dell'azienda stessa. Sono tutte figure che partecipano alla realizzazione del bene o del servizio dell'azienda, ma con metodologie, ruoli e livelli di interazione diversi.

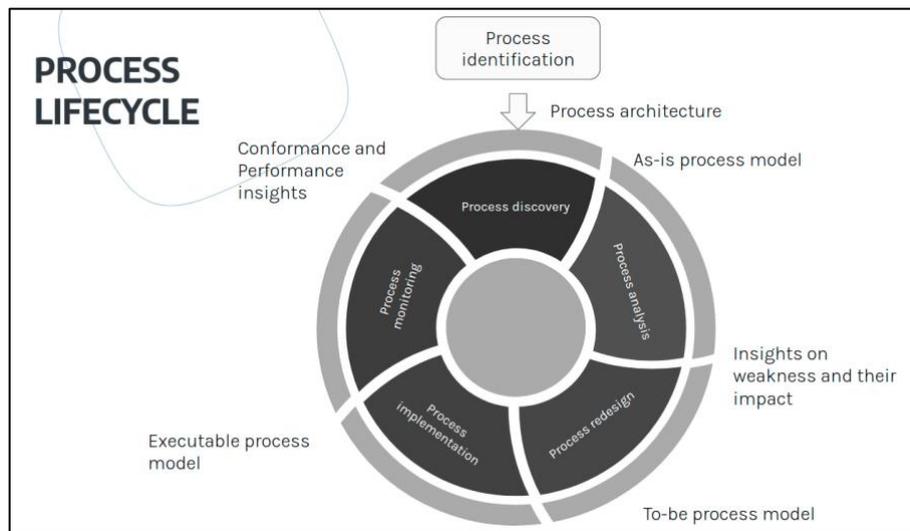


Figura 12: Rappresentazione grafica delle principali fasi del BPM.

È vitale evidenziare che la progettazione di un BPM comporta una fase di realizzazione di un vero e proprio "sistema di conoscenza". I processi devono essere individuati singolarmente e successivamente combinati per creare una catena di valore che conduca alla creazione del miglior prodotto o servizio fruibile sul mercato. Solo attraverso una visione completa per processi è possibile ottenere un BPM che si riveli flessibile e vantaggioso nel tempo. Perciò, è sbagliato considerare i processi rigidi e statici in quanto possono subire implementazioni, modifiche e miglioramenti continui, nozione del BPI, che derivano dalla sperimentazione ed adattamento degli stessi nel tempo. Nel concreto, il Business Process Management permette di ottenere una riduzione dei

tempi o dei costi necessari per portare a termine un determinato processo, una diminuzione della quantità di errori, una maggiore automazione dei compiti amministrativi o un miglior utilizzo delle risorse.

Questi risultati possono essere ottenuti attraverso una continua ottimizzazione dei processi, in un ciclo iterativo di pianificazione, esecuzione, controllo e miglioramento:

- Pianificazione:
  - Determinazione degli obiettivi del progetto;
  - Selezione dei processi inefficienti da sottoporre a reengineering;
  - Definizione dei Process Owner e dei gruppi di lavoro;
- Raccolta informazioni
  - Raccolta dati e documentazione;
  - Interviste con l'utente;
- Mappatura:
  - Analisi dei processi;
  - Analisi strutture organizzative;
  - Modellazione dei processi;
- Condivisione:
  - Condivisione dei risultati ottenuti;
  - Ridisegno dei processi sulla base del confronto;
- Monitoraggio:
  - Monitorare i processi in termini di costi, tempi e qualità;
  - Costante aggiornamento dei processi;

### 2.4.1 Pianificazione

La pianificazione di un progetto di BPM è l'applicazione di una strategia definita per far fronte a nuove minacce esterne, sia esse di mercato che economiche, o a problemi interni che mirano al core business aziendale. Inizia con la definizione chiara e precisa da parte del top management, ovvero con un approccio top-down, degli obiettivi che il piano punta ad ottenere, tra cui:

- Ottimizzazione di un'attività, ovvero automatizzazione di un'attività svolta in manuale e/o integrazione tra più sistemi allo scopo di costruire processi complessi che sfruttino le sinergie della struttura organizzativa;
- Eliminazione delle ridondanze e consolidamento dei flussi informativi e di responsabilità, ossia riduzione delle sovrapposizioni funzionali;
- Standardizzazione di processi rispetto alle linee guida presenti sul mercato, come ISO 9001, in modo da migliorare l'interoperabilità e facilitare l'analisi delle performance;
- Riduzione degli sprechi e della non qualità;
- Migrazione ad un nuovo modello informativo o documentale con lo scopo di diminuire i tempi o i costi di produzione e ridurre il gap tecnologico rispetto ai competitor;
- Passaggio da un modello organizzativo tipo funzionale ad una matriciale o per processi, al fine di ridurre la burocratizzazione e le inefficienze di comunicazione tra le funzioni.

Dopo aver determinato gli obiettivi del progetto, si identifica il Process owner, ovvero colui che ha la responsabilità gerarchica del progetto, ovvero è responsabile della gestione, del raggiungimento degli obiettivi fissati dal top management e del coordinamento delle rispettive funzioni interdisciplinari.

### 2.4.2 Raccolta informazioni

Il secondo passo consiste nella raccolta delle informazioni necessarie a descrivere il funzionamento del processo, che normalmente avviene considerando in prima battuta tutte le informazioni già disponibili all'interno dell'azienda, come i manuali delle procedure, gli organigrammi, i flussi di lavoro e, in generale, la documentazione interna. Successivamente si procede con una logica top-down Processo-Fase-Attività intervistando i responsabili di funzione o i responsabili d'ufficio in quanto possiedono una visione piuttosto ampia e completa dei rispettivi processi nella loro interezza, consentendo loro di descriverli in modo coerente dal punto di vista logico-causale. Le informazioni raccolte dalla prima intervista non sono sempre esaustive e conformi con la struttura dei processi e quindi si rende necessario ripetere l'intervista, anche diverse volte, fino a quando le informazioni raccolte non siano esaurienti. Al fine di ottenere però delle interviste intelligenti ed efficienti è fondamentale la raccolta preliminare delle informazioni, in quanto, senza una conoscenza di base, è complicato porre domande chiave, in particolare sulle motivazioni e correttezza delle informazioni, senza perdere tempo in possibili incomprensioni. Inoltre, è basilare che l'intervistatore condivida gli obiettivi dell'analisi con i suoi interlocutori e crei rapporti di fiducia reciproca con gli intervistati, in modo da tenere alta l'attenzione mantenere un comportamento il più possibile neutro riguardo i temi trattati. Per ciascun processo è necessario raccogliere in linea di massima i seguenti punti chiave:

- Le fasi e le attività costituenti del processo stesso;
- Le competenze delle risorse umane impiegate nelle varie fasi del processo e la loro responsabilità interna;
- Le risorse tecnologiche attualmente utilizzate;
- Procedure e istruzioni operative utilizzate durante le attività;
- Le interazioni ed i collegamenti esistenti tra attività interne al processo o tra processi diversi
- I vincoli che condizionano il processo, gli input e gli output;
- I clienti ed i fornitori del processo;
- Il responsabile del processo;
- Gli stakeholders.

### 2.4.3 Mappatura: BPMN

La mappatura dei processi consiste nell'applicazione di una metodologia finalizzata all'individuazione e alla modellazione dei processi aziendali e comprende varie tecniche di rappresentazione grafiche e testuali. Come già sottolineato nel precedente capitolo, gli elementi principali che compongono un processo sono: gli input e gli output del processo, le singole attività e le relazioni tra di esse, i soggetti che le attuano e, in particolare, i punti di decisione e le alternative che fanno sì che un processo si sviluppi in una direzione piuttosto che in un'altra. La mappatura dei processi, infatti, si consegue nella

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

scomposizione dell'organizzazione in attività elementari di facile comprensione, nella definizione di un modello di riferimento per i processi gestionali e nella ricostruzione, attraverso appropriate tecniche di modellazione, di una mappa dei legami logici tra le attività lungo i processi gestionali. Deve essere univoca rispetto alla visione aziendale, complessiva e condivisa in quanto coinvolge tutte le aree di business. Per la mappatura di questo processo si è scelto di utilizzare il Business Process Model and Notation (BPMN), ovvero una notazione di modellazione per processi di business definita dall'Object Management Group (OMG). Lo strumento nasce dalla necessità di definire un linguaggio di modellazione in grado di ridurre il gap tecnico presente tra le rappresentazioni dei processi tramite diagrammi di flusso e le descrizioni di queste ultime in un linguaggio di esecuzione. I diagrammi BPMN possono rappresentare diversi tipi di livelli di processo che si distinguono in:

- Private: ovvero rappresentare attività interne ad una singola organizzazione;
- Public: evidenziare le attività necessarie a comunicare verso strutture esterne, con i relativi messaggi;
- Global: rappresentare le interazioni tra due o più processi pubblici.

La versione 1.0 nasce nel 2006 proprio con l'obiettivo di fornire una notazione comprensibile dagli analisti che definiscono i processi, dagli sviluppatori che sono responsabili dell'implementazione tecnologica dei processi e dal middle management che gestiranno e terranno sotto controllo i processi. I punti di forza dello standard BPMN si possono riassumere nella semplicità dell'utilizzo, grazie alla notazione intuitiva come il flow chart, e l'immediatezza nella sua comprensione, grazie alla sua diffusione e conoscenza sia ad attori che ad organizzazione di diversi campi di applicazione. Utilizzando i formalismi grafici successivamente descritti è possibile modellare la maggior parte dei processi di business. Nello specifico si dividono in quattro macrocategorie: oggetti di flusso (Flow Objects), oggetti di connessione (Connecting Objects), Swimlanes e artefatti (Artifacts).

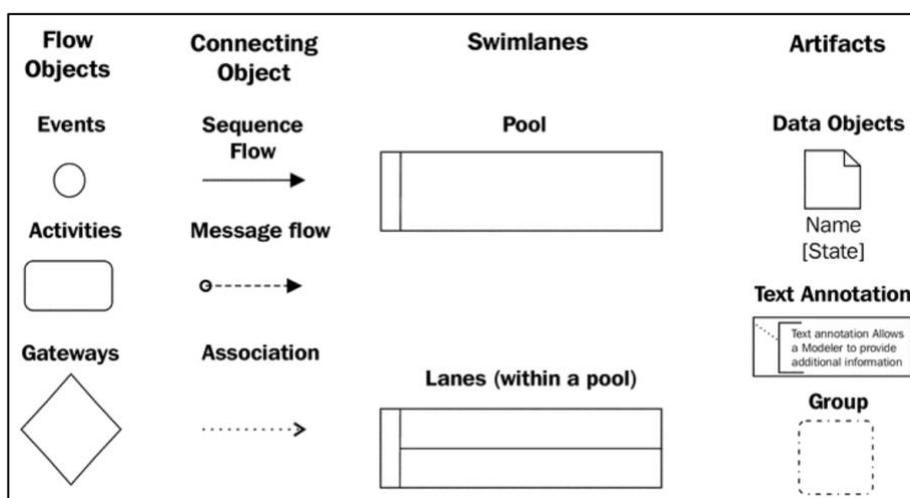


Figura 13: Rappresentazione grafica dei principali simboli connettivi e attività del BPMN.

Analizziamo gli oggetti grafici nel dettaglio:

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

- Evento, ovvero è qualcosa che accade durante il corso del processo di business. Questi eventi influiscono sull'esito del flusso del processo e solitamente sono caratterizzati da una causa (trigger) e da un effetto (result). Vengono rappresentati per mezzo di un cerchio e ne esistono tre di base: gli eventi di inizio, intermedi al processo e di fine.
- Attività, ossia un termine generico per indicare il lavoro che svolge una qualche entità. Un'attività può essere atomica o composta e i tipi che parte del modello di processo sono tre: il processo, il sottoprocesso e il task.
- Gateway, ovvero sia una figura che viene utilizzato per controllare la divergenza e la convergenza di un flusso di sequenza quando si determinano le operazioni di branching, di forking, di merging e di joining dei vari percorsi.
- Flusso di sequenza, utilizzato per mostrare l'ordine con cui vengono eseguite le attività all'interno del processo;
- Flusso di messaggio, impiegato per mostrare il flusso di messaggi tra due partecipanti che sono preparati a spedirli e riceverli;
- Associazione, adoperata per associare le informazioni con gli oggetti di flusso. Oggetti testuali e grafici non di flusso possono essere associati con quelli di flusso. Un'associazione può avere una direzione per indicare il destinatario delle informazioni che trasporta;
- Pool, rappresenta un partecipante in un processo. Inoltre, serve anche da contenitore grafico per partizionare un insieme di attività da altri pool;
- Lane, raffigura una sotto-partizione all'interno del pool che si estende per l'intera lunghezza del pool sia in orizzontale che in verticale. Viene utilizzato per organizzare e categorizzare le attività;
- Oggetto di dati, non ha alcun effetto sul flusso di sequenza o di messaggio, ma fornisce informazioni circa le attività che richiedono di essere eseguite oppure cosa esse producono;
- Gruppo, descrive un insieme di attività appartenenti ad una singola categoria. Dato che le categorie possono essere utilizzate per scopi di documentazione o di analisi, i gruppi rappresentano l'unico modo per visualizzarle all'interno del diagramma;
- Annotazione, ovvero un meccanismo per il modellista per fornire ulteriori informazioni a chi legge il diagramma.

Per lo scopo del BPMN di modellazione di un processo di business per il Business Process Management è necessario utilizzare una notazione più avanzata rispetto a quella finora descritta. In particolare, gli eventi possono avere una dimensione di flusso, ossia:

- "Inizio", indicano che un particolare processo ha inizio;
- "Fine", denotano la terminazione di un processo;
- "Message", designano che un messaggio è arrivato da parte di un partecipante oppure è il risultato dell'evento;
- "Timer", ovvero sono solo di tipo catching e rimangono in ascolto di un trigger temporale che decide il momento della loro esecuzione;

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

- "Signal", ossia viene inviato un segnale all'interno del processo che viene diffuso in modalità broadcast a tutti i partecipanti a differenza dei messaggi che hanno una sorgente e un destinatario definiti;
- "Terminate", vengono utilizzati per terminare immediatamente tutte le attività all'interno del processo.

Per quanto riguarda la loro tipologia essi possono essere di tipo "catching" se reagiscono a un qualche trigger che li metta in esecuzione, di tipo "throwing" se creano un qualche risultato oppure di tipo "non-interrupting" se eventi che non interrompono l'attività attuale. Ogni tipo di evento è indicato da un simbolo che ne identifica la funzione.



Figura 14: Rappresentazione dei principali eventi del BPMN.

### 2.4.4 Metodologia di sviluppo

La metodologia utilizzato nell'elaborato per mappare i processi si basa sulle nozioni e best practise del Business Process Modelling e permette di rappresentare i processi aziendali non solo analizzando la situazione attuale, detta "as-is" o modello di base ma anche di studiare lo scenario "to be", ovvero nuovi possibili scenari futuri in modo da rispondere con immediatezza alle variabili di mercato. La mappatura dei processi attuali, "as-is", e di quelli futuri, "to-be", si concretizza in due fasi di analisi nettamente distinte, che portano a conseguire i miglioramenti necessari per passare dallo scenario odierno a quello teorizzato. La metodologia si adatta sia ad interventi radicali di reingegnerizzazione dei processi aziendali, tipici della prima fase del BP management, sia di tipo incrementale, caratteristici del miglioramento continuo. Consente quindi di arrivare ad una completa rappresentazione della struttura organizzativa, sottolineando ed esplicitando le interazioni ed interrelazioni tra processi, organizzazione e contesto di riferimento, sempre orientata alla soddisfazione del cliente. Il management dovrebbe essere in grado comprendere quindi i seguenti punti chiave del processo:

- L'impiego delle risorse aziendali, umane, tecnologiche, e di struttura, ovvero ciò che viene realmente fatto;
- Le interdipendenze fra le diverse attività che compongono i processi;
- Il corretto mix e il livello di risorse da assegnare ai processi;
- Le attività che non aggiungono valore alla soddisfazione degli stakeholder.

### 2.4.5 Condivisione e monitoraggio

La condivisione e l'allineamento sono essenziali per il successo del BPM. Infatti, affinché un progetto sia veramente efficace, ogni singola parte di esso, ogni dipartimento, ogni processo, e ogni persona ad ogni livello, deve lavorare correttamente insieme, in quanto ogni individuo ed attività influenza ed a sua volta è influenzata dalle altre. Ognuno è un cliente all'interno dell'organizzazione e consuma beni o servizi forniti da altri fornitori interni. Gli errori all'interno del flusso organizzativo si ribaltano, di conseguenza, al prodotto o il servizio offerto cliente esterno. Si osserva come a monte di oggetti tecnicamente perfetti, ci siano le buone ed efficienti relazioni umane, coordinate verso obiettivi condivisi e alla piena soddisfazione del Cliente finale.

Come precedentemente delineato, gli obiettivi chiave di business, ovvero generalmente l'aumento del fatturato e l'incremento della quota di mercato, devono essere tradotti in risultati più semplici di processo, i quali contribuiranno a loro volta a generare gli effetti strategici definiti. Gli obiettivi di processo sono normalmente associati alla modalità in cui viene conseguito, ossia l'efficacia e l'efficienza: la prima consiste nel misurare quanto l'output del processo risponde ai bisogni e attese del cliente mentre la seconda è l'ottimizzazione delle risorse rispetto al prodotto realizzato. In un progetto di BPM è fondamentale determinarli e relazionarli nella fase preliminare, al fine di avere una chiara visione su quali siano i punti critici per il loro conseguimento. Inoltre, devono essere misurabili e monitorabili costantemente al fine di fissare una performance di riferimento, in modo da intervenire eventualmente sul processo con interventi preventivi e migliorativi. Ciascun indicatore così definito, per essere significativo e rappresentativo, deve godere delle proprietà basilari di:

- Validità, ovvero devono misurare effettivamente ciò che si intende valutare;
- Controllabilità, ossia devono riguardare aspetti che sono direttamente controllabili da chi governa il processo;
- Comprensibilità, ovverosia devono essere comprensibili a coloro che devono utilizzarli;
- Unicità, ovvero ogni indicatore deve rilevare un aspetto che nessun altro indice rileva;
- Tempestività, cioè le informazioni necessarie devono essere disponibili in tempo utile;
- Comparabilità, ossia deve essere possibile una comparazione nel tempo (over time) e/o nello spazio (cross section);
- Economicità, ovvero i benefici derivanti dall'indicatore devono essere superiori al costo della rilevazione.

## Capitolo 2 – Dalle attività al BPM

Risulta necessario quindi disporre dei KPI, Key Performance Indicator, facilmente chiari e interpretabili, sintetici ma al contempo completi, in quanto hanno anche la funzione di rappresentare un quadro d'insieme aggiornata delle performance aziendali.

# Capitolo 3

## Business Case: Caffitaly S.p.A.

In questo capitolo si analizzerà nel dettaglio l'azienda Caffitaly nella sua struttura organizzativa, nel mercato di riferimento e il suo principale fattore di differenziazione, ovvero la capsula System, anche in ottica di sicurezza alimentare. Inoltre, si esaminerà l'intero processo di produzione della capsule monodose, ossia dal caffè verde in grani, a quello prima tostato e poi macinato, fino ad arrivare al confezionamento e spedizione del prodotto finito.

### 3.1 Caffitaly S.p.A.

Caffitaly S.p.A. è una società con sede legale ed amministrativa a Gaggio Montano, in provincia di Bologna, che si occupa della produzione e vendita di caffè porzionato in capsula e macchine da caffè. L'azienda ha un fatturato di circa 170 milioni di euro con una produzione annua di svariate milioni capsule ed attualmente è partecipata da due fondi di private equity, ovvero la Cnp, Compagnie Nationale à Portefeuille di diritto belga, e Alpha Private Equity di diritto lussemburghese. La produzione ha luogo nei due stabilimenti in Italia, uno a Gaggio Montano e l'altro a Capriate San Gervasio in provincia di Bergamo, fabbrica di cui verte la relazione.

### 3.2 Mercato e target di riferimento

Caffitaly si posiziona nel segmento di mercato retail con il proprio brand, Caffitaly System, e professionale che come produttore per conto terzi. In questo caso il cliente può fornire il caffè, sia esso verde, tostato o già macinato, o un'altra tipologia di bevanda analcolica istantanea, come latte, orzo o thè. La vendita, invece, avviene sia tramite canali tradizionali, come negozi monomarca, 60 in Italia, e distributori plurimandatari, sia tramite e-commerce. L'azienda, quindi, è riuscita a coprire l'intera catena del valore della filiera, ovvero dalla tostatura e macinatura del caffè fino alla sua distribuzione e vendita

in capsule. Il sistema Caffitaly System è stato adottato da altri produttori, in particolare da Bewley's in Irlanda, Princess nei Paesi Bassi, Tchibo in Germania, Julius Meinl, Dallmayr, Caffè Cagliari in Italia, Crem Caffè, Chicco D'oro in Svizzera, Três Corações in Brasile, Coffee Bean & Tea Leaf negli Stati Uniti, MAP Coffee in Australia ed Espresso Club in Israele, nonché Löfbergs in Svezia.

### **3.3 Analisi di mercato**

Il mercato globale di caffè porzionato in capsule e cialde è un settore in forte crescita nell'ultimo decennio con una stima di valore nel 2025 di 23,8 miliardi di USD, con un CARG, tasso annuo di crescita composto, del 8,02%. L'industria è caratterizzata da una significativa concentrazione di aziende leader di mercato, come Nespresso, Keurig, Gloria Jean's Coffees, Nescafé, Nestlé, Lavazza A Modo Mio e Starbucks e da una forte differenziazione di prodotto. Quest'ultima si traduce in verticale con la segmentazione del mercato in essenzialmente due fasce di prezzo, una premium ed una low-cost, caratterizzate dall'utilizzo di diversi materiali di packaging, alluminio e plastica, e tipologie di caffè, robusta ed arabica, ed orizzontale con la creazione di differenti caffè, con o senza aroma, più intensi o leggeri, al fine di seguire i bisogni e le preferenze dei clienti. L'identità del marchio, inoltre, svolge un ruolo essenziale soprattutto per quelle aziende, come Nespresso e Starbucks, che sono riuscite a trasformare il semplice prodotto in un'esperienza ed in uno status symbol. Settore parallelo ma direttamente collegato e correlato è quello delle macchine d'erogazioni, ovvero il bene complementare con il quale l'utente finale riesce a soddisfare il suo determinato bisogno tramite l'utilizzo congiunto. Data l'assenza di uno standard comune di produzione, le aziende, per rendere il sistema chiuso e creare un vantaggio competitivo, hanno brevettato il design e la struttura della capsula e macchina in modo da creare una barriera all'entrata e non permettere a soggetti terzi di fornire prodotti compatibili. Inoltre, si è creato un forte switching cost per il consumatore, in quanto era essenzialmente obbligato, e quindi fidelizzato, a comprare le capsule esclusivamente per la macchina comprata e di conseguenza della medesima azienda. Il settore è stato quindi monopolizzato, almeno in Europa, per molti anni dalla prima azienda innovatrice ad entrare in questo mercato, ovvero la Nespresso, grazie al vasto parco macchine diffuso, fino al 2012 quando i brevetti hanno iniziato a scadere, consentendo quindi gradualmente ai competitor di offrire capsule e macchine compatibili al sistema proprietario.

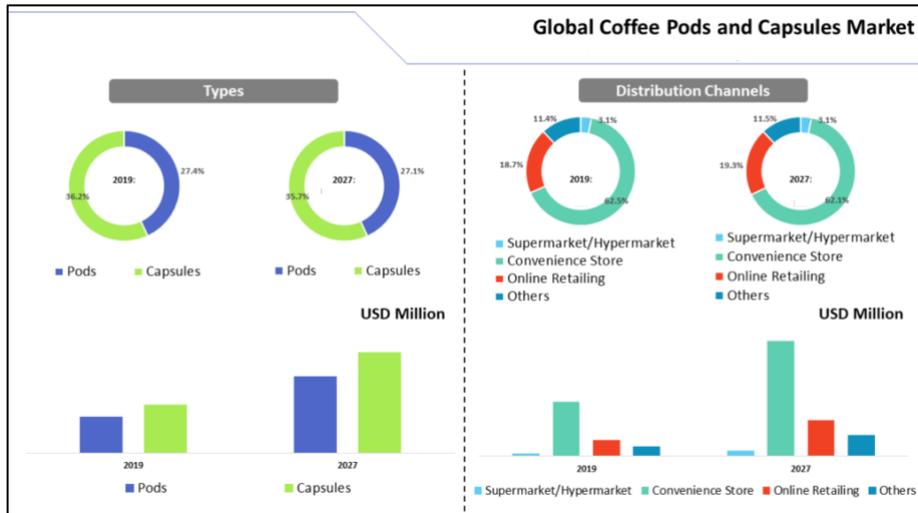


Figura 15: Mercato globale 2019-2027 della capsule e pods di caffè monodose

### 3.4 Capsula System

La capsula di Caffitaly di cui verte la relazione è la System ed è costituita dai seguenti componenti:

- la capsula esterna in plastica con uno specifico strato protettivo che ha la funzione di barriera contro l'ossigeno in modo da non modificare le proprietà del caffè e la sua resa in tazza;
- il filtro inferiore che garantisce la resa ottimale nella fase di estrazione;
- il caffè macinato;
- il filtro superiore che permette un'omogenea distribuzione dell'acqua in fase di erogazione;
- il top film che rende ermetica la capsula dall'atmosfera esterna.

La capsula viene normalmente confezionata in un box da 10 unità che a sua volta fa parte in un master lottizzato in pallet.



Figura 16: Rappresentazione della struttura della capsula Caffitaly System.

A differenza di altri competitor che producono esclusivamente per macchine d'erogazioni di terzi, la Caffitaly produce principalmente per il suo sistema proprietario e ciò permette di avere innumerevoli vantaggi sia di sviluppo e realizzazione che di performance del sistema integrato capsula-macchina. In questo modo si coniuga la qualità del caffè macinato con la tecnologia d'erogazione. Il funzionamento inizia con la pre-infusione che prepara il caffè macinato, bagnandolo in modo uniforme grazie al filtro superiore. Successivamente un sistema di doppia pressione permette di selezionare l'estrazione migliore, alta o bassa in base alle bevande, per un risultato in tazza sempre ottimale.

Il caffè è un alimento tendenzialmente stabile da un punto di vista di rischio microbiologico e le principali contaminazioni sono legate alla presenza di microrganismi non patogeni, esclusi i rari casi causati da una non corretta applicazione delle norme igieniche da parte del personale, come *Salmonella spp* e *E.coli*. I rischi maggiori per questo prodotto sono rappresentati dalle componenti chimiche sia di origine naturale come la presenza di cataboliti tossici (Aflatossina e Ocratossina A) sia di processo come la formazione di acrilammide dai processi di tostatura.

### **3.5 Struttura stabilimento**

Lo stabilimento di Capriate San Gervasio è composto per quanto riguarda lato produzione e Qualità da:

- Magazzino automatizzato, dove le materie prime, pallettizzate a dimensioni standard, sono stoccate verticalmente in automatico e pronte per essere prelevate per approvvigionare la linea di confezionamento, grazie all'utilizzo di una flotta di navette satellite di trasporto autonoma;
- Area accettazione merci, dove le materie prime, prima di essere stoccate a magazzino, sostano per il controllo e l'approvazione della qualità;
- Area tostatura caffè verde, in cui il caffè verde in grani viene tostato tramite l'utilizzo di tostatrici a tamburo rotante;
- 2 Aree macinatura caffè tostato, in cui il caffè tostato in grani viene macinato tramite macinatori a due o tre stadi;
- Area confezionamento e packaging capsule, dove il caffè tostato e macinato viene dosato automaticamente nelle capsule e successivamente impacchettato in box e pallet;
- Laboratorio degustazione e area qualità, in cui si svolgono i principali controlli sia organolettici che tecnici sulle capsule di prodotto finito e sul caffè verde, macinato o tostato.

### **3.6 Processo di produzione: dal caffè verde alla capsula confezionata**

Il processo di produzione può essenzialmente essere riassunto nelle fasi di:

- approvvigionamento materie prime e semilavorati;
- tostatura;
- macinatura;
- confezionamento in capsule e packaging;
- spedizione al cliente finale.

### Capitolo 3 – Business Case: Caffitaly S.p.A.

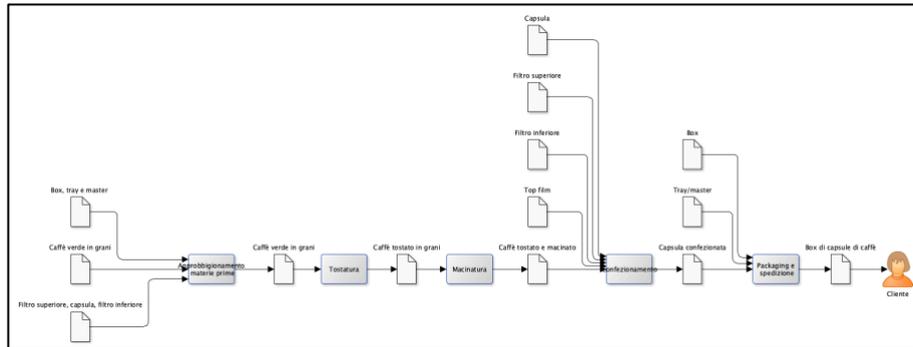


Figura 17: Flow Chart del processo di produzione dal caffè verde alle capsule monodose

La supply chain inizia normalmente con l’approvvigionamento, in base ad una pianificazione settimanale, dei materiali essenziali che compongono la distinta base del prodotto finito. Questa fase si differenzia rispetto alla tipologia del prodotto in entrata, ovvero se sia alimentare, e alla dimensione del pallet del lotto. Nel primo caso le partite di articoli non alimentari, dopo aver superato i primi controlli di qualità, come igiene del mezzo di trasporto ed integrità della merce, sono etichettate singolarmente, al fine di garantire la completa tracciabilità del lotto, e scaricati nel magazzino di riferimento: se sono di dimensioni standard allora sarà il nastro trasportatore del magazzino automatizzato, altrimenti verranno depositati, attraverso l’utilizzo di muletti, nel magazzino esterno. Per quanto riguarda invece il caffè verde in grani, nel caso in esame l’unico prodotto alimentare presente, questo arriva nello stabilimento in sacchi di juta o in “Big Bag”, per essere depositato dagli operatori nel magazzino interno tramite una logica FIFO. Dopo essere stata registrata sul sistema informativo aziendale, SAP, ed aver effettuato i primi controlli di qualità, come condizione del sacco ed igiene generale, viene versato nella cosiddetta “buca”, ovvero una fossa di collegamento, dove passa un processo di spietatura e spazzolatura, al fine di eliminare ogni materiale indesiderato con un peso specifico di circa superiore ad un grammo, come legni o sassi. Successivamente, tramite condutture pressurizzate presenti in tutto lo stabilimento, i chicchi di caffè arrivano in una prima fase al silo di stoccaggio, che ha la funzione di conservazione e protezione, mentre in una seconda fase, in base all’ordine di produzione, al silo di giornata, che invece ha la funzione di buffer per la tostatura. In questo reparto avviene la trasformazione dell’alimento crudo in caffè tostato tramite l’utilizzo di una tostatrice, usualmente a tamburo rotante, in base ad una curva di tostatura specifica, ovvero una particolare combinazione di velocità, tempo e temperatura, che rappresenta per l’azienda la ricetta segreta industriale. A seguire il prodotto viene raffreddato per quercing, ovvero tramite l’aggiunta di acqua, e attraverso una vasca d’aria al fine di riportare i chicchi a temperatura ambiente nel più breve tempo possibile in modo da evitare che il prolungarsi della tostatura porti note di amarezza e sentori di bruciato al prodotto. Il caffè quindi viene ulteriormente spietrato, in questo caso per eliminare i possibili elementi indesiderati con un peso superiore circa a 0,3 grammi, e spostato in un secondo silo di stoccaggio che ha la funzione di buffer alla macinatura. Dopo aver superato un controllo di produzione sul tempo in riposo intercorso in silo, il tostato passa sotto un magnete, come da normativa

sulla sicurezza alimentare e per la protezione della macchina macinatrice, in modo da escludere ogni componente ferrosa e giunge al macinatore a due o tre stadi che riduce notevolmente la dimensione dei chicchi fino a circa 400/500 micron. Il caffè macinato, a questo punto, è pronto per essere depositato nell'ultimo silo di stoccaggio, che ha sia la funzione di polmone/buffer al confezionamento sia di degassaggio, ovvero il caffè deve essere lasciato per un lasso di tempo predefinito che può variare dalle otto alle ventiquattro ore a riposare al fine di rilasciare CO<sub>2</sub>. Questo naturale processo viene velocizzato tramite l'immissione di azoto ed è fondamentale per il corretto confezionamento perché, senza di esso, il caffè rischierebbe di rilasciare il gas nella capsula ermetica. Ciò provocherebbe il rigonfiamento eccessivo del top film fino ad un suo possibile cedimento, originando un contatto diretto tra il prodotto e l'atmosfera esterna con il risultato di ossidarlo e quindi peggiorare la sua resa in tazza. Il caffè tostato e macinato, dunque, passa alla linea automatizzata di confezionamento, dove viene distribuito dal dosatore nella capsula sopra il filtro inferiore precedentemente approvvigionati e posizionati sul transfer e pressato tramite il tastatore. Il semilavorato passa poi sulla linea una serie di operazioni, come la puntatura del top film e la conseguente saldatura, fino ad arrivare prima al "isola carico box" in cui viene inserito nei box anteriormente formati e dopo all'incassatrice dove le scatole vengono riempite con i box appena chiusi; infine, le scatole sono pallettizzate in base al lotto di appartenenza e pronte per la spedizione.

# Capitolo 4

## Pianificazione generale

In questo capitolo, si descriverà rapidamente la prima fase del Business Process Management, la pianificazione, essenziale per il successo del progetto in quanto fondamentale per ridurre in modo efficiente le naturali asimmetrie informative presenti all'avvio e per individuare chiaramente lo scopo principale del BPM. L'efficacia del miglioramento, l'ottimizzazione costante dei processi sul lungo periodo, è direttamente influenzata dall'organizzazione e concezione preliminare del cambiamento.

### 4.1 Contesto di cambiamento

L'azienda nell'ultimo anno ha avuto un forte incremento della produzione, causato dall'improvvisa crescita della domanda di capsule in quanto i consumatori non potendo prendere il caffè fuori casa, causa dell'emergenza sanitaria Covid-19, hanno spostato i propri acquisti sul settore domestico. Ciò ha messo tutti i processi aziendali sotto pressione, sia per la rapidità che per il volume delle richieste, evidenziando tutti i limiti fisici e tecnologici delle attività operative. Per far fronte a queste problematiche, il top management ha deciso un drastico cambiamento a 360° della struttura organizzativa e gerarchica, partendo dalle risorse umane, tramite nuove assunzioni e turn-over di middle manager, dal sistema informativo aziendale e per arrivare alla reingegnerizzazione ed integrazione dei processi.

### 4.2 Obiettivo

Il progetto nasce con lo scopo di riorganizzare l'intero processo di produzione in modo da adattarlo ai fattori esterni ed interni che nel corso degli anni hanno ampiamente influenzato il flusso ma non sono stati correttamente integrati e formalizzati. L'argomento di cui verte la tesi è una minima parte di questa trasformazione ma trasversale per tutto il ciclo produttivo, ovvero il sistema gestione qualità, declinato in controllo e

pianificazione. L'obiettivo è quindi di ottimizzare, formalizzare ed integrare il macro-processo di controllo qualità in tutte le fasi di produzione in modo da renderlo un flusso omogeneo di informazioni interconnesse fra di loro. La pianificazione si è quindi suddivisa in tre sub-progetti corrispondenti a tre aree di lavoro, ossia la tostatura, la macinatura e il confezionamento. In ogni fase si sono ripetute le fasi del Business Process Management precedentemente studiate, ovvero pianificazione, mappatura e monitoraggio, mentre per la raccolta dati si è preferito, per ragioni pratiche di tempo, di unificare l'attività, con il vantaggio che il periodo di apprendimento e le naturali asimmetrie informative, parallelamente all'avanzamento dei progetti, sono diminuite progressivamente a beneficio della visione globale e quindi delle sinergie tra i processi. Oltre alle novità operative sono necessarie importanti attività di formazione, in quanto ogni cambiamento per essere efficiente ed efficace deve partire dalla cultura, in questo caso della qualità, all'interno dell'organizzazione in modo da influire i comportamenti, le competenze e i valori delle risorse umane al fine di assimilare i concetti teorici nella routine quotidiane.

### 4.3 Raccolta dati

La raccolta dati è una fase vitale del BPM in quanto permette di ridurre le naturali asimmetrie informative e comprendere del dettaglio i processi per ottenere tutte le informazioni necessarie a mappare correttamente le attività. Questo step, causa emergenza sanitaria Covid-19, è stato completamente realizzato in modalità smartworking, ovvero in remoto tramite l'utilizzo di software di comunicazione, come Microsoft Teams, e di supporto tecnico, come VPN, in modo da avere accesso alla rete privata aziendale. Questo comporta che, almeno in un primo momento, non si mai potuto osservare direttamente lo stabilimento, compreso di logistica interna, tostatura, macinatura e confezionamento, né il lavoro, e il relativo comportamento, degli operatori di produzione. Si è dunque partito nell'analizzare i documenti e le procedure sulle cartelle condivise in modo da iniziare a farsi un'idea generale dell'azienda prima di procedere con le interviste al personale manageriale ed operativo. In particolare, ci si è focalizzati quindi sui documenti ed allegati per le certificazioni aziendali come:

- ISO 9001, sistema di gestione della qualità;
- BRC, global standard food standard nei capitoli 6.1 e 6.3.
- HCCP, sistema di analisi dei rischi e punti di controllo critico<sup>L</sup>;
- IFS, standard per gli audit dei fornitori di prodotto a marchio dei distributori nel capitolo 4.8.

Successivamente si sono esaminati i materiali legati direttamente ed indirettamente alla qualità, come per esempio:

- Procedure formalizzate;
- Piano di controllo in produzione;
- Struttura contratti di fornitura, focalizzandosi sulle caratteristiche e proprietà, con i relativi limiti di specifica dichiarati al cliente;
- Report aziendali;
- Registrazioni del SIA.

## Capitolo 4 – Pianificazione generale

Successivamente si è passato ad intervistare, sempre in remoto con l'utilizzo di Microsoft Teams, i responsabili del processo di produzione, di controllo qualità e del IT, ossia si sono mappate sia le attività di fabbricazione del caffè macinato che di confezionamento e packaging della capsula finita, parallelamente interconnesse con le verifiche di prodotto e di processo. Ci si è concentrati sui temi di:

- Flusso dei componenti, ossia input ed output di ogni attività;
- Flusso delle informazioni, declinata in registrazione e tracciamento delle attività e comunicazione con le altre aree di produzione e di supporto;
- Software utilizzati e sistema informativo aziendale;
- Responsabilità del processo;
- Gestione delle possibili eccezioni e non conformità;
- Interventi umani ed automatismi;
- Tempistiche di ciclo di produzione, utili per identificare colli di bottiglia e comprendere il Lead Time;

# Capitolo 5

## BPM: controllo qualità in confezionamento

In questo capitolo si descriverà l'attività di miglioramento applicata al processo di controllo qualità in confezionamento, ovvero quello che inizia con il caffè tostato macinato e termina con le capsule monodose imballate. In particolare, si concentra sul progettare un nuovo modello di piano di controllo basato sulle evidenze dell'analisi statistica delle capability e sulle verifiche anticipate a monte sul processo e non sul prodotto. Si conclude con l'esposizione dei risultati ottenuti e dei possibili sviluppi futuri che si potrebbero applicare in un'ottica di Lean Manufacturing.

### 5.1 Obiettivo

L'obiettivo è progettare e convalidare un nuovo modello di controllo qualità sul processo di confezionamento, rispetto a quello attuale strettamente sul prodotto finito, sia per quanto riguarda le verifiche che il metodo e gli strumenti operativi, al fine di ridurre il tempo di riscontro delle non conformità e conseguentemente il numero di capsule difettose, aumentare l'FTQ ed incrementare il livello di qualità dei controlli effettuati. Il processo è quindi quello del confezionamento che parte dall'approvvigionamento in linea dei materiali a distinta base, tra cui il caffè macinato, e termina con la creazione della capsula e il relativo packaging.

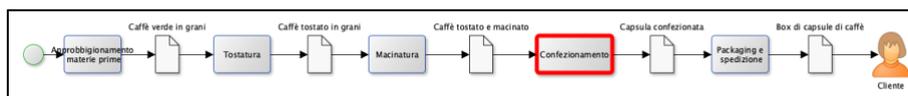


Figura 18: Flow Chart del processo di produzione delle capsule di caffè monodose

### 5.2 Process owner ed organizzazione

La responsabilità del progetto è in sede alla qualità, come ente operativo e di riferimento, mentre la produzione, così come l'IT, ha la funzione di supporto e di informazione degli

aggiornamenti. Si è creato un gruppo di lavoro interdisciplinare per ridurre le asimmetrie informative e migliorare la comunicazione. In particolare, è composto dal responsabile della qualità del sistema di gestione, dello stabilimento e del confezionamento, oltre a quello della produzione.

### 5.3 Metodologia

Si è attuata un'analisi statistica della capacità di processo di due referenze distinte di prodotto finito tramite l'utilizzo di un software di elaborazione statistica, ossia Minitab. Prima di procedere con la fase dell'elaborazione statistica, è necessario rendere i dati fruibili, ovvero gestibili e consistenti per il programma. Ciò consiste nell'analizzare ed individuare le variabili di nostro interesse, ovvero selezionare quali colonne utilizzare sui file di registrazione, e con il corretto ordine di grandezza. Un esempio è il campo "Data" dove sul SIA viene memorizzata nella medesima cella la data nel formato "DD/MM/YYYY" e l'orario nel formato "HH:MM:SS". Questo ordine di precisione, per i fini di questa analisi, è eccessivo in quanto non ci permette di categorizzare le registrazioni al fine di apprezzare correttamente la variazione delle variabili o una possibile tendenza rispetto, in questo caso, al fattore "Tempo". Si è quindi estratto esclusivamente il valore "Mese" e "Anno", separati da uno "/", con le rispettive formule built-in.

Inoltre, per ottenere un risultato solido e statisticamente significativo, è fondamentale comprendere prima di tutto la bontà del dataset e le caratteristiche della distribuzione del campione. Per far ciò ci è quindi concentrato in una prima fase sull'osservazione dei dati, sia in modo analitico che grafico, utilizzando le funzioni native di Minitab, come "Graphical Summary" e "Display descriptive Statistics", che hanno permesso di individuare ed eliminare tutti quei valori impossibili dovuti principalmente ad errori di inserimento, grazie anche all'aiuto e all'esperienza del Responsabile CQ. In particolare, l'analisi si è quindi focalizzata sullo studio delle seguenti caratteristiche:

- Media, ovvero la somma di tutte le osservazioni divise per il numero delle osservazioni. Questa misura è un primo indicatore per capire il processo ma presa singolarmente potrebbe essere affetta da valori outlier che influenzano la simmetria della distribuzione;
- Deviazione standard, ovvero la dispersione dei dati rispetto alla media;
- Minimo, ovvero il valore minimo dei dati utile per identificare outlier o errori di input;
- Massimo, cioè il valore massimo dei dati utile per identificare outlier o errori di input;
- Mediana, ossia il valore midpoint in cui metà delle osservazione è sopra di esso e metà è sotto, calcolato come il numero prossimo a  $[N+1]/2$  con i dati ordinati in modo crescente;
- N° di osservazione, ovvero il conteggio dei valori non nulli, o mancanti, utile per avere un'idea della solidità dei risultati.

Per quanto riguarda le caratteristiche della distribuzione del campione, si è utilizzato la funzione "Individual Distribution Identification" che permette di identificarle ed associarle ad una distribuzione nota. Ciò è fondamentale in quanto le elaborazioni

successive, come quella sulla capacità del processo, si basano sull'ipotesi che i dati seguono una particolare curva. Questa operazione fornisce i grafici di probabilità e test di goodness-of-fit che permettono quindi di determinare quale delle 14 distribuzioni note a priori si adatta meglio ai nostri dati e, se esiste, una trasformazione efficace per adattarli ad una normale. Per far ciò, Minitab calcola per ogni distribuzione e trasformazione il test di Anderson-Darling e il p-value con l'ipotesi  $H_0$  che i dati seguono la distribuzione e  $H_1$  che i dati non seguono la distribuzione in esame. Naturalmente, per assicurare che i risultati siano validi, i dati devono essere continui, ovvero valori numerici in un intervallo della scala continua, e il campione dovrebbe essere stato selezionato in modo casuale, al fine di rappresentare realmente la popolazione. I risultati di questa funzione sono essenzialmente due:

- Grafico di probabilità, che permette di osservare visivamente quanto i nostri dati si avvicinano alla distribuzione, ovvero se la distribuzione in esame si adatta bene ai dati, i valori cadranno nell'intorno alle curve di adattamento.
- P-value come misura del goodness-of-fit, che permette di confrontare le singole distribuzioni rispetto al livello di significatività, usualmente denominato come  $\alpha$  o alpha e di valore 0,05. Se P è minore di  $\alpha$ , allora si può rifiutare l'ipotesi nulla  $H_0$  e concludere che i dati non seguono la distribuzione. Se invece P è maggiore, allora non si può rifiutare  $H_0$  in quanto non ci sono evidenze per stabilire che i dati non seguono la distribuzione. Si assume quindi che la distribuzione si adatta bene ai dati. Chiaramente un livello di significatività del 0,05 indica che esiste un rischio del 5% di concludere erroneamente che i dati non seguono la distribuzione quando invece la seguono.

### 5.3.1 Analisi del processo

Dopo aver studiato il dataset rispetto alle sue caratteristiche statistiche elementari e compreso la natura della distribuzione, si analizza ora il processo dal punto di vista della Qualità per trarne informazioni utili a comprendere il comportamento e le performance, ovvero la sua Capability. L'elaborazione si concretizza quindi in prima battuta con la determinazione della capacità del processo di generare output che incontrano i requisiti del cliente e valutare le opportunità di miglioramento. Per far ciò, è necessario indicare i limiti di specifica inferiore, LSL, e/o superiore, USL, per definire i requisiti del processo. L'analisi valuta, rispetto ai suddetti valori, la dispersione, la capacità e la centratura rispetto al target di riferimento, ovvero sia il  $C_p$  e  $C_{p,k}$ . Inoltre, viene calcolata la difettosità media del processo tramite il PPM, Parti Per Milione, ovvero il numero previsto di pezzi, in questo caso per semplicità di lettura rispetto al milione di parti, che hanno misure inferiori, o superiori, rispetto al LSL o USL, calcolato utilizzando la overall deviazione standard. Ciò significa che non ci si concentra sullo studio dei dati osservati ma, a tendere, si valuta il processo rispetto alla distribuzione statistica più prossima a quella reale. Per questo è fondamentale saper identificare, tramite la funzione precedentemente descritta "Individual Distribution Identification", la curva di distribuzione e saper interpretare correttamente i grafici e gli indicatori di goodness of fit. Una volta analizzata la capacità del processo si è passata all'analisi dei possibili fattori che influenzano le proprietà esaminate, come peso della capsula, residuo di ossigeno o erogazione, ovvero se esiste un particolare sottogruppo di dati, simili per caratteristiche,

dove i valori osservati creano una tendenza o semplicemente un andamento non casuale. Per far ciò, è necessario stratificare puntualmente le registrazioni, tracciare le informazioni ed individuare correttamente le caratteristiche statistiche di ogni gruppo analizzato. Generalmente le caratteristiche del prodotto finito si sono stratificate rispetto ai fattori di clusterizzazione presenti nel record di registrazione di:

- Codice prodotto;
- Lotto;
- Linea di produzione;
- Data di produzione.

Per quanto riguarda il peso della capsula si è aggiunta la variabile della linea di dosatura, per l'ossigeno la linea di saldatura e, infine, per l'erogazione la macchina di prova. Prima di fare qualsiasi analisi è fondamentale identificare, per ogni gruppo, la distribuzione della popolazione in quanto le successive elaborazioni lavorano correttamente con distribuzioni normali seppur tollerano abbastanza bene la violazione dell'assunzione di normalità a meno che siano presenti casi di forte asimmetria o eccessive differenze di dispersione. Il secondo passo è verificare l'eguaglianza della varianza tra diverse popolazioni o livelli di fattorizzazione dato che l'analisi che andremo ad eseguire assumono che, sebbene diversi campioni possano provenire da popolazioni con medie diverse, essi abbiano la stessa varianza. Per far ciò utilizziamo la funzione nativa di Minitab "Test for equal variances" inserendo il fattore di stratificazione, come per esempio la linea di produzione, e la caratteristica analizzata, come il peso della capsula, con le classiche ipotesi  $H_0$ , tutte le varianze sono uguali, e  $H_1$ , almeno una varianza è diversa. Minitab ci mostrerà un grafico di comparazione per ogni gruppo analizzato e una serie di test con relativi p-value in base alle caratteristiche dei fattori e della popolazione. Come sempre riteniamo significativo un valore superiore ad  $\alpha = 0,05$ . I risultati che possiamo osservare possono essere:

- Multiple comparisons, o Levene's method, utilizzati per la maggior parte delle distribuzioni continue con un errore di tipo 1 assimilabile al livello di significatività scelto. In caso di popolazioni con meno di 20 osservazioni e con una forte asimmetria è consigliabile basare le proprie conclusioni sul secondo metodo;
- F-test o Bartlett's test, utilizzati esclusivamente per le distribuzioni normali e rispettivamente con esattamente 2 gruppi e 3 o più livelli di fattorizzazione.

A questo punto è possibile procedere con l'ANOVA, ovvero l'analisi della varianza in modo da testare se la media di due o più popolazioni è uguale. Il software valuta l'importanza di uno o più fattori confrontando la variazione delle medie rispetto ai diversi livelli dei fattori. L'ipotesi nulla,  $H_0$  afferma che tutte le medie della popolazione (medie dei livelli dei fattori) sono uguali, mentre l'ipotesi alternativa  $H_1$  afferma che almeno una è diversa. Come sempre riteniamo significativo un valore superiore ad  $\alpha = 0,05$ . Inoltre, in base al risultato del test dell'uguaglianza delle varianze, è possibile applicare diverse procedure di confronto, come Turkey, Fisher e Dunnett o Games-Howell, per determinare se i gruppi provengono da popolazioni più grandi con caratteristiche comuni.

Infine, è possibile osservare tutte queste analisi anche graficamente grazie al “Main Effect Plot” che, seppur meno preciso, è di più facile lettura ed interpretazione in quanto se il pattern è orizzontale allora ogni fattore influenza la caratteristica nello stesso modo, e la media di essa è la medesima per tutti i gruppi; se invece la linea è per esempio inclinata allora sussiste una differenza ma, senza i relativi test, non possiamo conoscere se sia statisticamente significativa o meno.

## 5.4 Indicatori

I principali indicatori utilizzati per verificare e convalidare il progetto sono la capacità del processo, declinate in limiti di tolleranza e controllo e centratura, rispetto al peso medio delle capsule, ossigeno ed erogazione, oltre naturalmente all’analisi di correlazione e regressione. Inoltre, si è valutata l’adeguatezza del tempo medio tra due cicli di controlli e la rapidità di individuazione delle eventuali derive del processo tramite l’applicazione delle carte di controllo X-R.

## 5.5 Mappatura: situazione “as is”

La mappatura si è concentrata sul processo di produzione e controllo qualità in confezionamento, inteso rispettivamente come l’insieme delle attività operative per la formazione della capsula di caffè monodose e il flusso informativo della qualità. Ciò in modo da avere una visione globale del livello di automazione della linea di produzione, degli interventi umani e dei possibili colli di bottiglia e limiti fisici delle macchine utilizzate.

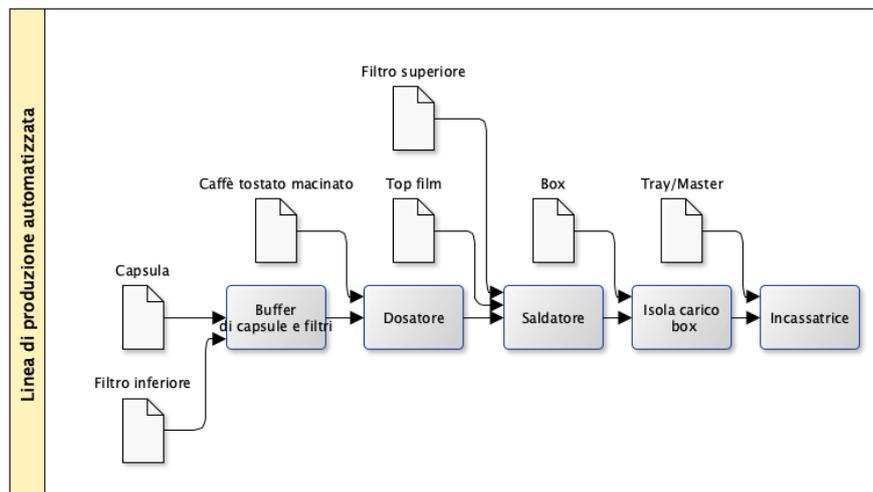


Figura 19: Flow Chart del processo di produzione in linea delle capsule di caffè monodose

La linea automatizzata presa in esame si occupa del confezionamento e packaging delle capsule System ed è sub-composta dalle seguenti macchine che rappresentano il flusso dalle materie prime al prodotto finito:

- Dosatore volumetrico, ha la funzione di dosare la corretta quantità di caffè tostato macinato da inserire nella capsula;

- Saldatore, ha lo scopo di punzonare preliminarmente il top film e la capsula per fissare il top film e la capsula e successivamente per saldare i due componenti al fine di ottenere una chiusura ermetica;
- Isola carico box, ha la funzione di creazione e riempimento del box da un foglio prestampato e il corretto stampaggio di tutte le stampe ed informazioni legali, come per esempio la data di scadenza del prodotto;
- Incassatrice, ha lo scopo di impacchettare il box precedentemente formato nel tray o master e successivamente di pallettizzarlo con rinforzi e supporti per la spedizione e le rispettive etichette di trasporto.

### 5.5.1 Piano di controllo attuale

Il piano di controllo è un documento che riassume brevemente le responsabilità, la frequenza di campionatura e l'obiettivo di tutte le verifiche che vengono effettuate in modo tale da avere una visione globale ma sintetica. In Caffitaly i controlli sono essenzialmente di tre tipologie ed interessano le capsule, i box, i master e i pallet:

- Documentali, ovvero la corrispondenza tra le informazioni della distinta di base con i materiali in linea di produzione;
- Funzionali, ovverosia la funzionalità del prodotto rispetto alle specifiche tecniche, come portata del caffè macinato in capsula o apertura del box.
- Estetiche, ossia l'estetica grafica degli articoli, come grafica del top film, omogeneità del colore sul box e dimensioni.

Focalizzandoci sulle verifiche funzionali, le principali consistono in:

- Peso, il controllo sussiste nel pesare un numero di capsule predefinito tramite una bilancia correttamente azzerata al fine di verificare il peso netto del caffè macinato. Per far ciò, l'operatore deve calcolare la tara del prodotto finito con la seguente metodologia: procede con prendere tre capsule precedentemente vuotate; calcola la media e prende come riferimento la capsula reale che si avvicina maggiormente al valore medio. Successivamente azzerata la bilancia con la capsula vuota di riferimento e procede con la verifica;
- Peso box, il controllo si basa nel pesare un numero di box confezionati predefinito tramite una bilancia correttamente azzerata al fine di verificare il peso netto del caffè macinato. Per far ciò, l'operatore deve calcolare la tara del prodotto finito con la seguente metodologia: procede con prendere il peso dei singoli componenti della capsula, calcolato precedentemente per il controllo del peso, e lo moltiplica per il numero di capsule presenti nel box. Successivamente aggiunge il peso del box, con la relativa colla, prelevato direttamente dalla linea di produzione;
- Erogazione, il controllo consiste nel pesare la quantità di caffè erogato in un tempo predefinito al fine di verificare la resa in tazza del prodotto finito. Per far ciò l'operatore, precedentemente azzerata la bilancia rispetto alla tara del contenitore di prova, inserisce la capsula confezionata nella macchina d'erogazione; preme il relativo pulsante di funzionamento; aspetta la fine dell'erogazione e misura sulla bilancia il peso della quantità di caffè ed eventualmente ne calcola la portata;

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

- Ossigeno, Il controllo sussiste nel misurare il residuo d'ossigeno presente nel prodotto confezionato in modo da assicurare l'assenza di microperdite e la corretta conservazione delle proprietà organolettiche del caffè macinato. L'operatore prende quindi un determinato numero di capsule e tramite un analizzatore di gas, nello specifico di ossigeno, inserisce nella parte superiore del prodotto, ovvero dal lato del film, il relativo ago di monitoraggio; preme il pulsante di funzionamento dello strumento di misura ed attende il risultato del monitoraggio;
- Granulometria, il controllo si realizza nel misurare la granulometria presente nel caffè tostato e macinato in modo da verificare che la dimensione dei grani sia nei limiti di specifica e la successiva erogazione sia conforme. L'operatore prende quindi un campione uniforme di caffè appena macinato e, tramite un granulometro, misura sia la granulometria che le polveri.

La responsabilità è affidata alla Qualità, declinata in laboratorio e controllo, e alla Produzione mentre la frequenza è suddivisa in numero di pezzi di campionatura e cadenza dei controlli, nello specifico a cicli di tempo predefiniti. In particolare, la qualità si occupa macroscopicamente delle verifiche di inizio turno, delle tempistiche del caffè macinato e del prodotto finito mentre la produzione, anch'essa, dei controlli a inizio lotto e turno, sulla capsula finita, sul box e sul tray/master.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

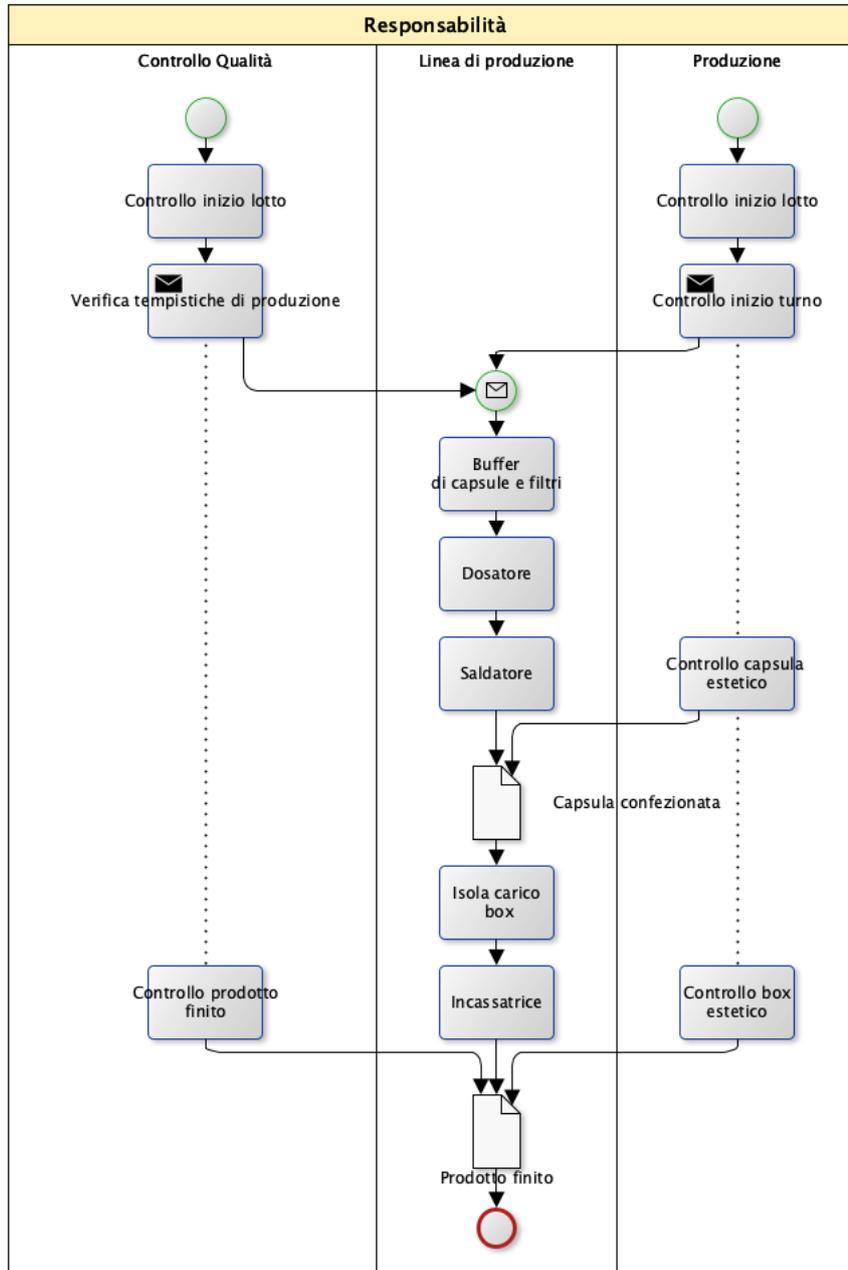


Figura 20: Flow Chart della situazione attuale del controllo qualità in produzione

Dal punto di vista concettuale, il processo attuale non rispetta le buone pratiche descritte dal TQM. Infatti, il piano di controllo teorico attuale è evoluto nel corso degli anni per fronteggiare le nuove problematiche rilevate dai clienti, dal mercato o dalla produzione. Quando quindi si rilevava una non conformità diffusa sui lotti confezionati si cercava logicamente la causa chiave ma nel frattempo si tamponava il processo tramite l'inserimento di controlli aggiuntivi temporanei a valle del processo effettuati dalla Qualità, mirati esclusivamente a identificare la suddetta difettosità. Questi controlli supplementari, inseriti all'origine come emergenza per garantire la conformità del

prodotto, sono nel tempo diventati ordinari, incentrando fortemente i controlli sul prodotto. Questo metodo di risoluzione ha quindi snaturato le logiche classiche di Lean Manufacturing per minimizzare gli sprechi, in quanto vengono prodotte capsule, e di conseguenza anche interi lotti, non conformi e ciò aumenta il tasso di scarto e di rilavorazione, oltre ovviamente alla diminuzione di efficienza, di valore e di efficacia dei controlli. Efficienza in quanto invece di migliorare il processo, ovvero il ciclo di produzione, tramite per esempio l'introduzione di regole e piani dinamici integrati e coordinati con la qualità, manutenzione e produzione si è optato di aggiungere una serie di controlli per tamponare le non conformità e non rischiare il loro arrivo sul mercato e al consumatore, con relativa perdita di immagine e fidelizzazione; valore in quanto bloccare i lotti non conformi a valle del confezionamento provoca la loro rilavorazione e, in extremis, il loro scarto con una diminuzione di produttività ed un aumento esponenziale dei costi di non qualità. In alternativa, l'azienda è costretta a liberare in deroga le capsule prodotte con il rischio però di avere dei reclami da parte del cliente; efficacia in quanto le risorse umane della qualità sono assorbite nell'attività di controllo, ovvero in operazione non a valore aggiunto rispetto agli eventuali progetti di miglioramento continuo, identificazione delle cause radici e audit di processo. Inoltre, grazie alle interviste con i vari reparti di produzione e di Qualità per mappare il processo, si è subito osservato che il piano di controllo teorico, declinato nella sua frequenza e quantità di campionatura, non è applicato in modo regolare e pragmatico in quanto alcune delle verifiche presenti non sono sempre effettuate per mancanza di risorse umane, di tempo o degli stessi campioni di produzione.

### 5.5.2 Criticità rilevate

Come si evince dalla rappresentazione grafica del piano di controllo, sussistono una serie di verifiche ripetute dalla produzione e dalla qualità sulle medesime caratteristiche del prodotto finito. In particolare, si osserva una duplice presenza del controllo funzionale delle microperdite sulle capsule prodotte. Ciò ne scaturisce una ridondanza che non crea beneficio per la qualità generale del processo bensì un'efficienza in quanto si spreca tempo utile, soprattutto della qualità, in attività già ripetute nello stesso intervallo di tempo, inizio lotto, dall'operatore di linea. Inoltre, si aumenta lo scarto di produzione a discapito della produttività. I controlli doppi, eseguiti in questo modo, non assicurano l'efficacia della rilevazione di una possibile non conformità in quanto il metodo operativo non viene verificato da nessun ente aziendale con quindi un'alta probabilità di riscontrare sensibilità e modi d'agire, con conseguenti falsi positivi o negativi, differenti da operatore a operatore.

Escludendo i controlli estetici e sulle microperdite effettuati dagli operatori in linea, la maggior parte delle verifiche funzionali sul corretto funzionamento della linea di produzione, è effettuata in differita a valle del confezionamento, ovvero quando i box sono già impacchettati nei pallet. Ciò crea due inefficienze: da una parte il controllo non in real-time causa un ritardo nelle rilevazioni di derive del processo e quindi un aumento del costo della non qualità e di quello di rilavorazione, in quanto è necessario selezionare dal master i box che presentano quel determinato problema e quelli invece confermi. Dall'altra parte, invece, il malfunzionamento di un componente della linea di automazione, come per esempio il dosatore, prima di essere identificato, continua a

produrre capsule non conformi e ciò a discapito dell'efficacia dell'uso delle materie prime, come il dispendio di caffè macinato.

Il controllo del peso risulta essenziale in quanto il peso dichiarato in etichetta del box è un valore legale che, entro determinate tolleranze sul limite inferiore, deve essere mantenuto e garantito rispetto al nominale del lotto. Ne consegue che il peso delle singole capsule è direttamente coinvolto nel calcolo e generalmente le aziende sovradosano il prodotto per assicurare la conformità di tale valore. Questo non toglie che non ci sia anche un limite superiore di specifica, in quanto tutto il caffè in eccedenza viene regalato al cliente, generando un costo, e la capsula, e il relativo top film, ha tecnicamente una capienza massima oltre alla quale si invalida la funzionalità e performance del prodotto. La sensibilità a queste due tolleranze è però molto diversa dagli operatori dove se una sub-linea si avvicina al limite inferiore si interviene tempestivamente, anche intensamente ed assiduamente, modificando i parametri macchina del dosatore, per alzare la quantità minima teorica mentre se si avvicina, o supera, quello superiore si interviene meno diligentemente a giudizio o esperienza dell'addetto. Inoltre, il parametro di controllo, ovvero il peso, non è chiaro in quanto può essere intenso come della singola capsula, della media della via della linea o del campione. In caso della singola misura si interverrà naturalmente più frequentemente a modificare la macchina, con il risultato di influenzare e destabilizzare il comportamento della retroazione automatica del dosatore ed occultare la reale capacità del processo.

### **5.5.3 Risultati analisi statistica**

Si sono analizzati i controlli statisticamente al fine di avere una visione reale e complessiva della situazione attuale sia per quanto riguarda la produzione sia per l'applicazione del piano dei controlli da parte del CQ. Si sono quindi analizzate in maniera aggregata le registrazioni presenti sul SIA, nello specifico si sono estrapolate tutti i records in un determinato periodo di tempo e per due particolare referenza di capsula System. I risultati sono delle principali caratteristiche del processo analizzate di due distinte referenze di prodotto al fine di avere anche un confronto del comportamento della linea di produzione al variare dell'articolo. Nello specifico

## 5.6 Referenza 1

La prima referenza ha le seguenti proprietà:

- Peso capsula, target di 7,6 grammi con una tolleranza di +/- 0,2 grammi;
- Peso box, target di 76 grammi (10 capsule x 7,6g) con una tolleranza definita per legge di - 4,5 grammi ma la media del lotto deve essere superiore al valore nominale dichiarato sulla confezione, al netto di una tolleranza definita anch'essa per legge;
- Residuo d'ossigeno inferiore al 1%;
- Erogazione, ossia quantità di caffè erogato di 120 grammi con una tolleranza di +/-15 grammi.

### 5.6.1 Peso capsula

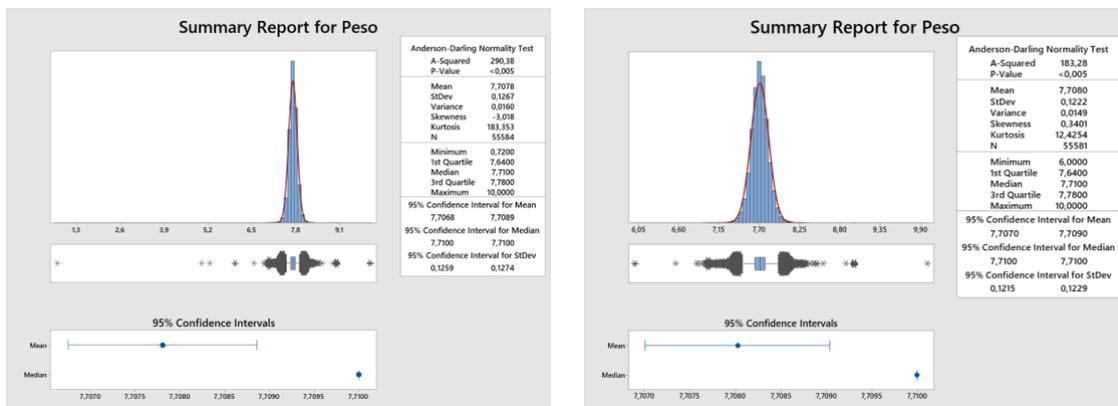


Figura 21: Report di sintesi del controllo "Peso capsula" della referenza 1

Con questa prima funzione si è osservata macroscopicamente la distribuzione. In particolare, si evince che:

- La distribuzione è piuttosto simmetrica, dato un valore di Skewness prossimo a zero e una differenza minima tra media e mediana, leptocurtica, in quanto ha una curtosi positiva, e quindi con le code più piatte rispetto alla normale;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, probabilmente derivati da errori di registrazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano dei dati fuori dalle specifiche tecniche della linea di produzione;

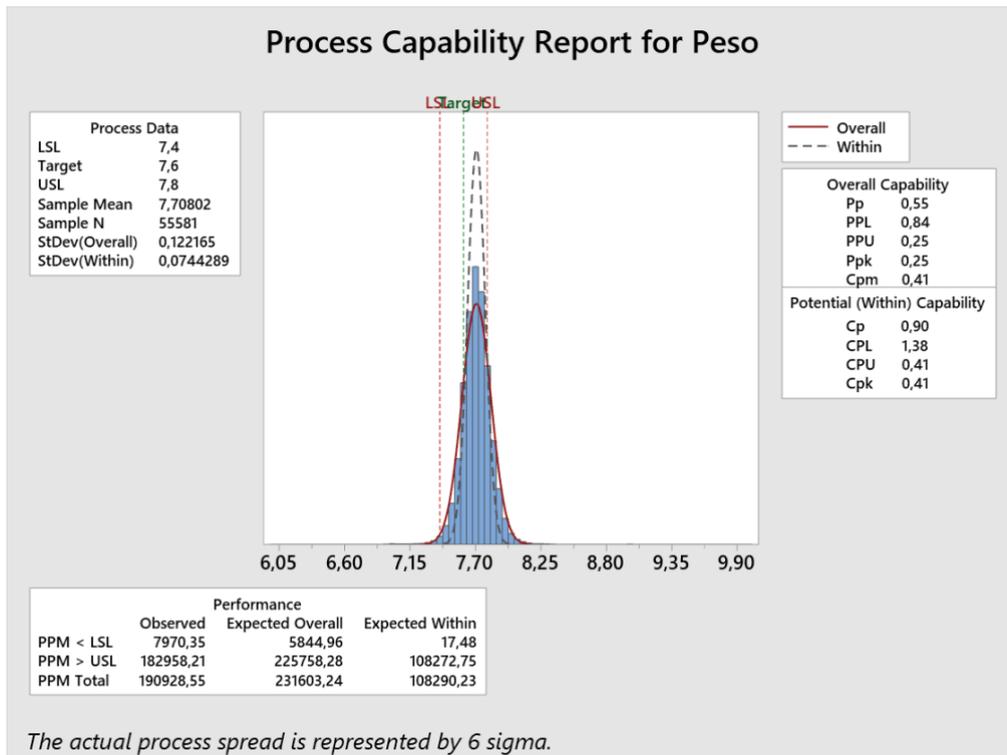


Figura 22: Analisi della capability del controllo “Peso capsula” della referenza 1

Dall’analisi della capacità di processo si osserva che:

- Il processo non è stabile e ci potrebbero essere delle significative differenze tra i sottogruppi, in quanto le curve Overall e Within non sono allineate;
- Il processo non è centrato, essendo vicino al limite superiore di specifica, non è capace, Cp e Cpk non simili e inferiori a 1,33, e non è statisticamente sotto controllo in quanto i valori Ppk e Cpk, al netto dell’approssimazione ad una distribuzione di Gauss, non sono simili.
- La difettosità prevista Overall è pari al 23,16%, ovvero quasi una capsula su 4 potrebbe avere una quantità di caffè macinato superiore al USL.

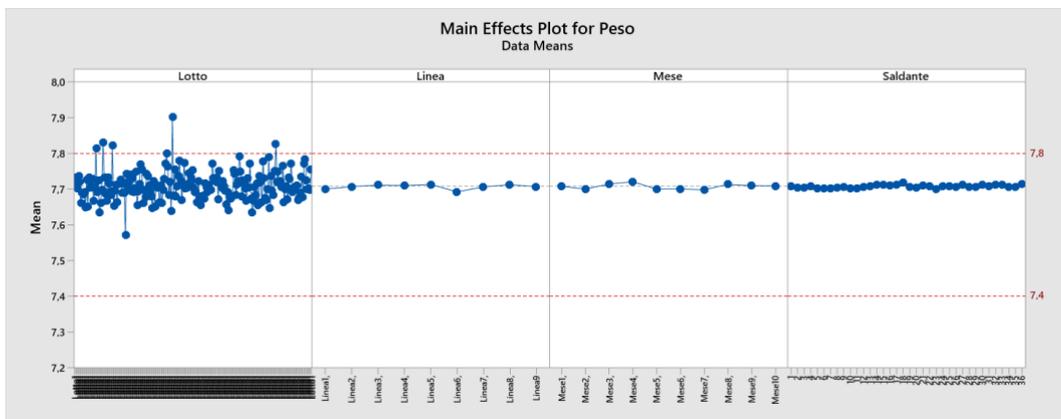


Figura 23: Analisi di stratificazione del controllo “Peso capsula” della referenza 1

Analizzando i fattori di stratificazione individuati, ovvero “Lotto”, “Mese”, “Linea” e “Saldante”, si nota che il processo non è stato influenzato da cause endogene se non per quanto riguarda i singoli lotti. Essi però potrebbero essere considerati degli outlier e verosimilmente afflitti anche da errori di compilazione.

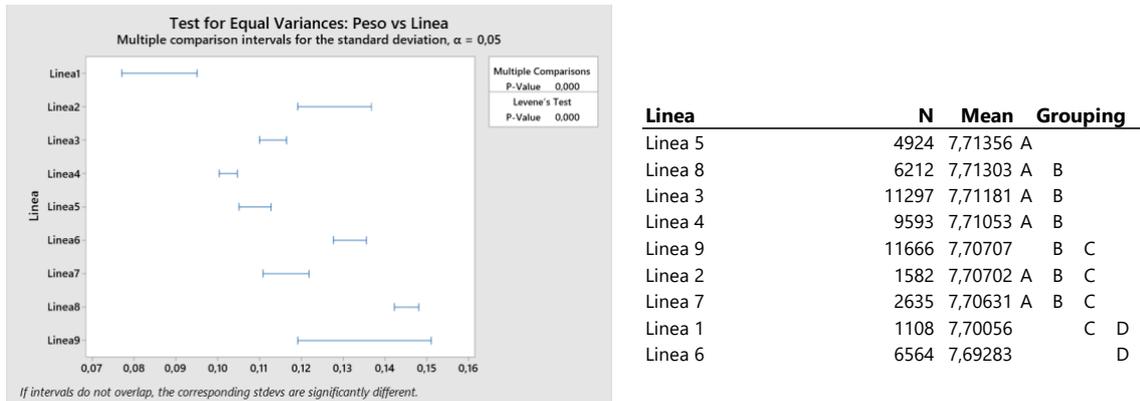


Figura 24: Grouping Information Using the Games-Howell Method and 95% Confidence referenza 1

Inoltre, per confermare una prima ipotesi di performance differenti fra le linee di produzione, si è attuato un test di varianza, con confidenza al 95%, che ha dato esito negativo, ovvero le linee hanno un comportamento diverso dato il medesimo prodotto, ed una ANOVA, impostando varianze non uguali, con anch'esso esito negativo. I gruppi formati non hanno un particolare significato e, per la sensibilità e l'obiettivo di quest'analisi, una differenza di media alla seconda cifra decimale è scarsamente significativa e superiore alla precisione stessa della linea di produzione.

### 5.6.2 Peso box

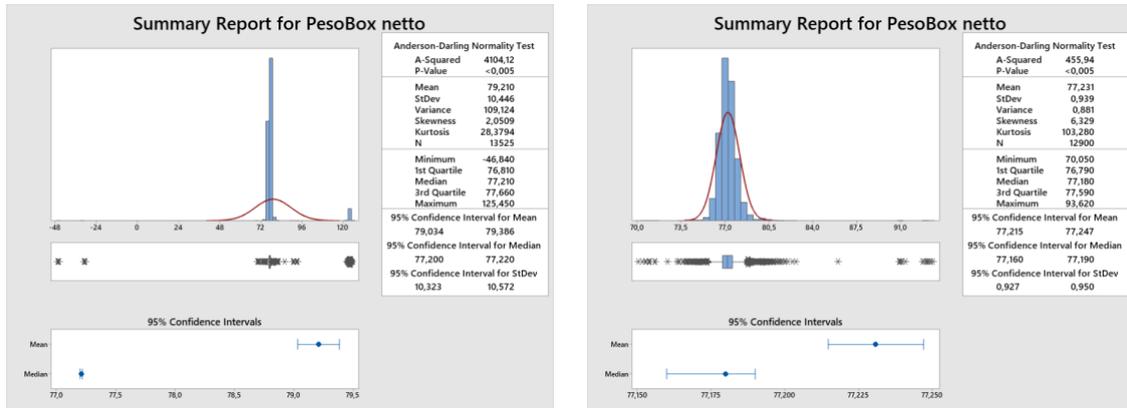


Figura 25: Report di sintesi del controllo “Peso box” della referenza 1

Dal summary report si osserva che:

- La distribuzione è scarsamente simmetrica, dato un valore di Skewness positivo ma una leggera differenza minima tra media e mediana, leptocurtica, in quanto ha una curtosi positiva, e quindi maggiormente concentrata sulla media rispetto alla normale;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, probabilmente derivati da errori di registrazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano dei dati fuori dalle specifiche tecniche della linea di produzione. In particolare, la distribuzione a destra nel grafico di sinistra è dovuta all’assenza dell’inserimento da parte dell’operatore nella registrazione della tara e quindi il sistema ha considerato il peso lordo come se fosse netto.

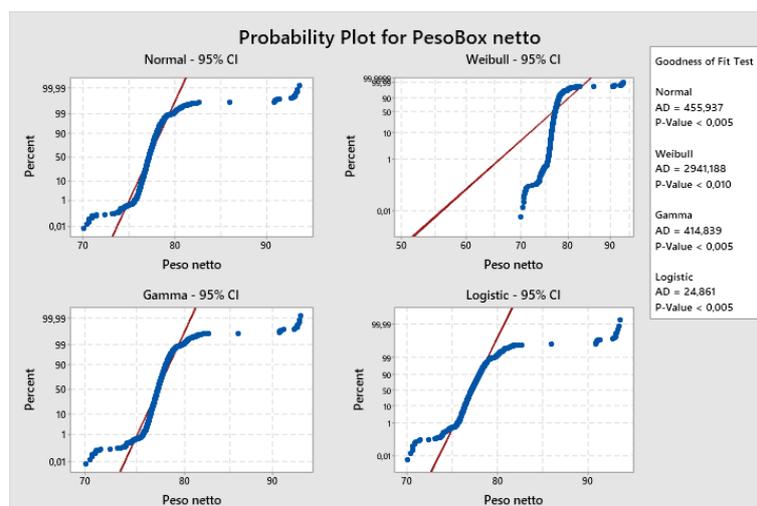


Figura 26: Analisi della distribuzione del controllo “Peso box” referenza 1

La distribuzione in esame non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, neppure se trasformate con Box-Cox o Jonhson, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, non avendo altra scelta, si decide di approssimarla alla distribuzione normale con la consapevolezza di sottostare ad un errore di calcolo statisticamente significativo.

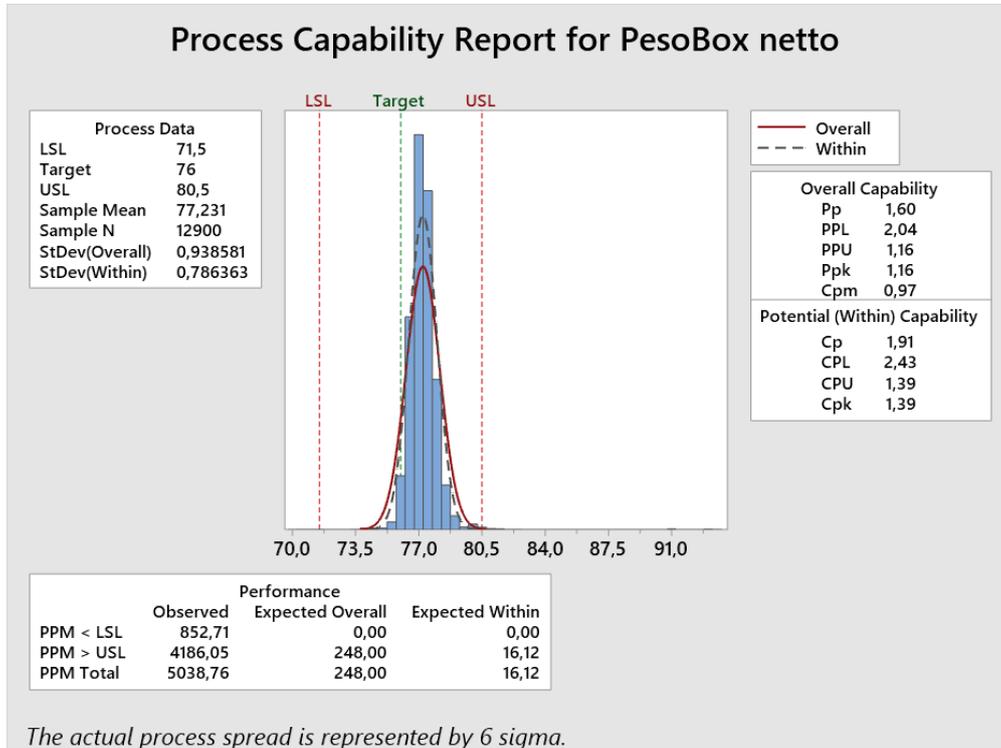


Figura 27: Analisi della capacità del controllo “Peso box” della referenza 1

Dall’analisi della capacità del processo si evidenzia che:

- Il processo non è stabile, in quanto le curve Overall e Within non sono allineate, ma questa differenza è legata anche all’approssimazione alla distribuzione normale e pertanto non particolarmente rilevante;
- Il processo non è centrato, essendo spostato verso il limite superiore di specifica, è capace, Cp e Cpk non simili ma superiori a 1,33, ed è statisticamente sotto controllo in quanto i valori Ppk e Cpk sono simili.
- Il peso del box è naturalmente influenzato dal peso delle capsule e quindi possiamo considerare questa distribuzione, al netto della tara, direttamente derivata da quella osservata precedente. Infatti, il sovradosaggio è, di base, anch’esso rilevato ma il processo, anche grazie a tolleranze più ampie e alla compensazione reciproca delle capsule, risulta molto più performante, con una difettosità pari quasi allo 0%.

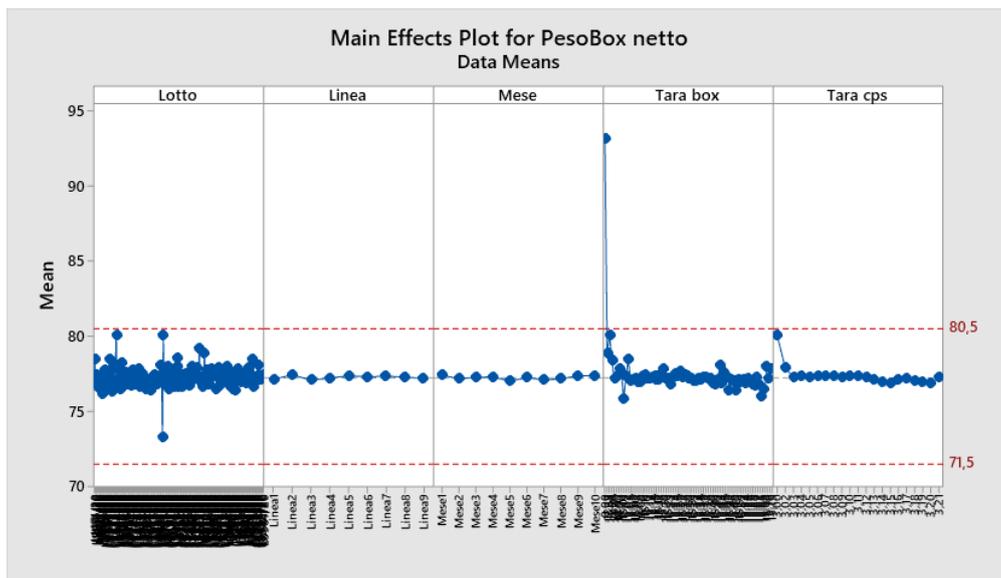


Figura 28: Analisi di stratificazione del controllo “Peso box” della referenza 1

L’analisi per i fattori di clusterizzazione non mostra tendenze temporali, né linee di confezionamento che producono in modo discordante dalla media. Si evidenzia, come precedentemente osservato, una significativa differenza da lotto a lotto, dovuta probabilmente alla metodologia di individuazione delle tare del box e della capsula e agli errori di registrazione. Sarebbe necessario analizzare singolarmente i lotti relativi ai valori outlier delle tare e del peso netto del box per individuare correttamente la causa radice delle registrazioni fuori media.

### 5.6.3 Erogazione (peso)

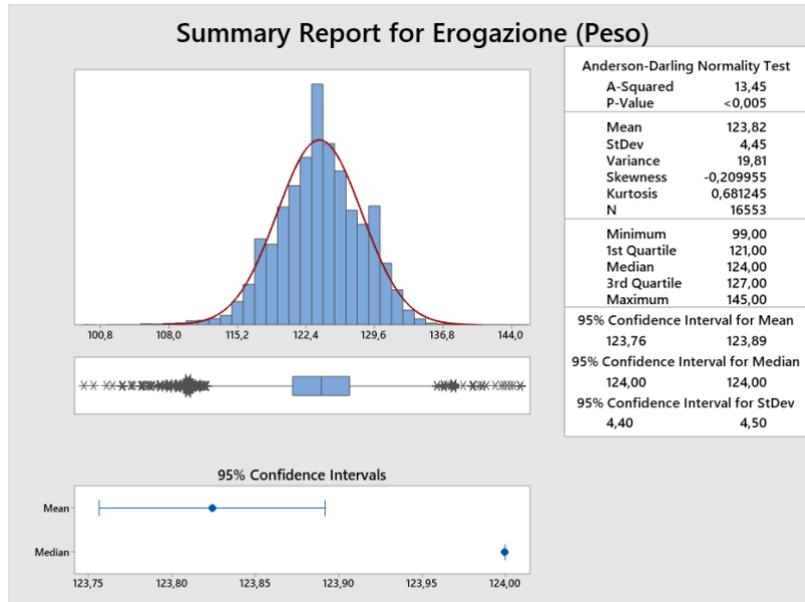


Figura 29: Report di sintesi del controllo “Erogazione (peso)” della referenza 1

Dal summary report si evince che:

- La distribuzione è abbastanza simmetrica, dato un valore di Skewness leggermente positivo e una minima differenza tra media e mediana rispetto ai rispettivi intervalli di confidenza del 95%, lievemente leptocurtica, in quanto ha una curtosi positiva;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, probabilmente derivati da errori di registrazione o misurazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano dei dati fuori dalla distribuzione principale.

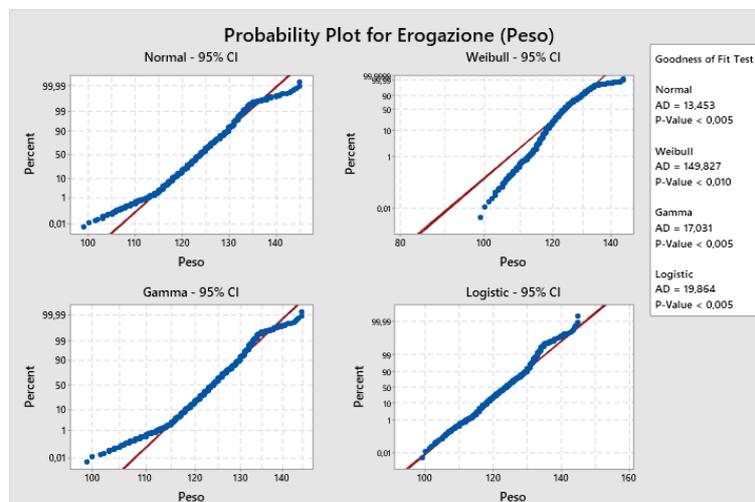


Figura 30: Analisi della distribuzione del controllo “Erogazione (peso)” referenza 1

La distribuzione analizzata non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, neppure se trasformate con Box-Cox o Jonhson, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, dato l'obiettivo di minimizzare l'errore di approssimazione, la curva che si adatta meglio graficamente, ovvero che si avvicina e si sovrappone in più punti a quella reale, è la logistica.

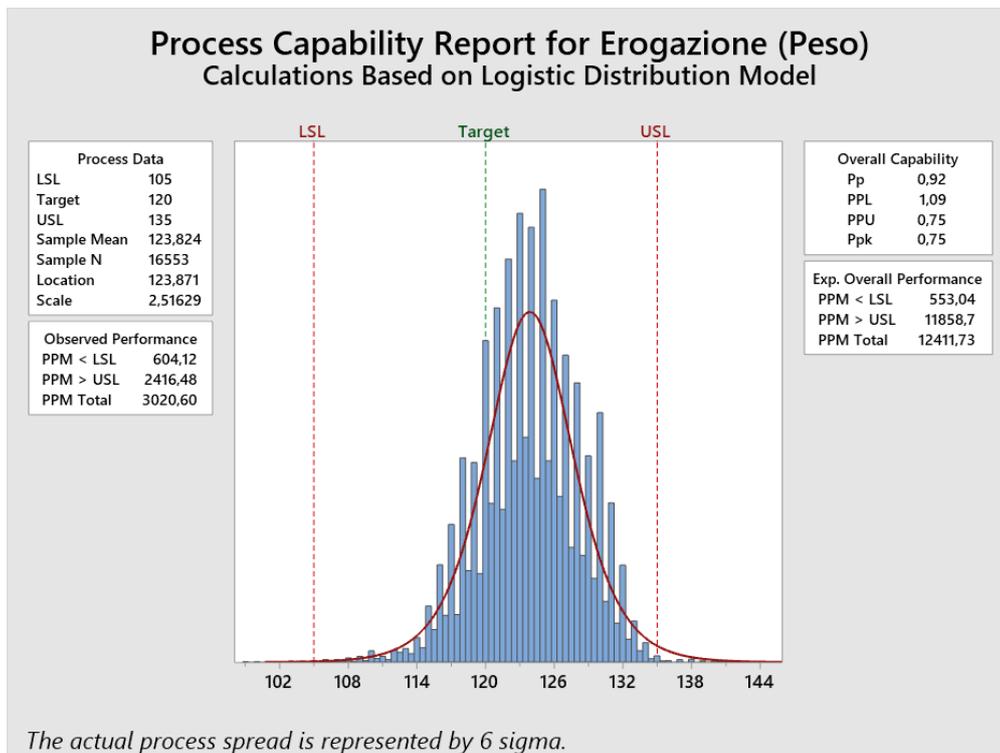


Figura 31: Analisi della capacità del controllo “Erogazione (peso)” della referenza 1

L'analisi della capacità del processo, al netto della diversa rappresentazione grafica dovuta ad un differente numero di intervalli di raggruppamento conseguente della sensibilità dello strumento di misura, mostra che:

- Il processo non è centrato, essendo spostato verso il limite superiore di specifica con media 123 grammi rispetto al valore target di 120, e non è capace, dato Ppk inferiore a 1,33 e quindi una dispersione dei valori superiore della tolleranza del processo;
- Nel breve termine, ovvero rispetto ai dati osservati, la difettosità media è pari al 0,3% mentre nel lungo termine, se la distribuzione dovesse seguire quella teorica logistica, potrebbe arrivare ad un tasso di non conformità del 1,2%, risultato in linea rispetto agli standard di mercato;
- L'erogazione della capsula è influenzata da tutte le caratteristiche e componenti che costituiscono la capsula, come il filtro, la tipologia di caffè, il peso, la granulometria e le polveri, oltre ovviamente dalla macchina d'erogazione. Quest'ultima, per essere uno strumento di misura affidabile, deve avere un comportamento, ossia una dispersione, uguale al variare del prodotto finito, della singola macchia, ovvero stesso modello ma diverso dispositivo, e del target

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

d'erogazione, ovvero se il valore di riferimento aumenta, la deviazione deve rimanere pressoché invariata.

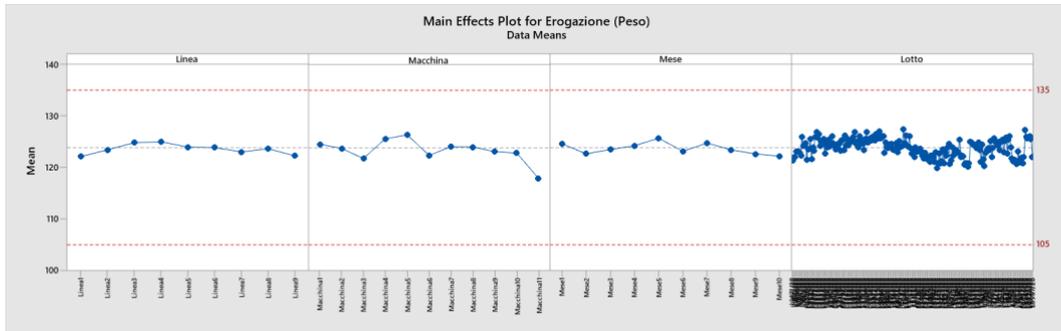
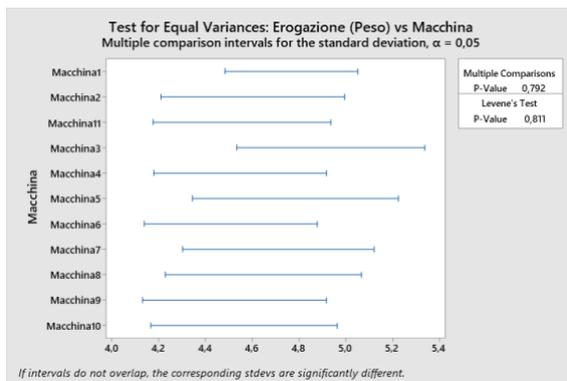


Figura 32: Analisi di stratificazione del controllo “Erogazione (peso)” della referenza 1

Come si evince dal grafico, i fattori “Linea”, “Mese” e “Lotto” hanno un comportamento del tutto simile a quello osservato per quanto riguarda il peso della capsula e del box, ovvero non si notano differenze macroscopiche dovute a cause ricorrenti bensì a possibili errori di compilazione che creano il rumore che si osserva sul main effect plot. La componente macchina risulta, invece, interessante come variazione e conferma le caratteristiche del controllo, ovvero una ripetizione di 10 volte su strumenti uguali, rappresentate dalle macchine da 1 a 10, e una verifica su una diversa, la numero 11. Osservando esclusivamente la media, però, non si è in grado di affermare che questa differenza sia statisticamente significativa ed è quindi indispensabile procedere con ulteriori analisi riguardo l'equivalenza della varianza, e successivamente della media, delle macchine in modo da confermare l'affidabilità dello strumento di misura e la necessità di ripetere il controllo più volte.



Macchina	N	Mean	Grouping
Macchina 1	390	125,548	A
Macchina 2	390	125,480	A
Macchina 11	398	125,458	A
Macchina 3	390	125,456	A
Macchina 4	390	125,439	A
Macchina 5	389	125,349	A
Macchina 6	390	125,337	A
Macchina 7	388	125,101	A
Macchina 8	389	125,100	A
Macchina 9	390	125,078	A
Macchina 10	388	125,010	A

Figura 33: Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence referenza 1

Per confermare l'ipotesi che la varianza e la media delle macchine d'erogazione sono uguali, si è eseguito un “Test for Equal Variances” che ha dato un esito positivo, in quanto sia il test di Levene che la comparazione multipla hanno un p-value superiore al valore alfa di 0,05 e, di conseguenza, non possiamo rigettare l'ipotesi di equivalenza. Data l'isovarianza, si è analizzata la media con l'analisi ANOVA, in particolare One-Way, dove si è ottenuto un risultato positivo. A conferma dell'elaborazione effettuata, si è svolto il raggruppamento, tramite il metodo di Tukey con confidenza al 95%, che, come

si osserva dalla tabella, ha determinato un insieme “A” comune a tutte le macchine d’erogazione. Si può quindi affermare che lo strumento di misura ha un comportamento statisticamente simile e non è necessario ripetere più volte il controllo per assicurarsi una verifica solida e affidabile.

#### 5.6.4 Ossigeno

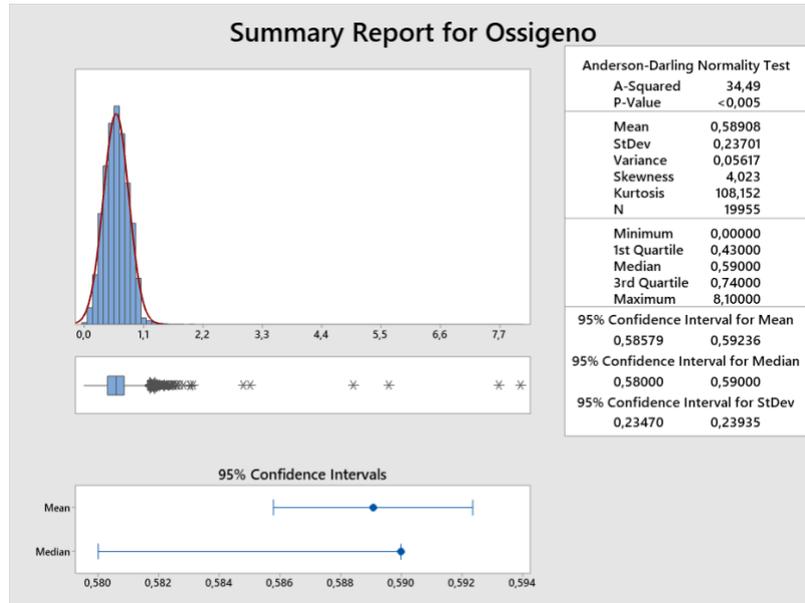


Figura 34: Report di sintesi del controllo “Ossigeno” della referenza 1

Dall’analisi a livello macroscopico, si delinea che:

- La distribuzione è asimmetrica ed obliqua a destra, dato un valore di Skewness positivo e una minima differenza tra media e mediana rispetto ai rispettivi intervalli di confidenza del 95%, ipernormale, in quanto ha una curtosi positiva;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori fuori dalla distribuzione principale ma logicamente corretti in quanto, se è presente ossigeno all’interno della capsula e quindi vi è una microperdita del top film, allora il residuo di gas si avvicina a quello naturale dell’atmosfera.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

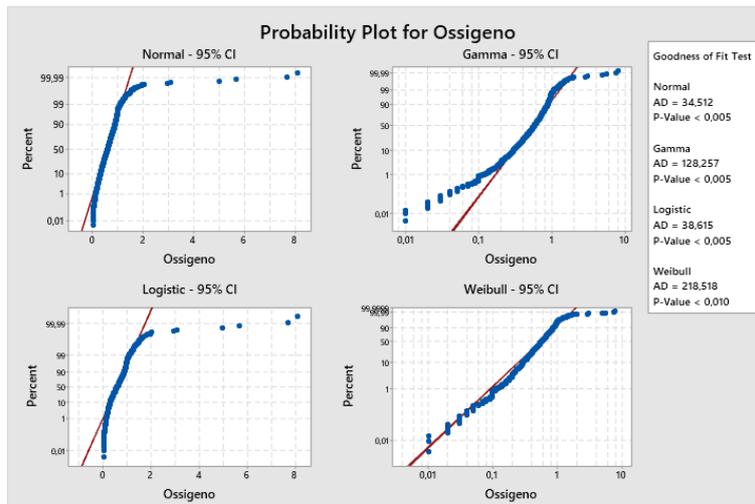


Figura 35: Analisi della distribuzione del controllo “Ossigeno” referenza 1

La distribuzione in esame non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, non avendo altra scelta, si decide di approssimarla alla distribuzione Weibull con la priorità di ottenere una buona probabilità per i valori di portata nei limiti di specifica e con la consapevolezza di sottostare ad un errore di calcolo statisticamente significativo.

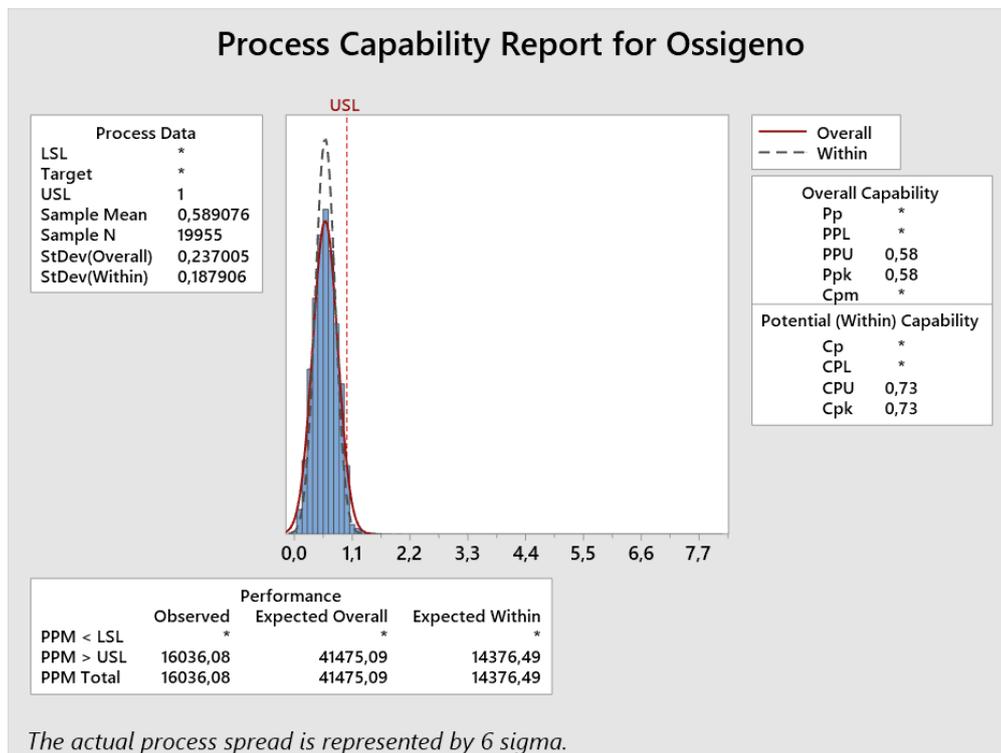


Figura 36: Analisi della capability del controllo “Ossigeno” della referenza 1

Dall’analisi della capacità del processo si osserva che:

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

- Il processo non è stabile, in quanto le curve Overall e Within non sono allineate, ma questa differenza è legata anche all'approssimazione alla distribuzione normale e pertanto non particolarmente significativa;
- Il processo, avendo esclusivamente il limite superiore di specifica, è altamente migliorabile, dato Ppk inferiore a 1,33;
- Nel breve termine, ovvero rispetto ai dati osservati, la difettosità media è pari al 1,6% mentre nel lungo termine, se la distribuzione dovesse seguire quella teorica normale, potrebbe arrivare ad un tasso di non conformità del 4%. Per questa caratteristica è necessario approfondire il risultato in quanto lo strumento di misura è molto suscettibile al metodo operativo di verifica in quanto, se l'operatore dovesse nell'inserimento dell'ago aspirare una parte di caffè macinato, l'analizzatore potrebbe restituire dei falsi positivi.

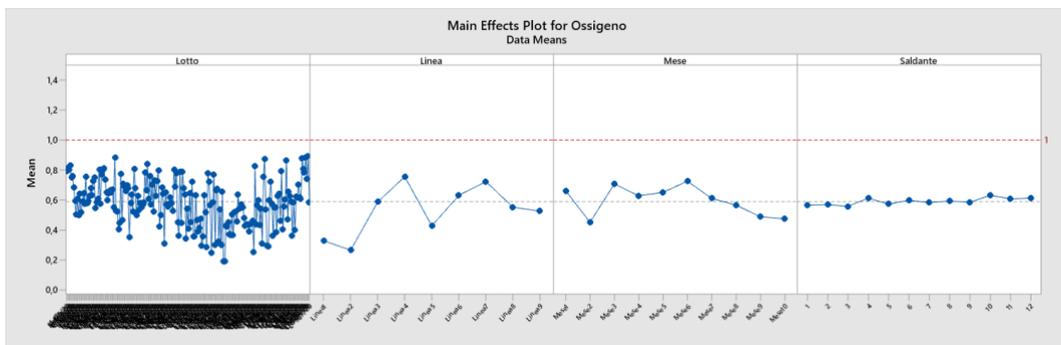


Figura 37: Analisi di stratificazione del controllo “Ossigeno” della referenza 1

Lo studio per stratificazione mostra che il fattore “Linea” ha una differenza significativa rispetto alla media generale e ciò conferma l’ipotesi iniziale che più la linea di produzione è moderna, più il processo è efficiente. Questa affermazione però non è sempre vera in quanto un’ulteriore variabile potrebbe essere la manutenzione e il tempo medio fra due guasti in quanto una possibile causa della microperdita potrebbe essere il malfunzionamento del papero, ovvero dell’aspiratore, che elimina il caffè sul collo della capsula dove poi la punzonatrice effettuerà la saldatura. Non è possibile quindi considerare il risultato robusto. Invece, i fattori “Saldante”, “Mese” e “Lotto” hanno un comportamento del tutto simile a quello in precedenza, ovvero non si notano differenze macroscopiche dovute a cause ricorrenti bensì a possibili errori di compilazione che creano variazioni grafiche.

## 5.7 Referenza 2

La seconda referenza ha le seguenti specifiche:

- Peso capsula, target di 8 grammi con una tolleranza di +/- 0,3 grammi;
- Peso box, target di 80 grammi (10 capsule x 8g) con una tolleranza definita per legge di - 4,5 grammi ma la media del lotto deve essere superiore al valore nominale dichiarato sulla confezione, al netto di una tolleranza definita anch'essa per legge;
- Residuo d'ossigeno inferiore al 1%;
- Erogazione, ossia portata di caffè erogato a 7,5 l/h con una tolleranza di 2 l/h.

### 5.7.1 Peso capsula

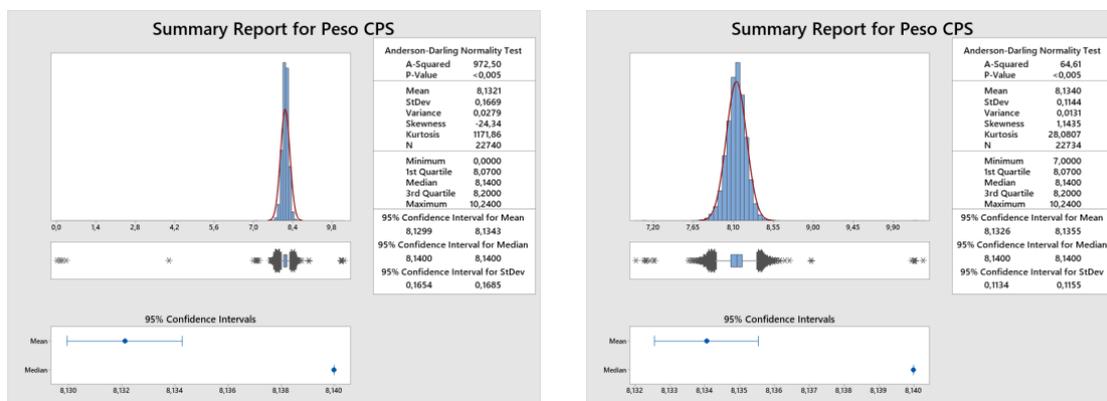


Figura 38: Report di sintesi del controllo "Peso capsula" della referenza 2

Tramite il summary report si è osservata macroscopicamente la distribuzione. In particolare, si evidenzia che:

- La distribuzione è asimmetrica, dato un valore di Skewness prossimo a zero e una differenza tra media, mediana e moda, leptocurtica, in quanto ha una curtosi positiva, e quindi le code sono più piatte rispetto alla normale;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, molto probabilmente derivati da errori di registrazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano dei dati fuori dalle specifiche tecniche della linea di produzione.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

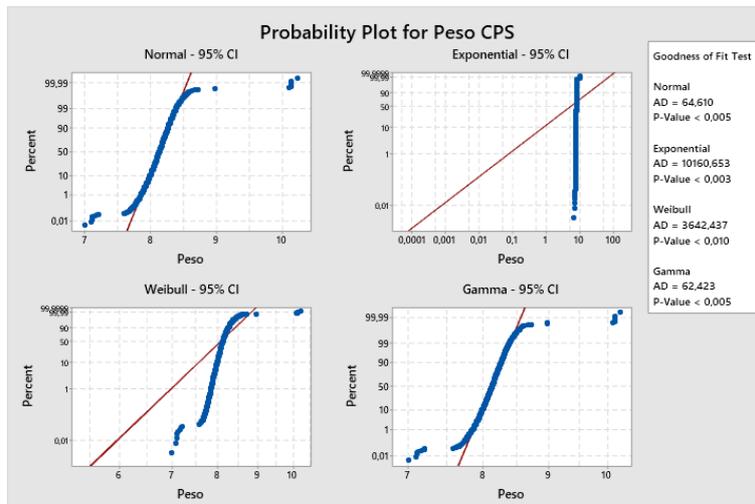
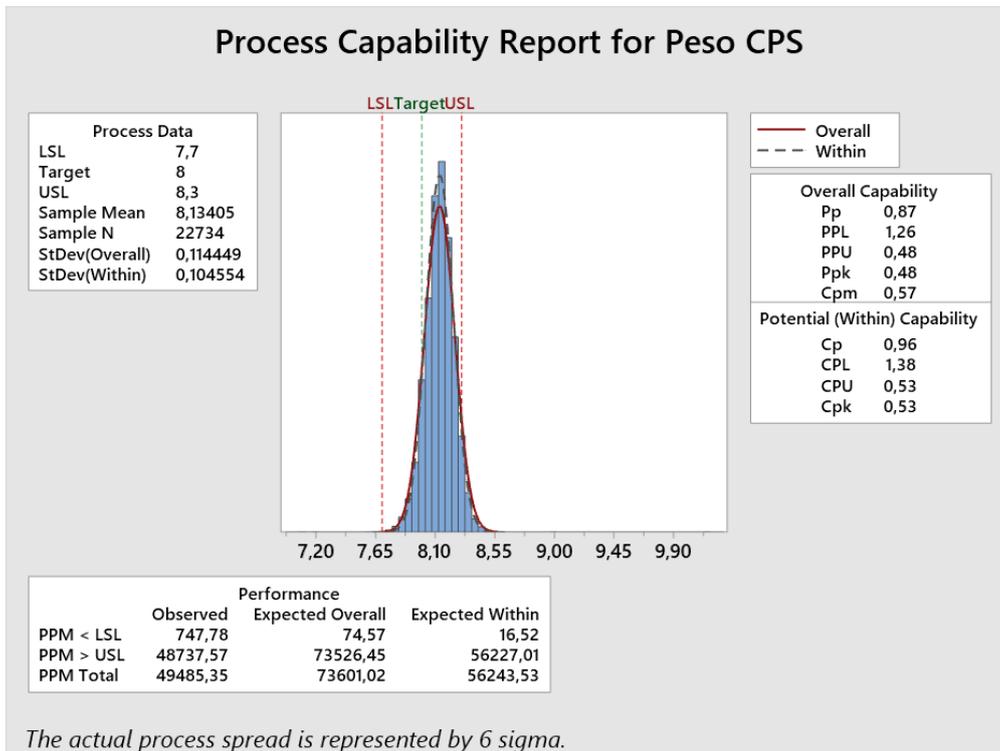


Figura 39: Analisi della distribuzione del controllo “Peso capsula” referenza 2

La distribuzione in esame non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, neppure se trasformate con Box-Cox o Jonhson, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, non avendo altra scelta, si decide di approssimarla alla distribuzione normale con la consapevolezza di sottostare ad un errore di calcolo statisticamente significativo.



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Figura 40: Analisi della capability del controllo “Peso capsula” della referenza 2

Dall’analisi della capacità di processo si osserva un comportamento macroscopicamente simile a quello della referenza precedente seppur sono cambiati il target e i limiti di specifica. Si osserva che:

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

- Il processo risulta piuttosto stabile e non ci potrebbero essere delle significative differenze tra i sottogruppi, in quanto le curve Overall e Within non sono precisamente allineate ma simili;
- Il processo non è centrato, essendo vicino al limite superiore di specifica, non è capace,  $C_p$  e  $C_{pk}$  non simili e inferiori a 1,33, ed è statisticamente sotto controllo in quanto i valori  $P_{pk}$  e  $C_{pk}$ , al netto dell'approssimazione ad una distribuzione normale, sono simili.
- La difettosità prevista Overall è pari al 7,3%. Superficialmente le analisi delle due referenze sono molto diverse, in particolare la difettosità media è 3 volte superiore, ma, date le medesime linee di produzione, le tolleranze di specifica sono estremamente cambiate: il primo prodotto ha una specifica di 7,6 g +/-0,2g che consiste nel 2,63% di tolleranza monodirezionale mentre il secondo ha una specifica di 8 g +/-0,3g che consiste nel 3,75% di tolleranza monodirezionale. Il processo è sempre lo stesso ma nel secondo caso la tolleranza è aumentata del 42% e ciò cambia radicalmente gli indici di capacità e PPM.

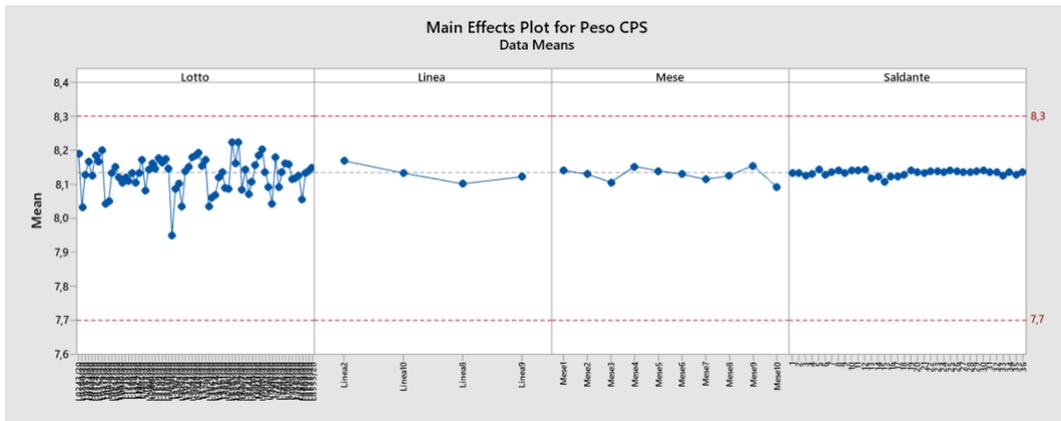


Figura 41: Analisi di stratificazione del controllo "Peso capsula" della referenza 2

Il main effect plot mostra che i fattori analizzati "Lotto", "Mese", "Linea" e "Saldante", come per la referenza 1, non influenzano significativamente il peso della capsula se non nella misura dei singoli lotti, dove però si potrebbero considerare come outlier e credibilmente afflitti da errori di compilazione.

### 5.7.2 Peso box

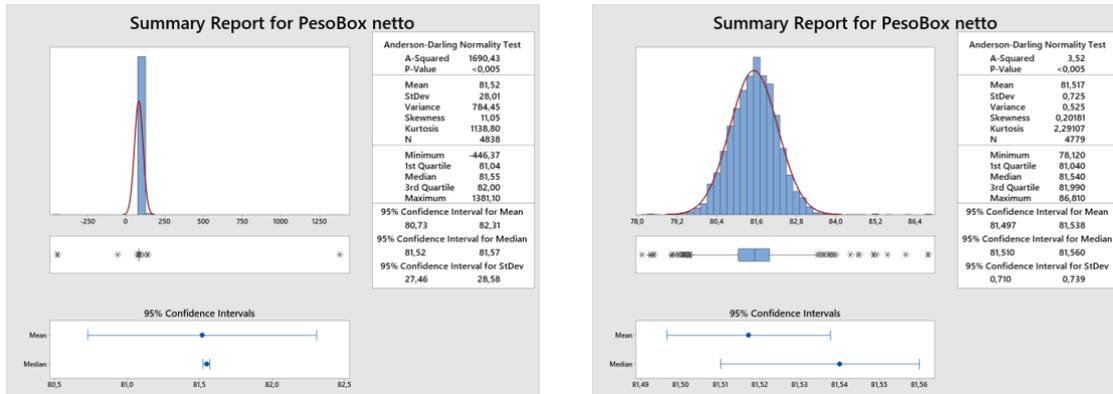


Figura 42: Report di sintesi del controllo “Peso box” della referenza 2

Dal summary report si evidenzia che:

- La distribuzione è asimmetrica, dato un valore di Skewness positivo e una leggera differenza tra media, moda e mediana, fortemente leptocurtica, in quanto ha una curtosi positiva, e quindi maggiormente concentrata sulla media rispetto alla normale;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, probabilmente derivati da errori di registrazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano dei dati fuori dalle specifiche tecniche della linea di produzione. In particolare, i valori negativi nel grafico di sinistra sono dovuti all’assenza dell’inserimento da parte dell’operatore nella registrazione del peso lordo e quindi il sistema ha considerato il peso netto come se fosse il valore della tara negativo. I valori a destra sono invece errori di compilazione.

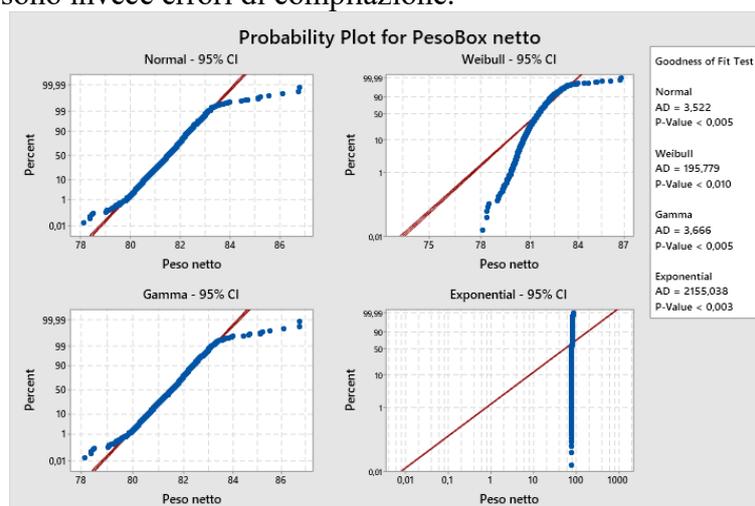


Figura 43: Analisi della distribuzione del controllo “Peso box” referenza 2

La distribuzione analizzata non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, neppure se trasformate con Box-Cox o Jonhson, essendo il p-value sempre

inferiore a 0,05. In questo caso, dato l'obiettivo di minimizzare l'errore di approssimazione, la curva che si adatta meglio graficamente, ovvero che si avvicina e si sovrappone in più punti a quella reale, è la normale.

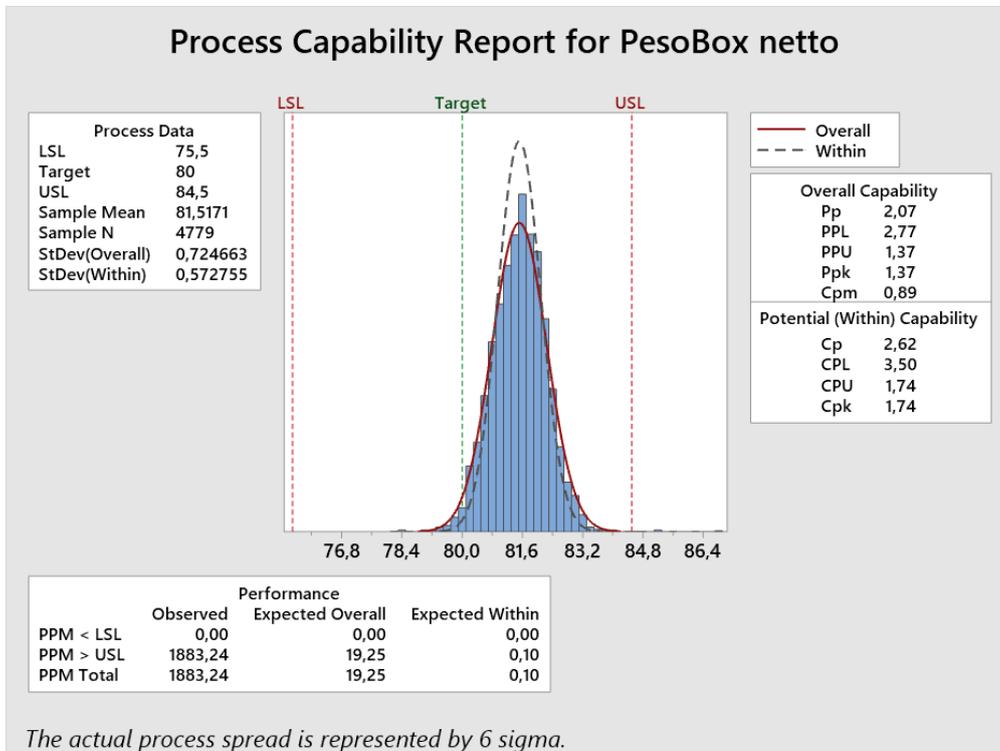


Figura 44: Analisi della capacità del controllo "Peso box" della referenza 2

Dall'analisi della capacità del processo si delinea che valgono mediamente le stesse osservazioni fatte per la referenza 1 per quanto riguarda il peso box in quanto i limiti di specifica, a differenza di quelli della capsula, sono definiti per legge. Si delinea che:

- Il processo non è stabile, in quanto le curve Overall e Within non sono allineate, ma questa differenza è legata anche all'approssimazione alla distribuzione normale e pertanto non particolarmente rilevante;
- Il processo non è centrato, essendo spostato verso il limite superiore di specifica, è capace, Cp e Cpk non simili ma superiori a 1,33, ed è statisticamente sotto controllo in quanto i valori Ppk e Cpk sono simili.
- Il peso del box è naturalmente influenzato dal peso delle capsule e quindi possiamo considerare questa distribuzione, al netto della tara, direttamente derivata da quella osservata precedente. Infatti, il sovradosaggio è, di base, anch'esso rilevato ma il processo, anche grazie a tolleranze più ampie e alla compensazione reciproca delle capsule, risulta molto più performante, con una difettosità pari quasi allo 0%.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

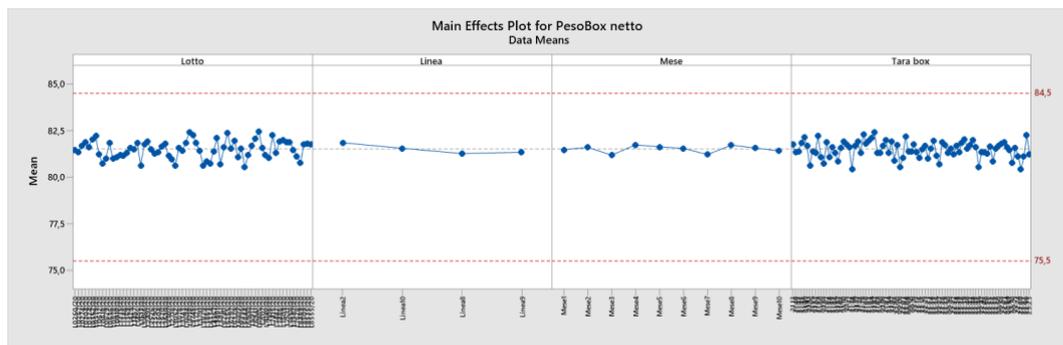


Figura 45: Analisi di stratificazione del controllo "Peso box" della referenza 2

L'analisi per fattori di stratificazione, come si osserva dal grafico, non evidenzia particolari trend né cause endogene che possano essere connesse alle variabili in esame. Rispetto alla referenza precedente, principalmente per casualità, sono presenti meno outlier dopo la pulizia della popolazione.

### 5.7.3 Erogazione (portata)

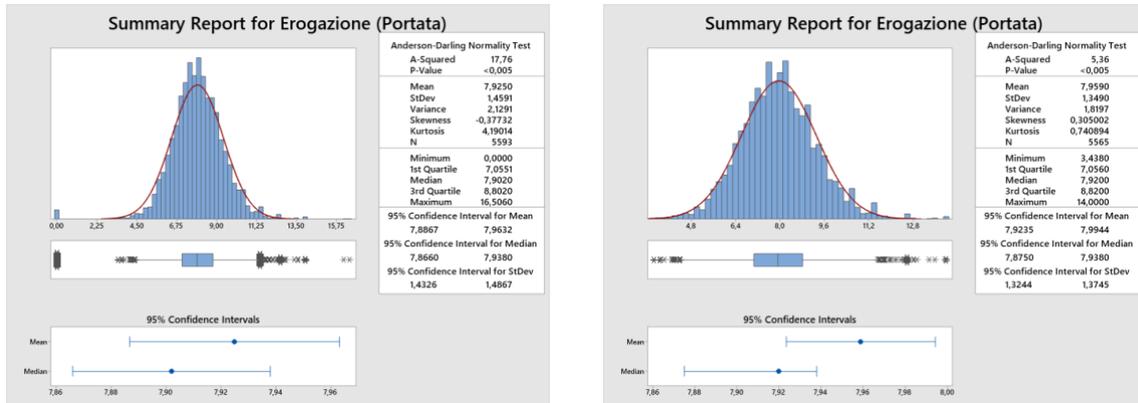


Figura 46: Report di sintesi del controllo “Erogazione (portata)” della referenza 2

Dal summary report si osserva che:

- La distribuzione è piuttosto simmetrica, dato un valore di Skewness leggermente positivo e una differenza tra media e mediana alla seconda cifra decimale rispetto ai rispettivi intervalli di confidenza del 95%, lievemente ipernormale, in quanto ha una curtosi positiva;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori outlier, probabilmente derivati da errori di registrazione o misurazione, in quanto, dato il box-plot e i valori minimi e massimi, si osservano in particolare dati fuori a sinistra dalla distribuzione principale intorno all’origine.

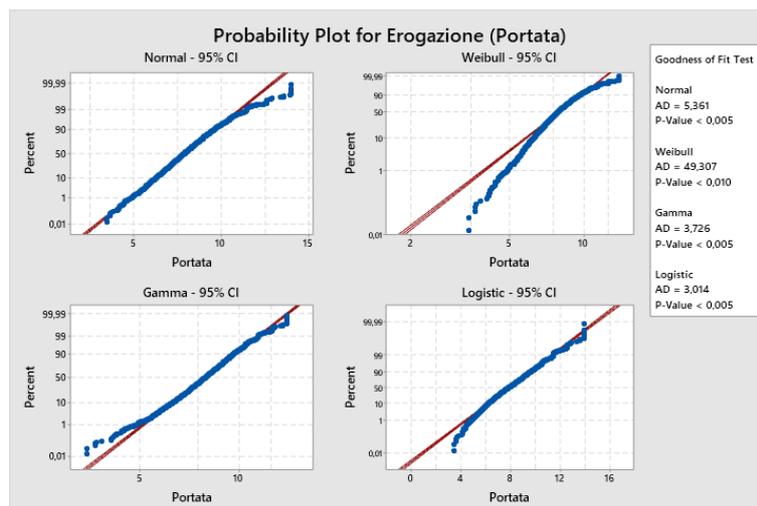


Figura 47: Analisi della distribuzione del controllo “Erogazione (portata)” referenza 2

La distribuzione in esame non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, neppure se trasformate con Box-Cox o Jonhson, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, non avendo altra scelta, si decide di approssimarla alla distribuzione normale con la priorità di ottenere una buona probabilità per i valori di

portata nei limiti di specifica e con la consapevolezza di sottostare ad un errore di calcolo statisticamente significativo.

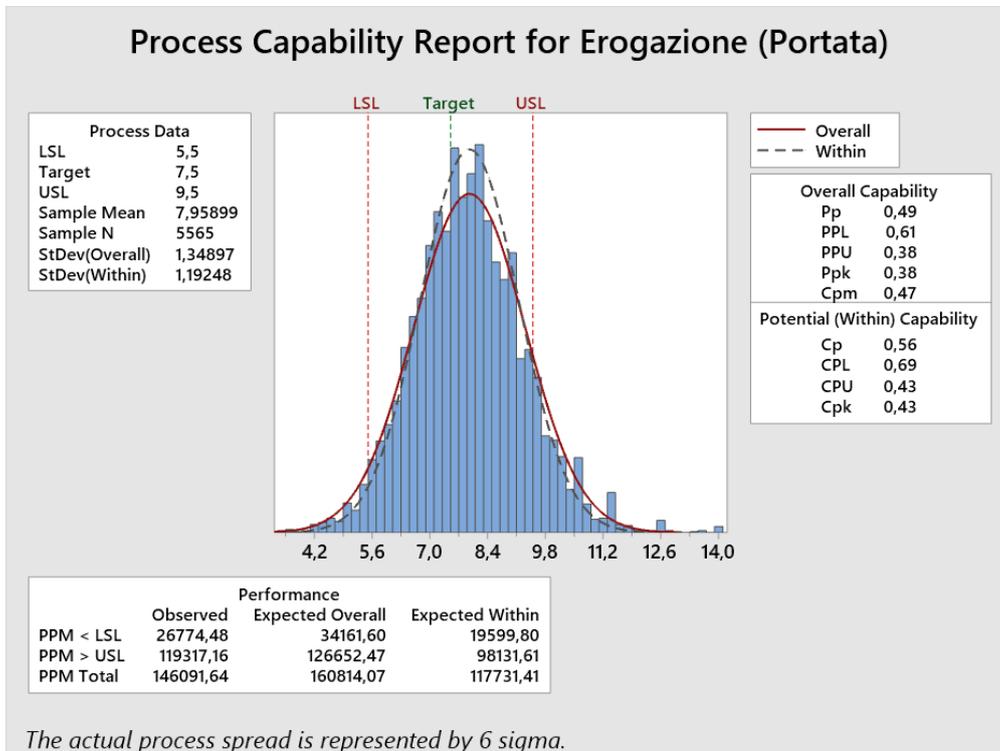


Figura 48: Analisi della capacità del controllo “Erogazione (portata)” della referenza 2

L’analisi della capacità del processo, rispetto alla referenza 1, è sulla portata (litro/ora), ovvero la quantità di caffè erogato in un prefissato tempo, in questo caso 20 secondi. Il sistema informatico semplicemente calcolo il valore come

$$Portata = \frac{Peso}{Tempo} * \frac{3600}{1000}$$

Si nota che:

- Il processo è piuttosto centrato, essendo leggermente spostato verso il limite superiore di specifica con media 7,95 l/h rispetto al valore target di 7,5 l/h, non è capace, Cp e Cpk simili ma inferiori a 1,33, ed è statisticamente sotto controllo in quanto i valori Ppk e Cpk sono simili;
- Nel breve termine, ovvero rispetto ai dati osservati, la difettosità media è pari al 11,77% mentre nel lungo termine, se la distribuzione dovesse seguire quella teorica normale, potrebbe arrivare ad un tasso di non conformità del 16,08%;
- L’erogazione della capsula è influenzata da tutte le caratteristiche e componenti che costituiscono la capsula, come il filtro, la tipologia di caffè, il peso, la granulometria e le polveri, oltre ovviamente dalla macchina d’erogazione. Quest’ultima, per questa tipologia di prodotto, è calcolata come la media delle erogazioni del parco macchine presente sul mercato, alcune ripetute più volte, in quanto la capsula deve funzionare naturalmente con tutti gli strumenti compatibili.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

Per approfondire questo controllo, si sono analizzate nel dettaglio le singole distribuzioni che in seguito andremo a descrivere.

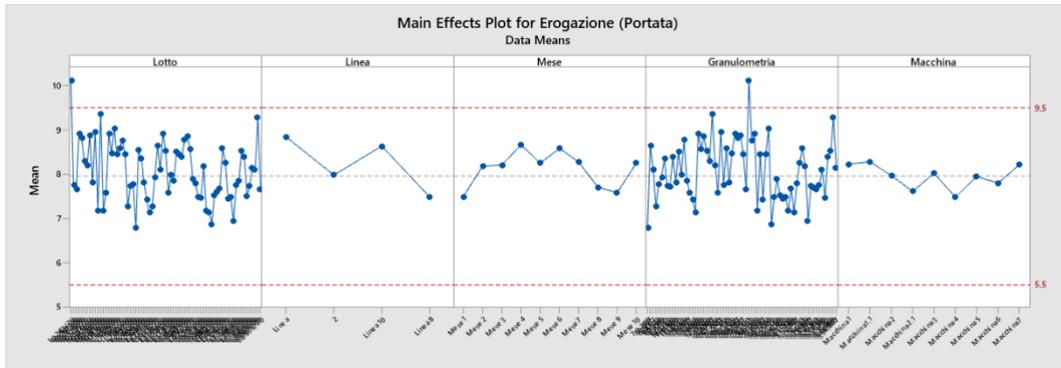


Figura 49: Analisi di stratificazione del controllo “Erogazione (portata)” della referenza 2

Come si evince dal grafico, i fattori “Linea”, “Mese” e “Lotto” hanno un comportamento, al netto di possibili errori di compilazione che creano il rumore, molto variabile che incide nella media della portata. Per quanto riguarda il “Lotto” valgono gli stessi ragionamenti fatti in precedenza, ossia è necessario analizzare lotto per lotto per determinare la causa radice, sia essa endogena o esogena. La variabile “Mese” presuppone un trend sinusoidale che potrebbe coincidere con il ciclo di stagioni calde e di quelle fredde o la presenza di cause straordinarie di deriva che hanno influenzato la resa in tazza ma, con le conoscenze attuali, non si è in grado di confermare univocamente l’ipotesi.

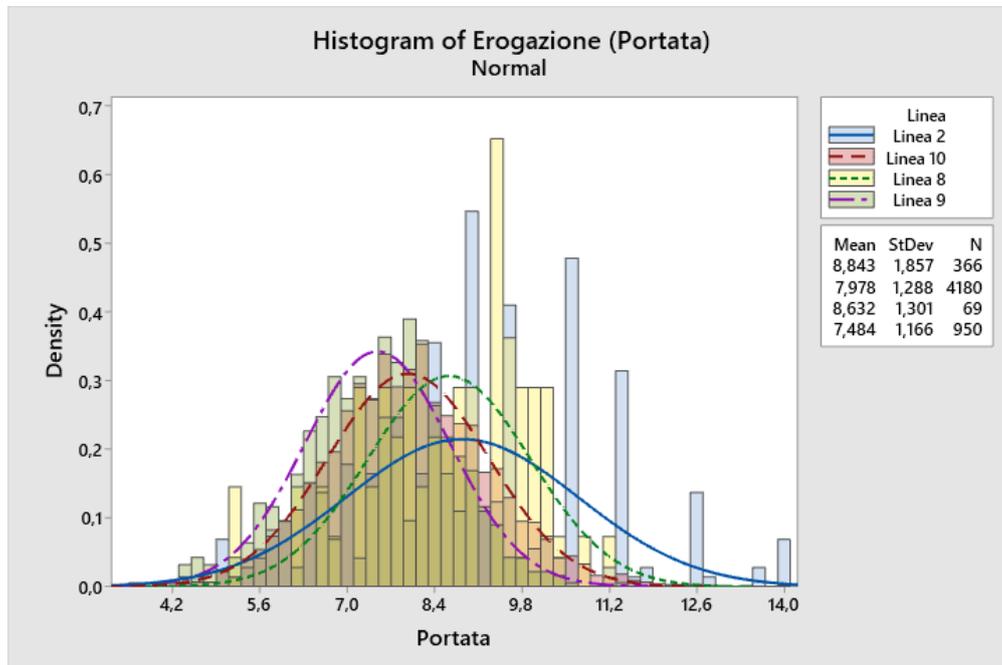


Figura 50: Istogrammi del controllo “Erogazione (portata) rispetto alle linee di produzione per la referenza 2

Stesso ragionamento con il fattore “Linea” dove, se rappresentata graficamente tramite istogrammi invece che come media, si nota facilmente come la linea 2, nello specifico una delle più vecchie, abbia una distribuzione totalmente diversa, anche nella forma,

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

rispetto alla 10, 8 e 9 che, seppur con media e dispersione diverse, hanno una curva più comparabile.

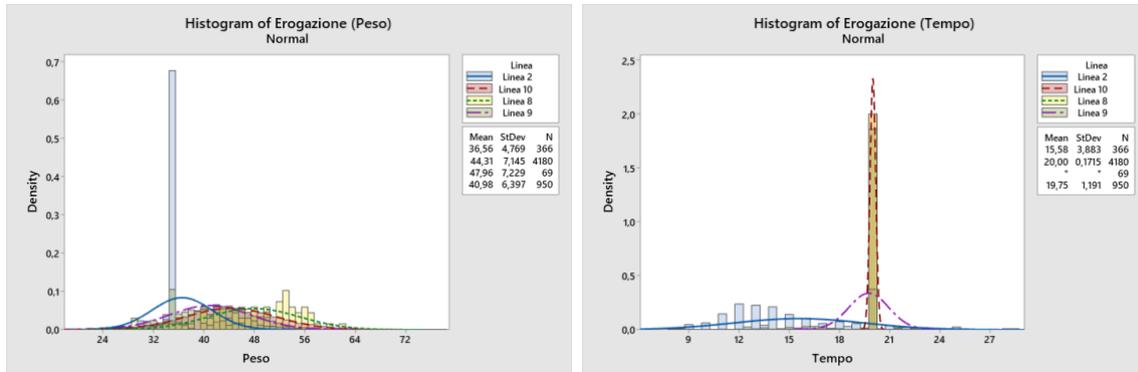


Figura 51: Istogrammi del controllo “Erogazione (portata)” rispetto al “Tempo” e “Peso” della referenza 2

Cambiando la variabile di analisi da portata a tempo dell’erogazione, ma lo stesso ragionamento si potrebbe fare per il peso, si nota un comportamento molto significativo in quanto, seppur tutti i controlli dovrebbero avere per questa referenza un periodo di secondi determinato, si scopre che per la linea 2 il metodo operativo di registrazione è stato diverso. Invece che fissare il tempo e misurare il peso si è fissato il secondo e misurato il primo. Ciò naturalmente cambia radicalmente la distribuzione e spiega la differenza rilevata nella portata, rigettando l’ipotesi della diversità di comportamento delle linee di produzione. Questi elementi comunque non influenzano direttamente l’erogazione della capsula di caffè bensì il peso del prodotto finito, l’ossigeno o la granulometria e, di conseguenza, è necessario analizzare singolarmente le rispettive caratteristiche.

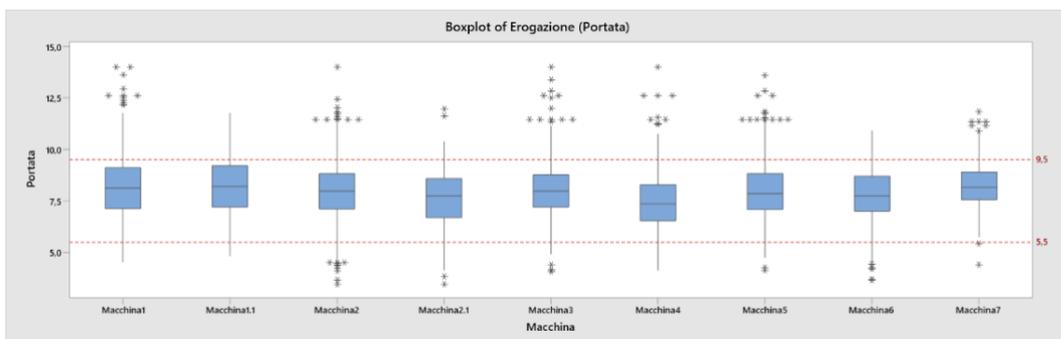


Figura 52: Boxplot del controllo “Erogazione (portata)” rispetto alle macchine della referenza 2

La componente macchina risulta, invece, interessante come variazione e conferma che le ripetizioni replicate su macchine uguali, nello specifico a coppie la Macchina 1 e 1.1 e 2 e 2.1, sono isovarianti e hanno statisticamente la medesima media; le restanti, invece, hanno un comportamento diverso dovuto essenzialmente a caratteristiche diverse degli strumenti di controllo. Per raffigurare più in dettaglio il fattore “Macchina” si è rappresentato graficamente tramite Boxplot e si osserva che comunque il terzo quartile è sempre compreso nei limiti di specifica.

### 5.7.4 Ossigeno

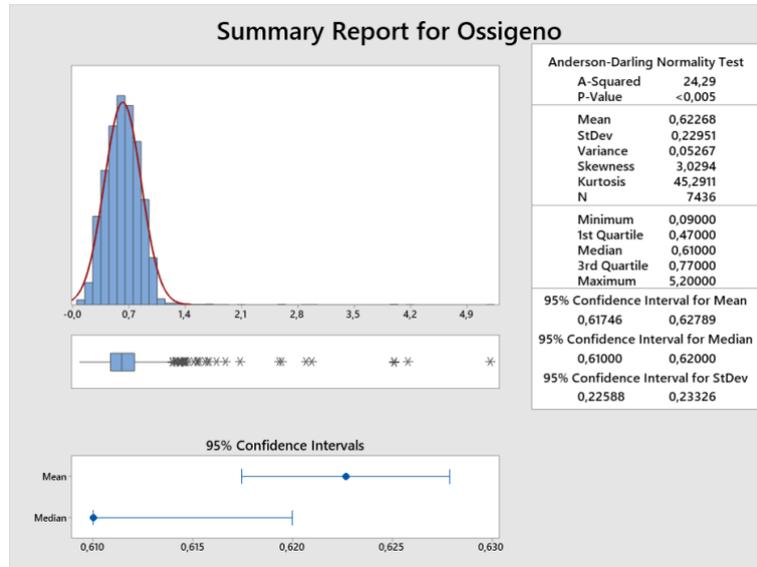


Figura 53: Report di sintesi del controllo “Ossigeno” della referenza 2

Dall’analisi a livello macroscopico, si delinea una situazione del tutto simile alla referenza precedente, ossia:

- La distribuzione è asimmetrica ed obliqua a destra, dato un valore di Skewness positivo e una minima differenza tra media e mediana alla seconda cifra decimale rispetto ai rispettivi intervalli di confidenza del 95%, ipernormale, in quanto ha una curtosi positiva;
- Il test di normalità di Anderson-Darling ha un p-value inferiore ad alfa e quindi è necessario svolgere ulteriori analisi per individuare la tipologia di distribuzione teorica più prossima a quella reale;
- Presenza di diversi valori fuori dalla distribuzione principale ma logicamente corretti in quanto, se è presente ossigeno all’interno della capsula e quindi vi è una microperdita del top film, allora il residuo di gas si avvicina a quello naturale dell’atmosfera.

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

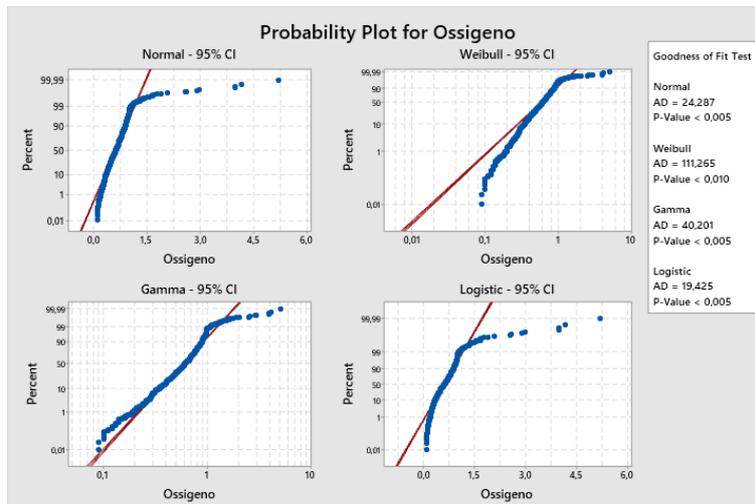


Figura 54: Analisi della distribuzione del controllo “Ossigeno” referenza 2

La distribuzione in esame non è simile a nessuna delle principali curve teoriche conosciute, essendo il p-value sempre inferiore a 0,05. In questo caso, non avendo altra scelta, si decide di approssimarla alla distribuzione normale con la priorità di ottenere una buona probabilità per i valori di portata nei limiti di specifica, nello specifico della coda a destra, e con la consapevolezza di sottostare ad un errore di calcolo statisticamente significativo.

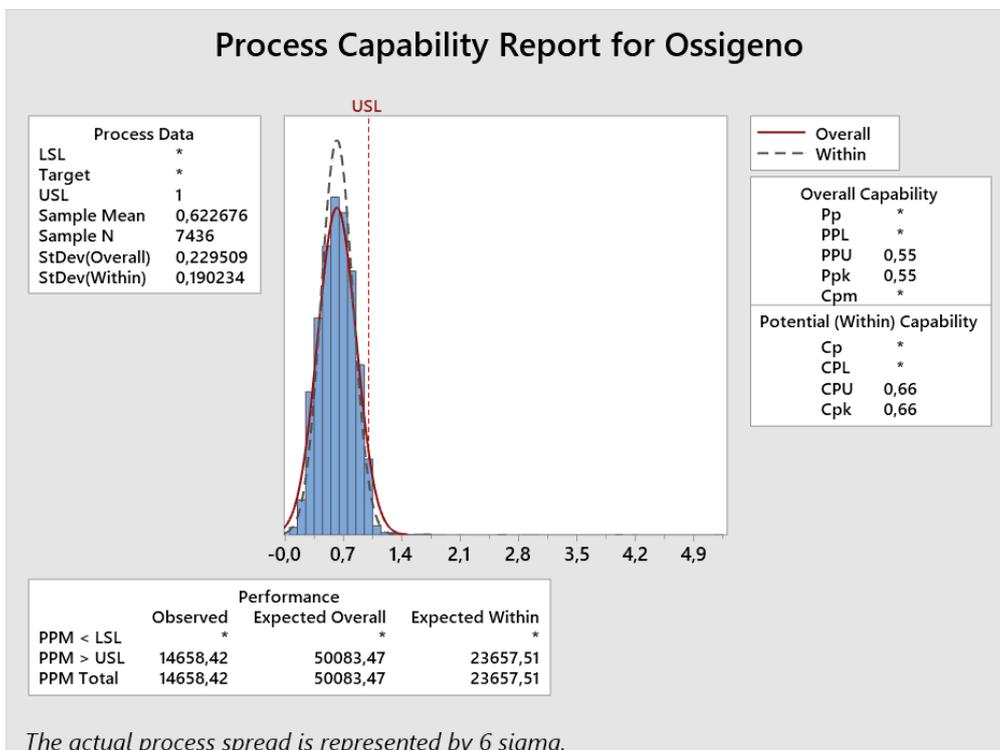


Figura 55: Analisi della capability del controllo “Ossigeno” della referenza 2

Dall’analisi della capacità del processo si delinea un comportamento essenzialmente analogo a quello riscontrato per la referenza 1, ovvero:

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

- Il processo non è stabile, in quanto le curve Overall e Within non sono allineate, ma questa differenza è legata anche all'approssimazione alla distribuzione normale e pertanto non particolarmente significativa;
- Il processo, avendo esclusivamente il limite superiore di specifica, è altamente migliorabile, dato Cpk inferiore a 1,33, e statisticamente sotto controllo, in quanto i valori Ppk e Cpk sono, al netto di errori di calcolo, simili;
- Nel breve termine, ovvero rispetto ai dati osservati, la difettosità media è pari al 1%, e mentre nel lungo termine, se la distribuzione dovesse seguire quella teorica normale, potrebbe arrivare ad un tasso di non conformità del 5%. Per questa caratteristica è necessario approfondire il risultato in quanto lo strumento di misura è molto suscettibile al metodo operativo di verifica in quanto, se l'operatore dovesse nell'inserimento dell'ago aspirare una parte di caffè macinato, l'analizzatore potrebbe restituire dei falsi positivi.

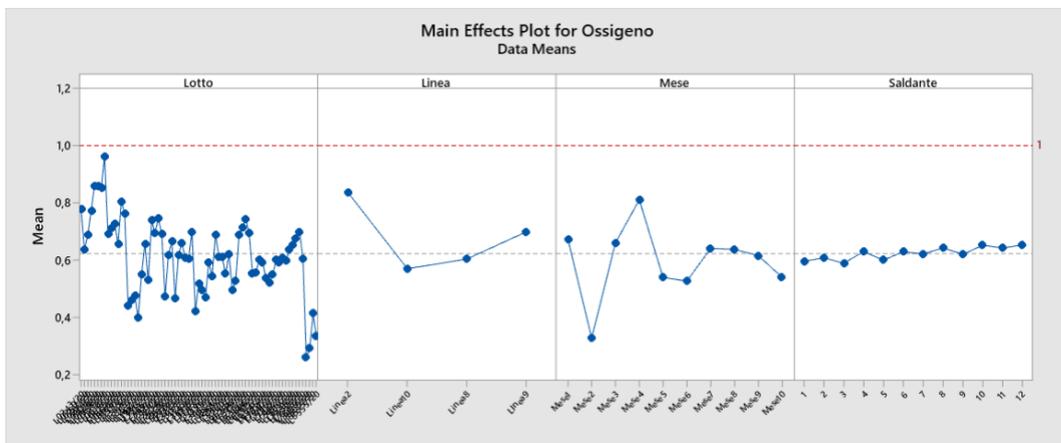


Figura 56: Analisi di stratificazione del controllo “Ossigeno” della referenza

Lo studio per stratificazione mostra che il fattore “Lotto” e “Mese” hanno una differenza significativa rispetto alla media generale con una tendenza negativa, ovvero il residuo d’ossigeno trovato nelle capsule protende a diminuire e ciò conferma l’ipotesi iniziale di un possibile miglioramento per quanto riguarda la manutenzione o, generalmente, la sensibilità rispetto ai fermi della linea di produzione in quanto, come già sottolineato, una possibile causa della microperdita potrebbe essere il malfunzionamento del papero, che elimina il caffè sul collo della capsula dove poi la punzonatrice effettuerà la saldatura. Invece, i fattori “Saldante”, “Linea” hanno un comportamento del tutto simile a quello in precedenza, ovvero non si notano differenze macroscopiche dovute a cause ricorrenti bensì a possibili errori di compilazione che creano variazioni grafiche.

## 5.8 Regressione

Si è tentato di ricavare un'equazione di regressione che tentasse di relazionare l'erogazione, in particolare la portata, con le qualità controllate della capsula, ovvero peso, ossigeno, granulometria e polveri, utilizzando un subset dei dati altamente pulito, includente una singola linea e un determinato periodo di tempo al fine di ridurre al minimo il possibile rumore contenuto intrinsecamente nei dati. Ovviamente ci sono numerosi altri fattori che non sono stati presi in considerazione dall'analisi, essenzialmente per mancanza di sufficienti records.

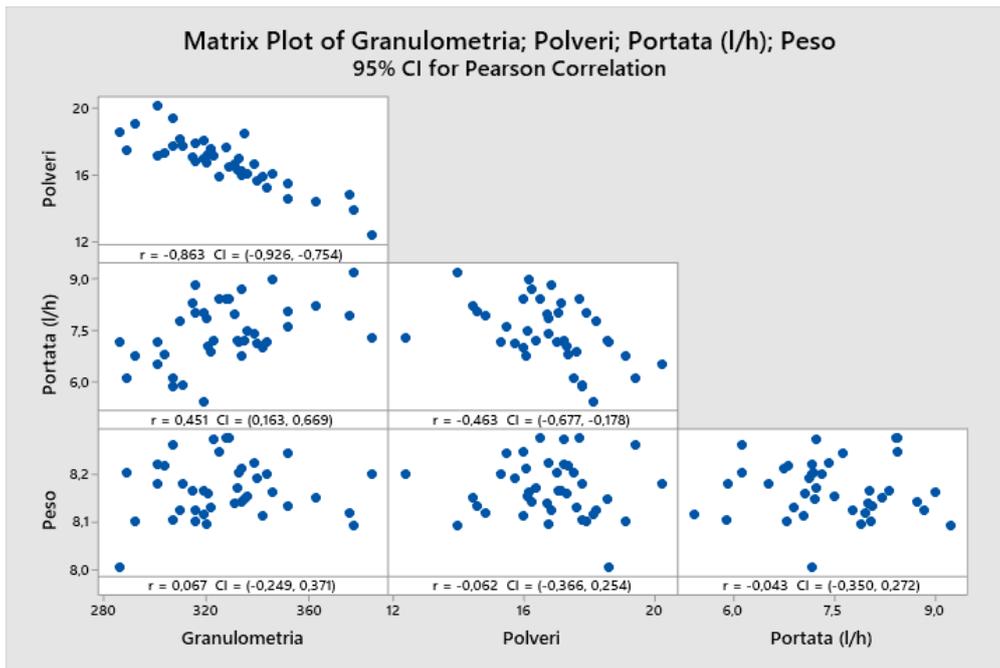


Figura 57: Matrice di correlazione tra “Granulometria”, “Polveri”, “Portata” e “Peso”

Il grafico in esame mostra, tramite l'utilizzo della correlazione di Bravais-Pearson, il tipo e l'intensità della relazione lineare tra le variabili analizzate. In particolare, si nota come tra le “Polveri” e “Granulometria” è presente una forte correlazione negativa, -0,863, che indica all'aumentare di un fattore, l'altro diminuisce e ciò conferma l'ipotesi iniziale in cui le due misure siano inversamente collegate. Il legame, inoltre, viene indirettamente individuato, seppur con un rumore più evidente, nella correlazione “Portata” con “Granulometria” e “Polveri” a dimostrare della nozione che se fossero presenti polveri di caffè macinato in quantità elevata nella capsula, l'erogazione potrebbe rischiare di non fluire correttamente.

Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

FATTORE	(1)	(2)	(3)	(4)
<b>GRANULOMETRIA</b>	0,0091** (0,00309)	9,9356* (0,0183)		0,0075 (0,0112)
<b>POLVERI</b>	-0,1130* (0,0464)	0,397 (0,352)	-0,2804** (0,0414)	-0,142 (0,169)
<b>GRANULOMETRIA x POLVERI</b>		-0,00159 (0,00108)	0,000486** (0,000183)	
<b>PESO</b>				-0,46 (2,20)
<b>OSSIGENO</b>				-1,51 (1,03)
<b>R<sup>2</sup></b>	15,06%	15,68%	14,59%	27,50%
<b>N</b>	295	295	295	40

Tabella 1: Regressione che relaziona i fattori di “Granulometria”, “Polveri”, la rispettiva interazione, “Peso”, “Ossigeno”. \*, \*\*, indicano una significatività statistica rispettivamente del 10% e 5%.

Dopo aver studiato e confronto le possibili regressioni, si è deciso di concentrarsi sulla (3), ovvero con il fattore “Polveri” e “Granulometria x Polveri”, in quanto, seppur ha un  $R^2$  leggermente inferiore, possiede una significatività statistica molto più solida,  $F - value = 24,94$ ,  $P - value = 0$ , e quindi il modello proposto spiega una quota di varianza significativa dell’erogazione.

$$Erogazione (Portata) = 9,473 - 0,2804 Polveri + 0,000486 Granulometria * Polveri$$

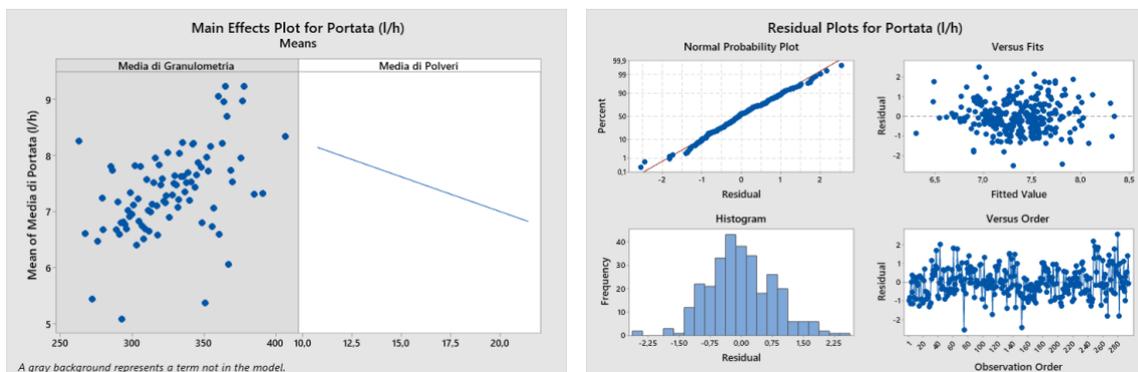


Figura 58: Rappresentazione grafica della relazione “Erogazione (portata)”, “Granulometria” e “Polveri”, ed analisi dei residui della regressione.

## 5.9 Modellazione del processo

La mappatura e l'analisi del processo hanno permesso di evidenziare correttamente ed oggettivamente i punti critici, sia di metodo che di attività operative, che affliggono il flusso di produzione. Alcuni problemi sono di natura ingegneristica dell'impianto di confezionamento e quindi, per forze maggiori, non si possono risolvere senza cambiare radicalmente lo stabilimento e senza un cospicuo investimento in nuovi macchinari. La modellazione del nuovo processo si è focalizzata sulle inefficienze derivate dal piano di controllo di qualità costituito da verifiche a valle del confezionamento effettuate dal CQ e dai diversi disallineamenti fra metodi operativi, limiti di specifica di prodotto e limiti tecnici di processo. Si è ipotizzato di spostare, gradualmente, la totalità dei controlli funzionali dalla qualità alla produzione in modo da ottenere delle verifiche più frequenti e in real-time. Naturalmente è necessario predisporre lo spazio e gli strumenti di misura, oltre che la formazione, in modo che gli operatori di linea abbiano le conoscenze e l'abilità di compiere le attività in modo efficiente, ossia l'affidabilità del controllo, ed efficacie, ovvero l'utilizzo del tempo. Nello specifico si sono individuate le seguenti macro-modifiche:

- Creazione isola di controllo in linea di confezionamento: la produzione per attuare le verifiche ha l'esigenza di avere uno spazio addebito per i controlli, costituito dagli strumenti di misura, come bilancia, macchina d'erogazione, analizzatore d'ossigeno e microperdite, dal computer e software per registrare correttamente i controlli. La soluzione è creare un banco di prova annesso ad ogni linea di confezionamento di facile utilizzo ed individuazione da parte dell'operatore;



Figura 59: Isola di controllo nella linea pilota di confezionamento



- Revisione delle specifiche di prodotto tenendo in considerazione il processo: come si è evidenziato nell'analisi del processo "as is", le specifiche di prodotto non sono del tutto allineate, in particolare riguardo il peso della capsula, a quelle reali del processo e ciò induce erroneamente a valutare diversamente le capacità e performance. Si è quindi proposto di cambiare ed uniformare le tolleranze in base alle caratteristiche del dosatore e, contemporaneamente, comunicare al cliente le modifiche teoriche del prodotto finito in quanto, nella realtà, la capacità del processo non è variata;
- Unificazione metodo di erogazione della portata: come delineato nell'analisi statistica del controllo di erogazione delle referenze, sussistono diversi parametri e metodi per misurare la caratteristica in esame, ovvero si fissa un tempo prestabilito e si misura la quantità di caffè erogato o, viceversa, si stabilisce il secondo e si rileva il primo. Questa variabilità, come osservato, genera errori di compilazione e metodologici in quanto l'operatore deve prestare attenzione per quali prodotti vige il primo metodo e quali altri il secondo e, per identificarla, è necessario analizzare e stratificare correttamente i dati. Si è quindi suggerito di unificare la metodologia di controllo al fine di ridurre la complessità della verifica a vantaggio dell'operatore di linea che, avendo meno esperienza e manualità, ha una probabilità di errore più elevata;
- Unificazione macchine di prova d'erogazione: come osservato nell'analisi statistica per stratificazione, il controllo di qualità dell'erogazione è effettuato su diverse macchine di prova ripetute e duplicate, a garanzia del corretto funzionamento dello strumento di misura e non del processo, con gli stessi risultati di isovarianza e medesima media. Ciò permette oggettivamente di ridurre drasticamente le copie delle macchine di prova, anche per ragioni di occupazione di spazio nell'isola di controllo, a favore di una verifica più rapida ed affidabile e di una gestione più semplice dello strumento di misura.

Inoltre, spostando la maggior parte dei controlli in produzione, la qualità, dopo una fase di validazione e formazione degli operatori, ha il tempo di effettuare attività di audit di processo per garantire la bontà delle verifiche in linea. Per esempio, si potranno attuare audit per verificare:

- La completezza delle registrazioni dei controlli, in modo da individuare eventuali errori ed imprecisioni e verificare il rispetto del piano di controllo nella frequenza e quantità;
- La correttezza dei metodi di controlli e il rispetto delle buone pratiche di qualità, come la pulizia e l'ordine del banco di lavoro;
- Il regolare funzionamento degli strumenti di misura, come bilancia, granulometro e macchine d'erogazione, e la loro corretta calibrazione ed allineamento;
- La corretta impostazione e regolazione delle linee di confezionamento, come la quantità di caffè pesato e la tara del dosatore, la temperatura del saldatore, la corrispondenza delle informazioni stampate sulle etichette con le caratteristiche del lotto di produzione e la rispettiva leggibilità.

## 5.10 Validazione e primi risultati

La validazione e sperimentazione dei cambiamenti sulla prima linea pilota è durata un mese nel quale progressivamente i controlli di processi sono passati agli operatori di produzione con il costante supporto e formazione della qualità. Le criticità si sono rilevate soprattutto nella prima settimana per quanto riguarda le registrazioni e le reazioni in caso di individuazione di una non conformità. Gli operatori, così come i relativi responsabili, erano all’inizio scettici dei vantaggi che questa radicale variazione comportava, in quanto avevano una concezione della qualità legata esclusivamente al controllo del prodotto finito e non alla produzione “buona al primo colpo”; inoltre, consideravamo queste ulteriori attività come tempo sottratto alla gestione della linea di confezionamento e quindi non a valore aggiunto. Il cambio di passo è arrivato quando la produzione, e in particolare le figure chiave, i cosiddetti *gatekeeper*, hanno osservato direttamente i benefici del flusso più snello ed ottimizzato del processo di controllo, degli interventi più rapidi nell’individuazione delle derive della linea di confezionamento e dei metodi formalizzati e standardizzati. Infatti, grazie a loro, la collaborazione e l’interesse verso questo progetto è decisamente aumentata e il passaparola ha permesso di velocizzare e convalidare la fase di formazione, a vantaggio della produttività.

Le analisi statistiche sui primi risultati preliminari mostrano che generalmente i controlli in linea sono efficaci ed affidabili e permettono di intervenire e risolvere prima che la possibile deriva impatti sul lotto intero di produzione. Resta necessario, comunque, ancora un periodo di studio e convalida della capacità del processo per la linea pilota al fine di validare correttamente le modifiche e partire con la sperimentazione sulle restanti linee di produzione.

### 5.10.1 Peso capsula

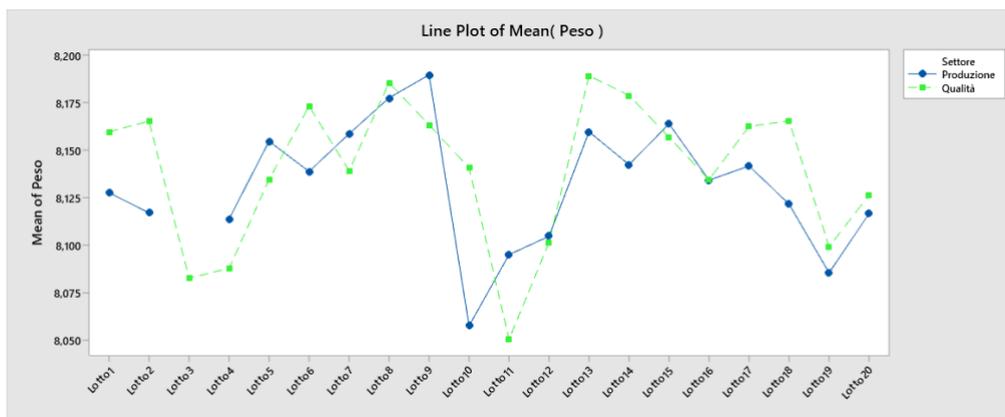


Figura 61: Rappresentazione grafica della media del “Peso capsula” rispetto al lotto e all’operatore di individuazione.

Il controllo del peso delle capsule sull’isola in produzione quasi in real-time ha dato risultati generalmente in linea con quelli in laboratorio qualità, al netto di alcune verifiche dove la differenza di misurazione è rilevante. In questo caso, dopo una profonda analisi del lotto e una serie di interviste incrociate con gli operatori, si è dedotto che la differenza

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

non era nel peso delle capsule ma nel calcolo della tara, in quanto il valore di riferimento, preso come il prodotto vuoto che si avvicina in maggior misura alla media, in qualità è naturalmente diverso con quello in produzione e ciò genera risultati diversi.

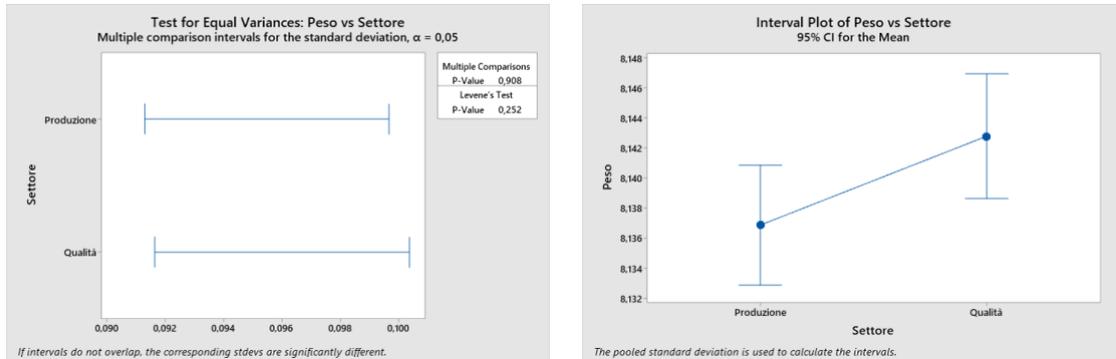


Figura 62: Analisi della varianza e ANOVA del “Peso capsula” rispetto all’operatore di controllo.

Nel complesso però, come si evince dai grafici, le distribuzioni dei due reparti sono isovarianti e di analoga media e ciò conferma la validità sia del metodo di controllo sia dello strumento di misura. Per completare la validazione si sono studiate le carte di controllo Xbar-R rispettivamente per la qualità e la produzione per il controllo del peso.

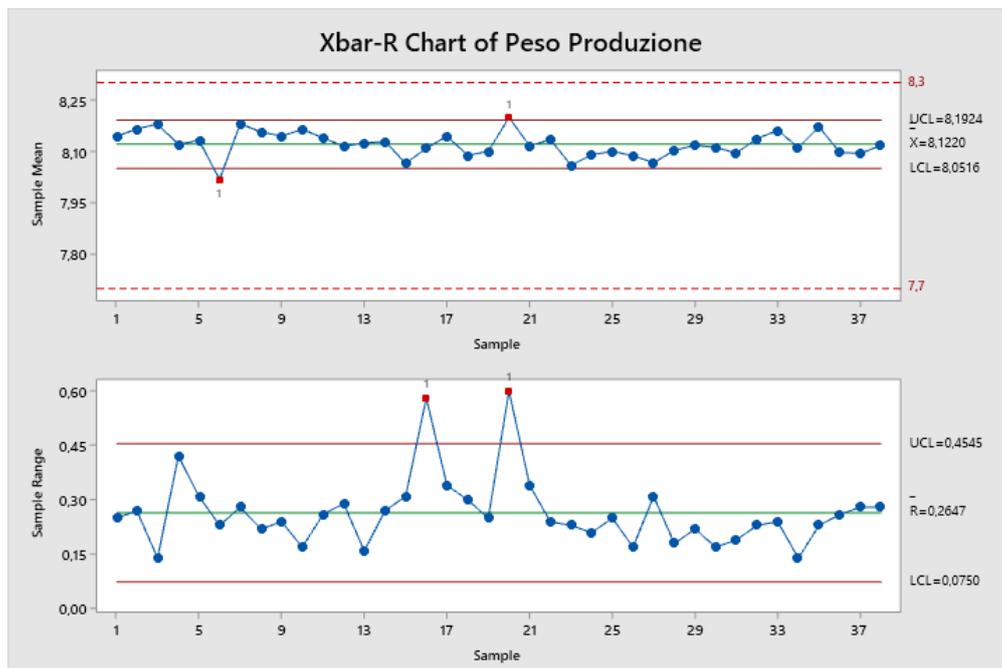


Figura 63: X-R carta di controllo del “Peso capsula” rilevato dagli operatori in linea.

La carta mostra che, con ogni sottogruppo corrispondente ad una registrazione di controllo:

- I limiti controllo sulla carta X sono sempre largamente all’interno dei limiti di specifica;

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

- Il sovradosaggio della capsula è ancora presente ma inferiore di 0,01 g rispetto a quello precedentemente calcolato;
- La variazione di processo, carta R, non è sempre sotto controllo, in particolare in corrispondenza del gruppo 20 in cui, verosimilmente, sarà influenzata da una causa straordinaria, per esempio la deriva del dosatore, e quindi si dovrebbe escludere dall'analisi;
- Vi sono due punti di out-of-spec per quanto riguarda la carta X, ovvero al di fuori della tolleranza di 3 volte la dispersione dei campioni. Si nota come poi il processo sia ritornato velocemente in media, indicazione che la deriva sia stata correttamente identificata e corretta.



Figura 64: X-R carta di controllo del "Peso capsula" rilevato dagli operatori di qualità

La carta mostra che, con ogni sottogruppo corrispondente ad una registrazione di controllo:

- I limiti controllo sulla carta X sono sempre largamente all'interno dei limiti di specifica;
- Il sovradosaggio della capsula è presente in egual misura rispetto a quello precedentemente calcolato;
- La variazione di processo, carta R, è pressoché sempre sotto controllo, in particolare in corrispondenza dell'inizio del lotto e ciò potrebbe essere causata dalla stabilizzazione della linea di produzione;
- Vi è un punto di out-of-spec per quanto riguarda la carta X, nello specifico il gruppo 17 è fuori da 3 volte la dispersione. Si nota come poi il processo sia

ritornato drasticamente in media, indicazione che la deriva sia stata correttamente identificata e corretta senza compromettere le successive registrazioni.

### 5.10.2 Erogazione (portata)

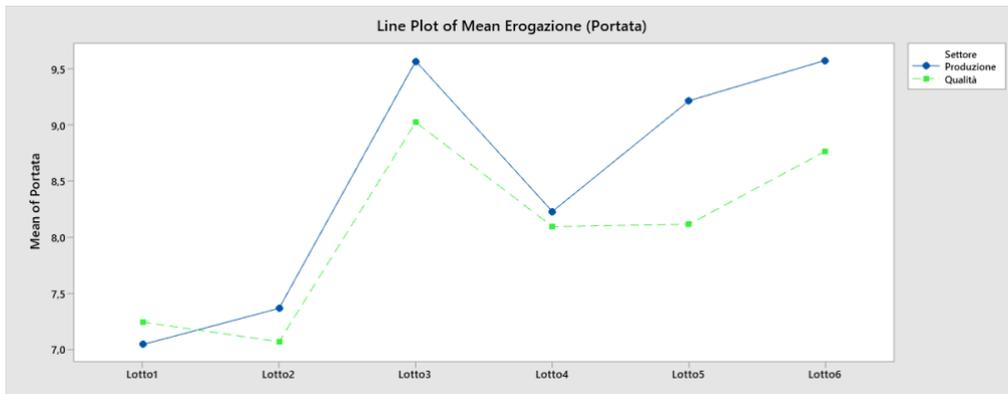


Figura 65: Rappresentazione grafica della media del “Erogazione (portata)” rispetto al lotto e all’operatore di individuazione

Il controllo delle erogazioni delle capsule sull’isola in contemporanea con la produzione ha dato esiti generalmente in linea con quelli in laboratorio qualità, al netto di alcune verifiche dove la differenza di misurazione risulta considerevole. In questo caso, dopo una serie di interviste incrociate con gli operatori e un’analisi del metodo di controllo, si è ipotizzato che la differenza non è causata direttamente dalle capsule ma intrinseca alla macchina d’erogazione di prova, in quanto, non essendo ufficialmente degli strumenti di misura certificati, sono affetti da incertezze e variabili non facilmente controllabili, come il livello di manutenzione, la decalcificazione, la pressione della pompa e la pulizia generale, che influenzano direttamente la resa in tazza del caffè monoporzionato.

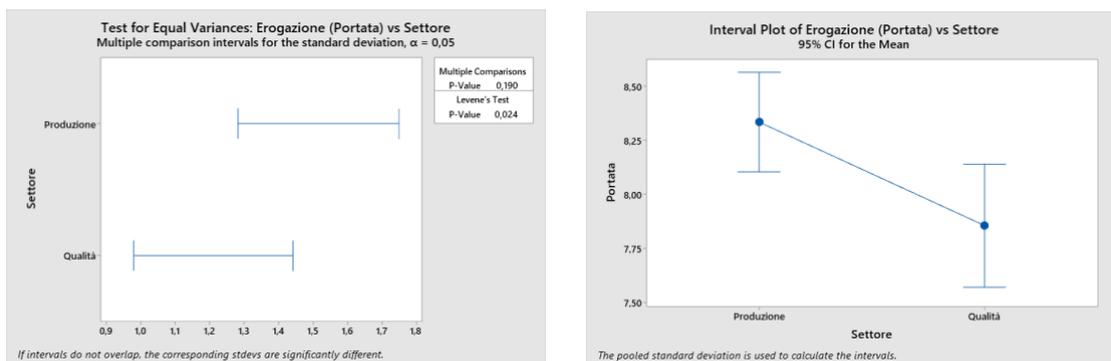


Figura 66: Analisi della varianza e ANOVA del “Erogazione (portata)” rispetto all’operatore di controllo

Come si delinea dai grafici, le distribuzioni dei due reparti, qualità e produzione, sono isovarianti, p-value maggiore di 0,05, e di media comparabile, ovvero con una confidenza al 95% e un p-value di 0,011 è possibile rigettare l’ipotesi di equivalenza tra i valori ma, data la tipologia e sensibilità dello strumento, si potrebbe comunque accettare la tesi a conferma della validità del metodo di controllo. Per completare la validazione si sono

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

studiate le carte di controllo Xbar-R rispettivamente per la qualità e la produzione per il controllo della portata.

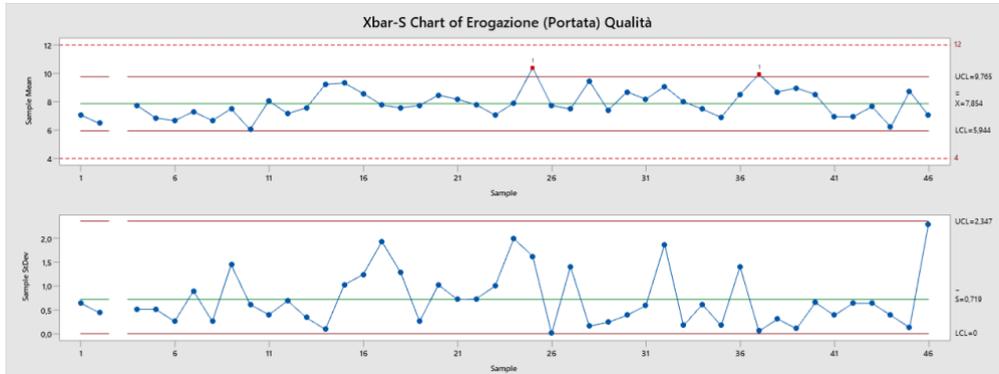


Figura 67: X-R carta di controllo del “Erogazione (portata)” rilevato dagli operatori in qualità

La carta mostra che, con ogni sottogruppo corrispondente ad una registrazione di controllo:

- I limiti controllo sulla carta X sono sempre largamente all'interno dei limiti di specifica;
- La media delle registrazioni è nell'intorno del valore target e quindi normalmente centrato;
- La variazione di processo, carta R, è sempre sotto controllo in tutti i sottogruppi al limite in corrispondenza del gruppo 46 in cui, seppur in tolleranza, la dispersione aumenta notevolmente, richiedendo, per garanzia, un'analisi specifica del lotto;
- Vi sono due punti di out-of-spec per quanto riguarda la carta X, ovvero al di fuori della tolleranza di 3 volte la dispersione dei campioni. Si nota come poi il processo sia ritornato velocemente in media, indicazione che la deriva sia stata correttamente identificata e corretta.

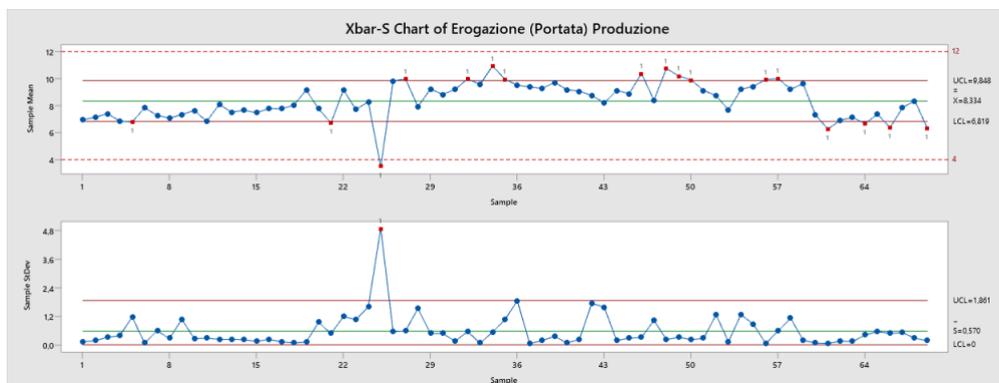


Figura 68: X-R carta di controllo del “Erogazione (portata)” rilevato dagli operatori in linea

La carta mostra che, con ogni sottogruppo corrispondente ad una registrazione di controllo:

- I limiti controllo sulla carta X sono sempre all'interno dei limiti di specifica;
- La media delle registrazioni, a differenza della distribuzione della qualità, è maggiore rispetto al target di riferimento;
- La variazione di processo, carta R, è pressoché sempre sotto controllo, in particolare si osserva una forte deriva del gruppo 25, correlata ad una media estremamente bassa della portata dell'erogazione, causata sicuramente da una causa straordinaria in quanto non ha prodotto successi valori fuori tolleranza;
- Vi sono numerosi punti di out-of-spec per quanto riguarda la carta X, accompagnati anche da una serie di derive della carta di controllo. Si nota, in particolare, come le deviazioni siano associate da una deviazione standard molto contenuta, indicazione che la causa non è straordinaria e che il problema ha interessato più registrazioni del medesimo lotto. Di conseguenza è da ricercare la causa sulle caratteristiche della produzione e quindi analizzare anche i controlli di peso e granulometria. Nel caso specifico in esame si nota un aumento della quantità di polveri nel silo di caffè macinato utilizzato.

### 5.10.3 Ossigeno

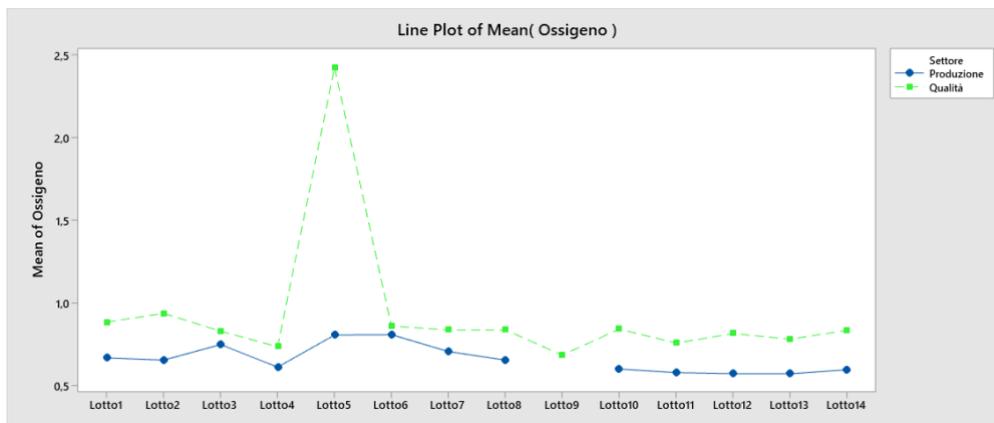


Figura 69: Rappresentazione grafica della media del “Ossigeno” rispetto al lotto e all’operatore di individuazione

Il controllo dell’ossigeno ha un comportamento molto diverso ma costante rispetto ai settori di rilevamento. Infatti, si nota come per la produzione i valori di registrazione siano mediamente e stabilmente inferiori ai corrispettivi in qualità. Ciò non è dovuto al processo o al metodo di verifica bensì ad un fattore strettamente temporale e fisico, ovvero, come già descritto in precedenza, il principale vantaggio nell’eseguire i controlli in linea è quello di essere attuati quasi contemporaneamente alla produzione, a differenza di quelli in laboratorio in cui potrebbe passare anche un’ora prima che essi siano effettuati. L’ossigeno all’interno della capsula non ha quindi il tempo di stabilizzarsi ed è ancora stratificato rispetto al caffè e al filtro superiore ed inferiore. Quando l’operatore inserisce

l'ago dell'analizzatore di gas nella parte alta della capsula, rileva sempre un tasso residuo inferiore di quello temporalmente successivo ma ciò è un notevole beneficio in quanto se la misura fosse già fuori tolleranza, generalmente del 1%, allora sicuramente sarà una non conformità per la qualità e si riducono drasticamente i falsi positivi. Per questa ragione è inutile procedere con le rispettive carte di controllo ed analisi della varianza del controllo.

## 5.11 Sviluppi futuri

Il progetto di introduzione e gestione dei controlli di processo avviato è solo il primo passo verso il Lean Manufacturing ma grazie ai primi ottimi risultati possiamo affermare che è la strada giusta verso una produzione più efficiente e consapevole del ruolo e dell'importanza della qualità come cultura aziendale. La fase iniziale di mappatura ha permesso di rilevare anche quei fattori critici fuori dal campo di applicazione del progetto, ma essenziali per l'ottimizzazione a 360° del processo che indirettamente influenzano i controlli a monte e a valle. Nello specifico sarebbero principalmente due argomenti non approfonditi nella trattazione che necessitano di una revisione: la manutenzione e la gestione degli strumenti di misura. Il primo in quanto si è notato come spesso la linea di produzione era ferma a causa di problemi di manutenzione o usura facilmente risolvibili con piani di manutenzione preventiva o predittiva; il secondo in quanto non esiste un particolare ente aziendale che si occupa attivamente del controllo dello stato degli strumenti, e non, di misura. Si potrebbe quindi considerare come sviluppo futuro:

- L'introduzione di un QMS, Quality Management System, a supporto delle registrazioni dei controlli di qualità ed integrato con l'ERP e MES, in modo da avere un software specifico e robusto come interfaccia grafica e database delle verifiche di processo. Ciò ridurrebbe al minimo i tanti errori di compilazione presenti adesso nel SIA che minano la veridicità ed affidabilità della analisi dei dati. Inoltre, permetterebbe in automatico di elaborare l'andamento del lotto, e in generale della produzione, stratificando con specifiche variabili al fine di prevenire possibili derive con strumenti statistici in real-time come le carte di controllo. Un ulteriore vantaggio sarebbe quello di poter tracciare e relazionare le registrazioni con lo stato della linea di produzione al fine di incrociare le informazioni strettamente di produttività, come fermo macchina, con quelle di qualità;
- L'inserimento di controlli o collegamenti automatizzati, a sostegno delle attività degli operatori in linea al fine di velocizzare il ciclo delle verifiche e ridurre i possibili errori di trascrizione dei valori;
- Lo studio approfondito di tutti i principali fattori che influenzano l'erogazione della capsula di caffè, in modo da adattare e concentrare il piano di controlli esclusivamente sulle variabili significative, incrementando o diminuendo la frequenza e la numerosità campionaria in base alla relativa importanza. Ciò

## Capitolo 5 – BPM: controllo qualità in confezionamento

aumenterebbe la produttività della linea di produzione, diminuendo gli scarti di caffè, sia di controllo qualità che di non conformità;

Tutto ciò per migliorare il processo ed ottimizzare il flusso di informazioni e di attività degli operatori, al fine di ridurre i limiti di tolleranza, aumentare la centratura ed incrementare la qualità generale della produzione. Resta necessario e fondamentale investire nella formazione delle risorse umane, in quanto ogni cambiamento, sia esso metodologico che strutturale, parte necessariamente da loro.

# Capitolo 6

## BPM: controllo qualità in tostatura

In questo capitolo andremo a descrivere la fase di tostatura, ossia la fase più importante che dona alla materia prima le caratteristiche chiave e più apprezzabili al cliente finale, come l'aroma e il sapore. La peculiarità di questo step risiede nell'irripetibilità del processo, ovvero il caffè tostato deve essere buono al primo colpo in quanto un eventuale difetto non potrà essere corretto o rilavorato in un secondo momento. Inoltre, l'attività è controllata con un unico parametro di riferimento, ovvero il colore, e ciò consegue una serie di accorgimenti specifici per lo strumento di misura utilizzato. Il capitolo si concluderà, infine, con i possibili sviluppi e miglioramenti futuri che si potranno applicare per ottimizzare ulteriormente il processo a beneficio della produttività e della qualità generale.

### 6.1 Obiettivo

L'obiettivo è progettare e convalidare un nuovo modello di controllo di qualità in tostatura, inserendo due nuove specifiche di controllo processo, tempo e temperatura in uscita, al fine di aumentare le performance del processo, incrementare il livello di qualità e supervisionare le derive dello strumento di misura di riferimento, il colorimetro. Il processo è quindi quello della tostatura che inizia dall'approvvigionamento della materia prima, i chicchi di caffè verdi, e termina con il prodotto semilavorato, il caffè tostato.

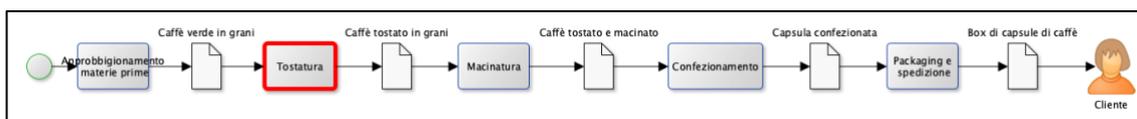


Figura 70: Flow Chart del processo di produzione delle capsule di caffè monodose

## 6.2 Process owner ed organizzazione

La responsabilità del progetto è in sede alla tostatura, come ente operativo e di riferimento, mentre la qualità, così come il laboratorio assaggio, ha la funzione di supporto e di informazione degli aggiornamenti. Si è creato un gruppo di lavoro interdisciplinare per ridurre le asimmetrie informative e migliorare la comunicazione. In particolare, è composto dal responsabile della tostatura, del sistema di gestione qualità e del laboratorio assaggio.

## 6.3 Metodologia

La metodologia utilizzata è la medesima del precedente Business Process Management in confezionamento. Si sono utilizzati i principali strumenti statistici precedentemente descritti con l'aggiunta dello "Scatterplot", fondamentale per studiare la relazione tra due variabili continue accoppiate, per analizzare, in una prima fase, la totalità delle miscele prodotte e, in una seconda, due referenze specifiche.

## 6.4 Indicatori

I principali indicatori utilizzati per verificare e convalidare il progetto sono la capacità del processo rispetto alle specifiche di tempo e temperatura in uscita, oltre naturalmente al colore. Inoltre, si è valutata l'adeguatezza del principale strumento di misura, il colorimetro, tramite l'applicazione del Gage R&R, correlata dall'analisi statistica delle registrazioni del controllo qualità di tostatura.

## 6.5 Mappatura: situazione as is

La mappatura si è focalizzata sul processo di produzione e controllo qualità in tostatura, inteso rispettivamente come l'insieme delle attività operative per la cottura caffè verde in grani e il flusso informativo della qualità. Ciò al fine di ottenere una situazione reale del livello di automazione, degli interventi umani e dei possibili colli di bottiglia e limiti fisici delle macchine utilizzate.

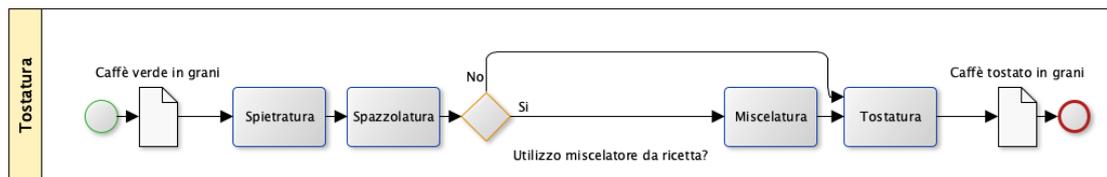


Figura 71: Flow chart del processo di tostatura

La produzione in esame è comune a tutte le tipologie di caffè verde confezionato in azienda, ovvero arabica, robusta, mono origine o miscele, e si differenzia per il profilo, ovvero la curva, di tostatura. Il processo è composto dalle seguenti fasi che rappresentano cronologicamente il flusso dalla materia prima al semilavorato:

- Spietatura, ovvero la setacciatura del caffè verde in modo da eliminare le unità con un peso superiore circa 1g;

- Spazzolatura, ovvero la pulizia dei chicchi di caffè crudo da legnetti ed altri materiali non utilizzati;
- Miscelatura, ossia, se la ricetta industriale lo prevede, la miscelazione di diverse tipologie di caffè verde;
- Tostatura, ovvero il caffè verde è tostato in base alla curva di tostatura specifica attraverso una tostatrice.

### 6.5.1 Piano di controllo attuale

Il piano di controllo attuale prevede un unico controllo funzionale a frequenza fissa che corrisponde al colore, in quanto è il parametro standard di riferimento della corretta tostatura del caffè verde. L'operatore prende un campione omogeneo di un bech, unità minima di riferimento che corrisponde alla capacità della tostatrice, e lo misura attraverso il colorimetro. Questo strumento, correttamente calibrato, rileva la quantità di luce riflessa dal campione e visualizza sul relativo display elettronico il valore medio di misurazione. Più il risultato è numericamente elevato, più il caffè sarà chiaro, ossia una cottura inferiore, e viceversa più sarà piccolo e più il prodotto sarà scuro. Se il colore corrisponde a specifica di prodotto, allora il lotto è approvato e conclude il processo di tostatura. In caso contrario, invece, è scartato o, se presenta differenze minime, è deviato in quarantena in attesa di assaggio ed eventuale deroga da parte della qualità. L'esito del controllo e le informazioni sul lotto di tostatura, così come i limiti di specifica, sono registrati completamente manualmente su un singolo file Excel e salvati in cartelle condivise sulla rete locale. Non sono presenti quindi strumenti di aggregazione, né di creazione report automatizzati, utili all'operatore per individuare tendenze temperali ed analizzare globalmente la situazione di tostatura. Vi è quindi un'alta probabilità di compilare erroneamente i valori di riferimento del campo di controllo del colore, sbagliando per esempio a copiare il numero, con il risultato di non accorgersi in caso di deriva del processo. Un ulteriore punto critico è il metodo di preparazione del campione di prova in quanto il caffè tostato per essere analizzato deve essere prima macinato ed inserito in un provino correttamente riempito e livellato. Questo passaggio genera delle differenze di risultato in quanto, in base all'abilità ed esperienza dell'operatore e alle condizioni esterne, come temperatura, atmosfera e illuminazione, nel predisporre il prodotto di prova, lo strumento potrebbe identificare un diverso colore e perciò un differente livello di tostatura. Essendo l'unico controllo di processo, in caso di deriva del colorimetro o modifica del metodo di verifica, vi è il rischio di modificare erroneamente i parametri macchina, temperatura e tempo d'uscita, al fine di centrare il valore target di colore ma producendo un caffè che ha una resa in tazza totalmente discorde da quella di riferimento. La tostatura è la fase di produzione più importante dell'intero flusso in quanto è alla base della performance del prodotto finito ed una volta terminata non è possibile modificare il risultato se non scartare la non conformità. Ciò consegue che una difettosità rilevata in confezionamento è impossibile da rilavorare e quindi il processo dovrebbe essere sempre buono al primo colpo. Risulta essenziale quindi verificare la riproducibilità, ovvero la capacità dello strumento di misura di ottenere dei risultati simili variando le condizioni di misurazione, e la ripetibilità, ossia la capacità del sistema di misurazione di conseguire valori analoghi sullo stesso campione a parità di condizioni, del colorimetro tramite un Gage R&R.

### 6.5.2 Gage R&R

Il Gage R&R è un metodo finalizzata ad accertare l' idoneità di un sistema di misurazione a misurare i dati richiesti con la dovuta accuratezza e precisione, ovvero confronta la variabilità intrinseca del sistema di misurazione con la variabilità totale osservata per determinare la fattibilità. Ci sono diversi fattori che influenzano un sistema di misurazione, dando luogo ad errori nei dati rilevati, tra cui:

- Gli strumenti di misura stessi, i supporti utilizzati e le attrezzature, così come la facilità d'uso;
- Gli operatori (persone), la capacità, l'esperienza e la rispettiva disciplina nel seguire le istruzioni scritte o verbali.
- I metodi di prova, ovvero come vengono impostati i dispositivi, le attrezzature e in generale come viene registrato il dato;
- Le parti o campioni, ovvero ciò che viene misurato in quanto alcuni elementi sono più facili da misurare di altri;
- L'ambiente di prova.

Prima di analizzare i risultati, è necessario soffermarsi sulla differenza sostanziale di alcuni termini che andremo a descrivere, come:

- La ripetibilità del sistema di misurazione, ovvero è una misura della variazione ottenuta quando un operatore utilizza lo stesso dispositivo per misurare l'identica caratteristica sullo stesso prodotto. Due fonti comuni di errore di ripetibilità sono le variazioni dovute allo strumento e quelle dovute al posizionamento del prodotto nello strumento;
- La riproducibilità, ossia è la variazione nelle medie delle misure fatte da diversi operatori che usano lo stesso strumento per misurare la stessa caratteristica sullo stesso prodotto;
- L'accuratezza, ovvero il grado di vicinanza fra la media delle misure ed il valore di riferimento;
- Il bias, ovvero la differenza fra la media delle misure ed il valore di riferimento (errore);
- La linearità, cioè la differenza osservata nei valori di accuratezza nel range operativo dello strumento;
- La risoluzione, ovvero è la minima grandezza misurabile oppure la minima differenza misurabile;
- La stabilità, ossia è la variazione totale nelle misure osservata sullo stesso strumento in tempi diversi. Se riferita allo strumento puro, può influenzare sia accuratezza che precisione. Se riferita al processo di misurazione può influenzare la ripetibilità e la riproducibilità;

L'obiettivo del metodo statistico è fornire degli indici quantitativi di adeguatezza del sistema di misurazione in relazione alle specifiche della grandezza da misurare. A tal fine la variazione totale osservata è data dalla somma della varianza dovuta realmente ai prodotti e della variazione dovuta al sistema di misura utilizzato.

## Capitolo 6 – BPM: controllo qualità in tostatura

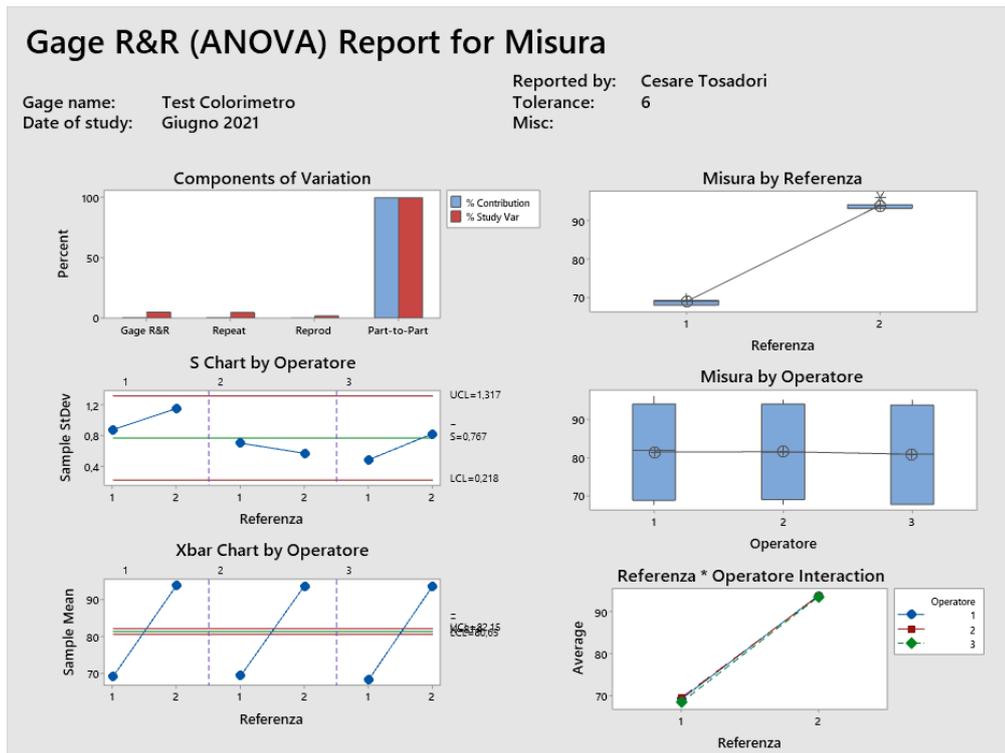


Figura 72: Analisi e rappresentazione grafica del Gage R&R crossed rispetto alle ripetizioni ed operatori

In particolare, si è utilizzata la funzione di Minitab del “Gage R&R crossed” in quanto la misura non è distruttiva e l’oggetto non subisce variazioni durante l’operazione di misura e, di conseguenza, più articoli vengono misurati più volte da più operatori secondo un ordine strettamente casuale.

Source	DF	SS	MS	F	P	Source	VarComp	%Contribution
Referenza	1	9325,07	9325,07	9172,20	0,000	Total Gage R&R	0,741	0,24
Operatore	2	4,90	2,45	2,41	0,293	Repeatability	0,651	0,21
Referenza * Operatore	2	2,03	1,02	1,60	0,212	Reproducibility	0,090	0,03
Repeatability	54	34,40	0,64			Operatore	0,090	0,03
Total	59	9366,40				Part-To-Part	310,814	99,76
						Total Variation	311,554	100,00

Tabella 2: Two-Way ANOVA Table with Interaction e Gage R&R, Variance Components

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,8606	5,163	4,88	86,06
Repeatability	0,8066	4,840	4,57	80,66
Reproducibility	0,3000	1,800	1,70	30,00
Operatore	0,3000	1,800	1,70	30,00
Part-To-Part	17,6299	105,779	99,88	1762,99
Total Variation	17,6509	105,905	100,00	1765,09

Number of Distinct Categories = 28  
Process tolerance = 6

Tabella 3: Analisi analitica Gage R&R

L'analisi dimostra che:

- Il comportamento dell'operatore 1 non è in linea rispetto agli altri due, come si evince dal "S-Chart by Operatore";
- La risoluzione del sistema è accettabile, dato il numero di categorie distinte pari a 28, maggiore della soglia di 4,
- %R&R, ovvero la varianza della misura rispetto a quella totale, calcolata come  $SD\ gage/SD\ tot$  è uguale a 4,88%, inferiore alla soglia del 10%, e quindi il sistema è accettabile;
- %Tolerance, ovvero il confronto tra la variazione totale misurata e la dispersione della tolleranza, calcolata come  $6*SD\ gage/6$  è uguale a 86,06%, superiore alla soglia del 30%, e quindi il sistema non è accettabile. Questo ultimo dato è molto importante in quanto comunica che seppur il sistema di misura è affidabile, la varianza della misura è troppo grande rispetto i limiti di specifica definiti e quindi è necessario procedere per rivedere le tolleranze sul parametro colore del caffè tostato.

## 6.6 Risultati analisi statistica

Si sono analizzate in maniera aggregata le registrazioni presenti sul repository locale, ossia si sono estrapolati manualmente tutti i files in un determinato periodo di tempo per tutte le referenze per ogni tostatrice, al fine di avere anche un confronto del comportamento al variare dell'articolo e della macchina e al contempo una visione macroscopica della fase di produzione. Per ottenere dei risultati affidabili e statisticamente solidi è necessario procedere con la pulizia del dataset al fine di eliminare eventuali errori di compilazione, di salvataggio o possibile outlier del processo, anche grazie al supporto del responsabile del controllo qualità e della tostatura. Per ragioni di riservatezza industriale si espongono due esempi di prodotto in cui sono state nascoste le scale di misura e i riferimenti puntuali dalle rappresentazioni grafiche in quanto il relativo profilo di tostatura è la ricetta segreta e scrupolosamente custodita di qualsiasi torrefattore di successo.

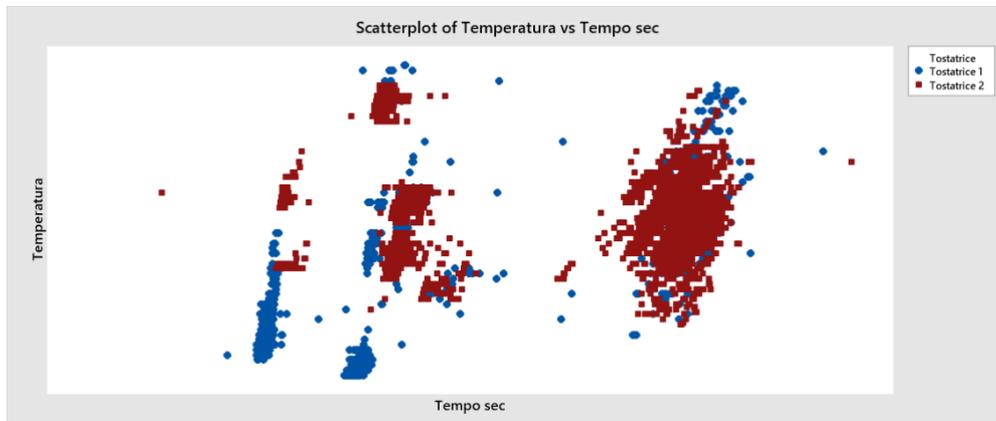


Figura 73: Rappresentazione grafica della relazione tra “Tempo in uscita” e “Temperatura in uscita” rispetto alle tostatrici utilizzate.

Il grafico mostra la relazione tra la temperatura e il tempo d’uscita, ogni punto rappresenta una registrazione di un lotto di tostatura, per tutti i prodotti rispetto alla tipologia di tostatrice utilizzata. Si nota la formazione di due principali gruppi e una tendenza verso l’alto dei dati, ovvero a parità di tempo sussistono diverse miscele con un valore di temperatura diverso. La popolazione è composta da tutti i records presenti sul repository locale e quindi inclusi i possibili errori di compilazione, lotti prodotti non conformi o periodi di tempo non stabili. Al fine di ottenere un risultato solido e veritiero si è scelto di inserire esclusivamente i lotti centrati rispetto al target di colore, ossia con una tolleranza massima di +/- 1 punto di colore, escludendo i valori di outlier e le eventuali imprecisioni di compilazione oggettivamente individuabili.

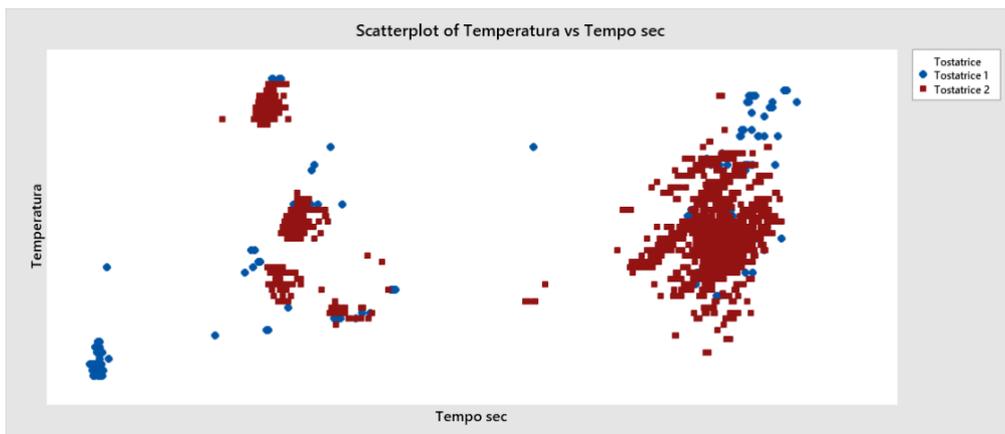


Figura 74: Rappresentazione grafica della relazione pulita tra “Tempo in uscita” e “Temperatura in uscita” rispetto alle tostatrici utilizzate

Si osserva come il diagramma risulti molto più semplice e si delineano più facilmente i sottogruppi precedentemente individuati. In particolare, emerge un insieme di registrazioni della “Tostatrice 1”, in bassa a sinistra, che nella precedente vista non si era individuato e che verosimilmente rappresenta un gruppo specifico di prodotti con lo stesso profilo di tostatura. La relazione tra tempo e temperatura di uscita nella tostatura non è comunque ancora chiara in quanto le differenti caratteristiche delle miscele di caffè, come robusta ed arabica, hanno un forte impatto sui parametri del processo. Si sono scelte come esempio due referenze di prodotto per analizzare nel dettaglio il comportamento dei fattori e le possibili diversità fra due tipologie di materia prima.

### 6.6.1 Referenza 1

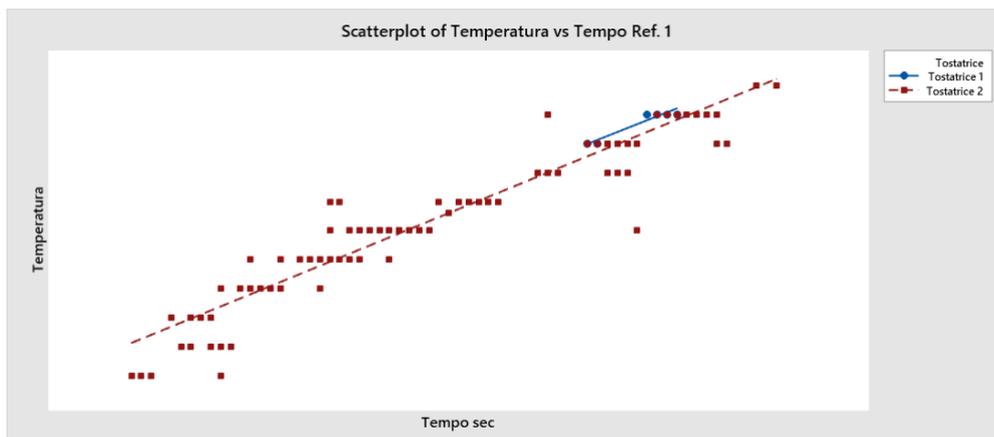


Figura 75: Rappresentazione grafica della referenza 1 della relazione tra “Tempo in uscita” e “Temperatura in uscita” rispetto alle tostatrici utilizzate

Dal grafico è evidente la relazione lineare positiva tra il fattore tempo di uscita e il corrispettivo temperatura, ossia che per raggiungere una temperatura più elevata, la tostatrice necessita di un tempo maggiore. Il rapporto descritto nelle interviste preliminari con gli operatori e responsabile di produzione è quindi confermato dai dati e, in particolare, la relazione è forte per la “Tostatrice 2”, linea rossa, essendo la quantità di dati maggiore il modello di regressione ipotizzato si adatta meglio alla distribuzione. Le

due curve risultano comunque molto analoghe ad indicare che il risultato del profilo di tostatura è il medesimo per macchine diverse ma, date le caratteristiche e limiti tecnici differenti, la “Tostatrice 1”, a parità di tempo, raggiunge una temperatura di grado superiore per ottenere lo stesso caffè tostato.

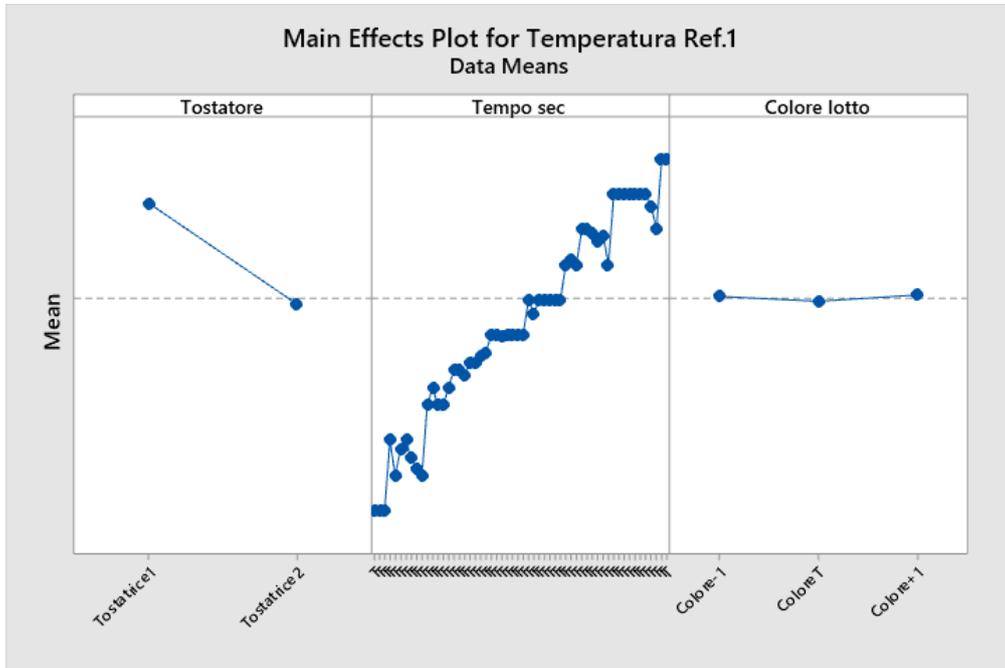


Figura 76: Analisi di stratificazione della “Temperatura in uscita” della referenza 1.

Il “Main Effect Plot” conferma le osservazioni precedentemente dedotte, ovvero:

- La relazione lineare positiva tra temperatura e tempo viene confermata dal grafico centrale dove è evidente, al netto di possibili imprecisioni dovute a rumore, la tendenza di regressione;
- La “Tostatrice 1” ha mediamente per i lotti prodotti una temperatura più alta rispetto alla corrispettiva “Tostatrice 2”, grafico a sinistra, e quindi per ottenere un risultato analogo è necessario tostare per un tempo inferiore ma a temperatura maggiore la materia prima;
- Il grafico a sinistra, invece, sostiene che a parità di colore, al netto della sensibilità dello strumento di misura +/- 1 punto, è possibile avere diverse combinazioni di tempo e temperatura idonee per raggiungere un livello di colore conforme a specifica. Sussistono quindi dei fattori che influenzano in maniera significativa la tostatura, ovvero esistono delle condizioni, come per ipotesi quelle relative materia prima o atmosferiche come il tasso di umidità o la temperatura dell’ambiente esterno, che non sono tracciate dalle registrazioni ma, come dimostrano i dati, sono profondamente conosciute dagli operatori. Infatti, se questo know-how non fosse acquisito dai tostatori, sarebbe impossibile ottenere un caffè simile con una combinazione così differente di tempo e temperatura in uscita.

### 6.6.2 Referenza 2

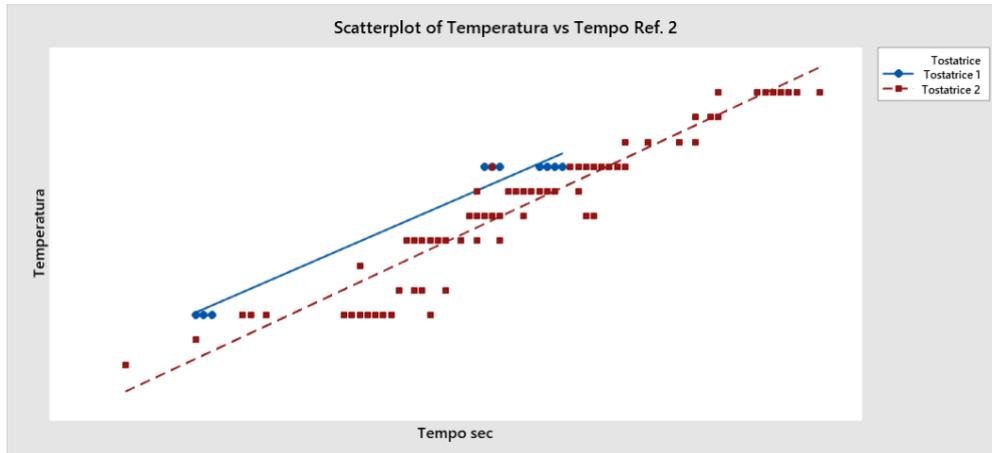


Figura 77: Rappresentazione grafica della referenza 2 della relazione tra “Tempo in uscita” e “Temperatura in uscita” rispetto alle tostatrici utilizzate

In analogia alla referenza precedente, è possibile notare anche in questo caso la relazione lineare positiva per entrambe le tostatrici. Grazie alla presenza di più dati per quanto riguarda la “Tostatrice 1”, si nota più chiaramente che le due linee di regressione sono quasi parallele e trasposte di un fattore costante a significare che quello che cambia non è tanto il rapporto ma l’origine, ossia il punto di partenza, dei risultati.

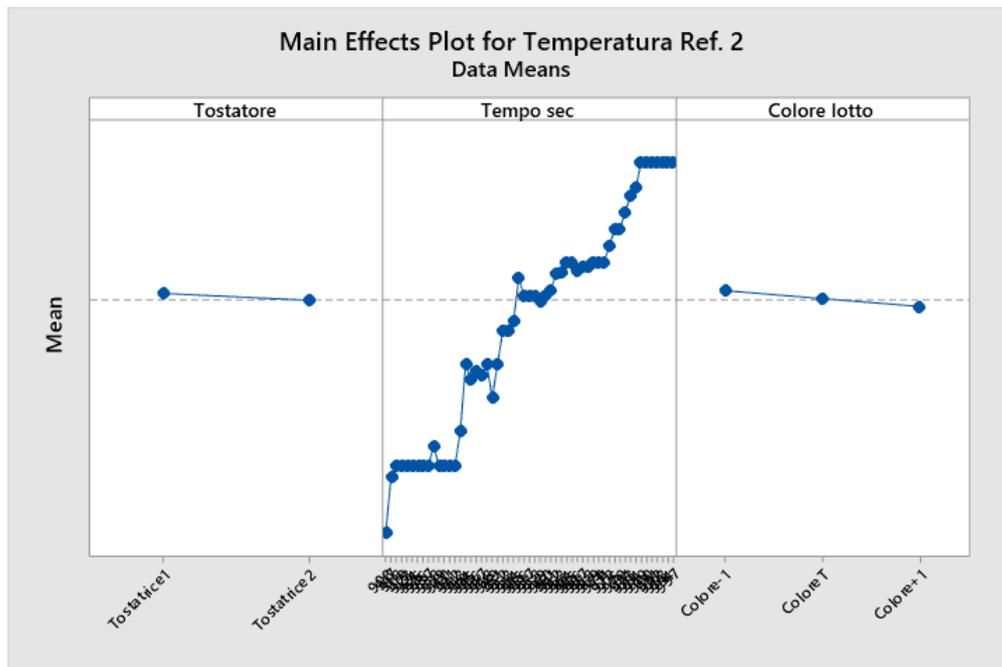


Figura 78: Analisi di stratificazione della “Temperatura in uscita” della referenza 2.

Il grafico, al netto di eventuali errori di registrazione, conferma le previe osservazioni anche per la referenza 2 e ciò dimostra, basandosi su queste distribuzioni ed informazioni, che il comportamento del processo di tostatura è simile anche per materie prime differenti, ovvero sussiste sempre la relazione lineare positiva tra tempo e temperatura e l’esistenza di fattori esogeni non valutati. Il comportamento delle due tostatrici individuate è invece

influenzato dalla tipologia di caffè verde impiegato in quanto la relazione è diversa nei due casi esaminati. In questo caso, la temperatura in media è pressoché uguale per le macchine analizzate.

## 6.7 Modellazione di processo

La mappatura e l'analisi statistica del processo hanno permesso di rilevare chiaramente e realisticamente i punti critici, sia di metodo che di attività operative, che affliggono il flusso. Alcuni limiti sono di natura informatica dell'impianto di tostatura e quindi, per forze maggiori, non si possono risolvere senza cambiare completamente il software e senza un cospicuo investimento in integrazione ed aggiornamento del sistema informativo aziendale. La modellazione del nuovo processo si è focalizzata sulle inefficienze derivate dal piano di controllo di qualità costituito da un'unica verifica di processo ma fondamentale per l'intera catena di valore. Si è ipotizzato di inserire gradualmente i controlli di tempo e temperatura in uscita con delle ipotesi di tolleranze provvisorie create rispetto alla capacità tecnica e reale del processo, in modo da ottenere delle verifiche più robuste e affidabili. Naturalmente è necessario predisporre un nuovo template e metodologia di registrazione, oltre che la formazione, in modo che gli operatori abbiano le conoscenze e l'abilità di compiere le attività in modo efficiente, l'affidabilità del controllo, ed efficacie, l'utilizzo del tempo. Nello specifico si sono determinate le seguenti macro-modifiche:

- Introduzione di due nuovi controlli di processo: gli operatori di tostatura avranno a disposizione due ulteriori parametri di processo per assicurare i risultati attesi conformi e rilevare l'eventuale deriva del colorimetro, ovvero la temperatura e il tempo in uscita. Queste informazioni erano già inserite nelle registrazioni ma erano utilizzate esclusivamente come tracciamento e storico della produzione e non come valori di riferimento;
- Creazione di specifiche e tolleranze di prodotto: basandosi sui dati storici, stratificati per referenza di prodotto e tostatrice in un periodo di tempo affidabile e privo di fattori esogeni, si sono analizzati statisticamente il tempo e la temperatura in uscita, al fine di individuare un valore di riferimento e la relativa tolleranza. Per far ciò si sono calcolate per ogni miscela di caffè verde, le medie e deviazioni standard generali e al terzo quartile per elaborare la dispersione dei valori e ricavare un target di riferimento. Successivamente, grazie all'aiuto e all'esperienza del controllo qualità e del responsabile tostatura, si sono ipotizzate delle tolleranze per i due parametri comuni per tutti i prodotti ed appropriate per le macchine utilizzate, tenendo conto della variabilità determinata dai fattori esogeni.
- Formalizzazione di una nuova metodologia di controllo: gli operatori di tostatura avevano a disposizione un unico controllo di processo e, di conseguenza, era un semplice OK o KO, ovvero se il colore rientrava nei limiti di specifica, allora il lotto era approvato, altrimenti era scartato e identificato come non conforme. Con l'introduzione di due nuovi parametri, è necessario formalizzare la metodologia in caso di rilevazione di una fuori tolleranza di uno dei 3 controlli. Si è ipotizzato che il colore rimane il controllo chiave che guida il processo, mentre la

temperatura e il tempo sia parametri, almeno per il periodo pilota di validazione, di supporto e verifica dello strumento di misura.

- Creazione di un nuovo template con automazione delle specifiche: le informazioni di tempo e temperatura in uscita erano già registrate sul modello ma mancavano i rispettivi valori di riferimento e tolleranze, così come i target di colore erano inserite manualmente. Per rafforzare la compilazione, e prevenire eventuali errori di inserimento, si sono automatizzate, usando le funzioni built-in presenti in Microsoft Excel, i relativi campi in modo che l'operatore si limitasse ad inserire esclusivamente il nome della referenza di prodotto e la tipologia di tostatrice e il sistema compilasse le relative specifiche dei parametri di processo.

## 6.8 Validazione e primi risultati

Le tolleranze individuate relative al tempo e temperatura in uscita sono, rispetto ai dati storici, confermate in quanto la maggior parte delle distribuzioni dei prodotti ricade con una discreta probabilità in questo intervallo. Per alcune referenze, a causa della scarsità di informazioni di analisi dovuta alla frequenza ridotta di produzione degli articoli, è stato necessario l'intervento del responsabile di tostatura per allineare le specifiche tecniche elaborate con quelle teoriche in quanto sussisteva una significativa differenza dovuta essenzialmente ad errori di registrazione non eliminati nella pulizia del dataset. Ciò è possibile in quanto la funzione nativa di Minitab di rimozione degli outlier funziona in modo ottimale con una distribuzione numerosa di dati e, in particolare con la "Tostatrice 1" questo vincolo statistico è spesso emerso con la conseguente impossibilità di impiegare la funzione. I primi risultati ottenuti sono però insufficienti per validare le due nuove specifiche di processo in quanto, come osservato nell'analisi statistica "Main Effect Plot" delle due referenze, sussistono dei fattori esterni che influenzano significativamente la tostatura. In particolare, dopo aver approfondito l'argomento con i relativi responsabili, si è ipotizzato che la stagionalità, definita come l'alternanza dei mesi freddi con quelli caldi con i rispettivi tassi di umidità, fosse una delle principali cause della variazione della temperatura rispetto al tempo ma ciò non viene dimostrato in modo solido e significativo dai dati. Infatti, stratificando la distribuzione con la data di produzione dei lotti, si nota come vi sia una differenza ma questa non ha un comportamento del tutto ciclico, sinusoidale.

Capitolo 6 – BPM: controllo qualità in tostatura

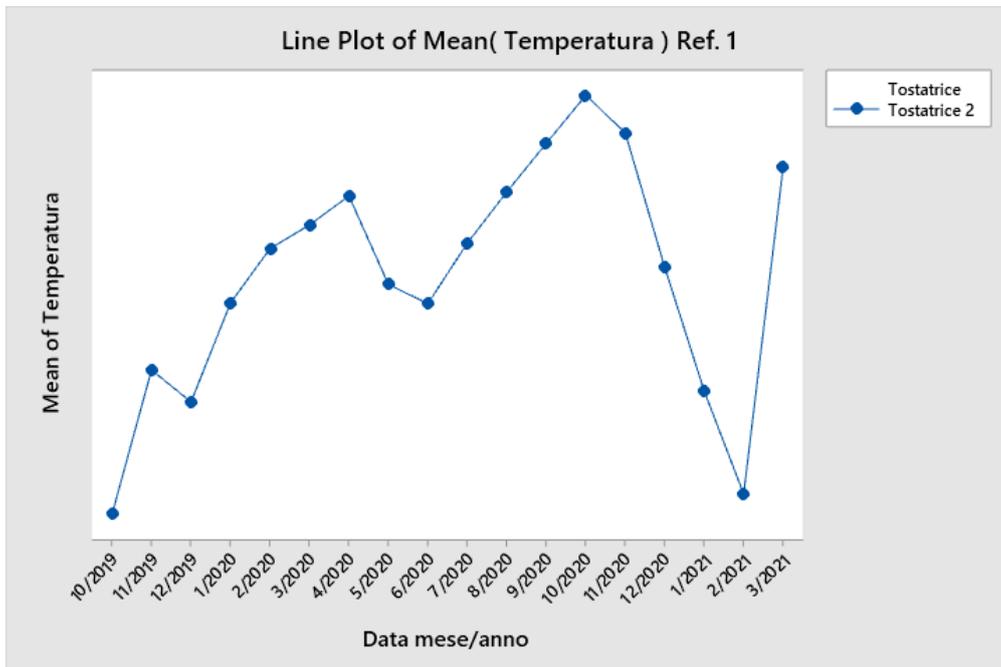


Figura 79: Rappresentazione grafica della media del “Temperatura in uscita” rispetto al lotto di produzione.

Per completezza si è eseguita anche una “Anova One-Way” per confermare la tesi che, almeno basandosi su questi dati in possesso, non vi è una chiara ed unica relazione sinusoidale tra il fattore “Data” e la temperatura, o tempo, in uscita.

Data mese/anno	N	Grouping
10/2020	90	A
11/2020	61	B
9/2020	53	B
3/2021	85	B C D
8/2020	22	C
4/2020	72	C D
3/2020	33	D E
7/2020	29	F
2/2020	72	F G
12/2020	17	E F G H
5/2020	56	H
1/2020	44	G H
6/2020	33	H
11/2019	32	I
1/2021	42	I
12/2019	6	I
2/2021	20	J
10/2019	58	J

Tabella 3: Grouping Information Using the Games-Howell Method and 95% Confidence

Come si evince, la funzione, utilizzando il raggruppamento di Games-Howell a causa della non equivalenza delle dispersioni, mostra che esistono dei gruppi comuni rispetto ai mesi dell’anno ma non sono sempre conseguiti dalla analoga temperatura esterna tipica

della stagione. Il gruppo “I”, per esempio, soddisfa l’ipotesi di stagionalità, in quanto comprende i mesi di gennaio, novembre e dicembre, come il “J”. Invece il gruppo “F”, che include febbraio, luglio e dicembre, così come “C”, non adempiono tale regola. Si può quindi affermare che i dati analizzati non concludono unitamente ad una relazione sinusoidale ma confermano l’esistenza di un rapporto con una variabile esterna al processo, verosimilmente la temperatura dell’ambiente, e la temperatura in uscita del processo di tostatura.

## 6.9 Sviluppi futuri

Il progetto di introduzione e revisione dei controlli di processo è solo il primo passo verso il Lean Manufacturing e si inserisce, insieme a quello relativo al confezionamento, nell’ottimizzazione della qualità lungo tutta la catena del valore. Seppur genericamente si potrebbe pensare che inserire verifiche aggiuntive non sia in logica di produzione snella, in quanto si incrementa il costo della qualità non strettamente a valore aggiunto per il cliente finale, si dimentica del costo, ben più notevole, delle non conformità e delle caratteristiche intrinseche del processo di tostatura. La produzione di caffè deve essere necessariamente buona al primo colpo e ciò significa blindare il processo a monte, piuttosto che controllarlo a valle, in quanto il costo di recupero delle capsule confezionate, oltre che per una questione ambientale e di riduzione degli sprechi, è elevato. In altre parole, il costo della non qualità supera largamente quello aggiuntivo della qualità. Sussistono comunque dei miglioramenti incrementali che diminuiscono, lato risorse umane, l’effort assorbito dai controlli e rafforzano il processo di controllo, tra cui:

- L’introduzione di un QMS, Quality Management System, a supporto della compilazione dei controlli di qualità ed integrato con l’ERP e MES, in modo da avere un software specifico e robusto come interfaccia grafica e database delle verifiche di processo in sostituzione all’uso dei file Excel. Ciò ridurrebbe al minimo gli eventuali errori di compilazione che minano la veridicità ed affidabilità della analisi dei dati. Inoltre, permetterebbe in automatico di elaborare l’andamento del lotto, e in generale della produzione, stratificando con specifiche variabili al fine di prevenire possibili derive con strumenti statistici in real-time come le carte di controllo. Un ulteriore vantaggio sarebbe quello di poter tracciare e relazionare le registrazioni con le caratteristiche del caffè verde associato al fine di incrociare le informazioni di performance e parametri macchina;
- L’inserimento di controlli o collegamenti automatizzati, a sostegno delle attività degli operatori in linea al fine di velocizzare il ciclo delle verifiche e ridurre i possibili errori di trascrizione dei valori, per esempio già presenti direttamente sulla tostatrice in modo da segnalare tempestivamente eventuali derive;
- Lo studio approfondito di tutti i principali fattori che l’influenzano la tostatura del caffè verde, in modo da registrare ed analizzare le variabili significative, al fine di definire correttamente le specifiche di processo e predire i parametri ideali da inserire nella tostatrice, al fine di ottenere una produzione buona al primo colpo.

## Capitolo 6 – BPM: controllo qualità in tostatura

Ciò aumenterebbe la produttività della tostatura, diminuendo gli scarti di caffè e l'impatto della non qualità.

Un altro punto che necessita di uno sviluppo futuro, in particolare di un progetto di BPM, che per questioni di tempo non si è approfondito nell'elaborato, è il processo di macinatura. Come si è osservato dalla regressione presente nel paragrafo 5.5, la resa in tazza, intesa come flusso dell'erogazione, della capsula monodose è direttamente influenzata dalla granulometria, mentre l'aroma e il gusto dalla tostatura, e quindi, in ottica di Lean Manufacturing, è essenziale revisionare anche questa fase di produzione al fine rafforzare sempre più a monte il processo di confezionamento. La macinatura è stata mappata ed analizzata rispetto alla situazione attuale in modo da avere una visione ad alto livello dei punti critici presenti e un buon punto di partenza per pianificare il Business Process Management. Si sono quindi rilevate le seguenti problematiche riguardanti il piano di controllo qualità:

- Metodologia del piano di controllo qualità, ovvero è composto da due verifiche, la granulometria del caffè macinato e l'erogazione della capsula di prova. La prima è la dimensione delle particelle che compongono il prodotto e si misura tramite un granulometro mentre la seconda è analoga a quella rilevata in confezionamento. Il punto critico è che, seppur verificate puntualmente ad ogni lotto di macinatura, ogni cliente ha eletto un controllo chiave che guida il processo. Ciò crea dei forti disallineamenti in quanto, ipotizzando per esempio una miscela tostata e macinata analoga fra due clienti, il macinatore si ritrova, a parità di semilavorato, a seguire un valore o l'altro con interventi sui parametri della macchina teoricamente molto differenti. Inoltre, vi è un limite fisico dello stabilimento che, in caso di rilevazione di una non conformità a trasporto avviato, non si può deviare il prodotto ma finisce insieme a quello in tolleranza, generando un considerevole punto critico sulla frequenza dei controlli di processo;
- Metodo operativo del controllo di erogazione, ossia la verifica sul flusso della capsula, che essa sia sulla portata, sulla dose erogata o sul tempo, è eseguita confezionando manualmente il prodotto finito con il caffè appena macinato. Naturalmente la resa in tazza è enormemente influenzata da questa procedura ed è quindi stata necessario creare una serie di limiti di tolleranza specifici per questa fase ma, data la caratteristica manuale del metodo, i risultati sono altamente variabili;
- Supporto informatico alle registrazioni, ovvero sia la compilazione delle registrazioni avviene, come già osservato nelle altre fasi di produzioni, quasi totalmente su file Excel con l'assenza di strumenti di aggregazione e di creazione di report automatizzati, utili all'operatore per individuare tendenze temperali ed analizzare il lotto di macinatura, oltre che per evitare errori di redazione.

# Capitolo 7

## Conclusioni

I risultati ottenuti in questo elaborato dimostrano come gli strumenti e le metodologie statistiche a supporto della gestione dei processi aziendali sono essenziali per la corretta applicazione delle attività di ottimizzazione del Business Process Management. La statistica è stata utile in ogni fase del progetto: dal confronto delle linee di confezionamento o delle macchine d'erogazione, alla modifica dei limiti di specifica di un prodotto, passando per la verifica dei benefici scaturiti dalle novità introdotte o l'analisi dell'affidabilità dei nuovi metodi di controllo. I principi alla base di tale miglioramento devono guidare ogni cambiamento, sia esso incrementale che radicale, del sistema qualità, declinato in questo caso nel controllo di processo in tostatura e confezionamento. Il cliente finale è sempre il focus primario e i limiti di specifica del prodotto devono essere definiti rispetto a cosa è percepito a valore aggiunto. L'adattamento quindi delle tolleranze di "Peso capsula" ed "Erogazione", troppo stringenti per le caratteristiche tecniche e fisiche del processo, è necessario per ottenere delle capability e carte di controllo reali che permettono di individuare correttamente le eventuali derive. Effettuare i controlli non si traduce sempre in maggiore qualità in quanto risulta fondamentale analizzare e stratificare le registrazioni per identificare i miglioramenti di processo, i punti critici e le cause radice. L'elaborazione approfondita della performance delle linee di confezionamento rispetto alle prove di erogazione si è rilevata centrale per riconoscere correttamente una differenza di metodo di controllo, piuttosto che una differenza di capability di processo. Inoltre, l'ipotesi di regressione basata sulla matrice di correlazione ha permesso di convalidare analiticamente le relazioni tra i fattori che caratterizzano le capsule di caffè monodose, come le dimensioni e polveri dei granelli di caffè tostato e macinato e l'erogazione del prodotto finito. L'equazione conseguita è statisticamente significativa ma, dato un dataset limitato, spiega una minima parte della varianza della popolazione. La standardizzazione è il terzo principio alla base del BPM in quanto tutti i controlli e le misure devono essere oggettive e fondate su metodi

ed istruzioni operative chiare e condivise. Si è osservato, infatti, che un metodo differente di controllo di processo, come quello della portata, può portare a considerazioni errate sulla performance della produzione mentre l'analisi effettuata con il Gage R&R sul colorimetro ha dimostrato invece l'affidabilità per quanto riguarda la riproducibilità e ripetibilità dello strumento di misura. Come ultimo, è necessario testare sul campo, il prima possibile, le idee e progetti di miglioramento in quanto solo in questo modo è possibile validare ed osservare le implicazioni pratiche di tali cambiamenti. Ne è un esempio la rapida creazione dell'isola di controllo in produzione sulla linea pilota che ha permesso di sperimentare concretamente l'impatto della migrazione delle verifiche dagli operatori di qualità a quelli in confezionamento sulla performance del processo. Si sono, inoltre, osservate direttamente le modifiche sui tempi e cicli di controllo e sulle relazioni tra le risorse umane che, in generale, hanno introdotto la cultura della qualità in produzione in ottica Lean Manufacturing, al fine di rendere gli operatori più consapevoli dell'importanza strategica della loro attività. Le ottimizzazioni realizzate nel processo di tostatura, come l'identificazione di controlli aggiuntivi, tempo e temperatura in uscita, la stima delle relative nuove specifiche di prodotto basate sull'analisi statistica dei dati storici e la creazione di un nuovo template di registrazione più automatico e solido, hanno permesso di rafforzare e consolidare la fase critica della produzione con enormi benefici in termini di qualità ed efficienza. Rimane da progettare, seppur in parte già analizzato, il nuovo modello di controllo del processo di macinatura per concludere l'obiettivo di ottimizzazione di tutta la catena del valore ed ottenere un piano di qualità solido e reattivo lungo l'intera produzione. Come ultimo tassello del Business Process Management, risulta fondamentale l'introduzione di un QMS a supporto degli operatori di linea e qualità ed integrato con i SIA, in modo da avere un'interfaccia grafica facile ed immediata e un database specifico e standardizzato. Ciò ridurrebbe i tanti errori di compilazione presenti che aumentano il tempo necessario all'elaborazione dei dati e riducono l'affidabilità dei risultati. Inoltre, permetterebbe in automatico di analizzare l'andamento del processo, stratificato con specifiche variabili, segnalando rapidamente agli operatori possibili derive con strumenti statistici in real-time come le carte di controllo.

## Bibliografia

Batini C. e Scannapieco M., *Qualità dei Dati: Concetti, Metodi e Tecniche*, Milano, Springer, 2008

Chiarini A., *Total quality management: modelli e strumenti di gestione totale della qualità: Six Sigma, Efqm, Hoshin, Balanced Scorecard, Lean Manufacturing*, Milano, FrancoAngeli, 2004

Dale B., Bamford D. e Ton van der Wiele, *Managing Quality: An Essential Guide and Resource Gateway*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2016

Eiermann A., Smrke S. e Guélat LM., *Extraction of single serve coffee capsules: linking properties of ground coffee to extraction dynamics and cup quality*, *Sci Rep* 10 17079, 2020

Frascheri S., *Business Process Reengineering : Una guida pratica per mappare e reingegnerizzare i processi aziendali*, Milano, Franco Angeli, 2020

Jmac C., Tanaka M e Manisera R., *Fact finding: conoscere l'azienda per migliorarla: diagnosi rapide per migliorare i processi aziendali*, Milano, FrancoAngeli, 2002

Juric M. e Pant K., *Business process driven SOA using BPMN and BPEL: from business process modeling to orchestration and service oriented architecture*, Packt Publishing, 2008

Kowalewski MJ., *Quality and Statistics: Total Quality Management*, ASTM International, 1994

Montgomery Douglas C., *Introduction to statistical quality control*, Hoboken, Wiley, 2013

Oakland J., *Statistical Process Control*, Burlington Butterworth-Heinemann, 2007

Ott Ellis R., Schilling Edward G. e Neubauer Dean V., *Process quality control: troubleshooting and interpretation of data*, New York, McGraw-Hill, 2000

Sinibaldi A., *La gestione dei processi in azienda: Introduzione al business process management*, Milano, FrancoAngeli, 2016

Slack N., *Operations and Process Management 6th Edition*, Pearson Education, 2021

Slack N., *Operations Management, 9th Edition*, Pearson Education, 2019

Zairi M., *Total Quality Management for Engineers*, Woodhead Publishing, 1991