

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

**DIPARTIMENTO DI**

**INGEGNERIA INDUSTRIALE**

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN

**INGEGNERIA MECCANICA**

TESI DI LAUREA IN

SISTEMI DI PRODUZIONE AVANZATI M

**DALLA VALUE STREAM MAP**

**ALLA DEFINIZIONE DI UN TARGET OEE:**

**IL CASO DELLA ZHERMACK S.P.A**

CANDIDATO  
Marco Ceruti

RELATORE  
Prof. Cristina Mora

CORRELATORI  
Prof. Alberto Regattieri  
Ing. Roberto Andrisani  
Ing. Alex Pezzuolo

Anno Accademico 2017/2018  
Sessione II





## Sommario

Abstract.....	6
Introduzione .....	8
I principi ed i metodi della Lean Manufacturing .....	10
Le rivoluzioni industriali.....	10
I principi della Lean Production.....	13
Visual Management .....	17
Value Stream Map - VSM .....	18
La legge di Little .....	22
Yamazumi chart .....	24
OEE – <i>Overall Equipment Effectiveness</i> .....	26
Altri metodi per la valutazione dell'OEE .....	28
SMED – Single Minute Exchange of Dies.....	29
Diagramma di Gantt e Diagramma reticolare .....	32
Zhermack S.p.A.: overview.....	34
Prodotti.....	36
Alginati.....	38
Siliconi .....	41
Reparti di produzione .....	48
Reparto Alginati.....	49
Reparto Sintesi.....	55
Reparto Siliconi .....	56
Reparto confezionamento .....	61
Reparto controllo qualità .....	66
Altri reparti .....	66
Value Stream Map .....	67
Current State Map.....	68
Siliconi .....	68
Alginati.....	77
Future State Map .....	79
Metodo di valutazione delle perdite tramite OEE .....	82
OEE in Zhermack.....	82
Il processo di consuntivazione .....	82

La struttura delle perdite.....	83
Metodo di calcolo dell'OEE in Zhermack.....	85
Dall'OEE classico all'OEE in Zhermack .....	86
Metodo per l'individuazione di un target per l'OEE .....	88
Scelta e analisi dei dati del periodo .....	88
Decisione azioni miglioramento .....	90
Correzione OEE per definizione target .....	91
Condivisione target e aggiornamenti successivi .....	93
Applicazione target al reparto alginati .....	94
Delta velocità.....	102
Cambio consumabile .....	104
Avviamento/Spengimento impianto .....	105
Setup.....	109
Applicazione target al reparto Confezionamento .....	117
Improvement .....	123
Avviamento DEL Flash Meeting alla pressa per i siliconi a condensation.....	126
Ribilanciamento Linea assemblaggio .....	128
Valutazioni economiche.....	132
Conclusioni .....	134
Bibliografia .....	135
Allegati .....	137

## ABSTRACT

L'obiettivo della presente tesi di laurea è quello di applicare alcune delle tecniche della Lean Manufacturing presso lo stabilimento produttivo di Zhermack S.p.A. sito a Badia Polesine (Ro). Il progetto di tesi ha seguito lo sviluppo di una Value Stream Map per l'individuazione dei colli di bottiglia nel flusso produttivo di due tipologie di prodotto: siliconi ed alginati. In seguito, sono stati applicati i metodi di Visual Management, SMED, 5S e Yamazumi chart. Le attività svolte hanno seguito la filosofia giapponese del miglioramento continuo, *kaizen*, puntando alla riduzione delle principali cause di spreco.

Durante questo studio si è presentata la possibilità di affrontare un argomento che è stato raramente esplorato dalla letteratura scientifica: un modello analitico e pratico per la creazione di un target per un KPI. Il KPI preso in considerazione è stato l'OEE, Overall Equipment Effectiveness.

Rilevanti sono stati i contributi nella riduzione delle perdite di produzione in termini di tempo e il miglioramento della qualità del lavoro degli operatori.



# INTRODUZIONE

Il progetto di tesi descritto nelle pagine seguenti, svolto presso l'azienda Zhermack S.p.A. è orientato all'analisi, all'individuazione delle perdite e alla proposta di una possibile soluzione nel flusso di produzione di siliconi ed alginati, materiali per impronta ad uso odontoiatrico ed odontotecnico. Il progetto ha avuto una durata di circa quattro mesi, a partire da febbraio 2018 fino a fine maggio 2018.

La filosofia della Lean Manufacturing, da pochi anni introdotta nell'azienda, ha offerto i giusti strumenti per affrontare gli obiettivi dello studio.

Particolare importanza ha rivestito il target OEE (Overall Equipment Effectiveness), che consente di identificare un valore di riferimento per un KPI (Key Performance Indicator). La letteratura scientifica fornisce poche indicazioni in proposito e le soluzioni tecniche vengono di norma trovate caso per caso, a seconda della realtà aziendale in cui vengono applicate.

Il primo capitolo di questo elaborato è stato dedicato alla trattazione teorica della filosofia snella e degli strumenti utilizzati. Si presenta rapidamente l'evoluzione del settore industriale e l'effetto che ha avuto sulla società. Poi si descrivono i principali strumenti in ambito *Lean Manufacturing* utilizzati in fase di analisi e applicazione delle soluzioni.

Nel secondo capitolo si dà spazio ad una caratterizzazione ampia dell'azienda, utile ad inquadrare al meglio il contesto nel quale è stato svolto il progetto. Vengono introdotti i prodotti, le loro caratteristiche e gli elementi critici, utili ai fini della produzione. In seguito, vengono descritte le divisioni in settori dello stabilimento, con un dettaglio maggiore per i reparti che sono i protagonisti di questo elaborato, ovvero quelli chiamati "Siliconi", "Confezionamento" e "Alginati".

Nel terzo capitolo si entra nel vivo delle attività svolte, con l'analisi dei principali problemi dei flussi produttivi e dei vincoli che ci si è trovati ad osservare. L'obiettivo di questa fase è stata la costruzione delle Current State Map che evidenziassero graficamente i flussi produttivi ed i loro colli di bottiglia. Vengono poi presentate le soluzioni che guidano la stesura delle Future State Map.

Il quarto capitolo introduce il metodo per l'identificazione di un target per l'OEE. Questo segue quattro step: analisi dei problemi nel contesto produttivo, scelta delle soluzioni, determinazione numerica del recupero possibile tramite le soluzioni ipotizzate, costruzione di un modello matematico per individuare un valore target per il KPI.

Seguono poi due esempi applicativi, uno nel reparto Confezionamento e l'altro nel reparto Alginati.

Nel quinto capitolo si presenta l'avviamento delle riunioni Flash Meeting alla pressa per i siliconi a condensazione.

Nel sesto capitolo si propone il ribilanciamento della linea di assemblaggio utilizzando tecniche Lean.

Nel settimo capitolo viene condotta una valutazione economica per le attività intraprese.

Infine, nell'ultimo capitolo si trarranno le conclusioni dello studio.

Tutte le attività sono state svolte con la stretta collaborazione aziendale del *Lean Manager* (tutor aziendale) e del "Tempo metodista" e con il supporto della professoressa Cristina Mora, del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna.

# I PRINCIPI ED I METODI DELLA LEAN MANUFACTURING

Gli argomenti, presentati in questo progetto di tesi sono fondati su tecniche consolidate della teoria della “*Lean Production*”. In questo capitolo verranno introdotte queste tecniche e la filosofia che guida le modifiche del processo produttivo.

Si inizierà dai passi storici che hanno portato le industrie ad introdurre questa filosofia e le sue basi teoriche, riccamente analizzate in letteratura scientifica. Verranno in seguito descritti alcuni strumenti propri della Lean Production, utilizzati all'interno del progetto.

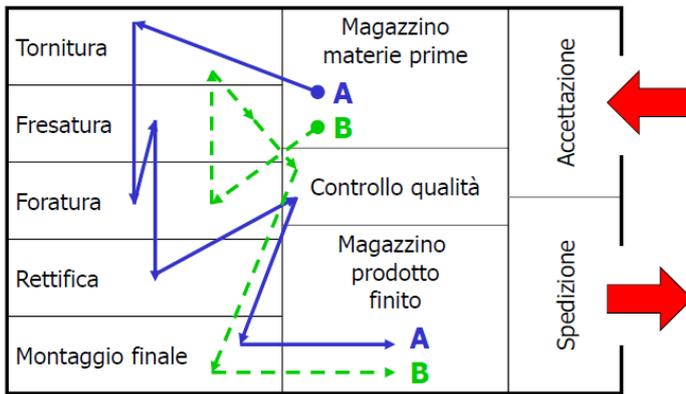
Primo tra tutti la Value Stream Map, mappa del flusso del valore, che permette di schematizzare il flusso produttivo, quantificarlo e metterne in luce criticità e colli di bottiglia.

## LE RIVOLUZIONI INDUSTRIALI

La prima rivoluzione industriale ha inizio a metà dell'800, quando la popolazione comincia a crescere nei paesi in via di industrializzazione, con un conseguente incremento della domanda di beni e servizi. Questa fase viene supportata da una maggior diffusione della rete ferroviaria, capace di trasportare quantità maggiori di prodotti e ingrandire le reti commerciali delle industrie. Questi nuovi trasporti “veloci”, assieme alle nuove tecnologie di produzione ed una manodopera abbondante e a basso costo, proveniente dalle campagne, fondano le basi per l'inizio della prima rivoluzione industriale.

Questo nuovo metodo produttivo è implementato in America soprattutto dall'industria delle armi da fuoco della Colt's Manufacturing Company (questo sistema viene infatti anche denominato “*American Armory System*”) assieme alla Cotton Gin grazie alle nuove tecniche di lavorazione del cotone Eli Whitney e per le macchine da scrivere Remington Rand. Le principali fonti energetiche utilizzate sono quelle idriche che sfruttano il meccanismo del mulino ma che richiedono un corso d'acqua vicino o le nuove macchine a vapore, capaci di delocalizzare le industrie togliendo il vincolo della vicinanza alla fonte idrica.

Dal punto di vista produttivo vengono introdotti il concetto di intercambiabilità dei componenti e un layout chiamato “*Job Shop*”.

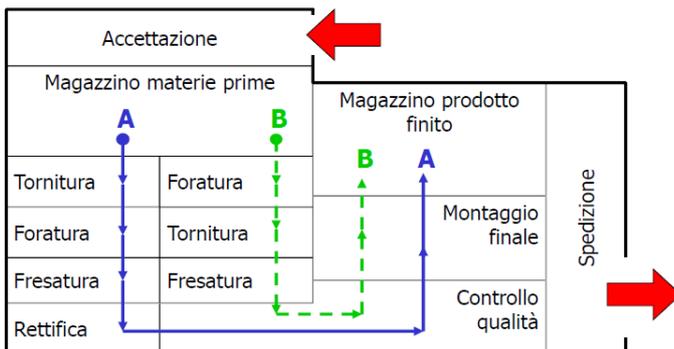


Nel Job Shop le lavorazioni dello stesso tipo e le macchine funzionalmente identiche sono raggruppate nello stesso reparto. Viene scelta un'ottica di processo, raggruppando lavorazioni simili.

Figura 1 Esempio di layout disposto a Job Shop.

In questo modo è possibile produrre molti prodotti diversi in basse quantità con dei flussi spesso intrecciati.

La seconda rivoluzione industriale deriva dalla famosa "Catena di montaggio di Ford", iniziata verso il 1910. La nuova linea di assemblaggio, pensata dalla Ford Motor Company, porta alla costituzione del noto concetto di *mass production*, produzione di massa. La linea di assemblaggio prevede lo spaccettamento dei lavori più lunghi in semplici operazioni, dette task (dall'inglese), ogni task viene assegnato ad una singola stazione. Questo porta a task ripetuti nella stessa stazione.



Questo concetto viene definito come "Flow Shop", linee dedicate, con un percorso prestabilito. I macchinari sono disposti lungo una linea in ordine di utilizzo e quest'ordine cambia per ogni tipologia di prodotto.

Figura 2 Esempio di layout disposta a Flow Shop.

Di conseguenza vengono prodotti grandi volumi con un'elevata standardizzazione. Ogni linea viene dedicata esclusivamente ad un solo prodotto. A cavallo della Seconda guerra mondiale avviene il secondo step di questa rivoluzione: l'introduzione delle linee transfer, ovvero una linea di assemblaggio automatizzata tramite un trasporto su un rullo motorizzato [1].

La terza rivoluzione industriale comincia a diffondersi verso il 1960, con il crescere della fama legata al nome Toyota. Durante la Seconda guerra mondiale, l'azienda tessile Toyoda è convertita dallo stato giapponese per la produzione di camion militari. L'azienda prosegue su questa strada senza riuscire ad imporsi nel mercato internazionale, che è invaso dalla catena di montaggio fordiana.

Negli anni '50 il giovane Eiji Toyoda si reca in America per studiare il più grande polo produttivo della Ford. Al tempo l'azienda Toyoda produceva circa 2685

automobili all'anno (1950), mentre il competitor americano Ford produce 7000 automobili al giorno. Al suo ritorno, insieme all'ingegnere Taiichi Ohno, capisce che il modello della catena di montaggio non sarebbe applicabile nel contesto sociale giapponese. Basandosi quindi sui valori giapponesi, ridisegnano completamente il modello aziendale, dal layout dello stabilimento fino all'Organizational chart. Lo sviluppo di un cellular manufacturing system consiste nella creazione di celle di lavorazione e assemblaggio, collegate tra loro per la composizione finale dei prodotti in un sistema completamente integrato con il controllo della produzione. Il risultato è un basso costo per unità prodotta, un'alta produttività, un'elevata qualità del contesto sociale e dei componenti ed il rispetto delle tempistiche, con un sistema flessibile capace di rispondere a dei medi volumi di domanda del mercato, con un'ampia gamma di prodotti differenti.

Questo sistema verrà chiamato con diversi nomi. Negli anni '80 viene coniato il termine "*Lean Production*" da studiosi del MIT di Boston. Il testo, "*The machine that changed the world*" del 1989 di Womack e Jones (sempre del MIT) introduce allo studio del concetto di pensiero snello, "*lean thinking*", che da lì si espanderà in molte aziende come metodo alternativo alla produzione di massa [2].

Secondo la letteratura, la quarta rivoluzione industriale nasce nel 2000. Si basa su un'evoluzione della Lean Production in cui le componenti principali sono la modularità dei componenti, la potenza computazionale dei calcolatori ed una gestione maggiormente integrata delle funzioni aziendali. Nasce così il *World Class Manufacturing*, WCM, come evoluzione del *Toyota Production System*, TPS.

## I PRINCIPI DELLA LEAN PRODUCTION

Il sistema Toyota, da cui ha origine la Lean Production, concentra i suoi sforzi per migliorare la qualità e la produttività attraverso la riduzione degli sprechi ed il rispetto per le persone che si trovano coinvolte nel processo.

La forza di questa filosofia è la sua applicabilità in contesti diversi, dai reparti di produzione agli uffici, dall' officina meccanica, alla gestione di impianti di processo. La Lean Production prevede l'integrazione di attività per la produzione di ampi mix produttivi, sfruttando minori scorte possibili di materie prime, minori scorte di prodotto finito e riducendo il WIP (*work in process*). Questo permette di diminuire l'immobilizzo di capitale e far risaltare le inefficienze nascoste nel sistema produttivo, definite "spreco".

Lo spreco è "qualsiasi cosa diversa dal quantitativo minimo di attrezzature, materiali, parti e addetti che sono assolutamente essenziali alla produzione".

Questi sprechi vengono spesso ricercati in 7 categorie:

1. **Sovra-produzione:** produrre più di quanto sia stato richiesto dal cliente o dal mercato, sinonimo di un'ottica push; questo crea un accumulo di beni invenduti, o inutilizzati, per i quali sono state usate risorse, tempo e materiali e possono risultare un costo vivo di mantenimento a scorta con rischio di obsolescenza;
2. **Tempi d'attesa:** le attese sono un'inefficienza, sono sinonimo di inattività, non creano un valore aggiunto al cliente; possono essere attese di materiale, di attrezzature, di risoluzione di un problema e anche attesa di informazioni;
3. **Trasporti:** movimentazioni di parti da e verso il magazzino fino alla zona di lavoro; in generale, la movimentazione non è un valore aggiunto per il quale il cliente è disposto a pagare (se non in rari casi);
4. **Scorte:** possono essere prodotti finiti, materie prime, semilavorati intermedi o anche informazioni che si accumulano in buffer inter-operazionali; oltre ad essere un immobilizzo di capitale, rischiano di nascondere altri problemi, come una possibile obsolescenza dei prodotti semilavorati, per i quali sono già state spese risorse e tempo irrecuperabili;
5. **Processi:** riguarda le performance di produttività, tempo sprecato per processi o attrezzature prive delle adeguate capacità o non necessarie; questo porta al rischio di sovra-processare che si genera quando si ripetono o si duplicano determinate attività;
6. **Movimentazioni:** simile al trasporto ma riguarda le movimentazioni che segue il bene nelle zone di lavoro, riguarda quindi persone e macchinari; si traduce in percorsi e movimenti non ottimali nell'area di lavoro;
7. **Difetti:** il bene difettoso (prodotto o informazione) porta il cliente a rifiutare il bene e calano la sua fiducia; inoltre, il bene difettoso inoltre ha bisogno di un nuovo processo, spesso non previsto.

La Lean Manufacturing trova la soluzione a queste inefficienze tramite:

- Network di fabbriche focalizzate;
- Group Technology;
- Qualità alla fonte;
- Produzione Just In Time;
- Livellamento dei carichi di stabilimento, detto *heijunka*;
- Controllo della produzione, tramite cartellini kanban;
- Minimizzazione dei tempi di riattrezzaggio, tramite SMED.

Gli sprechi possono altrimenti essere raggruppati in tre gruppi, le 3 M, per via del loro nome in giapponese:

- *Muda*: sprechi di tempo e di risorse
- *Muri*: sovraccarichi, picchi di lavoro, straordinari
- *Mura*: variabilità e fluttuazioni, è la chiave di volta tra Muda e Muri

Il punto partenza diventa quindi l'identificazione di questi sprechi e la loro eliminazione, per riuscire a produrre con minor consumo di risorse. Diventano quindi fondamentali sei principi, alla base del "Lean Thinking" [3].

## 1 *DEFINIRE IL VALORE*

Il punto di partenza della caccia allo spreco è l'identificazione di ciò che vale. Il consumo di risorse è giustificato solo per produrre valore altrimenti è considerato spreco (Muda).

Bisogna tentare di definire con precisione il valore in termini di prodotti specifici con caratteristiche specifiche, offerte a prezzi specifici attraverso un dialogo con clienti specifici.

In altre parole il valore viene definito dal cliente ed assume significato solamente se espresso in termini di un prodotto/servizio in grado di soddisfare le sue esigenze ad un dato prezzo ed in un dato momento.

## 2 *IDENTIFICARE IL FLUSSO DEL VALORE*

Il flusso di valore per un dato prodotto consiste nell'intera gamma di attività necessarie per trasformare le materie prime in prodotto finito. L'analisi del flusso di valore mette sempre in evidenza grandi quantità di spreco attraverso la classificazione delle attività in tre categorie:

- Attività che creano valore (tutte quelle il cui costo può essere trasferito al cliente);
- Attività che non creano valore ma necessarie (non sono eliminabili con gli attuali sistemi di sviluppo prodotto, gestione ordini e produzione);

- Attività che non creano valore e non necessarie (possono quindi essere eliminate da subito).
- I tre flussi principali sono:
- Progettazione/Sviluppo Prodotto;
- Gestione Ordini;
- Produzione dei Beni/Erogazione dei Servizi.

### 3 *FAR SCORRERE IL FLUSSO DEL VALORE*

Definito con precisione il valore (primo principio), identificato il flusso di valore per un dato prodotto o famiglia di prodotti ed averlo ricostruito eliminando le attività inutili attraverso la mappatura dei flussi (secondo principio); bisogna fare sì che le restanti attività, creatrici di valore, formino un flusso (terzo principio).

Il pensiero snello rovescia il tradizionale modo di ragionare attraverso “lotti”, “funzioni” e “uffici”. Infatti, i compiti possono quasi sempre essere eseguiti in modo più efficace se il prodotto viene lavorato ininterrottamente dalla materia prima al prodotto finito.

Il flusso continuo in produzione si raggiunge soprattutto attraverso interventi radicali, che permettono di trasformare in breve tempo le attività produttive necessarie per fabbricare un prodotto da un sistema a lotti e code ad un flusso continuo.

### 4 *IL FLUSSO TIRATO DAL CLIENTE*

Quando l'azienda (o più in generale l'organizzazione) ha definito il valore (per il cliente), ha identificato il flusso di valore, ha eliminato gli ostacoli e quindi gli sprechi per fare sì che il flusso scorra senza interruzioni, allora è giunto il momento di permettere ai clienti di tirare il processo (cioè il flusso di valore). In definitiva i clienti “tirano il valore dall'impresa”.

Ciò implica acquisire la capacità di progettare, programmare e realizzare solo quello che il cliente vuole nel momento in cui lo vuole.

### 5 *RICERCA PERFEZIONE*

Questo ultimo principio può sembrare presuntuoso e va quindi interpretato nel senso di miglioramento continuo (Kaizen). Infatti, se si sono applicati correttamente i primi quattro principi si creano sinergie che mettono in moto un processo continuo di riduzione dei tempi, degli spazi, dei costi.

L'applicazione dei principi lean deve essere sistematica e continua per giungere a continui miglioramenti. In questo senso il quinto principio deve spronare l'incessante applicazione dei principi lean e risultare ogni volta

quale un nuovo punto di partenza. Una volta finito si deve ricominciare per fare emergere nuovi sprechi ed eliminarli.

## 6 SVILUPPO FORNITORI

L'ultimo passo da fare per la riuscita di un progetto Lean è quello di affrontare la catena dei fornitori nella nuova ottica introdotta.

Oggi è raro incontrare aziende le cui attività interne incidano per più di un terzo sui costi e sui Lead-Time complessivi necessari a portare il prodotto sul mercato: non si riuscirà quindi a fare molta strada verso la snellezza se non si riuscirà a convincere i fornitori ed i distributori ad intraprendere essi stessi i passi del pensiero snello.

Si potrà tentare di controllarli con un'asfissiante programmazione o di ridurre i loro margini con un inesorabile sistema di preventivazione, ma non si riuscirà, con queste tattiche, ad intervenire efficacemente sui loro tempi di consegna e sui loro costi.

Risulta dunque, a volte, necessario riorganizzare la loro produzione, il loro sviluppo prodotti ed il loro sistema di gestione degli ordini in ottica Lean, coinvolgendoli nel progetto di miglioramento introdotto internamente.

Devono essere sviluppate relazioni con i fornitori, instaurando rapporti di partnership che li facciano crescere, che prevedano una loro maggiore integrazione nei processi interni dell'azienda, che spostino l'attenzione dal controllo qualità in accettazione all'assicurazione della qualità da parte del fornitore (free-pass concordato) e che portino il fornitore a produrre solo ciò che serve alle linee di montaggio dell'azienda e a spedire tutto ciò che produce.

Il progetto sviluppo fornitori intrapreso dalle aziende si può considerare la naturale evoluzione del progetto di ristrutturazione della produzione iniziato precedentemente e rientrante nel più vasto progetto di riorganizzazione aziendale impostato secondo i principi Lean Thinking.

Il progetto fornitori è un progetto impegnativo, perché si va ad intervenire ed interagire con realtà diverse da quella interna aziendale e, di conseguenza, il potere di decisione nel fare le cose è più limitato; richiede, dunque, un grande impegno in chi lo realizza [4].

Nella creazione del valore, è facile immaginare la riduzione degli sprechi e il coinvolgimento unita alla motivazione dei lavoratori.

Nell'applicazione del Lean Thinking le difficoltà avvengono su di un piano culturale occidentale, infatti si incontra spesso resistenza a questa trasformazione. Questo cambio di mentalità deve essere trasversale all'intera azienda, i livelli più alti devono sentire propri questi principi e usare tutte le leve decisionali in loro possesso per attuarli, gli operai devono riuscire a intercettare le potenzialità di questo metodo, diventando più intraprendenti.

## VISUAL MANAGEMENT

Il Visual Management è una gestione visiva delle informazioni. Questo metodo usa degli strumenti visivi per rendere l'ambiente ricco di informazioni immediate e visivamente stimolanti [5]. Lo scopo è semplificare e dare rilievo alle informazioni del processo in modo che gli attori stessi possano analizzare e risolvere le criticità. Questo metodo a vista può essere usato sia durante l'analisi dei processi, sia nel processo, reparto produttivo.

La filosofia Lean Manufacturing fa spesso uso di questo concetto nel momento di analisi, rendendolo trasversale a tutti i suoi strumenti, per poter rendere visivi i dati analizzati. Ne sono esempio grafici, tabelle e schemi che verranno introdotti nei paragrafi seguenti.

Lo stesso metodo di rappresentare l'informazione per via visiva può essere profuso nei reparti produttivi tramite segnaletica orizzontale, etichette, device, schermi, cartellini, colori e altri strumenti che sono parte integrante dei principi della Lean Manufacturing. Ciò rende la postazione lavorativa "parlante" e riduce gli sforzi di comprensioni di eventuali problemi o sprechi [6].

In ambito produttivo i concetti del Visual Management si ritrovano nella gestione a vista proposta dalla metodologia delle 5S per l'ottimizzazione del posto di lavoro, come già visto nel documento di tirocinio curriculare.

Il Visual Management, dunque, assume un ruolo davvero importante per la gestione dei processi e il monitoraggio dello stato avanzamento e dei flussi informativi correlati: le tecniche del Visual Management rappresentano un valido strumento di analisi e successiva gestione [7].

## VALUE STREAM MAP - VSM

Il primo strumento che viene sfruttato è la mappatura del flusso del valore.

Le operazioni che compongono il ciclo produttivo di un prodotto vengono divise in diversi task, i quali appartengono a due categorie fondamentali:

- Task a Valore Aggiunto: operazioni svolte per la trasformazione del prodotto che il cliente è disposto a pagare;
- Task a Non Valore Aggiunto: operazioni o momenti produttivi per cui il prodotto non è disposto a pagare perché non conferiscono alcuna qualità aggiunta al prodotto, trasporti attese, operazioni non necessarie o altre troppo complicate che possono essere semplificate.

Un Value Stream è l'insieme di tutte le azioni (sia quelle a valore aggiunto che quelle a non valore aggiunto) attualmente necessarie affinché una materia prima, attraverso i suoi flussi fondamentali, divenga prodotto finito:

- 1 Il flusso della produzione dalle materie prime fino al cliente;
- 2 Il flusso della progettazione dall'idea al lancio del prodotto.

In questo caso si intende seguire il percorso di produzione di un prodotto e disegnare attentamente una rappresentazione visiva del flusso dei materiali e delle informazioni di ciascun processo.

Si possono individuare tre step:

- 1 Studio AS-IS, Current State Map, in cui si devono reperire le informazioni necessarie per comprendere i reali andamenti del flusso, quantizzando i processi tramite opportuni parametri.
- 2 Studio dei possibili miglioramenti, per riuscire a migliorare i parametri tramite azioni per risolvere le criticità incontrate nella mappatura.
- 3 Valutazione TO-BE, Future State Map, ovvero la previsione di come si trasformerà il processo con gli obiettivi che si vogliono perseguire, ovvero come il flusso del valore dovrebbe scorrere lungo la produzione.

Questo metodo prevede l'uso di "*carta e penna*" che aiuta a vedere e a capire il flusso di materiale e d'informazioni che il prodotto sostiene durante i vari processi. La Value Stream Map è quindi il disegnare lo schema per una rappresentazione visiva dei processi che sono attraversati da informazioni e materiali.

Gli aspetti principali per cui questo metodo è utile sono principalmente due:

- Aiuta ad avere una visione completa door-to-door del flusso analizzato;
- Durante la costruzione si è obbligati a visionare il processo di persona, avendo quindi anche una visione del dettaglio e della fonte degli sprechi collegati.

Si affiancano altre utilità:

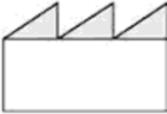
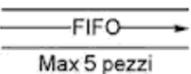
- Fornisce un linguaggio comune per poter parlare del processo produttivo;
- Rende chiare e visibili le decisioni a proposito del flusso, in modo si possano discutere;
- Lega insieme i concetti e le tecniche Lean, aiutando ad evitare un utilizzo incoerente delle tecniche;
- Getta un piano di impetrazione, aiutando a definire come il flusso dovrebbe operare;
- Mostra il collegamento tra il flusso dei materiali ed il flusso delle informazioni;
- Diventa uno strumento visuale, quindi qualitativo, intrecciato al monitoraggio di parametri che lo fanno diventare quantitativo.

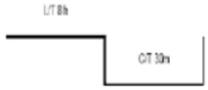
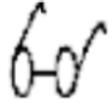
I primi passi per strutturare la Current State Map sono:

- Selezionare una famiglia di prodotti che si vuole analizzare, dove con “famiglia” s’intende un gruppo di prodotti che attraversa processi simili e con attrezzature simili.
- È necessario un team di persone in grado di capire ogni singolo processo e la filosofia Lean, dirette da un Value Stream Manager che possa avere la visione d’insieme e che conduca le discussioni in modo obiettivo. Questo serve per avere la visione del dettaglio e dell’insieme, in modo da avere un’istantanea del flusso che si sta mappando, senza il pericolo di cambiamenti durante lo studio. Questa deve essere una mappatura veloce.
- Definire quali processi mappare, ovvero definire gli estremi del processo, il *door-to-door*.
- Considerare contemporaneamente il flusso di materiali e d’informazioni che spesso si intrecciano tra di loro.

Il libro “Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda” di Mike Rother e John Shook [8] è uno dei pilastri della letteratura scientifica, a cui spesso si fa riferimento. Gli autori consigliano l’uso di determinati simboli, diventati ormai diffusi per la loro semplicità e univocità di espressione. Ogni icona serve a schematizzare il flusso fisico ed informativo che attraversa l’azienda, sfruttando la filosofia del Visual Management.

Tabella 1 Simboli usati per la Value Stream Map

ICONA	SIGNIFICATO	DESCRIZIONE
	<i>Stabilimenti fornitori clienti</i>	Si possono inserire dati quali pezzi consegnati nell'unità di tempo, capacità dei contenitori di consegna, OTD, fatturato annuo, numero documenti evasi etc.
	<i>Processo</i>	A fianco del simbolo dell'operatore (in basso a sinistra) si può indicare il numero di operatori dedicati. È consigliabile, in prima battuta, separare i processi solo se, fra di essi, vi è un'interruzione fisica (WIP o separazioni significative di flusso).
	<i>Data Box</i>	In questa sezione si inseriscono i dati più importanti del processo, quali tempo ciclo (C/T) e tempo di setup o changeover (C/O), che si hanno in quasi tutti i processi. Possono essere aggiunti anche dati più specifici del processo in esame.
	<i>Scorte</i>	Visualizza l'accumulo di prodotti tipicamente creato fra due processi. Può essere indicato sia in WIP che in tempo. Il triangolo è utilizzato per segnalare il pericolo rilevante di spreco.
	<i>Movimento Push</i>	Il materiale si muove senza una schedulazione oppure in sovrapproduzione, senza seguire il Takt Time delle vendite.
	<i>Movimento Pull</i>	Il materiale si muove seguendo le richieste del cliente.
	<i>Spedizione</i>	Viene a volte associata al simbolo del furgone, per dare risalto al suo significato.
	<i>Informazioni cartacee od informali</i>	Rappresenta uno scambio di informazione fra processi. Il senso del flusso delle informazioni è opposto a quello dei materiali.
	<i>Informazioni elettroniche</i>	Viene utilizzato quando gli strumenti adottati sono informatici, quali gestionali, portali etc.
	<i>Fifo lane</i>	Indica un collegamento fisico fra due processi a capacità diversa. Il primo prodotto ad uscire dal processo di monte deve essere il primo ad essere lavorato da quello di valle.

	<p><i>Segmento dei tempi</i></p>	<p>Viene inserito nella parte bassa della mappatura, per riassumere i vari Lead Time nella parte alta ed i Cycle Time nella parte bassa.</p>
	<p><i>Indicatore dei tempi totali</i></p>	<p>È inserito nella parte terminale a destra dei segmenti indicatori e contiene, nel box in alto, la somma di tutti i Lead Times, nel box in basso la somma dei Cycle Times.</p>
	<p><i>Go to See</i></p>	<p>Servono come monito nei confronti di un programma della produzione sospetto di introdurre disallineamenti fra processi e, quindi, WIP.</p>

## LA LEGGE DI LITTLE

Un “sistema di coda” consiste in oggetti discreti, chiamati “items” (elementi) che “arrivano” con una certa frequenza nel “sistema”. Nel sistema gli items possono formare una o più code ed eventualmente ricevere un servizio ed uscire da sistema.

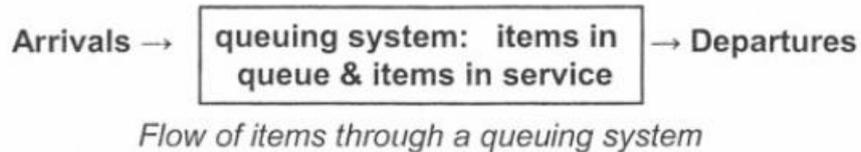


Figura 3 Schema di un sistema di coda.

Quando gli items sono nel sistema, possono essere nella coda o possono essere serviti o possono essere un po' in coda ed un po' serviti. L'interpretazione varia con l'applicazione e l'obiettivo del modello che si vuole costruire.

La legge di Little indica in condizioni di stato stazionario, il numero medio di items nel sistema della coda è pari al tasso medio di arrivi moltiplicato per il tempo medio che un item spende nel sistema.

$L$  = numero medio degli item nella coda;

$W$  = tempo medio di attesa nel sistema per un item, che può essere visto come il tempo medio del servizio erogato;

$\lambda$  = numero medio di item che arrivano nell'unità di tempo valutata, ovvero la frequenza di arrivo.

$$L = \lambda \cdot W \quad (1)$$

Questa relazione è semplice e generale. Ci si serve dell'ipotesi di stazionarietà per il processo stocastico che sta alla base, ma è insolito ciò che non viene richiesto, servono solo due informazioni per calcolare facilmente il risultato voluto. [9]

È interessante notare che non viene richiesta un'assunzione sulla priorità dell'item servito, come una logica FIFO o LIFO e neanche quanti servizi sono presenti.

La legge di Little fornisce una relazione fondamentale tra tre parametri chiave in una coda: il numero medio degli elementi nel sistema, il tempo medio di attesa, ovvero il flusso dell'elemento nel sistema e il tasso medio di arrivi di elementi nel sistema. Per esempio, può includere il servizio e la coda, o soltanto la coda.

Conoscendo quindi due dei tre parametri è possibile avere le informazioni generali necessarie sulla coda. Ciò risulta molto utile quando uno dei tre parametri rimane difficile da misurare.

La legge di Little può essere applicata in diversi ambienti, dal manifatturiero alle decisioni quotidiane di un individuo. Negli ultimi anni questa relazione ha preso maggior importanza nell'ingegneria di produzione.

Viene a delinearsi un'interessante e fondamentale relazione tra il WIP (work in process), il tempo ciclo (Cycle time) e il tempo di attraversamento (Throughput time). [10]

$$TH = \frac{WIP}{CT} \quad (2)$$

Dove:

- il Throughput time TH è il tempo medio dell'output del processo di produzione per unità di tempo;
- il Work In Process WIP è l'inventario medio tra l'inizio e la fine del percorso di un prodotto;
- il Cycle time CT è l'intervallo di tempo medio che passa da un prodotto al successivo nel servizio.

Si vede facilmente l'equivalenza con la legge di Little:

$$TH = \lambda \quad WIP = L \quad CT = W \quad (3)$$

Un'evoluzione della legge di Little è la formula di Anderson, in cui viene studiato un sistema, formato da una coda ed un servizio, che fa parte di un ulteriore sistema formato da altri sistemi coda-servizio [11].

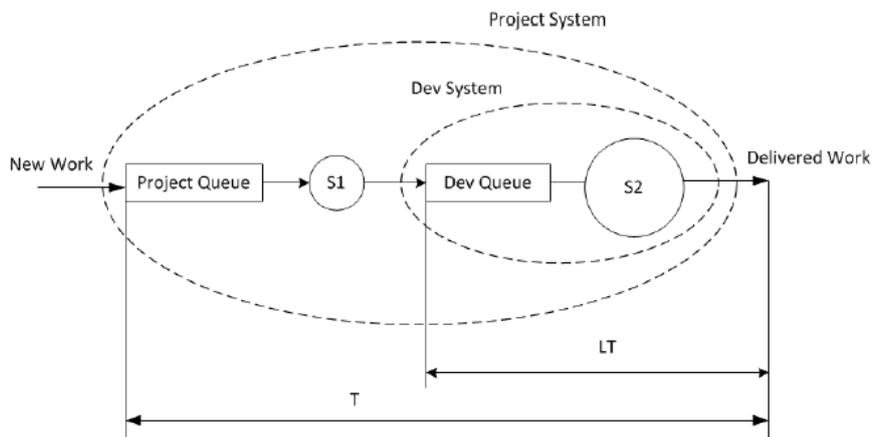


Figura 4 Esempio di applicazione della formula di Anderson.

Otteniamo quindi una seconda formulazione:

$$WIP_{SYS} = \frac{TH_{SYS}}{CT_{proc}} \cdot WIP_{proc} \quad (4)$$

In cui con "proc" è inteso il singolo processo e con "SYS" il sistema che include il processo.

## YAMAZUMI CHART

La Yamazumi chart è un grafico a barre in pila che mostra la suddivisione del takt time in determinato processo. Viene spesso usato per rappresentare proposte di miglioramento o per mostrare l'andamento del takt time in un reparto calcolato in real time.

Yamazumi è una parola giapponese che significa "impilare". I vari task (operazioni) del processo sono rappresentati impilati su diverse barre. Ciascuna barra rappresenta una risorsa, spesso un operatore. [12]

Le barre possono essere divise in tre zone, utili nella costruzione di una Value Stream Map, per segnalare il tipo di operazione analizzata:

- Operazioni a Valore Aggiunto;
- Operazioni a Non Valore Aggiunto o spreco;
- Operazioni necessarie, come può essere il trasporto logistico o altri controlli di cui il cliente non è conoscenza.

Il grafico rappresenta la durata media di ciascun task, dati raccolti sul campo. Sulle ordinate sono i rappresentati i tempi, mentre sulle ascisse sono presenti le risorse analizzate.

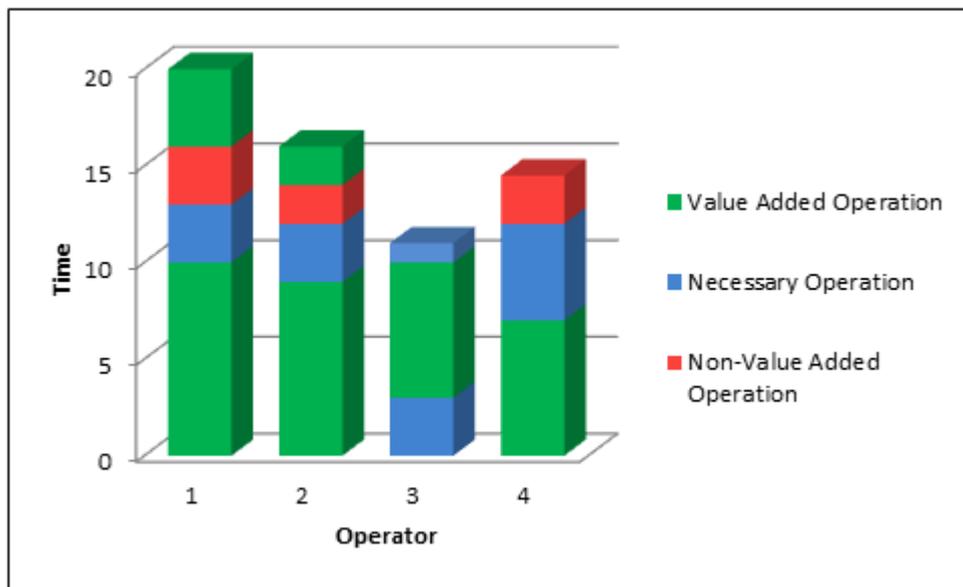


Figura 5 Esempio di Yamazumi chart in cui le risorse sono gli operatori.

La Yamazumi chart può essere usata per l'analisi di eliminazione degli sprechi, ma anche per il bilanciamento delle attività ed è un esempio applicativo del Visual Management.

Questo grafico offre la possibilità di visualizzare velocemente quale processo è sovraccaricato rispetto al takt time e quale invece è meno caricato.

I vantaggi per chi lo utilizza sono:

- **Visuale:** i lavoratori e gli operatori possono immediatamente ed intuitivamente vedere da dove provengono i ritardi;
- **Semplicità:** a prima vista è possibile capire le tempistiche;
- **Pubblico:** è uno strumento per motivare l'ambiente verso l'incremento delle performance in maniera positiva;
- **Supporto alle decisioni:** mostra velocemente quali sono i vincoli chiavi ed i problemi del sistema.

## OEE – OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

L'OEE (Overall Equipment Effectiveness) è un KPI (*Key Performance Indicator*) introdotto da Nakajima (1988) nel contesto della *Total Productivity Maintenance*, TPM, e misura direttamente le performance di attrezzature e macchine.

Ultimamente è diventato molto diffuso e trattato in letteratura, in quanto mette facilmente in evidenza la direzione su cui investire tempo e risorse, indicando quindi le eventuali perdite.

Vengono infatti individuate sei grandi categorie di perdite:

1. Le perdite di “guasto/riparazione delle apparecchiature” sono classificate come perdite di tempo quando la produttività è ridotta e le perdite di qualità sono causate da prodotti difettosi.
2. Le perdite di tempo di “Set-Up / regolazione” derivano da tempi di fermo e prodotti difettosi che si verificano quando termina la produzione di un articolo e l'attrezzatura è regolata per soddisfare i requisiti di un altro articolo.
3. Le perdite di “inattività e microfermate” si verificano quando la produzione viene interrotta da un malfunzionamento temporaneo o quando una macchina è al minimo.
4. Le perdite di “ridotta velocità” si riferiscono alla differenza tra la velocità di progetto dell'attrezzatura e velocità operativa effettiva.
5. La “resa ridotta” si verifica durante la fase iniziale della produzione dall'avvio della macchina alla sua stabilizzazione.
6. Difetti di qualità e rilavorazione sono perdite di qualità causate da malfunzionamenti di attrezzature.

[13]

Questi vanno a confluire in tre coefficienti distinti:

- *Availability A*, disponibilità della macchina (1. e 2.):

$$A = \frac{\text{loading time} - \text{downtime}}{\text{loading time}} \quad (5)$$

- Efficienze di performance *P*, perdite di velocità (3. e 4.):

$$P = \frac{\text{th. cycle time} \times \text{processed amounts}}{\text{operating time}} \quad (6)$$

- Tasso di qualità *Q*, (5. e 6.):

$$Q = \frac{\text{processed amount} - \text{defects}}{\text{processed amount}} \quad (7)$$

Dove con *down time* si intende il tempo di fermata dovuto ad una rottura, setup o regolazioni:

$$\text{loading time} = \text{working time} - \text{planned downtime} \quad (8)$$

$$\text{operating time} = \text{loading time} - \text{downtime} \quad (9)$$

Con questi tre indici percentuali si può ricavare la comune definizione di OEE:

$$OEE = \frac{\text{theoretical production time for effective units}}{\text{loading time}} = A \times P \times Q \quad (10)$$

Il valore di OEE risultante rappresenta il tempo totale effettivamente speso per la produzione dei pezzi buoni con un tempo ciclo costante.

Il valore  $(OEE - 1)$  è invece la quantità di ore perse, che devono essere eliminate, se possibile, oppure ridotte al minimo.

## Altri metodi per la valutazione dell'OEE

SEMI, associazione per la *Manufacturing supply chain* dell'industria di componenti elettronici, segue un approccio non distante da quello già espresso. Definisce quattro coefficienti percentuali:

- Availability Efficiency:  $AE = \frac{\text{equipment uptime}}{\text{total time}}$
- Operational Efficiency:  $OE = \frac{\text{production time}}{\text{equipment uptime}}$
- Rate Efficiency:  $RE = \frac{\text{theoretical production time for actual units}}{\text{production time}}$
- Quality Efficiency:  $QE = \frac{\text{theoretical production time for effective units}}{\text{theoretical production time for actual units}}$

Questi coefficienti costruiscono la formulazione dell'OEE:

$$OEE = \frac{\text{theoretical production time for effective units}}{\text{total time}} = AE \times OE \times RE \times QE \quad (11)$$

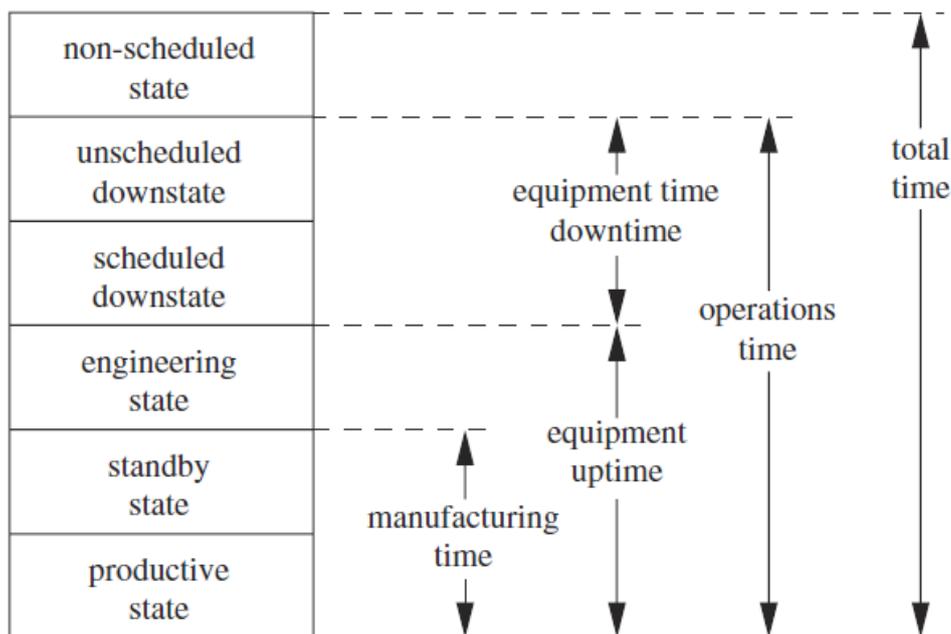


Figura 6 Discretizzazione delle perdite tramite l'analisi OEE.

In questa seconda formulazione viene inserita la differenza tra il tempo in cui la macchina effettivamente è disponibile (*equipment uptime*) e il tempo in cui viene usata (*manufacturing time*).

È facile capire come le due formulazioni siano leggermente diverse.

L'OEE di Nakajima valuta la risorsa solo nel momento in cui lavora, mentre l'OEE del SEMI (2000) la valuta durante tutto il periodo in cui l'impianto è aperto.

Quest'ultimo OEE può essere considerato anche KPI finanziario, basato sull'efficienza e l'intensità dello sfruttamento della risorsa.

## SMED – SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES

La durata del setup è quel tempo tra l'ultimo pezzo prodotto del lotto ed il primo pezzo buono del lotto successivo.

Lo SMED (Single Minute Exchange of Dies) è un metodo per la riduzione dei tempi per un setup completo. L'obiettivo è di convertire più step possibili in operazioni esterne al setup, creando un momento di preparazione al setup, in parallelo alla produzione.

Uno SMED condotto con successo porta diversi benefici:

- Costi di produzione inferiori;
- Possibilità di fare lotti di produzione più piccoli
- Possibilità di una maggior flessibilità e rispondere meglio alla domanda del cliente;
- Riduzione delle scorte;
- Un avviamento della produzione più veloce.

Questo metodo è stato sviluppato da Shigeo Shingo, un ingegnere industriale giapponese, che aiutò diverse aziende nel ridurre i tempi di setup, passando da 90 minuti a 5 minuti. Il caso più famoso fa riferimento ai pit stop di Formula1 per il cambio ruote e rifornimento di carburante, dove si è passati da 62 secondi negli anni '50, a 7 secondi negli anni '90 e attualmente dura 2 secondi. Questo esempio riporta un'ottima applicazione del concetto SMED, ma sfrutta la possibilità di una disponibilità illimitata di operatori e risorse, che in un'azienda risultano essere spesso un grosso limite.

Qualsiasi azienda manifatturiera può potenzialmente migliorare il suo setup. Ciò non presuppone che la tecnica di SMED sia una priorità. Nella realtà, le aziende hanno risorse finite, le quali devono essere inserite dove possono creare un miglior ritorno. Questo significa che la priorità in un'azienda deve essere usare dei dati sulle performance per comprendere e analizzare quale sia la fonte di maggior spreco di tempo.

Per fare questo solitamente si usa l'OEE per vedere quali siano le perdite di tempo che maggiormente impattano sulla produttività.

Durante lo SMED, un setup può essere diviso in due parti:

- Internal Exchange of Dies (IED): fasi che possono essere completate solo a macchina ferma;
- External Exchange of Dies (OED): fasi che possono essere fatte anche a macchina in funzione.

Con questo metodo si cerca di raggiungere l'obiettivo in quattro step:

- 1 Identificare il setup da analizzare, quello meno standardizzato su cui si ha molta variabilità di durata e viene effettuato con una frequenza alta, per aver la possibilità di raccogliere più dati e poter verificare i miglioramenti effettuati;
- 2 Identificare gli elementi di cui è composto un singolo setup e discretizzarlo anche fino a 50 operazioni diverse, utilizzando post-it, video, foto che possano aiutare nell'analisi;
- 3 Dividere le operazioni tra interne (IED) ed esterne (OED), come riposizionamento delle attrezzature, qualità, pulizia, ispezione...;
- 4 Convertire il più possibile operazioni IED in OED, creando una lista di elementi con priorità e costo di implementazione.
- 5 Ottimizzare le operazioni, ordinandole ed eliminando quelle ripetute; dopo questo step si deve ottenere un documento con i vari passi per effettuare il setup in modo efficiente e standardizzato [14].

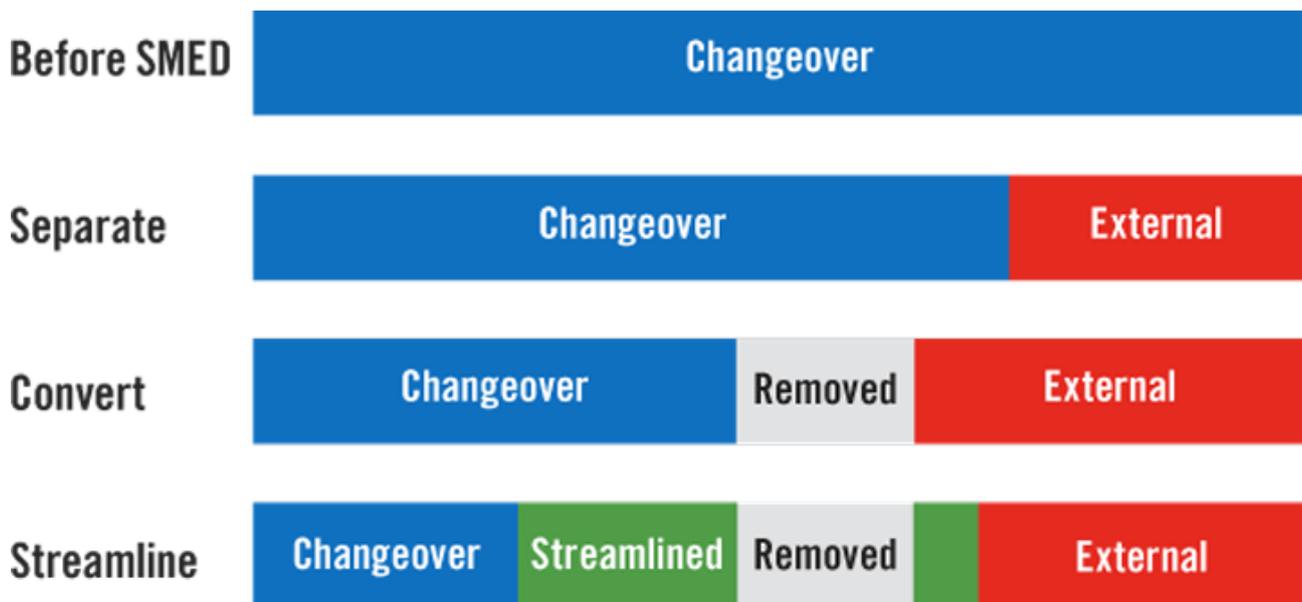


Figura 7 Step di applicazione dello SMED ad un intervallo di tempo di un generico setup.

È importante riconoscere due categorie di miglioramenti:

- Umani, raggiunti tramite preparazione ed organizzazione;
- Tecnici, raggiunti attraverso l'ingegneria.

L'elemento umano è spesso più veloce e meno costoso da migliorare. È quindi consigliato come primo approccio, nonostante la tentazione di nuove tecnologie che tuttavia rischiano di non essere sfruttate completamente dall'uomo se non le comprende.

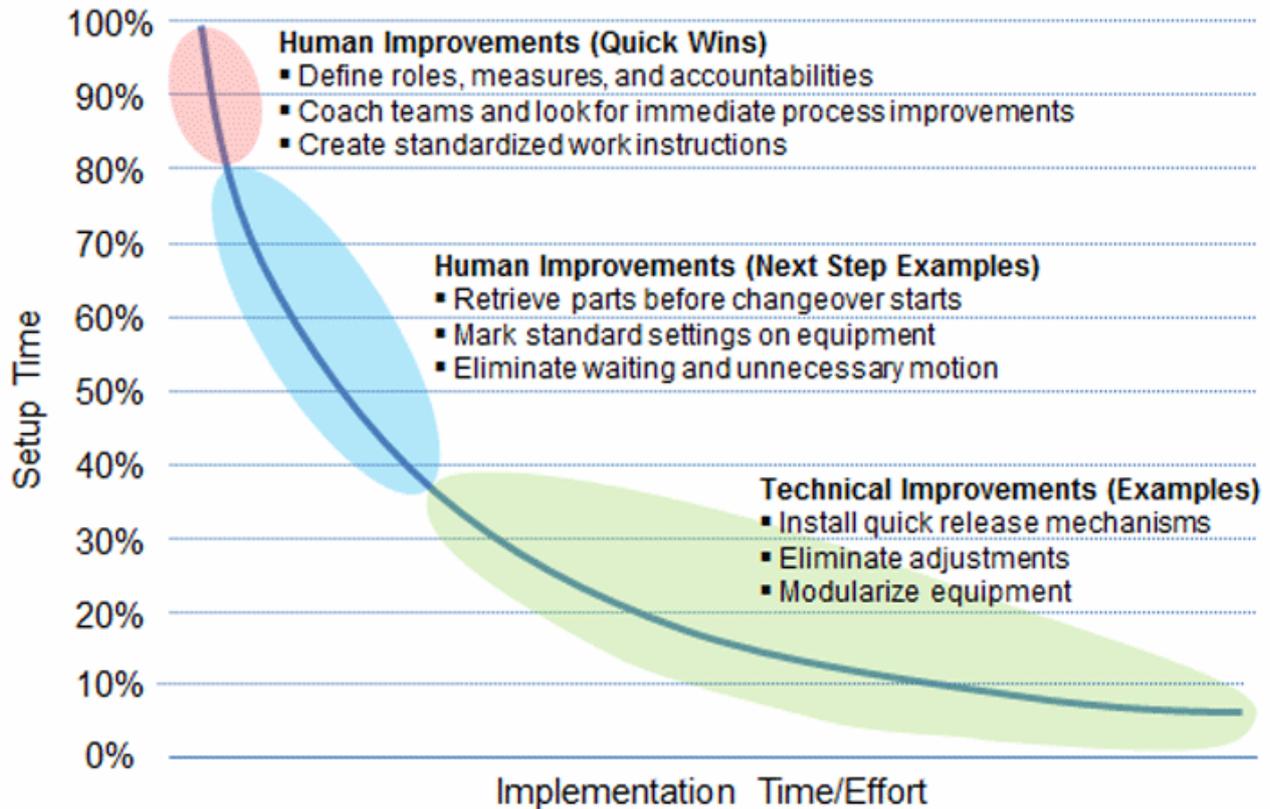


Figura 8 Esempi di opportunità per un progetto SMED, applicando prima miglioramenti umani e in seguito tecnici.

## DIAGRAMMA DI GANTT E DIAGRAMMA RETICOLARE

Il diagramma di Gantt è una rappresentazione su scala temporale dell'evoluzione del progetto. Ogni barra rappresenta un'attività la cui lunghezza è proporzionale alla durata dell'attività che rappresenta e viene collocata sulla scala temporale in rappresentanza dell'attività stessa.

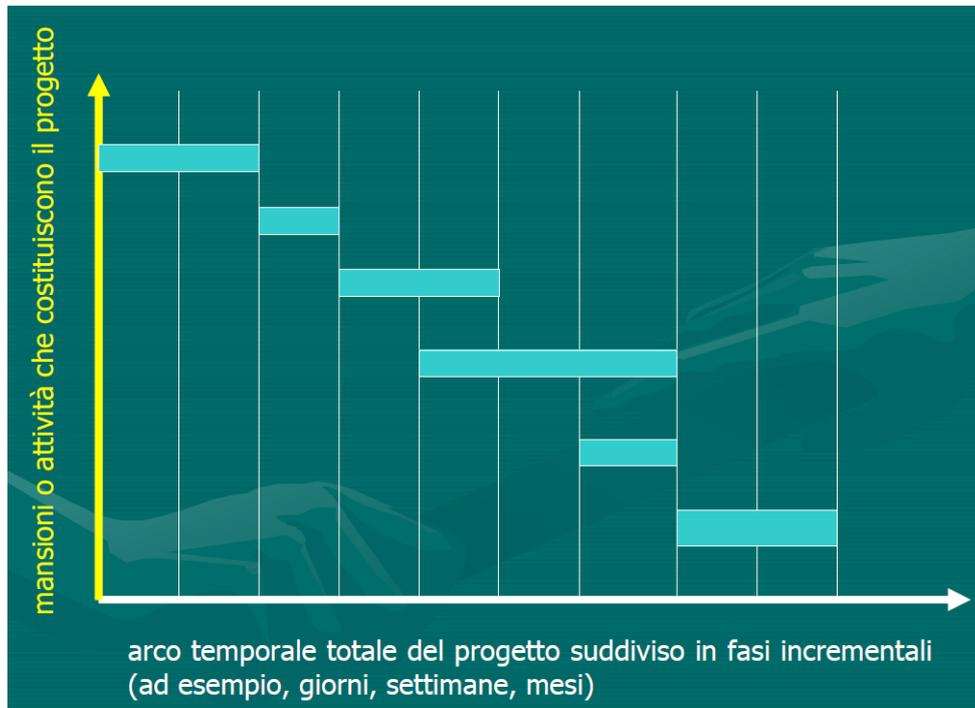


Figura 9 Esempio generico di diagramma di Gantt.

Gli scopi di questa rappresentazione sono:

- Definire il "cosa fare" in una certa durata di tempo;
- Definire un riferimento per il controllo dell'avanzamento;
- Definire eventi o date chiave (*milestones*).

Le milestone, pietre miliari, rappresentano un momento importante del progetto, come l'inizio o la fine di una fase oppure una consegna o valutazione di terzi.

Il diagramma di Gantt permette quindi la rappresentazione grafica di un calendario di attività, utile al fine di pianificare, coordinare e tracciare specifiche attività in un progetto dando una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del progetto rappresentato.

Le attività possono essere discretizzate in micro-attività, fino al livello di dettaglio necessario per il progetto. Ogni attività è caratterizzata da "tolleranze temporali", ovvero il ritardo che un'attività può subire senza causare il ritardo della data di fine progetto.

Ognuna è quindi caratterizzata tre parametri: durata, vincoli sulla precedenza delle attività e vincoli temporali da rispettare.

È possibile quindi identificare il *Critical Path*, percorso critico, ovvero il percorso più lungo dall'inizio alla fine del progetto e determina la durata del progetto stesso. Le

attività appartenenti a tale percorso non ammettono slittamenti ed il loro ritardo equivale quindi al ritardo del progetto.

I pregi del diagramma di Gantt sono:

- Semplicità di elaborazione;
- Immediatezza grafica;
- Possibilità di valutare agevolmente il carico di lavoro richiesto dall'insieme di attività.

Ma presenta anche alcuni limiti:

- Adatto per progetti con un numero limitato di attività;
- Non sono evidenziate le relazioni di interdipendenza tra le attività.

Il Diagramma Reticolare è una tecnica reticolare ed è la rappresentazione, tramite grafi, delle attività costituenti del progetto e dei loro legami logici.

Un grafo è un insieme di nodi connessi da archi, la cui successione determina un cammino. Se, come in questo caso, gli archi sono dotati di un verso il grafo si dice orientato.

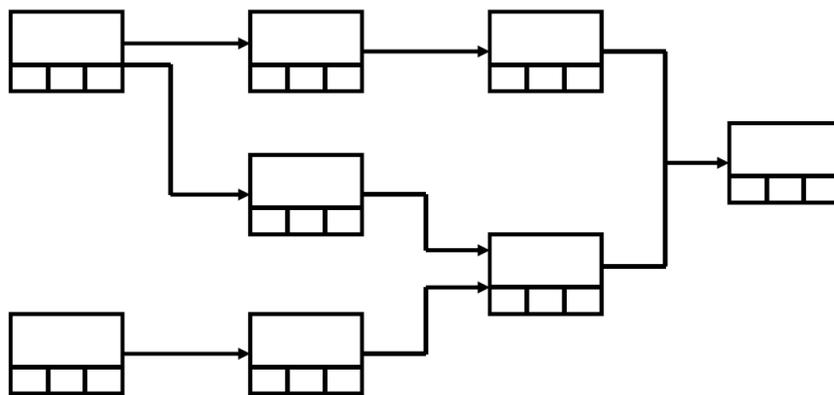


Figura 10 Esempio di schema per Diagramma reticolare.

A differenza dei diagrammi di Gantt, le tecniche reticolari forniscono una rappresentazione sistemica del progetto, in quanto consentono di definirlo come insieme di attività tra loro interagenti e finalizzate ad un unico obiettivo.

Le attività si calendarizzano nelle due versioni:

- “*forward pass*”, anticipando alla data “al più presto” le attività collocate su cammini non critici;
- “*backward pass*”, posticipando alla data “al più tardi” le attività collocate su cammini non critici;

infine, tramite questi due metodi è possibile inserire ulteriori tecniche per il *resource scheduling*, che permettono di comprendere la quantità di risorse uomo o risorse attrezzature sono necessario o disponibili [15].

# ZHERMACK S.P.A.: OVERVIEW



Figura 11 Logo dell'azienda Zhermack S.p.a

*“Zhermack è un gruppo internazionale che offre materiali e soluzioni all’avanguardia per il settore dentale, industriale e del benessere con proposte mirate alla cosmesi e alla cura della persona in tutto il mondo. Fondata nel 1981, è oggi parte del Gruppo internazionale Dentsply Sirona. Possiede filiali in Germania, Stati Uniti e Polonia, e rappresentanze locali in tutto il mondo. È da oltre 35 anni tra i maggiori produttori e distributori internazionali di alginati, gessi e composti siliconici per il settore dentale.” [16]*



L'azienda è situata a Badia Polesine, in provincia di Rovigo.

È stata fondata nel 1981 da due giovani imprenditori, arrivando alla creazione di Zhermack Group con filiali in Polonia, Germania e Stati Uniti. Il quartier generale Zhermack è rimasto nel polesine e qui i materiali vengono prodotti per la maggior parte e commercializzati in oltre 90 paesi in tutto il mondo.

Dal 2006 fa parte della multinazionale Dentsply che nel 2016 si fonda con un altro gruppo, formando Dentsply Sirona, leader dell'industria dentaria.

L'azienda composta da 356 persone che contribuiscono ad un fatturato annuo di circa 85 milioni di euro (2016).

Per concentrarsi sugli obiettivi e sui mercati di riferimento, Zhermack è strutturata in tre divisioni, ciascuna con i propri obiettivi commerciali:

- *Dental*: per il mercato dentario;
- *Industrial*: per prototipazione rapida, gioielleria, mould making, effetti speciali;
- *Wellbeing*: per il settore della cosmesi.



Figura 12 Loghi delle tre divisioni dell'azienda

Zhermack è un'azienda specializzata nella produzione di materiali per impronta ad uso odontoiatrico ed odontotecnico: la gamma Zhermack per lo studio odontoiatrico include attualmente alginati, siliconi per addizione, per condensazione e ribasature, ai quali si affiancano resine acriliche, prodotti per disinfezione e sterilizzazione mentre la gamma per il laboratorio odontotecnico comprende siliconi specifici, vinilpolisilossani per la riproduzione dei modelli e resine poliuretaniche.

Un altro campo in cui Zhermack è impegnata è il settore tecnico (Hi-Tech), nel quale oltre alle diverse applicazioni che riguardano l'utilizzo di materiali d'impronta nei settori industriali, si annotano anche applicazioni come i rulli per serigrafia e tampografia.

## PRODOTTI

La sede Zhermack di Badia Polesine produce materiali dentali che coprono tutti i settori dell'odontoiatria (vale a dire, prevenzione, parodontologia, ortodonzia ed odontoiatria estetica).

In questo elaborato verranno approfonditi gli alginati e i siliconi. Questi materiali sono usati negli studi odontoiatrici per rilevare l'impronta dentaria, da analizzare in un secondo momento o utile per creare una protesi sostitutiva. La principale differenza tra questi due prodotti consiste nel livello di dettaglio della riproduzione ed il relativo costo.

Sia alginati che siliconi sono formulazioni. La formulazione consiste nella miscelazione di diversi componenti, che possono arrivare anche ad essere una ventina, per ottenere il prodotto finale. I componenti del formulato sono costituiti da uno o più elementi funzionali che esplicano il ruolo principale (per esempio il principio attivo in un farmaco), additivi che servono a migliorare il prodotto e ausiliari che svolgono la loro funzione durante lo stadio di preparazione del prodotto, migliorando il processo, e cariche o solventi. [17]

Le principali caratteristiche di queste due tipologie di prodotti sono:

- Livello di dettaglio dell'impronta: dovuto alla grandezza di grani nelle polveri: più sono piccoli, meglio riescono ad introdursi nelle cavità;
- Setting Time (ST): il tempo tra inizio miscelazione e termine della reticolazione (il provino può essere estratto dallo stampo);
- Total Working Time, TWT: il periodo di tempo durante il quale la gomma rimane colabile;
- Stabilità dimensionale nel tempo: soggetto ad un ritiro elastico, questo materiale può manifestare un ritiro fino al 1% nell'arco di un mese, a seconda del prodotto.

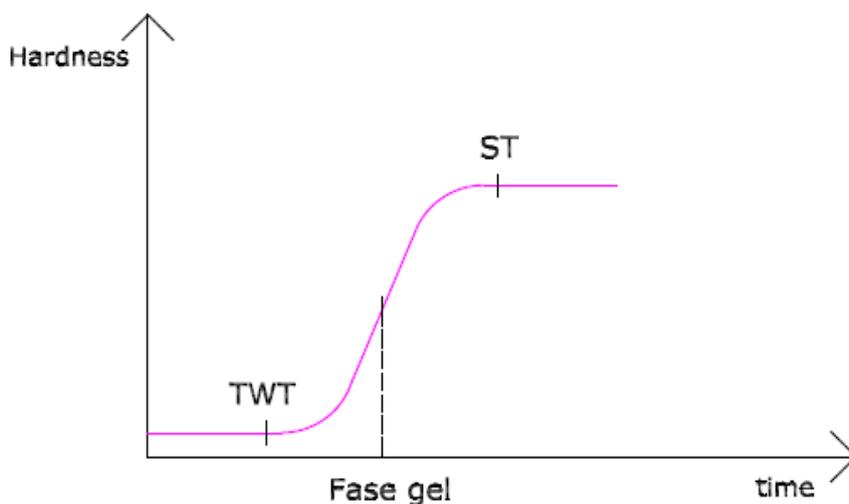


Figura 13 Andamento della durezza di una gomma RTV-2 nel tempo

Il cliente dovrà quindi preparare ed inserire il prodotto nella bocca del paziente durante il TWT. Mentre dal TWT al ST, è l'intervallo di tempo in cui il silicone prende la forma e crea il dettaglio dell'impronta. Scaduto il ST l'impronta può essere estratta e lasciata riposare perché finisca di indurire.

## Alginati

Gli alginati sono una formulazione in cui sono presenti almeno cinque componenti chimici chiave: alginato, calcio, solfato, fosfato (ritardante), fluorotitanato di potassio e farina fossile. Gli ingredienti principali sono il sodio o il sale di potassio di acido alginico (alginato), estratto dall'alga bruna e lavorato attraverso oltre venti stadi di processo per formare la materia prima di cui si rifornisce l'azienda.

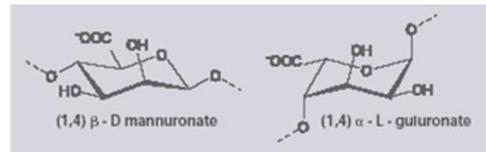


Figura 14 A sinistra l'alga bruna da cui si estrae l'alginato. Sopra le due catene di zuccheri che compongono un blocco della catena chimica dell'alginato.

L'alginato è un polisaccaride, composto da diversi blocchi (tipicamente da 100 a 3000), collegate tra di loro in una catena flessibile. I blocchi sono formati da due zuccheri, uronati (acido carbossilico formato per ossidazione del terminale  $-\text{CH}_2\text{OH}$  di un monosaccaride aldoso), sali di acido mannuronico e guluronico (mannuronato M e guluronato G).

Le unità G- e M- sono unite in uno di tre blocchi: GG, MM e MG, illustrati in Figura 15.

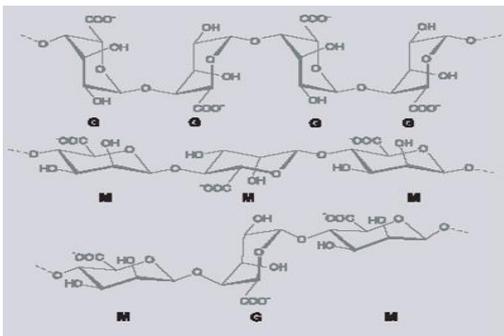


Figura 15 Blocchi GG, MM e MG che compongono la catena dell'alginato.

La proporzione, la distribuzione e la lunghezza di questi blocchi determinano le proprietà chimiche e fisiche delle molecole di alginato. La composizione chimica dell'alginato varia a seconda delle specie di alghe e anche all'interno di diverse parti della stessa pianta (foglie, fusto, radice). Come per tutti i prodotti ottenuti da risorse naturali, le proprietà di alginato sono soggette a variazioni stagionali.

Il secondo ingrediente principale è un sale di calcio (ad esempio il solfato di calcio diidrato). Il catione di calcio bivalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ) si inserisce nella struttura del blocco di guluronato, Figura 16. Ciò lega insieme i polimeri di alginato formando zone di giunzione, con conseguente gelificazione della soluzione.

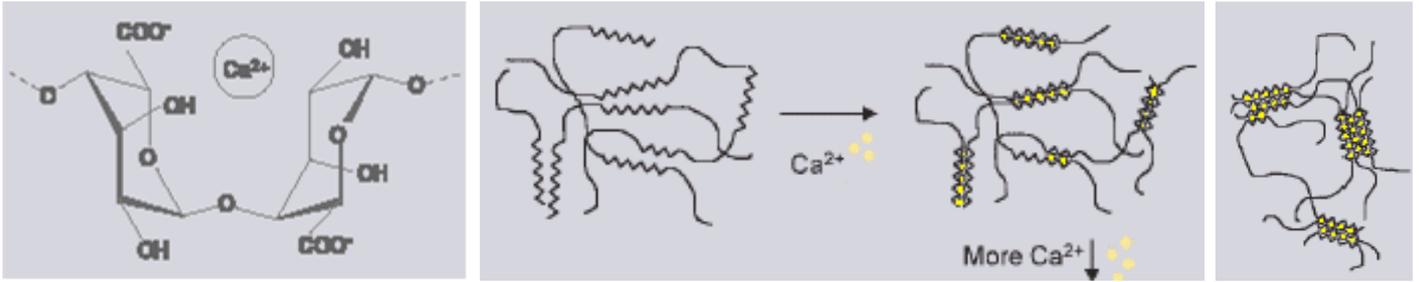


Figura 16 Formazione del legame tra lo zucchero guluronato ed il catione di calcio e la creazione della catena polimerica.

Il terzo ingrediente principale agisce come ritardante, solitamente fosfato di sodio o pirofosfato (fa reazione con il sale di calcio).

Il quarto ingrediente principale è un fluorotitanato di potassio che idrolizza in acqua per dare acido fluoridrico, aumentando così la solubilità del sale di calcio e in generale il tasso di gelificazione.

Il quinto ingrediente principale è la farina fossile, un riempitivo con un impatto importante sull'assorbimento dell'acqua, sui rapporti polvere/acqua e sull'aspetto del gel.

Ingredienti secondari sono l'aroma, che dona gusto, e il colore concentrato, che conferisce una certa cromia che aiuta il riconoscimento dell'aroma. Altri additivi possono essere: gli intermedi per la reattività, lo zinco per lo sbiancamento e il potassio per allungare il setting time.

L'alginato e le farine fossili compongono circa l'80% della formulazione e sono comprati dai fornitori in sacchi da 25 kg l'uno. I restanti ingredienti costituiscono circa il 20% del prodotto finale.

Il cliente finale dovrà versare la quantità di alginato voluta all'interno di una coppetta in silicone, aggiungere l'esatta quantità di acqua richiesta dal prodotto e con una spatola mescolare fino a raggiungere un composto omogeneo. A questo punto il prodotto è pronto per essere utilizzato e inserito nella bocca del paziente.



Figura 17 Fasi di preparazione dell'alginato. A destra si aggiunge l'acqua alla polvere di alginato, a sinistra si miscela il prodotto.

Zhermack produce anche una gamma di alginati cromatici, miscelati con una bassa quantità di un indicatore di viraggio, come la fenolftaleina. Questo indicatore permette al prodotto, miscelato con acqua dal cliente, di cambiare colore al variare dell'intervallo di pH della concentrazione a seconda del campo di viraggio dell'indicatore. Inserendo due indicatori di viraggio con campi di azione vicini, il prodotto può cambiare tre colorazioni a seconda del pH della soluzione. Questi intervalli corrispondono alle fasi del setting time, tempo in cui il cliente può prendere l'impronta.

## Siliconi

Il termine silicone viene usato per indicare una componente appartenente alla grande famiglia dei polimeri organici del silicio.

I polimeri sono sostanze costituite da macromolecole formate da un numero elevato di piccole unità semplici chiamate monomeri, il cui numero definisce il cosiddetto grado di polimerizzazione. Si classificano in due gruppi a seconda della composizione: come omopolimeri se costituiti da unità dello stesso tipo e come copolimeri nel caso contrario. Si possono inoltre dividere in tre classi in base alla loro struttura in particolare lineari, ramificati e reticolati.

I polimeri utilizzati nell'industria dei siliconi sono più precisamente definiti dal termine poliorgano-silossani, che prende il nome dalle catene principali che lo compongono, fatte di atomi alternati di silicio e di ossigeno, in cui alcune delle valenze del silicio sono saturate da gruppi organici legati direttamente al silicio stesso.

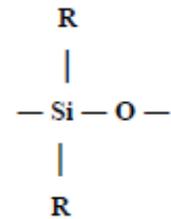


Figura 18 Struttura tipica di un silicone dove R può indicare.

I siliconi si possono classificare in tre principali categorie: fluidi, elastomeri e resine.

In questo testo, verranno approfonditi solo gli elastomeri poiché prodotti dall'azienda. Per una descrizione degli altri componenti si faccia riferimento all'appendice.

Gli elastomeri derivano da sostanze naturali o sintetiche che hanno le proprietà chimico-fisiche tipiche del caucciù (o gomma naturale).

Più precisamente, si definisce gomma o elastomero un materiale che subisce forti deformazioni a seguito dell'azione di sforzi relativamente piccoli, e che recupera rapidamente la forma e le dimensioni originali alla rimozione dello sforzo.

Per ottenere caratteristiche elastiche in un ampio intervallo di condizioni diverse, bisogna che le molecole, che formano la struttura polimerica fondamentale della sostanza in questione, siano presenti inizialmente sotto forma di catene molto lunghe e sostanzialmente lineari (cioè prive di ramificazioni).

Le proprietà più importanti delle gomme siliconiche sono la stabilità termica, la notevole memoria elastica e le buone proprietà elettriche. Sono solitamente più costose delle gomme convenzionali (gomma naturale o SBR Stirene-Butadiene-Rubber).

Una delle principali differenze fra la gomma di silicone e tutte le altre gomme dipende dalle forze intermolecolari estremamente deboli che si hanno nei siliconi.

Una caratteristica fondamentale delle gomme di silicone è la loro stabilità all'esposizione al calore: l'intervallo di temperatura per l'uso di questi materiali è approssimativamente compreso tra  $-50^{\circ}\text{C}$  e  $+250^{\circ}\text{C}$ . Il loro carico di snervamento è di circa 7 MPa e una variazione dimensionale compresa tra il 20% e il 50% dopo 24 ore a  $150^{\circ}\text{C}$ .

La stabilità termica di una gomma di silicone dipende da quella del polimero base di provenienza: essa viene espressa in termini di durata di vita utile (self life).

Come accade con tutti gli elastomeri, la resistenza meccanica delle gomme di silicone è più scarsa alle alte temperature che non a temperatura ambiente.

Altro aspetto importante delle gomme siliconiche è la quasi totale inerzia chimica.

La permeabilità ai gas degli elastomeri è interessante, perché spesso le guarnizioni e le tenute vengono fatte in gomma. La gomma di silicone è molto più permeabile all'aria, a 25°C, di quanto non siano la maggior parte delle altre gomme.

La gomma di silicone presenta buone caratteristiche anche per quanto riguarda la resistenza all'attacco e all'azione rigonfiante da parte dei liquidi con cui essa entra a contatto. Il fenomeno del rigonfiamento dipende da vari fattori, come la natura dell'elastomero, il grado di vulcanizzazione, il tipo e la concentrazione della carica rinforzante, la natura del solvente, e il tempo di contatto. Una gomma tende a rigonfiarsi maggiormente in un liquido che sia chimicamente simile ad essa, cioè che abbia il suo stesso parametro di solubilità. Il parametro di solubilità rappresenta l'analogia chimica fra la gomma in esame ed il solvente. Viene espresso con un numero e può venire assegnato sia alle gomme sia ai solventi.

Gli elastomeri sono estremamente resistenti alla ionizzazione agli alti voltaggi e presentano una conducibilità termica alta. La conducibilità è di circa 0,006 watt/cm<sup>2</sup>/°C/cm.

La conducibilità termica è circa il doppio rispetto alle gomme naturali.

Le proprietà fisiche delle gomme siliconiche sono riportate nella seguente tabella.

Tensile strength (lbf/in)	500-1000 (3.5-7 Mpa)
Elongation break (%)	100-400
Hardness (BS°)	40-50
Compression set (% after 24 h at 150°C)	20-50
Minimum useful temperature (°C)	-55
Maximum useful temperature (°C)	250
Linear shrinkage (%)	2-6
Thermal conductivity (c.g.s. unity)	$7 \times 10^{-4}$
Volume resistivity ( $\Omega$ cm)	$10^{16}$
Dielectric strength (V/0.001 in at 50% RH)	500 (200 kV/cm)
Power factor (60Hz)	0.002
Dielectric constant (60Hz)	3-6

Figura 19 Proprietà fisiche di una generica gomma siliconica (Valori determinati a 20°C dopo una vulcanizzazione a 250° per 24 ore).

Il successo di questa classe di siliconi è essenzialmente dovuto alla combinazione di due fattori: facile lavorazione delle materie di partenza e le straordinarie caratteristiche del prodotto finale.

All'insieme delle gomme siliconiche appartiene una classe particolare denominata RTV (Room Temperature Vulcanization).

In questa classe si distinguono le RTV 1, a cui appartengono i comuni sigillanti siliconici. Le RTV 1 sono mono-componenti, pronte per la reticolazione in forma liquida o di fluido viscoso in grado di reagire con l'umidità atmosferica per formare un solido gommoso. Contengono oltre al polimero siliconico (Si-OH), anche il reticolante ed il catalizzatore, ma non l'acqua necessaria per completare la vulcanizzazione.

Un altro tipo di gomme, sempre ottenute a temperatura ambiente, sono le RTV-2 che sono invece bi-componenti.

La vulcanizzazione avviene dopo il mescolamento di due fluidi polisilossanici: l'uno contenente il polimero siliconico reattivo e un reticolante, e l'altro contenente il polimero siliconico reattivo e il catalizzatore.

Il classico polimero siliconico è rappresentato da una catena lineare di dimetilsilossano avente come terminali di catena gruppi vinilici o ossidrilici. Durante la vulcanizzazione, solo i gruppi funzionali della catena polimerica reagiscono, cioè i gruppi vinili o ossidrili. Questo significa che la densità di reticolazione è determinata dalla concentrazione di questi gruppi funzionali o dalla lunghezza media della catena polimerica usata o, più precisamente, dalla distribuzione dei pesi molecolari.

La lunghezza media delle catene dei siliconi polimerici è generalmente compresa tra i 200 e 2000 gruppi silossani.

La resistenza meccanica di una gomma di questo tipo è in relazione con il lavoro di stiramento di queste catene avvolte a gomitolo.

La resistenza alla trazione di una gomma può essere migliorata aggiungendo al sistema delle piccolissime particelle solide, che vengono generalmente chiamate fillers o cariche. Esse aumentano il lavoro necessario per muovere le catene e quindi la resistenza meccanica della gomma.

Le proprietà fondamentali di gomme vulcanizzate RTV-2 sono:

- persistenza di elasticità anche sotto sforzi elevati
- ottime proprietà elettriche isolanti
- stabilità chimica nel tempo
- eccellente comportamento al riscaldamento
- buona resistenza alla lacerazione
- capacità di riproduzione di immagini e forme

I siliconi RTV-2 possono vulcanizzare attraverso reazioni di poliaddizione o di policondensazione, usualmente chiamati siliconi per addizione o siliconi per condensazione.

I siliconi per poliaddizione utilizzano catalizzatori al platino (Pt), che permettono la reazione di gruppi terminali vinilici. Hanno il vantaggio di non emettere prodotti secondari, come sostanze volatili, quindi è possibile eseguire la vulcanizzazione in sistemi chiusi considerando la normale cessione di calore del sistema. Ciò

permette di avere un tipo di reazione che non presenta reversibilità ed un ritiro dimensionale generalmente inferiore allo 0,1%. Presentano il difetto di una inibizione della catalisi a contatto con molte impurezze (composti dello zolfo, idrocarburi, organometallici, ...) presenti talvolta sulle superfici.

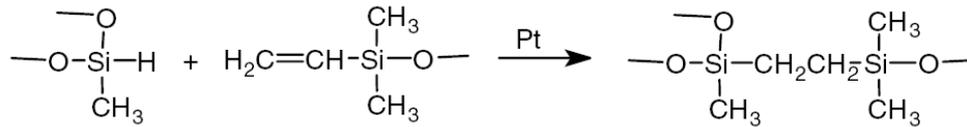


Figura 20 Idrossilazione silicone a condensazione (base Pt)

Le gomme RTV-2 si ottengono dalla miscelazione di due componenti formati da polimeri e altre sostanze:

- Base:
  - Reticolante
  - Polimero
  - Filler
  - Colorante
  - Aromi
  - Additivi
- Catalyst:
  - Catalizzatore
  - Polimero
  - Filler
  - Colorante
  - Additivi

Nel silicone per addizione troviamo:

- Base
  - Reticolante  $\text{—OSi(CH}_3)_2\text{—H}$
  - Polimero  $\text{—OSi(CH}_3)_2\text{—CH=CH}_2$
- Catalyst
  - Catalizzatore Pt
  - Polimero  $\text{—OSi(CH}_3)_2\text{—CH=CH}_2$

Mescolando i due componenti, la presenza del platino permette di abbassare il livello energetico dell'idrogeno, portando alla rottura del legame nel reticolante e alla formazione di un nuovo legame con la catena polimerica. L'atomo di platino, finito questa reazione è disponibile per rompere un altro legame.

La presenza del platino li rende più costosi e offrono una più ampia stabilità dimensionale nel tempo.

I componenti base e catalyst sono spesso venduti abbinati e sono contenuti in barattoli se sono di tipo più pastoso, o nelle siringhe doppie, chiamate cartucce, se sono molto fluidi. Il rapporto con cui mescolare le due componenti varia a seconda del prodotto, ma solitamente i rapporti più usati sono 1:1 o 5:1 (5 volte la base rispetto alla stessa quantità di catalyst).

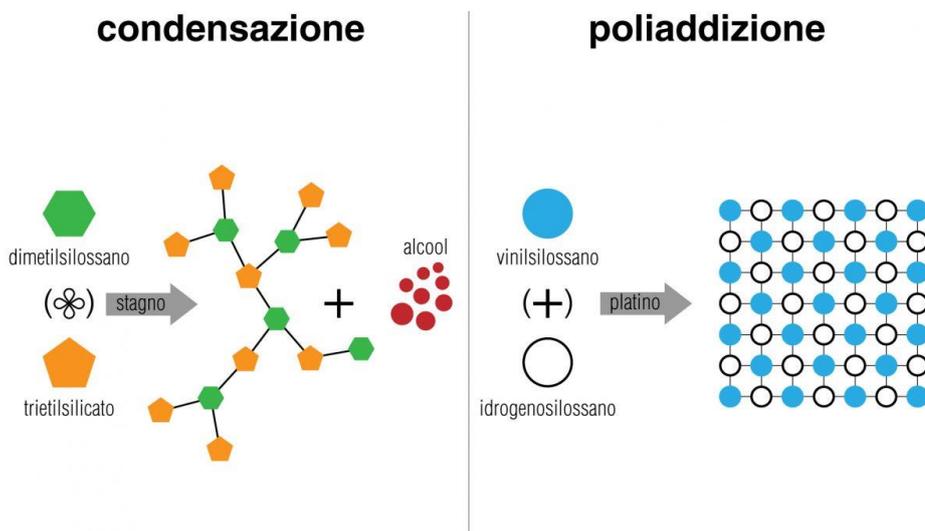


Figura 21 schematizzazione delle due possibili vulcanizzazioni

I siliconi per policondensazione presentano nelle catene dei gruppi terminali  $\text{—OH}$ , che vengono fatti condensare con silicato d'etile o altri alcossisilani, grazie all'azione di catalizzatori a base stagno (Sn), con la conseguente emissione di alcool etilico  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ . Hanno un ritiro inferiore all'1%, e il calore influisce poco sulla velocità di reazione.

Sono più economici rispetto ai siliconi ad addizione, hanno una bassa stabilità dimensionale nel tempo (ritiro all'1% dopo un 1 mese) e la vulcanizzazione è molto lunga (nell'ordine delle ore).

La parte base è generalmente contenuta in un barattolo mentre la parte catalyst è formata quasi solo dal catalizzatore e altri additivi e si presenta sotto forma di gel in tubetti.



Figura 22 Campioni di Zetalabor e Indurent Gel, silicone a policondensazione.

L'alta resistenza meccanica di gomme naturali e sintetiche come quelle usate nei pneumatici deriva dall'incorporazione di filler attivi.

L'effetto di rinforzo dei filler attivi è definito come l'aumento in modulo e il miglioramento delle proprietà finali di frattura come resistenza a trazione, resistenza allo strappo e all'abrasione.

Il cliente finale dovrà mescolare le componenti base e catalyst fino a ottenere un componente omogeneo, che verrà inserito su di un supporto per l'impronta ed inserito nella bocca del paziente.

Al bisogno si può aggiungere un silicone ad addizione più fluido tramite le siringhe per raccogliere i dettagli delle gengive.



Figura 23 Miscelazione delle due componenti base e catalyst, impronta ottenuta sul relativo supporto, impronta di esempio da un laboratorio

Altra caratteristica di questi siliconi è il comportamento da fluidi tissotropici, molto importante durante la fase di produzione.

I fluidi tissotropici, sottoposti a sforzo di taglio, non hanno un comportamento perfettamente reversibile nel tempo, cioè non riprendono le caratteristiche iniziali attraverso una sequenza inversa. I fluidi tissotropici presentano una curva reologica che si distingue in ramo ascendente e ramo discendente, racchiudendo una caratteristica area di isteresi, che rappresenta l'energia spesa per la dissociazione dei legami per unità di tempo e di volume.

Il comportamento di un fluido tissotropico durante lo scorrimento è facilitato da un'agitazione preliminare e la viscosità diminuisce al crescere del tempo di applicazione della forza: se quest'ultima è mantenuta costante, comunque il fluido diminuirà la sua viscosità.

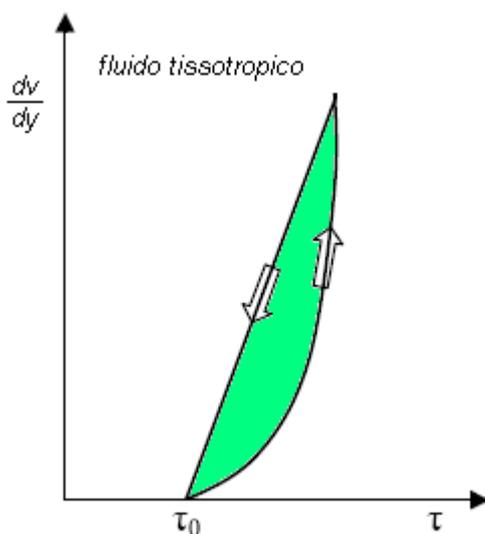


Figura 24 Reogramma di fluido tissotropico.

Lasciato a riposo, il fluido può anche riacquistare le proprietà primitive, ma passando dallo stato fluido a quello viscoso non segue lo stesso percorso. La viscosità apparente non dipende unicamente da  $\frac{dv}{dt}$ , ma anche dalla durata della sollecitazione applicata e quindi dalla particolare storia reologica del campione in esame. Dunque, la tissotropia è un fenomeno fisico dovuto alla mancanza di contemporaneità nei processi di distruzione e di ricostruzione delle strutture soggette prima a sollecitazioni e poi a riposo. Osservando il reogramma, si nota che il tratto discendente, caratterizzato da velocità di flusso decrescenti, mostra un reogramma

tissotropico comportamento pressoché lineare e si trova al di sopra della curva ascendente: ciò significa che a parità di sforzo applicato,  $\tau$ , la velocità di flusso,  $\frac{dv}{dy}$ , risulta maggiore per la curva discendente: siccome le forze applicate sono in diminuzione o nulle, il fluido sta tornando con velocità costante (perché la fluidità è costante) alla struttura iniziale di gel (consistenza gelatinosa).

I sistemi tissotropici tipicamente contengono particelle asimmetriche che mediante numerosi punti di contatto costituiscono, all'interno del mezzo, una certa struttura reticolata poco stabile. Questa struttura, allo stato di quiete conferisce al sistema una rigidità simile a quella di un gel; poi, quando si applica una forza di taglio ed ha così inizio il flusso, la struttura inizia a rompersi in quanto si riducono i punti di contatto e le particelle si allineano nella direzione del flusso, facendo passare il sistema da gel a sol con diminuzione della viscosità. Cessata l'azione delle forze di taglio, la struttura reticolata prende lentamente a ricostituirsi per conseguenza dei moti browniani delle strutture asimmetriche.

## REPARTI DI PRODUZIONE

Si estende su di una superficie di 22750 m<sup>2</sup> composta da quattro complessi distinti:

- Zhermack 1:  
Laboratorio CQ, Reparto Siliconi;
- Zhermack 2:  
Magazzino manutenzione, Reparto Confezionamento;
- Zhermack 3:  
Magazzino, Reparto Sintesi, Reparto Disinfettanti;
- Zhermack 4:  
Reparto Alginati, Reparto Gessi.
- In sede distaccata:  
Reparto Equipment.



*Figura 25 Layout stabilimento della Zhermack S.p.a., situato a Badia Polesine. Sono anche presenti gli anni in cui sono avvenuti i vari ampliamenti della struttura, fino allo stato attuale di oggi.*

Ogni reparto è composto da un caporeparto e due capoturno che supervisionano e dirigono le produzioni e gli operatori che lavorano direttamente sulle macchine. Ogni turno prevede 39 ore settimanali: 8 ore dal lunedì al giovedì e 7 ore il venerdì, questo a causa dei contratti relativi alle industrie chimiche. Normalmente sono previsti due turni giornalieri, ma qualora necessario, può essere richiesto il turno notturno. Questo deve coprire l'arco di tutta la settimana successiva e non per un singolo giorno.

## Reparto Alginati

Nel reparto alginati si prevede la trasformazione dell'alginato da materia prima a prodotto finito.

In questo reparto lavorano un caporeparto, due capituorno e 15 operatori.

L'ufficio della pianificazione della produzione comunica di mercoledì gli ordini di produzione per l'intera settimana successiva. I turni ormai prevedono quasi esclusivamente due turni giornalieri ma se in ritardo sulla produzione il caporeparto può decidere di sfruttare anche il sabato mattina. In questo reparto si è iniziato da febbraio 2017 un cantiere 5S valutato tramite Audit di reparto che si tiene una volta al mese e da maggio 2017 sono stati introdotti un metodo per la consuntivazione delle attività ed un momento di Flash Meeting per le due linee confezionatrici.

Il layout del reparto è composto da sei zone:

- Un magazzino,
- Una zona pesatura,
- Due zone produzione semilavorati intermedi
- Una zona miscelazione
- Una zona confezionamento semilavorato finale

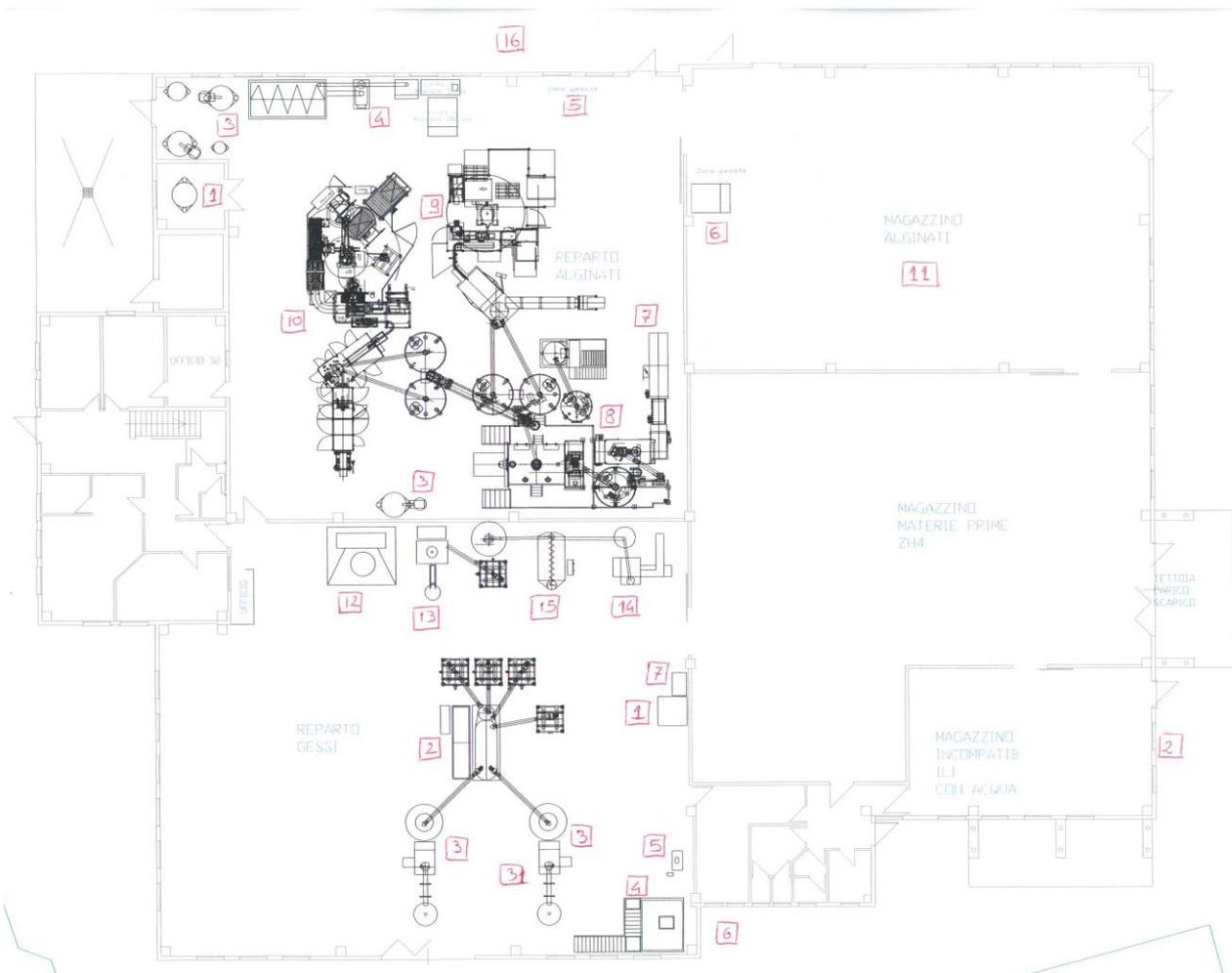


Figura 26 Layout reparto alginati

Il materiale di partenza e finale è sempre di tipo polveroso e il prodotto finito è contenuto in un packaging primario chiamato “busta”.



Figura 27 Buste di alginato. A destra la busta insieme al kit di dosaggio e l'aroma introdotto. A destra la gamma degli alginati Zhermack più usati.

Sono definite materie prime, tutti i materiali acquistati da fornitori esterni all'azienda. Si definiscono semilavorati intermedi, quei prodotti che vengono preparati dalle materie prime tramite alcuni macchinari all'interno del reparto e poi tenuti come scorta in magazzino. Questi verranno aggiunti alle materie prime per comporre il prodotto finale.



Figura 28 Fase di pesatura delle materie prime alginato e farine fossili.

Sono invece semilavorati finali, quei materiali che compongono la polvere di alginato, che verrà in seguito confezionato.

Il ciclo produttivo inizia da una formula stampata sull'ordine di produzione che determina quali e le quantità di materie prime e semilavorati intermedi che formeranno il semilavorato finale. Ognuno di questi materiali presenti nella formula, viene pesato e compone il “kit” di partenza. Nel reparto sono presenti 5 diversi tipi di bilance elettroniche tarate, scelte in base al materiale da pesare, alla loro risoluzione e al loro fondo scala, da 20 a 150 kg. Ogni bilancia, dopo la pesatura, rilascia uno scontrino munito di codice a barre, che certifica la quantità e quale materiale è stato pesato.

Il caporeparto ha deciso di mantenere un buffer iniziale di 3 kit, equivalente a tre mescole, ovvero tre lotti.

Tramite un PC con lettore di barcode, si verifica che il kit sia conforme alla ricetta precompilata. In caso negativo, vengono aggiunte le mancanze e riverificato. In caso positivo invece, i sacchi di cartone delle materie prime, generalmente farine fossili ed alginato, vengono caricate manualmente in una stazione di “taglio sacco”, due alberi controrotanti muniti di lame. Il tutto viene scaricato in un setaccio rotativo che separa gli involucri di cartone, scarto, dalla materia prima. Quest’ultima viene pesata nuovamente da una cella di carico e immessa nel miscelatore orizzontale. Il magnesio ed il potassio sono caricati in due silos distinti, amalgamati insieme ad una temperatura costante in un propulsore, tutto gestito da un software. Il composto risultante viene inviato nel miscelatore.

Infine, a farine, alginato, magnesio e potassio vengono aggiunti tramite un oblò i semilavorati intermedi e le materie prime sfuse che non erano contenute in sacchi di carta.

Il miscelatore è del tipo orizzontale con un albero di miscelazione in acciaio inox bilanciato al fine di eliminare vibrazioni durante anche le fasi di lavorazione. L’albero è inoltre completo di bielle e pale di miscelazione e raschiatori laterali e centrali con lame. Questo garantisce l’omogeneità del semilavorato uscente.



*Figura 29 Render di progetto di un miscelatore orizzontale, simile a quello presente nel reparto. [6]*

Al fine di garantire un prodotto adeguato agli standard di qualità, dal miscelatore vengono prelevati due campioni da punti diversi del miscelatore da sottoporre al controllo qualità nel reparto CQ. Ricevuto il benestare del laboratorio, il prodotto viene travasato in un silo, che ha la funzione di buffer, ed inviato alla linea confezionatrice tramite una coclea.

Esistono due linee confezionatrici, composte da macchine leggermente diverse. Queste due linee sono composte da una macchina automatica confezionatrice di marca ICA, da robot antropomorfi per l’inscatolamento e la pallettizzazione (con dispenser di pallet) e infine da un avvolgitore di film estensibile.

Sono presenti due silo per ogni linea confezionatrice, in maniera da poterne riempire uno, mentre l’altro viene svuotato durante la produzione. Il prodotto esce dal silo attraverso una coclea che lo trasporta sopra la confezionatrice.

La macchina confezionatrice ICA è una macchina automatica che discretizza il prodotto dal silo alle buste sottovuoto tramite tre macro-passaggi:

1. La formazione della busta:
  - a. Una bobina alloggiata su di un albero orizzontale viene svolta in un film e tirata all'interno della macchina;
  - b. Una stampante stampiglia le informazioni in un punto preciso del film svolto, come lotto e data di produzione;
  - c. Tramite una serie di stazioni il film viene ripiegato e i bordi laterali saldati tra di loro, formando un tubo continuo con una saldatura longitudinale;
  - d. Se richiesto dal cliente viene stampata un'etichetta con le informazioni volute;
  - e. Tre stazioni poste in serie creano la saldatura trasversale, che formerà il fondo della busta;
  - f. La lettura del passo, subito dopo la saldatura trasversale, della busta tramite un encoder, regola l'ingresso di questa nella giostra.
  
2. Inserimento del prodotto nella busta tramite una giostra circolare ad otto step:
  - a. Taglio superiore della busta;
  - b. Apertura della busta tramite soffio di aria compressa;
  - c. Prima formatura del volume interno della busta e ripiegatura del fondo busta;
  - d. Seconda formatura del volume interno, applicazione della colla sul fondo e schiacciamento per conferire una forma rettangolare;
  - e. Dosatura del prodotto che scende dalla coclea;
  - f. Una stazione che toglie in eccesso l'aria dall'interno del prodotto nella busta;
  - g. Pulizia parte interna tramite aspirazione;
  - h. Pesatura per controllo del peso in uscita dalla giostra.
  
3. Chiusura superiore e pulizia della busta sono operazioni che avvengono attraverso delle stazioni disposte in serie:
  - a. Pre-saldatura della parte superiore della busta;
  - b. Saldatura;
  - c. Taglio eccesso della busta oltre la saldatura;
  - d. Prima piegatura parte superiore saldata;
  - e. Seconda piegatura parte superiore saldata;
  - f. Fissaggio della piega;
  - g. Pulizia tramite aria compressa dalla polvere in eccesso dell'esterno della busta.



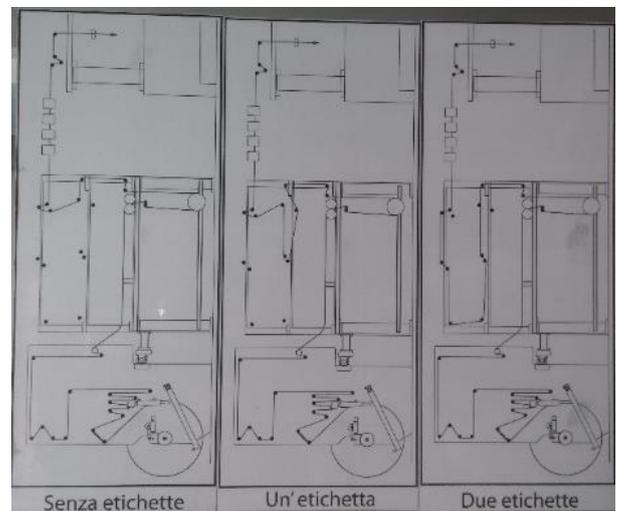
*Figura 30 Macchina automatica di marca ICA. Si può notare lo svolgimento della bobina ad inizio linea.*

Uscendo dalla macchina confezionatrice, la busta viene aggiunta ad un gruppo di altre buste cinque ed entra nella cella robotizzata.

La cella inizia il suo ciclo ordinando le buste in precise posizioni in maniera da poterle subito dopo inserire all'interno di una scatola.

La scatola viene chiusa tramite una nastratrice e movimentata su di un pallet. A pallet completato, l'avvolgitore lo chiude tramite una pellicola trasparente e lo fa uscire dalla linea.

Al termine della linea, un addetto porta il pallet nel magazzino dei prodotti finiti tramite un carrello elevatore.



*Figura 31 A sinistra, il robot pallettizzatore della linea ICA2 e la zona di uscita pallet dalla linea. A destra, lo schema di svolgimento della bobina sulla macchina.*

La linea 1 presenta una macchina confezionatrice ICA vecchia e un robot antropomorfo a sei assi, per inscatolamento e pallettizzazione. La linea 2 invece presenta una macchina confezionatrice più nuova, quindi più performante, e due robot antropomorfi, uno a due assi per l'inscatolamento ed uno a tre assi per la pallettizzazione. Questo rende più veloce la linea 2 e quindi è diventata la linea più usata.

La bobina pesa circa 150 kg ed in media viene serve alla produzione di 10'000 buste.

## ***Reparto Sintesi***

In reparto è sono presenti gli impianti di processo chimico dell'azienda.

Zhermack è una delle pochissime aziende del settore dentale a livello mondiale ad avere il proprio impianto di sintesi che si occupa della produzione di polimeri, catalizzatori, reticolanti e composti.

Si parte da una materia prima in polveri che vengono miscelate e trattate con additivi chimici, per essere trasferiti in bidoni, trasportati nel reparto siliconi. Gli operai sono più qualificati per poter intervenire prontamente sui guasti delle macchine insieme ai manutentori.

Essendo questi prodotti difficili da reperire sul mercato, l'azienda ha deciso di mantenere una scorta di quattro settimane nel magazzino, basandosi sulle previsioni di vendita.

## Reparto Siliconi

Il reparto siliconi prevede principalmente la preparazione di materiali al silicone ad addizione o a condensazione.

In questo reparto lavorano un caporeparto, due capituorno e 20 addetti.

L'ufficio della pianificazione della produzione comunica ogni giovedì gli ordini di produzione per l'intera settimana successiva. I turni ormai prevedono quasi esclusivamente tre turni giornalieri. In questo reparto al momento non è stato iniziato nessun cantiere 5S.

Il layout del reparto viene sotto riportato in Figura 32.

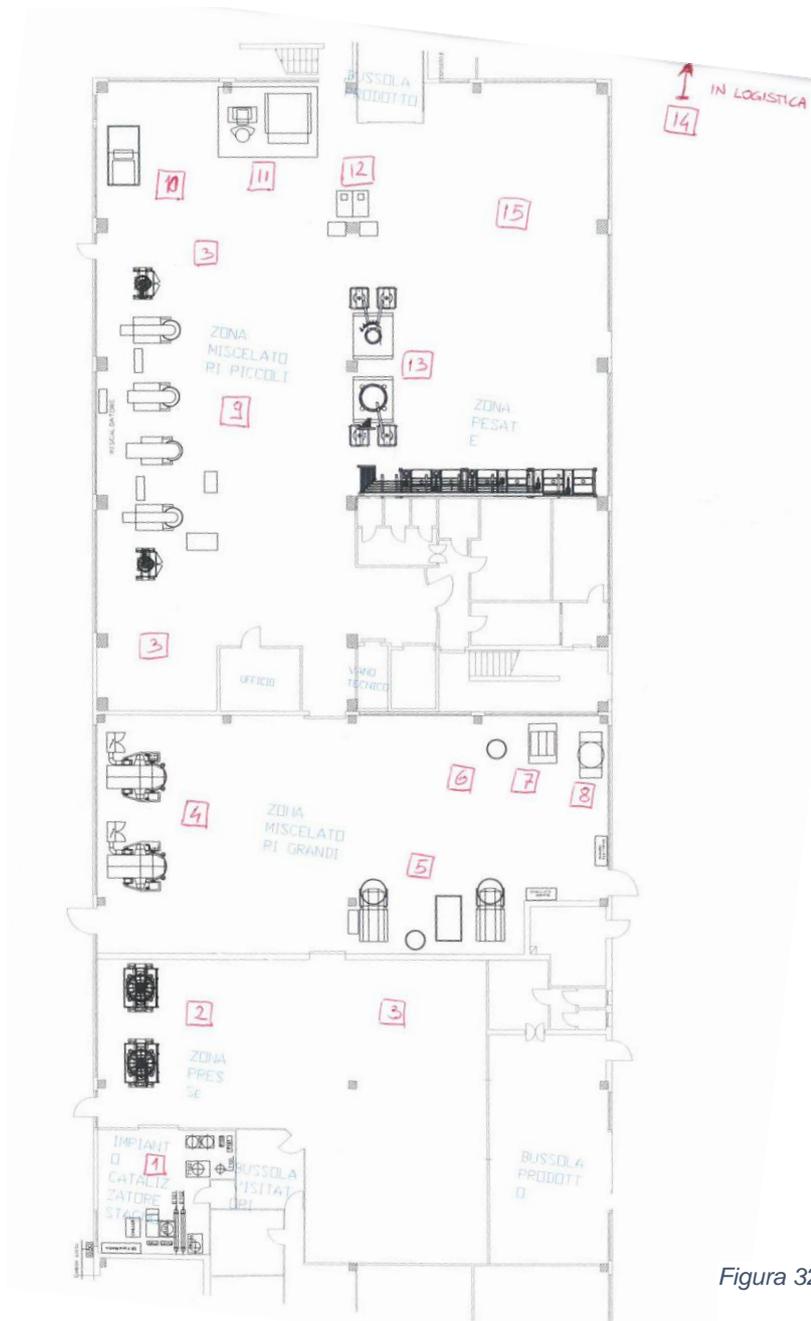


Figura 32 Layout del reparto siliconi

Il processo completo prevede:

1. Pesatura
2. Miscelazione
3. Controllo qualità
4. Travaso

Il ciclo comincia con due addetti che puliscono e spostano una vasca industriale sopra una piattaforma di pesatura elettronica a quattro celle di carico ed effettuano la taratura. Qui vengono pesate tutte le materie prime, alcune sono inserite direttamente nella vasca, altre sono sistemate su un pallet perché verranno versate in un secondo momento. Le materie prime devono rispettare esatti quantitativi dettati dalla formula del prodotto che si vuole ottenere.

L'ordine d'inserimento è sempre lo stesso:

1. Fluidi basso viscosi: oli, polimeri, acqua...
2. Fluidi alto viscosi: compound, colori, pigmenti, cera, catalizzatore, aroma...
3. Polveri: farina, microsferi di vetro, quarzo, silice...

A parte possono rimanere alcune polveri e alcuni materiali alto viscosi.

I fluidi basso viscosi sono contenuti in IBC (*Intermediate Bulk Container*) ed introdotti tramite un sistema di idraulico, se il componente è alto rotante, oppure manualmente dai due operatori che con l'aiuto di un muletto versano il liquido.

Le farine sono contenute in sacchi di cartone e versate manualmente all'interno. Un sistema di aspirazione evita la dispersione di polveri nell'ambiente

I fluidi alto viscosi sono in vece una piccola quota della formula e derivano da recuperi di produzioni precedenti o da materiali pesati su altre bilance con fondo scala e risoluzione più piccole, in grado di apprezzare pesate inferiori, dette "micropesate".



Figura 33 Celle di carico per la pesatura delle materie prime. A destra la cella robotizzata per travasare i bidoni nelle vasche, a destra una vasca piccola su una bilancia da 3000 kg. si possono notare in alto il sistema di aspirazione e il kit in preparazione.

In tutto sono presenti:

- 2 le piattaforme elettroniche da 3000,0 kg  $\pm$  1,0 kg;
- 1 cella robotizzata con piattaforma per la pesatura, 3000,0 kg  $\pm$  1,0 kg, per travasare il contenuto dei bidoni all'interno delle vasche;
- 4 presse schienate che inseriscono i prodotti direttamente nelle vasche sulle due piattaforme;
- 2 bilance da pavimento da 150,0 kg  $\pm$  0,1 kg (per micropesate);
- 2 bilance da 20,0 kg  $\pm$  0,1·10<sup>-3</sup> kg (per micropesate);

Le presse piccole e la cella robotizzata travasano i compound dentro alla vasca. La cella ha la particolarità di riuscire a versare delle grandi quantità di materiale per gravità, in poco tempo. Invece le presse ospitano ciascuna una materia prima differente e sono collegate solo ad una bilancia. In questo modo la bilancia viene scelta a seconda dell'ordine di produzione ricevuto. L'uso di questi due impianti resta comunque limitato a solo certi tipi di prodotti.

La vasca viene poi trasportata verso un miscelatore verticale. Questo viene settato per mescolare il prodotto all'interno della vasca per un tempo che varia da due a quattro ore, in genere. Questa operazione può essere presidiata da un solo addetto che riesce a gestire fino a quattro risorse di questo tipo.

Questa fase può anche prevedere l'inserimento delle materie prime solo pesate ma non versate nello step precedente. Possono essere presenti fino a tre inserimenti, intervallati da fasi di miscelazione.

Nel reparto sono presenti tre tipi di miscelatori, a seconda della dimensione della vasca da ospitare. Inoltre, sono divisi per siliconi base e siliconi catalyst, per evitare qualsiasi possibilità di contaminazione.



*Figura 34 Due siliconi diversi durante la fase di miscelazione.*

La trasmissione principale dei miscelatori ha una potenza disponibile del motore elettrico di 147 kW, che garantisce una coppia costante, adatta a fluidi altoviscosi. In tutto ci sono:

- 3 miscelatori verticali ad albero singolo per vasche grandi;
- 2 miscelatori verticali ad albero singolo per vasche medie;
- 2 miscelatori verticali ad albero singolo per vasche piccole;



Figura 35 Miscelatori verticali del reparto siliconi.

Una volta raggiunto un fluido omogeneo, un campione di prodotto viene prelevato e portato al laboratorio “Controllo Qualità”, dove vengono eseguiti i test per verificare la bontà del prodotto.

Se il laboratorio dovesse riscontrare delle anomalie, la vasca riceve una “correzione”. In base al feedback del laboratorio, sono pesate le materie prime mancanti, travasate nella vasca e miscelate con il resto. A questo punto il prodotto è nuovamente sottoposto ad un controllo qualità.

Ricevuto il benestare del laboratorio, la vasca può ora intraprendere due strade: o essere inviata al reparto successivo, quando richiesta, o essere travasata.

Se la vasca va nel reparto successivo viene accolta dalla pressa dedicata per siliconi base a condensazione o dalle presse dedicate per siliconi ad addizione, sia base che catalyst. Le vasche che possono intraprendere questo tragitto sono sia le grandi che le medie.

Se la vasca viene travasata internamente al reparto, il prodotto viene ripartito in diversi bidoni da 200 litri ciascuno, o anche in piccoli secchi da 10 litri.

Nel reparto siliconi sono presenti due presse in grado di accogliere le vasche grandi. Le vasche medie e piccole sono rovesciate manualmente.

Tutte le presse sono definite a carro mobile, sfruttano un meccanismo pneumo-oleodinamico e la pressione sul piatto premente arriva fino a 250 bar.

I bidoni o i secchi sono poi inviati al reparto confezionamento.

Su alcuni prodotti travasati è richiesta anche una filtrazione tramite una maglia di metallo che raccoglie le impurità non totalmente disciolte prima dell'immissione nei bidoni.



*Figura 36 A destra una pressa a ponte mobile, a sinistra un misclatore verticale per vasche medie.*

Il reparto prevede altre lavorazioni secondarie.

Alcune materie prime, come i compound, vengono prodotte internamente al reparto. Il processo produttivo è lo stesso e finisce con il travaso in bidoni, che sono poi stoccati nel magazzino.

Anche il gel, parte catalyst dei siliconi a condensazione, viene eseguito con un processo simile. Ha un misclatore dedicato, turboemulsore gel, che può lavorare solo le vasche piccole. Viene poi travasato dentro i bidoni e inviato al reparto successivo.

## Reparto confezionamento

Nel reparto confezionamento lavorano un caporeparto, due capituono e 15 operatori per turno. L'ufficio della pianificazione della produzione comunica di mercoledì gli ordini di produzione per l'intera settimana successiva. I turni prevedono quasi esclusivamente due turni giornalieri, ma se in ritardo sulla produzione il caporeparto può decidere di sfruttare anche il sabato mattina. In questo reparto si è iniziato da ottobre 2016 un cantiere 5S valutato tramite Audit di reparto che si effettua una volta al mese. Da dicembre 2016 sono stati introdotti un metodo per la consuntivazione delle attività ed un momento di Flash Meeting di reparto, in cui sono mostrati i dati dell'OEE settimanale relativo a due linee confezionatrici denominate "TGM", descritte più avanti, ed alla pressa per il confezionamento dei siliconi a condensazione.

Il reparto è composto da quattro zone principali:

1. Presse a ponte per l'estrusione;
2. Linee semiautomatiche confezionatrici;
3. Linee per la codifica dei barattoli;
4. Magazzino.

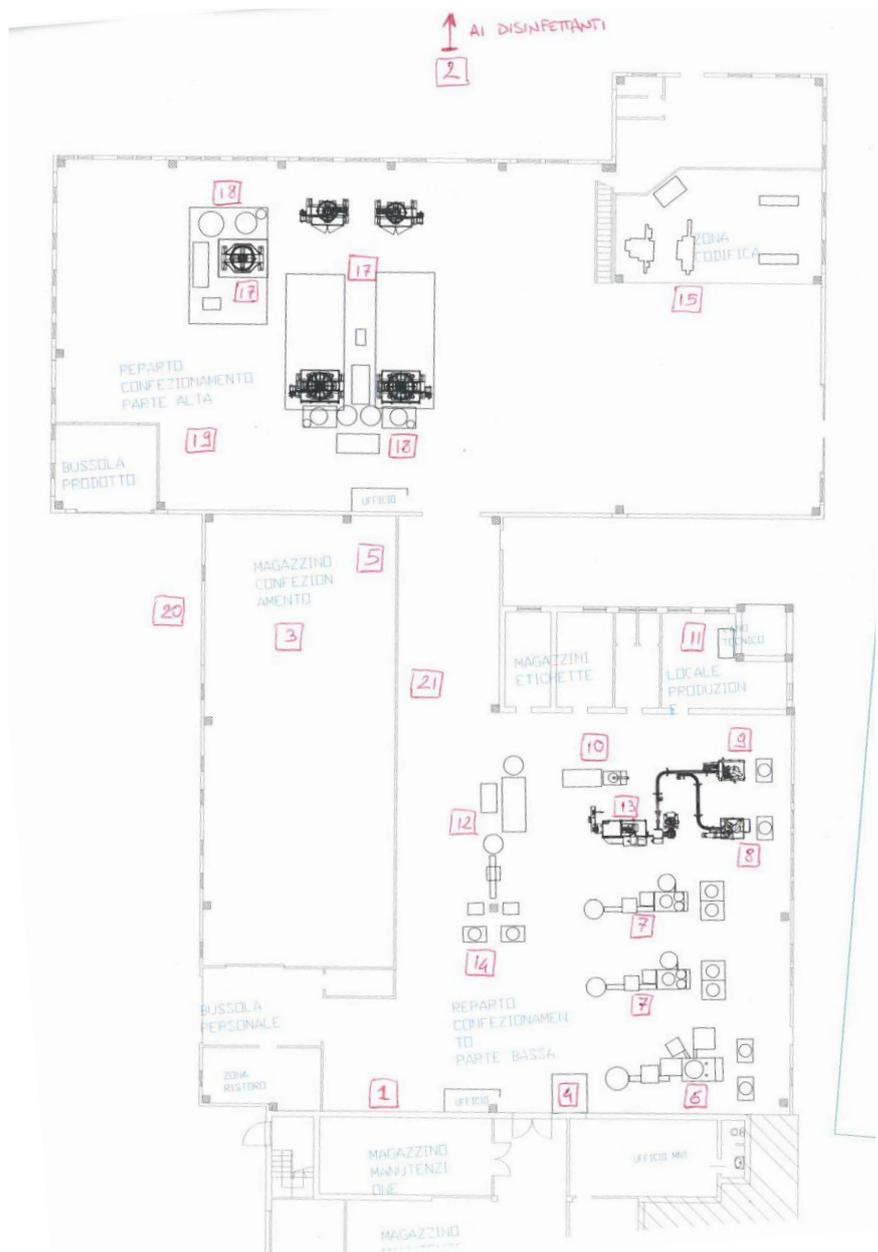


Figura 37 Layout reparto Confezionamento

Nel reparto entrano i semilavorati prodotti dal reparto siliconi, contenuti in un recipiente di vario formato a seconda della linea di confezionamento che discretizza il semilavorato nel prodotto finito.

Nell'area delle presse a confezionamento arrivano le vasche con il prodotto miscelato nel reparto siliconi e sono presenti 5 presse diverse:

NOME PRESSA	TIPO di SILICONE	COMPONENTE	TIPO di VASCA	MARCA	Pressione
PR-COND	Condensazione	Base	Grande	Turello	18 bar
PR-BASE2	Addizione / Condensazione	Base	Media	Zanelli	
PR-CATA2	Addizione	Catalyst	Media	Zanelli	
PR-BASE3	Addizione	Base	Grande	Zanelli	18 bar
PR-CATA3	Addizione	Catalyst	Grande	Zanelli	18 bar

Figura 38 Caratterizzazione presse nel reparto Confezionamento.

Tutte le presse sono a carro mobile, sfruttano un meccanismo pneumo-oleodinamico e la pressione sul piatto premente arriva fino a 250 bar.

La pressa PR-COND elabora solo il componente base, in quanto il catalizzatore è un gel contenuto in un tubetto, sempre prodotto nel reparto ma venduto separatamente.

Solo la pressa PR-BASE3 può elaborare sia siliconi a condensazione che ad addizione, ma solo di componente base mentre le altre presse sono dedicate ad un preciso tipo di siliconi per evitare la "cross contamination" tra parte base e catalyst. Tutte le presse permettono l'alloggiamento della vasca su di un ponte che viene alzato fino al livello massimo di 55 cm da terra per permettere di accoppiare il piatto premente dentro la parte alta della vasca. Il piatto premente viene azionato per farlo aderire al prodotto, che opporrà resistenza. Variando la pressione esercitata dalla pressa, si forzerà la fuoriuscita del fluido da una luce posta sul fondo della vasca. A questa uscita è collegato un dosatore volumetrico, valvola a 3 vie, che regola la quantità di prodotto estruso, che scende per gravità all'interno di un barattolo (packaging primario). Sarà l'operatore a regolare la portata in uscita dal dosatore, in base alle specifiche richieste. Il prodotto viene poi rifinito su due tavoli adiacenti alla pressa, tramite un assemblaggio manuale. Questa operazione prevede in genere l'utilizzo di due o tre operatori per linea.

In alternativa al dosatore semplice, sono presenti tre macchine automatiche, una per ciascuna pressa di grande dimensione (PR-COND, PR-BASE3, PR-CATA3). La luce di passaggio viene collegata a questa macchina che prevede 6 fasi tramite una giostra circolare:

1. Inserimento barattolo vuoto, singolo
2. Dosaggio
3. Pesatura prodotto lordo (barattolo e silicone)
4. Inserimento coperchio
5. Pressatura coperchio
6. Uscita dalla giostra su di un nastro trasportatore

Se il prodotto non riceve la conferma del peso, il barattolo non viene tappato.

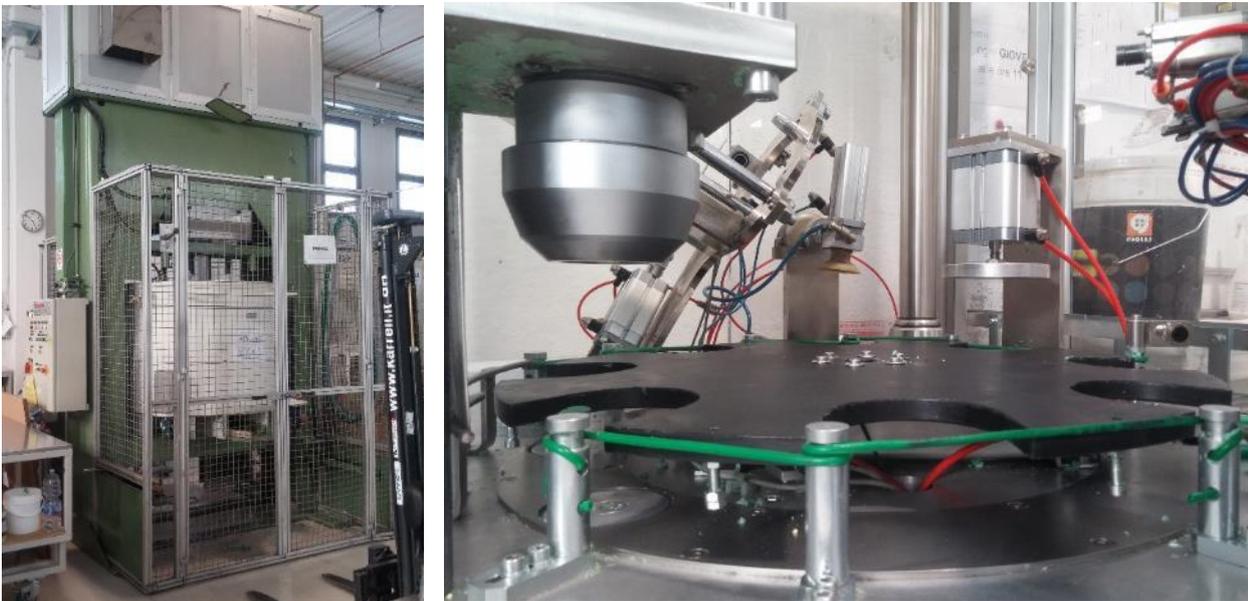


Figura 39 A sinistra pressa per il confezionamento dei siliconi a condensazione, a destra particolare interno della macchina automatica.

Un operatore raccoglie i barattoli uscenti, li sistema su di un pallet e corregge manualmente quelli senza coperchio.

Nella zona con linee semi-automatiche arrivano i bidoni dal reparto siliconi.

Per alcune applicazioni, questi bidoni vengono travasati in secchi, causa l'immissione del prodotto nella macchina. Questo ulteriore travaso può avvenire nel reparto precedente o direttamente vicino alla macchina confezionatrice.

I semilavorati elaborati da queste macchine sono generalmente più liquidi.

In quest'area sono presenti 7 linee confezionatrici.

- Una linea imbottigliatrice di piccole fiale;
- Due linee per la creazione di taniche, base e catalyst;
- Due linee confezionatrici di siringhe doppie di formato 1:1;
- Una linea confezionatrice di siringhe doppie di formato 5:1;
- Un'astucciatrice per la creazione di tubetti per il gel;

Concentreremo la nostra attenzione principalmente sulla descrizione delle due linee confezionatrici di siringhe doppie di formato 1:1, che presentano uguale funzionamento e sono chiamate TGM 1:1 A e TGM 1:1 B.

Il packaging primario che conterrà il silicone è costituito da una cartuccia, detta anche siringa, come in figura, presenta due cilindri paralleli, chiusi alle estremità da un "tappino" e due "pistoncini". Il tappino colorato viene già fornito accoppiato al corpo cilindrico e verrà sbloccato solo dall'utente finale. I pistoncini verranno inseriti dalla macchina e controllano il dosaggio manuale imposto dall'utente finale, il dentista.



Figura 40 Esempio di prodotti delle macchine TGM, confezione a "cartuccia".

La situazione AS IS prevede l'inserimento del prodotto versando i secchi all'interno di due "campane", una base ed una catalyst. Queste sono tramogge metalliche a forma conica, poste nella parte superiore della macchina. Questa operazione avviene tramite una scala, almeno quattro volte per ogni lotto elaborato.

Tramite un distributore a quattro vie avviene la dosata volumetrica del materiale da inserire nelle cartucce.



Figura 41 Particolari della macchina TGM 1:1

La macchina prevede una giostra circolare con una serie di stazioni in cui è previsto l'alloggiamento della cartuccia:

1. Un operatore inserisce manualmente una cartuccia all'interno della prima stazione disponibile;
2. Viene rilevata la presenza della cartuccia nella stazione;
3. La cartuccia viene girata di 90°, posizionata correttamente per la stazione successiva;
4. Tramite un corpo iniettore ed un ugello, la componente **base** viene inserito in un cilindro della cartuccia;
5. Tramite un corpo iniettore ed un ugello, la componente **catalyst** viene inserito in un cilindro della cartuccia;
6. La cartuccia viene girata nuovamente di 90°, tornando nella posizione iniziale;
7. Vengono inseriti i pistoncini e pressati all'interno dei cilindri;
8. La siringa viene spinta fuori dalla stazione.

I pistoncini vengono erogati da un corpo vibrante, che ha il compito di prelevarli, posizzarli nel verso corretto e disporli su due file per inseriti sulle terminazioni cilindriche della cartuccia.

La cartuccia così uscita viene depositato su di un tavolo metallico, da cui l'operatore la preleva, ne controlla la presenza di bolle, che costituiscono una difettosità e la inserisce in un'etichettatrice. Quest'ultima macchina è provvista da un nastro trasportatore lineare, che prevede delle bussole in cui posizionare la cartuccia. Sul nastro viene prima adagiata l'etichetta e tramite un treno di spugnette viene premuta e ben incollata alla cartuccia completata. In ultima la cartuccia esce dal nastra e cade in uno scatolone posto sotto.

Nella zona di codifica, sono stampate le etichette da applicare sulla maggior parte del packaging primario. Qui vengono inserite le informazioni del lotto, data di confezionamento e data di scadenza del materiale.

Sono presenti anche due ulteriori linee con macchine semiautomatiche:

1. Una macchina stampiglia la codifica direttamente sull'astuccio di cartone che contiene il gel catalizzatore per il silicone a condensazione.
2. Una macchina applica le etichette stampate su vari formati di barattoli, pronti infine per essere usati nella zona presse.

## **Reparto controllo qualità**

Il reparto controllo qualità è un laboratorio situato sopra il reparto siliconi. Lavora in maniera sfasata dalla produzione così da garantire la produzione continua dei vari reparti. Sfrutta i seguenti orari di apertura.

- Da lunedì a giovedì: 05.00 – 13.00 1° turno, 13.00 – 21.00 2° turno;
- venerdì: 05.00 – 12.00 1° turno, 12.00 – 20.00 2° turno;

Qui arrivano i campioni che vengono sottoposti a test chimici e fisici, per garantire un alto livello qualitativo al cliente finale e rispettare i limiti delle certificazioni guadagnate.

Il laboratorio valuta la qualità di due step del processo produttivo:

1. Test sulle materie prime in ingresso al magazzino;
2. Test sul semilavorato, materiale miscelato prima di essere confezionato.

I test sulle materie prime aiutano ad intercettare le non conformità dovute al fornitore e risparmiare la produzione di un prodotto difettoso in partenza.

I semilavorati dopo la miscelazione hanno spesso bisogno di abbassare la temperatura tramite un “bagno freddo” grazie ad una vasca tenuta ad una bassa temperatura costante. Se il prodotto testato non dovesse rientrare nei parametri stabiliti, si avvisa il reparto di competenza con quali materiali correggere e quanto tempo rimescolare. Andrà sottoposto nuovamente al controllo qualità a fine correzione.

Nel periodo di stage curricolare si è predisposto l’inizio di un cantiere 5S, valutato tramite Audit mensili.

## **Altri reparti**

Il reparto Research and Development (R&D) interno all’azienda è fortemente impegnato nell’innovazione. Attualmente, al fine di rendere i materiali dentali sicuri sia per chi li usa che per il paziente, ogni singolo materiale deve possedere delle caratteristiche chimico-fisiche biologiche che rispondono a norme precise dettate dalla comunità europea. La realizzazione di un materiale dentale è frutto della collaborazione delle figure professionali del chimico, del fisico, dell’ingegnere, del biologo e dell’istologo, poiché il materiale dentale deve possedere delle proprietà tali da mantenere la sua stabilità in condizioni ambientali diverse quali quelle che si realizzano nella cavità del cavo orale come un ph acido o basico, temperature diverse, aggressione batterica, saliva con la sua azione chimico-fisica.

# VALUE STREAM MAP

Il progetto svolto in Zhermack SpA si concentra sull'analisi del flusso del valore legato a due categorie di prodotto differenti: i siliconi, che attraversano tre reparti, e gli alginati, che sono lavorati in un unico reparto. Lo scopo è stato supportare con dati quantitativi le soluzioni alle inefficienze principali del sistema produttivo.

Per raggiungere questo obiettivo sono stati utilizzati gli strumenti già spiegati, adattandoli al contesto produttivo, ovvero un'azienda in fase di cambiamento e miglioramento tramite tecniche di Lean Manufacturing.

Sotto la guida del tutor aziendale e l'aiuto dei colleghi è stata creata la Current State Map, rappresentazione grafica dell'AS IS con il sostegno di informazioni mirate.

In seguito, sono state pensate le azioni migliorative, che riducessero le inefficienze con l'implementazione di ulteriori tecniche Lean.

Infine, si è costruita la Future State Map con gli obiettivi da raggiungere e si sono cominciate ad implementare le soluzioni pensate.

Le Value Stream Map sono state inizialmente tracciate su fogli A3, per poterle più facilmente ridisegnare al bisogno, aggiungendo informazioni mancanti. In seguito, sono state riportate sul software Visio, sviluppato da Microsoft, per renderle maggiormente fruibili ed implementabili nelle presentazioni.

I dati raffigurati nella VSM sono:

- **Throughput Time**, espresso come linea temporale per ogni processo o work in process di attesa;
- **Batch Size**, la grandezza del lotto che viene trattato dal processo;
- **C/T**, Cycle Time, il tempo ciclo del processo, ovvero il tempo che impiega un pezzo ad essere lavorato su una specifica macchina;
- **C/O**, Change Over time, il tempo di setup che serve a preparare il processo alla lavorazione successiva;
- **#op**, il numero di operai che la macchina richiede;
- **Utilization**, la percentuale di utilizzo della macchina rispetto al tempo di apertura del reparto;
- **WPAR**, Working PARtition, la percentuale di tempo in cui la macchina lavora la famiglia di prodotti analizzata rispetto al tempo totale di utilizzo, senza considerare quindi l'inutilizzo;
- **OEE**, Overall Equipment Effectiveness, nel caso sia calcolata sulla macchina.

## CURRENT STATE MAP

I due processi produttivi presi in esame sono molto simili. Entrambi presentano una prima fase di pesatura delle materie prime, una miscelazione dei componenti, l'eventuale travaso ed infine il confezionamento. Possiamo quindi considerare un layout a “*Job Shop*” dove, infatti, macchine simili sono raggruppate vicine ed ogni famiglia di prodotto deve attraversare l'intero reparto prima di uscire.

Ricordiamo che i siliconi sono un fluido, alcuni più liquidi altri più pastosi, e attraversano tre reparti produttivi. Mentre gli alginati sono polveri, pesati e confezionati in un unico reparto.

Essendo un'azienda chimica, tutto il personale (uffici compresi) lavora 39 ore a settimana, ovvero dal lunedì al giovedì 8 ore al giorno per ciascun turno, il venerdì 7 ore per ciascun turno.

Inoltre, in tutti i reparti aziendali di norma sono presenti due turni da otto ore. In caso di bisogno è possibile richiedere il terzo turno straordinario, che è necessario attivare per l'intera settimana.

### Siliconi

Il flusso dei siliconi passa attraverso tre reparti:

1. Sintesi, dove vengono prodotte parte dei semilavorati che poi saranno pesati insieme alle materie prime;
2. Siliconi, dove si hanno le operazioni di:
  - i. Pesatura;
  - ii. Miscelazione;
  - iii. Travaso e filtrazioni eventuali;
3. Confezionamento, dove il prodotto fluido viene discretizzato dentro il packaging primario.

Il reparto di Sintesi lavora per garantire un magazzino di 4 settimane. Le materie prime prodotte in questo impianto non sono recuperabili da fornitori vicini e un'eventuale rottura o manutenzione di queste potrebbe causare diversi giorni di fermo per la ricerca di parti sostitutive. Per questo motivo si è deciso di escluderlo dall'analisi in atto: produce valore per il prodotto ma nella situazione attuale deve essere considerato un reparto esterno.

La VSM è quindi considerata dall'ingresso nel reparto Siliconi fino all'uscita del reparto Confezionamento. La movimentazione tra questi due reparti viene già gestita dal caporeparto del Confezionamento.

I dati raccolti e mostrati sono stati presi sul campo con cronometro manuale, dove possibile, ed osservando il processo produttivo. Altre informazioni sono state raccolte tramite il software gestionale SAP.

Per indirizzarsi sulle risorse e le famiglie di prodotto che ne avevano maggiormente bisogno, sono stati analizzati i dati consuntivati nel gestionale che fanno riferimento ad un periodo di tempo pari a 5 mesi.

Come primo passo si è considerato il reparto Siliconi e le ore spese su ciascuna risorsa.

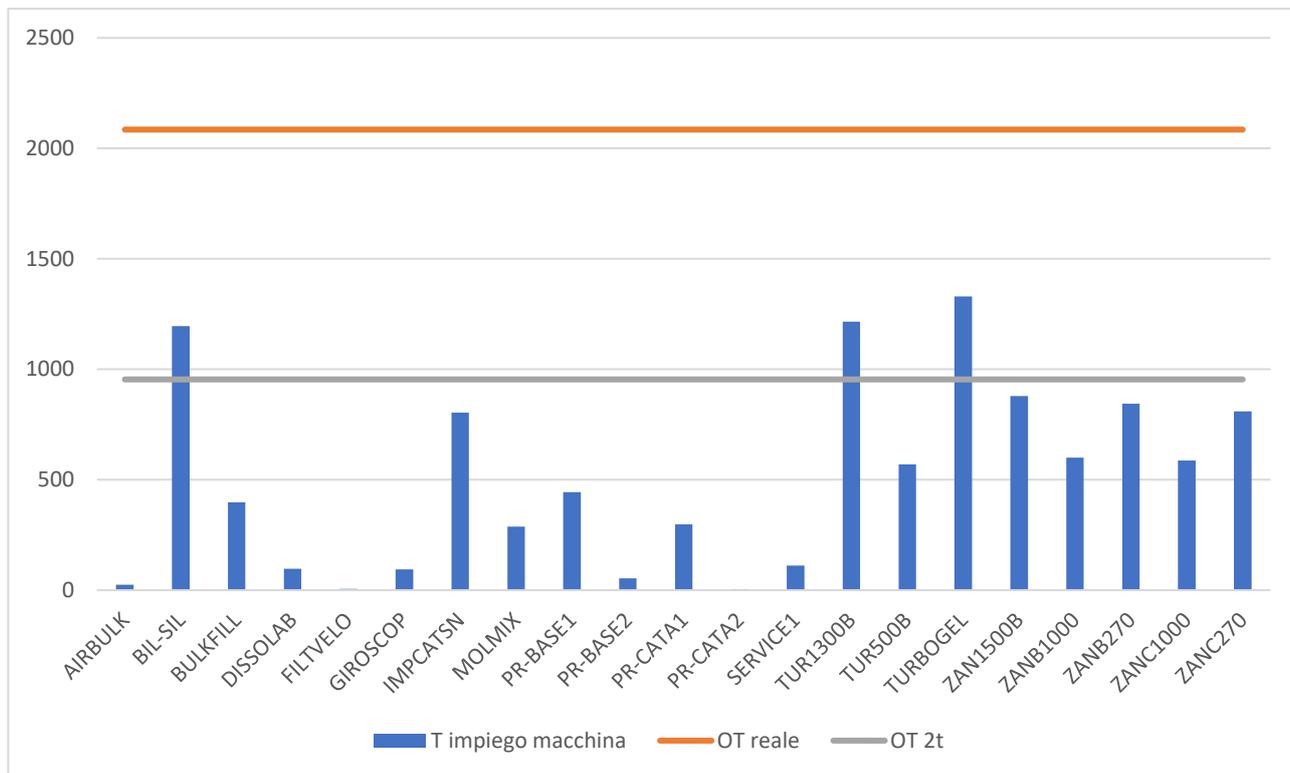


Figura 42 Utilizzo delle risorse nel reparto Siliconi. Unità di misura dell'ordinata è Ore, [h].

In Figura 42, in rosso è segnato l'ammontare delle ore di apertura reali dell'impianto, spesso con tre turni da otto ore, in grigio le ore di apertura nel caso fosse possibile ridurla a solo due turni giornalieri da otto ore.

È evidente come certe risorse abbiano bisogno di più di due turni giornalieri, mentre il terzo turno non sia sempre necessario. In questo reparto ancora non è attivo alcun progetto 5S, che potrebbe essere utile per diminuire le ore globali di apertura.

Allo stesso modo è stata condotta un'analisi nel reparto Confezionamento, sempre nello stesso intervallo temporale (Figura 43).

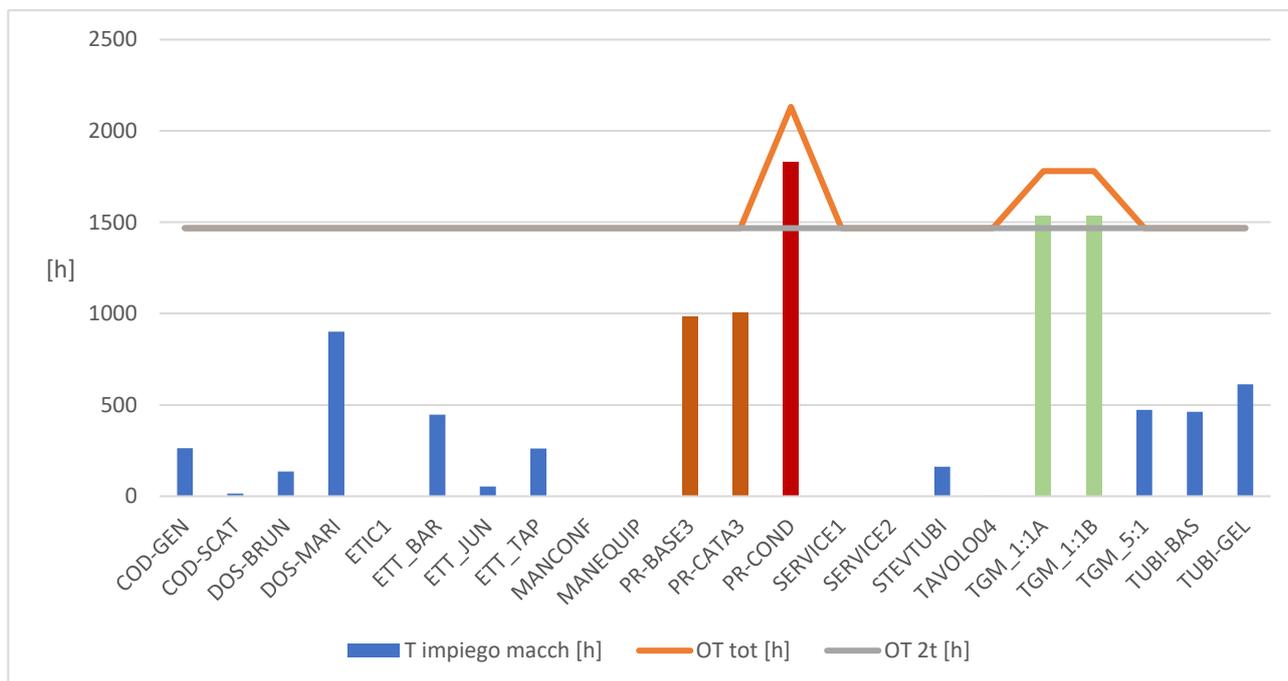


Figura 43 Utilizzo delle risorse nel reparto Confezionamento.

Si può vedere come le macchine semiautomatiche TGM 1:1 A, TGM 1:1 B e la pressa a condensazione risultino le più utilizzate.

La pressa a condensazione è la risorsa con un maggior numero di ore lavorate. È spesso attivo il terzo turno, che viene sfruttato all'86% delle ore di apertura dell'impianto.

Le due macchine TGM lavorano sempre in contemporanea e se viene richiesto il terzo turno per una sola delle due, anche l'altra deve lavorare. Come si evince dal grafico a barre, per queste macchine il terzo turno non è sfruttato al massimo. Per poter diminuire le ore lavorate ed evitare il terzo turno si è pensato di combattere le perdite di tempo presenti nel processo produttivo tramite il target OEE.

Le presse ad addizione si guadagnano invece il quarto ed il quinto posto. Queste devono sempre lavorare in parallelo, ma non hanno mai attivo il terzo turno notturno. Sono macchine molto simili alla pressa a condensazione e quindi si è pensato di unirle all'analisi.

Risorsa	T. impiego macch [h]	OT tot [h]	OT 2t [h]	Saturazione reale [%]	Saturazione se 2turni [%]
PR-COND	1834	2132	1468	86%	125%
TGM_1:1A	1534	1781	1468	86%	104%
TGM_1:1B	1534	1781	1468	86%	104%
PR-BASE3	984	1468	1468	67%	67%
PR-CATA3	1008	1468	1468	69%	69%

Tabella 2 Confronto tra le varie risorse: tempo in cui la macchina è impiegata, tempo di apertura totale, tempo di apertura con l'ipotesi di 2 turni, saturazione reale, saturazione della macchina con l'ipotesi di 2 turni al giorno.

Siccome il maggior collo di bottiglia dei due reparti è rappresentato dai prodotti siliconici che transitano dalle presse, si è deciso di analizzare le quantità di questi prodotti in maniera da capire la quantità di flusso che la macchina si trovava a gestire.

Si è analizzato il flusso che attraversa la bilancia nel reparto Siliconi, perché tutti i prodotti lavorati vengono sempre pesati e questo è quindi il punto da cui diverge il flusso dei prodotti (Figura 44).

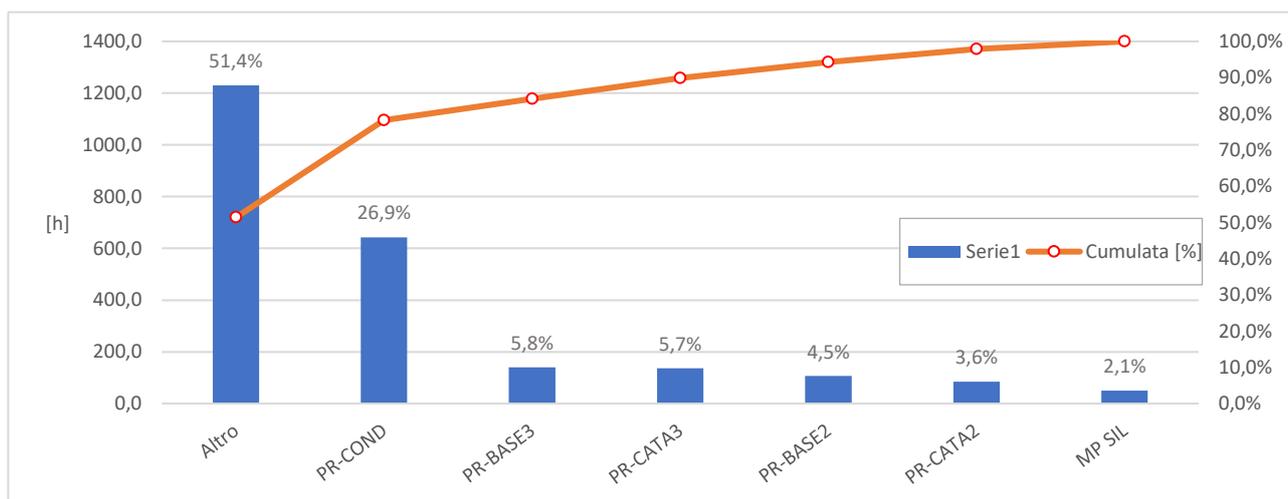


Figura 44 Percentuale di tempo dedicata dalla risorsa bilancia alle famiglie di prodotti che attraversano le presse.

Questo grafico evidenzia che la bilancia lavora per il 27% del suo tempo per i prodotti che verranno processati dalla pressa a condensazione e per il 20% per quelli che sono usati dalle presse ad addizione.

Sulla base di queste osservazioni, si è deciso di concentrare la VSM sui prodotti siliconici che arrivano alle presse a condensazione ed addizione.

Siccome verranno analizzate le dinamiche interne ai due reparti, Siliconi e Confezionamento, verrà studiato il flusso dall'ingresso all'uscita di questi.

Ogni pressa lavora una precisa tipologia di prodotto:

- PR-COND: prodotti siliconici base a condensazione;
- PR-BASE3: prodotti siliconici base ad addizione per grandi quantità (vasche di grandi dimensioni);
- PR-CATA3: prodotti siliconici catalyst ad addizione per grandi quantità (vasche di grandi dimensioni);
- PR-BASE2: prodotti siliconici base ad addizione per piccole quantità (vasche di medie dimensioni);
- PR-CATA2: prodotti siliconici catalyst ad addizione per piccole quantità (vasche di medie dimensioni).

Le vasche che alloggiavano nelle presse possono provenire solo da determinati miscelatori del reparto precedente.

Per vedere come si intrecciano i flussi, sono state esaminate le ore di lavoro spese dai miscelatori per i prodotti delle relative presse (Figura 45) e viceversa (Figura 46).

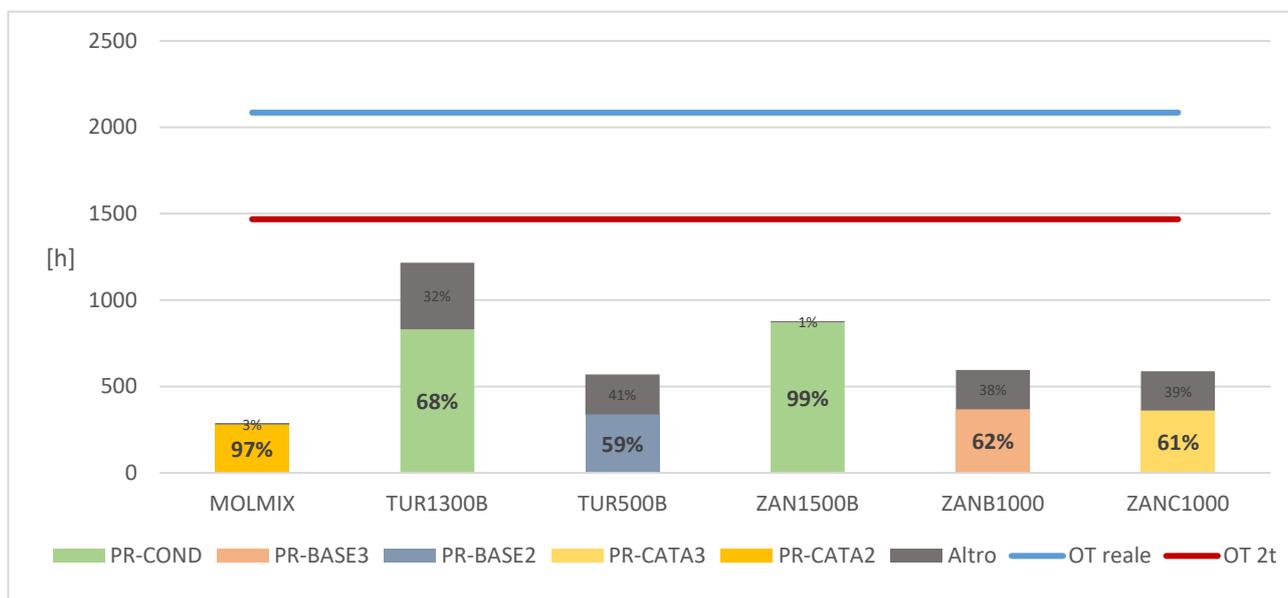


Figura 45 Ore lavorate dal miscelatore per la specifica pressa e relativa percentuale. Con "Altro" si considerano le altre produzioni, fuori dai flussi considerati.

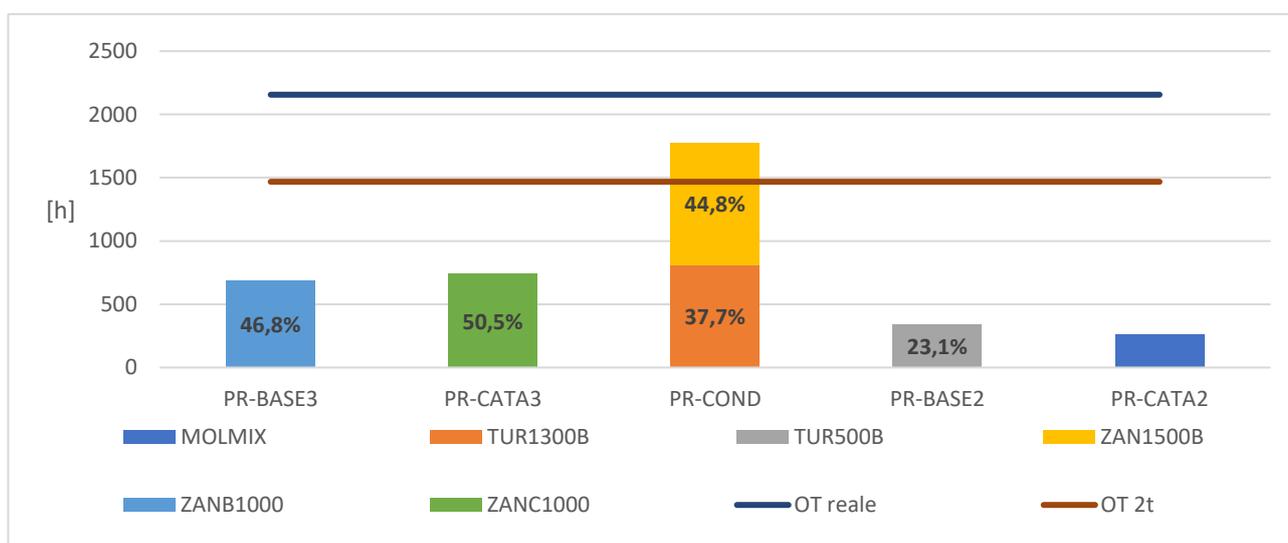


Figura 46 Ore lavorate dalla pressa per una vasca proveniente dallo specifico miscelatore e relativa percentuale.

Risulta quindi evidente come i miscelatori siano dedicati alle presse, ad eccezione di TUR1300B e di ZAN1500B, le quali possono lavorare sulla medesima tipologia di vasca, destinata successivamente alla pressa a condensazione PR-COND. Inoltre, si può notare come vasche o risorse destinate a prodotti Base o Catalyst non vengano mai scambiate, per non creare il fenomeno della "cross contamination".

Diventa quindi fondamentale stimare il numero di vasche, per avere un processo produttivo “in tiro”, ovvero limitando le attese delle risorse causate da una possibile indisponibilità della vasca.

È stata quindi impiegata la formula di Anderson, conseguenza della più famosa legge di Little.

L'intero flusso dei siliconi tra i due reparti è stato considerato come il “Sistema” principale, mentre il gruppo di risorse che effettuano una lavorazione simile come il “sistema” secondario.

Inoltre, è stato aggiunto un coefficiente pari al Working Partion (WPAR), in quanto ogni risorsa macchina spende solo parte del suo tempo per una categoria di prodotti.

$$WIP_{SYS} = \frac{TH_{SYS}}{CT_{proc}} \cdot WIP_{proc} * WPAR_{proc} \quad (12)$$

Prendiamo come esempio il sistema dei miscelatori TUR1300B e ZAN1500B che lavorano per la pressa a condensazione.

Il tempo di attraversamento del sistema principale è 1571 minuti.

Il tempo ciclo del processo è 168 minuti in media con due risorse macchina.

Il Work in process è considerato come il numero di vasche elaborate nel processo, in questo caso una per macchina, quindi 2 vasche.

La WPAR del processo è calcolata come una media di ciascuna risorsa macchina, pari a 82%.

Inserendo i dati nella formula si osserva che per soddisfare il processo sono necessarie 16 vasche che circolano in tutto il sistema.

$$WIP_{SYS} = \frac{1571 \frac{min}{vasca}}{168 \frac{min}{vasca}} \cdot 2 \text{ vasche} * 0,82 = 15,3 \text{ vasche}$$

Allargando questo ragionamento per ciascuna risorsa del flusso dei siliconi a condensazione possiamo costruire la Tabella 3.

Tabella 3 Calcolo del numero di vasche necessario per ogni step produttivo per ridurre le attese.

Processo	Durata [min]	Q.tà risorse	Utilization	wpar	Q.tà vasche
Pesatura	80	2	57%	27%	10,6
wip1	5				
Mixer	168	2	50%	82%	15,3
wip2	7				
CQ	500	1			
WIP3	644				
Conf	167	1	83%	100%	9,4

TH_sys	1571
--------	------

Per verificare se il numero di vasche a disposizione comporta un vincolo all'intero processo, sono state contate tutte le vasche presenti in azienda e divise per tipologia come in.

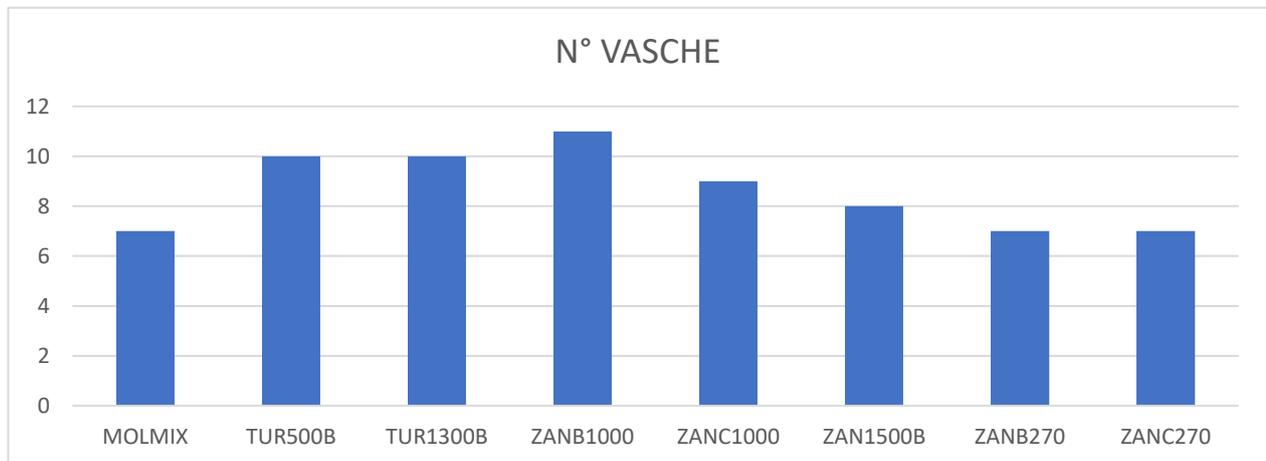


Figura 47 Numero di vasche presenti nei reparti Siliconi e Confezionamento.

Nel caso analizzato, per il flusso lavorato dalla pressa a condensazione, sono disponibili 18 vasche. Pertanto, il numero di vasche non rappresenta un vincolo nell'analisi e anzi evidenzia la presenza di inefficienze nel processo produttivo.

Queste analisi hanno portato alla creazione di due Value Stream Map, una per i siliconi ad addizione ed una per siliconi a condensazione, che rappresentano una fotografia AS IS del flusso dei siliconi.

I tempi riportati sono calcolati rispetto al lotto produttivo e non al singolo pezzo, poiché i prodotti finiti sono molto diversi, con pesi che variano dai 300 grammi ai 25 kilogrammi. Per mantenere un parametro costante e confrontabile per tutti i processi, si è scelto di studiare il flusso delle singole vasche.

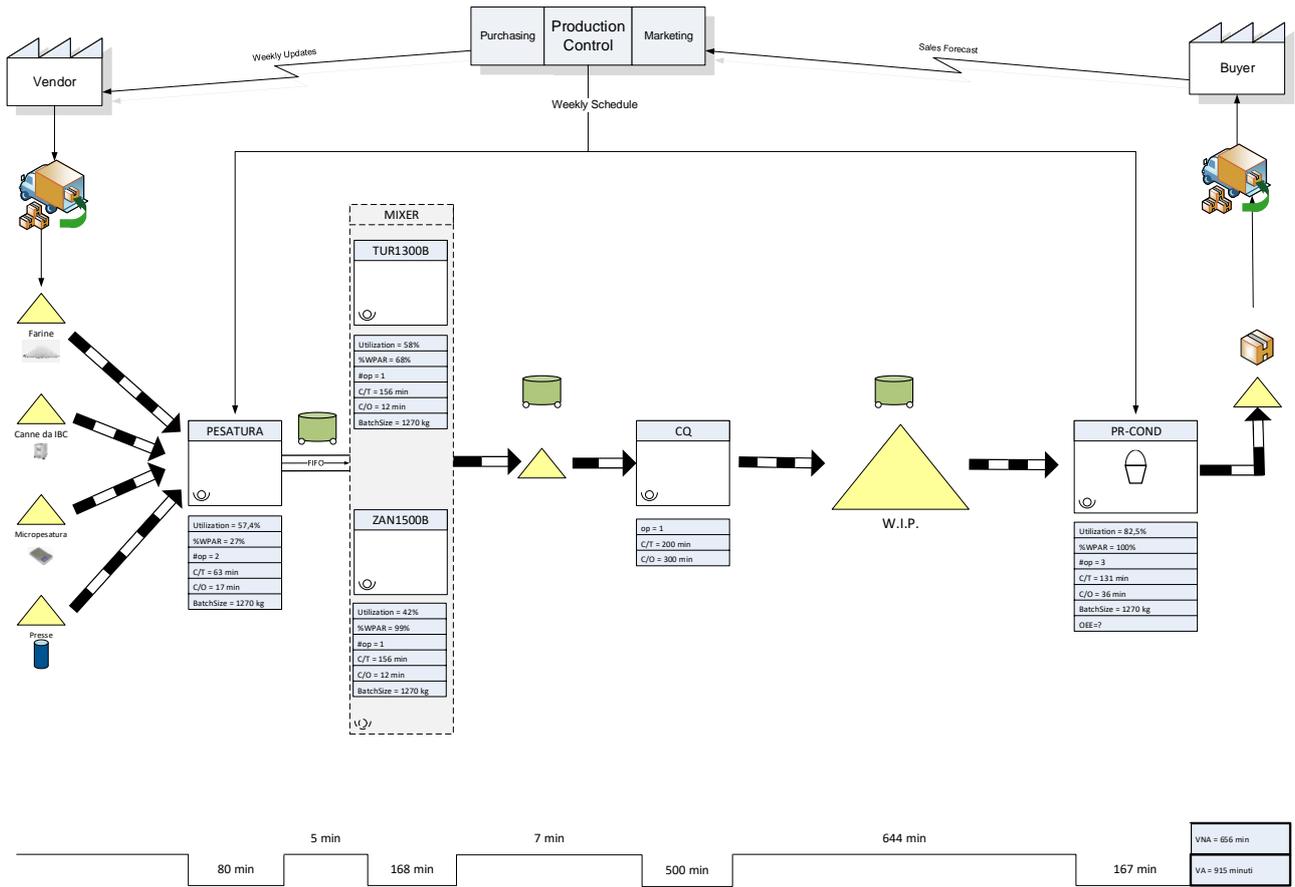


Figura 48 Current State Map silicons a condensazione.

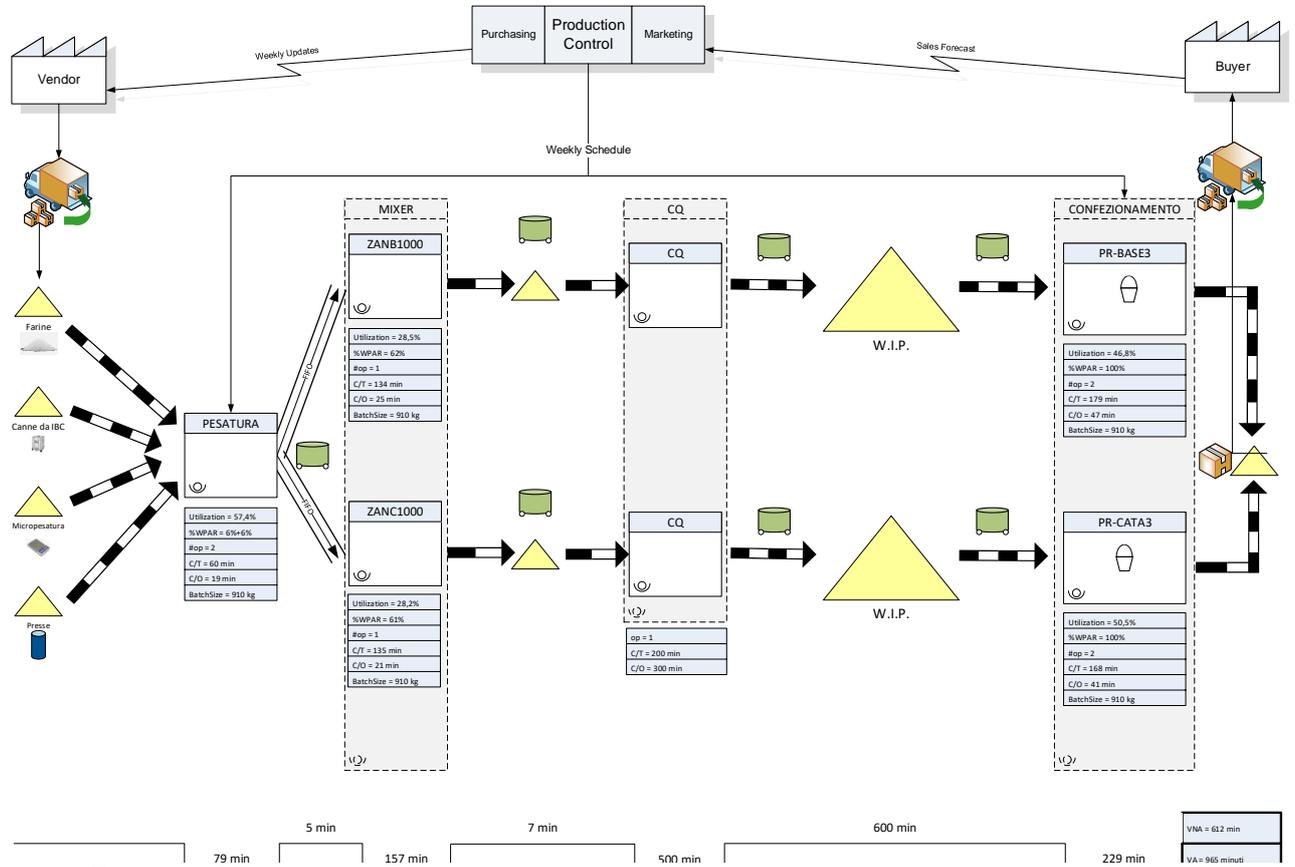


Figura 49 Current State Map silicons ad addizione.

Come si evince dall'analisi effettuata tramite i grafici a barre e la VSM, i problemi principali del sistema produttivo sono:

- L'organizzazione poco snella del reparto siliconi;
- Il terzo turno evitabile per le macchine automatiche TGM 1:1;
- La pressa a condensazione con una linea manuale poco ottimizzata.

La pressa a condensazione è il collo di bottiglia del flusso produttivo dei siliconi a condensazione. Infatti, non riesce a soddisfare il flusso entrante che è doppio rispetto a quello che riesce a processare, a causa del suo tempo ciclo medio di 167 min/vasca, pari a quello di uno solo dei due miscelatori a monte (TUR1300B e ZAN1500B).

Questo provoca la formazione di un WIP medio di circa 644 min/vasca.

Su questa macchina ancora non è attivo nessun progetto di Flash Meeting, di raccolta dati e di analisi OEE.



Il collo di bottiglia del flusso produttivo è rappresentato dall'unico miscelatore Zanelli, in grado di elaborare 6 batch di prodotto al giorno. Le due macchine confezionatrici "ICA" a valle non hanno un utilizzo elevato ma sono poco ottimizzate. Nel caso in cui in futuro l'azienda decida di aumentare la produttività della fase di miscelazione con una nuova macchina, la fase di confezionamento diventerebbe il nuovo collo di bottiglia.

Diventa quindi fondamentale ottimizzare la produttività delle due ICA, su cui è già presente l'attività di Flash Meeting e il calcolo dell'OEE settimanale, argomenti affrontati nel tirocinio curricolare.

Si è quindi pensato di creare un modello per la creazione di un target per l'OEE, raggiungibile nell'arco di un anno, tramite delle azioni di miglioramento.

# FUTURE STATE MAP

A valle delle analisi sopra riportate, per riuscire a risolvere le principali perdite di produttività sono state pensate le seguenti azioni migliorative:

- Siliconi:
  - Introduzione della raccolta dati, dell'analisi OEE ed istituzione dei Flash Meeting alla pressa a condensazione;
  - Bilanciamento della linea di assemblaggio della pressa a condensazione;
  - Introduzione di un target OEE alle linee TGM 1:1
  - Introduzione nel reparto Siliconi della filosofia Lean tramite l'applicazione delle 5S;
  - Introduzione della raccolta dati, dell'analisi OEE ed istituzione dei Flash Meeting alle presse per i siliconi ad addizione;
- Alginati:
  - Introduzione di un target OEE alle linee confezionatrici.

Le Future State Map risultanti hanno uno schema molto simile alle Current State Map. Infatti, si è puntato a ridurre i tempi ciclo delle risorse, migliorando i valori di OEE ed introducendoli dove mancavano.

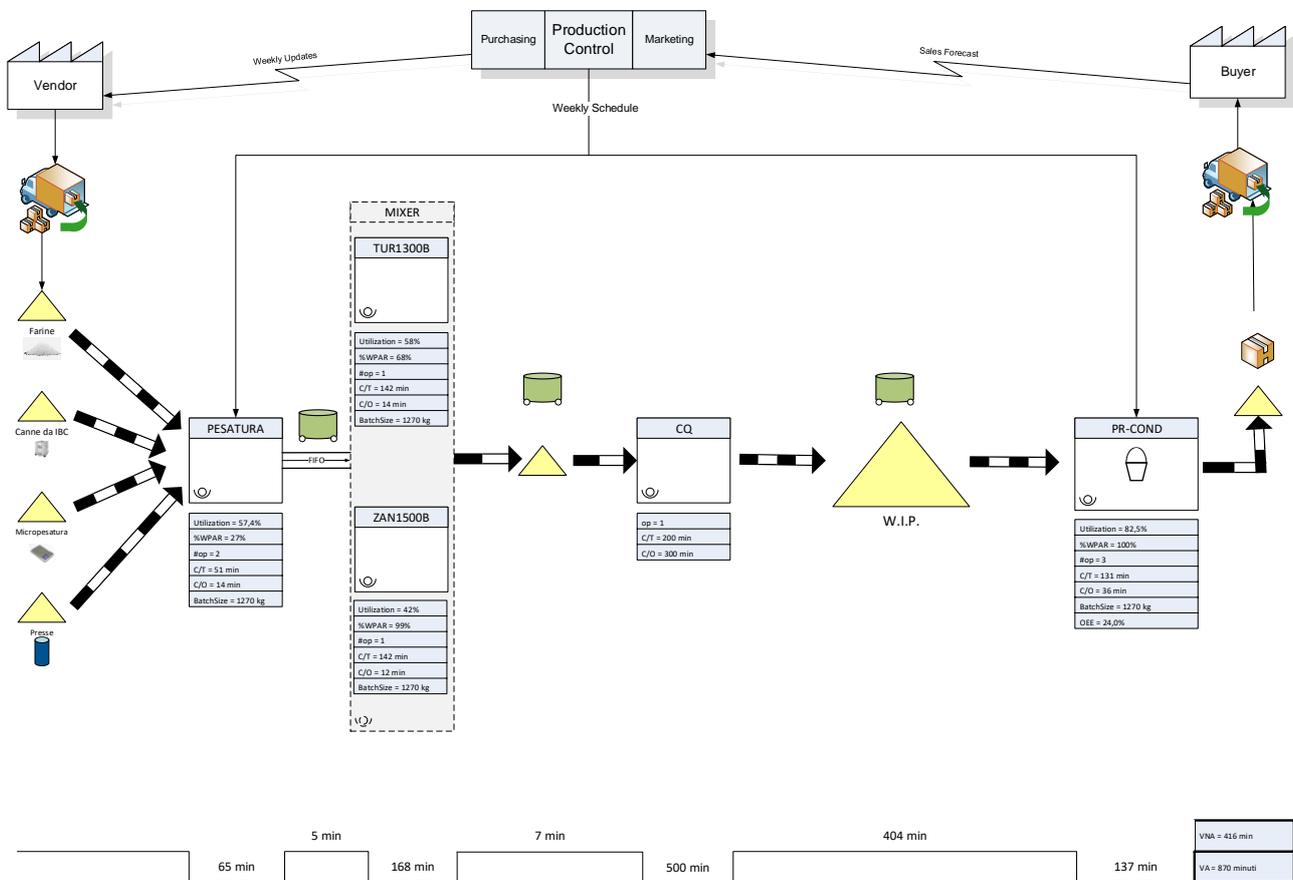


Figura 51 Future State Map siliconi a condensazione

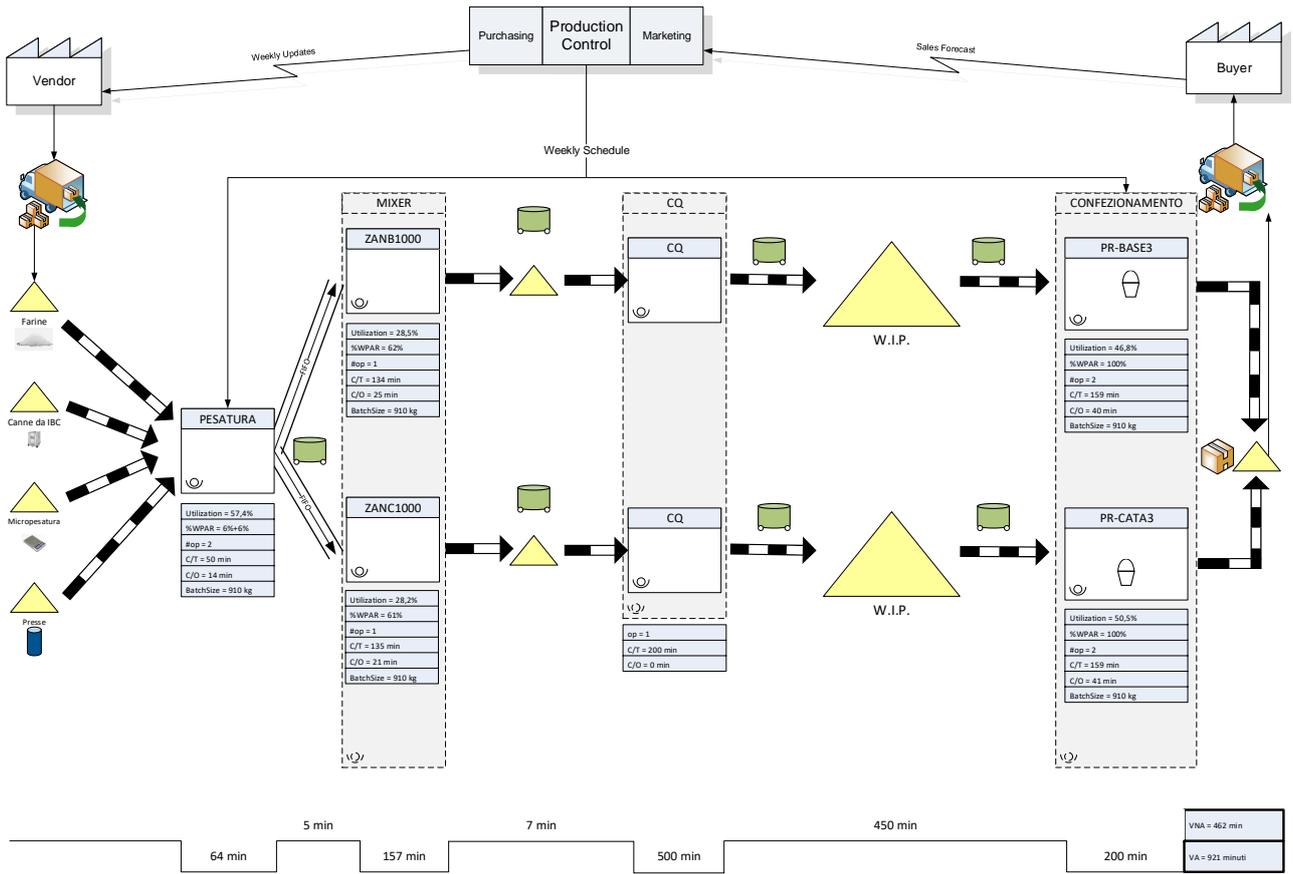


Figura 52 Future State Map dei siliconi ad addizione.

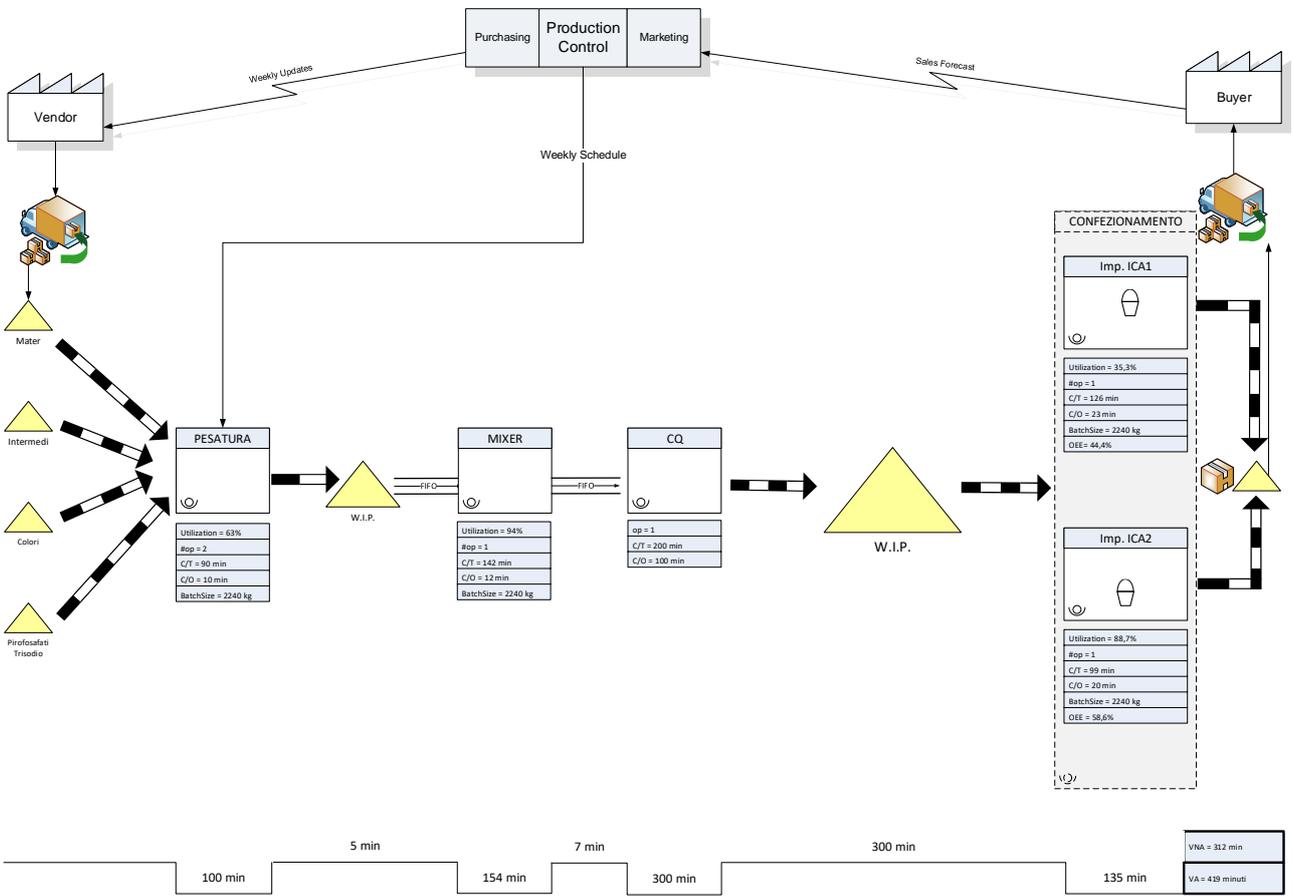


Figura 53 Future State Map degli alginati.

Durante il periodo di tesi all'interno dell'azienda è stato possibile implementare solo alcune di queste azioni, che saranno illustrate nei paragrafi successivi. Purtroppo, non è stato possibile, per mancanza di tempo, implementare la filosofia Lean nel reparto Siliconi e di introdurre i Flash Meeting e l'analisi OEE per le presse ad addizione.

# METODO DI VALUTAZIONE DELLE PERDITE TRAMITE OEE

## OEE IN ZHERMACK

### *Il processo di consuntivazione*

La consuntivazione viene eseguita in due modi.

Il primo è tramite la piattaforma gestionale SAP, che registra i dati di testata dell'ordine e le date di inizio e fine produzione del lotto. Questi dati vengono inseriti solo a fine giornata e riguardano unicamente le informazioni relative all'ordine di produzione.

Il secondo modo è costituito da un lettore di barcode che l'operatore utilizza per registrare le operazioni che sono in essere sulla macchina. Ogni cambio (significativo) di attività, l'operatore scansiona il barcode relativo alla nuova attività e all'ordine di produzione su cui va ad eseguirla. All'ordine di produzione OdP, sono collegati il codice del prodotto, la quantità, il tipo di packaging che contiene il prodotto ed il sistema immette automaticamente informazioni su data e ora. Tramite un database eseguito su Access, si crea un registro dati, che viene poi trasferito su Excel per essere analizzato.

The image shows a software interface for recording machine activities. On the left is a form titled 'PRESSA' with fields for ODP, Codice, Data (29/08/2017), Ora Inizio (12:26:28), Ora Fine, Tipo Attività (with a text input 'Inserire attività corrente'), and Note. A 'Cambio Attività' button is at the bottom. On the right is a table of QR codes categorized into 'TECNICHE' (red header), 'GESTIONALE' (orange header), 'QUALITA'' (yellow header), 'PRODUZIONE' (green header), and 'FUNZIONI' (blue header). A 'PASSWORD' QR code is also shown at the bottom.

TECNICHE		GESTIONALE	
GUASTO MACCHINA PRESSA		MANCANZA OPERATORE	
GUASTO MACCHINA NANNINI		ATTESA BENESTARE CQ	
MANCANZA UTENZE		ATTESA OPERATORE	
MANUTENZIONE PIANIFICATA		MANCANZA INFORMAZIONI	
CAMBIO CONSUMABILE		MANCANZA ORDINI/CARICO	
REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO		PALLETTIZZAZIONE BARATTOLI	
SET-UP		MANCANZA MATERIALE	

QUALITA'	
RILAVORAZIONI	
RILAVORAZIONI E PULIZIA	
SCARTI DI LAVORAZIONE (e Dichiarazione Pezzi buoni)	

PRODUZIONE	
PRODUZIONE	

FUNZIONI	
INSERISCI ATTIVITA'	
ANNULLA CAMPO	

PASSWORD

Figura 54 A sinistra esempio di schermata per la consuntivazione, a destra tabella con i codici per il barcode.

Questo secondo metodo tramite barcode permette di scendere maggiormente nel dettaglio e discretizzare le fonti di perdite significative nel processo. È infatti il metodo che aiuta nell'analisi dell'OEE.

## **La struttura delle perdite**

Le perdite nello stabilimento vengono divise in tre macro-categorie:

- Gestionali: ovvero dovute ad una cattiva organizzazione;
- Tecniche: dovute a problemi della macchina stessa;
- Qualitative: inerenti al prodotto uscente, se difettoso.

I tipi di perdita all'interno di queste possono cambiare in base ai bisogni specifici della singola macchina.

Prendiamo in considerazione la pressa per i siliconi a condensazione, presente nel reparto di confezionamento.

### **PERDITE GESTIONALI**

- **MANCANZA OPERATORE:** Si può usare questa causale solo se l'organico è inferiore allo standard ad es. Per ferie, malattia, infortunio
- **ATTESA BENESTARE CQ:** Qualora si sia fermi a causa di materiale bloccato da CQ
- **ATTESA OPERATORE:** Gli operatori sono presenti nel turno ma non disponibili per lavorare sulla macchina (ad es. pause fisiologiche; spostamenti su altri impianti ecc...)
- **MANCANZA ORDINI:** Quando la linea non ha carico di lavoro/Ordini di processo
- **MANCANZA INFORMAZIONI:** Quando mancano le informazioni necessarie ad eseguire la produzione come work instructions, formula ecc....
- **PALLETTIZZAZIONE BARATTOLI:** Quando è necessario fermare la pressa per confezionare/pallettizzare i barattoli
- **MANCANZA/RICERCA MATERIALE:** Quando mancano i materiali della distinta base e/o quando si eseguono lunghe ricerche di materiale (etichette, semilavorati ecc...) e anche quando bisogna effettuare etichettature extra per finire la lavorazione.

### **PERDITE TECNICHE**

- **GUASTO MACCHINA/ATTREZZATURE:** Guasti elettrici/meccanici/idraulici, attrezzi, impianto idraulico o pneumatico
- **MANCANZA UTENZE:** Quando si verificano dei blackout
- **MANUTENZIONE PIANIFICATA:** Quando la macchina è ferma per manutenzioni che erano state pianificate
- **REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO:** Dopo l'inizio della produzione tutte le attività da eseguire a macchina ferma per l'eventuale messa a punto
- **PULIZIA VASCA:** Alla fine del confezionamento, tutte le attività di pulizia vasca, creazione recupero ed eventuale confezionamento manuale.
- **SET-UP E PULIZIA:** Il tempo che intercorre tra l'ultimo pezzo buono prodotto del lotto corrente al primo pezzo buono del lotto successivo.

## PERDITE QUALITATIVE

- RILAVORAZIONI: Si dichiara questa causale quando si eseguono rilavorazioni (sistemazione siringhe) a macchina ferma.
- RILAVORAZIONI E PULIZIA: Si dichiara quando la macchina è ferma e in contemporanea si eseguono le rilavorazioni e la pulizia
- SCARTI DI LAVORAZIONE: bisogna dichiarare il n° di pezzi scartati

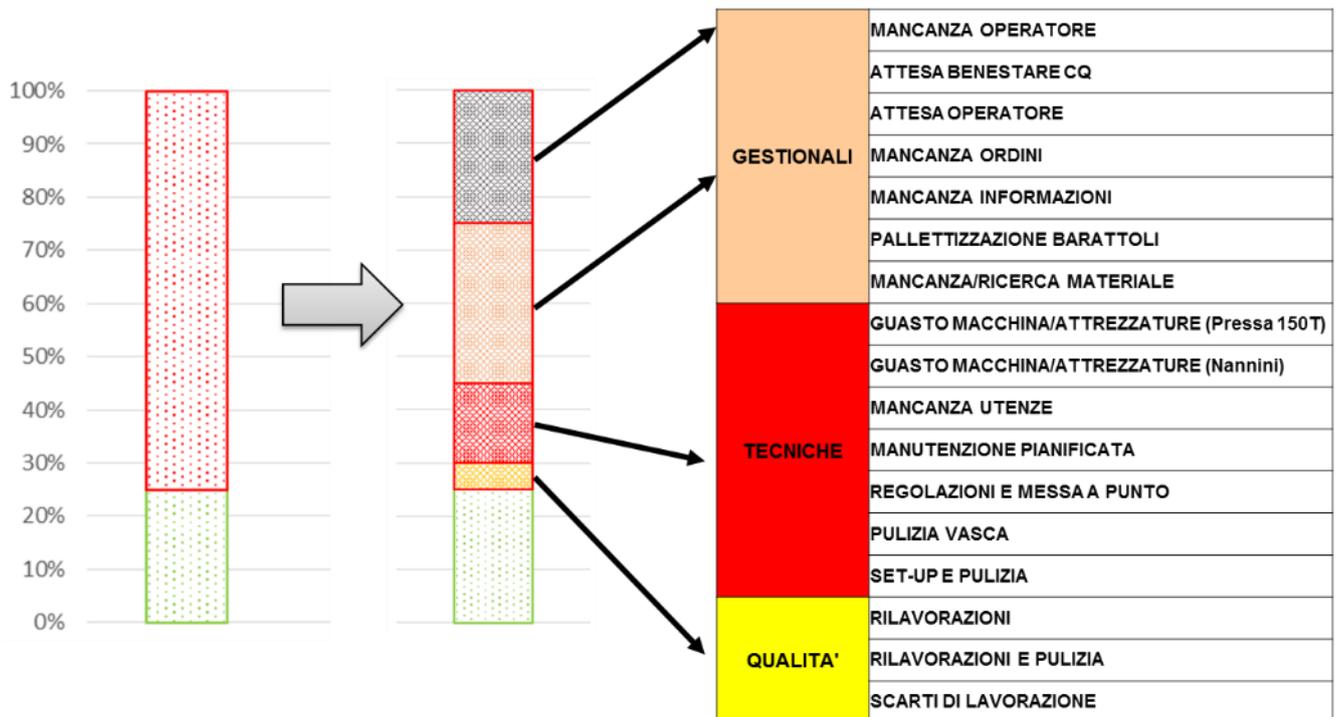


Figura 55 Esempio di struttura delle perdite.

Esistono altri due tipi di perdite che vengono inseriti nel calcolo dell'OEE:

- MICROFERMATE: piccole interruzioni per cause varie ma ripetitive e difficili da tracciare: sarebbe più il tempo imputabile alla consuntivazione, che alla risoluzione del problema;
- DELTA DI VELOCITÀ: quando la macchina non viene fatta funzionare alla velocità teorica di progetto, ma viene tenuto un regime più basso per non incorrere in problemi.
- NON DICHIARATO: questo sistema si basa sulla buona volontà degli operatori a bordo macchina di consuntivare bene ed in inserire traccia di ogni attività rilevante nel sistema, ma non sempre viene fatto.

Le perdite dovute ad una diversa velocità sono necessarie al prevenire eventuali guasti o errori qualitativi che porterebbero via tempo alla produzione per essere risolti. Tuttavia, lavorando ad un regime ridotto, non è possibile scoprire quali siano effettivamente questi problemi che restano ignoti. Ribaltando questo tipo di soluzione, evidenziandola come perdita, si vuole mettere in risalto il tempo dedicato alle risoluzioni di eventuali guasti e problemi di qualità, potrebbe essere inferiore a tutto il tempo guadagnato con una velocità più alta al pezzo nell'arco di un intero anno.

## Metodo di calcolo dell'OEE in Zhermack

L'Opening Time,  $OT$  è il tempo di apertura dichiarato dell'impianto, quindi il tempo in cui la macchina è disponibile per le lavorazioni. In realtà da questo tempo vengono tolti i tempi in cui gli operatori non sono disponibili per attività legate alla formazione.

Le perdite sono vengono riunite in un unico valore che influisce sull'OEE:

$$T_{PERDITE\ tot} = \sum_i \sum_j T_{PERDITA\ ij} \quad (13)$$

dove  $i$  è l'ordine di produzione;  
 $j$  è il tipo di perdita.

Il tempo totale di produzione somma dei tempi di produzione dichiarati per ogni singola produzione:

$$T_{PRODUZIONE\ tot} = \sum_i T_{PROD\ i} \quad (14)$$

Il tempo lavorato a tempo ciclo è quel tempo totale di produzione teorico, senza perdite:

$$T_{T_c\ tot} = \sum_i T_{T_c\ i} = \sum_i (T_{T_c\ i} \times PZ_{BUONI\ i}) \quad (15)$$

Il delta velocità, la differenza tra velocità massima teorica e quella impostata sulla macchina:

$$\Delta T_v\ tot = T_{C\ reale\ tot} - T_{T_c\ tot} = \sum_i ((T_{C\ reale\ i} - T_{T_c\ i}) \times PZ_{BUONI\ i}) \quad (16)$$

Le micro-fermate,  $\mu$ :

$$\mu_{tot} = T_{PRODUZIONE\ tot} - T_{T_c\ tot} - \Delta T_v\ tot$$

Il "non dichiarato" è quindi quel tempo che non appare dalle consuntivazioni al computer. Può essere dovuto al tempo perso per consuntivazione (estremamente basso) o attività mancanti per dimenticanza operatori. In quest'ultimo caso risulta una perdita di dati utili. Questo tempo diventa quindi una stima della bontà della consuntivazione:

$$T_{non\ dich} = OT - T_{PRODUZIONE\ tot} - T_{PERDITE\ tot} \quad (17)$$

L'OEE così calcolato è chiamato  $OEE_{Lean}$ :

$$OEE_{Lean} = \frac{T_{T_c\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i (T_{T_c\ i} \times PZ_{BUONI\ i})}{Opening\ Time} \quad (18)$$

L'  $OEE_{Lean}$  si basa sul tempo totale in cui l'impianto è aperto, valutando anche i momenti in cui la macchina è disponibile ma scarica da ordini di produzione. L'ufficio Operation e quello Lean hanno quindi deciso di basarsi su un indice che consideri esclusivamente l'efficienza della risorsa con l'  $OEE_{Production}$ . Questo KPI ha al numeratore un tempo al netto della mancanza ordini.

$$OEE_{Production} = \frac{\sum_i (T_{ci} \times P_{ZBUONI i})}{Opening Time - T_{Mancanza Ordini}} \quad (19)$$

Il *tempo ciclo* è il tempo tra il completamento di due unità di produzione discrete [18]. In alternativa si può fare riferimento al tempo che intercorre tra l'uscita di due pezzi dal processo, ovvero il tempo in cui l'operatore svolge tutte le attività su di un pezzo, prima di ripeterle sul pezzo successivo.

### **Dall'OEE classico all'OEE in Zhermack**

Nell'azienda Zhermack per il calcolo dell'  $OEE_{Production}$  viene quindi sfruttata la formulazione dell'OEE di Nakajima.

Con dei semplici passaggi si può dimostrare come le due formulazioni siano equivalenti:

$$A = \frac{loading\ time - downtime}{loading\ time} = \frac{operating\ time}{loading\ time} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} A \times P &= \frac{operating\ time}{loading\ time} \times \frac{th.\ cycle\ time \times processed\ amounts}{operating\ time} \\ &= \frac{th.\ cycle\ time \times processed\ amounts}{loading\ time} \end{aligned} \quad (21)$$

$$A \times P \times Q = \frac{th.\ cycle\ time \times \cancel{processed\ amount}}{loading\ time} \times \frac{processed\ amount - defects}{\cancel{processed\ amount}} \quad (22)$$

Sapendo che

$goods = processed\ amount - defects$

$$OEE = A \times P \times Q = \frac{th.\ cycle\ time \times goods}{loading\ time} \quad (23)$$

Si può vedere come il "*loading time*" sia il tempo disponibile alla produzione al netto del tempo di mancanza ordini:  $loading\ time = OT - T_{Mancanza\ Ordini}$

Bisogna inoltre notare come l'equazione così scritta si riferisca alla produzione di un solo prodotto oppure un mix produttivo che può essere elaborato dalla risorsa allo stesso tempo ciclo per tutti i prodotti.

Il tempo totale di produzione lavorato a tempi ciclo diversi per tutti i prodotti, può essere impostato come la somma dei tempi delle singole produzioni al tempo ciclo proprio, che si può esprimere come:

$$T_{Tc\ tot} = \sum_i T_{Tc\ i} = \sum_i (T_{c\ i} \times P_{ZBUONI\ i}) \quad (24)$$

ovvero il numeratore del modello di Nakajima.

Si dimostra così che numeratore e denominatore del KPI sono gli stessi e quindi le due formulazioni portano allo stesso risultato.

Lo stesso si può vedere per l'  $OEE_{Lean}$  e l'OEE proposto dal SEMI (2000) siano equivalenti.

La formulazione sfruttata in Zhermack è sicuramente di più semplice approccio, in quanto si basa su quattro tipologie di termini ("n" è il numero di mix produttivi):

- Opening Time
- Tempo di mancanza ordini
- Tempo ciclo singolo prodotto  $\times n$
- Prodotti buoni di tutti gli ordini di quel prodotto  $\times n$

Mentre l'espressione classica conta almeno sei differenti parametri da recuperare.

# METODO PER L'INDIVIDUAZIONE DI UN TARGET PER L'OEE

Durante l'attività di tesi è stato richiesto un metodo da applicare per determinare il target dell'OEE nell'anno a venire.

Il motivo per cui si cercava un valore preciso era quantificare l'obiettivo, dandone anche un valore visivo tramite i grafici mostrati, in modo da facilitare la lettura del gap mancante.

Lo sviluppo di questo metodo ha portato a quantificare gli sforzi fatti per raggiungere tale target, traducendosi nell'obiettivo di diminuire le perdite studiate, tramite azioni di miglioramento, che avrebbero portato ore a vantaggio della produzione.

Ma come decidere dove concentrare gli sforzi?

Il nuovo OEE sarebbe stato corretto a livello teorico?

Verrà ora spiegato prima il metodo usato e in seguito un caso di applicazione.

## SCelta E ANALISI DEI DATI DEL PERIODO

Il metodo di consuntivazione per il calcolo dell'OEE settimanale era stato avviato da almeno un anno sulle macchine interessate. Questo ha permesso di avere a disposizione un buon numero di dati che costituissero le serie storiche da osservare. Inizialmente il metodo era soggetto ad incomprensioni o dimenticanze degli operatori a bordo linea, che ancora non erano completamente abituati al nuovo sistema. Ciò portava a sbagli di consuntivazioni o ad alimentare il tempo "non dichiarato". È stato quindi deciso di analizzare un periodo degli ultimi sei mesi, da inizio luglio 2017 a fine dicembre 2017, una finestra temporale di ventisei settimane, dove gli errori di consuntivazione erano stati decisamente ridotti.

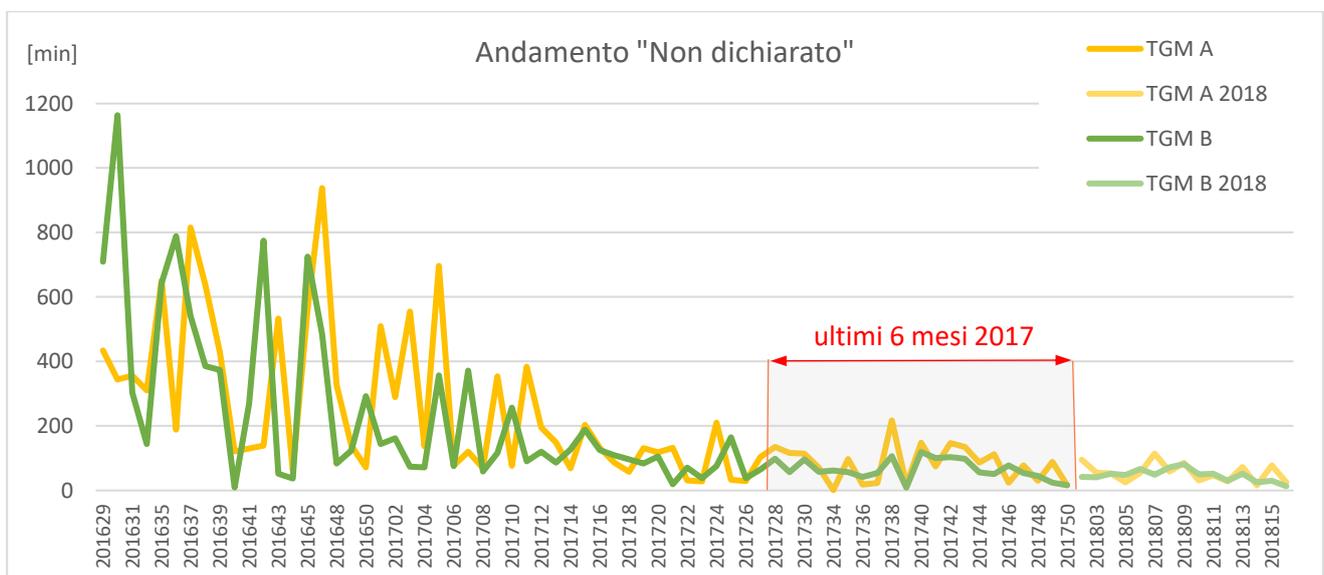


Figura 56 Andamento del "Non dichiarato".

MONTH	7	7	7	7	8	8	9
WEEK	201727	201728	201729	201730	201731	201735	201736
Minuti apertura	4680	4680	4680	4740	2760	5520	5520
PRODUZIONE	3105	3088	2560	2342	1318	3340	3606
GUASTO MACCHINA ROBOT	0	10	200	0	65	0	0
GUASTO MACCHINA ICA	0	0	38	651	0	210	0
MANCANZA UTENZE	0	72	0	0	0	0	0
MANUTENZIONE PIANIFICATA	99	0	29	0	0	0	0
CAMBIO CONSUMABILE	153	126	59	228	29	133	177
AVVIAMENTO O SPEGNIMENTO MACCHINA	92	10	51	86	50	36	43
REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO	68	87	109	61	34	59	127
SET-UP	726	512	582	574	325	898	771
MANCANZA OPERATORE	0	0	0	0	0	0	0
ATTESA BENESTARE CQ	48	0	69	156	0	398	0
ATTESA OPERATORE	0	154	94	26	22	30	32
MANCANZA ORDINI/CARICO	781	86	624	87	48	20	205
MANCANZA MATERIALE	204	360	86	390	895	195	208
RILAVORAZIONI	0	0	0	0	0	0	0
SCARTI DI LAVORAZIONE	116	88	97	72	46	124	86
Tempo lavorato a T. ciclo	2049	2094	1825	1715	991	2551	3058
Delta velocità	376	371	425	351	176	458	459
Microfermate	681	623	311	275	151	332	90
Non Dichiarato	65	88	81	69	72	79	64
ATTESE TECNICHE	1139	817	1069	1600	503	1335	1119
ATTESE GESTIONALI	1034	600	873	658	965	643	445
ATTESE DI QUALITA'	116	88	97	72	46	124	86

OEE - Lean	44%	45%	39%	36%	36%	46%	55%
OEE - Production	53%	46%	45%	37%	37%	46%	58%

Figura 57 Esempio di tabella per il recupero l'analisi dei dati dell'OEE.

L'intervallo dei dati elaborati era quindi già suddiviso in periodi dell'ordine della settimana, a loro volta scomposti nelle causali di perdita più rappresentative. I dati sono espressi in "minuti", poi convertiti in "ore" per una più facile lettura. (Figura 57)

Tutte le ore perse sono state poi sommate e ordinate in un grafico a barre, che ne mostrasse anche la cumulata.

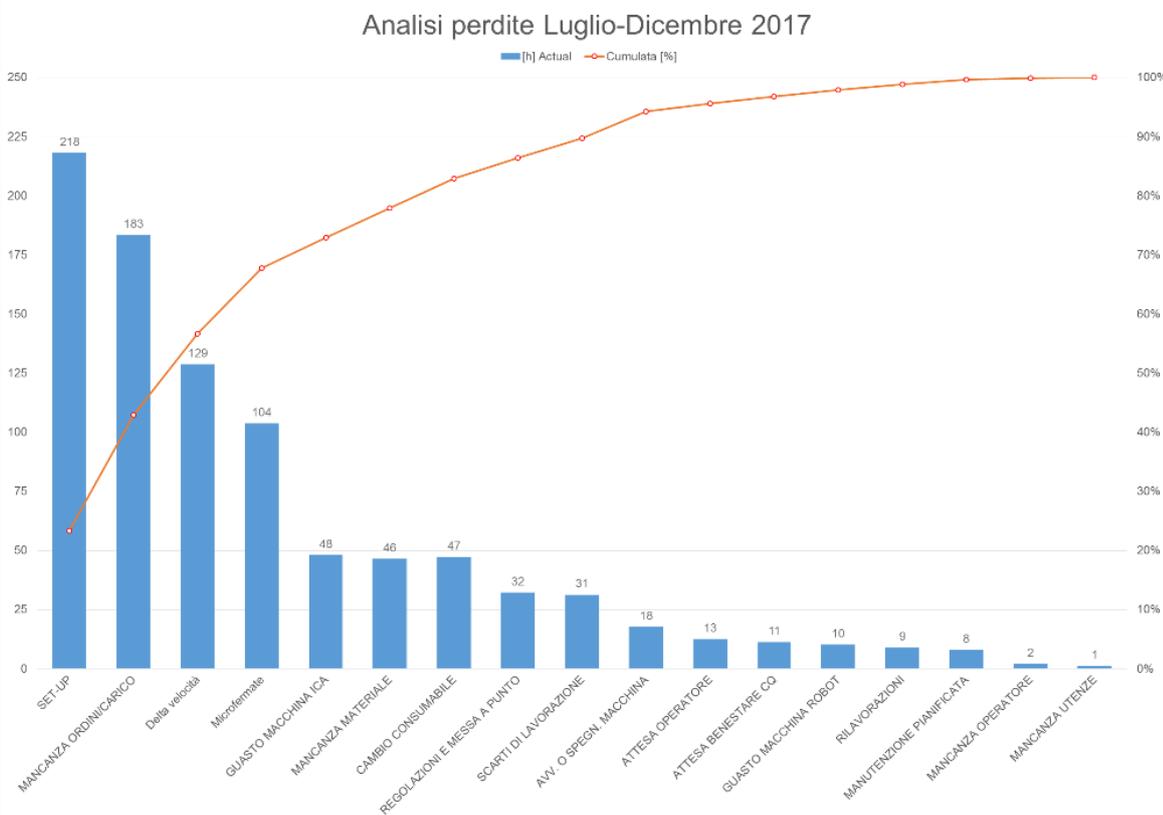


Figura 58 Esempio di grafico per la discretizzazione delle perdite per il target dell'OEE.

## DECISIONE AZIONI MIGLIORAMENTO

In un secondo momento è stata organizzata una riunione per analizzare i dati rilevati. È stata richiesta la partecipazione di:

- Lean Manager, per spiegare come impostare il lavoro e la sua importanza;
- Caporeparto e un operatore con una forte conoscenza del processo, per riuscire a capire meglio le dinamiche del reparto;
- Production Planning Manager, per riuscire a migliorare la pianificazione degli ordini di produzione;
- Production Manager, per avere un over view anche su tutte le altre realtà al di fuori del reparto stesso;
- Maintenance Manager, per studiare fin da subito la fattibilità di eventuali migliorie.

L'obiettivo di questo incontro è quello di analizzare le perdite e proporre delle possibili azioni di miglioramento che possano aumentare le ore disponibili alla produzione. Bisogna affrontare ogni fonte di spreco, non solo quelle più ampie. Le cause minori possono nascondere le migliorie più facili da realizzare.

Definite le azioni di miglioramento, devono essere quantificate e deve essere deciso un responsabile. Questo passo è fondamentale per poter garantire la definizione di un target da raggiungere nel futuro ed una persona chiave che possa lavorare, nel suo interesse, al raggiungimento dello stesso. Altrettanto importante il fatto che le azioni sia condivisi da tutti gli attori dell'incontro e che vengano informati le altre persone interessate. Solo in questo modo si può instaurare una cooperazione per il raggiungimento di obiettivi comuni.

L'output di questo processo saranno le azioni di miglioramento quantificate e la scelta di un responsabile.

## CORREZIONE OEE PER DEFINIZIONE TARGET

Lo step successivo ha richiesto la definizione di un metodo matematico per la definizione di un target numerico.

Per la creazione di questo è stato riscontrato un problema. Se viene considerato la formulazione di OEE usata nell'azienda:

$$OEE_{Lean} = \frac{T_{Tc\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i(T_{c\ i} \times Pz_{BUONI\ i})}{Opening\ Time} \quad (25)$$

si potrebbe pensare che le ore di recupero ipotizzate,  $h_r$ , siano da considerare tempo di produzione lavorato a tempo ciclo:

$$OEE_{Lean} = \frac{T_{Tc\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i(T_{c\ i} \times Pz_{BUONI\ i}) + h_r}{Opening\ Time} \quad (26)$$

Questo ragionamento è concettualmente sbagliato, in quanto le ore che verrebbero recuperate sono comunque composte da un tempo effettivamente lavorato a tempo ciclo e da un altro tempo per le perdite non ancora estinte. Alla componente  $h_r$  non si può comunque applicare lo stesso OEE del periodo precedente in quanto non porterebbe alla costituzione di nessun target: (27)

$$\text{🚫} \quad OEE_{Lean} = \frac{T_{Tc\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i(T_{c\ i} \times Pz_{BUONI\ i}) + h_r \times OEE}{Opening\ Time} \quad (27)$$

Si è quindi pensato un metodo iterativo, che partendo dall'OEE medio del periodo analizzato in precedenza e l'OEE di (27).

$$OEE_{-1} = \frac{T_{Tc\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i(T_{c\ i} \times Pz_{BUONI\ i})}{Opening\ Time}$$

$$OEE_0 = \frac{T_{Tc\ tot}}{OT} = \frac{\sum_i(T_{c\ i} \times Pz_{BUONI\ i}) + h_r}{Opening\ Time}$$

$$OEE_1 = OEE_0 + (OEE_{-1} + OEE_0) \frac{(OEE_{-1} + OEE_0)}{2}$$

$$OEE_2 = OEE_1 + (OEE_0 + OEE_1) \frac{(OEE_0 + OEE_1)}{2}$$

⋮

$$OEE_i = OEE_{i-1} + (OEE_{i-2} + OEE_{i-1}) \frac{(OEE_{i-2} + OEE_{i-1})}{2} \quad (28)$$

Il primo valore dell'equazione è l' $OEE_{i-1}$  calcolato nell'iterazione precedente, che crea la base per i successivi passaggi. Il secondo valore è composto da quei termini che creano una variazione e al tempo stesso fanno convergere le iterazioni su di un valore finale.

Semplificando la formulazione generalizzata si può ottenere:

$$OEE_i = OEE_{i-1} + \frac{(OEE_{i-2}^2 - OEE_{i-1}^2)}{2} \quad (29)$$

Data la bassa complessità del calcolo eseguito tramite Excel, si è deciso di utilizzare 30 iterazioni, che servono per avere la sicurezza di un termine che tenda all'intorno del limite finito.

## CONDIVISIONE TARGET E AGGIORNAMENTI SUCCESSIVI

In ultimo è stato condiviso il valore trovato, con le persone presenti alla riunione precedente, ricapitolando le azioni decise e discutendo le prime problematiche incontrate. È quindi stato fissato un target anche nei grafici presentati nel flash meeting.

È stato scelto di mostrare due linee target. La prima rappresenta il primo obiettivo da raggiungere, calcolata come la media tra il target e l'OEE dello storico analizzato, mentre il secondo target è l'OEE calcolato con il metodo iterativo:

$$OEE_{1^\circ target} = \frac{OEE_{storico} + OEE_{2^\circ target}}{2} \quad (30)$$

$$OEE_{2^\circ target} = OEE_{30^\circ iterazione}$$

Un altro metodo sarebbe potuto essere quello di creare un grafico Gantt delle azioni di miglioramento con le relative *milestones*, calcolando il target OEE da raggiungere per ogni breve periodo:

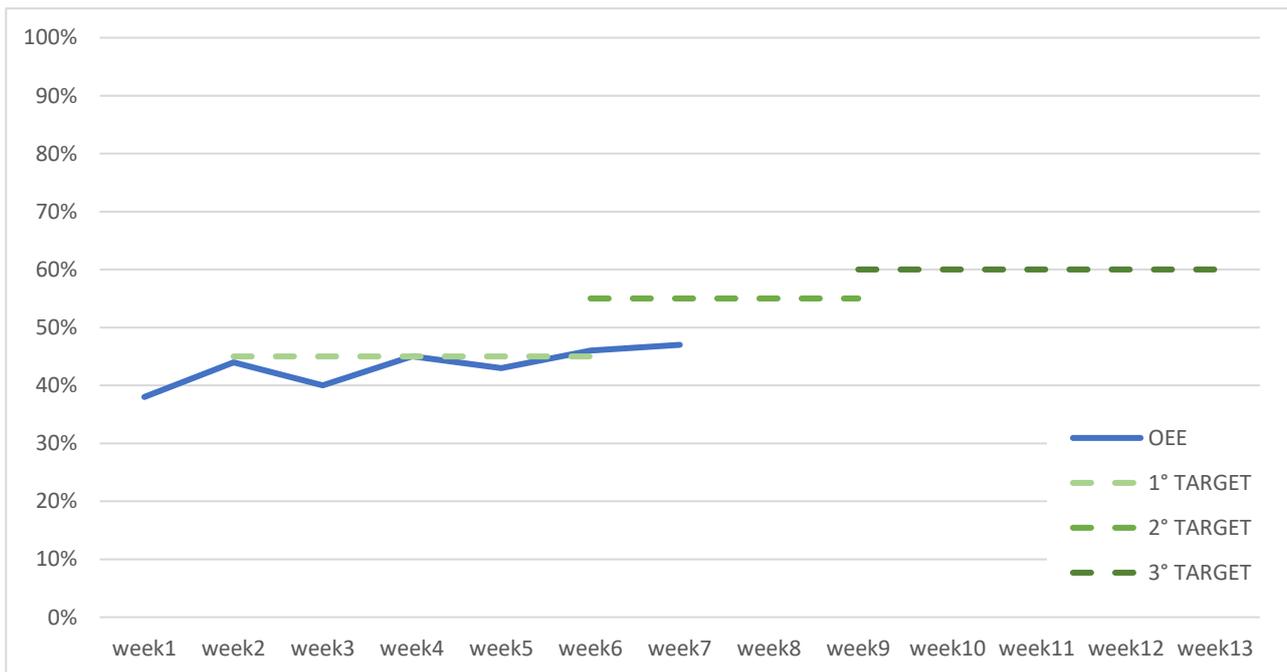


Figura 59 Esempio di target con aggiornamenti successivi.

Infine, vengono fissati degli appuntamenti ogni due mesi tra le persone che hanno deciso le azioni, per vedere l'avanzamento delle stesse.

## APPLICAZIONE TARGET AL REPARTO ALGINATI

In questo reparto la rilevazione dei dati OEE è partita da gennaio 2017. Lo scopo era quello di valutare l'efficienza di due linee parallele, ciascuna composta da una macchina automatica ICA ed un robot pallettizzatore.

Si è deciso di analizzare il periodo da inizio luglio 2017 a fine dicembre 2017. Ad agosto l'azienda ha chiuso per tre settimane per ferie estive (week 32, 33 e 34).

Leggendo i dati OEE, si nota come su ICA2 la media sia del 50,4% con una deviazione standard del 6,6%. Le oscillazioni attorno al valore medio sono quindi contenute e non ci sono stati miglioramenti ma solo un mantenimento della situazione. Con questo metodo si vuole creare un trend crescente, dovuto ad azioni di miglioramento.

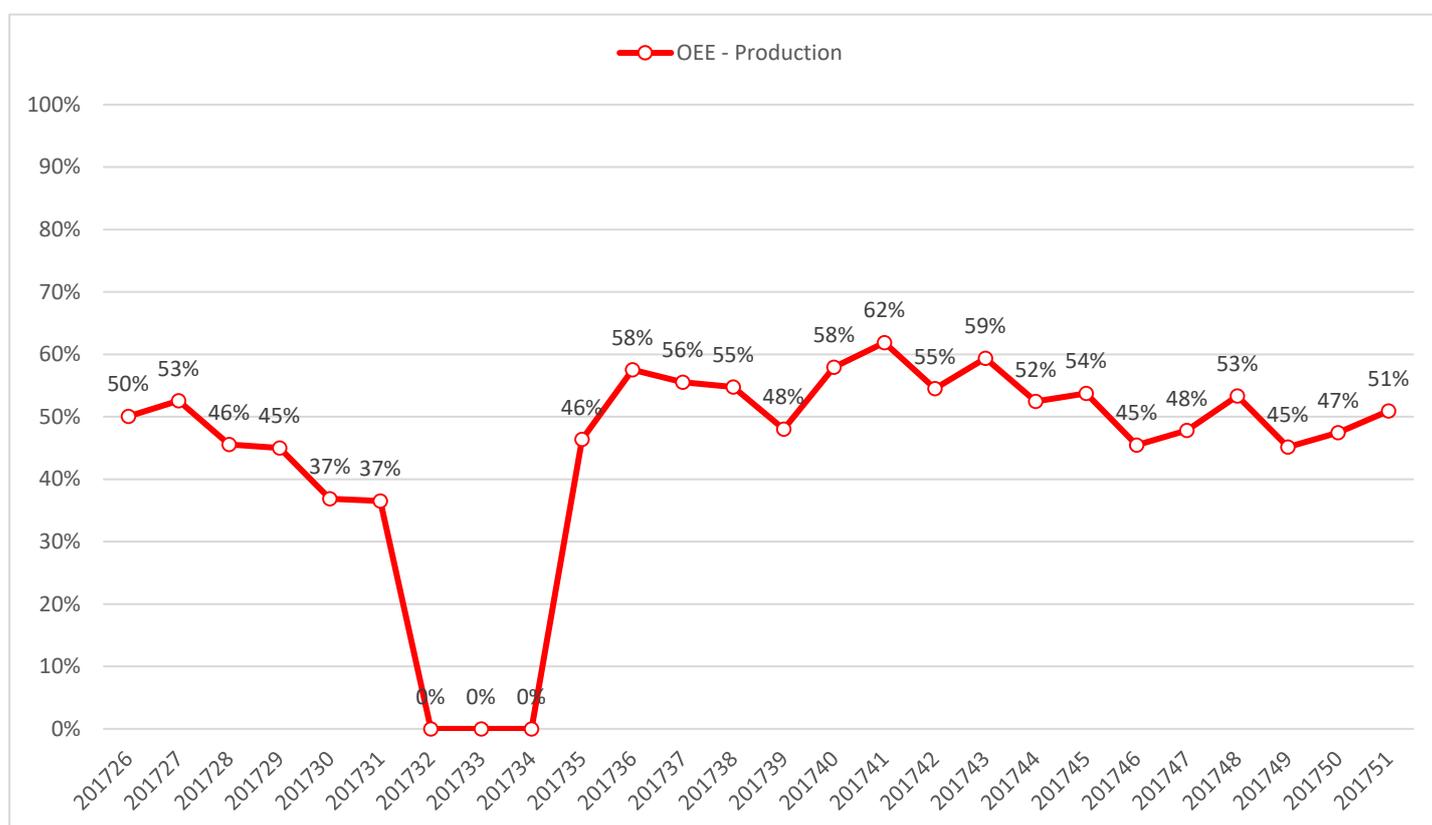


Figura 60 Andamento OEE per la macchina automatica ICA2.

Si è calcolato che ogni punto percentuale di OEE equivale a 1867 buste buone prodotte ogni settimana, sfruttando la velocità massima di 42 pz/min.

Riuscire ad aumentare la media di 2,4% equivale ad aumentare la produzione di almeno un lotto di dimensioni medie da 4480 buste.

Leggendo il grafico a barre, si possono distinguere sei famiglie di perdita:

- **Qualità:** questo campo è molto ridotto, in quanto le voci che compaiono durante il processo di consuntivazione sono "Rilavorazioni" e "Scarti di lavorazione". Quest'ultima rappresenta maggiormente il tempo di

consuntivazione in cui l'operatore dichiara i pezzi prodotti e quelli scartati; in questa categoria di perdite non si hanno spesso grosse rilavorazioni che richiedono il fermo della macchina o che rallentano considerevolmente la produzione.

- *Gestionali*: qui si concentrano tutte le mancanze delle risorse, dall'operatore al materiale di linea e così come la mancanza degli ordini di produzione. In questo caso proprio la "Mancanza ordini" è una causa da considerare vista la struttura di calcolo dell'OEE.
- *Tecniche*: dentro queste attese si concentrano le cause dovute alla manutenzione e alla preparazione delle macchine. Sono le più elevate e le più facili da analizzare in quanto coinvolgono solo il reparto ed i manutentori, senza altri attori. Spesso sono dovute ad una scarsa organizzazione del posto di lavoro e l'assenza di un metodo da applicare.
- *Delta velocità e microfermate*: queste cause di perdita sono tempi nascosti nel tempo totale di produzione. Solo capendo il tempo ciclo della macchina e mappando tutti i frequenti ma brevi fermi possono essere notate.

Tabella 4 Causali dei fattori di perdita e categorie.

<b>GESTIONALI</b>	<b>MANCANZA OPERATORE</b>	Si può usare questa causale solo se l'organico è inferiore allo standard ad es. Per ferie, malattia, infortunio
	<b>ATTESA BENESTARE CQ</b>	Qualora si sia fermi a causa di materiale bloccato da CQ
	<b>ATTESA OPERATORE</b>	Gli operatori sono presenti nel turno ma non disponibili per lavorare sulla macchina (ad es. pause fisiologiche; spostamenti su altri impianti ecc...)
	<b>MANCANZA ORDINI/CARICO</b>	Quando la linea non ha carico di lavoro/ Ordini di processo
	<b>MANCANZA MATERIALE</b>	Quando mancano i materiali della distinta base e/o materiali di supporto (bobine, misurini, nylon, cartoni ecc.)
<b>TECNICHE</b>	<b>GUASTO MACCHINA ROBOT</b>	Guasti elettrici/meccanici/idraulici, attrezzi nella zona ROBOT
	<b>GUASTO MACCHINA ICA</b>	Guasti elettrici/meccanici/idraulici, attrezzi della confezionatrice ICA
	<b>MANCANZA UTENZE</b>	La macchina è ferma per mancanze utenze (non c'è corrente, macchina spenta per sbalzi tensione, mancanza aria compressa etc...)
	<b>MANUTENZIONE PIANIFICATA</b>	La macchina è ferma per manutenzione ordinaria pianificata (es. sostituzione gommini)
	<b>CAMBIO CONSUMABILE</b>	Tutte le attività che comportano il cambio di un consumabile
	<b>AVVIAMENTO/SPEGNIMENTO MACCHINA</b>	La macchina non produce pezzi per attività di avviamento impianto (es. riscaldare resistenze per colla, scarico/aspirazione, svuotamento linea a fine turno)
	<b>REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO</b>	Dopo il set-up, fatti i primi pezzi buoni, la macchina è ferma per settaggi o pulizie o regolazioni ulteriori
	<b>SET-UP</b>	Il tempo che intercorre tra l'ultimo pezzo buono prodotto del lotto corrente al primo pezzo buono del lotto successivo.
<b>QUALITA'</b>	<b>RILAVORAZIONI</b>	Campo calcolato dal software partendo dal numero di buste non conformi che vengono rilavorate. Devono essere dichiarate le buste scartate
	<b>SCARTI DI LAVORAZIONE</b>	Campo calcolato dal software partendo dal numero di buste non conformi scartate. Bisogna dichiarare il n° di buste non conformi gettate

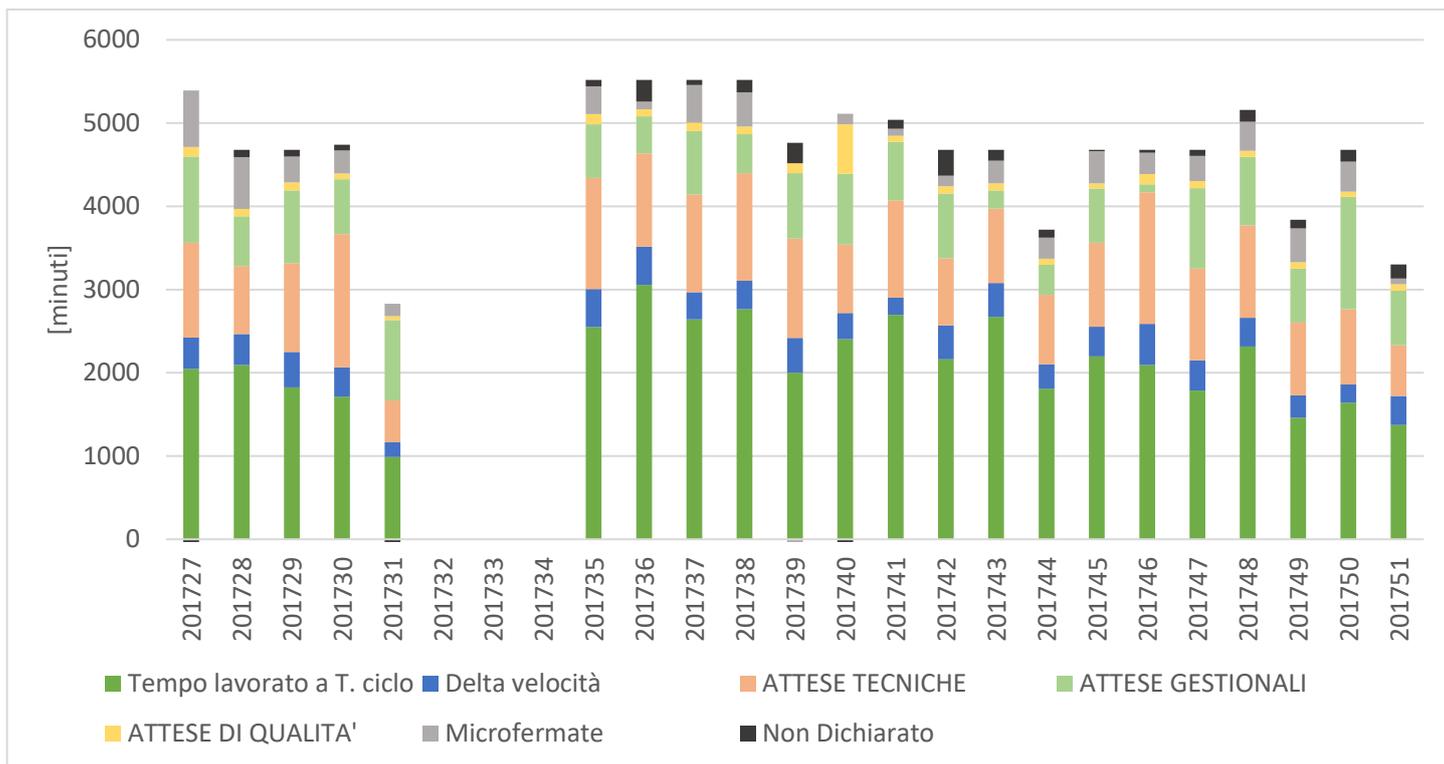


Figura 61 Suddivisione dei tempi di produzione per ICA 2.

Discretizzando maggiormente il contenuto di ciascuna categoria e osservandole raggruppate e ordinate dalla maggiore alla minore, per quantitativo di ore, si può cominciare ad analizzare selettivamente ciascuna causale.

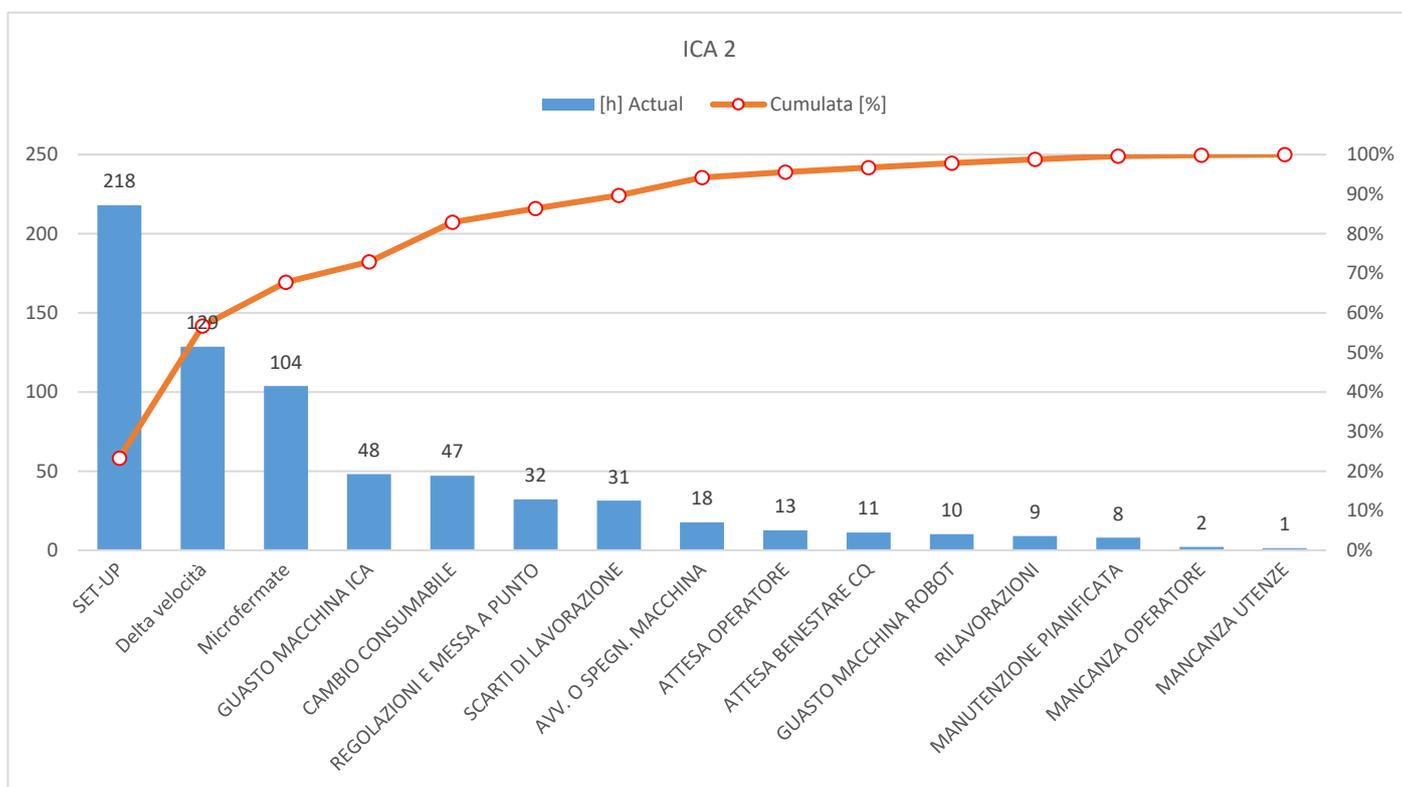


Figura 62 Suddivisione delle perdite e cumulata per ICA2.

Durante una riunione con caporeparto, un operatore, i responsabili di manutenzione, pianificazione, produzione e Lean sono state decise delle azioni che fossero fattibili e condivise da tutti, associando un quantitativo di ore da recuperare attese e un responsabile che ne curasse lo svolgimento.

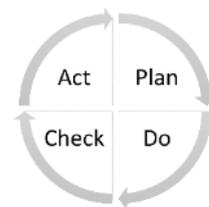


Figura 63 Simbolo PDCA.

Tabella 5 Perdite recuperabili e relative soluzioni per ICA2 su un intervallo di 6 mesi.

Causa di fermo	Soluzione/TASK	Ore perdite 6mesi [h]	Calcolo nuove perdite [h]	Recupero [h]	Responsabile
<b>SET-UP</b>	SMED - Analisi tempi e metodi setup - Cruscotto per discretizzare i setup e monitorarli	219,4	173,3	<b>46,1</b>	Ceruti
<b>DELTA VELOCITÀ</b>	-verificare se la velocità impostata da macchina è coerente con quella reale -analizzare i dati per verificare se per uno stesso codice su una macchina vengono usate cadenze differenti - Creare una tabella con tutti i codici (o almeno i più prodotti) per cercare di uniformare sempre la velocità su quel prodotto - da tale velocità provare ad alzarla e poi analizzare i problemi che insorgono;	129,9	97,4	<b>32,5</b>	Ceruti Dainese Andresani
<b>MICRO FERMATE</b>	- Risolvere il problema dei cartoni - Inceppamento matrici - misurini	106,3	42,5	<b>63,8</b>	Dainese
<b>GUASTO MACCHINA ICA</b>	- discutere con Manutenzione se è possibile aumentare la frequenza di manutenzioni pianificate (quali, cosa nel dettaglio viene fatto)	48,1	45,7	<b>2,4</b>	Dainese
<b>CAMBIO CONSUMABILE</b>	-Carrello sposta bobine  Non porta riduzioni di tempo	47,4	47,4	-	Prando
<b>REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO</b>	- metodo di lavoro per il Setup	32,9	29,6	<b>3,3</b>	Galletti Lanza
<b>AVVIAMENTO O SPEGNIMENTO MACCHINA</b>	-ridefinire procedura di dichiarazione avviamento /spegnimento e procedura di reparto per eliminazione causale (15 minuti prima/offset turno)	16,4	-	<b>16,4</b>	Rinaldi

Tramite queste azioni risultano 173 ore recuperate rispetto alle 935 ore totale perse, vale a dire un recupero del 18,5% delle perdite totali. Sono stati poi calcolati i due target da raggiungere rispetto questi possibili recuperi. Il primo target è la media tra l'OEE medio del 2017 ed il secondo target OEE, ovvero quello calcolato tramite il metodo implementato. Il recupero atteso della percentuale di OEE è dell'8,2% rispetto al semestre precedente. Rendendo visibili questi obiettivi in reparto, si cerca anche di attirare l'attenzione degli operatori su dei precisi focus.



Figura 64 OEE medio, OEE Target in 2 step per ICA2.

Poiché la seconda linea ICA1 è molto simile a quella appena spiegata, l'analisi è stata condotta in maniera uguale e porta alle stesse proposte di azioni di miglioramento.

Per questa linea l'OEE medio nell'ultimo semestre del 2017 è di 30,54% con una deviazione standard del 9,18%.

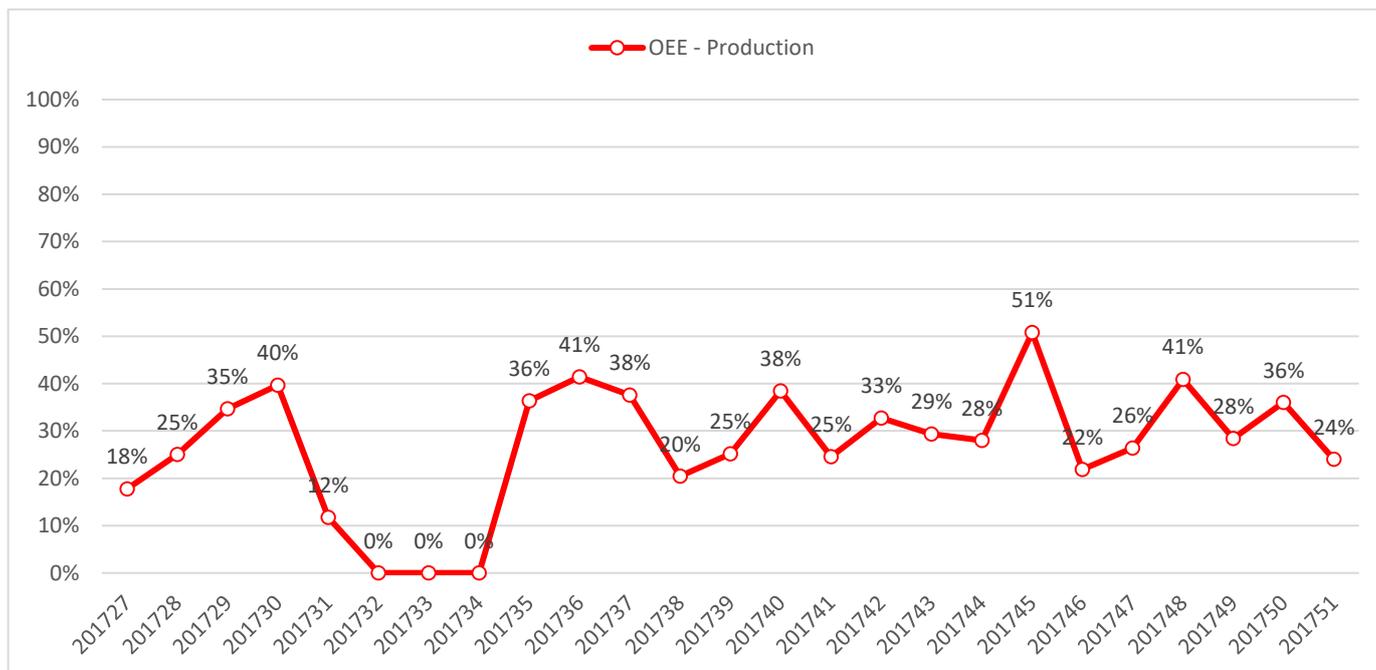


Figura 65 Andamento OEE per la macchina automatica ICA1.

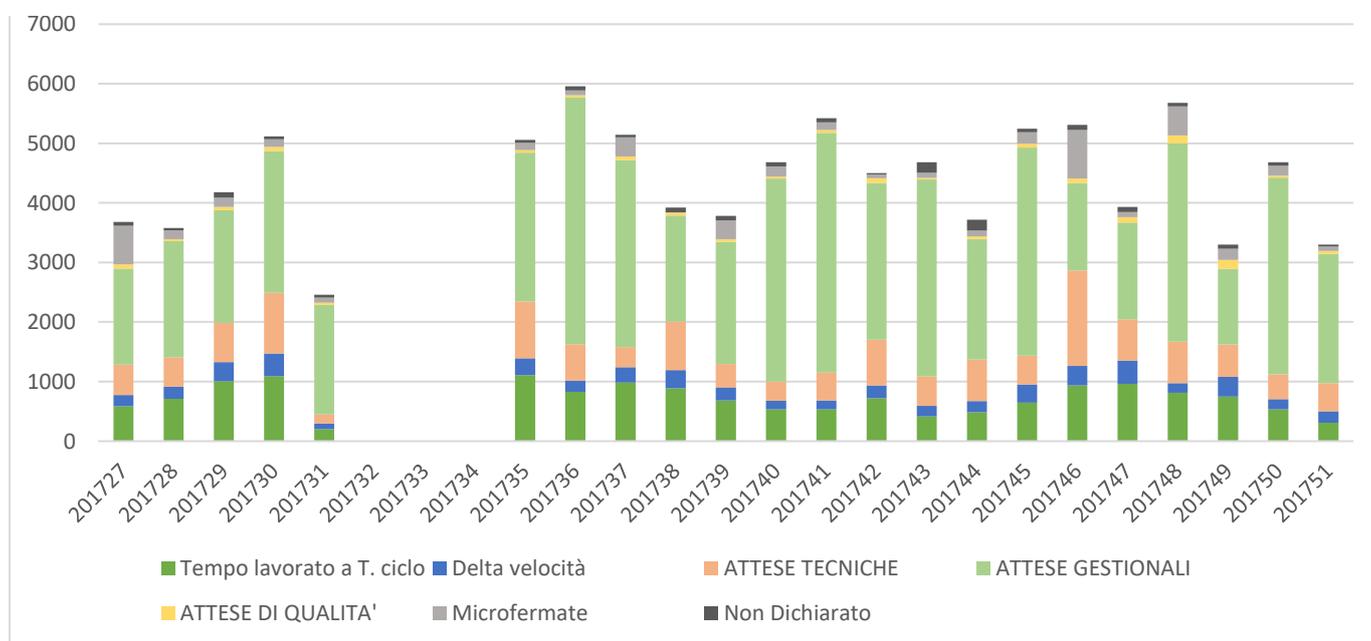


Figura 66 Suddivisione dei tempi di produzione per ICA1.

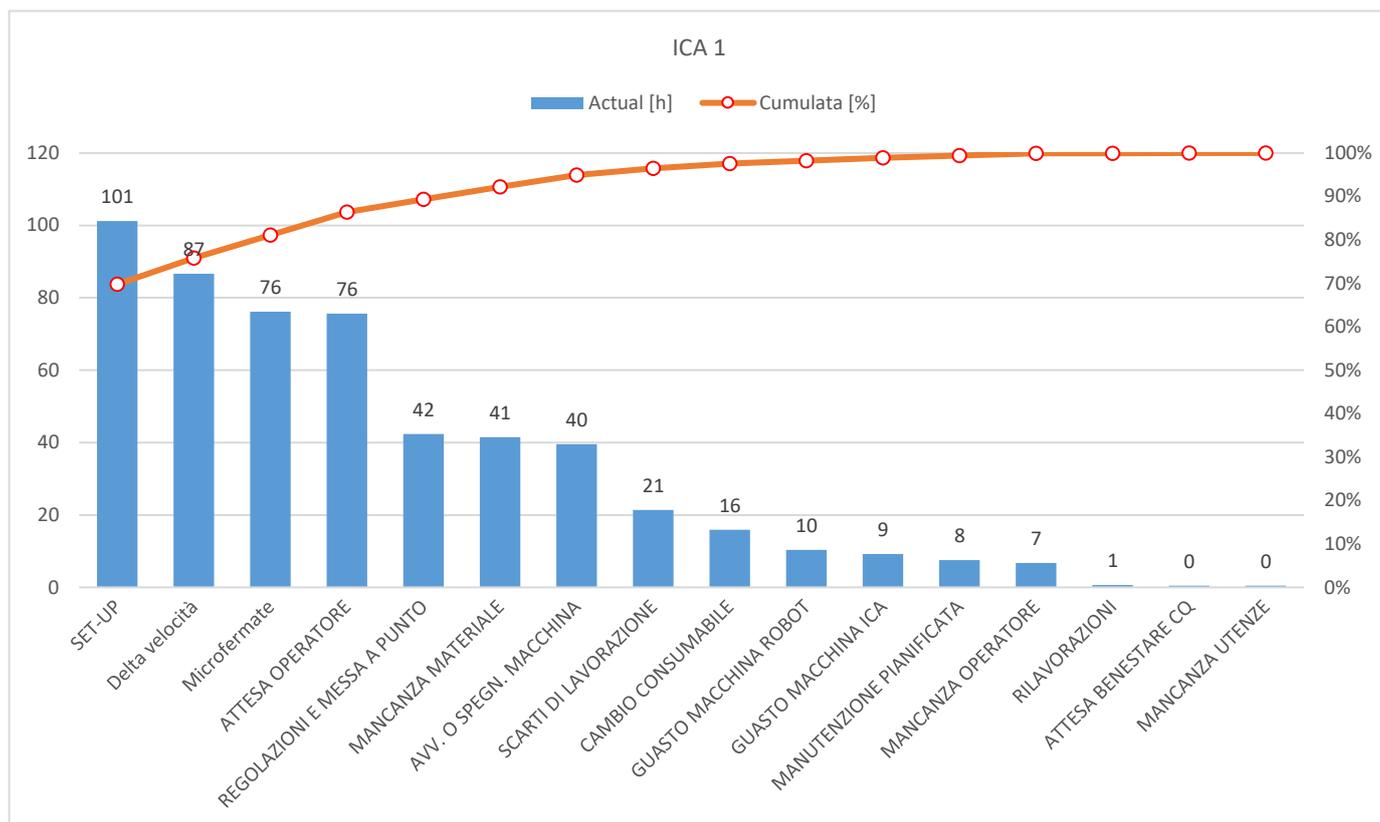


Figura 67 Suddivisione delle perdite e cumulata per ICA1.

Tabella 6 Perdite recuperabili e relative soluzioni per ICA1 su un intervallo di 6 mesi.

Causa di fermo	Soluzione/TASK	Ore perdite 6 mesi [h]	Calcolo nuove perdite [h]	Recupero [h]	Responsabile
<b>SET-UP</b>	SMED - Analisi tempi e metodi setup - Cruscotto per discretizzare i setup e monitorarli	101	71	30	Ceruti
<b>DELTA VELOCITA</b>	- analizzare i dati per verificare se per uno stesso codice su una macchina vengono usate cadenze differenti - provare ad alzare la velocità	87	65	22	Ceruti Andresani Dainese
<b>MICRO FERMATE</b>	- Risolvere il problema dei cartoni - Inceppamento matrici - problema nastro	76	23	54	Dainese
<b>REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO</b>	- metodo di lavoro per il Setup	42	36	6	Galletti Lanza
<b>AVVIAMENTO O SPEGNIMENTO MACCHINA</b>	-ridefinire procedura di dichiarazione avviamento/spegnimento e procedura di reparto per eliminazione causale (15 minuti prima/offset turno)	40	-	40	Rinaldi

Come si può notare dai grafici, le attese gestionali sono molto elevate, causa l'elevata mancanza ordini sulla risorsa e, di conseguenza, il tempo di produzione e il tempo lavorato a tempo ciclo è molto basso rispetto alla risorsa ICA2. Questo è dovuto alla scelta di usare ICA1 per le produzioni più difficili e che richiedono tempi di setup e regolazione maggiore.

Infatti, si può notare che il recupero percentuale previsto di OEE, rispetto al semestre precedente, è del 13,5% solo implementando un primo metodo di lavoro. Per le 517 ore perse nel periodo analizzato si stima che le azioni di miglioramento possano portare ad un recupero di 167 ore.



Figura 68 OEE medio, OEE Target in 2 step per ICA1.

## DELTA VELOCITÀ

Di norma gli operatori di linea non applicano un metodo trasversale a tutti i turni. Questo si riscontra nel fatto che ogni operatore imposta la velocità macchina che più gli sembra adatta. La risorsa ICA2 è stata acquistata per una velocità di regime massimo pari a  $v_{max} = 42 \frac{pz}{min}$ .

Si può facilmente trovare la velocità media ottenuta nel periodo analizzato tramite il calcolo seguente:

$$T_{TC} = 46302 \text{ min}$$

$$T_{perdita\Delta v} = 7720 \text{ min}$$

$$Q = 1894934 \text{ pz}$$

$$\overline{v_{reale}} = \frac{Q}{T_{TC} + T_{perdita\Delta v}} = \frac{1894934 \text{ pz}}{54022 \text{ min}} = 35 \frac{\text{pz}}{\text{min}}$$

Si è notato che gli operatori mantenevano una determinata velocità per due motivazioni: per abitudine e per evitare problemi durante la produzione. Questi due aspetti sono stati affrontati singolarmente per riuscire a scardinare la credenza che le risorse non potessero ottenere un ritmo maggiore.

Nella raccolta dei dati utili al calcolo dell'OEE, era già riportata la velocità impostata a macchina durante ogni intervallo di "Produzione". Sono state analizzate in percentuale le velocità più usate su ogni singolo codice, al fine di scegliere la velocità maggiore e realizzabile.

Tabella 7 Esempi di delta velocità.

Materiale	Velocità	Durata Produzione	Percentuale sulla Durata
<b>C302070</b>	39	10262,0	71,39%
	37	2626,2	18,27%
	38	1206,1	8,39%
	35	257,3	1,79%
	33	23,6	0,16%
<b>C302070 Tot</b>		<b>14375,2</b>	<b>23,76%</b>
<b>C302145</b>	31	2830,0	34,83%
	33	1383,8	17,03%
	30	1238,6	15,25%
	32	919,3	11,32%
	29	619,1	7,62%
	35	466,1	5,74%
	34	347,7	4,28%
	39	164,6	2,03%
<b>C302145 Tot</b>		<b>8124,5</b>	<b>13,43%</b>

Nella Tabella 7 Esempi di delta velocità. viene riportato un esempio di questo problema nel suo stato AS IS. Come si può vedere il primo codice occupa 23,76% del tempo di produzione del semestre. Viene prodotto con velocità che variano da 35 pz/min a 39 pz/min. La velocità di 33 pz/min non è considerata in quanto dura solo 23,6 minuti (0,16% del totale di produzione del codice), imputabile ad uno sbaglio o ad una regolazione. Il 71,39% del tempo si è prodotto alla velocità di 39 pz/min, mentre il restante 28,45% di tempo ad una velocità inferiore, quando sarebbe stato possibile essere mantenere un ritmo più elevato.

Altro esempio si riscontra nel secondo codice in esempio, che occupa il 13,43% del tempo complessivo di produzione. In questo caso la forbice delle velocità usate è addirittura più ampia, da 28 pz/min a 39 pz/min. Escludendo gli ultimi termini perché dovuti a regolazioni, si nota che la velocità più usata è stata di 31 pz/min, ma il 17,03% del tempo è stata usata 33 pz/min e il 5,74% addirittura il 35 pz/min. Qui viene a sottolinearsi l'abitudine di tenere una certa velocità, nonostante non sia la maggiore disponibile senza incorrere in problematiche.

Il primo step per risolvere il problema è stato quello di costruire una tabella con tutte le velocità massime usate per ogni codice consegnandola agli operatori di linea. A questi è stato chiesto di confermare le velocità e se non riuscivano a produrre a tale ritmo, descrivere il problema che si è riscontrato e segnalarlo.

Tabella 8 Velocità massime per ogni prodotto.

Codice Prodotto	Velocità più usata	Descrizione prodotto
A002000	36	HYDROCOLOR 5 BUSTA 453gr
B000360	38	KROMALGIN PIU 453G - BUSTA
B201820	33	BLUEPRINT XCREME 500G
B201870	31	ZELGAN + ECO PACK 500G
.....	.....	.....

Il secondo step proposto è stato quello di cominciare ad aumentare le velocità massime usate un poco alla volta, finché non fossero stati riscontrati problemi. Mantenere delle velocità inferiori a quelle massime disponibili tuttavia nascondeva anche possibili complicazioni, vale a dire un incremento del tempo delle microfermate. Comunque, la sperimentazione di tale metodo avrebbe potuto portare allo sviluppo di eventuali soluzioni che contrastassero tali difficoltà.

Un mese dopo la proposta di questo metodo, tutte le velocità massime più comuni erano state confermate e si era già cominciato a sperimentare velocità maggiori.

## CAMBIO CONSUMABILE

La voce “*Cambio consumabile*” viene spesso usata durante il cambio della bobina delle buste. Gli operatori vanno in magazzino a prendere un pallet con la nuova bobina tramite un muletto (che spesso non è disponibile), viene smontato il supporto per la vecchia bobina, fatta rotolare la nuova e due operatori la sollevano e montano la nuova bobina negli appositi alloggiamenti.

Si è pensato di acquistare un sollevatore semi elettrico con forche sagomate per le bobine, come quello in figura.



*Figura 69 Esempio di sollevatori semi elettrico per bobine.*

Questo non avrebbe portato ad un recupero di ore, ma avrebbe comunque garantito una maggiore ergonomia. È quindi principalmente un incremento della sicurezza dell'ambiente di lavoro e previene l'affaticamento.

## AVVIAMENTO/SPEGNIMENTO IMPIANTO

Tra gli sprechi in termini di tempo su cui si è lavorato, è presente anche quello del metodo di accendimento e spegnimento dell'impianto. L'impianto viene quotidianamente avviato manualmente dal capoturno all'inizio della giornata, ovvero alle ore 06:00 circa. Attraverso i metodi di consuntivazione si è notato che in media vengono persi 21,4 minuti per l'accensione delle macchine e 7,5 minuti per lo spegnimento. Questa mezz'ora di perdita diventa 150 minuti circa nell'arco di una settimana, valore considerevolmente piccolo considerato il tempo di apertura settimanale di 4680 minuti.

Tuttavia, come in precedenza evidenziato, queste operazioni sono gestite esclusivamente dai capoturno che tuttavia adottano metodi diversi a seconda dell'operatore che le effettua.

Al fine di migliorare tale prestazione, si è intervenuto con il mappare le operazioni utili all'ON/OFF della macchina, con la loro semplificazione, al fine di creando uno standard univoco, e realizzare una check-list di azioni che fossero comprensibili ed effettuabili a tutti gli operatori e non unicamente dal caporeparto. Si era inoltre programmato di poter sfruttare le ultime ore del capoturno di un altro reparto, ancora in azienda da un turno notturno.

Si è iniziato quindi mappando tutte le operazioni impiegate dal capoturno e richiedendo una descrizione di ciascuna operazioni. Le due linee confezionatrici vengono avviate con dei passaggi leggermente diversi ma sono composte dallo stesso tipo di componenti:

1. Macchina ICA;
2. Stampante per la stampigliatura;
3. Silo;
4. Robot avvolgi pallet;
5. Robot pallettizzatore;
6. Robot per la creazione dei cartoni;
7. Spazzolatrice.

Per ognuna di queste parti della linea vengono effettuati dei reset e per la macchina ICA la taratura del peso.

Per ogni macchina sono state annotate le operazioni, il luogo in cui avvengono e le note a proposito delle operazioni eseguite.

Tabella 9 Elenco attività avviamento impianto ICA2.

#	Attività	Note	Macchina	Luogo	Codice luogo
1	Interruttore generale ICA2	Commutatore rotativo	ICA	Quadro ICA2	B1
2	Avvio pannello di controllo	Touch	ICA	Touch ICA2	B2
3	Taratura bilancia	Prova peso bilancia (1kg certificato)	ICA	Touch ICA2	B2
4	Reset stampante bobine	Pulsante	ICA	Stampante	B3
5	Reset coclee	Pulsante blu	ICA	Quadro Silo	B4
6	Buste vuote	10/15 buste	ICA	Touch ICA2	B2
7	Interruttore del robot avvolgi pallet	- commutatore rotativo - pulsante rosso	Robot	Quadro Pallet.	B5
8	Interruttori robot interni al cancello	- 2 commutatori rotativi		Quadro Robot INTERNI	B6
9	Interruttore sicurezza robot	Commutatore rotativo	Robot	Quadro Impianto	B7
10	Reset bottoni	- emergenza - barriera - chiusura cancelli	Robot	Quadro Impianto	B7
11	Giro di controllo cancelli chiusi		Robot	/	
12	Aprire e chiudere porta cartoni		Robot	Quadro Cartoni	B8
13	Avvio cartoni	- Reset	Robot	Quadro Cartoni	B8
14	Pulsanti quadro avvolgi pallet	- Reset - Pallet	Robot	Quadro Pallet.	B5
15	Quadro PLC	- Chiudi cancelli - Manuale -> Automatico - Posizionamento Robot - Reset matrici - Reset bilancia	Robot	Touch Robot	B9
16	Start spazzolatrice	Commutatore rotativo	Robot	Quadro Spazzolatrice	B11
17	Lanciare etichette da PC di Renzo	Da postazione PC	Robot	Ufficio caporeparto	B12

Tabella 10 Elenco attività spegnimento impianto ICCA2.

#	Attività	Note	Luogo	Codice luogo
1	STOP da Joystick1	Touch	Touch Pad Impianto	B10
2	30 s	Attesa	/	
3	STOP da Joystick2	Touch	Touch Pad 2 Impianto	B13
4	30 s	Attesa	/	
5	OFF Interruttore Robot interni	Commutatore rotativo	Interruttore Robot INTERNI	B6
6	OFF Interruttore generale automatismi	Commutatore rotativo	Quadro Impianto	B7
7	OFF Interruttore avvolgi pallet	Commutatore rotativo	Quadro Pallet.	B5
8	Spegnere PC produzione		Touch ICA2	B2

Per ogni luogo è stato aggiunto un codice che lo rendesse univoco e più semplice da analizzare, inserendolo sullo schema del layout del reparto.

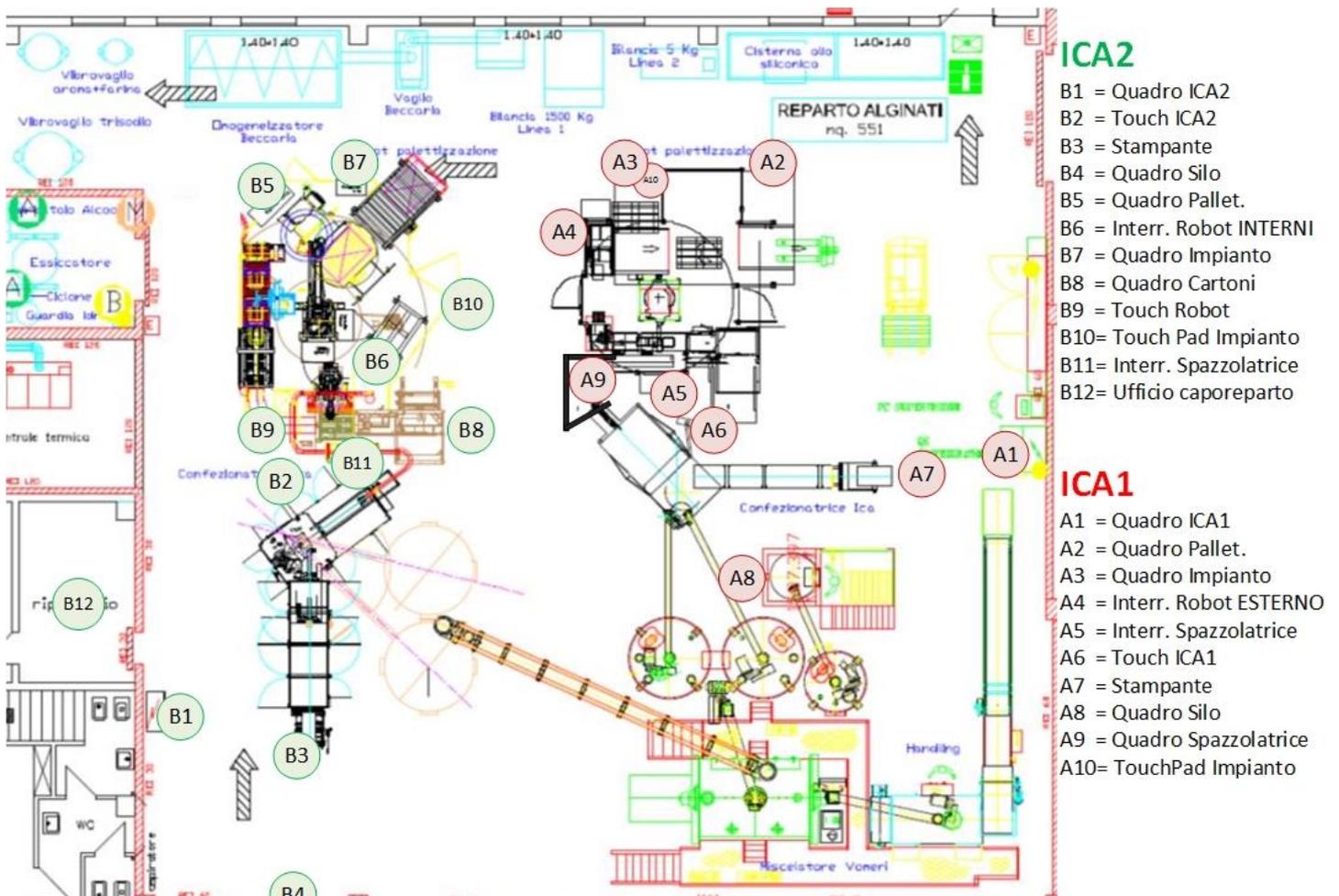


Figura 70 Layout reparto Alginati con posizione attività.

Si è poi impostato in maniera grafica il percorso che l'operatore compie attorno alla macchina tramite una *spaghetti chart*.

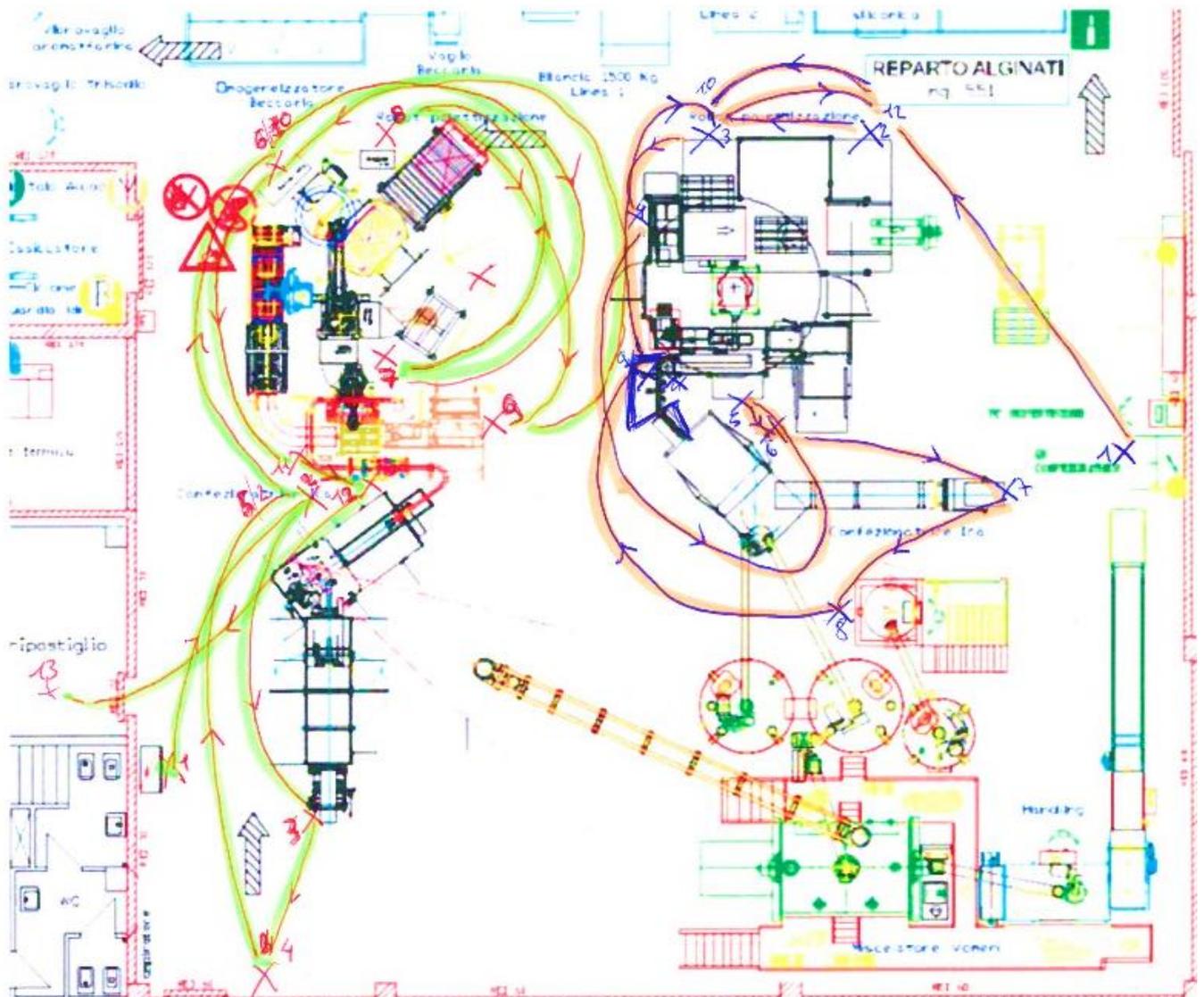


Figura 71 Spaghetti chart attorno ai due impianti.

Quest'analisi è stata presentata durante una riunione, in cui si è discusso in merito alla fattibilità di concentrare i controlli di avviamento e spegnimento dei vari macchinari in una sola posizione. Purtroppo, per limiti di sicurezza e di addetti capaci di apportare tali modifiche si è preferito non continuare con questa opzione. La mappatura sarà in futuro utile al reparto per riuscire a migliorare la procedura, creare uno standard condiviso e rendere più facile la divulgazione del *know-how* anche agli altri operatori del reparto, che non sono ancora al corrente delle procedure.

## SETUP

Il setup ha rappresentato senza dubbio la fonte principale di spreco di tempo, consumando 219 ore su ICA2, ovvero il 23,4%, mentre su ICA1 101 ore, il 19,7% del totale delle perdite.

Il setup è simile sulle due linee, ma impegna l'operatore in punti diversi attorno alle macchine a causa della diversa disposizione dei componenti sulle stesse. Quest'attività è quindi eseguita da due operatori che lavorano in parallelo con attività disgiunte oppure da un solo operatore con un impegno di tempo maggiore. Vengono fatti tre tipi diversi di setup:

- Setup per cambio lotto: viene preparata la macchina per il confezionamento dello stesso prodotto precedente, ma usando una partita differente. Questo implica il cambio del silo e il cambio delle stampigliature sul packaging.
- Setup per cambio lotto e cambio bobina: oltre al cambio lotto viene cambiata la bobina che andrà a costituire il packaging primario;
- Setup per cambio prodotto: in questo caso il prodotto cambia completamente. Prevede una fase uguale al cambio lotto e cambio bobina ed una seconda fase per lo spurgo del prodotto precedente, la pulizia della macchina e l'inserimento della nuova miscela da confezionare.

Al fine di ridurre questa causa di spreco si è sfruttata la metodologia SMED. In primis, è stato necessario monitorare entrambi gli operatori durante il setup completo del cambio prodotto per due volte. Il primo monitoraggio è stato utile per annotare i passaggi necessari allo svolgimento delle operazioni e le motivazioni a questi legati al per sviluppare una iniziale dimestichezza con la macchina. Il secondo monitoraggio è stato realizzato per prendere raccogliere tempi di svolgimento.

A seguito dell'osservazione sono state annotate le informazioni utili che comprendevano:

- Tipo di attività
- Durata
- Strumenti/attrezzi utilizzati
- Luogo
- Breve descrizione dell'attività

Il setup in esame è durato circa 45 minuti e le azioni sono state discretizzate nell'ordine del minuto, per riuscire a cogliere il dettaglio delle singole operazioni e analizzarle più facilmente.

Reparto	Data e Orario	OdP.....	
Macchina		Prodotto.....	
Operatore			
Tempo	Attività	Strumenti usati	Note

Figura 72 Esempio di tabella per SMED.

In una seconda fase si è analizzato l'intero setup nella sua versione AS IS. Sono state individuate 48 attività per una durata di 44 minuti. Gli operatori hanno tuttavia fatto notare che in questo caso i tempi risultavano più bassi, poiché durante la sperimentazione l'attesa del rifornimento dei consumabili e del muletto era ridotta rispetto alle attività svolte normalmente.

Il setup è stato diviso in cinque tipologie di attività rappresentative, ovvero azioni di:

- Pulizia macchina;
- Cambio lotto;
- Cambio bobina;
- Regolazioni;
- Attese.

È stata individuata una gerarchia delle azioni, al fine di ordinare correttamente le attività in un secondo momento.

Ci si è chiesto quali tra le operazioni IED (*"Inside Exchange of Dies"*) e OED (*"Outside Exchange of Dies"*) dovesse essere eseguita per prima.

Questo ha portato a definire tre momenti generali:

- *"OED prima"*, tutte quelle operazioni utili alla preparazione del setup, come il prelievo dei consumabili che poi verranno montati sulle macchine in stato di fermo completo. Questo permette di ammortizzare tutte le fasi di attesa, dovute alla ricerca in magazzino.
- *"Setup"*, le attività che possono essere eseguite esclusivamente a macchina ferma o prima di procedere con la produzione successiva, come le regolazioni ed i cambi consumabili.
- *"OED dopo"*, le ultime operazioni per liberare lo spazio dagli ingombri generati durante il setup e consentono il normale svolgimento della produzione come immondizia, scala, pulizia, ....

Per ripartire in modo corretto le attività tra i tre momenti sono stati ricavati i legami di precedenza. Questo ha aiutato a non esternalizzare dal Setup le attività che dipendevano dall'attività precedente e successiva da eseguire a macchina ferma.

Tabella 11 Suddivisione attività tra IED ed OED.

Idee di miglioramento	Macro Attività	Attività	Strumenti usati	Operatore
OED	<b>Pulizia</b>	Indossare imbragatura	Imbragatura	opA
OED	<b>Pulizia</b>	Preparazione aspirazione	Tubo aspirazione	opA
OED	<b>Pulizia</b>	Posizionamento scala + messa in sicurezza	scala + imbragatura	opA
OED	<b>Attesa</b>	Attesa (ricerca) Sacchetto nuovo per scarico	sacchetto + imbragatura	opA
OED	<b>Cambio lotto</b>	Recupero a magazzino estensibile		OpB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Refill bancali vuoti		opB
IED	<b>Pulizia</b>	Preparazione spurgo	chiave a T a brugola 6	opA
IED	<b>Pulizia</b>	Spurgo materiale campana		opA
IED	<b>Pulizia</b>	Rimettere cassetto	chiave a T a brugola 6	opA
IED	<b>Pulizia</b>	Pulizia lavatrice	Aspirapolvere + imbragatura	opA
IED	<b>Pulizia</b>	Spurgo materiale residuo coclea		opA
IED	<b>Pulizia</b>	Pulizia giostra	Aspirapolvere + AriaCompressa	opA
IED	<b>Cambio lotto</b>	Carico prodotto successivo	2 pannelli (ICA+Colcea)	opA
IED	<b>Cambio lotto</b>	Cambio lotto stampigliatura	pannello stampante	opA
IED	<b>Cambio lotto</b>	Aiuto cambio bobine		opA
IED	<b>Pulizia</b>	Toglie imbragatura		opA
IED	<b>Attesa</b>	Attesa bobina		opA
IED	<b>Regolazione</b>	Scorrimento bobina nuova		opA
IED	<b>Regolazione</b>	Centatura timbratura		opA
IED	<b>Regolazione</b>	Regolazione fotocellula	Maniglia + manuale	opA
IED	<b>Pulizia</b>	Togliere buste vuote usate per prova		opA
IED	<b>Regolazione</b>	Controllo validità etichetta	Pc ufficio	opA
IED	<b>Regolazione</b>	Regolazione fondo busta	Chaive comb 17	opA
IED	<b>Regolazione</b>	Regolazione piano	Chaive comb 17, manovella	opA
IED	<b>Pulizia</b>	Spurgo in buste	2 buste	opA
IED	<b>Regolazione</b>	Controlli	pannello Ica	opA
IED	<b>Regolazione</b>	Regolazione colla + prova	pannello Ica	opA
IED	<b>Regolazione</b>	Avvio + Regolazione finale peso	pannello Ica	opA
IED	<b>Cambio lotto</b>	Sostizione estensibile		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Smonta etichettatrice		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Svuotamento misurini lotto precedente		opB
IED	<b>Pulizia</b>	Spurgo SILO NUOVO		opB
IED	<b>Pulizia</b>	Pulizia colea		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Cambio bobina	Cutter	opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Start robot		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Verifica etichette		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Prende misurino		opB
IED	<b>Cambio lotto</b>	Inserisce misurino		opB
IED	<b>Regolazione</b>	Prende lettore QR code busta		opB
IED	<b>Regolazione</b>	Taglio riferimento busta		opB
OED	<b>Pulizia</b>	Spostare sacco pieno e bidone		opA
OED	<b>Pulizia</b>	Pulizia pavimento	Aspirapolvere	opA
OED	<b>Pulizia</b>	Sistemare strumenti fine spurgo		opA
OED	<b>Pulizia</b>	Pulizia pavimento		opA
OED	<b>Pulizia</b>	Smonta sistema aspirazione	Aspirapolvere	opA
OED	<b>Cambio lotto</b>	Svuotamento bidoni spazzatura		opB
OED	<b>Pulizia</b>	Secchi e bidoni		opB
OED	<b>Cambio lotto</b>	Documentazione		opB

In una terza fase sono stati studiati tutti i potenziali miglioramenti:

Tipo	Miglioramento	Vantaggio	Dove
<b>5S consumabili</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sacchetti per i bidoni/secchi vicini alla postazione in cui servono</li> <li>- Reintegro, se serve, finito il setup</li> <li>- preparare il cambio bobina in anticipo (bobina e scotch)</li> <li>- Recupero a magazzino estensibile</li> </ul>	Per ridurre i tempi di ricerca nel reparto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bidone buste scartate</li> <li>- Bidone raccolta spurgo dalla giostra</li> <li>- sulla scala per lo spurgo dalla campana</li> </ul>
<b>Gancio aspiratore</b>	Gancio ed occhiello su scala e bocca del tubo d'aspirazione	Evitare che il tubo per l'aspirazione cada dalla scala durante la pulizia	- Scala per pulire lavatrice
<b>5S / Target OEE</b>	Sollevatore di bobine	Non dover sfruttare un carrello che in quel momento è impegnato	- Inizio linea

Tabella 12 Soluzioni ipotizzate dopo lo SMED.

Tutti e tre i miglioramenti mirano ad ottimizzare l'organizzazione delle attività di reparto e alla diminuzione dei tempi di attesa dovuti alla ricerca dei vari consumabili, tramite azioni migliorative di tipo 5S.

Dai tempi presi del setup completo per il cambio prodotto, si è ipotizzato che le operazioni in comune con le altre tipologie di setup restassero costanti.

Dopo aver individuato le attività da esternalizzare e i possibili miglioramenti da eseguire, sono state allocate le risorse uomo per ogni operazione. Il setup prevede già nella situazione AS IS la presenza di due addetti che eseguono in maniera parallela le varie attività. Solo in due momenti gli operatori devono cooperare e aiutarsi. Per visualizzare graficamente le varie operazioni, con predecessori e successori, si è creato un diagramma reticolare tramite il software Microsoft Project.

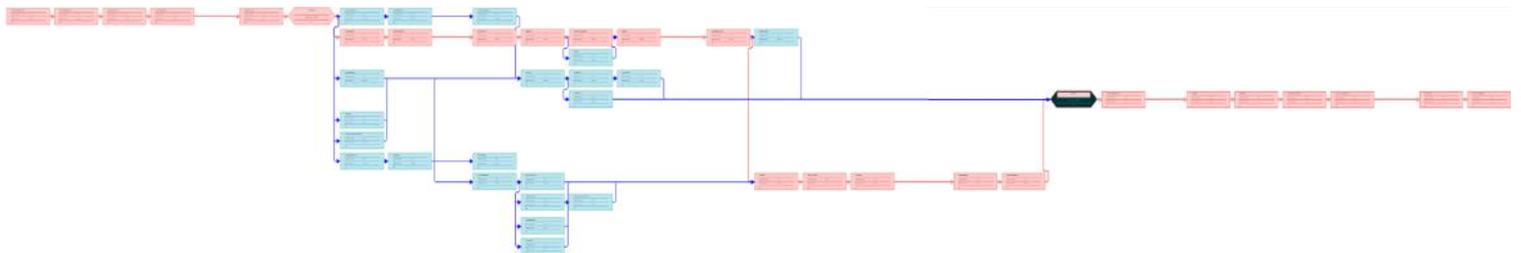


Figura 73 Diagramma reticolare.

In questo modo è stato definito il percorso critico, "critical path", vale a dire la catena di attività che marcano il minimo tempo di esecuzione. Le restanti attività possono eventualmente essere svolte tutte in parallelo da più addetti. Si evidenzia quindi il vincolo legato alla disponibilità della risorsa uomo all'interno del reparto. Infatti, nella situazione AS IS, nella fase IED, sono presenti 31 operazioni che gli operatori svolgono autonomamente, mentre solo 2 operazioni prevedono il lavoro congiunto in cui è necessario l'aiuto di un secondo operatore: durante lo "spurgo del materiale", nel quale un operatore attua la pulizia della macchina mentre l'altro attiva i comandi della coclea, posti vicino al silo; durante il "cambio bobina" è necessaria la presenza di due operatori per posizionare una bobina da 150 kg.

Queste operazioni sono state raggruppate in 10 operazioni principali, eseguibili da un singolo operatore, a cui sono state aggiunte le due operazioni che richiedono la contemporaneità degli addetti.

Le attività principali presenti nella fase IED sono:

- Spurgo materiale
- Cambio bobina
- Cambio etichette lotto
- Regolazione fotocellula
- Regolazione fondo busta
- Regolazione piano
- Sostituzione estensibile
- Refill bancali vuoti
- Cambio lotto misurini
- Avviamento macchina

Le attività della fase OED sono state poste in serie perché sono eseguite da un solo addetto, mentre il secondo conclude la produzione precedente.

Attraverso un grafico a barre si è iniziato a disporre le attività tra le risorse uomo. I vincoli del problema sono stati il massimo di due operatori nel momento dedicato al setup e la corretta successione delle attività. Con questa analisi si è visto l'operatore A potrebbe impiegare 48,6 minuti e l'operatore B 43,6 minuti.

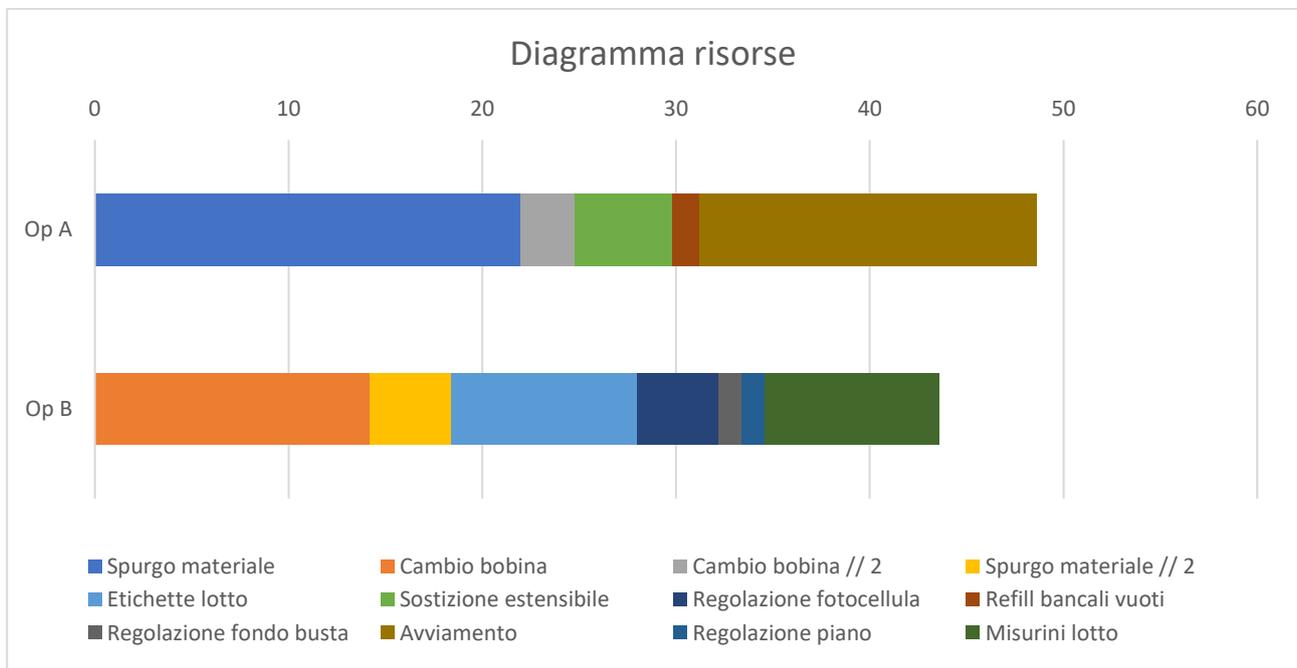


Figura 74 Diagramma risorse uomo.

L'ultima attività, allocata all'operatore A, prevede l'avviamento della macchina ed una prova di produzione, che giustifica il non completo livellamento dei due

operatori. In quel periodo di tempo, l'operatore scarico potrebbe cominciare ad eseguire quelle operazioni previste nella fase OED finale.

Tabella 13 Suddivisione attività.

OED	Attività
<b>PRIMA</b>	Indossare imbragatura
	Preparazione aspirazione
	Posizionamento scala + messa in sicurezza
	Recupero bobina a magazzino
	Recupero estensibile a magazzino
<b>(SETUP)</b>	
<b>DOPO</b>	Pulizia pavimento
	Sistemare strumenti fine spurgo
	Sistemare materiale spurgato
	Spostare scala
	Smonta sistema aspirazione
	Svuotamento bidoni spazzatura
	Documentazione

Sulla base di questa schedulazione si è creato il Gantt e il diagramma reticolare delle attività per verificare graficamente il corretto funzionamento dell'analisi.

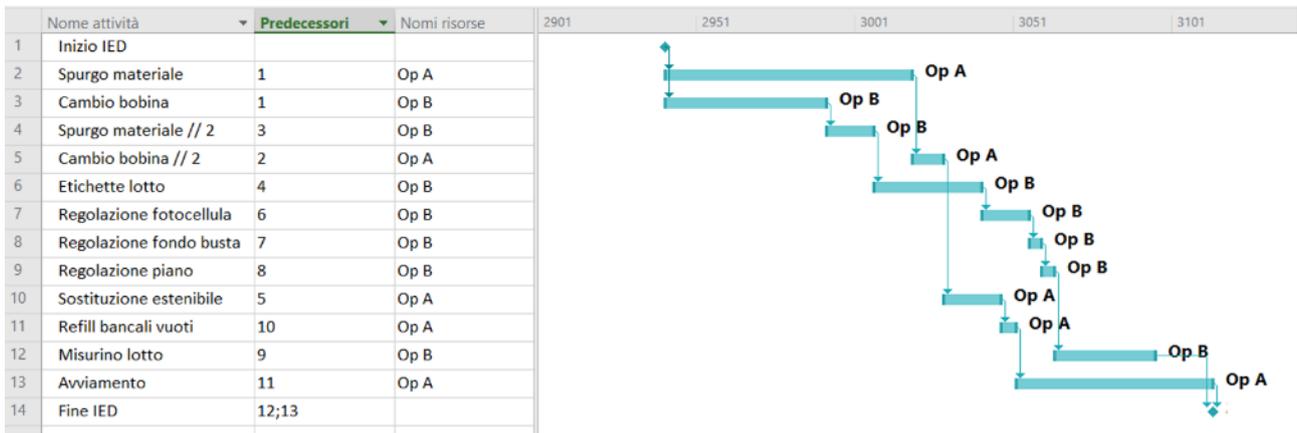


Figura 76 Gantt delle attività.

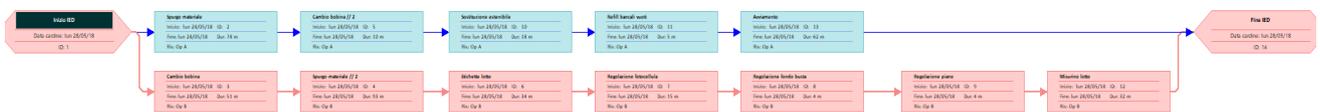


Figura 75 Diagramma reticolare.

Infine, si è creata una presentazione da mostrare al caporeparto e ai due capoturno durante una breve riunione dedicata. A questo punto è stato necessario verificare sul campo la validità del metodo proposto per notare gli eventuali benefici.

Tra questi, si prevede una riduzione del tempo AS IS di setup “completo” da 63 minuti ad un tempo TO BE di 49 minuti complessivi, quindi la riduzione di oltre un quinto dei tempi iniziali.

La stessa analisi è stata verificata anche per i setup “cambio lotto” ed il setup “cambio lotto e cambio bobina”. Calcolando la quantità di setup avvenuti nell’arco dei sei mesi considerati (da luglio a dicembre 2017), si è ricavato il possibile recupero di quest’attività di SMED.

Tabella 14 Recupero ottenibili.

[min]	Completo		Cambio lotto+bobina		Cambio lotto		TOTALE
	AS IS	TO BE	AS IS	TO BE	AS IS	TO BE	
OED prima	0	10	0	7	0	3	
SETUP	63	49	25	17	16	10	
OED dopo	0	7	0	2	0	2	
Recupero unitario	14		8		6		
# setup 6 mesi	80		74		180		
Calcolo tempo recuperato	1120		592		1080		2792 [min]
							46,5 [h]

Si prevede che con questo metodo potrebbero essere recuperate 46,5 ore che equivalgono a sei giorni lavorativi di funzionamento della macchina e due risorse uomo.

Il tempo recuperato può essere sfruttato in tre modi differenti:

- Aumentare la capacità produttiva settimanale del reparto;
- Aumentare le manutenzioni pianificate al fine di garantire una maggior affidabilità della macchina;
- Diminuire l'eventualità degli straordinari il sabato mattina.

# APPLICAZIONE TARGET AL REPARTO CONFEZIONAMENTO

In questo reparto la rilevazione dei dati OEE ha avuto inizio a partire da luglio 2016. Lo scopo era quello di valutare l'efficienza di due linee parallele, ciascuna composta da una macchina confezionatrice semiautomatica di marca TGM, nominate TGM\_A e TGM\_B.

Le due linee sono interscambiabili, ma solitamente vengono fatte lavorare per una tipologia di siliconi dedicata, in maniera da ridurre i tempi di pulizia nel Setup. Si è deciso di analizzare il periodo da inizio luglio 2017 a fine dicembre 2017. Come precedentemente accennato, le settimane 32 e 33 corrispondono alla chiusura estiva dell'azienda.

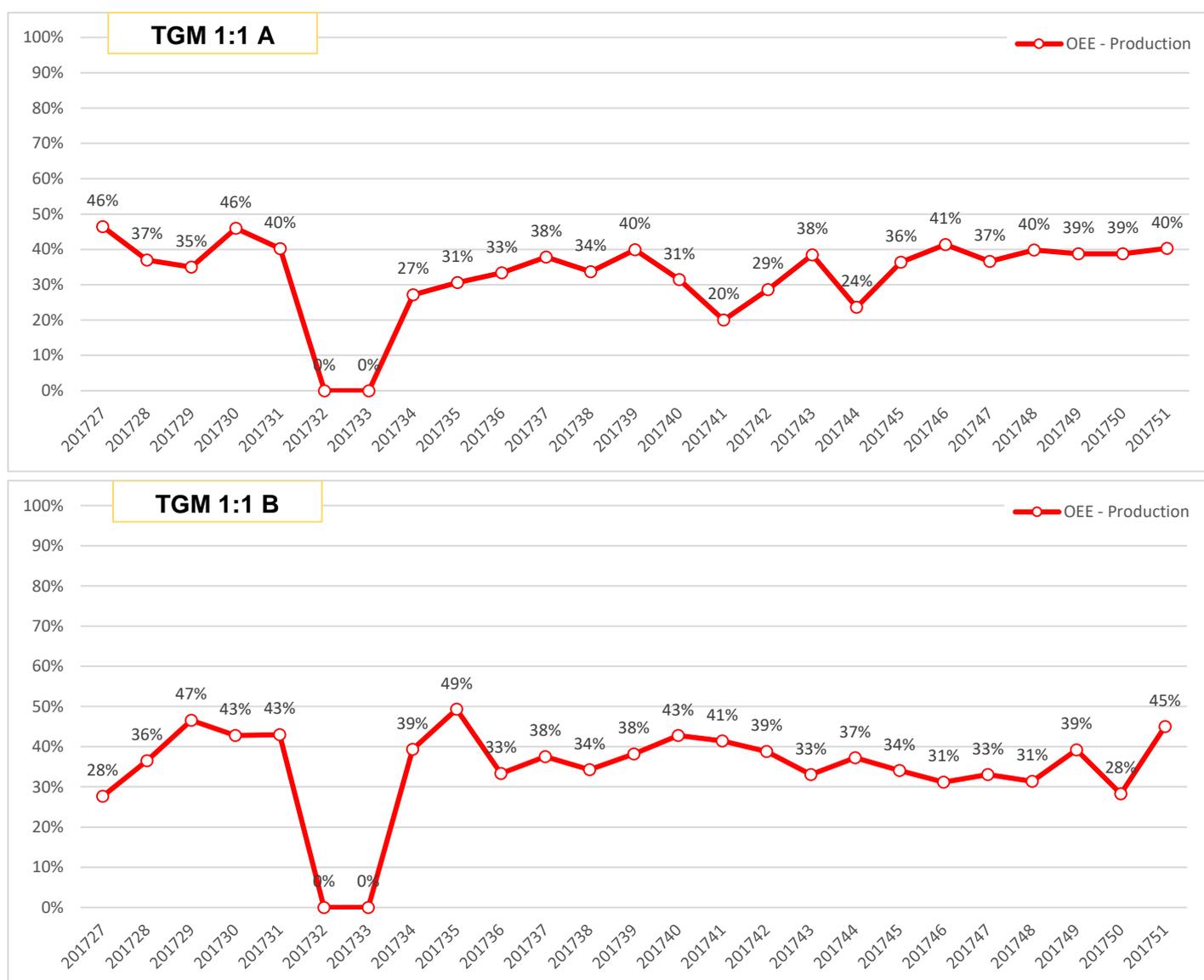


Figura 77 Andamento OEE per le macchine confezionatrici TGM 1:1

Leggendo i dati OEE, si può calcolare l'andamento medio e la deviazione dei dati settimanali:

	TGM A	TGM B
Media	35,71%	37,57%
Dev. std.	6,51%	5,75%

Tabella 15 Media e deviazione standard dell'OEE nel periodo analizzato.

Le oscillazioni attorno al valore medio sono quindi contenute e non ci sono stati miglioramenti ma solo un mantenimento della situazione. Con questo metodo si vuole creare un trend crescente, dovuto ad azioni di miglioramento.

Si è calcolato che ogni punto percentuale di OEE equivale a 800 siringhe buone prodotte ogni settimana, sfruttando la velocità massima di 15 pz/min, limite massimo per entrambe le linee.

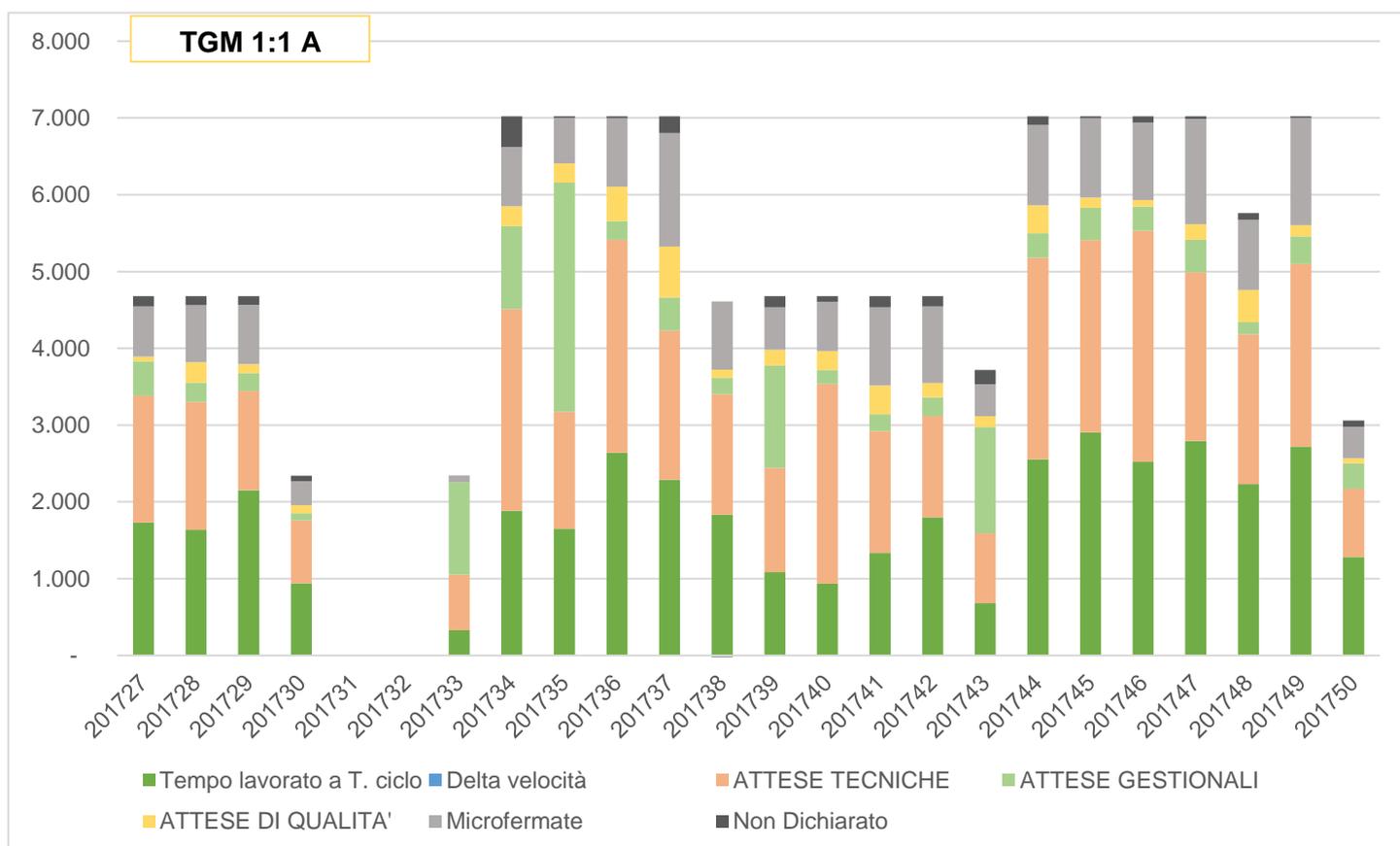


Figura 78 Suddivisione dei tempi di produzione per TGM 1:1 A

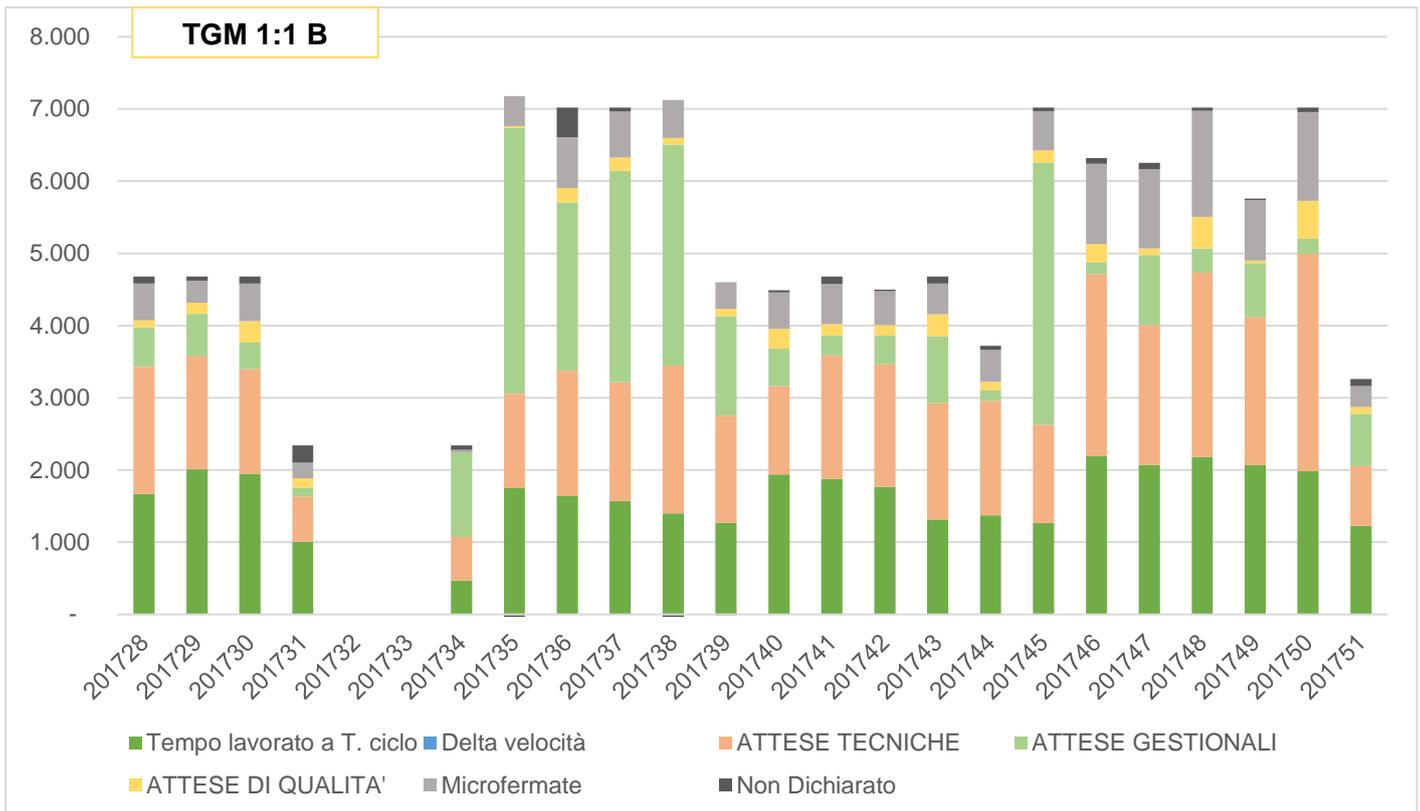


Figura 79 Suddivisione dei tempi di produzione per TGM 1:1 B

Leggendo il grafico a barre, si possono distinguere sei famiglie di perdita:

- **Qualità:** le voci che compaiono durante il processo di consuntivazione sono *“Rilavorazioni”* e *“Scarti di lavorazione”*. Quest’ultima rappresenta principalmente il tempo di consuntivazione in cui l’operatore dichiara i pezzi prodotti e quelli scartati, mentre in questa categoria di processi non si hanno spesso grosse rilavorazioni che richiedano il fermo della macchina o rallentino considerevolmente la produzione. La quota di rilavorazioni è invece variabile con il lotto di produzione. È spesso necessario che durante il processo di miscelazione (precedente) siano inglobate delle bolle d’aria che durante la dosata volumetrica conducano all’errato peso della siringa. Queste non sono da considerare un difetto delle proprietà del prodotto e sono comunque troppo grandi perché rientrino nel campione sottoposto al controllo qualità.
- **Gestionali:** qui si concentrano tutte le mancanze delle risorse, dall’operatore, al materiale di linea e pure la mancanza degli ordini di produzione. In questo caso proprio la *“Mancanza ordini”* è una causa da considerare vista la struttura di calcolo dell’OEE.

- *Tecniche*: dentro queste attese si concentrano le cause dovute alla manutenzione e alla preparazione delle macchine. Spesso sono dovute ad una scarsa organizzazione del posto di lavoro e l'assenza di un metodo da applicare.
- *Delta velocità e microfermate*: queste cause di perdita sono tempi nascosti nel tempo totale di produzione. Solo capendo il tempo ciclo della macchina e mappando tutti i frequenti ma brevi fermi possono essere notate.

<b>GESTIONALI</b>	<b>MANCANZA OPERATORE</b>	Si può usare questa causale solo se l'organico è inferiore allo standard ad es. Per ferie, malattia, infortunio
	<b>ATTESA BENESTARE CQ</b>	Qualora si sia fermi a causa di materiale bloccato da CQ
	<b>ATTESA OPERATORE</b>	Gli operatori sono presenti nel turno ma non disponibili per lavorare sulla macchina (ad es. pause fisiologiche; spostamenti su altri impianti ecc...)
	<b>MANCANZA ORDINI/CARICO</b>	Quando la linea non ha carico di lavoro/ Ordini di processo
	<b>MANCANZA MATERIALE</b>	Quando mancano i materiali della distinta base e/o materiali di supporto (bobine, misurini, nylon, cartoni ecc.)
<b>TECNICHE</b>	<b>CARICO MATERIALE</b>	Travaso del silicone dai secchi alla campana, per l'immissione nella macchina
	<b>GUASTO MACCHINA TGM</b>	Guasti elettrici/meccanici/idraulici, attrezzi della confezionatrice TGM
	<b>MANCANZA UTENZE</b>	La macchina è ferma per mancanze utenze (non c'è corrente, macchina spenta per sbalzi tensione, mancanza aria compressa etc...)
	<b>MANUTENZIONE PIANIFICATA</b>	La macchina è ferma per manutenzione ordinaria pianificata (es. sostituzione gommini)
	<b>CAMBIO CONSUMABILE</b>	Tutte le attività che comportano il cambio di un consumabile
	<b>AVVIAMENTO/SPEGNIMENTO MACCHINA</b>	La macchina non produce pezzi per attività di avviamento impianto (es. riscaldare resistenze per colla, scarico/aspirazione, svuotamento linea a fine turno)
	<b>REGOLAZIONI E MESSA A PUNTO</b>	Dopo il set-up, fatti i primi pezzi buoni, la macchina è ferma per settaggi o pulizie o regolazioni ulteriori
	<b>SET-UP</b>	Il tempo che intercorre tra l'ultimo pezzo buono prodotto del lotto corrente al primo pezzo buono del lotto successivo.
<b>QUALITÀ</b>	<b>RILAVORAZIONI</b>	Campo calcolato dal software partendo dal numero di siringhe non conformi che vengono rilavorate. Devono essere dichiarate le buste scartate
	<b>SCARTI DI LAVORAZIONE</b>	Campo calcolato dal software partendo dal numero di siringhe non conformi scartate. Bisogna dichiarare il n° di buste non conformi gettate

Tabella 16 Causali dei fattori di perdita e categorie.

Discretizzando maggiormente il contenuto di ciascuna categoria e osservandole raggruppate e ordinate dalla maggiore alla minore, per quantitativo di ore, si possono cominciare ad analizzare selettivamente ciascuna causale.

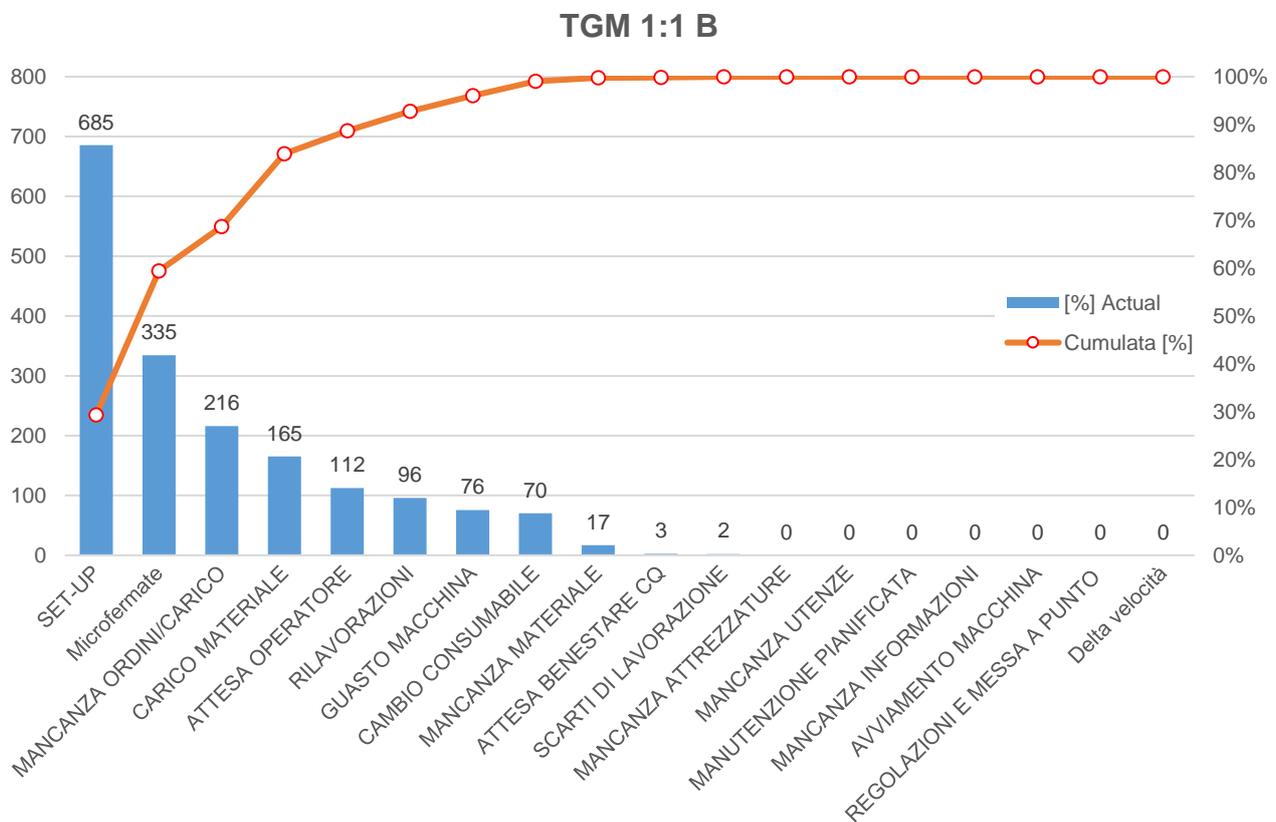
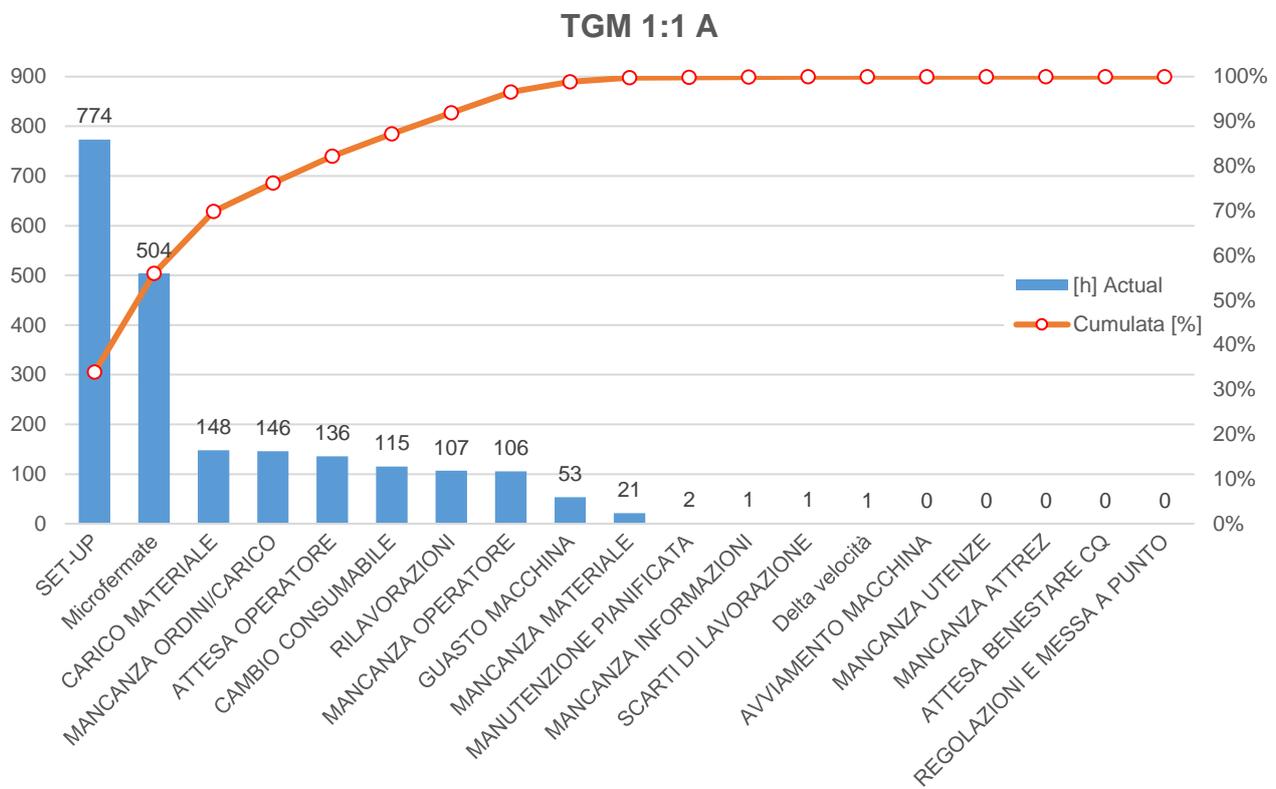


Figura 80 Suddivisione delle perdite e cumulata per ciascuna macchina.

Durante una riunione con il caporeparto, un operatore esperto della linea, i responsabili di manutenzione, pianificazione, produzione e Lean sono state decise delle azioni che fossero fattibili e condivise da tutti, associando un quantitativo di ore recuperabili e un responsabile che ne curasse lo svolgimento.

Per la TGM 1:1 A:

Perdite	Actual [h]	Actual [%]	Saving [h]	Saving [%]	Soluzioni / TASK	Responsabile
SET-UP	469,6	35,0%	160	34%	- Usare tutti i blocchi dosatori - Ausilio operatori da linee meno impegnate (Dosmarin) per eseguire parte del Setup	Manutenzione Caporeparto
MICRO FERMATE	310,6	23,1%	100	32%	- causa cartone vuoto - pieno: farlo fare da un operatore fuori dalla linea - con le presse non si dovrebbero più sistemare i prodotti a fine campana - cromatura / pulizia con alcool del vibratore	Operation Manager Caporeparto
CARICO MATERIALE	92,0	6,8%	92	100%	- presse	Manutenzione Manufacturing Office
RILAVORAZIONI	81,4	6,1%	20	25%	- Spugnette	Caporeparto e operatori di linea
CAMBIO CONSUMABILE	73,8	5,5%	73,8	100%	- etichettare i cartoni da qualcuno fuori linea	Manutenzione Manufacturing Office

Tabella 17 Perdite recuperabili e relative soluzioni per la TGM 1:1 A su un intervallo di 6 mesi.

Per la TGM 1:1 B:

Perdite	Actual [h]	Actual [%]	Saving [h]	Saving [%]	Soluzioni / TASK	Responsabile
SET-UP	428,7	30,1%	160	37%	- Usare tutti i blocchi dosatori - Ausilio operatori da linee meno impegnate (Dosmarin) per eseguire parte del Setup	Manutenzione Caporeparto
MICROFERMATE	224,7	15,8%	80	36%	- causa cartone vuoto - pieno: farlo fare da un operatore fuori dalla linea - con le presse non si dovrebbero più sistemare i prodotti a fine campana - cromatura / pulizia con alcool del vibratore	Operation Manager Caporeparto
CARICO MATERIALE	105,2	7,4%	105,2	100%	- presse	Manutenzione Manufacturing Office
RILAVORAZIONI	69,8	4,9%	20	29%	- Spugnette	Caporeparto e operatori di linea
CAMBIO CONSUMABILE	51,1	3,6%	51,1	100%	- etichettare i cartoni da qualcuno fuori linea	Manutenzione Manufacturing Office

Tabella 18 Perdite recuperabili e relative soluzioni per la TGM 1:1 B su un intervallo di 6 mesi.

## IMPROVEMENT

In questa riunione ci si è anche allineati su quelle azioni di miglioramento, derivanti dai Flash Meeting, che erano già in corso sulle due risorse. La principale è sicuramente il progetto di SMED per la riduzione dei tempi di Setup. Ad ottobre era già stata condotta un'analisi in merito al beneficio di un metodo alternativo con cui condurre il setup. La situazione AS IS prevede un tempo medio per il completo Setup (sia parte base che catalyst) di 250 minuti in media, causa

- Diverso tempo speso per pulire i pezzi della macchina che vanno a contatto con il prodotto precedente;
- L'operazione di carico del prodotto, tramite dei singoli secchi da 10 litri l'uno; il prodotto deve essere inserito in una tramoggia posta nella parte alta della macchina, raggiungibile solo tramite una scala a pioli pieghevole.

Lo studio eseguito dai colleghi nei mesi precedenti, ha evidenziato la necessità di cambiare il metodo di introduzione del prodotto in macchina, sfruttando due presse (una per parte, in un'unica struttura metallica) alimentate da bidoni dal volume di 100 litri. Questo riduce anche i tempi di travaso dopo il processo di miscelazione nel reparto precedente.

Il funzionamento di queste presse porterebbe:

- Al completo azzeramento delle perdite dovute al "*Carico materiale*", in quanto durante la lavorazione di un lotto di dimensioni medie, la macchina viene ricaricata almeno tre volte;
- Ad un aumento della sicurezza e dell'ergonomia della lavorazione, in quanto non è più previsto l'utilizzo della scala;
- Alla Diminuzione della presenza di bolle d'aria nelle siringhe confezionate, causate dalla fase di travaso dalle vasche in tanti secchi. Queste provocano una dosata sbagliata ed una correzione manuale da parte dell'operatore. La diminuzione dell'aria nelle siringhe dovrebbe portare alla riduzione della voce "*Rilavorazioni*".

Durante le riunioni per la definizione di un target OEE sulle due linee, è stata ipotizzata la possibilità di individuare un ulteriore operatore che potesse eseguire alcune attività secondarie che attualmente portano a forti rallentamenti della linea, generando un alto tempo di setup, "*Microfermate*" e "*Cambio consumabile*". Queste attività potrebbero essere:

- Pulizia dosatori;
- Pulizia campane;
- Pallettizzazione;
- Ricerca nel magazzino delle etichette per il lotto successivo;
- Etichettatura cartoni
- Pulizia dei coperchi dei secchi.

È stata presa in considerazione l'opzione di comprare dei pezzi alternativi della macchina, che siano dedicati ad una determinata famiglia di prodotti e la cui pulizia possa essere eseguita in OED, ovvero esternamente al setup.

Lato	Pezzo	Costo
CATA	Attacco tubo corrugato	€ 508,00
CATA	Corpo iniettore	€ 695,00
CATA	Ugello	€ 654,00
BASE	Attacco tubo corrugato	€ 508,00
BASE	Corpo iniettore	€ 695,00
BASE	Ugello	€ 654,00
TOTALE		€ 3.714,00

Tabella 19 Costi per creare dei blocchi dosatori dedicati.

Confrontandosi con gli operatori di linea e con i risultati delle precedenti analisi SMED, i setup sono stati suddivisi in tre categorie:

1. Cambio Lotto: passando da un lotto al successivo devono sempre essere eseguite una serie di azioni, come pallettizzazione finiti, etichettatura cartoni, ricerca etichette;
2. Cambio Base e Catalyst: se due lotti successivi sono diversi, nel colore e nella composizione, i condotti da cui passa il prodotto sono puliti a fondo;
3. Cambio Base: Catalyst resta molto simile al precedente ma il silicone Base ha una colorazione diverse, che rischia di contaminare il prodotto del lotto successivo, allora viene pulita a fondo solo la parte Base.

Si è cercato di analizzare quanto tempo l'operatore di linea, ormai esperto, potesse risparmiare se non dovesse affrontare queste operazioni:

Attività recuperabili	Durata [min]	Note
Pulizia 1 dosatore	20	
Pulizia 1 campana	18	
Pallettizzazione	8	
Etichettatura cartoni	12	
Pulizia coperchi secchi	8	solo Bite (solo TGM 2B)
Ricerca etichette lotto	10	

Tabella 20 Durata attività da esternalizzare al Setup.

Si è confrontata la situazione AS IS con quella TO BE:

#	Tipo	Durata AS IS [min]	Durata TO BE [min]	Risparmio [%]
C/B	Base+Catalyst	250	144	42%
B	solo Base	150	80	47%
L	Lotto	60	30	50%

Tabella 21 Confronto AS IS e TO BE nello SMED condotto.

Infine, si è cercato di capire quanti setup di un tipo sono stati realizzati nell'arco di un anno, in modo da avere una stima del recupero annuale: circa 700 ore in meno in un anno da destinare alla produzione.

Questo sarebbe realizzabile se spostasse un operatore da una linea meno carica.

In conclusione, con l'ausilio di nuovi parti della macchina, con delle presse che riducano il "carico materiale" e con un operatore a disposizione della linea si riuscirebbe a rientrare dei turni notturni e avere un margine produttività aggiunta, sfruttabile in un eventuale aumento dei volumi produttivi.

# AVVIAMENTO DEL FLASH MEETING ALLA PRESSA PER I SILICONI A CONDESAZIONE

La pressa è il collo di bottiglia del flusso produttivo dei siliconi a condensazione. La particolarità della linea è che per due siliconi, quelli prodotti in maggiore quantità, è possibile applicare una macchina automatica per il dosaggio ed il confezionamento.

Il primo passo è stato quello di istituire dei momenti di Flash Meeting per risolvere i problemi che avvengono in produzione, intensificando il dialogo tra gli operai e le varie figure che ne coordinano la produzione dagli uffici. I primi hanno esperienza diretta sull'ambiente produttivo, mentre il personale degli uffici ha una visione più ampia sulle dinamiche dello stabilimento. Questi momenti di confronto hanno una cadenza settimanale e una durata di 15 minuti; sono già attivi alle macchine TGM 1:1 ed alle macchine confezionatrici degli alginati.

Si è integrato il metodo di consuntivazione delle attività per l'analisi del KPI OEE, illustrato in precedenza, che fornisce un supporto numerico ai Flash Meeting e permette di discretizzare i fattori di perdita del processo.

Per questo scopo sono stati quindi forniti strumenti come computer e lettore di barcode per rilevare i dati utili all'OEE e lavagna magnetica per mostrare i grafici.

All'avvio di questo nuovo metodo si è ritenuta necessaria una fase di "training", in cui gli operatori a bordo linea hanno cominciato a familiarizzare con i nuovi strumenti, e si è potuto creare un piccolo "storico" di partenza per mappare l'AS IS iniziale del processo.

Si è notato come questi momenti siano diventati centrali per gli addetti e con la collaborazione di figure esperte si sono potuti evidenziare i problemi di linea ed individuarne le cause.

Alcuni dei problemi riscontrati sono state:

- Sbilanciamento della linea di assemblaggio manuale (argomento affrontato in seguito);
- Barattoli incastrati nella macchina automatica: poiché la causa era da attribuirsi all'impilamento operato dal fornitore e al metodo di trasporto, è stato contattato il fornitore per cercare una soluzione, come per esempio il cambio della tipologia di barattolo;
- Peso instabile durante il dosaggio: problema causato dalla temperatura del prodotto, ovvero dal tempo di attesa a cui sono sottoposte le vasche dopo la miscelazione. Sono stati ricercati dei valori di pressione correlati al tempo di attesa della vasca e alla sua temperatura;
- Presenza di aria nelle vasche: è stato individuato il problema nella chiusura della bocca inferiore della vasca, che è stata sostituita;
- Macchina automatica sporca: è stata richiesta una pulizia approfondita da parte della manutenzione, ripetendola ogni 6 mesi.

Si riporta l'andamento dell'OEE da inizio febbraio a fine settembre. Si può notare come la linea di tendenza, calcolata come retta di regressione lineare, abbia un trend crescente. Inizialmente il valore era molto instabile ma dalla settimana 28, dopo il rientro dalle ferie estive, la variabilità si sia ridotta.

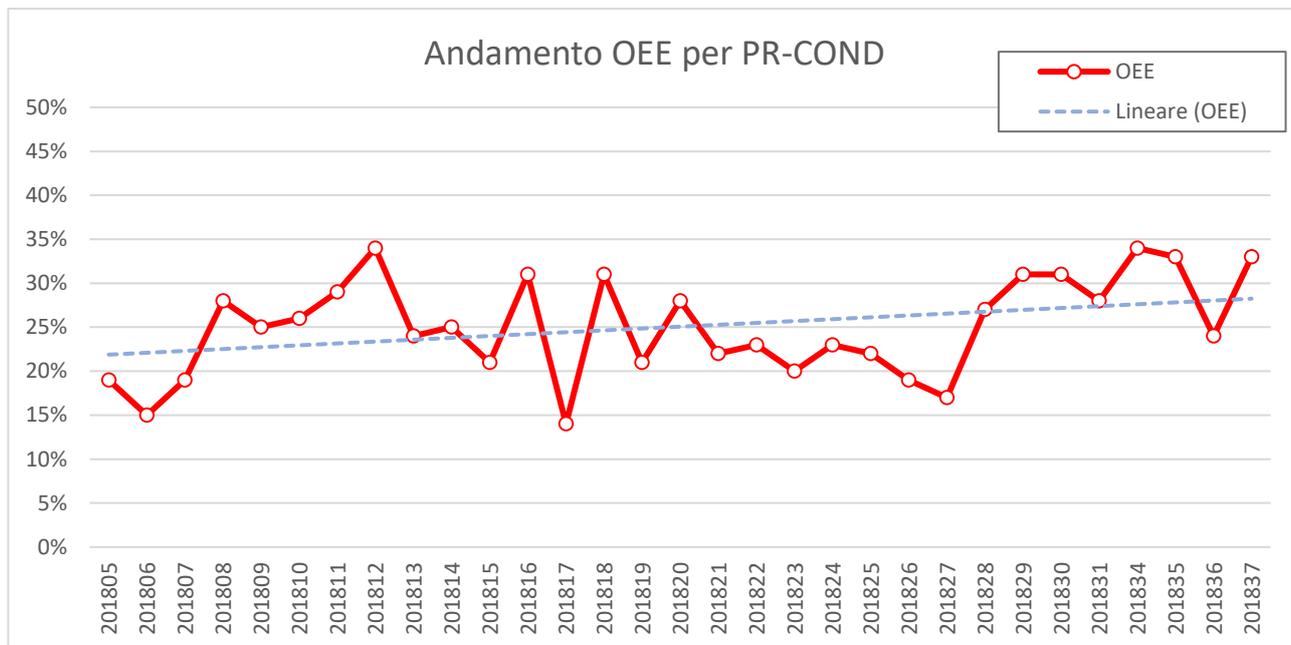


Figura 81 Andamento dell'OEE e retta di regressione lineare per la pressa dei siliconi a condensazione.

# RIBILANCIAMENTO LINEA ASSEMBLAGGIO

Durante il periodo di analisi per la collezione dei tempi ciclo alla pressa, si è notato che la linea di assemblaggio manuale, dall'estrusione alla pallettizzazione, non ha delle attività ben regolate.

La linea provvede a:

1. Inserire il materiale estruso nel barattolo tramite la pressa a ponte;
2. Comporre il "kit" del prodotto finale;
3. Inscatolare e pallettizzare i prodotti finiti.

Per effettuare queste tre operazioni servono tre addetti.

Il primo posiziona il barattolo sotto l'ugello di uscita della pressa, taglia tramite una paletta la pasta siliconica all'interno del barattolo e lo porta su di un tavolo da lavoro. I barattoli hanno un peso ed una dimensione molto variabile: si passa da 300 gr estrusi in piccoli contenitori a 25 kg introdotti in secchi.

Il secondo operaio provvede ad appiattare il materiale con un apposito strumento ed inserisce il kit. Il kit di oggetti da inserire varia in base al prodotto che si vuole confezionare. Gli elementi che con maggior frequenza vengono inseriti sono: tappo, sotto-tappo, misurino con bugiardino, solo bugiardino e scatola per il singolo barattolo.

Il terzo operaio è addetto ad inserire il prodotto nelle scatole ed alla pallettizzazione.

Ogni operaio provvede al reintegro delle scorte del consumabile che sta utilizzando.

Da un'osservazione diretta in azienda del processo, risulta evidente come si accumulasse del lavoro, WIP, tra una postazione e la seguente per via di velocità diverse di esecuzione. Viene a formarsi un buffer di lavoro arretrato tra le tre postazioni che ruba spazio alle operazioni. Un operatore deve quindi fermare il proprio lavoro, disporre i barattoli in pile e aiutare il collega in difficoltà.

Si è ipotizzato che la linea di assemblaggio potesse essere fortemente sbilanciata e si è deciso di prendere i tempi di esecuzione delle varie operazioni e di usare la Yamazumi chart per ipotizzare un ribilanciamento corretto, al fine di migliorare il metodo di lavoro degli addetti alla linea.

Siccome i prodotti processati dalla pressa sono 72, si è effettuata un'analisi ABC per individuare i più importanti da analizzare.

Questo tipo di analisi suddivide gli oggetti in esame in tre categorie:

- A: Valori cumulati da 0% a 80%, solitamente il 20% degli elementi;
- B: Valori cumulati da 80% a 95%, solitamente il 35% degli elementi;
- C: Valori cumulati da 95% a 100%, solitamente il 45% degli elementi;

Si sono considerati i valori che soddisfano la legge di Pareto dell'80-20. nell'arco di un anno:

- Numero di ordini di processo lavorati, che equivalgono al numero di vasche;
- Peso netto lavorato;
- Numero di pezzi;
- Tempo totale di produzione del codice.

Tabella 22 Esempio di analisi ABC condotta.

Prodotto	Ordini di Processo		Quantità pezzi [pz]		Quantità peso netto [kg]		Tempo ciclo totale produzione [h]	
	% Ordini processati	ABC OdP	% Q.tà	ABC Q.tà pezzi	% Peso netto	ABC Peso netto	% T.c prod	ABC Tempo
H110000	39,5%	A	57,8%	A	46,9%	A	31%	A
C400798	10,9%	A	3,9%	A	10,4%	A	11%	A
C400804	8,6%	A	1,6%	B	8,5%	A	19%	A
C400790	3,1%	A	2,7%	B	3,7%	A	5%	A
C400811	3,1%	A	1,4%	B	3,7%	A	4%	A
C400791	2,4%	A	6,1%	A	2,9%	A	2%	A
H110002	2,2%	A	3,4%	A	2,7%	A	1%	B
A601520	2,0%	A	2,5%	B	2,0%	A	1%	B
H110008	1,5%	A	3,5%	A	1,8%	B	1%	A
H110001	1,3%	A	1,5%	B	1,2%	B	1%	B
C100468	1,1%	A	0,2%	C	1,2%	B	1%	B
H110005	1,1%	A	1,5%	B	1,1%	B	1%	B
H100091	1,2%	A	6,3%	A	1,1%	B	0%	C

Si è deciso di considerare quei codici che avevano almeno 2 valori di categoria A e sono così stati selezionati 10 prodotti.

Sono stati presi i tempi delle attività prevista nella linea di assemblaggio e si sono costruite due Yamazumi chart per ciascuno di questi articoli, una rappresentativa della situazione AS IS di partenza ed una per la situazione obiettivo TO BE.

- A. vasetti vuoti nel cartone
- B. coperchi nuovi nel cartone
- C. scatole nuove nel cartone
- D. cartoni nuovi sul pallet
- E. bilancia
- F. transpallet e pallet per cartoni finiti

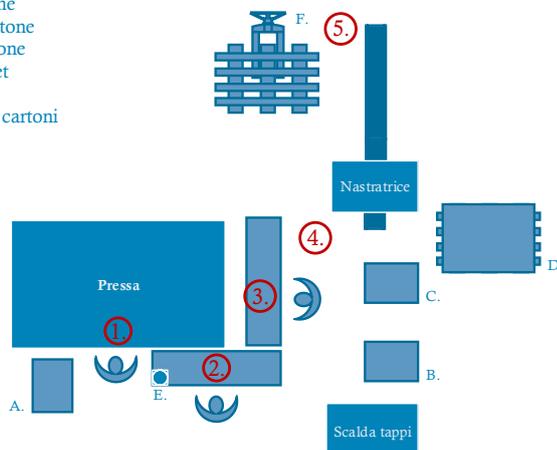


Figura 82 Esempio di layout della linea di assemblaggio alla pressa per i siliconi a condensazione.

Nell'esempio riportato di seguito si può notare ci sia una grossa differenza tra i primi due operatori ed il terzo. Inevitabilmente si verrà a creare un wip di prodotti tra la seconda e la terza postazione.

AS IS	Dosaggio	Appiattim.	Misurino	Coperchio	Chiusura cop	Apertura cartone	Inserimento	Chiusura	Pallett.	TOT
op1	17,3									17,3
op2		6,5	2	2,1	6,6					17,2
op3						11,60	4,8	3,8	8,84	29,0

Tabella 24 Dati per Yamazumi chart AS IS.

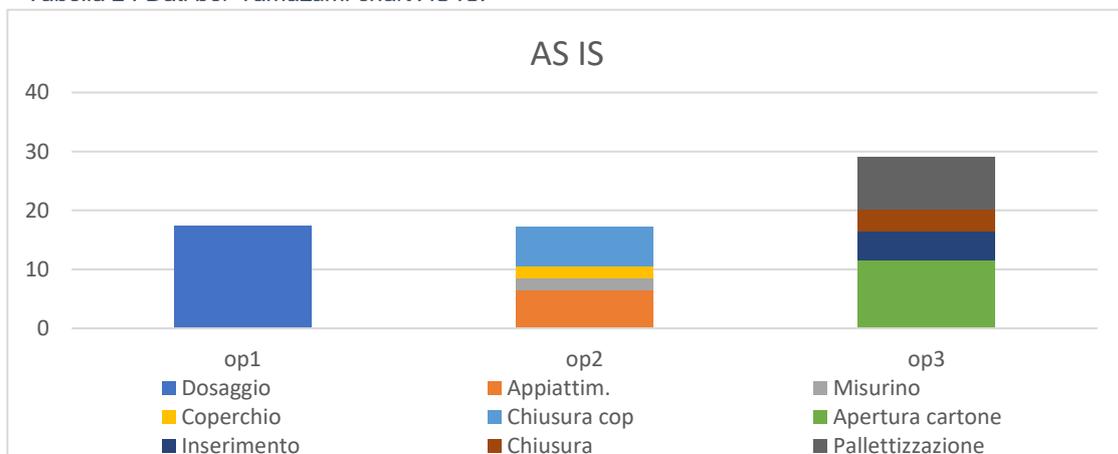


Figura 84 Yamazumi chart AS IS.

TO BE	Dosaggio	Appiattim.	Misurino	Coperchio	Chiusura cop	Apertura cartone	Inserimento	Chiusura	Pallett.	TOT
op1	17,3	3,3								20,6
op2			2	2,1		11,60	4,8			20,5
op3					6,6			3,8	8,84	19,2

Tabella 24 Dati per Yamazumi chart TO BE.

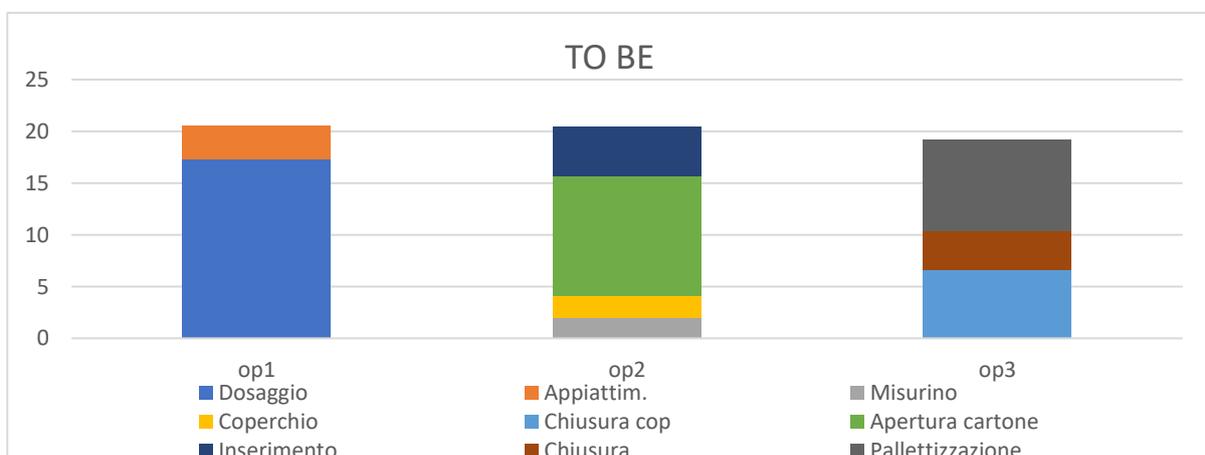


Figura 84 Yamazumi chart TO BE

Nell'affrontare la situazione TO BE si è cercato di ipotizzare postazioni di lavoro successive con tempi totali decrescenti. In questo modo risulta più difficile la formazione di una coda di prodotti in attesa.

In questo esempio sono state ridistribuite le attività tra le tre postazioni tramite prove ed intuizioni e si è considerato un tempo di pareggio del materiale inferiore se l'azione venisse eseguita direttamente dal primo operatore della linea.

L'ordine di produzione esaminato è composto da un lotto di 130 pezzi ed attualmente viene impiegato un tempo medio di 65 minuti.

Per questo esempio sono sarebbe possibile recuperare 8,4 secondi per ogni pezzo prodotto, recuperando circa 19 minuti per la produzione di un singolo lotto.

Se ipotizziamo che le produzioni degli anni a venire rimangano costanti, sarebbe possibile recuperare circa 42 ore di produzione per anno per questo singolo articolo. Se consideriamo le tre risorse uomo impiegate si avrebbero a disposizione 126 ore da spendere in altre attività o per evitare il turno notturno.

Per il totale dei prodotti analizzati sarebbe possibile risparmiare 190 ore per ognuno dei tre addetti alla linea, in tutto 570 ore di risorsa uomo all'anno, analizzando solo i 10 prodotti più importanti.

Queste operazioni richiedono piccoli investimenti in formazione degli operatori ed alcune migliorie tecniche, quali:

- Spostare i comandi della pressa in una posizione più comoda all'operatore che dosa il materiale;
- Un nastro trasportatore per aiutare il primo operatore a spostare i barattoli;
- Un manipolatore ad azzeramento del peso, per diminuire la fatica fisica dell'addetto alla pallettizzazione.

# VALUTAZIONI ECONOMICHE

Sono stati infine calcolati il costo ed il tempo di recupero economico degli investimenti effettuati.

Gli investimenti che l'azienda in parte ha già sostenuto e per il resto sta valutando, consistono in:

- Due computer, due lettori di bar-code e due lavagne per i Flash Meeting alla pressa per i siliconi a condensazione per quella dei siliconi ad addizione;
- Un sollevatore di bobine e accorgimenti tecnici minori per il target OEE nel reparto Alginati;
- La duplicazione dei blocchi dosatori per il target OEE nel reparto Confezionamento;
- L'introduzione delle 5S nel reparto Siliconi, dove saranno necessari carrellini e duplicazione di attrezzi utili;

I recuperi, valutati in tempo (minuti), sono stati confrontati con il tempo riconquistato durante il turno di un operatore e trasformati in costo, come recupero della forza lavoro di un operatore.

Tabella 25 Valori usati per le valutazioni economiche.

<b>Costo di 1 operaio all'anno</b>	30000,00 €
<b>Costo di 1 operaio alla settimana</b>	652,17 €
<b>Opening Time settimana 1 turno</b>	39 h
<b>Interesse i</b>	3%

Si è così calcolato il Net Present Value, NPV (o Valore Attuale Netto, VAN):

$$NPV = -C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (31)$$

dove  $C_0$  rappresenta l'investimento iniziale e  $C_t$  i ricavi nel t-esimo periodo, ovvero i nostri recuperi.

Il valore che si ottiene non è altro che la differenza dei flussi di cassa futuri, attualizzati ad oggi ed i costi sostenuti per sviluppare l'investimento.

L'NPV è stato sfruttato per ricavare il Pay Back Time, PBT. Il Pay Back Time, o Tempo di Recupero o Time to Recovery, è il numero di anni affinché i flussi di cassa cumulati previsti eguagliano l'investimento iniziale, ovvero quando  $NPV > 0$ .

## NPV

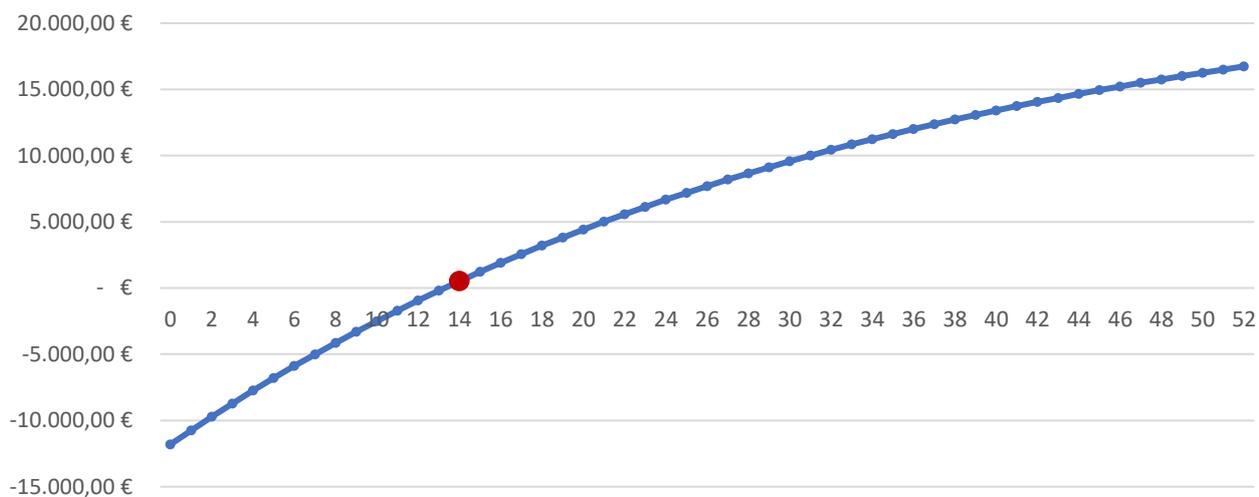


Figura 85 Net Positive Value, Valore Attuale Netto.

Si sono utilizzati dati economici derivati una stima teorica, basata su cifre comunemente ritenute standard all'interno di un'azienda. Per motivi di riservatezza non è stato possibile mostrare i dati reali.

Il risultato di un recupero per le azioni intraprese pari a 63 ore alla settimana consentirebbe il pareggio economico delle spese effettuate in 14 settimane.

# CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dallo studio, relativi al miglioramento della produttività, sono stati interessanti e, in parte, inattesi.

Dopo sei mesi dall'applicazione di questo metodo sulle macchine sottoposte alla sperimentazione:

per ICA2 si è passati da 53% a 56% per valori medi di un mese;

per ICA1 si è passati da 34% a 44% per valori medi di un mese;

per TGM 1:1 A si è passati da 38% a 42% per valori medi di un mese;

per TGM 1:1 B si è passati da 37% a 42% per valori medi di un mese.

Le operazioni effettuate e le migliorie ipotizzate consentirebbero di recuperare 3000 ore di risorsa uomo nell'arco di un anno di apertura impianto. Questo darebbe vantaggio sia all'azienda, che è impossibilitata ad assumere ulteriore forza lavoro, che agli addetti, che potrebbero raggiungere l'obiettivo di chiusura del terzo turno notturno.

La possibilità di recuperare 12 ore di lavoro giornaliero mediante azioni semplici con un PBT di sole 14 settimane è stata una conclusione inattesa.

Importante e gratificante è stata anche la soddisfazione rilevata tra gli operai di linea per questa nuova mentalità *Lean*. L'entusiasmo percepito e dichiarato è segno di essere riusciti a trasmettere il concetto che qualcosa in meglio stia cambiando per loro e che non si è voluto lavorare nell'esclusivo interesse aziendale.

Dal punto di vista strettamente personale, il progetto di tesi svolto durante il periodo in azienda mi ha permesso di entrare nell'ottica del mondo del lavoro di una realtà aziendale complessa come quella della Zhermack S.p.A., approfondendo le conoscenze teoriche e tecniche degli strumenti della Lean Manufacturing.

Ho affrontato temi che mi hanno permesso di mettere in pratica le competenze acquisite durante gli studi (Value Stream Map, SMED, Problem Solving durante i Flash Meeting, Yamazumi chart, OEE)

Inoltre, è stato molto interessante avere la possibilità di creare un modello matematico e pratico per il target di un KPI, che sia ripetibile anche in ulteriori campi applicativi e limiti la possibilità di variabili decisionali soggettive.

Tengo a sottolineare la gratificazione personale per i risultati ottenuti, a vantaggio sia della direzione aziendale che degli operai che quotidianamente ci lavorano.

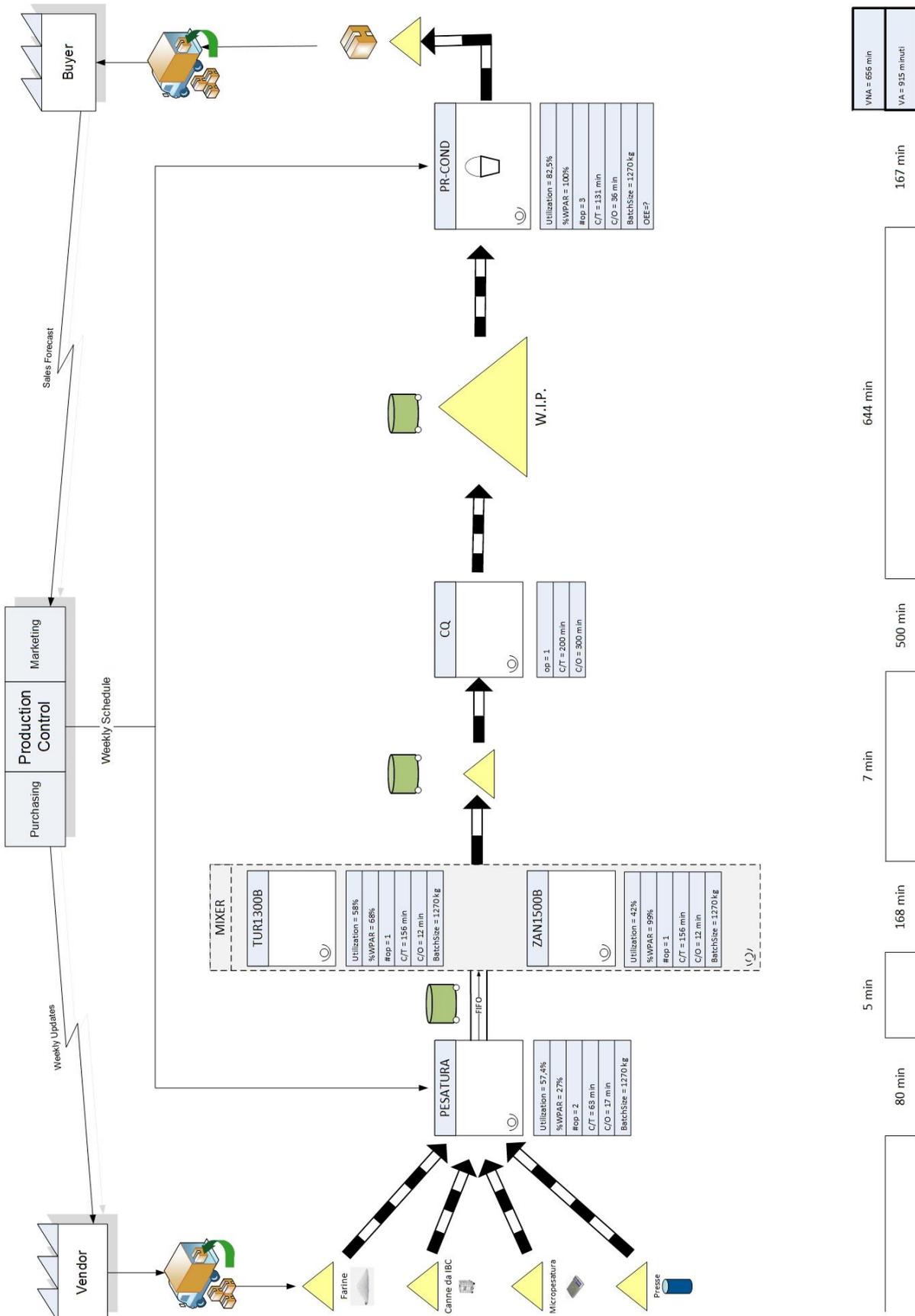
Questo progetto mi ha fatto comprendere quanto tutto quello studiato nel mio percorso formativo sia reale ed applicabile in tutti i contesti e quanto la complessità aziendale, anche in una realtà aziendale di medie/grandi dimensioni come quella della Zhermack S.p.A., sia una continua sfida.

## BIBLIOGRAFIA

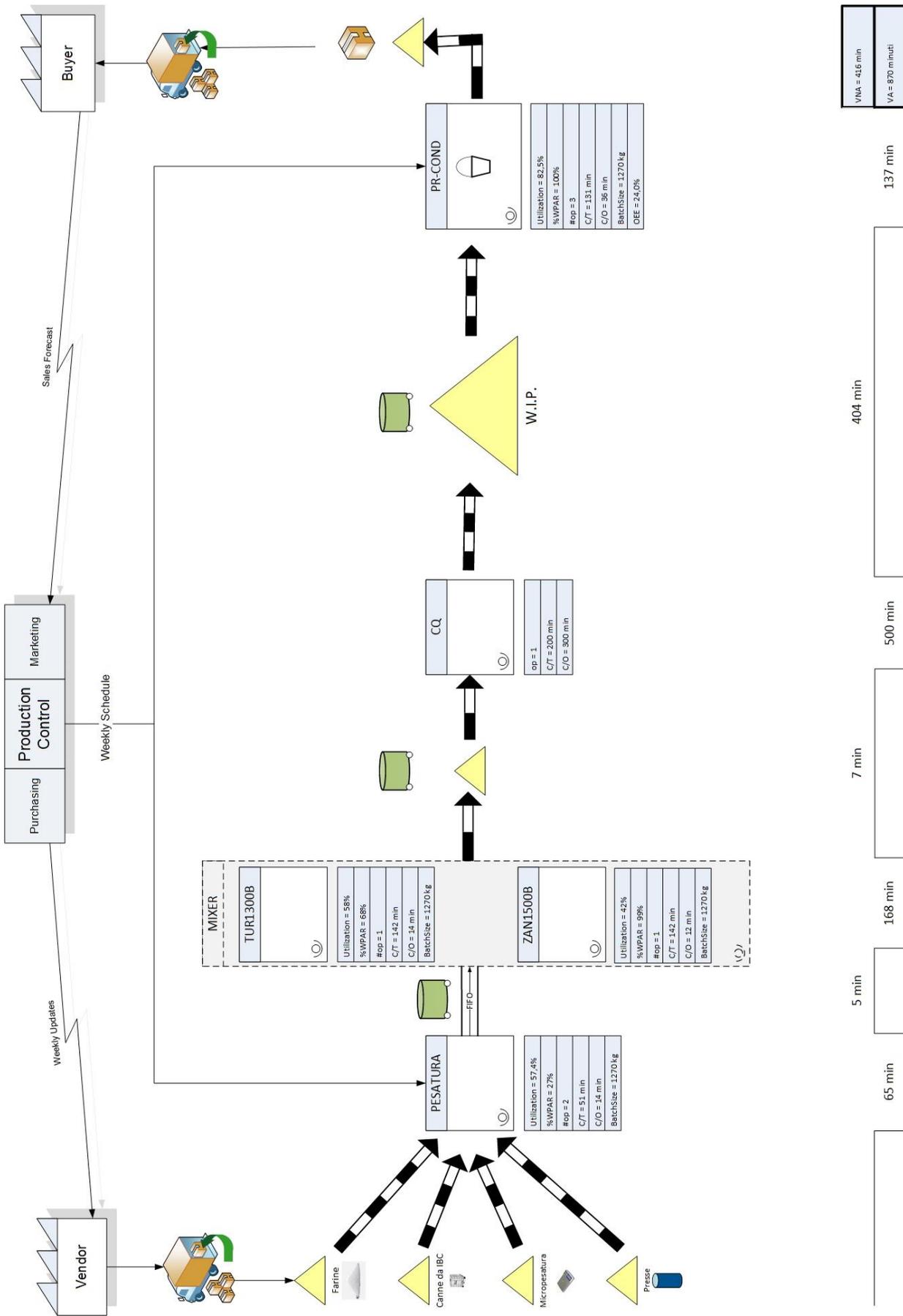
- [1] J. Black e S. Hunter, *Lean Manufacturing System and Cell Design*.
- [2] J. Womack, D. Jones e D. Roos, *The machine that changed the world*.
- [3] C. Mora, *Introduzione alla Lean Manufacturing (appunti per studenti)*, Bologna, 2017.
- [4] «Principi,» Bonfiglioli Consulting Srl, 2016. [Online]. Available: <https://www.leanthinking.it/cosa-e-il-lean-thinking/principi/>.
- [5] «VISUAL MANAGEMENT E 5S,» ARGO Consult S.r.l., [Online]. Available: <http://www.argoconsult.it/it/tecniche-di-visual-management-produzione.html>.
- [6] D. Carbone, «L'evoluzione del visual management,» [Online]. Available: <https://mynext.it/2017/06/levoluzione-del-visual-management/>.
- [7] «Il Visual Management come strumento di supporto alla gestione dei processi,» MAS Management Network, 2012. [Online]. Available: <http://www.mas.mn/il-visual-management-come-strumento-di-supporto-alla-gestione-dei-processi/>.
- [8] M. Rother e J. Shook, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*, Brookline, Massachusetts, USA: Lean Enterprise Institute, 1 feb 1999.
- [9] J. D. Little e S. C. Graves, «Little's Law,» in *Building Intuition: Insights From Basic Operations Management Models and Principles*, Springer US, 2008.
- [10] W. Hopp e M. Spearman, *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, New York: Irwin/McGraw Hill, 2000.
- [11] D. Bakardzhiev, «Project planning using Little's Law,» 2015. [Online]. Available: [https://c.ymcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/collection/1FA98C06-7598-44DC-B57E-B74C6A97A3B4/Bakardzhiev,\\_Dimitar\\_abstract.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/collection/1FA98C06-7598-44DC-B57E-B74C6A97A3B4/Bakardzhiev,_Dimitar_abstract.pdf).
- [12] «What is the Yamazumi Chart ?,» [Online]. Available: <http://www.leanlab.name/what-is-the-yamazumi-chart>.
- [13] A. J. De Ron e J. E. Rooda, «OEE and equipment effectiveness: an evaluation,» *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 23, pp. 4987-5003, 01 Dicembre 2006.
- [14] «SMED (Single-Minute Exchange of Dies),» Vorne Industries Inc, [Online]. Available: <https://www.leanproduction.com/smed.html>.
- [15] G. De Micheli, *Project Management (appunti per studenti)*, Milano, 2014.
- [16] Zhermack S.p.a., Febbraio 2018. [Online]. Available: [www.zhermack.com/it/](http://www.zhermack.com/it/).
- [17] S. C. Italiana. [Online]. Available: <https://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/>.

[18] APICS, APICS Dictionary The essential supply chain reference, Chicago, 2013.

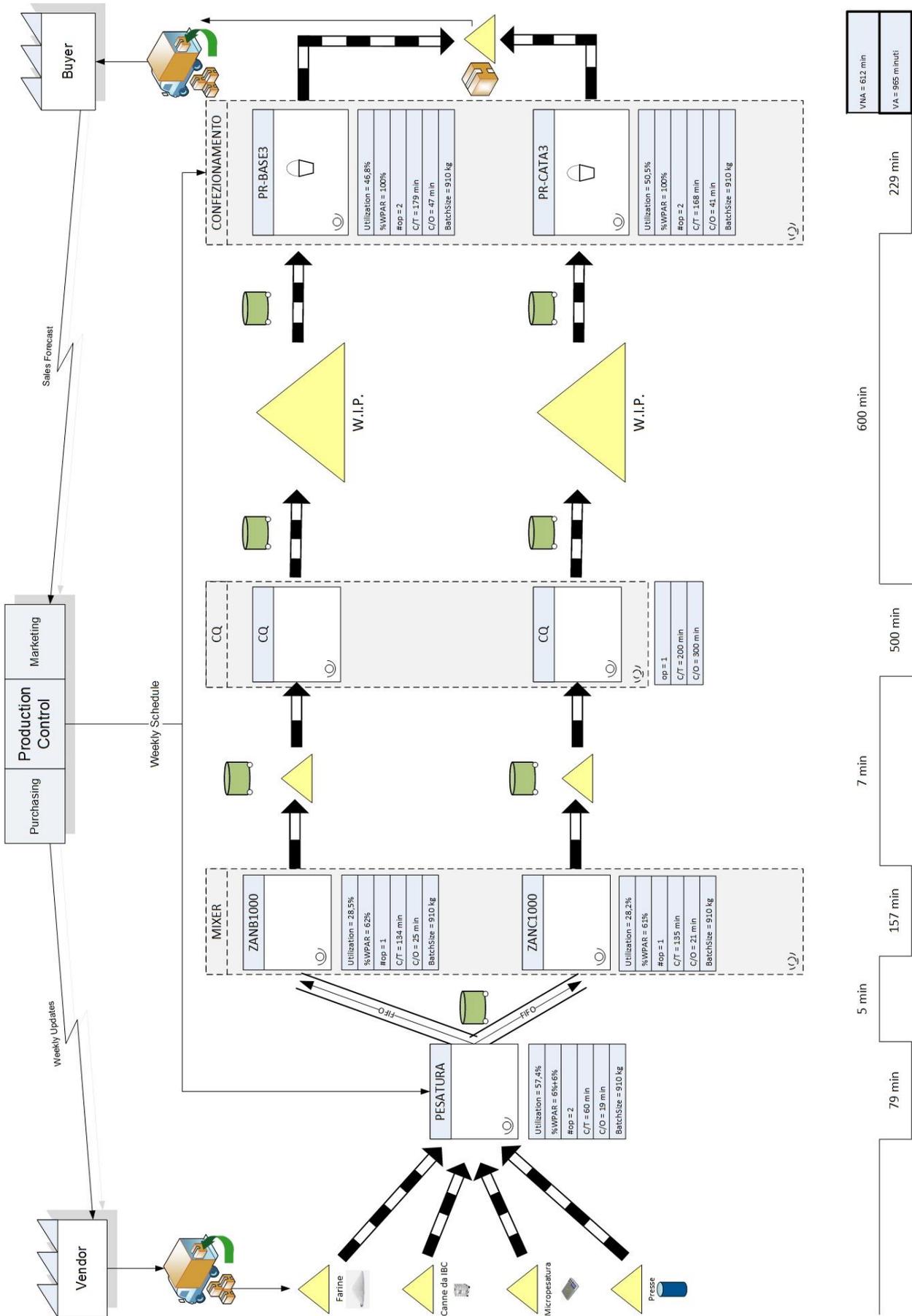
# ALLEGATI



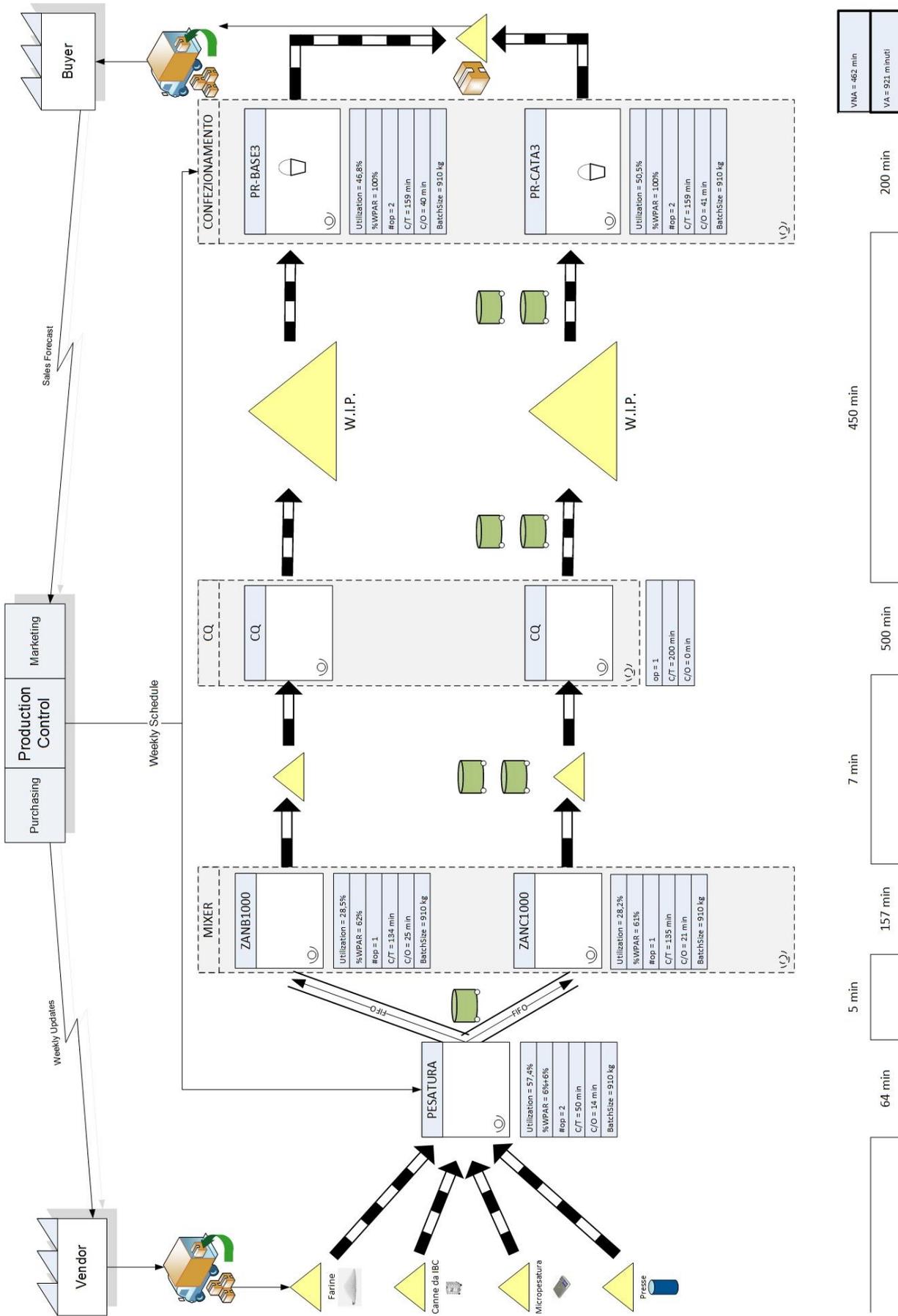
Allegato 1 Current State Map per i siliconi a condensazione.



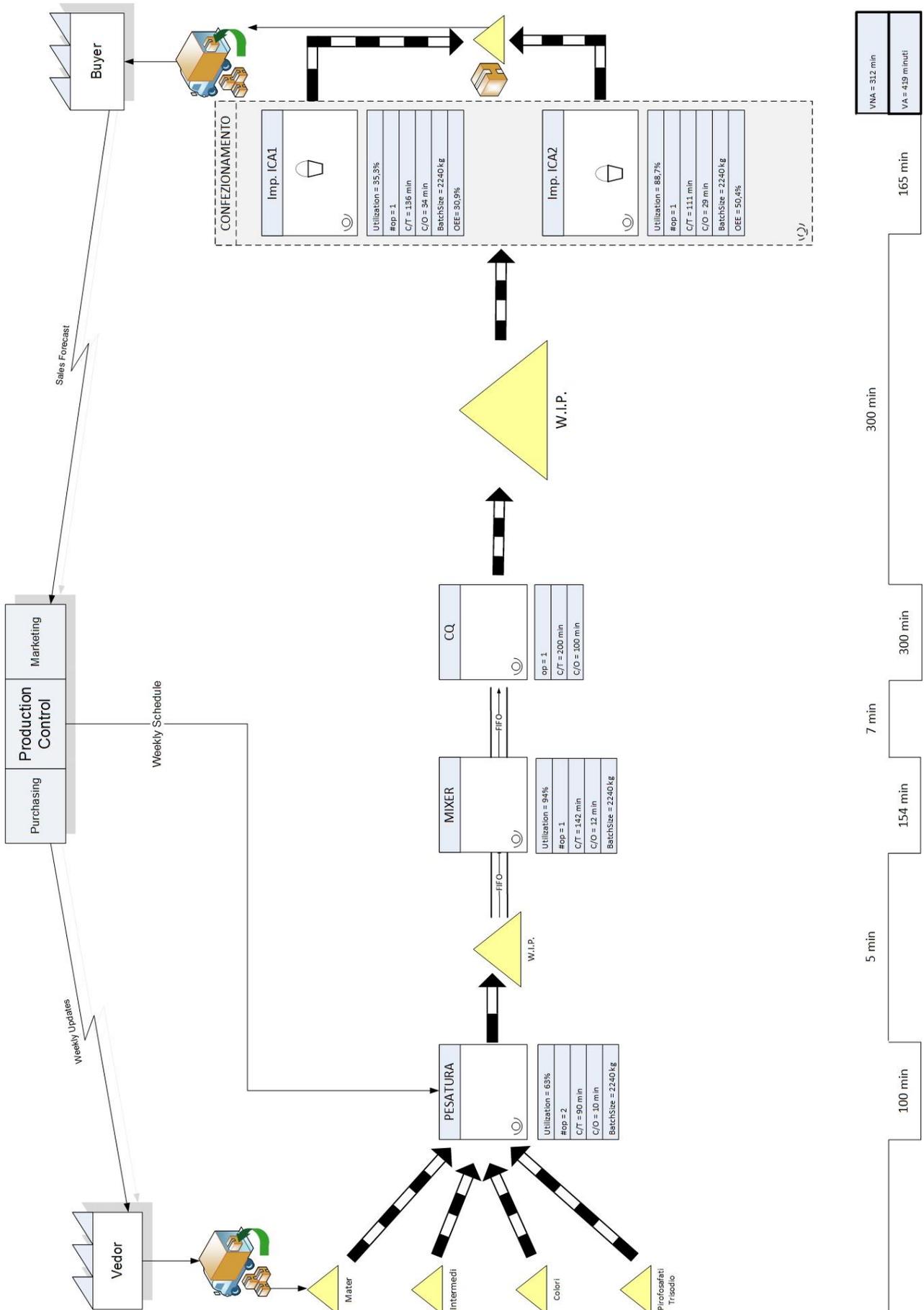
Allegato 2 Future State Map per i siliconi a condensazione.



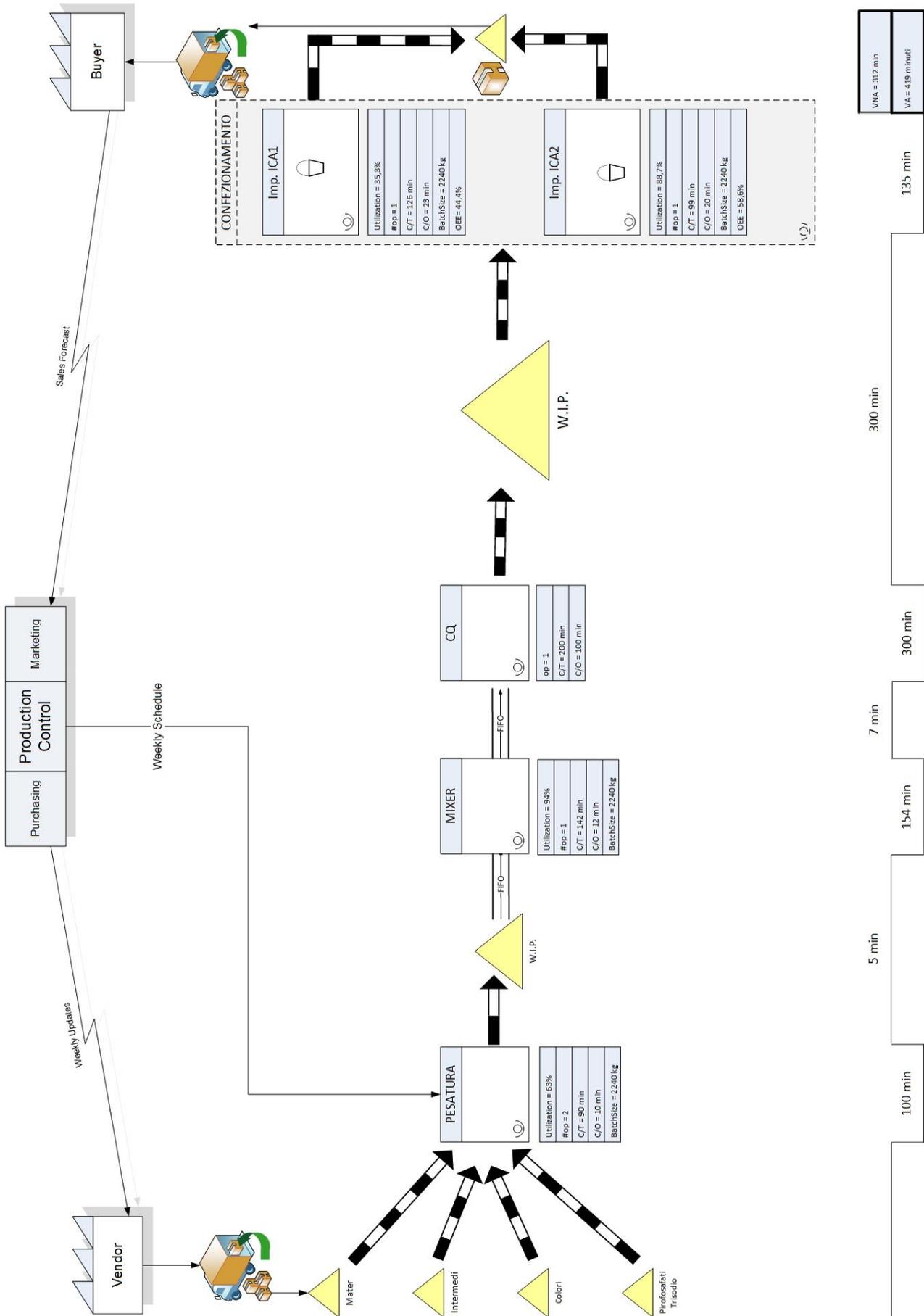
Allegato 3 Current State Map per i siliconi ad addizione.



Allegato 4 Future State Map per i siliconi ad addizione.



Allegato 5 Current State Map per gli alginati.



Allegato 6 Future State Map per gli alginati.