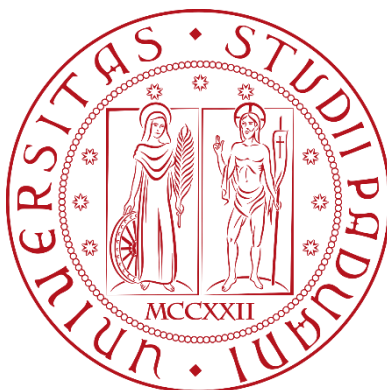




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

*Riduzione del tempo di attrezzaggio mediante la
metodologia SMED. Il caso studio di una linea di
estrusione di tubi in PVC in FITT S.p.A.*

Relatore

Ch. mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureanda

Chiara De Zorzi

Correlatore

Ing. David Chiodo

Anno Accademico 2021-2022

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare innanzitutto il Professor Panizzolo, per essere stato un fondamentale punto di riferimento per la nascita e il completamento di questo lavoro.

Un sincero ringraziamento a tutta FITT S.p.A. per avermi permesso di svolgere quest'esperienza di apprendimento e crescita personale, e per avermi fatto sentire parte di un gruppo.

Un particolare e sentito ringraziamento al mio tutor aziendale David, per la fiducia, la disponibilità e per tutti i consigli a suo dire “non richiesti” a cui, al contrario, ho dato sempre profondo valore.

Ringrazio la mia famiglia per il sostegno e l'amore incondizionato che mi ha dato non soltanto negli ultimi mesi ma in qualsiasi circostanza della vita, spingendomi sempre a seguire il cuore nel costruire il mio futuro.

Ringrazio Riccardo, per essere stato il mio punto fermo tutte le volte in cui vacillavo, per avermi aiutato a credere nel mio valore e per innumerevoli altri motivi a cui poche righe non potrebbero dare il giusto valore, per me incalcolabile.

Un ringraziamento agli amici di sempre, per essere ancora qui dopo tutti questi anni, e ai nuovi incontri lungo il percorso, per aver saputo accogliere la mia persona.

SOMMARIO

Nel mondo contemporaneo, caratterizzato da una domanda diversificata, la grande sfida per molte aziende sta nell'essere sempre più flessibili, sostenendo una produzione con elevata varietà e bassi volumi. Il problema per chi intraprende questa strada diventa la gestione di piccoli lotti e frequenti setup. Dato che questi ultimi, soprattutto in campo manifatturiero, richiedono un tempo considerevole, agli anni è risultato necessario individuare strategie per mitigarne l'impatto sull'efficienza produttiva. In passato la strada più comune consisteva nell'aumentare la dimensione dei lotti, ma oggi questa va in contrasto con le nuove esigenze. In contrapposizione a tale strategia, il sistema di produzione snella offre una metodologia che, per ottenere il medesimo obiettivo, va ad agire sul setup anziché sulla dimensione dei lotti di produzione: si tratta dello SMED (Single Minute Exchange of Die). Il focus di questa tecnica sta nel ridurre drasticamente la durata del setup, lavorando sul metodo di lavoro, sulle attrezzature e sull'eliminazione degli sprechi.

Il presente elaborato si occupa di fornire una panoramica sui principi fondanti e sulle principali tecniche della lean production, per poi scendere nel dettaglio della metodologia SMED. In particolare, viene presentato il caso studio applicativo al cambio lavorazione di una linea di estrusione di tubi in PVC realizzato presso l'azienda FITT S.p.A.

Il caso studio si articola su un progetto costituito da più fasi, le quali consistono in una fase preliminare, fondamentale e imprescindibile, di analisi della situazione di partenza, una prima fase focalizzata sull'uomo, ovvero sui metodi di lavoro e sull'organizzazione degli spazi, e una seconda fase focalizzata sulla macchina, attraverso l'introduzione di nuovi sistemi di fissaggio e nuovi strumenti. Tutto questo ha permesso, in primo luogo, di dimezzare il tempo di fermo macchina, in secondo luogo di introdurre il *lean thinking* nel lavoro di tutti i giorni, ponendo le basi su cui costruire in futuro, e infine di avviare un processo di valorizzazione delle persone, delle idee e del lavoro di squadra.

Questi risultati permettono di dimostrare come le tecniche *lean* siano adattabili ai più svariati contesti e permettano di ottenere grandi benefici con investimenti minimi, grazie all'importanza che viene data, prima di tutto, alle persone, alla distinzione tra valore e spreco e al principio del miglioramento continuo.

INDICE

Sommario	I
1. Introduzione.....	1
2. Lean thinking.....	5
2.1 Il Toyota Production System come contrapposizione alla produzione di massa	6
2.1.1 La produzione	6
2.1.2 Il rapporto con il personale.....	8
2.1.3 Il rapporto con i fornitori	9
2.1.4 Il rapporto con i clienti	10
2.2 I cinque principi del lean thinking	11
2.3 Definire il valore.....	13
2.3.1 Le tipologie di spreco	14
2.4 Identificare il flusso del valore	18
2.4.1 Value Stream Mapping (VSM).....	18
2.5 Far scorrere il flusso	20
2.5.1 Il concetto di takt time	21
2.5.2 I vantaggi del one piece flow.....	21
2.5.3 Strumenti per far scorrere il flusso	22
2.6 Implementare un sistema <i>pull</i>	25
2.6.1 Il <i>just-in-time</i>	25
2.6.2 La classificazione dei sistemi <i>pull</i>	26
2.6.3 Il processo <i>pacemaker</i>	29
2.6.4 Heijunka	29
2.7 Ricercare la perfezione	31
2.7.1 <i>Kaizen</i> e <i>kaikaku</i>	31
2.7.2 Il ciclo di Deming o PDCA	33

2.7.3	L'importanza dello standard.....	36
3.	Lo SMED.....	39
3.1	Che cosa si intende per setup	40
3.1.1	Il costo del setup	41
3.2	L'impatto del setup sull'efficienza produttiva.....	42
3.2.1	OEE (<i>Overall Equipment Effectiveness</i>)	42
3.3	Metodi tradizionali per il miglioramento dei setup	45
3.3.1	Strategie incentrate sulla specializzazione degli operatori	46
3.3.2	Strategie incentrate sull'aumento della dimensione dei lotti.....	46
3.3.3	Strategie basate sul lotto economico	47
3.3.4	I vantaggi della metodologia SMED	49
3.4	La nascita dello SMED	49
3.5	Gli stadi dello SMED.....	51
3.5.1	Stadio preliminare	52
3.5.2	Stadio 1: separazione di IED e OED	53
3.5.3	Stadio 2: conversione di IED in OED	55
3.5.4	Stadio 3: snellire tutti gli aspetti di setup	57
3.5.5	Sistemi di fissaggio funzionali	58
3.6	Consigli per uno SMED di successo.....	63
4.	Introduzione al caso FITT S.p.A.	65
4.1	Il gruppo FITT	65
4.1.1	Le sedi	66
4.1.2	Le cifre.....	67
4.1.3	I clienti.....	68
4.1.4	Le aree di business.....	69
4.1.5	Certificazioni di prodotto e di sistema.....	71

4.1.6	Il tema della sostenibilità.....	72
4.2	Il plant di Fara Vicentino	73
4.2.1	Le materie prime.....	74
4.2.2	I reparti	83
4.2.3	Reparto PVC rigido	86
4.2.4	Il reparto granulatore	92
4.2.5	Il reparto PE.....	93
5.	Il caso studio di una linea di estrusione di tubi in PVC - analisi della situazione iniziale	95
5.1	Nascita del progetto SMED	95
5.1.1	La linea pilota	96
5.1.2	Il team di progetto	98
5.2	Analisi della situazione iniziale	99
5.2.1	Classificazione delle tipologie di cambio.....	99
5.2.2	Scelta del cambio di riferimento.....	101
5.2.3	Il cambio diametro con cambio testa di estrusione	103
5.2.4	Raccolta dei tempi	112
5.2.5	Individuazione dei muda	114
5.2.6	Schematizzazione del ciclo di riferimento.....	120
6.	Il caso studio di una linea di estrusione di tubi in PVC – implementazione dello SMED	125
6.1	Adattamento delle fasi SMED	126
6.2	Step 1 - riorganizzazione del metodo di lavoro	127
6.2.1	Separazione tra IED e OED.....	127
6.2.2	Preparazione anticipata delle condizioni operative	131
6.2.3	Parallelizzazione delle attività	132

6.2.4	Utilizzo di checklist	138
6.2.5	Riorganizzazione dell'area di setup.....	141
6.2.6	Risultati del primo step.....	144
6.3	Step 2 – miglioramento di strumenti e attrezzature	146
6.3.1	Brainstorming	146
6.3.2	Sistemi di fissaggio funzionali	150
6.3.3	Altri miglioramenti tecnici	155
6.3.4	Miglioramenti futuri	159
7.	Risultati e sviluppi futuri	165
7.1	Risultati.....	165
7.1.1	Saving primo step	166
7.1.2	Saving secondo step	170
7.1.3	Ciclo standard di riferimento TO-BE	172
7.1.4	Risultati complessivi	174
7.2	Sviluppi futuri	178
7.2.1	Completamento dello SMED sulla linea 12	179
7.2.2	Realizzazione di un sistema di monitoraggio delle performance	179
7.2.3	Nuovi progetti.....	180
7.3	Conclusioni	181
	Bibliografia.....	183

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 2.1 - Contrapposizione tra produzione di massa e produzione snella	11
Tabella 3.1 - principali operazioni di un'attività di setup	41
Tabella 3.2 - relazione tra tempo di setup e dimensione del lotto - I	47
Tabella 3.3 - relazione tra tempo di setup e dimensione del lotto - II	47
Tabella 4.1 - Suddivisione della clientela per categoria	68
Tabella 4.2 - Suddivisione della clientela per area geografica	69
Tabella 4.3 - Temperature di transizione vetrosa e di fusione di alcuni polimeri	77
Tabella 5.1 - Elenco delle tipologie di prodotto realizzate sulla linea 12.	98
Tabella 5.2 - Classificazione delle tipologie di cambio in base alle differenze tra i prodotti	100
Tabella 5.3 - Valutazione dell'impatto delle tipologie di cambio sull'attività della linea di produzione in un anno	102
Tabella 5.4 - Classificazione ABC delle tipologie di setup	102
Tabella 5.5 - Raccolta dei tempi delle attività di cambio diametro con cambio testa di estrusione	113
Tabella 5.6 - Elenco delle chiavi utilizzate per l'attrezzaggio della linea 12	118
Tabella 7.1 - Tariffe per la determinazione del costo di setup sulla linea 12	167
Tabella 7.2 - Variazione del costo di setup sulla linea 12 in base al numero di attrezzisti coinvolti	167
Tabella 7.3 - Stima del saving ottenibile con l'estensione del primo step ad altre tipologie di cambio	168
Tabella 7.4 - Stima delle ore liberate con l'estensione del primo step ad altre tipologie di cambio	169
Tabella 7.5 - Valutazione di costi e benefici del secondo step di SMED	171
Tabella 7.6 - Simulazione del numero di ore annue liberate mediante l'estensione dei primi due step di SMED alle altre linee produttive	177
Tabella 7.7 – volumi di budget 2022 delle linee produttive del reparto per classe di saturazione	178
Tabella 7.8 - Simulazione dei benefici economici ottenibili dall'estensione degli interventi sul cambio diametro alle altre linee di estrusione del reparto	178

LISTA DELLE FIGURE

Figura 2.1 - I cinque principi del Lean Thinking	13
Figura 2.2 - Distinzione tra attività a valore aggiunto e a non valore aggiunto	14
Figura 2.3 - I sette muda di Taiichi Ohno	16
Figura 2.4 - Distinzione tra mura, muri e muda	17
Figura 2.5 - Esempio di Value Stream Map	19
Figura 2.6 - Metafora del fiume e degli scogli	21
Figura 2.7 - Esempio di layout a celle	23
Figura 2.8 - Esempio di Yamazumi Chart	23
Figura 2.9 - Esempio di Spaghetti Chart	24
Figura 2.10 - Classificazione dei sistemi pull	26
Figura 2.11 - Funzionamento del sistema kanban a due cartellini	28
Figura 2.12 - Funzionamento del flusso FIFO sequenziale	29
Figura 2.13 – Confronto tra una produzione tradizionale non livellata (a sinistra) e una produzione livellata mixed model (a destra)	30
Figura 2.14 - Profilo tipico del miglioramento nell'alternarsi dei cicli SDCA e PDCA	36
Figura 3.1 - Tempo di setup e tempo dell'attrezzista	41
Figura 3.2 - Determinazione dell'OEE	44
Figura 3.3 - Effetto della riduzione della dimensione dei lotti di produzione sulla giacenza media	48
Figura 3.4 - L'individuazione del lotto economico di produzione	48
Figura 3.5 - L'effetto della riduzione dei tempi di setup	49
Figura 3.6 - Stadio preliminare SMED	53
Figura 3.7 - Stadio 1 SMED - I	53
Figura 3.8 - Stadio 1 SMED - II	53
Figura 3.9 - Raccoglitore temporaneo per bobine	56
Figura 3.10 - Standardizzazione funzionale degli stampi per pressocolata	57
Figura 3.11 - Stadio 2 SMED	57
Figura 3.12 - Stadio 3 SMED	58
Figura 3.13 - Asole a forma di pera	59
Figura 3.14 - Rosetta a forma di U	60

Figura 3.15 - Filettatura interrotta di una vite	60
Figura 3.16 - Morsetto	61
Figura 3.17 - Metodo di fissaggio con molle	62
Figura 3.18 - Esempio di attacco ad incastro	62
Figura 4.1 - FITT nel mondo	67
Figura 4.2 - Andamento del fatturato del gruppo FITT negli anni	67
Figura 4.3 - Distribuzione del fatturato tra le diverse sedi FITT	68
Figura 4.6 - Rappresentazione delle aree di business di FITT	70
Figura 4.7 - I sette obiettivi per lo sviluppo sostenibile scelti da FITT	73
Figura 4.8 - Esempio di prodotti realizzati nel plant di Fara Vicentino	74
Figura 4.9 - Granulo di PVC	74
Figura 4.10 - Rappresentazione delle diverse tipologie di struttura polimerica	76
Figura 4.11 - Volume specifico dei polimeri in funzione della temperatura	77
Figura 4.12 - Formula strutturale del PVC	79
Figura 4.13 - Il monomero cloruro di vinile	80
Figura 4.14 - Formula di struttura del polietilene	82
Figura 4.15 - Struttura dell'etilene, monomero da cui si ottiene il polietilene	82
Figura 4.16 - Pianta dello stabilimento produttivo di Fara Vicentino	83
Figura 4.17 - Fotografia dei silos appartenenti all'impianto esterno Zeppelin di Fara Vicentino	84
Figura 4.18 - Schematizzazione del processo di realizzazione del dry blend di PVC per il reparto tubo rigido	85
Figura 4.19 - Illustrazione schematica di un estrusore in sezione	87
Figura 4.20 - Struttura base di una vite di estrusione	87
Figura 4.21 - Rappresentazione in sezione di una matrice a ragno	88
Figura 4.22 - Schematizzazione di una linea di estrusione di tubo rigido in PVC	90
Figura 4.23 - Esempio di tubo per edilizia (RED)	90
Figura 4.24 - Esempio di tubo per fognatura (FITT Sewer EVO)	91
Figura 4.25 - Esempio di tubo per acquedottistica (FITT BluForce)	91
Figura 4.26 - Esempio di grondaia (FITT Rain C140)	92
Figura 4.27 - Schematizzazione del processo di produzione del compound di PVC	93
Figura 4.28 - Schematizzazione di una linea di produzione di tubo corrugato in HDPE94	

Figura 4.29 - Schematizzazione di una linea di produzione di film in polietilene	94
Figura 5.1 - Diagramma di Pareto	103
Figura 4.22 - Schematizzazione di una linea di estrusione di tubo rigido in PVC	103
Figura 5.2 - Calibro posizionato all'imbocco della prima vasca di raffreddamento	105
Figura 5.3 - Mezzaluna di sostegno per il tubo all'interno della vasca di raffreddamento	105
Figura 5.4 - Gomme per il vuoto	106
Figura 5.5 - Interno della taglierina con asta di regolazione dello smusso	106
Figura 5.6 - Tampone per la formazione del bicchiere	107
Figura 5.7 - Botte per la formazione del bicchiere, con doppia gomma per la tenuta del vuoto	107
Figura 5.8 - Introduttore anelli	108
Figura 5.9 - Morse bloccatubo	108
Figura 5.10 - Pali del magazzino anelli	109
Figura 5.11 - Misura dello spessore di un campione di tubo mediante il calibro	111
Figura 5.12 - Percentuale di attività a valore aggiunto, a semi valore aggiunto e a non valore aggiunto all'interno delle attività di attrezzaggio	115
Figura 5.13 - Suddivisione delle attività a non valore aggiunto in un ciclo di attrezzaggio	116
Figura 5.14 - Spaghetti Chart AS IS del primo operatore a macchina ferma	116
Figura 5.15 - Spaghetti Chart AS IS del secondo operatore a macchina ferma	117
Figura 5.16 - Ciclo standard di riferimento AS IS	124
Figura 6.1 - Schematizzazione delle fasi SMED riorganizzate	127
Figura 6.2 - Individuazione di attività di setup esterno nel ciclo di riferimento AS IS	130
Figura 6.3 - Effetto della preparazione anticipata delle condizioni operative sul ciclo della macchina	131
Figura 6.4 - Fotografia del lato anteriore della testa di estrusione	132
Figura 6.5 - Schematizzazione del nuovo ciclo di attrezzaggio	136
Figura 6.6 - Sequenza di operazioni svolte dal primo operatore	137
Figura 6.7 - Sequenza di operazioni svolte dal secondo operatore	138
Figura 6.8 - Sequenza di operazioni svolte dal terzo operatore	138
Figura 6.9 - Checklist per la preparazione della linea	139

Figura 6.10 - Checklist per l'avanzamento del setup	140
Figura 6.11 - Esempio di carrellino per le attrezzature delle vasche di raffreddamento.	141
Figura 6.12 - Esempi di linee a pavimento, gialle per il setup e nere per la produzione	142
Figura 6.13 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 1	143
Figura 6.14 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 2	143
Figura 6.15 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 3	143
Figura 6.16 - Risultati del primo step	144
Figura 6.17 - Raccolta su dei post-it delle idee nate da una sessione di brainstorming	147
Figura 6.18 - Valutazione di fattibilità delle idee raccolte dalle sedute di brainstorming	149
Figura 6.19 - Rappresentazione schematica del sistema di serraggio delle mezzelune prima (a sinistra) e dopo (a destra)	150
Figura 6.20 - Flangia con asole a pera.	152
Figura 6.21 - Rappresentazione dei movimenti effettuati per il cambio di ogni palo	153
Figura 6.22 - Base dei pali del magazzino anelli prima (a sinistra) e dopo (a destra) la realizzazione dell'intaglio	154
Figura 6.23 - Metodo di fissaggio della testa all'estrusore AS IS (a sinistra) e TO BE (a destra)	155
Figura 6.24 - Sistema di supporto dei cavi e delle sonde durante il trasporto della testa (a sinistra) e durante la produzione (a destra) nella situazione iniziale	156
Figura 6.25 - Prototipo del nuovo sistema di supporto dei cavi e delle sonde	156
Figura 6.26 - Sistema di numerazione di cavi e sonde	157
Figura 6.27 - Fotografia di una resistenza in ceramica ad anello	158
Figura 6.28 - Sezione di una testa di estrusione con aggiunta delle due resistenze interne	158
Figura 6.29 - Traslazione del banco della bicchieratrice	159
Figura 6.30 - Posizionamento dei sacchi con la mescola di fermata	160
Figura 6.31 - Rappresentazione del dosatore per la mescola di fermata	161
Figura 6.32 - Rappresentazione laterale dell'organo per il traino del tubo in fase di avvio della produzione	163

Figura 7.1 - Rappresentazione dei cicli di riferimento di partenza (in alto), AS-IS dopo il primo step di SMED (al centro) e TO-BE dopo il secondo step di SMED (in basso)	173
Figura 7.2 - Tabellone per il monitoraggio dei setup in officina	179
Figura 7.3 - Possibile modalità di visualizzazione dei dati grezzi sulla durata ufficiale dei cambi lavorazione nel cruscotto gestionale	180

INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi nasce da una collaborazione con FITT S.p.A., azienda fondata nel 1969 con sede a Sandrigo (VI), oggi leader nella realizzazione di tubi e condotti in materiale polimerico per il trasferimento di fluidi. Questi sistemi sono progettati per diversi settori, da quello industriale a quello edile, dalle applicazioni infrastrutturali alle applicazioni domestiche, dal giardinaggio al tempo libero. Il progetto presentato di seguito è stato condotto nello stabilimento produttivo di Fara Vicentino, in particolare nel reparto dedicato alla produzione di tubi rigidi in PVC per edilizia, fognature e infrastrutture.

L'attività realizzata in FITT prende il nome di Progetto SMED, e consiste nell'implementazione di una metodologia, appartenente al mondo della *lean production*, detta SMED (*Single Minute Exchange of Die*). Tale tecnica è incentrata su tutto ciò che accade tra la produzione di un lotto ed il successivo, ovvero su quello che prende il nome di setup, e ha l'obiettivo di ridurne drasticamente la durata.

Il progetto nasce in seguito alla sempre più marcata esigenza dello stabilimento di Fara Vicentino di perseguire una produzione più flessibile per il soddisfacimento delle esigenze dei clienti. Negli anni, infatti, la domanda si è progressivamente diversificata, portando la pianificazione della produzione a lavorare con lotti più piccoli e, di conseguenza, setup più frequenti. Tuttavia, la numerosità dei setup era in contrasto con la loro lunga durata, e questo comportava diverse difficoltà in termini di organizzazione e qualità. Si è così deciso di affrontare il tema alla radice di tali criticità andando ad agire direttamente sul tempo di setup, in accordo con le logiche *lean*.

Gli obiettivi del progetto SMED realizzato nello stabilimento di Fara Vicentino consistono nella riduzione del tempo di fermo macchina della linea pilota del 50%, parallelamente all'introduzione delle tematiche lean all'interno dello stabilimento e all'avviamento di un processo di attivazione e valorizzazione delle persone.

Nel primo capitolo dell'elaborato sarà presentata l'essenza del *Lean Thinking* – “pensiero snello” – a partire dall'esordio fino ai successivi sviluppi.

Sarà innanzitutto illustrata la nascita di questa nuova modalità di produzione, nominata inizialmente TPS, ovvero *Toyota Production System*, in quanto sviluppata proprio nell'azienda automobilistica Toyota a partire dal 1950.

Si entrerà poi nel dettaglio della filosofia e delle metodologie proprie della *lean production*, seguendo il percorso dettato dai suoi cinque principi fondamentali.

Il secondo capitolo si concentrerà su una particolare metodologia del mondo *lean*, ovvero lo SMED (*Single Minute Exchange of Die*).

Verrà qui introdotto il concetto di setup e la sua importanza in termini di impatto sull'efficienza produttiva. Saranno presentate diverse possibili strategie per la gestione del setup, concentrandosi poi sulla metodologia SMED. Di questa, verrà descritta nel dettaglio la procedura e verranno forniti alcuni esempi di metodi per il miglioramento delle operazioni di attrezzaggio.

Il terzo capitolo ha lo scopo di introdurre il caso studio presentando lo scenario di FITT S.p.A. e, in particolare, i processi produttivi dello stabilimento di Fara Vicentino, all'interno del quale si sviluppa il progetto.

Sarà illustrata l'azienda nel suo complesso, con uno scorcio sulle sedi principali, i clienti e le aree di business.

Successivamente, si entrerà nel dettaglio dello stabilimento produttivo di Fara Vicentino. Verranno illustrate le caratteristiche delle materie prime utilizzate, polietilene (PE) e cloruro di polivinile (PVC), verranno descritti i tre reparti produttivi che caratterizzano l'attività dello stabilimento, e sarà affrontato con particolare dettaglio il reparto dedicato alla produzione di tubo rigido in PVC, su cui verterà il progetto SMED.

Il quarto capitolo ha lo scopo di presentare la fase preliminare del progetto SMED dedicato ad una linea di estrusione di tubi in PVC.

Verranno introdotte le motivazioni che hanno portato alla nascita del progetto, seguite dalla descrizione degli obiettivi, del gruppo di lavoro e della linea pilota.

Successivamente, verrà presentata la classificazione delle diverse tipologie di setup, la selezione del setup di riferimento attraverso un'analisi di Pareto e la descrizione delle diverse attività che lo costituiscono.

Infine, si entrerà nel cuore dell'analisi con la raccolta dei tempi e l'individuazione dei muda. Il risultato finale dell'analisi sarà una schematizzazione del setup di riferimento.

Il quinto capitolo illustra il cuore del progetto SMED, ovvero le attività di miglioramento pianificate e intraprese a seguito delle tempistiche raccolte e dei muda individuati nella fase di analisi.

La presentazione del progetto sarà divisa in due fasi: la prima legata al miglioramento dei metodi di lavoro, attraverso tecniche quali separazione tra IED e OED, preparazione anticipata delle condizioni operative, parallelizzazione delle attività e implementazione di checklist; la seconda legata al miglioramento di attrezzature e strumenti, attraverso l'introduzione di sistemi di fissaggio funzionali e altre modifiche tecniche.

Infine, saranno illustrati alcuni miglioramenti tecnici sulla linea 12 pianificati per il futuro.

Il sesto capitolo presenta i risultati ottenuti al termine del progetto.

In particolare, saranno illustrati non solo risultati quantitativi in termini risparmio temporale ed economico, ma anche benefici in termini di sicurezza, ergonomia, mantenimento delle attrezzature e metodo di lavoro.

Inoltre, verranno presentati i passi futuri, comprendenti la conclusione del progetto SMED sulla linea 12 e l'estensione graduale delle logiche *lean* a tutto lo stabilimento, in modo da avviare un processo di continuo miglioramento.

Capitolo 1

LEAN THINKING

Quella che noi oggi chiamiamo *Lean Production* nasce con il nome di *Toyota Production System* (TPS) nell'omonima azienda automobilistica giapponese (la Toyota Motor Company), tra gli anni Cinquanta e gli anni Sessanta del Novecento. Il termine *Lean*, in italiano “snello”, viene introdotto solo nel 1988 da John F. Krafcik, che lo inserisce direttamente nel titolo di un suo articolo accademico “*Triumph of the Lean Production System*”. Tuttavia, il successo di questo nome si deve ai grandi studiosi James. P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos, i quali lo utilizzano ripetutamente nel loro libro “*The Machine That Changed The World*”, edito nel 1990, pilastro della divulgazione del pensiero snello (Panizzolo, 2019)¹.

L'obiettivo di questo capitolo è quello di presentare, in poche pagine, l'essenza del *Lean Thinking*. Partendo dalla sua nascita nel settore automobilistico, come contrapposizione alla produzione di massa diffusa all'epoca, si entrerà poi nel dettaglio dei fondamentali principi che caratterizzano questo nuovo approccio e delle principali tecniche che permettono di tradurre tali principi in cambiamenti tangibili.

¹ Panizzolo, R. (2019). *Dispense del corso di Gestione Snella dei Processi*. Università degli Studi di Padova.

2.1 IL TOYOTA PRODUCTION SYSTEM COME CONTRAPPOSIZIONE ALLA PRODUZIONE DI MASSA

L'attività imprenditoriale della famiglia Toyoda nasce nel 1890, quando Sakichi Toyoda avvia l'attività di costruzione di telai per la tessitura. L'azienda negli anni riesce a rivoluzionare il settore con due concetti innovativi: il cambio "in corsa" della spoletta e l'autonoma capacità della macchina di fermarsi in caso di anomalie (Panizzolo, 2019). Queste due novità porranno già le basi per diversi principi e tecniche proprie del *Lean Thinking*.

Successivamente, nel 1937, Kiichiro Toyoda, figlio di Sakichi, fonda la Toyota Motor Company per lo sviluppo della prima autovettura, convinto che il settore *automotive* sia destinato a svilupparsi negli anni successivi.

Nella primavera del 1950 il nipote di Kiichiro, Eiji Toyoda, intraprende un viaggio di tre mesi negli Stati Uniti, allo stabilimento di Ford a Detroit, con il fine di studiare il sistema produttivo della produzione di massa ed importarlo nel proprio stabilimento. Al suo ritorno, Eiji però riferisce ai quartieri generali come l'intero sistema sia in realtà impregnato di sprechi e vi siano buone possibilità di migliorarlo (Womack, Jones, & Roos, *La macchina che ha cambiato il mondo*, 1990)². A partire da questa data ha inizio il processo di ideazione e sviluppo del *Toyota Production System* da parte di Eiji Toyoda con l'aiuto di Taiichi Ohno, ingegnere giapponese a capo della produzione.

Di seguito verrà presentato un confronto tra produzione snella e produzione di massa per quanto riguarda gli aspetti principali della gestione di un'impresa.

2.1.1 La produzione

La produzione di massa basava la propria offerta su un solo modello di autovettura: la Ford T nera. Tale modello era stato progettato per la produzione, difatti permetteva di avere completa intercambiabilità dei pezzi e semplicità di incastro, caratteristiche che resero possibile l'introduzione della famosa catena di montaggio (Womack, Jones, & Roos, *La macchina che ha cambiato il mondo*, 1990).

² Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *La macchina che ha cambiato il mondo*. Biblioteca Universale Rizzoli.

Per realizzare tali pezzi, Ford doveva dotarsi di attrezzature che potessero produrre volumi elevati con bassissimi costi di messa a punto, ovvero attrezzature dedicate che eseguissero una sola operazione. Producendo un solo articolo, le attrezzature potevano essere disposte in successione di modo che ogni stadio del processo portasse immediatamente a quello successivo. Il grande difetto di questo sistema era chiaramente l'assenza di flessibilità: nel caso in cui la fabbrica avesse avuto bisogno, per esempio, di un pezzo più grande a causa di un cambiamento nel modello, Ford sarebbe stato costretto ad eliminare il macchinario (Womack, Jones, & Roos, *La macchina che ha cambiato il mondo*, 1990).

Allo stesso modo erano gestite le fasi di assemblaggio dei pezzi, e di conseguenza non più le macchine ma le persone. Portando agli estremi l'idea della divisione scientifica del lavoro di Taylor, Ford arrivò ad attribuire ad ogni operatore una o due operazioni elementari, come per esempio fissare dei dadi ai bulloni o montare una ruota. In tal modo, alle persone bastavano pochi minuti di formazione per apprendere la propria mansione. Questa organizzazione portò alla completa intercambiabilità non solo dei componenti ma anche degli operai (Womack, Jones, & Roos, *La macchina che ha cambiato il mondo*, 1990).

Inoltre, l'idea di divisione del lavoro veniva estesa a tutti i livelli dell'organizzazione. Questo implicò la nascita di nuove figure professionali: i capireparto, che non avevano più mansioni di montaggio ma soltanto di controllo degli operai, i tecnici del lavoro, che si occupavano di definire le modalità di assemblaggio e le mansioni dei vari operai, gli addetti alle riparazioni degli utensili, gli addetti alle pulizie delle aree di lavoro, e infine una serie di lavoratori tutt'altro che sempre disponibili per rimpiazzare quella percentuale elevata e sempre presente di assenteisti (Womack, Jones, & Roos, *La macchina che ha cambiato il mondo*, 1990).

Dal punto di vista della gestione della produzione, i dirigenti valutavano l'andamento in base a due criteri: da un lato il rendimento, ovvero il numero di automobili effettivamente prodotto in rapporto alle previsioni, dall'altro la qualità, intesa come quantità di difetti. Nella concezione della produzione di massa, era considerato accettabile il fatto di generare numerosi difetti durante la produzione, con la possibilità di risolverli in un'apposita zona, mentre era inammissibile il fatto di fermare una linea di assemblaggio e perdere punti percentuali in termini di rendimento, recuperabili soltanto

con costosi straordinari (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Nel *Toyota Production System*, l'idea di divisione scientifica del lavoro viene meno. Gli operai vengono inseriti in squadre, a capo delle quali viene posto il caporeparto. Ad ogni squadra viene affidata una serie di fasi di montaggio, con l'obiettivo di favorire la collaborazione. Inoltre, vengono assegnati altri compiti quali la pulizia dell'area di lavoro, la riparazione degli utensili, il controllo della qualità e, periodicamente, il suggerimento di miglioramenti per il sistema. Gli elementi chiave di questa organizzazione del lavoro sono quindi responsabilità e collaborazione, al contrario dell'alienazione a cui portava l'approccio di Ford (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Altro aspetto di differenza tra i due paradigmi risiede nella gestione della qualità. Per Ohno, ogni operatore deve avere la responsabilità dell'arresto della linea non appena sorga una problematica consistente, con l'obiettivo di intervenire alla risoluzione dello stesso in collaborazione con l'intera squadra. Questo metodo va quindi a contrastare l'idea fordista che sia necessario non fermare mai le macchine e che i difetti possano essere "riparati" in seconda battuta: anche un piccolo errore iniziale, infatti, procedendo lungo la linea, si amplierebbe fino a generare un numero consistente di altri problemi e di prodotti difettosi. Nell'approccio *lean*, quindi, all'insorgere di una criticità bisogna immediatamente passare all'identificazione e poi alla risoluzione della sua causa radice, in modo che questo non accada più (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

2.1.2 Il rapporto con il personale

Come già accennato in precedenza, nel mondo della produzione di massa il rapporto con il personale era molto controverso. In questo sistema, gli operai dovevano soltanto tenere la testa china e ripetere le stesse due, tre operazioni elementari, senza necessariamente capire ciò che gli altri operatori stavano facendo. Questo era favorito, secondo l'ottica di Ford, dalla velocità della catena di montaggio, che incalzava i lavoratori più lenti e rallentava quelli più veloci. Egli dava per scontato che gli operai si sarebbero rifiutati di fornire spontaneamente informazioni sul corretto funzionamento degli utensili o su possibili miglioramenti del processo. Tali responsabilità erano lasciate invece a ruoli di

livello superiore dal punto di vista della gerarchia aziendale, come i tecnici del lavoro (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Il rapporto con il personale in Toyota è totalmente diverso da quello tipico delle aziende automobilistiche della produzione di massa. Alla nascita del *Toyota Production System*, i dipendenti che entrano in azienda ricevono la garanzia di un posto di lavoro a vita e una retribuzione con scatti associati all'anzianità. Per questo motivo l'impresa ha bisogno di ottenere il massimo dalle proprie risorse umane, cercando di accrescerne le capacità e le competenze attraverso una logica di flessibilità nei compiti e di continuo apprendimento e miglioramento (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

2.1.3 Il rapporto con i fornitori

L'intento iniziale di Ford era quello di realizzare un'integrazione verticale completa, che consisteva nel fabbricare autonomamente tutto ciò che serviva per realizzare un'automobile, fino alle materie prime. Tuttavia, non fu possibile raggiungere questa impostazione in maniera integrale. Il sistema si sviluppò quindi con uno staff tecnico centrale che si occupava della progettazione di tutti i pezzi del veicolo e dei sistemi accessori, e che consegnava i disegni ai fornitori, scegliendo poi quelli che facevano l'offerta economica migliore rispettando al contempo i vincoli di qualità e puntualità. I costruttori d'auto passavano da un fornitore ad un altro piuttosto rapidamente, in base alle offerte. I rapporti con i fornitori erano quindi di breve periodo. In questo scenario i fornitori non avevano opportunità di realizzare migliorie sui componenti in quanto non ricevevano informazioni né dai produttori, che le conservavano gelosamente, né da altri fornitori, con i quali erano in diretta concorrenza (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

L'organizzazione dei rapporti di fornitura nel *Toyota Production System* è totalmente differente. I fornitori vengono divisi in fasce funzionali. I fornitori della prima fascia, per esempio, si occupano della realizzazione di interi gruppi di componenti, hanno elevate competenze in termini di progettazione e partecipano allo sviluppo dei nuovi prodotti come fossero parte integrante di Toyota. Essendo ognuno di questi specializzato in una tipologia differente di componenti, non si trova in concorrenza con gli altri fornitori della stessa fascia, e questo favorisce lo scambio di informazioni tra le aziende. Ogni fornitore

della prima fascia forma a sua volta una seconda fascia di fornitori, specializzati nella fabbricazione dei singoli pezzi. Anche a questo livello viene meno la concorrenza e viene favorito lo scambio orizzontale di informazioni (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Toyota inoltre contribuisce all'attività di queste aziende fornendo prestiti, acquisendo azioni e talvolta condividendo i propri dipendenti. Ne deriva che i rapporti tra l'azienda e i propri fornitori siano necessariamente visti in un'ottica di lungo periodo e di partnership (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Il clima di collaborazione all'interno della *supply chain* permette così a Ohno di implementare un nuovo sistema di approvvigionamento, denominato *just-in-time*, in cui il flusso giornaliero di pezzi è gestito in modo che questi siano ricevuti al momento giusto e nella quantità strettamente necessaria, eliminando quindi la necessità di avere magazzini (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

2.1.4 Il rapporto con i clienti

Ford offriva ai suoi clienti una varietà molto ridotta: di fatto, un unico modello. La Ford T nera era stata progettata per ottimizzare la produzione, senza un vero interesse verso i bisogni del mercato. La vendita avveniva attraverso i concessionari, i quali erano costretti a mantenere ampie scorte di veicoli e pezzi di ricambio. I rapporti tra azienda e concessionario erano solitamente tesi e freddi, e lo stesso erano i rapporti tra concessionario e clienti: per rafforzare la propria posizione di contrattazione, nessuno era disposto a collaborare (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

Nell'ottica *lean*, invece, il cliente deve essere posto al centro. Toyota punta alla realizzazione di un rapporto a lungo termine anche a valle della *supply chain*, ovvero tra produttore, concessionario e compratore. I concessionari si affidano ad una nuova tecnica di "vendita aggressiva", creando un vero e proprio archivio sulle preferenze d'acquisto dei clienti e incorporando nel processo di sviluppo prodotti anche i clienti stessi (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

In Tabella 2.1 vengono riassunte le caratteristiche della produzione snella e della produzione di massa in modo da rendere più facilmente leggibili le sostanziali differenze.

Tabella 2.1 - Contrapposizione tra produzione di massa e produzione snella

Produzione di massa	Produzione snella
Lavoratori come "pezzi intercambiabili"	Lavoratori come parte di una comunità
Divisione scientifica del lavoro	Mansioni più ampie e flessibili
Promozione dell'alienazione degli operatori	Promozione della collaborazione tra gli operatori
Meglio non fermare mai le macchine e agire sulla correzione dei difetti	Meglio fermare le macchine con l'obiettivo di individuare le cause dei difetti ed eliminarle
Focus sulla produzione	Focus sui clienti
Relazioni di breve termine i fornitori	Relazioni e collaborazioni di lungo termine con i fornitori
Relazioni di breve termine con i clienti	Relazioni di lungo termine con i clienti

2.2 I CINQUE PRINCIPI DEL LEAN THINKING

«Il pensiero snello è snello perché indica come fare sempre di più con sempre meno (minor lavoro umano, minori attrezzature, meno tempo e meno spazio) nell'avvicinarsi con sempre maggior precisione al fornire ai clienti esattamente quello che vogliono» (Womack & Jones, Lean Thinking, 1997)³.

In queste semplici parole è racchiusa l'essenza del *lean thinking* (Graziadei, 2006)⁴:

1. primo elemento che vi si legge è quello del **focus sul cliente** e su quello che identifica come **valore**;
2. secondariamente, nel concetto di "fare di più con sempre meno" si rivela il principio dell'**eliminazione degli sprechi**;
3. infine, in quello che viene definito "avvicinamento con sempre maggior precisione" risiede la filosofia del **miglioramento continuo**.

Su questi tre valori fondamentali si fondano i cinque principi del *lean thinking*, che coincidono con i cinque passi da seguire per compiere il lungo viaggio di trasformazione verso la produzione snella. Vengono riportati di seguito e riassunti in Figura 2.1:

- **Definire il valore.** Nell'ottica *lean* il valore può essere definito esclusivamente dal cliente finale, e assume significato soltanto nel momento in cui viene tradotto

³ Womack, J., & Jones, D. (1997). *Lean Thinking*. Guerini e Associati.

⁴ Graziadei, G. (2006). *Lean Manufacturing. Come analizzare il flusso del valore per individuare ed eliminare gli sprechi*. Hoepli.

in uno specifico prodotto in grado di soddisfare le esigenze ad un dato prezzo e in un preciso momento. Il valore, quindi, non viene più creato a discrezione di ingegneri e tecnici sulla base della propria concezione (Womack & Jones, Lean Thinking, 1997);

- **Identificare il flusso del valore.** Dopo aver definito il valore, è necessario andare a mappare il flusso delle attività che creano e aggregano progressivamente valore per il cliente (Graziadei, 2006). Lo strumento fondamentale in questa fase è il *Value Stream Mapping* (VSM);
- **Far scorrere il flusso.** In questa fase si passa, con l'aiuto di diverse tecniche, all'individuazione e all'eliminazione di tutte le attività che invece non generano valore, e non rientrano quindi nel cosiddetto *value stream*. L'obiettivo è quello di arrivare ad avere un unico flusso ininterrotto di sole attività a valore (Graziadei, 2006);
- **Implementare un sistema pull.** Dopo aver fatto scorrere il flusso del valore ed eliminate tutte le dispersioni e gli sprechi, rimane da allineare il flusso al mercato. Si parla di sistema *pull*, che in inglese significa “tirare”, perché tutte le attività del *value stream* sono “tirate dal cliente”, ovvero sono attivate soltanto quando lo richiede il cliente. Questo approccio deve essere diffuso ad ogni area dell'impresa e, successivamente, esteso anche al coordinamento con i fornitori (Graziadei, 2006);
- **Ricerca la perfezione.** Ultimo ma non per importanza, il principio del miglioramento continuo, in giapponese *kaizen*. Come dice il nome stesso, tale modalità di miglioramento delle performance si fonda su una serie *infinita* di piccoli progressi incrementali (Slack, Brandon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019)⁵. Il termine *infinita* si riferisce al fatto che il processo tende al raggiungimento della perfezione, assumendo però che questa non possa mai

⁵ Slack, N., Brandon-Jones, A., Danese, P., Romano, P., & Vinelli, A. (2019). *Gestione delle operations e dei processi*. Pearson.

essere raggiunta concretamente: le opportunità di miglioramento, quindi, non hanno mai fine.

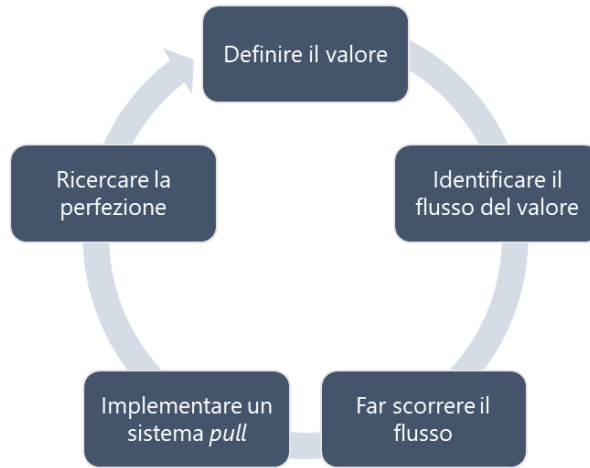


Figura 2.1 - I cinque principi del Lean Thinking (Panizzolo, 2019)

2.3 DEFINIRE IL VALORE

Il punto di partenza assoluto dell'approccio lean, come detto in precedenza, è l'identificazione univoca e chiara del valore per il cliente. Il valore consiste nel bisogno che il prodotto/servizio va a soddisfare attraverso le sue funzionalità, per le quali quindi il cliente è disposto a pagare (Graziadei, 2006). Tutte le attività che contribuiscono alla creazione di tale valore sono dette attività a valore aggiunto. Il resto è spreco. Nel dettaglio, in ottica *lean* le attività del flusso produttivo di un'azienda possono essere classificate in tre categorie, riassunte in Figura 2.2 (Panizzolo, 2019):

- **Attività a valore aggiunto (NVA);**
- **Spreco riducibile (o attività a semi-valore aggiunto, SVA).** Lo spreco riducibile comprende tutte le attività che non conferiscono valore aggiunto, ma che allo stesso tempo sono necessarie e non eliminabili. L'obiettivo in questo caso è di ridurre l'impatto;
- **Spreco eliminabile (o attività a non valore aggiunto, NVA).** Lo spreco eliminabile comprende tutte le attività che non conferiscono valore aggiunto e che possono (e devono) essere eliminate. Per queste attività il cliente non è disposto a pagare;



Figura 2.2 - Distinzione tra attività a valore aggiunto e a non valore aggiunto (Panizzolo, 2019)

2.3.1 Le tipologie di spreco

Per Soichiro Toyoda, ex presidente della Toyota Motor Corporation, *«spreco è tutto ciò che eccede il minimo contributo di impianti, materiali, componenti, spazio, e tempo-uomo, che sono assolutamente essenziali ad aggiungere valore al prodotto/servizio realizzato...»* (Graziadei, 2006). Da questa frase si può intuire come non esista una sola tipologia di spreco, ma al contrario esso si può trovare nascosto in moltissimi elementi ed attività di tutti i giorni. La parola giapponese per identificare lo spreco è *muda*.

Taiichi Ohno classificò i *muda* presenti in azienda in sette categorie, riassunte in Figura 2.3 (Ohno, 1988)⁶:

1. **Attesa.** Il *muda* per attese si verifica quando un operatore non svolge alcun lavoro rimanendo in attesa del verificarsi di un evento. Gli operatori attendono, per esempio, quando un macchinario deve terminare una lavorazione oppure quando vi sono ritardi o mancanze di materiali (Liker & Attolico, 2014)⁷;
2. **Trasporti inutili.** Il trasporto di WIP (*work-in-process*) all'interno dello stabilimento è a tutti gli effetti uno spreco, tuttavia viene spesso sottovalutato: è

⁶ Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press.

⁷ Liker, J., & Attolico, L. (2014). *Toyota Way*. Hoepli.

infatti considerato come qualcosa con cui non si possa non convivere, e per questo non viene messo in discussione (Galgano, 2002)⁸. Le inefficienze legate ai trasporti sono in genere dovute a una cattiva organizzazione del layout produttivo e degli spazi, all'utilizzo di imballi contenenti eccessive quantità rispetto a quelle effettivamente consumate e ad una mancata ottimizzazione di percorsi e attrezzature adibiti al trasporto interno (Galgano, 2002);

3. **Processi lavorativi inutili o inopportuni.** Gli sprechi che possono verificarsi nei processi comprendono fasi che, pur modificando il prodotto, non sono considerate come valore aggiunto per il cliente, lavorazioni non necessarie e attività aggiuntive svolte per porre rimedio ad inefficienze delle fasi precedenti (Galgano, 2002);
4. **Stoccaggio eccessivo.** Si parla, in questo caso, di tutte le materie prime, i WIP e i prodotti finiti che vengono conservati in quantità superiori rispetto a quanto necessario. Le scorte in eccesso sono assolutamente da evitare, in quanto provocano un aumento dei costi di trasporto e di stoccaggio, allungano il lead time, generano danneggiamento delle merci ed obsolescenza. Inoltre, le scorte in eccesso nascondono altre criticità come squilibri nella produzione, periodi di inattività dei macchinari, elevati livelli di difettosità e ritardi nelle consegne da parte dei fornitori (Liker & Attolico, 2014);
5. **Movimenti inutili.** Si parla in questo caso dei movimenti effettuati dalle persone. Ogni movimento in eccesso imposto ai dipendenti durante il lavoro, come camminare per lunghe distanze, cercare, sostituire componenti e ripetere operazioni a causa di malfunzionamenti, non porta alcun valore aggiunto al cliente (Liker & Attolico, 2014);
6. **Produzione di pezzi difettosi.** Una grande fonte di spreco è indubbiamente costituita dalla presenza di difetti nei prodotti e nelle lavorazioni. Oltre a portare grossi oneri finanziari e d'immagine per l'azienda, il mancato raggiungimento degli standard di qualità comporta uno spreco di energia e di tempo in attività di

⁸ Galgano, A. (2002). *Le tre rivoluzioni*. Guerini e Associati.

rilavorazione, gestione degli scarti e gestione dei reclami, di conseguenza rallentano la produzione ed allungano il lead time (Galgano, 2002) (Liker & Attolico, 2014);

7. **Sovrapproduzione.** Questo *muda* si verifica ogniqualvolta la produzione non segue la domanda, per cui si va a produrre troppo o troppo presto; in ogni caso, si vanno a produrre pezzi non richiesti dal mercato (Galgano, 2002). La sovrapproduzione era considerata da Ohno come la forma di spreco più grave, in quanto risulta essere la causa di quasi tutti gli altri sprechi (Liker & Attolico, 2014). Produrre di più di quanto il cliente richieda porta necessariamente ad un accumulo di scorte; accumulare scorte significa che i materiali restano in attesa di essere processati nelle fasi successive, ed occupano spazio inutile. Per questo motivo, in Figura 2.3, il *muda* di sovrapproduzione è rappresentato al centro (Panizzolo, 2019).

Ad oggi è oramai riconosciuta anche un’ottava tipologia di *muda*, introdotta da Jeffrey K. Liker nel suo libro *Toyota Way*: il mancato utilizzo della creatività dei dipendenti. Vengono inserite in questo concetto tutte le perdite di tempo, idee, capacità, opportunità di apprendimento e di miglioramento che nascono dal mancato ascolto e dalla mancata interazione con i dipendenti (Liker & Attolico, 2014).



Figura 2.3 - I sette muda di Taiichi Ohno (Panizzolo, 2019)

Nella terminologia *lean* non esiste soltanto lo spreco inteso come *muda*, ma esistono altre due fonti di spreco, rappresentate in Figura 2.4:

- **Muri.** Il termine indica il sovraccarico delle risorse o delle persone, significa spingere un macchinario o una persona oltre i suoi limiti naturali. Questo porta ad uno stress del sistema: nel caso delle persone genera problemi di sicurezza e qualità, nel caso di macchinari causa guasti e difetti (Liker & Attolico, 2014);
- **Mura.** Il termine indica l'irregolarità nel carico di lavoro. Questa può essere dovuta ad una disparità nella pianificazione della produzione oppure da problemi interni come difetti, pezzi mancanti o periodi di inattività. *Muda* e *muri* ne sono conseguenze: *mura* significa che a volte può esserci più lavoro di quanto persone e macchinari possano svolgerne, e altre volte non ce n'è abbastanza (Liker & Attolico, 2014).

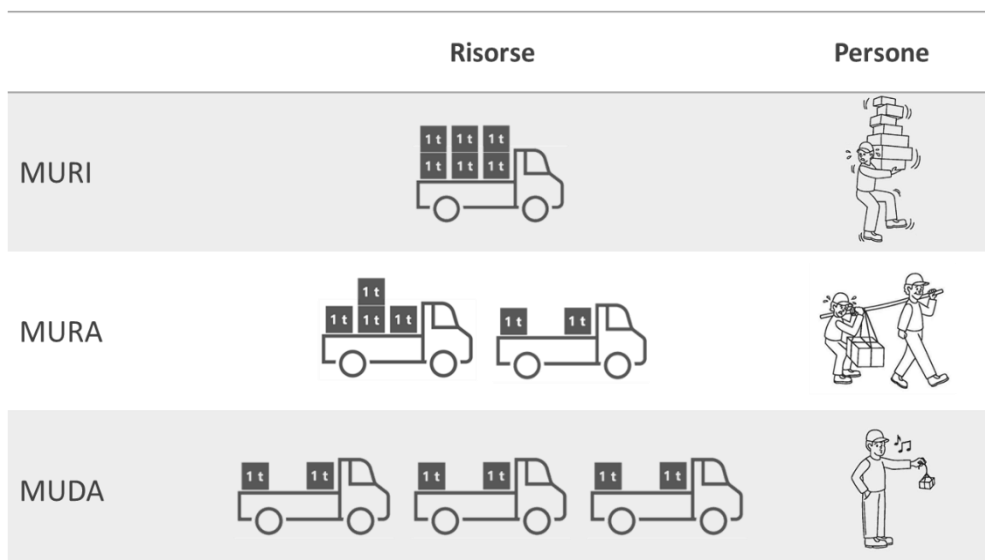


Figura 2.4 - Distinzione tra mura, muri e muda (Panizzolo, 2019), (Fitt S.p.A., 2021)⁹

⁹ Fitt S.p.A. (2021). *Materiale ad uso interno.*

2.4 IDENTIFICARE IL FLUSSO DEL VALORE

Il flusso di valore, anche detto *value stream*, è costituito dall'insieme di tutte le azioni necessarie per creare valore nel prodotto/servizio offerto al cliente (Graziadei, 2006). Il *value stream* può essere individuato abbastanza facilmente “risalendo la corrente” a partire sempre dal cliente e dalla definizione di valore. In particolare, esistono due flussi fondamentali (Rother & Shook, 1999)¹⁰:

- Il flusso legato alla progettazione del prodotto/servizio, ovvero dal *concept* del prodotto al lancio sul mercato;
- Il flusso legato alla produzione del prodotto/servizio, dalla materia prima al cliente finale.

2.4.1 Value Stream Mapping (VSM)

Esiste una particolare tecnica *lean* che guida il tracciamento del flusso di valore e ne facilita poi la condivisione e la diffusione, ed è la *Value Stream Map* (VSM), una vera e propria mappa dei flussi. Le finalità di questo strumento sono (Rother & Shook, 1999), (Bonfiglioli Consulting, 2006)¹¹:

- Visualizzare non un singolo processo, ma l'intero flusso. In particolare, permette di visualizzare il flusso dei materiali, ossia la sequenza di fasi del processo che portano la materia prima al prodotto finito, ed il flusso di informazioni, ossia la sequenza dei passaggi di informazione che risalgono dal cliente ai reparti dell'azienda, evidenziando inoltre la relazione tra i due.
- Evidenziare gli sprechi e le loro fonti;
- Individuare le varie aree di intervento per migliorare il flusso e permettere di classificare le priorità di azione;
- Fornire un linguaggio comune per discutere e confrontarsi sui processi produttivi;

La *Value Stream Map* si presenta come in Figura 2.5. In alto a sinistra viene rappresentato il fornitore con alcune relative informazioni utili, come i lotti minimi di consegna e il lead time di fornitura, mentre in alto a destra viene rappresentato il cliente con altrettante

¹⁰ Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see*. Productivity Press.

¹¹ Bonfiglioli Consulting. (2006). *Guardare oltre*. FrancoAngeli.

informazioni associate, riguardanti, per esempio, lotti di consegna, frequenza e lead time. Al centro viene ricostruito il flusso delle informazioni tra i tre soggetti (cliente, azienda e fornitore) e vengono riportate informazioni relative a previsioni/ordini del cliente, modalità di pianificazione della produzione e previsioni/ordini di acquisto al fornitore. Infine, nella parte inferiore, vengono rappresentate le varie fasi del processo produttivo, con dati relativi a tempi, quantità, persone e stock. L'ultimo, ma fondamentale, elemento della VSM riguarda la rappresentazione dei tempi: viene riportata in basso, sotto le fasi produttive, una *timeline* contenente i tempi ciclo delle fasi produttive e i tempi di attesa tra una e l'altra (Panizzolo, 2019).

Questo lavoro permette di ottenere la cosiddetta *Current State Map*, ovvero la fotografia della situazione di partenza. Grazie a tale rappresentazione, diventa possibile individuare facilmente le fonti di spreco nelle diverse fasi e, successivamente, redigere una seconda mappa, la *Future State Map*, che definisce invece gli obiettivi da raggiungere. Quest'ultima viene elaborata in maniera iterativa, man mano che vengono introdotti i vari miglioramenti (Graziadei, 2006). Il passaggio dalla prima mappa alla seconda si ottiene quindi passando al terzo principio del *lean thinking*, ovvero facendo scorrere il flusso grazie all'utilizzo di numerosi strumenti pratici.

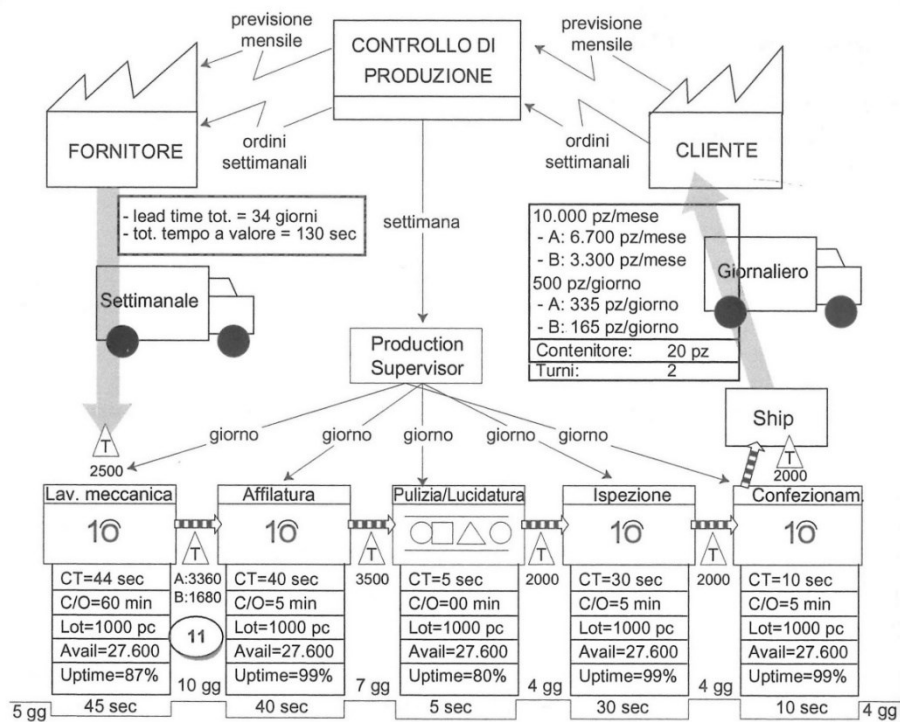


Figura 2.5 - Esempio di Value Stream Map (Graziadei, 2006)

2.5 FAR SCORRERE IL FLUSSO

Una volta definito con precisione il valore, ricostruito il flusso di valore per una data famiglia di prodotti ed eliminate le attività inutili, si giunge al terzo passo del pensiero snello: far sì che le attività a valore *fluiscano* (Womack & Jones, Lean Thinking, 1997). Il flusso, infatti, è rallentato dal fatto che l'organizzazione si basa sulle vecchie regole della produzione *batch and queue*, che letteralmente significa “lotti e code” (Liker & Attolico, 2014). Questo modo di ragionare prevede un raggruppamento di persone con competenze simili, macchinari simili e prodotti omogenei, portando all'organizzazione di uffici, reparti e lotti di produzione. Tuttavia, questo approccio porta con sé una serie di inconvenienti, che vengono ricordati dal nome stesso *batch and queue* (Liker & Attolico, 2014):

- **Produzione di numerose scorte *work in progress* (WIP).** Queste sono il risultato del *muda* di sovrapproduzione, in quanto in genere si lavora con grandi lotti;
- **Lunghe attese.** Un prodotto non subisce lavorazioni in un solo reparto, ma deve spostarsi da uno all'altro per diventare ciò che desidera il cliente. Questo attraversamento di diversi reparti, indipendenti e non allineati, provoca ritardi e attese sempre maggiori ad ogni passaggio.

Il pensiero snello rovescia completamente questa forma mentis per uffici e lotti, e punta invece alla realizzazione di un flusso continuo, in cui il prodotto viene lavorato senza interruzioni dalla materia prima alla sua forma finale (Bonfiglioli Consulting, 2006). Realizzare un flusso continuo e regolare implica la necessità di lavorare con lotti minimi, ottenibili grazie a setup rapidi e a macchinari affidabili (Graziadei, 2006). Le dimensioni ideali di un lotto, nella *lean production*, sono le stesse per ogni tipologia di prodotto: un solo pezzo. Si parla infatti di *one piece flow* come condizione ottimale a cui tendere (Liker & Attolico, 2014).

Quando si crea il *one piece flow*, bisogna definire anche la velocità giusta con cui il flusso dovrà muoversi per evitare la sovrapproduzione e quindi l'accumulo di scorte. La risposta risiede nel *takt time*.

2.5.1 Il concetto di takt time

Takt è una parola tedesca che significa “ritmo”, e il *takt time* è proprio il ritmo con cui il cliente acquista il prodotto. Se la produzione è più veloce, ne consegue una sovrapproduzione e un aumento delle scorte; se la produzione risulta più lenta, diventa il collo di bottiglia dell’intero processo. Per questo motivo, in una produzione di tipo *one piece flow*, il *takt time* deve coincidere esattamente con il ritmo di produzione (Liker & Attolico, 2014). La determinazione del *takt time* avviene a partire da due informazioni, ovvero il tempo di lavoro disponibile e la quantità richiesta dal cliente:

$$takt\ time = \frac{tempo\ disponibile\ per\ turno\ (secondi/turno)}{quantità\ richiesta\ dal\ cliente\ (pezzi/turno)}$$

Poiché generalmente il cliente acquista in lotti che includono un certo numero di pezzi, si tende a considerare anche un secondo parametro, detto *pitch*, ovvero passo:

$$pitch = takt\ time \cdot dimensione\ lotto$$

2.5.2 I vantaggi del one piece flow

Il *one piece flow* permette di abbassare il livello delle scorte e di mettere in luce diversi problemi nascosti. Le scorte, infatti, possono essere viste come l’acqua di un fiume (Figura 2.6): quando il livello dell’acqua è elevato, gli scogli sul fondo non risultano visibili, pur rallentando la corrente e creando turbolenze. Queste rocce rappresentano, metaforicamente, i tanti problemi delle operations. Facendo scorrere il flusso e riducendo gradualmente il livello dell’acqua si mettono a nudo le inefficienze. Tutte le persone sono motivate a risolvere quanto prima tali problematiche, prima che diventino tanto gravi da compromettere tutto ed interrompere il processo (Liker & Attolico, 2014).

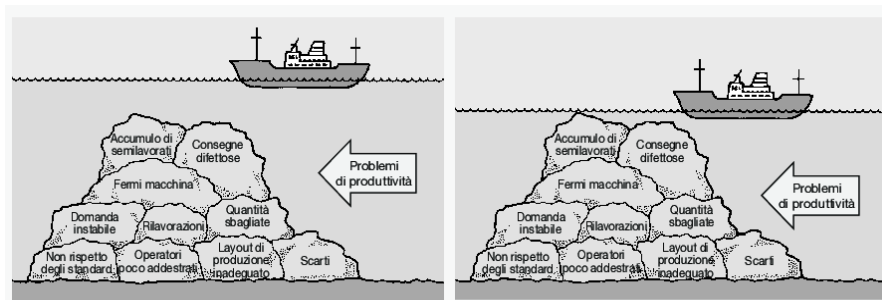


Figura 2.6 - Metafora del fiume e degli scogli (Slack, Brandon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019)

Oltre alla riduzione delle scorte, con conseguente riduzione dei costi del magazzino e aumento degli spazi disponibili, la realizzazione del *one piece flow*, o anche soltanto un avvicinamento a tale condizione ideale, permette di ottenere numerosi altri vantaggi in termini di (Liker & Attolico, 2014):

- **Qualità intrinseca.** Ogni operatore diventa un ispettore della qualità, e agisce in prima persona per risolvere le problematiche legate al proprio lavoro;
- **Flessibilità.** Grazie alla riduzione dei lead time risulta più facile reagire ai desideri dei clienti e modificare il mix di produzione;
- **Produttività.** Nella produzione a grandi lotti, la produttività non si misura in termini di attività che aggiungono valore, ma piuttosto in termini di utilizzo di macchinari e persone. Questo consente di lasciare nascoste e silenti tutte le operazioni a non valore aggiunto, perdendo molto in termini di produttività. Nella produzione *one piece flow* accade esattamente il contrario;
- **Sicurezza.** Lavorare con lotti più piccoli permette di utilizzare contenitori di dimensioni inferiori e rinunciare ai carrelli elevatori, riducendo molto il numero di incidenti legati allo spostamento dei materiali;
- **Motivazione.** Le persone svolgono prevalentemente attività che aggiungono valore e possono vedere immediatamente i risultati del proprio lavoro, sentendosi così maggiormente soddisfatti e realizzati;

2.5.3 Strumenti per far scorrere il flusso

Esistono numerosi strumenti *lean* che aiutano la realizzazione di un flusso continuo di produzione:

- **riorganizzazione del layout produttivo attraverso un *layout a celle*.** Una cella di produzione è definita come un'unità di lavoro ben delimitata, solitamente gestita da tre fino a dodici operatori, e formata da cinque fino a quindici stazioni di lavoro o macchine. Al suo interno, le stazioni vengono disposte secondo il flusso di lavorazione, e permettono la realizzazione di una gamma molto ampia di prodotti simili dal punto di vista del ciclo produttivo (si parla di *group technology*) (Graziadei, 2006). Un esempio di layout a celle è rappresentato in Figura 2.7.

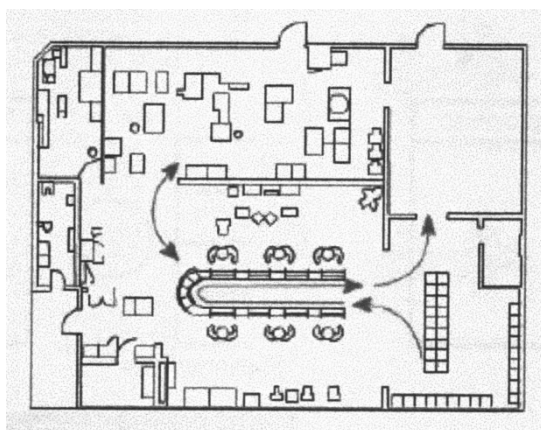


Figura 2.7 - Esempio di layout a celle (Graziadei, 2006)

- **bilanciamento delle operazioni in modo da allineare il tempo ciclo al *takt time* attraverso la *Yamazumi Chart*.** Si tratta di un grafico a barre (Figura 2.8) che mostra la suddivisione tra carichi di lavoro, in termini di tempo di ciclo, di un certo numero di operatori dedicati ognuno ad una diversa stazione di una linea o cella di produzione. Consente di visualizzare nel dettaglio i vari *task* di un processo, classificarli in valore aggiunto e non valore aggiunto, e soprattutto valutare l'allineamento con *takt time* del mercato. Grazie a questo strumento è possibile riorganizzare le attività in modo da rispettare il *takt time* e far sì che i tempi ciclo siano bilanciati tra le diverse stazioni (Ingaldi & Jagusiak-Kocik, 2014)¹².

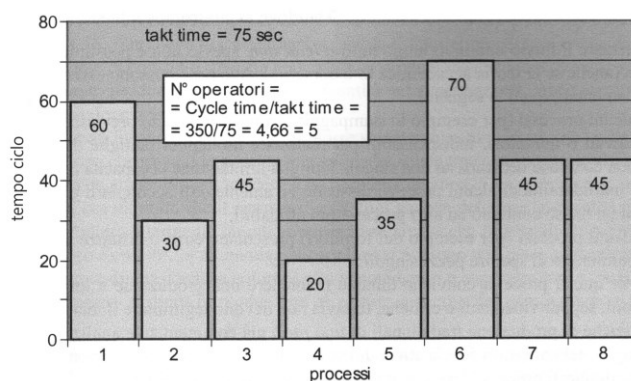


Figura 2.8 - Esempio di Yamazumi Chart (Graziadei, 2006)

¹² Ingaldi, M., & Jagusiak-Kocik, M. (2014). Lean tool used in the automotive industry. *Production Engineering Archives*, Vol. 4, No. 3, pp. 7-10.

- **minimizzazione degli sprechi di trasporto e movimento attraverso la *Spaghetti Chart*.** Una *Spaghetti Chart* è una vera e propria mappa, generalmente disegnata a mano, che traccia il percorso fisico dei materiali o delle persone mentre eseguono le fasi di un determinato processo all'interno di un layout (Figura 2.9). È uno strumento tanto semplice quanto efficace per identificare i *muda* di trasporto o di movimento. In genere vengono anche calcolate le distanze percorse e il tempo impiegato, in modo da quantificare lo spreco e permettere il confronto con la situazione successiva agli interventi di miglioramento (Coletta, 2012)¹³.

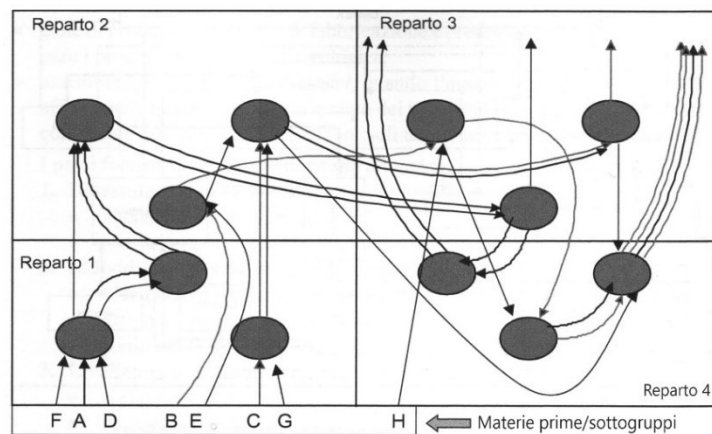


Figura 2.9 - Esempio di Spaghetti Chart (Graziadei, 2006)

- **definizione e standardizzazione delle condizioni ottimali dei posti di lavoro attraverso le 5S.** Il nome 5S deriva dalle iniziali delle cinque parole giapponesi che rappresentano le cinque fasi con cui viene implementato questo strumento (Galgano, 2002):
 1. *Seiri* = separare. In questa fase si vanno a separare gli oggetti utili da quelli inutili, i quali verranno successivamente eliminati;
 2. *Seiton* = ordinare. In questa fase viene definita una posizione precisa per ogni oggetto, in modo che possa essere raggiunto, prelevato e poi riposizionato facilmente;

¹³ Coletta, A. R. (2012). *The lean 3P Advantage*. CRC Press.

3. *Seiso* = pulire. Consiste nel mantenere la propria postazione pulita e cogliere tale occasione per ispezionare macchine e attrezzature alla ricerca di eventuali anomalie;
 4. *Seiketsu* = standardizzare. In questa fase vengono definiti e comunicati a tutti gli standard operativi che permettono di mantenere nel tempo quanto stabilito nei primi tre passaggi. Spesso questa fase viene supportata dall'utilizzo di checklist;
 5. *Shitsuke* = rispettare. Questa fase richiede di verificare periodicamente che gli standard definiti siano effettivamente rispettati e mantenuti.
- **riduzione dei tempi di setup attraverso lo SMED.** Lo SMED (*Single Minute Exchange of Die*) è un sistema che permette di ridurre drasticamente i tempi di setup fino a portarli ad una durata esprimibile, in minuti, attraverso numeri ad una sola cifra. La forza di questa tecnica è che può essere applicata per setup di qualsiasi tipologia, appartenenti a qualsiasi processo (Galgano, 2002). Verrà approfondito dettagliatamente nel Capitolo 3 e sarà oggetto del caso studio descritto nel Capitolo 4.

2.6 IMPLEMENTARE UN SISTEMA *PULL*

Non è sufficiente individuare il flusso di valore e farlo “scorrere”. Il quarto principio *lean* richiede alle aziende di far sì che il flusso di valore sia *tirato* dal cliente: si parla proprio di sistema *pull*, parola che in inglese significa “tirare”.

La produzione di tipo *pull* si contrappone alla più classica metodologia *push*, termine inglese con il significato di “spingere”. In questo caso, i materiali vengono *spinti* fuori prima dai magazzini e poi dai reparti a monte via via verso quelli a valle, in base a programmi di produzione ben definiti, formulati a loro volta a partire da previsioni di vendita. Con la metodologia *pull*, invece, si procede in senso inverso: sono i consumi delle fasi più a valle che *tirano* la produzione delle fasi più a monte (Graziadei, 2006).

2.6.1 Il *just-in-time*

La condizione ideale per l'adozione di una logica *pull* è quella della produzione a flusso continuo (*one piece flow*) e di un approccio *just-in-time*: in quest'ottica, le parti giuste necessarie per l'assemblaggio raggiungono la linea soltanto nel momento in cui sono

necessarie e solo nella quantità necessaria (Ohno, 1988). Inoltre, per raggiungere la sua massima efficacia, il *just-in-time* non deve riguardare soltanto l'azienda, ma deve essere esteso anche alla catena di fornitura. Qui ritorna, dunque, l'importanza di instaurare validi rapporti di collaborazione con i propri fornitori. In tal caso, quando un container si svuota viene rimandato indietro al fornitore, trasformandosi in segnale per dare il via alla produzione di altri pezzi. Quest'idea permette di eliminare il bisogno di magazzini, ma al tempo stesso rischia di bloccare l'intero sistema nel caso in cui anche solo un singolo elemento del meccanismo si inceppi. Tuttavia, la forza del *just-in-time* è proprio questa: rimuovere le barriere di sicurezza e concentrare ogni membro sull'anticipazione dei problemi prima che questi compromettano tutto, anziché sulla loro risoluzione (Womack, Jones, & Roos, La macchina che ha cambiato il mondo, 1990).

2.6.2 La classificazione dei sistemi *pull*

Esistono diverse tipologie di sistemi di *pull*, i quali gradualmente si allontanano dalla classica gestione di tipo *push* caratterizzata da magazzini e buffer, come rappresentato in Figura 2.10:

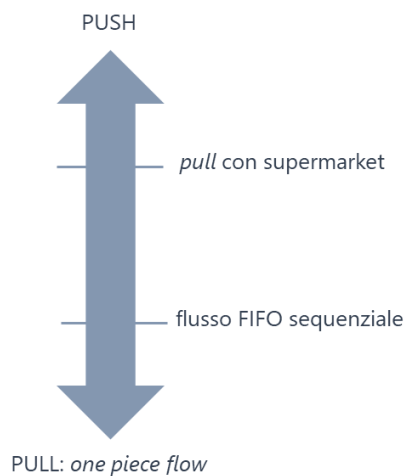


Figura 2.10 - Classificazione dei sistemi *pull* (Panizzolo, 2019)

2.6.2.1 *Pull con supermarket*

Il sistema *pull* con supermarket è efficace per regolare la produzione tra due processi disaccoppiati e non inseribili in un flusso continuo. Il *supermarket* è un'area tra due processi in cui quello a valle può rifornirsi di quello che ha consumato e di cui ha bisogno. Tale prelievo genera l'input per il processo a monte di produrre quanto consumato. Non

ci si basa più sulla programmazione o sulla previsione dei consumi, bensì sui consumi veri e propri (Graziadei, 2006).

La comunicazione sui consumi è affidata ad uno strumento simbolo della logica *pull* introdotta da Toyota: il *kanban*. *Kanban* è una parola giapponese che significa “cartellino”, ed infatti il *kanban* è un vero e proprio cartellino che viene associato ai contenitori standard utilizzati per la movimentazione dei pezzi tra il processo cliente e il processo fornitore. Questi cartellini riportano le informazioni indispensabili per il processo fornitore, quali (Panizzolo, 2019):

- Codice dell’articolo;
- Descrizione dell’articolo;
- Processo/stazione cliente;
- Processo/stazione;
- Tipo di contenitore;
- Quantità;
- Lead time.

In particolare, esistono due tipologie di cartellini *kanban* (Graziadei, 2006):

- *P-kanban*: specifica la quantità da produrre di un determinato codice, ed è impiegato nella stazione a monte in cui avviene la produzione;
- *C-kanban*: riporta la quantità del codice da ritirare nel *supermarket* della stazione a monte, ed è impiegato a valle nel reparto utilizzatore del pezzo.

Nel caso in cui i reparti siano contigui, può essere sufficiente utilizzare un solo cartellino (nello specifico il *P-kanban*).

Il processo di utilizzo dei cartellini *kanban* viene descritto di seguito. Si prenda un operatore della stazione 2 che necessita di un contenitore di parti dalla stazione 1. Egli deve:

- Prelevare il *C-kanban* dal contenitore vuoto;
- Prelevare dal *supermarket* un contenitore pieno. Nel fare ciò, deve rimuovere il *P-kanban* presente sul contenitore ed inserirlo in un’apposita rastrelliera presente presso la stazione 1. Deve inoltre lasciare alla stazione il contenitore vuoto

precedente, in modo che venga riempito. Infine, deve inserire il *C-kanban* sul contenitore che ha prelevato.

La produzione nella stazione 1 sarà dettata dai cartellini P-kanban presenti nella rastrelliera. Nulla può essere prodotto se non vi è un *P-kanban* a richiederlo (Graziadei, 2006). Il processo appena descritto è schematizzato in Figura 2.11:

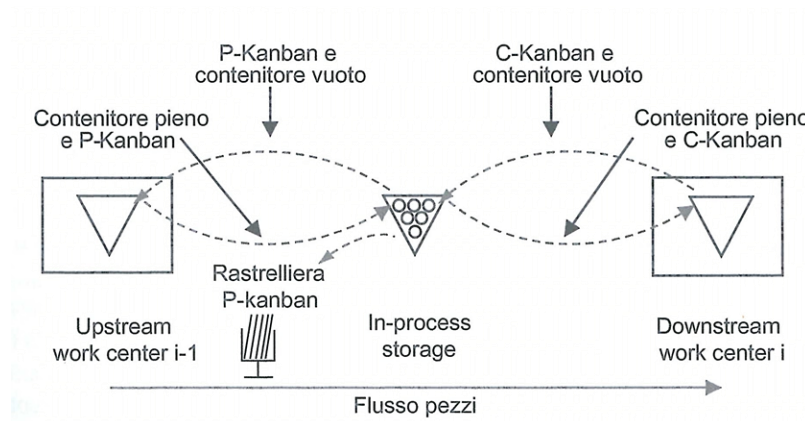


Figura 2.11 - Funzionamento del sistema kanban a due cartellini (Graziadei, 2006)

2.6.2.2 Flusso FIFO sequenziale

La parola FIFO è l'acronimo di *First In, First Out*, e rappresenta un metodo di gestione del flusso di materiali in cui il primo pezzo che entra in un magazzino o in una certa operazione sia anche il primo pezzo a uscire (Panizzolo, 2019). In questo caso, tra il processo a valle ed il processo a monte viene prevista la presenza di una corsia FIFO di dimensioni ben limitate, la quale può ospitare un determinato numero di pezzi work in process (WIP). Tale corsia può essere ricavata da una rulliera, una discesa o semplicemente un'apposita area delimitata. Il processo a monte produce in base alla sequenza di consumo del processo a valle, ma è costretto ad interrompere la produzione nel caso in cui la corsia FIFO si riempia ed attendere che la stazione a valle consumi del materiale (Graziadei, 2006). La Figura 2.12 rappresenta una schematizzazione del flusso con corsia FIFO:

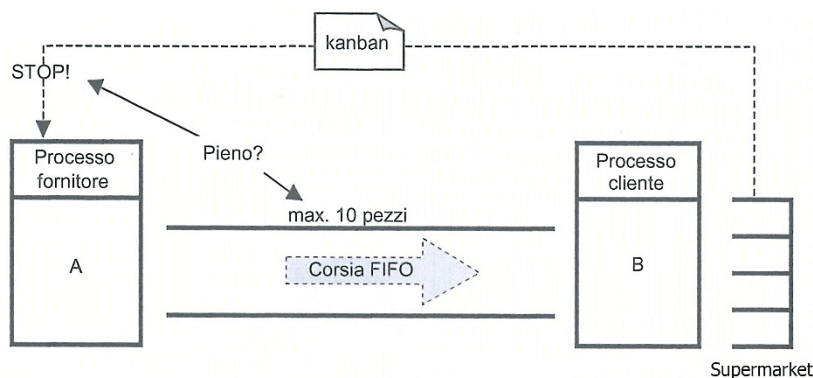


Figura 2.12 - Funzionamento del flusso FIFO sequenziale (Graziadei, 2006)

2.6.3 Il processo *pacemaker*

Nel momento in cui tutti i processi sono stati collegati in un sistema *pull*, allora si può rivoluzionare anche la modalità di condivisione delle informazioni legate al programma di produzione: si può lasciare il controllo ad un solo processo, il quale ha il ruolo di dettare il ritmo produttivo a tutti gli altri. Questo è chiamato processo *pacemaker*. Questo è definito come «*l'ultimo processo della mappa a valle del quale il flusso dei materiali è continuo fino al prodotto finito*» (Graziadei, 2006). Tale processo, dunque, può essere considerato un punto di disaccoppiamento (Liker & Attolico, 2014) tra il flusso con presenza di supermarket ed il vero e proprio flusso continuo. Spesso risulta essere l'ultimo processo della *future state map*, per esempio la spedizione.

2.6.4 Heijunka

Quanto descritto finora è possibile soltanto previo livellamento della produzione, che nella terminologia *lean* viene identificato con il termine *heijunka*. Come esprimono le parole di Fujio Cho, presidente di Toyota Motor Corporation, «*in generale, quando si cerca di applicare il TPS, la prima cosa da fare è bilanciare o livellare la produzione. [...] Una volta che il livello di produzione rimane più o meno costante per un mese, riuscirete ad applicare i sistemi pull e a bilanciare la linea di assemblaggio. Ma se i livelli di produzione – l'output – variano di giorno in giorno, non ha senso cercare di applicare questi altri sistemi, semplicemente perché in simili circostanze non si può lavorare in maniera standardizzata*» (Liker & Attolico, 2014).

L'*heijunka* consiste quindi nel livellamento della produzione, sia in termini di mix che in termini di volumi. Ciò significa che non si realizzano più i prodotti in base all'afflusso

effettivo degli ordini dei clienti, il quale può oscillare molto, ma si ripartisce il volume totale degli ordini di un periodo in modo che ogni giorno si produca la stessa quantità e lo stesso mix (Liker & Attolico, 2014). In questo modo si riesce ad uniformare la domanda del cliente riportandola a una sequenza fissa e prevedibile, che stabilizza il volume alternando i diversi tipi di prodotto. Proprio per questa alternanza di prodotti questa modalità di produzione viene chiamata *mixed model*, ovvero a modello misto (Liker & Attolico, 2014). La differenza tra una produzione a lotti e una produzione livellata è rappresentata visivamente in Figura 2.13. È importante notare come riuscire a mettere in pratica *l'heijunka* sia indispensabile per eliminare il *mura* che, come già descritto al Paragrafo 2.3.1, è a sua volta causa di *muri* e *muda* (Liker & Attolico, 2014).

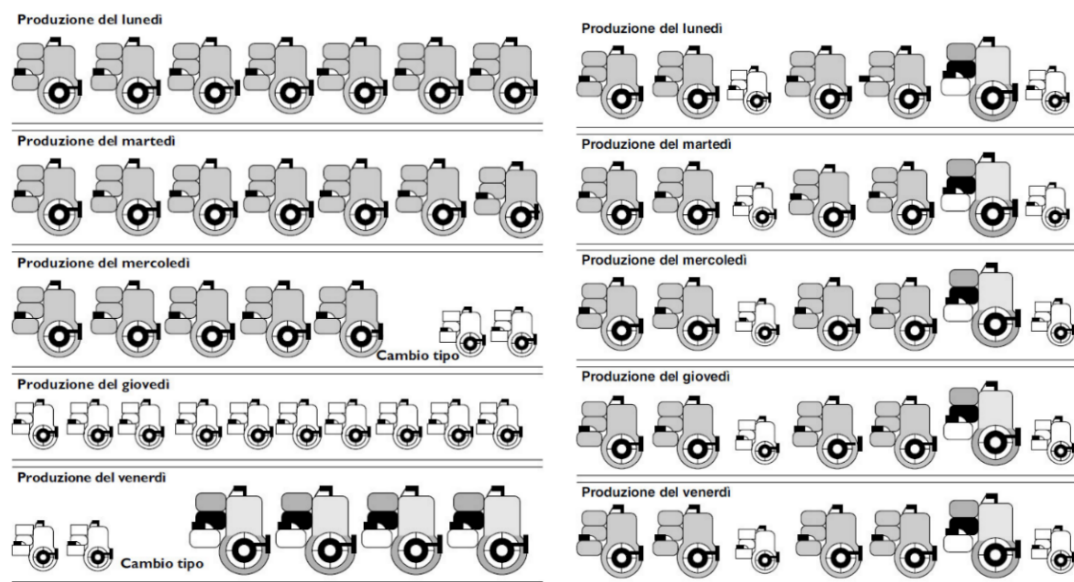


Figura 2.13 – Confronto tra una produzione tradizionale non livellata (a sinistra) e una produzione livellata *mixed model* (a destra) (Liker & Attolico, 2014)

Diversi sono i benefici che si possono ottenere con un buon livellamento della produzione (Liker & Attolico, 2014):

- **Flessibilità.** Essere flessibili permette di produrre ciò che il cliente vuole e quando lo vuole;
- **Riduzione della merce invenduta.** Questa è una diretta conseguenza del primo punto: se si produce solo ciò che il cliente ordina, cala drasticamente il rischio di non vendere dei prodotti;

- **Utilizzo più equilibrato di macchinari e forza lavoro;**
- **Minori spese di approvvigionamento.** Come già anticipato al Paragrafo 2.6.1, la condizione ideale per l'azienda prevede il coinvolgimento dei fornitori nel mondo del *just-in-time*. Quando questo viene realizzato, anche i fornitori si trovano a gestire un numero di ordini omogeneo e stabile. Questo comporta una riduzione delle scorte e una riorganizzazione delle consegne, che vengono effettuate anche più volte al giorno. La riduzione delle scorte comporta una riduzione dei costi, risparmio da cui trae beneficio anche il cliente.

L'*heijunka* porta con sé innumerevoli vantaggi, ma anche qualche difficoltà. Realizzare una produzione livellata comporta infatti un aumento dei setup, una riduzione della capacità produttiva ed un aumento della difettosità conseguente ai setup. Per tutelarsi da tali problematiche, è necessario intervenire su tre fronti principali (Graziadei, 2006):

1. Riduzione della durata dei setup;
2. Standardizzazione della componentistica per ridurre la necessità di setup;
3. Aumento dell'affidabilità delle macchine attraverso manutenzioni mirate.

2.7 RICERCARE LA PERFEZIONE

I primi quattro principi del *lean thinking* mettono in moto un circolo virtuoso: facendo scorrere il flusso si fanno emergere i *muda* nascosti, e tirando il flusso si mettono in evidenza gli ostacoli, che possono quindi essere rimossi. Ecco che risulta non esserci mai fine al processo di riduzione dei tempi, degli spazi, degli sforzi e degli errori (Womack & Jones, Lean Thinking, 1997). Per questo, in relazione al quinto principio, si parla di *miglioramento continuo* verso la ricerca di una perfezione che, però, non si può mai ritenere raggiunta.

2.7.1 *Kaizen e kaikaku*

Nella lingua giapponese la parola *kaizen* è composta da due termini: *kai*, ovvero “cambiamento”, e *zen*, che significa “in meglio” (Palmer, 2001)¹⁴. *Kaizen* indica quindi

¹⁴ Palmer, V. (2001). Inventory Management Kaizen. *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology* (p. pp. 55). Austin, TX, USA: EMAT.

il “miglioramento continuo”, e si fonda sull’assunto filosofico che la vita, non solo lavorativa ma anche sociale e domestica, dovrebbe essere impregnata di costanti tentativi di miglioramento (Imai, 2015)¹⁵. Nella cultura giapponese questo è un valore connaturato, mentre per il management occidentale il miglioramento è più improntato sul cambiamento radicale e sull’innovazione (Imai, 2015).

Quest’ultima tipologia di cambiamento, in giapponese, viene invece identificata con il termine *kaikaku* (Gåsvaer & von Axelson, 2012)¹⁶. Il *kaikaku*, quindi, è caratterizzato da esplorazione, innovazione, flessibilità e da una cultura di assunzione dei rischi (Gåsvaer & von Axelson, 2012). I cambiamenti possono essere molto costosi, in quanto sconvolgono i meccanismi consolidati all’interno delle Operations, e portano facilmente a cambiamenti importanti nel prodotto o nella tecnologia di processo (Slack, Brendon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019).

Il *kaizen*, al contrario, si basa sul buon senso e su accorgimenti a basso costo, di conseguenza risulta essere una metodologia a basso rischio e reversibile: si può sempre ritornare alle vecchie modalità operative. Benché i miglioramenti apportati siano spesso modesti e incrementali, nel lungo periodo il loro accumularsi può portare a grandi risultati (Imai, 2015). Tuttavia, il *kaizen* è molto più di questo. Il fulcro di questo approccio sta nella mentalità, che deve essere adottata da tutti, leader e dipendenti, basata sull’abitudine di riflettere su se stessi e fare autocritica, sulla capacità di imparare dal passato e di procedere in avanti in maniera incrementale (Liker & Attolico, 2014). Tutto questo può essere condensato in un’unica parola: *hansei*.

2.7.1.1 Hansei

Hansei si può tradurre con il termine “riflessione”, tuttavia il suo significato è molto più ampio e profondo. *Hansei* significa essere onesti con se stessi, riconoscere i propri errori e le proprie debolezze e, soprattutto, individuare delle soluzioni per superare i propri limiti. L’obiettivo dell’*hansei* non è punire chi sbaglia, ma aiutarlo a migliorarsi (Liker & Attolico, 2014). Yoshimaro Yamashina diceva:

¹⁵ Imai, M. (2015). *Gemba Kaizen*. FrancoAngeli.

¹⁶ Gåsvaer, D., & von Axelson, J. (2012). Kaikaku - Radical improvement in production. *International Conference on Operations and Maintenance* (p. pp. 758-765). World Academy of Science, Engineering and Tech.

«Senza l'hansei il kaizen è impossibile. Nell'hansei giapponese, quando fai qualcosa di sbagliato, anzitutto devi provare una tristezza profonda. Poi devi ideare un piano per risolvere il problema e devi convincerti sinceramente che non ripeterai più quell'errore. L'hansei è una mentalità, un atteggiamento. Hansei e kaizen si completano a vicenda» (Liker & Attolico, 2014).

2.7.1.2 Genchi genbutsu

Altro elemento fondamentale per implementare il *kaizen* è il *genchi genbutsu*. Dal punto di vista letterale, i due termini significano rispettivamente “posizione effettiva” e “materiale o prodotto effettivo”. Tale espressione, però, ha in Toyota un valore diverso: significa “andare sul posto per osservare e comprendere” (Liker & Attolico, 2014). Può essere visto, più o meno, come sinonimo di *gemba*, ovvero “luogo effettivo in cui si svolge il lavoro” (Liker & Attolico, 2014). Il *genchi genbutsu* non consiste soltanto nell'andare ad osservare un problema, ma richiede che vi sia un'analisi approfondita del perché tale problema si sia verificato, una ricerca delle cause radice (Liker & Attolico, 2014).

Questo aspetto, di fondamentale importanza, sarà protagonista all'interno di uno degli strumenti principali per l'implementazione del *kaizen*, ovvero il ciclo di Deming, o ciclo PDCA.

2.7.2 Il ciclo di Deming o PDCA

Il ciclo PDCA, anche noto come Ciclo di Deming, è un approccio sistematico alla risoluzione dei problemi. Secondo William E. Deming, ogni valido processo di problem solving deve includere quattro elementi, dai cui nomi deriva l'acronimo PDCA: pianificazione (*plan*), esecuzione (*do*), controllo (*check*) e azione (*act*) (Liker & Attolico, 2014). Questo strumento risulta essere un fattore fondamentale per assicurare la continuità dell'impegno di mantenimento e miglioramento degli *standard* (Imai, 2015). Di seguito vengono riportate le quattro fasi nel dettaglio:

- **Plan.** La prima fase del ciclo è la fase di pianificazione. Qui ci si concentra nello stabilire un obiettivo di miglioramento e nel definire un piano operativo che permetta di conseguirlo (Imai, 2015).

In realtà, questa fase deve essere preceduta da un'altra attività di fondamentale importanza: la comprensione approfondita della situazione e delle problematiche attuali, in sintonia con lo spirito del *genchi genbutsu* (Liker & Attolico, 2014). Si hanno a disposizione diversi strumenti per la ricerca della causa radice di un problema. Il più famoso tra questi è il metodo dei cinque perché: consiste nel chiedersi per cinque volte “perché” e darsi altrettante risposte quando si è di fronte ad un problema. In questo modo è possibile risalire alle cause reali, che spesso, invece, restano nascoste dietro a sintomi più evidenti (Ohno, 1988). Secondo Taiichi Ohno «*il sistema di produzione Toyota è stato realizzato grazie all'applicazione e all'evoluzione di tale principio scientifico*» (Ohno, 1988). Va da sé che l'effettivo numero di iterazioni della domanda “perché” dipende dalla complessità della problematica in questione (Imai, 2015).

Nella fase preliminare di analisi può rivelarsi necessario anche stabilire un certo ordine di priorità tra la serie di problemi evidenziati. In questo caso, torna utile un altro cruciale strumento: l'analisi di Pareto. Quest'analisi viene generalmente rappresentata attraverso un grafico a barre, detto diagramma di Pareto, in cui i problemi vengono ordinati in modo decrescente in base alla gravità o alla frequenza di accadimento (Liker & Attolico, 2014). Si basa sul fenomeno per cui la maggior parte degli effetti (in genere l'80%) è spiegata da un numero ristretto di cause (in genere il 20%) (Martinazzo & Frescura, 2020)¹⁷;

- **Do.** La seconda fase consiste nell'implementazione del piano (Imai, 2015). In particolare, però, non si concentra soltanto sull'attuazione delle azioni migliorative pianificate nella fase precedente, ma si occupa anche di raccogliere tutti i nuovi dati e documentare gli eventuali nuovi problemi sorti e le osservazioni di fenomeni inattesi (Chakraborty, 2016)¹⁸;
- **Check.** La terza fase richiede di effettuare una valutazione delle modifiche implementate per capire se abbiano portato il miglioramento atteso (Imai, 2015).

¹⁷ Martinazzo, D., & Frescura, E. (2020). *Guida pratica per applicare il Lean Six Sigma in azienda: Green Belt*.

¹⁸ Chakraborty, A. (2016). Importance of PDCA Cycle for SMEs. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, pp. 13-17.

Con i dati e le misurazioni raccolti nella fase di *do*, si fanno dei confronti con i valori target definiti in fase di pianificazione (Jagusiak-Kocik, 2017)¹⁹.

- **Act.** La quarta fase consiste, infine, nell'elevare a nuovo standard le modifiche introdotte, in modo da evitare il ripetersi delle criticità iniziali, e nell'individuare ulteriori opportunità di miglioramento (Imai, 2015). Il ciclo PDCA, dunque, è continuativo: non appena si realizza un miglioramento, la nuova situazione diventa protagonista di altri successivi tentativi di miglioramento. L'idea di base è che lo status quo non vada mai considerato del tutto soddisfacente (Imai, 2015). Nel caso in cui, però, i cambiamenti non abbiano avuto il successo desiderato, si richiede di ripetere le fasi già svolte fino ad ottenere i risultati desiderati (Slack, Brendon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019). In questo secondo caso vi sono due opzioni:

1. **Adattare il piano d'azione:** ciò potrebbe verificarsi, ad esempio, se non sono stati raccolti dati sufficienti, le circostanze sono cambiate o se i risultati del test sono stati in qualche modo inferiori all'obiettivo prefissato. Il *team* può decidere di ripetere dei test, raccogliere dati diversi o rivedere gli interventi effettuati: attività che fanno parte della fase di *do* (Chakraborty, 2016);
2. **Abbandonare il piano d'azione:** se le modifiche apportate al processo non hanno in alcun modo comportato un miglioramento, è necessario tornare alla fase di *plan*. A questo punto, il team deve rivalutare potenziali soluzioni che non sono state inizialmente considerate, effettuare un'analisi più approfondita delle cause o persino riconsiderare gli obiettivi dichiarati. Il team dovrà quindi impegnarsi per sviluppare un nuovo piano d'azione e passare nuovamente attraverso le fasi rimanenti (Chakraborty, 2016).

2.7.2.1 Il ciclo SDCA

Inizialmente, tutti i nuovi processi operativi risultano instabili. Prima di avviare un ciclo PDCA, quindi, è necessario stabilizzare i processi in vigore, attraverso il ciclo SDCA,

¹⁹ Jagusiak-Kocik, M. (2017). PDCA cycle as a part of continuous improvement in the production company - a case study. *Production Engineering Archives*, vol. 14, pp. 19-22.

ovvero *Standardize-Do-Check-Act*. Mentre il ciclo SDCA rende stabili i processi correnti e li riporta ad uno standard, il ciclo PDCA li modifica in senso migliorativo. Si può passare ad un ciclo PDCA soltanto dopo aver istituito uno standard ed averlo fatto rispettare, stabilizzando il processo corrente (Imai, 2015).

2.7.3 L'importanza dello standard

Il concetto di standard, nominato nella fase di *act*, in Toyota risulta avere un'importanza cruciale. «*Gli standard rappresentano il modo migliore, più agevole e più sicuro di eseguire un lavoro*» (Imai, 2015).

Il processo si può considerare stabile e sotto controllo quando viene dotato di standard, gli operatori li rispettano, e non si verificano anomalie (Imai, 2015). Allorché si stabilizza un processo e si rendono visibili nuovi sprechi e inefficienze (Liker & Attolico, 2014). Si può allora tentare di migliorare ulteriormente il processo, elevando i livelli di performance contenuti negli standard. Si esce così dalla fase di mantenimento e si entra in quella di miglioramento; in altre parole, si mette in moto il ciclo PDCA (Imai, 2015). Come si osserva in Figura 2.14, nel momento in cui un processo viene stabilizzato (linea continua) è possibile implementare un miglioramento delle performance attraverso un ciclo PDCA. Successivamente, sarà necessario aggiornare gli standard in modo da stabilizzare le nuove modalità operative, ed evitare ricadute verso le vecchie abitudini, attraverso un ciclo SDCA (Imai, 2015).

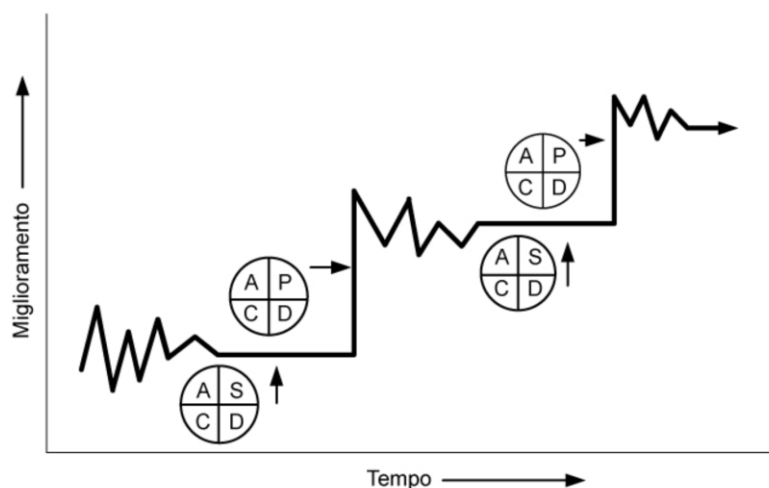


Figura 2.14 - Profilo tipico del miglioramento nell'alternarsi dei cicli SDCA e PDCA (Imai, 2015)

Toyota, quindi, in maniera non convenzionale, considera standardizzazione ed innovazione come due facce della stessa medaglia, e le fonde insieme in modo da creare una continuità. Il fondamento del metodo Toyota risiede proprio nella standardizzazione associata all'innovazione, che viene a sua volta tradotta in nuovi standard (Liker & Attolico, 2014).

Capitolo 2

Lo SMED

Lo SMED, acronimo di *Single Minute Exchange of Die*, è una tecnica *lean* incentrata su tutto ciò che accade tra la produzione del lotto precedente e quella del lotto successivo, ovvero su quello che prende il nome di setup. L'obiettivo di questa tecnica sta nel ridurre drasticamente la durata del setup fino a portarla ad un tempo, idealmente, inferiore ai dieci minuti, o, in altre parole, ad un tempo formato da una singola cifra rappresentante i minuti (per questo, appunto, il termine "*single minute*").

Il seguente capitolo si occuperà di descrivere nel dettaglio non solo la tecnica ma anche i concetti rivoluzionari che ne stanno alla base. In primo luogo, verranno chiariti il significato di setup e l'impatto che questo ha sull'operatività degli impianti. Successivamente verranno analizzate le diverse modalità di mitigazione di tale impatto, a partire dalle più classiche fino alla più innovativa: lo SMED. La seconda parte del paragrafo si focalizzerà proprio sullo SMED, ne presenterà le tre fasi fondamentali e alcuni metodi pratici di snellimento delle operazioni di attrezzaggio.

3.1 CHE COSA SI INTENDE PER SETUP

Il tempo di setup viene definito come il tempo che intercorre tra la produzione dell'ultimo pezzo conforme di un prodotto A e il primo pezzo conforme di un prodotto B (Martinazzo & Frescura, 2020). Il termine “conforme” non è casuale. Nella fase di avviamento della produzione, i primi pezzi solitamente vengono scartati in quanto non soddisfano le specifiche e i criteri di qualità. Questa fase rientra nel setup con il nome di “*trial run* e regolazioni”, ed è la fase più lunga di tutto il setup, come si può osservare nella Tabella 3.1. In tale tabella vengono riportati i principali gruppi di attività che caratterizzano un generico setup, con i rispettivi pesi sul tempo complessivo. Queste attività sono dettagliate di seguito.

Preparazione, controllo, aggiustamenti di fine processo dei materiali e delle attrezzature. Questa fase comprende tutte le operazioni di reperimento delle attrezzature e di controllo del loro corretto funzionamento, così come le attività di riposizionamento a magazzino e di pulizia dei macchinari (Shingo, 1985)²⁰.

Rimozione e montaggio delle attrezzature. Questa è la fase centrale del setup, comprende le vere e proprie attività di rimozione di parti e attrezzature alla fine della produzione di un lotto e le attività di montaggio di parti e attrezzature per la produzione del lotto successivo (Shingo, 1985).

Calibrazione, misurazione e settaggio delle macchine. Questo step è caratterizzato da tutte le operazioni di calibrazione che devono essere eseguite al fine di realizzare un'operazione di produzione, come il dimensionamento, il centraggio la misura della pressione o della temperatura, etc. (Shingo, 1985).

***Trial run* e regolazioni.** In questa fase viene prodotto un campione e vengono apportati aggiustamenti e regolazioni all'attrezzatura. Più accuratamente vengono svolte le attività precedenti di montaggio e calibrazione, minori saranno le regolazioni da fare in questa fase. La frequenza con cui vengono prodotti i campioni e la durata della fase di regolazione dipendono dalle competenze dell'attrezzista che se ne occupa, per cui il modo

²⁰ Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.

più efficace per ridurre le problematiche legate a questa fase è quello di aumentare l'affidabilità e la precisione degli step precedenti (Shingo, 1985).

Tabella 3.1 - principali operazioni di un'attività di setup (Shingo, 1985)

Operazione	Peso sul tempo complessivo
Preparazione, controllo, aggiustamenti di fine processo dei materiali e delle attrezzature	30%
Rimozione e montaggio delle attrezzature	5%
Calibrazione, misurazione e settaggio delle macchine	15%
Trial run e regolazioni	50%

3.1.1 Il costo del setup

Le operazioni di setup hanno un costo. Tali attività, infatti, costringono ad un fermo della produzione e tengono impegnati uno o più operatori specializzati, detti attrezzisti. Per calcolare il costo di setup, quindi, bisogna tenere in considerazione due componenti: il costo di fermo della macchina e il costo del lavoro degli attrezzisti.

La definizione di setup con cui si è introdotto il primo paragrafo corrisponde sostanzialmente alla definizione del tempo di fermo macchina. Il costo del fermo macchina sarà quindi pari al prodotto tra il tempo di setup e il costo orario della macchina:

$$\text{Costo fermo macchina} = \text{tempo setup} \cdot \text{costo orario macchina}$$

Il tempo di lavoro degli attrezzisti, invece, non si limita solo al tempo di fermo macchina, perché vi sono numerose operazioni che vengono svolte prima di fermare la produzione precedente e dopo il termine del setup, come rappresentato in Figura 3.1. Il costo dell'attrezzista viene quindi calcolato come segue:

$$\text{Costo attrezzista} = \text{tempo attrezzista} \cdot \text{costo orario attrezzista}$$

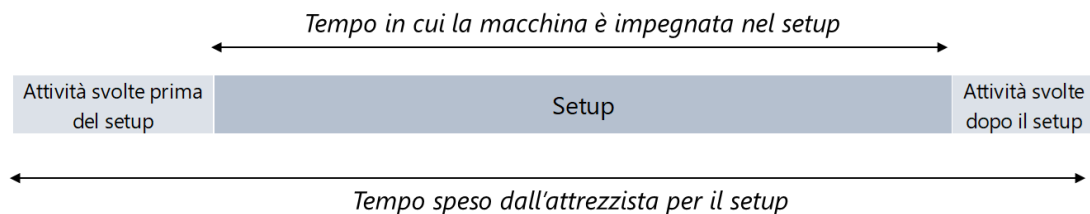


Figura 3.1 - Tempo di setup e tempo dell'attrezzista (Martinazzo & Frescura, 2020)

Il costo totale di setup è determinato dalla somma di queste due componenti:

$$\text{Costo totale set up} = \text{costo fermo macchina} + \text{costo attrezzista}$$

La formula va modificata nel caso vi siano più attrezzisti coinvolti.

3.2 L'IMPATTO DEL SETUP SULL'EFFICIENZA PRODUTTIVA

Il tempo che viene dedicato alle operazioni di setup è tempo non produttivo, e per questo impatta negativamente sulle prestazioni delle macchine e degli impianti. Il setup, tuttavia, è soltanto una delle sei diverse categorie di perdite che possono caratterizzare un impianto (Martinazzo & Frescura, 2020):

- Guasti;
- Setup e regolazioni;
- Micro-fermate;
- Rallentamenti;
- Start-up;
- Scarti e rilavorazioni.

Tutte queste perdite vengono considerate ed inglobate in un unico indicatore di prestazione dei macchinari, detto OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

3.2.1 OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

L'efficacia complessiva delle macchine (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE) è un criterio molto utilizzato per fare la valutazione della capacità produttiva di un'impresa, ed è formato da tre elementi di performance (Slack, Brendon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019):

- Il tempo in cui la macchina è disponibile;
- La velocità di lavorazione della macchina;
- La qualità dell'output prodotto.

Questi tre elementi di performance sono collegati rispettivamente a tre sotto-indicatori:

- **Rapporto di disponibilità dell'impianto (a)**

La disponibilità della macchina indica la percentuale del tempo totale disponibile che viene effettivamente sfruttato per la produzione (Martinazzo & Frescura,

2020). Per determinarla, bisogna innanzitutto individuare il tempo disponibile netto, sottraendo al tempo disponibile totale ($n^\circ \text{ turni} \cdot h/\text{turno}$) i tempi legati a pause e bisogni fisiologici. Successivamente si può determinare il tempo operativo totale sottraendo al tempo disponibile netto tutte le perdite di disponibilità dell'impianto, ovvero i tempi legati a:

- Fermi pianificati (pasti, manutenzioni pianificate, setup pianificati, ecc.);
- Fermi non pianificati (guasti, ritardi nella pianificazione, macro-fermate, ecc.).

Da qui il calcolo del rapporto di disponibilità (Martinazzo & Frescura, 2020):

$$a = \frac{\text{tempo operativo totale}}{\text{tempo disponibile netto}}$$

- **Rapporto di prestazione dell'impianto (p)**

Generalmente, quando la macchina produce, la sua efficienza è inferiore al 100%, ovvero la macchina non lavora al massimo delle sue potenzialità (Martinazzo & Frescura, 2020). Questo scostamento può essere dovuto a:

- Micro-fermate;
- Riduzioni di velocità;
- Ritardi legati alla tecnologia;
- Perdite legate all'apprendimento (nel caso, per esempio, di assunzione di nuovi dipendenti).

Il rapporto di prestazione viene quindi definito come segue (Slack, Brendon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019):

$$p = \frac{\text{tempo operativo netto}}{\text{tempo operativo totale}}$$

dove il tempo operativo netto è dato dalla differenza tra il tempo operativo totale e il tempo legato alle perdite di velocità sopra elencate.

- **Rapporto di qualità dell'impianto (q)**

Il rapporto di qualità misura, infine, le perdite di capacità legate alla qualità delle unità prodotte, quindi considera:

- Scarti e rilavorazioni;
- Attività di ispezione;
- Gestione dei reclami.

Esso si calcola rapportando al tempo operativo netto il tempo operativo che dà valore, ovvero il tempo operativo netto ripulito dalle perdite di qualità (Slack, Brendon-Jones, Danese, Romano, & Vinelli, 2019):

$$q = \frac{\text{tempo operativo che dà valore}}{\text{tempo operativo netto}}$$

Questi rapporti sono degli importanti indicatori di performance dell'attività produttiva di un'azienda. Tuttavia, presi singolarmente non riescono ad esprimere l'efficacia complessiva delle macchine. Questa invece viene chiarita dalla combinazione di tutti e tre gli elementi:

$$OEE = a \cdot p \cdot q$$

La Figura 3.2 esemplifica tutti i passaggi sopra elencati per arrivare al calcolo dell'OEE.

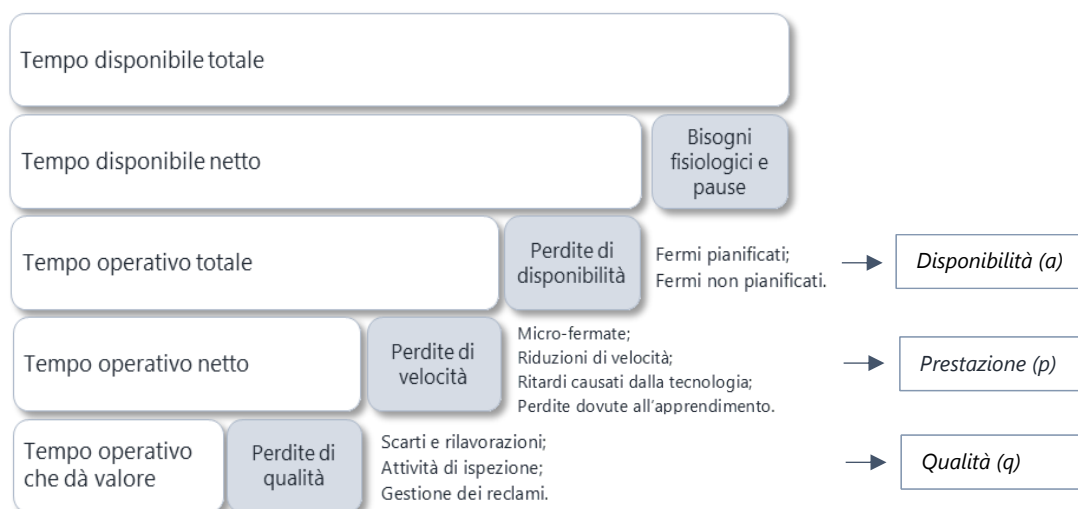


Figura 3.2 - Determinazione dell'OEE

In genere le aziende tradizionali presentano valori di OEE compresi tra il 60% e l'80%. Le più virtuose si assestano a valori prossimi all'80%. Un OEE del 60% indica che l'impianto, e di conseguenza il capitale investito per acquistarlo, è sfruttato soltanto per il 60%. In casi come questo, esistono ampi margini di miglioramento che possono essere individuati da una lettura scomposta dell'indicatore (Martinazzo & Frescura, 2020):

- Se il rapporto di disponibilità risulta particolarmente basso, significa che la macchina è spesso ferma per guasti o setup o altre macro-fermate. È proprio su questa voce che hanno effetto i risultati di un'applicazione della tecnica SMED. Altri interventi possono riguardare il miglioramento delle condizioni degli impianti e la riduzione dell'insorgere di guasti (in termini di frequenza e durata) attraverso programmi di TPM – *Total Productive Maintenance*;
- Se invece il valore critico si ha nel rapporto di efficienza significa che la macchina presenta numerose micro-fermate e rallentamenti o ritardi. In questo caso si può intervenire con attività di manutenzione autonoma, miglioramento delle regolazioni e formazione degli operatori;
- Infine, bassi valori nel rapporto di qualità sono generalmente dovuti alla presenza di numerosi scarti e frequenti rilavorazioni. L'unica leva su cui agire in tali circostanze è l'avvio di progetti di miglioramento centrati sulla qualità di prodotto e di processo.

3.3 METODI TRADIZIONALI PER IL MIGLIORAMENTO DEI SETUP

Nel mondo contemporaneo, caratterizzato da una domanda diversificata, la grande sfida per molti manager sta nel dover sostenere una produzione con elevata varietà e bassi volumi. Tuttavia, il vero problema delle aziende non è tanto la produzione con queste caratteristiche, ma piuttosto il fatto che questa implica la gestione di piccoli lotti e frequenti setup. Le operazioni di setup, soprattutto in campo manifatturiero, sovente richiedono un tempo considerevole, e le aziende tendono a soffrire la grande inefficienza che queste comportano (Shingo, 1985).

Nel tempo sono state individuate diverse strategie per mitigare l'impatto dei setup sull'efficienza produttiva. Le prime soluzioni prevedevano l'ingaggio di operatori altamente specializzati, per passare in un secondo momento a tecniche come la produzione di lotti più grandi ottenuti dall'unione di più ordini, e arrivare infine all'utilizzo dei lotti economici di produzione (Shingo, 1985). Di seguito ne viene riportata una descrizione dettagliata.

3.3.1 Strategie incentrate sulla specializzazione degli operatori

Nella visione tradizionale, per raggiungere la massima efficienza nelle operazioni di attrezzaggio di una macchina è necessario che gli operatori siano in possesso di due particolari caratteristiche (Shingo, 1985):

- La conoscenza dei macchinari e del loro funzionamento, così come delle attrezzature e degli utensili;
- Le competenze nel montaggio e nella rimozione di queste attrezzature, così come nelle operazioni di centraggio, misura e calibrazione.

Con questa logica, di conseguenza, avvalersi di operatori altamente specializzati è l'unico modo per rendere efficienti le operazioni di setup.

Questo però può dare origine ad altre inefficienze: mentre l'operatore esperto si occupa delle operazioni di attrezzaggio, gli operatori che normalmente lavorano sulla macchina si occupano di varie attività secondarie o banalmente attendono.

3.3.2 Strategie incentrate sull'aumento della dimensione dei lotti

Quando un'azienda si trova ad affrontare grandi ordini, gli effetti negativi di un lungo setup sul ritmo di produzione sono piuttosto lievi, in quanto il tempo di setup si ridistribuisce su un elevato numero di pezzi.

Al contrario, per piccoli ordini l'impatto di un lungo setup viene ad essere molto grande. Tuttavia, anche in questo caso si può pensare di lavorare con grandi lotti: infatti, se gli ordini sono ripetuti, possono essere anticipati e accorpati in un'unica grande produzione, riducendo così l'impatto negativo del setup (Shingo, 1985). Il peso che il setup ha su ogni pezzo lavorato viene determinato dal rapporto tra la durata del setup e il numero di pezzi del lotto. Come riportato in Tabella 3.2 e in Tabella 3.3:

- A parità di setup, al crescere della dimensione dei lotti il peso del setup sul tempo di lavorazione di un pezzo diminuisce;
- A parità di lotto, invece, si ottengono risparmi maggiori nel caso di setup più lunghi;

(Shingo, 1985).

Tabella 3.2 - relazione tra tempo di setup e dimensione del lotto - I (Shingo, 1985)

Tempo di setup	Dimensione del lotto	Tempo di lavorazione effettivo per unità	Tempo di lavorazione	Riduzione %
4 h	100	1 min	$1 \text{ min} + \frac{4 \cdot 60}{100} = 3,4 \text{ min}$	100
4 h	1'000	1 min	$1 \text{ min} + \frac{4 \cdot 60}{1'000} = 1,24 \text{ min}$	36

Tabella 3.3 - relazione tra tempo di setup e dimensione del lotto - II (Shingo, 1985)

Tempo di setup	Dimensione del lotto	Tempo di lavorazione effettivo per unità	Tempo di lavorazione	Riduzione %
8 h	100	1 min	$1 \text{ min} + \frac{8 \cdot 60}{100} = 5,8 \text{ min}$	100
8 h	1'000	1 min	$1 \text{ min} + \frac{8 \cdot 60}{1'000} = 1,48 \text{ min}$	26

3.3.3 Strategie basate sul lotto economico

Utilizzare grandi lotti di produzione in risposta a grandi ordini è corretto, ma è il caso meno frequente. Molto più frequente è la situazione descritta precedentemente, in cui si utilizzano grandi lotti di produzione per combinare piccoli ordini ripetuti, dando origine ad un surplus di scorte per il fatto che si producono i pezzi prima con molto anticipo. Questo secondo scenario permette di ridurre i costi legati ai lunghi tempi di setup, ma fa crescere i costi legati alle scorte (Graziadei, 2006). La relazione tra la dimensione del lotto e rispettivamente i costi di setup e i costi delle scorte viene rappresentata dalla Figura 3.4:

- la curva P rappresenta i costi generati dal setup al crescere della dimensione del lotto. È una curva decrescente in quanto all'aumentare del volume prodotto il costo di setup può essere ripartito su un numero maggiore di unità, incidendo meno sul singolo pezzo prodotto (Graziadei, 2006);
- la curva S rappresenta l'andamento dei costi delle scorte al crescere della dimensione del lotto. All'aumentare del volume prodotto aumenta in maniera direttamente proporzionale la quantità versata a magazzino e di conseguenza anche la giacenza media, come rappresentato dal profilo di consumo e ripristino delle scorte in Figura 3.3 (Graziadei, 2006).

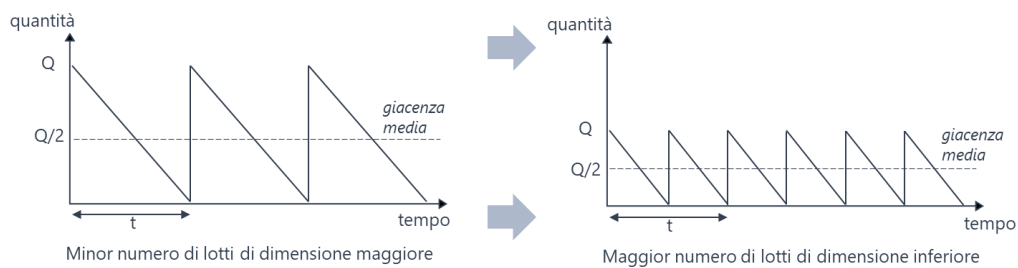


Figura 3.3 - Effetto della riduzione della dimensione dei lotti di produzione sulla giacenza media

Le curve P e S si intersecano nel punto E, corrispondente alla dimensione del cosiddetto lotto economico di produzione (EOQ). In questo punto, infatti, i vantaggi e gli svantaggi relativi a setup e scorte si bilanciano (Shingo, 1985) e il costo totale dato dalla somma di costi fissi, costi di setup e costi delle scorte risulta minimo (Graziadei, 2006).

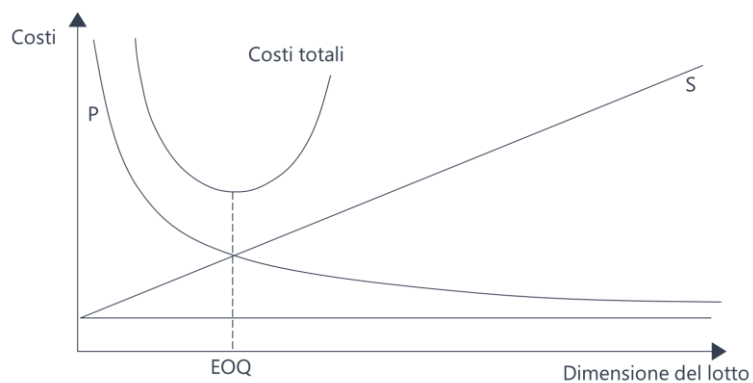


Figura 3.4 - L'individuazione del lotto economico di produzione (Graziadei, 2006)

Il lotto economico (E) è individuato dall'intersezione tra la curva degli effetti del setup (P) e la curva dei costi delle scorte (S) al crescere della dimensione del lotto di produzione.

Il concetto di lotto economico è sicuramente corretto dal punto di vista teorico, tuttavia, si basa sull'erronea assunzione che non sia possibile ridurre il tempo di setup. Proprio questa, invece, è l'assunzione che la metodologia SMED punta a scardinare. Riducendo consistentemente i tempi di setup, la curva del costo di setup si sposta verso sinistra e di conseguenza il lotto economico si riduce, come si osserva in Figura 3.5. A questo punto sforzarsi di produrre in grandi lotti risulta inutile, mentre una produzione in piccoli lotti non risulta più problematica e il livello di scorte a magazzino può essere minimizzato (Shingo, 1985).

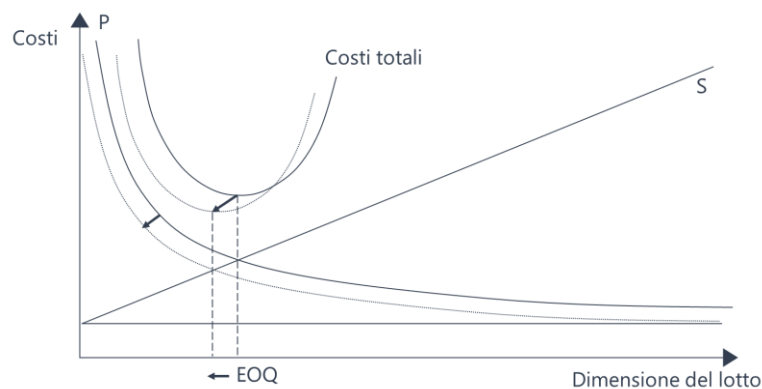


Figura 3.5 - L'effetto della riduzione dei tempi di setup (Graziadei, 2006)

3.3.4 I vantaggi della metodologia SMED

In conclusione, l'abbattimento dei tempi di setup di una macchina o di una linea è uno sforzo che permette di ottenere numerosi benefici (Graziadei, 2006):

- Produzione in piccoli lotti;
- Riduzione delle scorte a magazzino;
- Riduzione del costo del prodotto: l'incidenza del costo di setup sul singolo pezzo diminuisce;
- Riduzione dell'indisponibilità degli impianti: riducendo il tempo di fermo impianto per cambio produzione aumenta il tempo disponibile per produrre;
- Aumento della flessibilità e della reattività al cliente: riducendo i lotti di produzione si riducono i lead time e di conseguenza aumenta la velocità di risposta al mercato.

3.4 LA NASCITA DELLO SMED

Il nome *Single Minute Exchange of Die* è stato attribuito nel 1969 dall'ideatore stesso di questa tecnica, Shigeo Shingo, dopo la coraggiosa richiesta ricevuta dal manager di una delle maggiori divisioni della Toyota Motor Company, Mr. Sugiura, di ridurre il tempo di attrezzaggio di una pressa di 1'000 tonnellate da due ore a meno di tre minuti. Dopo aver raggiunto l'obiettivo, Shingo decise di attribuire questo nome alla tecnica che aveva adottato, nella speranza che, utilizzandola in qualsiasi contesto, ogni setup possa raggiungere una durata di pochi minuti (Shingo, 1985). Naturalmente il lavoro di Shingo

non iniziò nel 1969, ma fu un lungo processo di studio durato ben diciannove anni. Di questi anni risultano particolarmente significativi tre eventi, presentati di seguito.

Il primo evento, che segnò l'inizio del processo di studio ed implementazione dello SMED, si colloca nel 1950 nello stabilimento produttivo Mazda della Toyo Kogyo ad Hiroshima, che al tempo produceva veicoli a tre ruote. Il management aveva individuato i colli di bottiglia del processo produttivo nelle grandi presse (di 350, 750 e 800 tonnellate) per la realizzazione della carrozzeria delle auto, le quali non lavoravano a piena capacità, ed era determinato ad eliminarli. L'obiettivo infatti era di aumentare la produttività, e l'unico modo per farlo sembrava, agli occhi dei manager, quello di acquistare dei nuovi macchinari (Shingo, 1985).

Prima di fare un tale passo, Shingo ottenne il benestare dal management a fare un'analisi della produzione, con cronometro alla mano, per una settimana. Durante queste osservazioni assistette ad un cambio stampo sulla pressa da 800 tonnellate, e proprio in quest'occasione si rese conto di quanto tale fase fosse inefficiente: l'operatore aveva perso numerosi minuti per cercare un bullone mancante, per finire poi col prelevare dallo stampo di un'altra macchina, tagliarlo e filettarlo. In questo modo il problema aveva rubato tempo ad attività a valore e non era neppure stato risolto, ma soltanto rimandato, dato che rimaneva un bullone mancante su un'altra pressa (Shingo, 1985). A Shingo, in quel momento, fu chiaro come esistessero effettivamente due tipologie di operazioni di setup: le operazioni di setup interne (IED o *Inside Exchange of Die*) e le operazioni di setup esterne (OED o *Outside Exchange of Die*). Il significato di questi due termini sarà chiarito nel paragrafo successivo. Ciò che era chiaro era che fosse assolutamente insensato fermare una pressa da 800 tonnellate per un bullone mancante. Shingo quindi si occupò di migliorare l'intera procedura di setup cercando di svolgere più attività possibili prima di fermare la macchina. Questo permise di aumentare l'efficienza di un 50% circa e di eliminare il collo di bottiglia (Shingo, 1985). Con la separazione tra IED ed OED, che oggi sappiamo essere i due concetti fondanti della tecnica di Shingo, iniziò quindi la teorizzazione dello SMED.

Il secondo evento viene fatto risalire al 1957, in un cantiere navale delle Mitsubishi Heavy Industries a Hiroshima. Anche in questo caso il problema risiedeva in una grande piallatrice usata per i basamenti dei motori diesel che non lavorava al massimo della sua capacità. Dopo aver effettuato un'analisi della produzione, Shingo osservò che la

procedura di centraggio e dimensionamento del basamento del motore veniva effettuata sul piano di lavorazione della piallatrice stessa, riducendone drasticamente l'operatività. Durante le discussioni con il manager Okasaki, Shingo arrivò ad un'idea improvvisa: perché non installare un secondo piano di lavorazione in modo da svolgere le attività di attrezzaggio separatamente? In tal modo, al momento del passaggio da una lavorazione ad un'altra, sarebbe bastato scambiare i due piani, riducendo il tempo di fermo macchina. Questa proposta fu apprezzata e realizzata, arrivando ad un incremento di produttività del 40% (Shingo, 1985).

L'ultimo evento che permise a Shingo ad arrivare alla teorizzazione della tecnica dello SMED avvenne, come accennato inizialmente, nel 1969 nel principale plant produttivo della Toyota. In realtà questo evento si può dividere in due step successivi. Inizialmente, il divisional manager Sugiura aveva ricevuto una prima sfida dalla direzione aziendale: ridurre il tempo necessario per il cambio configurazione di una pressa di 1000 tonnellate dalle attuali quattro ore alle due ore impiegate dalla Volkswagen in Germania. Utilizzando l'approccio di separazione tra IED ed OED, Shingo riuscì a raggiungere un tempo di installazione di novanta minuti. Il mese successivo, tuttavia, Sugiura portò a Shingo delle notizie sorprendenti: la direzione aveva richiesto un'ulteriore riduzione del tempo di setup a meno di tre minuti! Era chiaro che ci volesse uno step in più rispetto alla modalità precedentemente utilizzata: l'illuminazione di Shingo fu di convertire lo IED in OED. Con queste ulteriori modifiche l'obiettivo dei tre minuti fu raggiunto con successo (Shingo, 1985).

Questi tre eventi contribuirono quindi all'implementazione di una tecnica che potesse essere il più possibile versatile e adattabile ai diversi contesti industriali, dando origine così ai concetti di setup interno e setup esterno e ai tre stadi di implementazione dello SMED, presentati nel dettaglio di seguito.

3.5 GLI STADI DELLO SMED

Come accennato in precedenza, tutta la metodologia SMED si basa su un concetto molto semplice ma fondamentale: l'esistenza, all'interno del tempo di setup, di due tipologie di operazioni. Sono definite come segue:

- **Operazioni di setup interne (IED o *Inside Exchange of Die*):**
operazioni che, per ragioni tecniche e non organizzative, devono essere effettuate necessariamente a macchina ferma (Graziadei, 2006);
- **Operazioni di setup esterne (OED o *Outside Exchange of Die*):**
operazioni che possono essere effettuate a macchina in funzione, come alimentazioni, preparazioni, pulizie, controlli attrezzature, riordini ecc. (Graziadei, 2006).

Generalmente le operazioni di setup interne ed esterne vengono confuse tra loro, e ciò che potrebbe essere eseguito esternamente, ovvero mentre la macchina sta ancora producendo il lotto precedente, viene svolto invece internamente, a macchina ferma.

È proprio da queste premesse che prende avvio un progetto SMED.

3.5.1 Stadio preliminare

Lo stadio preliminare dello SMED è caratterizzato dalla non distinzione tra setup interno e setup esterno. Le attività che devono essere portate avanti in questa fase sono di studio ed analisi dettagliata delle attività di setup. Esistono diverse modalità per fare ciò (Shingo, 1985):

- **Cronometraggio delle operazioni di setup.** Questo tipo di analisi è molto efficace ma richiede anche grandi capacità e un grande impegno in termini di tempo;
- **Analisi di un setup campione.** Questa tipologia di studio risulta efficace soltanto nel caso in cui vi sia un'elevata ripetizione delle operazioni tra i diversi setup;
- **Interviste agli operatori;**
- **Filmato delle operazioni di setup.** Questa è la modalità ottimale, soprattutto se il filmato viene presentato agli operatori stessi al termine delle attività;

Sulla base di una prima analisi, lo stadio preliminare prevede infine di andare a creare una mappatura del ciclo di setup attuale, rappresentando e quantificando in particolare le operazioni eseguite rispettivamente come interne e come esterne come in Figura 3.6 (Graziadei, 2006).

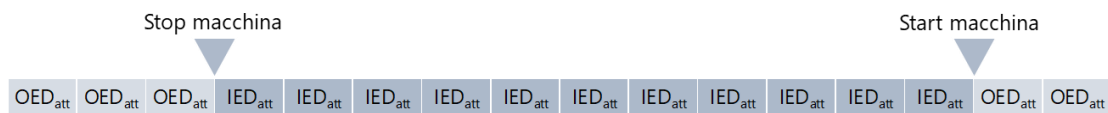


Figura 3.6 - Stadio preliminare SMED (Graziadei, 2006)

3.5.2 Stadio 1: separazione di IED e OED

Il primo vero e proprio step fondamentale della tecnica SMED consiste nella distinzione, all'interno del ciclo attuale, tra setup interno e setup esterno. Ciò significa, in pratica, che il team di lavoro deve andare ad analizzare ogni fase IED precedentemente individuata e definire, da un punto di vista puramente tecnico, se effettivamente l'operazione debba essere svolta a macchina ferma o meno (Graziadei, 2006). Le attività esterne più comunemente svolte come attività interne sono, per esempio:

- il trasporto dei prodotti finiti del lotto precedente;
- il trasporto dei materiali grezzi da lavorare nel lotto successivo;
- il trasporto delle attrezzature da cambiare;
- l'individuazione di parti mancanti o difettose e la conseguente risoluzione.

Solitamente già solo con questo primo stadio si possono ridurre i tempi di setup interno di un 30-50% (Shingo, 1985).

Una rappresentazione grafica dell'attività di separazione tra IED e OED viene riportata di seguito in Figura 3.7 e in Figura 3.8.

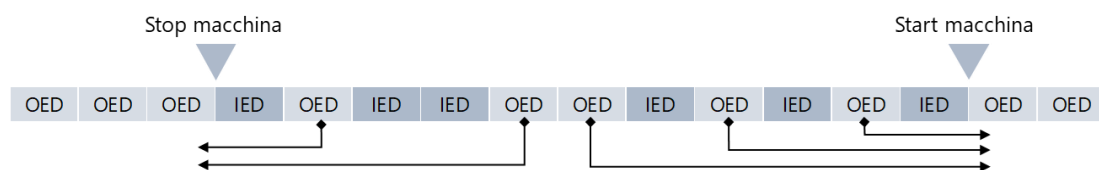


Figura 3.7 - Stadio 1 SMED - I (Graziadei, 2006)

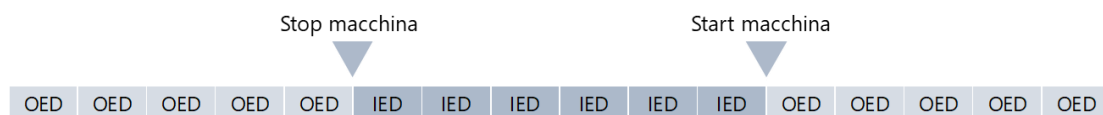


Figura 3.8 - Stadio 1 SMED - II (Graziadei, 2006)

Esistono diversi strumenti che possono essere utilizzati a supporto del primo stadio e che assicurano lo svolgimento delle attività di setup esterne effettivamente mentre la macchina sta ancora producendo (Shingo, 1985):

- **Utilizzo di checklist.** Per ogni operazione è utile preparare una lista contenente le parti e gli utensili necessari durante l'attrezzaggio, le operazioni da svolgere, i valori di processo (temperatura, pressione, velocità, ecc.) da inserire nella macchina e infine le specifiche tecniche del prodotto da verificare in fase finale di controllo e regolazione. Il fine di queste checklist è quello di controllare che non vi siano errori prima di fermare la macchina, in modo da prevenire imprevisti durante il setup interno;
- **Utilizzo di checktable.** Una checktable è un tavolo o un carrellino in cui vengono riportati i disegni di tutte le parti e le attrezzature necessarie per l'attrezzaggio di una macchina. Prima del fermo macchina, le parti vengono semplicemente posizionate sopra i rispettivi disegni. In questo modo si può notare a colpo d'occhio quali sono le parti mancanti e risolvere il problema esternamente. In genere la checktable viene utilizzata insieme alla checklist, in quanto la prima non permette di verificare le condizioni operative e il funzionamento delle parti, verifica possibile invece grazie alla seconda.

È sconsigliato l'utilizzo di checklist e checktable per intere linee o reparti; questi strumenti risultano realmente efficaci quando riferiti ad ogni macchina separatamente.

- **Controllo del corretto funzionamento di parti e attrezzature.** Durante il setup esterno è importante fare una verifica del corretto funzionamento di tutte le parti e le attrezzature, anticipando così anche le eventuali attività di riparazione necessarie;
- **Ottimizzazione del trasporto di parti e attrezzature.** Durante ogni setup le parti da montare devono essere trasportate dal magazzino alle macchine e viceversa le attrezzature rimosse. Tutte queste movimentazioni devono essere svolte esternamente;

3.5.3 Stadio 2: conversione di IED in OED

Il secondo stadio dello SMED è composto da due principali attività: la riesaminazione delle operazioni per verificare se vi siano alcune attività interne che possano essere trasformate in attività esterne, e la ricerca di soluzioni pratiche tale trasformazione (Shingo, 1985). È estremamente importante, in questa fase, cercare di uscire da schemi fissi e fondati su vecchie abitudini e adottare nuove prospettive. Per questo motivo si consiglia di prevedere sempre la presenza di un soggetto esterno nel team di sviluppo dello SMED.

Le principali modalità suggerite da Shingo per portare a termine questo step sono la preparazione anticipata delle condizioni operative e la standardizzazione funzionale. È importante sottolineare che la standardizzazione funzionale differisce rispetto alla classica standardizzazione di forma, che consiste nell'omologazione di forma e dimensione di tutte le possibili parti della macchina e di tutti i possibili utensili. La prima, infatti, si concentra soltanto su quelle parti che svolgono funzioni necessarie durante la fase di setup. Con tale approccio, perciò, si riescono a moderare le spese. Per realizzare la standardizzazione funzionale in maniera efficace è necessario analizzare nel dettaglio le funzioni di tutti gli elementi coinvolti nel setup, individuare quali parti possano essere standardizzate e cercare di ottenere tale risultato modificando il minor numero di componenti possibile (Shingo, 1985). Vengono di seguito presentati alcuni esempi per chiarire il significato di queste due modalità:

- **Preparazione anticipata delle condizioni operative.**

Un caso tipico è rappresentato dal preriscaldamento delle attrezzature. Nelle macchine per pressocolata, per esempio, gli stampi vengono montati da freddi e vengono gradualmente riscaldati attraverso l'iniezione di metallo fuso. I getti ottenuti in questa fase di riscaldamento sono ricchi di difetti, per cui dovranno essere poi rilavorati. Una soluzione a questo processo poco efficiente può essere quella di prevedere un riscaldamento elettrico o a gas per preriscaldare lo stampo, in modo che i primi getti possano già risultare buoni. Si ottiene così un triplo vantaggio: una riduzione dei tempi di setup interno, una riduzione dei getti da rilavorare e un aumento della produttività (Shingo, 1985).

- **Preparazione anticipata del materiale di ripristino.**

Un chiaro esempio si può vedere negli impianti per la produzione di molle. Solitamente, quando la bobina sulla macchina con il materiale da lavorare giunge al termine, la bobina di sostituzione viene prelevata e trasportata attraverso un muletto. Tuttavia, se non vi sono sufficienti muletti a disposizione, si possono facilmente avere ritardi e attese. La soluzione in questo caso può essere quella di realizzare una sorta di raccoglitore per bobine a bordo macchina, come rappresentato nella Figura 3.9. In questo modo, al momento del cambio, è sufficiente che un operatore spinga in posizione la nuova bobina. Viene così abbattuto il tempo di attesa del materiale (Shingo, 1985).

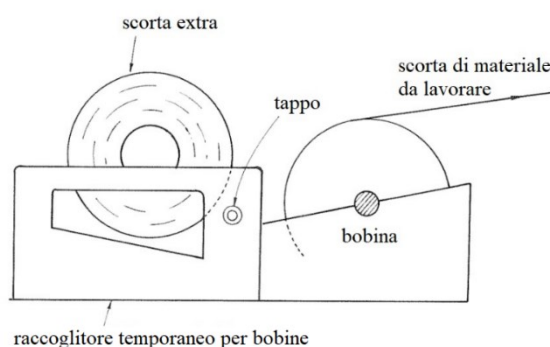


Figura 3.9 - Raccoglitore temporaneo per bobine (Shingo, 1985)

- **Standardizzazione funzionale.**

L'esempio più famoso ed esplicativo è rappresentato dalla standardizzazione degli stampi per pressocolata. Nel momento in cui si cambia lo stampo di una pressa è necessario regolare l'altezza di serraggio: questa è un'operazione interna e assolutamente necessaria, che richiede un elevato grado di esperienza da parte dell'operatore. Per evitare di svolgere ad ogni cambio tale operazione si può realizzare una standardizzazione degli stampi. Si supponga di avere due stampi, il primo (stampo A) di altezza 320 mm e il secondo (stampo B) di 270 mm. Per realizzare una standardizzazione bisogna apportare due modifiche per standardizzare l'altezza di bloccaggio dello stampo, rappresentate in Figura 3.10 (Shingo, 1985):

- Posizionamento di blocchetti alti 50 mm sotto lo stampo B per uniformare l'altezza dello stampo;
- Saldatura di blocchetti di altezza pari a 50 mm sullo stampo A per uniformare l'altezza dei bordi d'attacco.

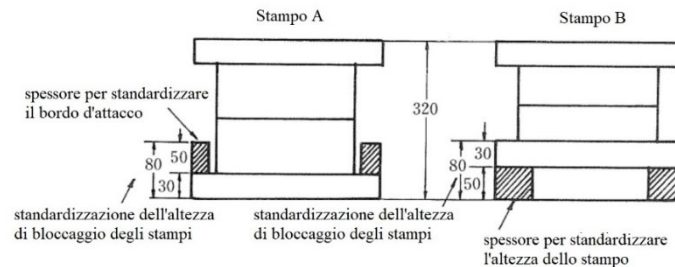


Figura 3.10 - Standardizzazione funzionale degli stampi per pressocolata (Shingo, 1985)

Riprendendo in Figura 3.11 lo schema del setup diviso tra IED e OED, si può osservare come il secondo stadio dello SMED permetta di ridurre il numero di attività interne di setup trasformandole in attività esterne:

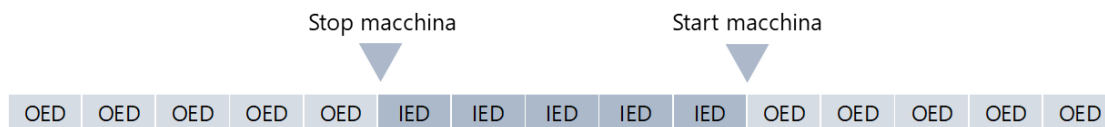


Figura 3.11 - Stadio 2 SMED (Graziadei, 2006)

3.5.4 Stadio 3: snellire tutti gli aspetti di setup

Terminate le prime due fasi dello SMED si può passare al terzo ed ultimo stadio. L'obiettivo qui è di individuare gli sprechi presenti all'interno delle operazioni elementari, sia di setup interno che di setup esterno, e introdurre dei miglioramenti che permettano di abbattere i tempi. La riduzione della durata delle attività interne andrà ad impattare positivamente sul tempo di setup e di conseguenza sul costo di setup (macchina + uomo), mentre i miglioramenti delle attività esterne avranno un impatto soltanto sui tempi di impegno degli attrezzisti, che potranno dedicarsi ad altre attività a valore (Graziadei, 2006).

Tutti questi miglioramenti portano alla realizzazione di un ciclo di setup molto più breve, rappresentato in Figura 3.12:

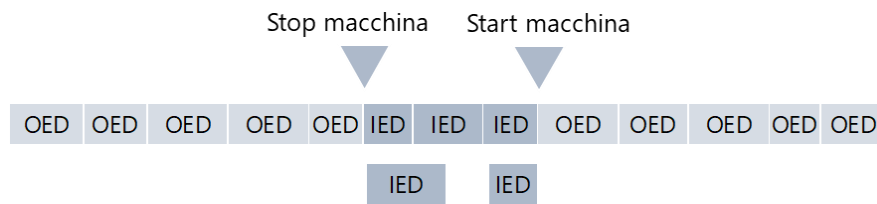


Figura 3.12 - Stadio 3 SMED (Graziadei, 2006)

Di seguito vengono elencate alcune tipiche soluzioni adottate nella terza fase dello SMED (Martinazzo & Frescura, 2020):

- **Minimizzazione degli spostamenti, sia degli operatori che dei materiali.** Qui rientrano tutte le attività di riorganizzazione dell'area di setup, ricollocamento delle attrezzature in prossimità dei macchinari e la realizzazione di kit e di ripiani su misura.
- **Miglioramento dell'immagazzinamento delle parti;**
- **Parallelizzazione delle attività.** Generalmente utilizzata per le attività di setup interne, consiste nel far svolgere le operazioni a più operatori in parallelo;
- **First Time Quality.** Consiste nell'eliminazione di aggiustamenti e test di prova. Questo intervento permette di ottenere enormi risparmi di tempo in quanto, come visto nel Paragrafo 3.1, la fase di regolazione e *trial run* è normalmente responsabile del 50% del tempo di setup. Per riuscire ad eliminare queste operazioni è necessario agire sulla loro causa radice, quindi sui centraggi e sulle calibrazioni precedenti, in genere inaccurati perché basati sull'intuito e sull'esperienza;
- **Utilizzo di sistemi di fissaggio funzionali.** Utilizzati per le attività interne, hanno l'obiettivo di velocizzare il montaggio e lo smontaggio delle attrezzature. Vengono descritti nel dettaglio nel paragrafo successivo.

3.5.5 Sistemi di fissaggio funzionali

I sistemi di fissaggio funzionali sono dei dispositivi di aggancio che permettono di tenere fermo in posizione un oggetto con il minimo sforzo (Shingo, 1985).

Generalmente, i fissaggi vengono realizzati attraverso l'utilizzo di viti e bulloni con filettature molto lunghe. In questo modo, per fissare o rimuovere il sistema di fissaggio bisogna effettuare ogni volta diversi giri, anche se è solo l'ultimo giro che permette di fissare veramente i pezzi e il primo giro che permette di allentarli. Se lo scopo di un bullone o di una vite, quindi, è semplicemente quello di stringere o allentare, la sua lunghezza potrebbe essere definita in modo che ci sia bisogno di un solo giro per farlo. In questo caso diventerebbe allora un metodo di fissaggio funzionale (Shingo, 1985).

3.5.5.1 Attacchi con un solo giro

- Asole a forma di pera: nel caso, per esempio, di fissaggio di calotte attraverso numerosi bulloni, si può risparmiare una buona porzione di tempo modificando i fori della calotta stessa e trasformandoli in asole a forma di pera, ovvero con una parte più larga e una più stretta. Così, al momento di rimuovere la calotta, è sufficiente allentare i dadi dei bulloni di un solo giro, ruotare la calotta in modo che la parte larga dell'asola vada in corrispondenza dei bulloni e semplicemente sfilare, senza rimuovere i bulloni (Shingo, 1985). La struttura appena descritta viene rappresentata in Figura 3.13:

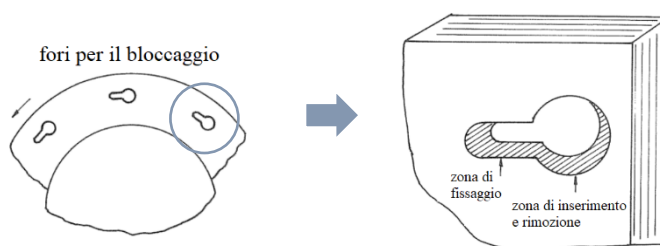


Figura 3.13 - Asole a forma di pera (Shingo, 1985)

- Rosette a forma di U: questo metodo può essere utile nel caso vi siano operazioni di apertura e serraggio attraverso bulloni e rosette. Il metodo classico di rimozione, per esempio, prevederebbe di allentare e rimuovere completamente il dado e poi rimuovere la rosetta. Per rendere più snella l'operazione si può invece pensare di utilizzare una rosetta a forma di U, rappresentata in Figura 3.14, in modo che il dado possa essere semplicemente allentato con un giro e la rosetta sfilata (Shingo, 1985).

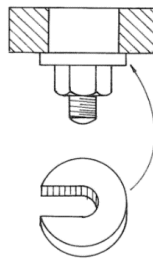


Figura 3.14 - Rosetta a forma di U (Shingo, 1985)

- Filettature interrotte: utilizzare viti o bulloni con filettatura interrotta permette il serraggio o l'allentamento con addirittura un terzo di giro. Nel caso di un bullone, per esempio, è necessario realizzare la filettatura su tre sezioni della superficie interna, e nelle altre tre realizzare invece una scanalatura liscia. La stessa cosa sulla madrevite, come rappresentato in Figura 3.15. In questo modo, nel caso di chiusura del bullone, è sufficiente infilare il dado orientandolo in modo che in corrispondenza della sua filettatura vi sia la scanalatura della madrevite. Così facendo, il dado raggiunge direttamente la posizione finale, e per il serraggio è sufficiente ruotare di un terzo di giro in modo che le filettature si inseriscano nelle filettature della madrevite (Shingo, 1985).

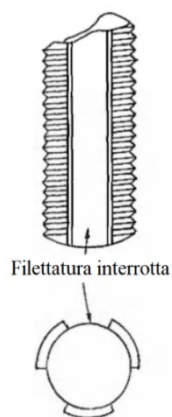


Figura 3.15 - Filettatura interrotta di una vite (Shingo, 1985)

- Morsetti: un'alternativa all'utilizzo di viti e bulloni per il fissaggio dei pezzi è rappresentata dai morsetti. Il morsetto viene serrato sul pezzo da mantenere in posizione sempre attraverso un bullone, ma è sufficiente allentare di un solo giro

il bullone affinché l'azione del morsetto sul pezzo venga meno e il pezzo si possa rimuovere con facilità (Figura 3.16). È importante sottolineare però che questo metodo è efficace nel caso in cui tutti i pezzi da fissare abbiano lo stesso spessore. Se invece lo spessore varia, risulta necessario standardizzarlo (Shingo, 1985).

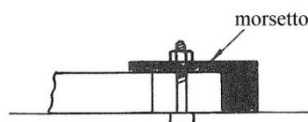


Figura 3.16 - Morsetto (Shingo, 1985)

3.5.5.2 Attacchi a movimento unico

Per assicurare un oggetto attraverso un movimento unico si possono utilizzare strumenti meccanici come camme, morsetti, cunei, perni e molle, oppure strumenti come il magnetismo o il vuoto (Shingo, 1985).

L'utilizzo delle molle può risultare particolarmente interessante, dato che il loro impiego convenzionale è in meccanismi a tenaglia o ad espansione. Esse possono essere abbinate a dei perni che, se inseriti in un'apposita guida, permettono di realizzare l'azione di bloccaggio in sostituzione delle classiche viti. Il concetto può essere chiarito dal seguente esempio applicativo, rappresentato in Figura 3.17. Questo particolare sistema di serraggio è stato realizzato per fissare gli ingranaggi di ricambio su una macchina per il taglio degli ingranaggi. Innanzitutto, è stata realizzata una scanalatura semicircolare lungo la lunghezza dell'albero dell'ingranaggio. Poi sono state montate tre molle su tre perni a punta semicircolare e sono state inserite in tre punti all'interno di un sistema di fissaggio ad anello, in sostituzione delle viti. Nel momento in cui il sistema di fissaggio viene posizionato in corrispondenza della scanalatura dell'albero, e i perni vi entrano, si ottiene l'azione di serraggio (Shingo, 1985).

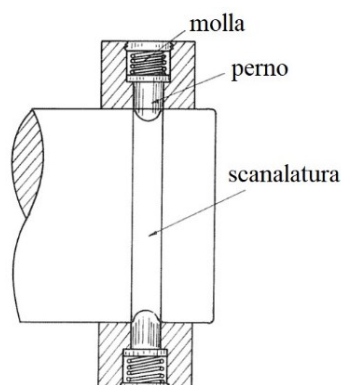


Figura 3.17 - Metodo di fissaggio con molle (Shingo, 1985)

3.5.5.3 Attacchi ad incastro

Non sempre è necessaria la presenza di un sistema di fissaggio per assicurare un oggetto. Talvolta risulta molto più semplice unire direttamente le due parti interessate. Un esempio in grado di chiarire il concetto è costituito dall'aggancio di stampi su una macchina per la formatura delle materie plastiche (Figura 3.18). Gli stampi vengono innanzitutto fissati a delle piastre di tenuta; queste piastre devono essere realizzate in modo tale da avere dimensioni e spessore standardizzati, e devono essere rastremate in modo da consentire un centraggio veloce e preciso. Sulla macchina vengono ricavate delle “culle” su misura per le piastre di tenuta degli stampi. In questo modo la rimozione e il posizionamento degli stampi risulta essere molto agevole e non sono necessari strumenti di fissaggio (Shingo, 1985).

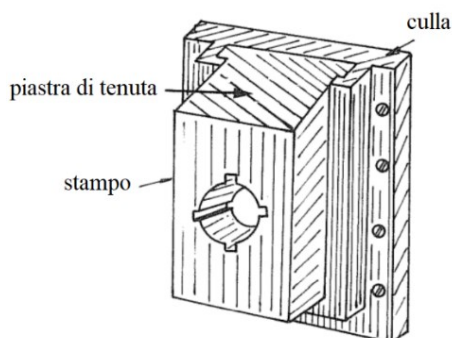


Figura 3.18 - Esempio di attacco ad incastro (Shingo, 1985)

3.6 CONSIGLI PER UNO SMED DI SUCCESSO

Non è sufficiente applicare i tre stadi dello SMED per assicurare un miglioramento duraturo delle attività di setup. Vi sono degli accorgimenti da adottare lungo tutta la durata del progetto e dopo il termine dello stesso, che consentono di ottenere realmente dei risultati di successo (Martinazzo & Frescura, 2020):

- **Definire un team di lavoro interfunzionale.**

Il team di lavoro dovrebbe coinvolgere gli operatori che lavorano in postazione, gli attrezzisti, una persona addetta all'analisi dei tempi e delle operazioni (meglio se esterna all'organizzazione), il responsabile della manutenzione e il responsabile di produzione o il plant manager, soprattutto nel caso di primi cantieri SMED in cui bisogna dare importanza all'attività.

- **Formare le risorse sullo SMED.**

È importante presentare lo strumento a tutti i membri del team, stabilire in maniera chiara gli obiettivi che si vogliono ottenere e far percepire l'importanza del progetto.

- **Scegliere il setup da analizzare.**

Un altro passo cruciale è quello della selezione del setup su cui avviare il cantiere SMED. È consigliabile scegliere un setup critico in termini di frequenza e durata, cercando però di evitare gradi di difficoltà troppo elevati; in tal caso può essere più consono acquisire prima le competenze con un caso più semplice e poi estendere il lavoro ai casi più complessi.

- **Scelta della granularità delle fasi.**

Questo criterio risulta utile durante lo stadio preliminare, quando si inizia ad analizzare nel dettaglio le operazioni di setup. Chiaramente, la suddivisione delle attività deve essere proporzionata alla durata complessiva del setup stesso. Se il setup ha una durata dell'ordine delle ore può essere poco sensato dettagliare le attività dell'ordine dei secondi.

- **Misurare il nuovo standard con un soggetto estraneo al progetto.**

Per cercare di rendere i risultati finali più oggettivi possibili, un buon metodo può essere quello di far eseguire il nuovo ciclo standard di setup ad un attrezzista che

non abbia partecipato in maniera attiva al cantiere SMED. Il senso di fare ciò sta nel fatto che un operatore che abbia seguito e portato avanti i cambiamenti del modo di effettuare il setup possa avere un livello di apprendimento maggiore, che gli consente di svolgere le operazioni più velocemente del normale.

- **Sostenere i risultati.**

Questo è forse l'elemento più difficile di tutto il cantiere SMED. Infatti, un qualsiasi progetto può fallire anche dopo averlo portato a termine, perché le persone con il tempo tendono a tornare progressivamente a lavorare con le modalità iniziali, talmente queste erano radicate. Oltretutto, nelle normali giornate lavorative possono esserci imprevisti e guasti che eliminano le condizioni ottimali per il rispetto dei nuovi criteri di lavoro. Nel caso dello SMED risulta fondamentale portare avanti delle attività di monitoraggio dei tempi di setup anche dopo la fine del cantiere di miglioramento e di raccolta, analisi e correzione delle cause che non hanno consentito di lavorare in linea con lo standard. In questo modo si riesce a mantenere lo standard nel tempo e soprattutto instaurare un clima di miglioramento continuo.

Capitolo 3

INTRODUZIONE AL CASO FITT S.p.A.

Il seguente capitolo ha lo scopo di presentare al lettore lo scenario di FITT S.p.A. e, in particolare, i processi produttivi dello stabilimento di Fara Vicentino (VI) all'interno del quale si sviluppa il progetto SMED protagonista del quarto capitolo.

Si tratterà innanzitutto l'azienda nel suo complesso, con uno scorcio sulle sedi principali, i clienti e le aree di business. Successivamente, si entrerà nel dettaglio dello stabilimento produttivo di Fara Vicentino, del quale saranno innanzitutto presentate le materie prime, ovvero il cloruro di polivinile (PVC) e il polietilene (PE), con una breve introduzione sui materiali polimerici in generale. Verranno poi descritti i tre reparti produttivi che caratterizzano l'attività dello stabilimento, e sarà affrontato con particolare dettaglio quello dedicato alla produzione di tubo rigido in PVC: il progetto SMED, infatti, si concentrerà sul cambio lavorazione di una delle linee di estrusione di tale reparto, la linea 12.

4.1 IL GRUPPO FITT

FITT S.p.A. è un gruppo leader internazionale nato in Italia nel 1969, pioniere nello sviluppo e nella produzione di tubi e sistemi in materiale polimerico per il trasporto di sostanze liquide, gassose e solide.

L'avventura imprenditoriale ha inizio nel 1969 grazie a Rinaldo Mezzalira, alla sua passione e visione innovativa. L'azienda cresce velocemente e in circa vent'anni raggiunge la leadership all'interno del territorio nazionale e consolida la propria presenza anche a livello europeo. Grazie all'instaurazione di diverse partnership tecnologiche e commerciali nel mondo, nel 2000 FITT allarga la propria influenza fino ad America e Giappone. A partire dal 2007, la gestione imprenditoriale passa alla seconda generazione con Alessandro Mezzalira, figlio di Rinaldo. Negli anni successivi ha così avviato il percorso di FITT verso il futuro, grazie alla definizione di precisi obiettivi contenuti nella *Vision* aziendale per il 2023. I pilastri di tale *Vision* sono la rivoluzione digitale, l'innovazione e la centralità dell'utilizzatore finale, ai quali si è aggiunto nel 2019 il tema fondamentale della sostenibilità. Grazie a questi sviluppi FITT è diventata Società Benefit, espressione di un paradigma più evoluto: oltre agli obiettivi di profitto, viene integrato lo scopo di avere un impatto positivo sulla società e sulla biosfera.

4.1.1 Le sedi

FITT Group S.p.A. è cresciuta considerevolmente negli anni, tanto da arrivare ad annoverare al suo interno, ad oggi, diverse sedi distribuite in tutto il mondo (Figura 4.1):

- **Italia.** Qui si trova l'headquarter di Sandrigo (VI), nonché stabilimento produttivo, centro logistico e filiale commerciale. Vi sono altri cinque importanti stabilimenti produttivi e logistici nelle località di Fara Vicentino (VI), Lugo (VI), San Pietro in Gù (PD), Occhiobello (RO) e Monsampolo (AP);
- **Monaco.** A Monaco è situata una filiale commerciale;
- **Francia.** In Francia sono presenti tre centri logistici, due stabilimenti produttivi e una filiale commerciale nelle sedi di Tricot, St. Herblain, Grenay e Vitrolles;
- **Spagna.** In Spagna si trova la filiale commerciale di Zaragoza;
- **Polonia.** Nella sede polacca di Węgrów è presente una partnership produttiva e centro logistico;
- **Stati Uniti.** A Charlotte (North Carolina) si trova una filiale commerciale e partner logistico;
- **Cina.** A Shanghai è situata una filiale commerciale e centro logistico.

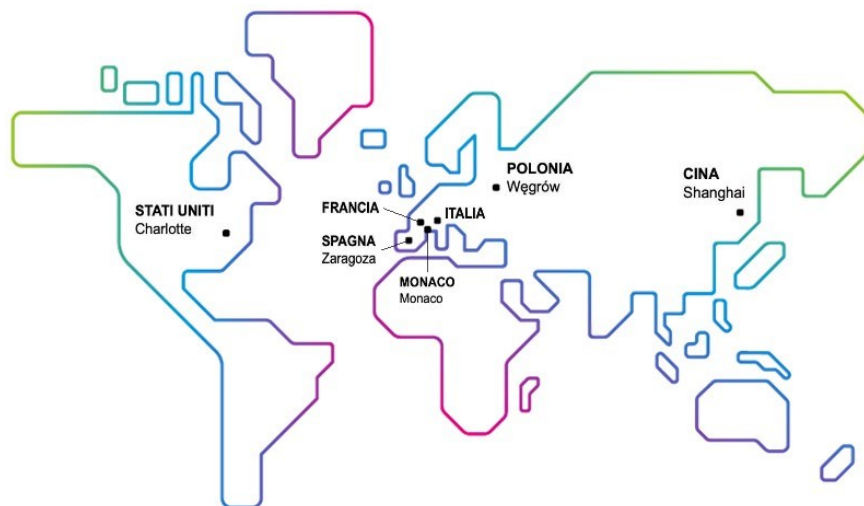


Figura 4.1 - FITT nel mondo (Fitt S.p.A., 2021)

4.1.2 Le cifre

Dopo oltre cinquant'anni di esperienza, il gruppo conta più di 950 collaboratori di oltre trenta nazionalità distribuiti in sette paesi, esporta i suoi prodotti in 87 differenti paesi e presenta un fatturato di 300 milioni di € nel 2021. In Figura 4.2 è riportato l'andamento del fatturato dell'intero gruppo FITT dal 2016 al 2020, con un aumento complessivo del 7,37% rispetto al 2016.

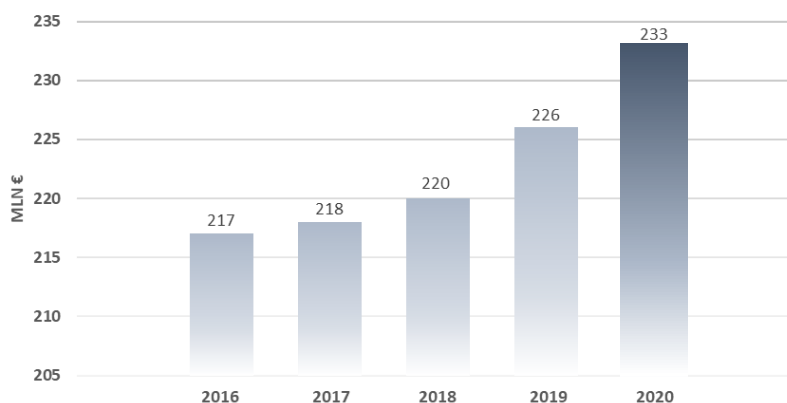


Figura 4.2 - Andamento del fatturato del gruppo FITT negli anni (Fitt S.p.A., 2021)

Entrando nel dettaglio della suddivisione del fatturato tra le diverse sedi del gruppo FITT (Figura 4.3), più della metà del fatturato complessivo deriva dalle sedi italiane, con ben 197 milioni di € corrispondenti al 66,3% circa del totale. In seconda posizione si trova la sede di Monaco, la quale contribuisce per il 16,8% al fatturato, seguita da Francia (9,4%), Polonia (4%), Spagna (2%), Stati Uniti (1,2%) e Cina (0,2%).

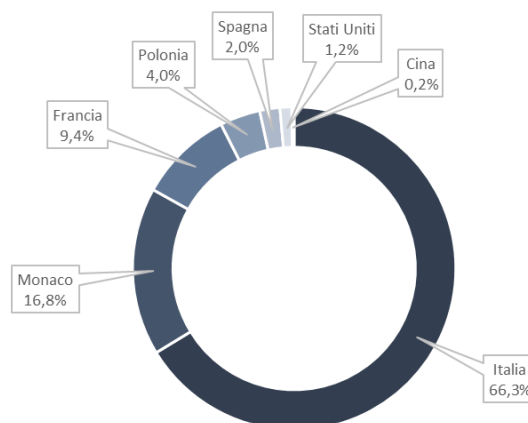


Figura 4.3 - Distribuzione del fatturato tra le diverse sedi FITT

4.1.3 I clienti

Da sempre il cliente svolge un ruolo centrale nelle logiche di FITT, che utilizza un approccio B2C (*Business to Consumer*) rivolgendosi direttamente al consumatore. La gran parte del fatturato di FITT, circa il 69%, deriva da una macrocategoria di attori che include distributori commerciali, imprese edili, rivenditori locali, industrie di diversi settori e consorzi agrari e del mondo delle infrastrutture. Quasi tutto il resto del fatturato (31%) deriva dalla grande distribuzione organizzata (GDO), mentre la quota appartenente agli acquisti sul web da parte di privati non supera lo 0,2%. I valori relativi agli anni 2019 e 2020 sono riassunti in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 - Suddivisione della clientela per categoria

TIPOLOGIE DI CLIENTI			
TIPOLOGIE	U.M.	2019	2020
Clienti GDO	%	30,35%	31,30%
Clienti privati	%	0,05%	0,13%
Altro	%	69,60%	68,57%
TOTALE	%	100%	100%

Per quanto riguarda la distribuzione geografica, la clientela di FITT è prevalentemente europea e, in particolare, nel 2020 ha rappresentato circa il 96% del totale dei clienti dell'azienda. Meno numerosi sono stati i clienti che hanno acquistato da altri continenti: l'1,8% è del Nord America, l'1,2% è asiatico, lo 0,7% è africano, lo 0,5% è sudamericano e la quota più bassa, lo 0,1%, è composta da clienti residenti in Oceania (Tabella 4.2). Dalla tabella si può notare inoltre come, rispetto al 2019, non vi siano state grandi variazioni sulle origini dei clienti. Il cambio più rilevante, infatti, è rappresentato dagli acquirenti del Nord America che nel 2020 sono aumentati di 1,2 punti percentuali.

Tabella 4.2 - Suddivisione della clientela per area geografica

DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLA CLIENTELA			
AREA	U.M.	2019	2020
Europa	%	96,3%	95,6%
Asia	%	1,6%	1,2%
Nord America	%	0,6%	1,8%
Sud America	%	0,5%	0,5%
Oceania	%	0,1%	0,1%
Africa	%	1,0%	0,7%
TOTALE	%	100%	100%

Importante sottolineare che i dati riportati in tabella comprendono FITT S.p.A., FITT Monaco e FITT France.

4.1.4 Le aree di business

FITT organizza la propria attività e la propria offerta su diverse aree di business, presentate di seguito nel dettaglio e in Figura 4.4:

- **Gardening solutions.** È l'area di business che sviluppa soluzioni e prodotti per il giardinaggio, l'irrigazione, la pulizia e la vita all'aria aperta, sia per uso hobbistico che professionale. Prodotti appartenenti a quest'area sono, per esempio, tubi per il campeggio, per annaffiare giardini, terrazzi e orti, lavare l'auto, la bicicletta e gli animali domestici;
- **Infrastructure solutions.** Quest'area di business sviluppa e produce tubazioni e raccordi per la conduzione in pressione e in gravità dei fluidi (acquedottistica e fognature);
- **Building solutions.** È l'area di business che sviluppa, progetta e realizza tubazioni, profili, raccordi e accessori per l'edilizia, dedicati alla conduzione di fluidi e cavi per diverse applicazioni quali scarico di acque pluviali e sanitarie;
- **Ventilation solutions.** Questa business area sviluppa e produce sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) completi per la qualità dell'aria di ambienti residenziali, per il risparmio energetico e il benessere delle persone;
- **Industrial solutions.** Quest'area di business si occupa della progettazione e produzione di tubi e raccordi professionali per l'industria, dedicati ad aspirazione, compressione, conduzione e adduzione di fluidi (liquidi, gas, aeriformi e granulari) per tutte le applicazioni industriali;

- **Agriculture solutions.** È l'area che sviluppa e produce tubi professionali per il settore dell'agricoltura. Possono essere utilizzati per irrigazione, trasporto di materiali solidi e liquidi agricoli, spargimento di liquami, irrigazione a pompa, per abbeveratoi d'allevamento e per macchine seminatrici e in pressione bassa, media e alta;
- **Pool & SPA solutions.** Fanno parte di quest'area le funzioni aziendali dedicate allo sviluppo e produzione di tubi rigidi, tubi flessibili, raccordi e accessori per il ricircolo dell'acqua e la pulizia di piscine e vasche idromassaggio;
- **Food & beverage solutions.** Quest'area sviluppa e realizza soluzioni complete e certificate con le normative europee e internazionali di tubi flessibili e spiralati per il passaggio, in mandata e aspirazione, di liquidi e sostanze alimentari come per esempio acqua potabile, latte, vino, birra, distillati, marmellata, gelato, formaggio e frutta;
- **Marine solutions.** Questa è l'area di business che sviluppa e produce tubi per la conduzione di fluidi nelle imbarcazioni. Le applicazioni possono essere diverse, quali lo scarico sanitario di acque grigie e nere, la ventilazione, la pulizia, il raffreddamento motore e pompe di sentina.

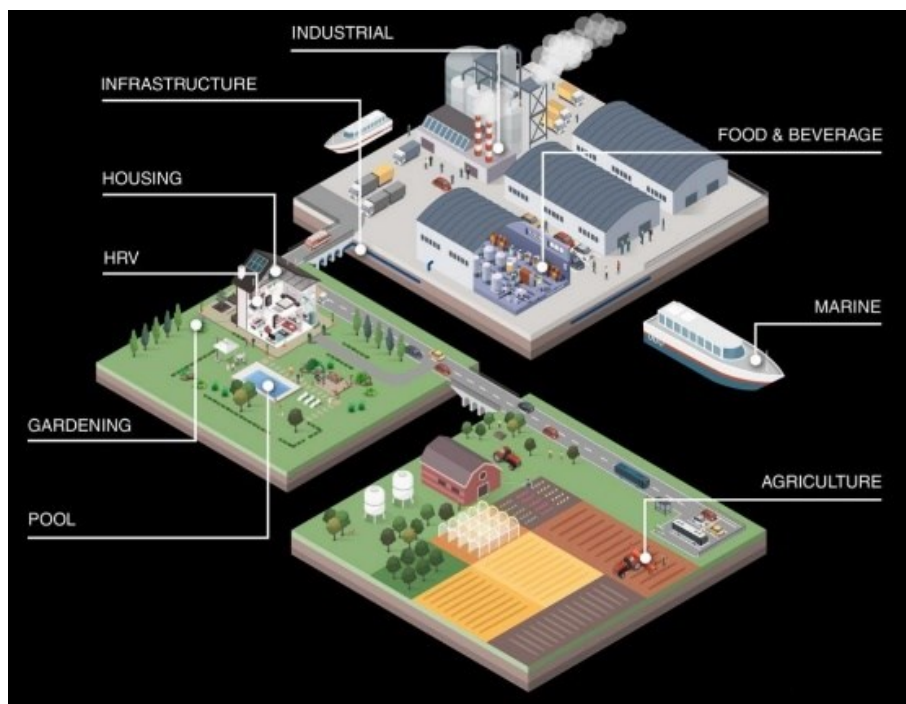


Figura 4.4 - Rappresentazione delle aree di business di FITT (Fitt S.p.A., 2021)

4.1.5 Certificazioni di prodotto e di sistema

Per garantire rispetto al quadro normativo di settore, FITT è chiamata ad essere conforme a norme e regolamenti. L'azienda ha deciso di andare oltre quelli che sono gli obblighi di legge, dotando i propri prodotti e processi di ulteriori certificazioni non obbligatorie.

Sistema di prodotto

Dal punto di vista del sistema di prodotto, i principali enti certificatori di cui si avvale FITT sono:

- **IIP (Istituto Italiano dei Plastici).** Si tratta di un ente di certificazione nazionale di prodotto;
- **LNE.** Ente di certificazione francese per la resistenza al fuoco;
- **Bureau Veritas.** Ente di certificazione delle Norme UNI di prodotti FITT e delle Norme statunitensi per l'immissione di alcuni prodotti sul mercato americano;
- **IMQ.** Ente di certificazione nazionale per l'isolamento dei cavi;
- **EPD® (Environmental Product Declaration).** Si tratta di una dichiarazione ambientale che fornisce dati certificati sul ciclo di vita dei prodotti, secondo le norme internazionali ISO 14025 ed EN 15804.

Tali enti terzi di certificazione effettuano periodicamente verifiche per constatare il rispetto delle norme di prodotto. Inoltre, nel 2020 è stato intrapreso un percorso di azioni volto ad ottenere certificazioni di prodotto rilasciate dai seguenti enti europei:

- **Kiwa.** Ente di certificazione olandese che si occupa della normativa sull'acqua potabile in pressione, fognatura e scarichi all'interno degli edifici;
- **CSTB.** Ente di certificazione francese, coinvolto nel 2020 nella stesura di specifiche tecniche sul prodotto tubazioni in PVC-A per il trasporto dei fluidi in pressione, ai fini di ottenimento della "Avis Technique", certificazione che attesta l'idoneità all'utilizzo di processi costruttivi innovativi.

Sistema di processo

Per quanto riguarda il sistema di processo, invece, FITT è certificata ogni anno da **TUV**, ente di certificazione per la ISO 9001:2015 (sistema di gestione per la qualità).

4.1.6 Il tema della sostenibilità

Come accennato nello scorcio iniziale sull'azienda, nel 2019 FITT ha scelto di inserire la sostenibilità al centro della sua strategia futura. Nella visione di FITT, essere un'impresa sostenibile si traduce nel raggiungere un ideale equilibrio tra il valore per le persone e per l'ambiente e il valore economico. Per questo motivo, l'azienda ha deciso di modificare l'oggetto sociale diventando una Società Benefit e di aderire al Global Compact delle Nazioni Unite. Nato nel 1999 per volere dell'allora segretario delle Nazioni Unite Kofi Annan, il Global Compact delle Nazioni Unite è oggi un'iniziativa volontaria di adesione a un insieme di principi che promuovono i valori della sostenibilità nel lungo periodo attraverso azioni politiche, pratiche aziendali, comportamenti sociali e civili che siano responsabili e si concentrino sull'eredità che verrà lasciata alle future generazioni. Sono 14'000 le aziende da 162 paesi del mondo che vi partecipano, assumendosi l'impegno di contribuire a una nuova fase della globalizzazione caratterizzata da sostenibilità e cooperazione internazionale. FITT ha selezionato sette tra i diversi obiettivi per lo sviluppo sostenibile, rappresentati in Figura 4.5, su cui intervenire in modo tangibile.

In particolare, per quanto riguarda le tematiche prettamente ambientali, FITT è impegnata su diversi fronti:

- Tutti gli impianti di produzione del gruppo dispongono di un processo di riciclo dell'acqua utilizzata per il raffreddamento post-estrusione di tubi rigidi e flessibili. Il riciclo avviene attraverso un circuito chiuso, in cui l'acqua è raffreddata mediante trigenerazione o speciali unità di refrigerazione. L'acqua consumata, quindi, è solo quella necessaria per i rabbocchi o altre finalità non produttive;
- Dal 2021, per i propri siti produttivi e logistici italiani FITT ha utilizzato unicamente energia da fonti rinnovabili, riducendo le emissioni di CO₂ equivalente di circa 17'200 tonnellate/anno. In particolare, in questi siti il 19% circa dell'elettricità impiegata è prodotta da impianti di trigenerazione. Questi sono installati negli stabilimenti di Sandrigo e Fara Vicentino, e producono elettricità, energia termica utilizzata per il riscaldamento ed energia di raffreddamento dell'acqua, riducendo le emissioni di CO₂ equivalente di circa 1'000 tonnellate/anno;

- Ogni anno FITT impiega 8'000 tonnellate di PVC riciclato: circa 3'000 tonnellate da scarti della produzione interna e circa 5'000 tonnellate acquistate da altri mercati, dando così nuova vita al PVC;
- FITT ricerca e adotta soluzioni di imballaggio che abbiano il minimo impatto possibile sull'ambiente;
- Segue le linee guida sull'eco-design, sviluppando prodotti facilmente separabili e riutilizzabili;
- Si avvale della certificazione LCA (*Life Cycle Assessment*), strumento analitico e sistematico per valutare l'impronta ecologica dei propri prodotti, associata al loro intero ciclo di vita.



Figura 4.5 - I sette obiettivi per lo sviluppo sostenibile scelti da FITT (Fitt S.p.A., 2021)

4.2 IL PLANT DI FARA VICENTINO

Il plant di Fara Vicentino occupa un'area interna di 12'000 m² e un'area esterna di 90'000 m², ed è dedicato prevalentemente alle aree di business dell'edilizia, delle infrastrutture e dei sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC). Questo stabilimento ha un'importanza fondamentale in quanto ospita entrambe le tecnologie *core* dell'azienda in ambito manufacturing: la preparazione e produzione del *compound* o “granulo”, e la produzione di tubi. Qui, infatti, si producono tubi rigidi in cloruro di polivinile (PVC), tubi corrugati e film in polietilene (PE), oltre a tonnellate l'anno di materia prima sotto

forma di granuli per il rifornimento degli altri stabilimenti produttivi. Esempi di queste tipologie di prodotti sono riportati in Figura 4.6 e Figura 4.7.



Figura 4.6 - Esempio di prodotti realizzati nel plant di Fara Vicentino (Fitt S.p.A., 2021).
Nell'ordine, a partire da sinistra, un film in PE, un tubo corrugato in PE e un tubo rigido in PVC.



Figura 4.7 - Granulo di PVC (Fitt S.p.A., 2021)

4.2.1 Le materie prime

Come anticipato, lo stabilimento di Fara Vicentino si occupa della lavorazione di due principali materiali polimerici: il polietilene (PE) e il cloruro di polivinile (PVC). Si ritiene opportuno fare un breve cenno alle caratteristiche dei materiali polimerici in generale e, successivamente, approfondire questi due particolari materiali.

4.2.1.1 I materiali polimerici

Il termine polimero fu utilizzato per la prima volta nel 1866. Il nome stesso porta il significato di “insieme di unità dette monomeri”, ripetute per centinaia e migliaia di volte a formare una struttura a catena. Generalmente i monomeri sono materiali organici, in cui gli atomi di carbonio sono legati con atomi quali idrogeno, ossigeno, azoto, fluoro, cloro, silicio e zolfo. I polimeri si presentano sotto forma di molecole a catena lunga, dette per questo anche macromolecole o molecole giganti. Tali catene vengono formate mediante

il cosiddetto processo di polimerizzazione, ovvero attraverso la formazione di collegamenti e reticolazioni tra i diversi monomeri (Kalpakjian & Schmid, 2014)²¹.

La struttura di un materiale polimerico è caratterizzata da due tipologie di legami (Kalpakjian & Schmid, 2014):

- **legami primari.** I legami primari sono legami covalenti che tengono uniti i monomeri, caratterizzati da un'energia di legame elevata;
- **legami secondari.** I legami secondari sono quelli che tengono insieme tra loro le catene polimeriche, e si tratta di forze di van der Waals, legami ad idrogeno e legami ionici. Questi hanno un'energia di legame inferiore di uno-due ordini di grandezza rispetto a quelli primari, e per questo risultano molto più deboli.

I legami secondari tra le diverse catene polimeriche possono dare origine a differenti strutture (Kalpakjian & Schmid, 2014), rappresentate graficamente in Figura 4.8:

- **Polimeri lineari.** I polimeri lineari sono polimeri uniti tra loro a forma di catena. Tale struttura è tipica di materiali quali gli acrilici, le poliammidi, i polietileni e il cloruro di polivinile;
- **Polimeri ramificati.** I polimeri ramificati sono caratterizzati da catene laterali ramificate che hanno origine dalla catena principale. La ramificazione si realizza durante il processo di sintesi del polimero. Questa interferisce con il moto relativo delle catene polimeriche, causando un aumento della resistenza a deformazione e a rottura. Inoltre, i polimeri ramificati presentano densità inferiore perché le ramificazioni ostacolano il processo di compattazione delle catene.
- **Polimeri reticolati.** I polimeri reticolati sono composti da più catene lineari adiacenti legate tra loro da legami covalenti, e hanno in genere una struttura tridimensionale. Questa struttura è tipica di polimeri detti termoindurenti;
- **Polimeri a rete.** I polimeri a rete sono costituiti da reti tridimensionali di legami covalenti attivi. Anche i polimeri fortemente reticolati sono considerati polimeri a rete;

²¹ Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Tecnologia meccanica*. Pearson.

- **Copolimeri e terpolimeri.** I polimeri possono essere formati anche da diverse tipologie di monomeri. Nel caso in cui vi siano due tipologie di monomeri si parla di copolimeri, nel caso ve ne siano tre invece si parla di terpolimeri. Si usa mescolare le tipologie di monomeri per ottenere particolari proprietà del materiale. Nel caso in cui, invece, le unità ripetitive della catena polimerica siano dello stesso tipo si usa il termine omopolimero.

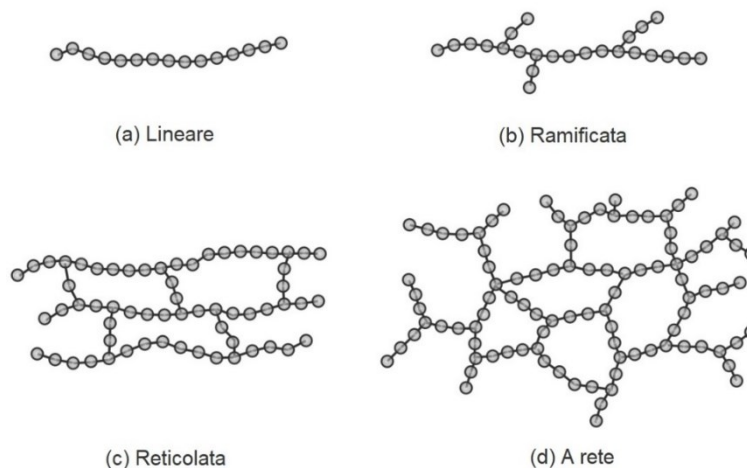


Figura 4.8 - Rappresentazione delle diverse tipologie di struttura polimerica (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Cristallinità

I polimeri, oltre alla diversa struttura polimerica vista sopra, possono presentare differenti gradi di cristallinità. I materiali polimerici in cui le catene non possiedono un particolare ordine a lungo raggio sono detti amorfi. Ad altri materiali, invece, è possibile conferire un certo grado di cristallinità attraverso la deformazione o già durante la sintesi del polimero (Kalpakjian & Schmid, 2014). I cristalli si formano quando le molecole del materiale si dispongono in maniera ordinata. Un polimero non può mai diventare cristallino al 100%: il diverso grado di cristallinità dipende dalla ramificazione del polimero e dalla velocità di solidificazione durante il raffreddamento. In particolare, le ramificazioni interferiscono con l'allineamento delle catene polimeriche, per cui la cristallinità è più facilmente ottenibile per polimeri lineari (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Le caratteristiche che la cristallinità conferisce al materiale sono maggiore rigidità, maggiore durezza, maggiore densità, minore duttilità, minor gommosità e maggior resistenza a calore e solventi (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Temperatura di transizione vetrosa e temperatura di fusione

I polimeri amorfi assumono comportamenti meccanici differenti in base all'intervallo di temperatura in cui si trovano. A parte qualche eccezione, essi risultano duri, fragili e “vetrosi” a basse temperature (il termine vetroso viene utilizzato in quanto i vetri, che sono solidi amorfi, assumono gli stessi comportamenti), mentre a temperature elevate diventano gommosi o coriacei. Il cambiamento nel comportamento del materiale avviene alla cosiddetta temperatura di transizione vetrosa T_g (*glass-transition temperature*), differente per ogni tipologia di polimero (Tabella 4.3). Per i polimeri semicristallini il discorso è differente: essi, infatti, presentano un vero e proprio punto di fusione T_m (*melting temperature*), assente per i polimeri amorfi (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Queste due temperature vengono individuate dall'andamento del volume specifico del polimero in funzione della temperatura (Figura 4.9).

Tabella 4.3 - Temperature di transizione vetrosa e di fusione di alcuni polimeri (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Materiale	T_g (°C)	T_m (°C)
Nylon 6.6	57	265
Policarbonato	150	265
Poliestere	73	265
Polietilene ad alta densità	-90	137
Polietilene a bassa densità	-110	115
Polipropilene	-14	176
Polistirene	100	239
Cloruro di polivinile	87	212

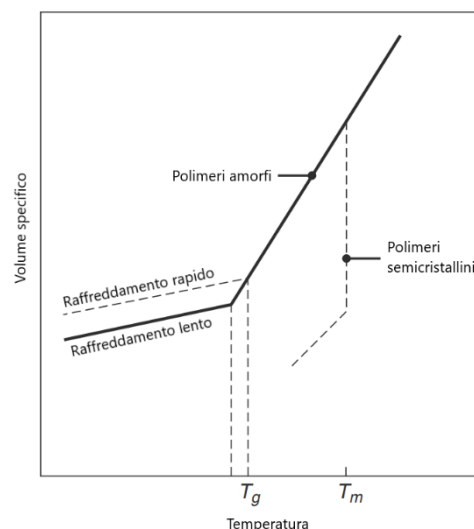


Figura 4.9 - Volume specifico dei polimeri in funzione della temperatura (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Additivi nei polimeri

Solitamente i polimeri vengono mescolati con altre sostanze per ottenere particolari proprietà in termini di rigidità, resistenza meccanica, colore, resistenza agli agenti atmosferici, infiammabilità e lavorabilità: si parla di *compounding*. Gli additivi tipici si possono raggruppare nelle seguenti categorie (Kalpakjian & Schmid, 2014):

- ***Cariche***. Le cariche vengono inserite in ben precise percentuali per migliorare caratteristiche meccaniche quali resistenza, durezza, tenacità, rigidità e resistenza all'abrasione. Si tratta di materiali a basso costo quali farina di legno, farina di silice, argilla, fibre di cellulosa, vetro e amianto. Queste svolgono anche un ruolo importante nella riduzione del costo complessivo dei polimeri;
- ***Plasticizzanti***. Queste sostanze conferiscono flessibilità e morbidezza al polimero, riducendo la forza dei legami secondari tra le catene e riducendo la temperatura di transizione vetrosa;
- ***Protettori da radiazioni ultraviolette***. La maggior parte dei polimeri è facilmente attaccabile dalle radiazioni ultraviolette del sole, le quali indeboliscono e rompono i legami primari del materiale e lo portano a degradarsi, diventando rigido e fragile. Per evitare questo effetto possono essere aggiunte specifiche sostanze che proteggono il polimero dalle radiazioni UV. È importante sottolineare, però, che talvolta la degradazione del materiale può essere benefica: si tratta del caso delle materie plastiche biodegradabili;
- ***Antiossidanti***. Anche l'ossigeno attacca i legami primari del polimero, portandolo a degradarsi. Possono quindi essere aggiunti anche speciali antiossidanti per evitare questo effetto;
- ***Ritardanti di fiamma***. La maggior parte dei polimeri si infiamma nel caso in cui si raggiunga una temperatura sufficientemente elevata. Tale rischio può essere ridotto selezionando materie prime meno infiammabili oppure aggiungendo ritardanti di fiamma, come i composti di cloro, bromo e fosforo;
- ***Lubrificanti***. L'aggiunta di lubrificanti è fondamentale per ridurre l'attrito durante le lavorazioni ed evitare che il materiale si attacchi alle attrezzature. La lubrificazione risulta importante anche per prevenire l'incollaggio tra i sottili film polimerici;

- **Coloranti.** I coloranti permettono di ottenere prodotti finiti di diverse colorazioni. A questo scopo si possono utilizzare coloranti organici (tinte) o inorganici (pigmenti). La scelta della tipologia di colorante dipende dalle temperature di lavorazione del polimero e dall'eventuale esposizione alla luce.

Polimeri termoplastici

Alcuni polimeri, quando superano la temperatura di transizione vetrosa o di fusione, risultano più facili da formare o stampare nelle forme desiderate. Questo avviene perché la temperatura elevata indebolisce i legami secondari tra le catene, le quali sono in grado di muoversi più agevolmente quando sottoposte a forze esterne durante le lavorazioni. Una volta raffreddati, questi polimeri ritornano alle proprie caratteristiche iniziali di durezza e resistenza. I materiali che presentano questo comportamento sono definiti materiali termoplastici. Il processo di riscaldamento risulta quindi reversibile, sebbene cicli ripetuti di riscaldamento e raffreddamento possano degradare il materiale. Tra i materiali termoplastici si trovano il cloruro di polivinile (PVC) e il polietilene (PE).

4.2.1.2 Il PVC

Il cloruro di polivinile, noto anche come polivinilcloruro o PVC, è il polimero del cloruro di vinile, ed è una delle materie termoplastiche di maggior consumo al mondo. La formula strutturale viene rappresentata in Figura 4.10. L'indice n sta a indicare il numero di volte che la struttura si ripete in una catena, e nel caso del PVC assume valori compresi tra 500 e 1500 (Wilkes, Summers, & Daniels, 2005)²². Il cloruro di polivinile è un polimero amorfo, per cui non ha un punto di fusione specifico, ma presenta una temperatura di transizione vetrosa pari a circa 80-87 °C e una temperatura di gelificazione pari a circa 185-190 °C.

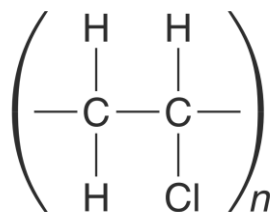


Figura 4.10 - Formula strutturale del PVC

²² Wilkes, C. E., Summers, J. W., & Daniels, C. A. (2005). *PVC Handbook*. Hanser.

Le materie prime per la produzione di PVC sono sale (NaCl) e petrolio. Dal sale, attraverso elettrolisi, si ottiene il cloro, mentre dal petrolio, attraverso il processo di raffinazione, si ottiene la nafta e, in seguito a più fasi di purificazione, l'etilene. (Toniolo, 2012). Questi due componenti si presentano allo stato gassoso e, una volta fatti reagire tra loro, producono un terzo gas: il cloruro di vinile (C_2H_3Cl), rappresentato in Figura 4.11. Il cloruro di vinile è un gas tossico e cancerogeno, infiammabile, altamente instabile in condizioni ambientali per cui, se miscelato con aria, può essere esplosivo. È riconoscibile dal suo odore dolciastro. La polimerizzazione del PVC avviene in specifici reattori in cui vengono inseriti il cloruro di vinile e altri composti. La reazione che avviene al suo interno è di tipo esotermico, ovvero produce calore: risulta fondamentale, quindi, mantenere controllata la temperatura ed evitare surriscaldamenti, altrimenti si rischiano esplosioni (Toniolo, 2012).

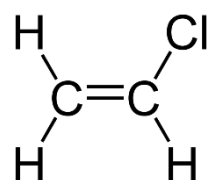


Figura 4.11 - Il monomero cloruro di vinile

La densità del PVC è pari a $1,4 \text{ g/cm}^3$, tuttavia, gli additivi solidi o liquidi possono far variare la densità. Al crescere della densità generalmente si riducono le proprietà di resistenza a trazione e all'impatto, per cui esistono dei limiti massimi di densità che limitano di conseguenza le quantità di additivi. Il PVC risulta molto compatibile con diversi additivi, tra i quali lubrificanti, plastificanti e stabilizzanti, i quali contrastano la degradazione termica del materiale durante la lavorazione. Oltre a questo, il PVC presenta altri numerosi vantaggi, quali (Federici & Giannotta, 1991)²³:

- Resistenza all'umidità;
- Proprietà isolanti dal punto di vista termico, acustico ed elettrico;
- Ottimo rapporto prestazioni/prezzo;
- Inerzia chimica;

²³ Federici, C., & Giannotta, G. (1991). *Polimeri Termoplastici*. Tecniche Nuove.

- Buona resistenza alle radiazioni UV;
- Buona resistenza all'usura;
- Bassa infiammabilità;
- Versatilità.

Tuttavia, il PVC presenta anche alcuni svantaggi come (Federici & Giannotta, 1991):

- Instabilità termica: a circa 100 °C il materiale ingiallisce e subisce una degradazione chiamata *deidroclorinazione*, ovvero rilascia acido cloridrico (HCl).
- campo di temperature di impiego piuttosto limitato: ha una temperatura massima di esercizio continuato di 50 °C e diventa fragile sotto i 5 °C;
- sensibilità allo stress cracking;
- durante la combustione si forma fuliggine in grande quantità;
- le proprietà tendono a modificarsi nel tempo a causa della migrazione dei plastificanti al suo interno. I solventi organici e le soluzioni acquose accelerano questo processo, portando ad infragilimenti locali.

PVC-U, PVC-A e PVC-C

La sigla PVC-U individua il PVC *unplastified*, ovvero il PVC rigido. Questa tipologia di PVC è utilizzata per tubi e raccordi, rivestimenti per interni, telai per finestre, serbatoi per l'industria chimica, profilati per tapparelle, grondaie, lastre ondulate, bottiglie, corpi cavi, film, blister, bicchieri, dischi e piastrelle per pavimenti (Hellerich, Harsch, & Haenle, 1989). La sigla PVC-A, invece, sta per PVC *alloyed*, ovvero “legato”. Questa tipologia di PVC, infatti, viene additivata con il polietilene clorurato (CPE) con l'obiettivo di ottenere migliori proprietà di resistenza all'impatto. Il CPE è una particolare gomma termoplastica prodotta a partire dal polietilene per aggiunta di cloro. Oltre ad aumentare la resistenza all'impatto, il CPE conferisce maggiori elasticità, resistenza al fuoco e duttilità a basse temperature. D'altra parte, però, tale additivo riduce la resistenza del materiale (Toniolo, 2012). Il PVC-P, infine, è il PVC plastificato. Questo materiale presenta una percentuale di plastificante che varia dal 20 al 50% (Hellerich, Harsch, & Haenle, 1989).

4.2.1.3 Il PE

Il polietilene (PE) è un polimero termoplastico parzialmente cristallino, caratterizzato da buone capacità di isolamento termico e resistenza chimica. È una materia plastica molto diffusa e utilizzata grazie alla sua versatilità (può essere trasformata attraverso numerose tecnologie) e il suo basso costo (Hellerich, Harsch, & Haenle, 1989). La formula dell'unità ripetitiva del polietilene viene rappresentata in Figura 4.12.

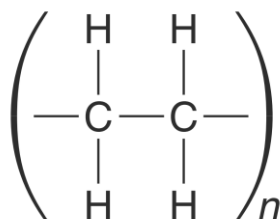


Figura 4.12 - Formula di struttura del polietilene (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Il monomero di partenza è l'etilene, la cui formula è rappresentata in Figura 4.13.

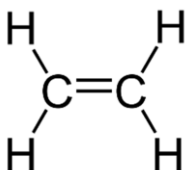


Figura 4.13 - Struttura dell'etilene, monomero da cui si ottiene il polietilene (Kalpakjian & Schmid, 2014)

Essendo un polimero parzialmente cristallino, il polietilene è dotato di una vera e propria temperatura di fusione, a differenza del PVC amorfo. Tale temperatura, però dipende dal grado di cristallinità. Si distinguono così due principali tipologie di polietilene: il polietilene ad alta densità (HDPE, *high-density polyethylene*), che rappresenta la forma altamente cristallina del polietilene, e il polietilene a bassa densità (LDPE, *low-density polyethylene*) (Kalpakjian & Schmid, 2014).

HDPE e LDPE

Il polietilene ad alta densità (HDPE) ha una cristallinità compresa tra l'80 e il 95%, una densità pari a 0,941 - 0,970 g/cm³ e una temperatura di fusione di 137 °C (Kalpakjian & Schmid, 2014). Presenta una buona resistenza all'urto a basse temperature, un'elevata rigidità, una buona resistenza all'abrasione e ottime proprietà di resistenza chimica.

D'altro canto, questo materiale risulta infiammabile, sensibile agli effetti di stress-cracking e poco resistente agli UV (senza additivi). Dal punto di vista delle applicazioni, l'HDPE viene impiegato nella produzione di tubi, giocattoli, vaschette, serbatoi, film per packaging e bottiglie per generi alimentari (Federici & Giannotta, 1991).

Il polietilene a bassa densità (LDPE), invece, è caratterizzato da una cristallinità tra il 60 e il 70%, una densità pari a $0,910 - 0,925 \text{ g/cm}^3$ e una temperatura di fusione di 115°C (Kalpakjian & Schmid, 2014). Presenta buona resistenza chimica e buona resistenza all'urto a basse temperature, grande facilità di stampaggio, buone proprietà elettriche e facilità di riciclaggio. Dal punto di vista degli svantaggi, il LDPE condivide con l'HDPE l'infiammabilità, la sensibilità agli effetti di stress-cracking e la bassa resistenza alle radiazioni UV (senza additivi). Questo materiale è utilizzato per contenitori, recipienti, bottiglie flessibili, taniche, giocattoli, sacchi, film semplici e accoppiati, tubi e rivestimento di cavi metallici e tessuti (Federici & Giannotta, 1991).

4.2.2 I reparti

Come si può osservare in Figura 4.14, la produzione di Fara Vicentino è suddivisa in tre reparti in funzione del materiale e della tecnologia utilizzata per la produzione: il reparto PVC rigido, il reparto granulatore e il reparto PE.

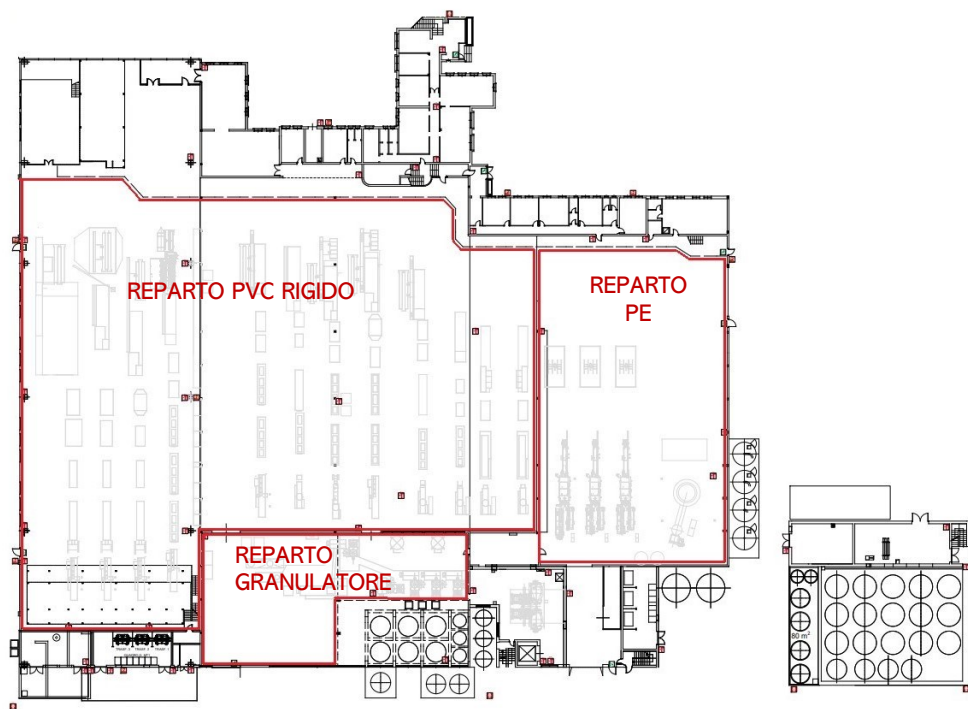


Figura 4.14 - Pianta dello stabilimento produttivo di Fara Vicentino (Fitt S.p.A., 2021).
La pianta non riporta tutta la zona esterna dedicata allo stoccaggio.

Nello spazio esterno sono posizionati numerosi sili per lo stoccaggio delle diverse materie prime utilizzate poi nel processo produttivo (Figura 4.15):

- **Resina di PVC:** per la produzione del granulo nel reparto granulatore e di tubi rigidi nel reparto PVC;
- **Carbonato di calcio (CaCO_3):** carica in polvere da utilizzare come additivo per la produzione di granulo e tubo rigido in PVC, essenziale per fornire migliori caratteristiche meccaniche al prodotto finale, e per diminuire il costo della mescola;
- **Plastificante:** si presenta allo stato liquido, viene additivato alla resina di PVC per la produzione del granulo;
- **Olio di soia:** utilizzato come lubrificante per la produzione del granulo di PVC;
- **Stabilizzante:** utilizzato come additivo alla resina di PVC per produzione di granulo e tubo rigido;
- **Polietilene (PE) e polietilene ad alta densità (HDPE):** per la produzione di tubi corrugati e foglie nel reparto PE.

Le colorazioni, che fanno parte delle cosiddette mescole insieme ai materiali sopra elencati, vengono invece stoccate internamente in sacchi, i quali vengono poi gestiti e dosati con maggiore flessibilità.



Figura 4.15 - Fotografia dei sili appartenenti all'impianto esterno Zeppelin di Fara Vicentino

I materiali contenuti all'interno dei silos vengono gestiti in maniera differente a seconda del reparto di destinazione. Nel caso del reparto dedicato al tubo rigido, il PVC, il carbonato di calcio, lo stabilizzante e il lubrificante vengono trasportati a dei turbomiscelatori interni attraverso lunghe tubazioni (Figura 4.16). Le percentuali di additivi variano in base alla tipologia di prodotto che si andrà a realizzare. A monte dei turbomiscelatori sono posizionate delle bilance che controllano il dosaggio dei vari elementi, mentre l'aggiunta di colorante viene effettuata a mano tramite dei sacchetti predosati. Una volta arrivati a questo punto, i materiali iniziano il processo di miscelazione con la cosiddetta "turbata", ovvero il rimescolamento dei diversi componenti attraverso delle apposite pale presenti all'interno del turbomiscelatore. Questa ha avvio ad una temperatura di 65 °C e prosegue fino ad una temperatura compresa tra i 95 e i 115 °C. Il riscaldamento insieme all'effetto miscelatore e sussultorio del turbomiscelatore permette di agglomerare in modo ottimale tutti i vari componenti. Al termine di questa fase, i materiali passano attraverso un raffreddatore che li porta alla temperatura di 50 °C, e infine attraverso un propulsore a fase densa, a valle del quale si ottiene una polvere asciutta detta *dry blend* o mescola. Il *dry blend* ottenuto viene così direzionato verso le linee di estrusione del reparto dedicato al tubo rigido.

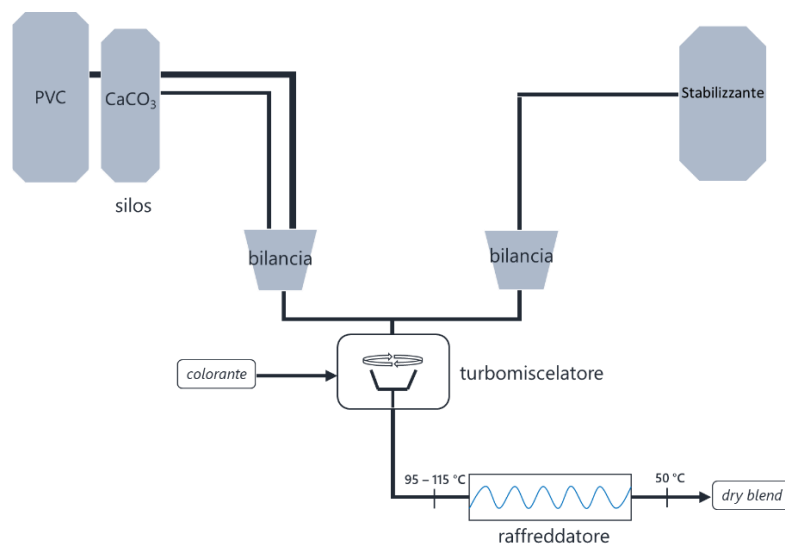


Figura 4.16 - Schematizzazione del processo di realizzazione del *dry blend* di PVC per il reparto tubo rigido

4.2.3 Reparto PVC rigido

Il reparto dedicato al tubo rigido in PVC occupa la maggior parte dell'area produttiva dello stabilimento. Al suo interno, infatti, sono presenti ben dodici linee di produzione, delle quali due sono dedicate alla produzione di grondaie di diversi profili e le restanti alla produzione di tubi rigidi per l'edilizia e le infrastrutture. Ognuna di queste è dedicata ad uno specifico intervallo di diametri, i quali spaziano da un minimo di 32 mm ad un massimo di 800 mm. Tali intervalli spesso si sovrappongono, per cui è possibile mantenere un certo livello di flessibilità tra le diverse linee. Questo reparto lavora a ciclo continuo, ovvero sette giorni su sette e ventiquattro ore su ventiquattro.

Il processo produttivo

La struttura delle linee produttive del reparto è pressoché la medesima. A monte di ogni linea troviamo un silos dedicato, nel quale viene convogliato il *dry blend* prodotto da uno dei cinque turbomiscelatori del reparto mescole. Il *dry blend* per il reparto PVC rigido è costituito da resina di PVC, carbonato di calcio (CaCO_3), stabilizzante, colorante e lubrificante. Dal silos il materiale viene quindi trasferito all'estrusore e, in particolare, viene inserito nella tramoggia dedicata. In Figura 4.17 è riportato un esempio della struttura interna di un estrusore. Vi sono due modalità di carica della tramoggia: alcune linee hanno il silos posizionato direttamente sopra la tramoggia, la quale viene quindi riempita per gravità; le linee più recenti, invece, hanno il silos posizionato posteriormente rispetto all'estrusore e sono caricate a chiamata grazie al lavoro di un forzatore che trasporta il materiale in alto per poi ricondurlo all'interno della tramoggia. Il materiale contenuto passa poi all'interno del cilindro dell'estrusore, dove avviene il processo fondamentale di trasformazione del materiale grazie all'azione congiunta di due viti senza fine (si parla di estrusori bivate) e un insieme di termoresistenze che avvolgono la superficie esterna del cilindro. Le tensioni di taglio e l'attrito interno generati dall'azione meccanica delle viti, unitamente all'aumento di temperatura provocato dalle termoresistenze, trasportano, miscelano e fondono il materiale (Kalpakjian & Schmid, 2014).

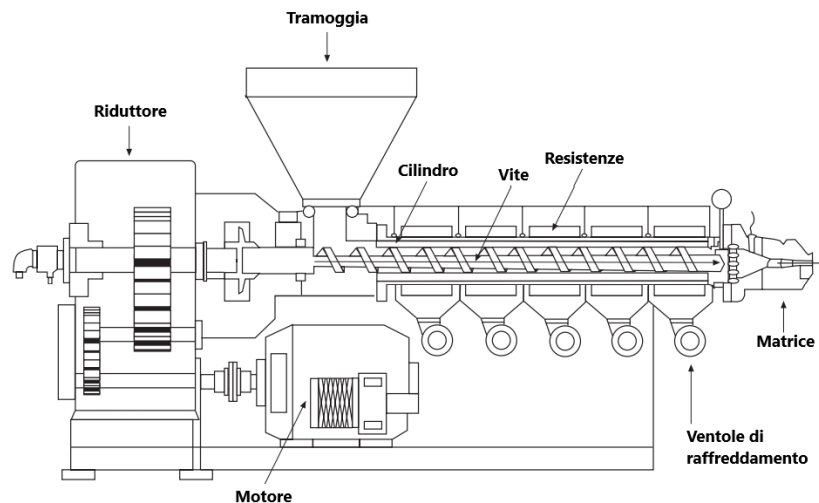


Figura 4.17 - Illustrazione schematica di un estrusore in sezione (Goff & Whelan, 2000)²⁴

In particolare, le viti sono caratterizzate da sezioni distinte aventi diversi obiettivi (Figura 4.18):

1. **Sezione di alimentazione.** Si tratta della sezione dedicata al trasporto del materiale dall'area della tramoggia fino alla regione centrale del cilindro;
2. **Sezione di fusione o transizione.** Qui il calore generato dalle sollecitazioni di taglio delle viti e dalle termoresistenze provoca l'inizio della fusione del materiale;
3. **Sezione di trasporto.** In quest'area si ha un'ulteriore azione di taglio e fusione, insieme all'aumento progressivo della pressione del materiale verso l'imboccatura della matrice.



Figura 4.18 - Struttura base di una vite di estrusione (Kalpakjian & Schmid, 2014)

All'uscita dall'estrusore vi è la matrice, anche detta testa di estrusione. Nel caso di estrusione di tubi in materiali polimerici, la testa di estrusione ha una struttura a ragno, o

²⁴ Goff, J., & Whelan, T. (2000). *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*. Dynisco.

spider, con l'obiettivo di rompere il flusso di materiale (Kalpakjian & Schmid, 2014). La parte finale della matrice è costituita da tre fondamentali elementi che danno la forma finale all'estruso: la femmina (o filiera), il porta maschio e il maschio (o boccola). In particolare, la superficie interna della femmina definisce il diametro del tubo, mentre la superficie esterna del maschio ne determina lo spessore. Tali elementi possono quindi essere cambiati, in fase di attrezzaggio, per modificare diametro e spessore del tubo da produrre. Una sezione della testa di estrusione viene riportata in Figura 4.19.

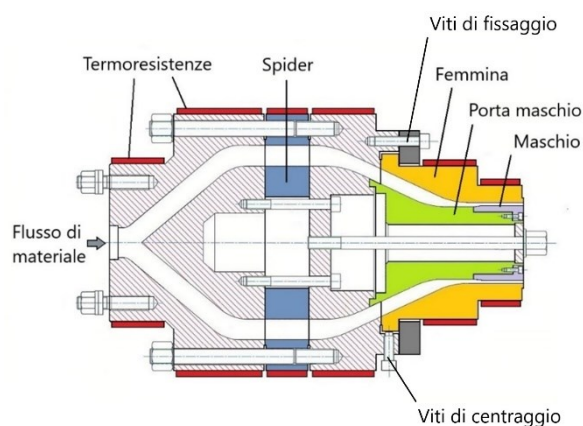


Figura 4.19 - Rappresentazione in sezione di una matrice a ragno (Fitt S.p.A., 2021)

Dopo essere fuoriuscito dalla matrice, l'estruso passa attraverso una, due o tre vasche di raffreddamento sottovuoto in base alla velocità di raffreddamento desiderata, dotate di numerosi ugelli d'acqua. Il controllo del raffreddamento del prodotto è fondamentale per minimizzare la distorsione e il ritorno del materiale (Kalpakjian & Schmid, 2014). In particolare, la prima vasca di raffreddamento funge anche da vasca di calibrazione: all'imbocco della stessa è posizionato un calibro che, grazie all'azione congiunta del vuoto e del raffreddamento, permette di conferire al tubo il corretto diametro.

A valle delle vasche di raffreddamento è posizionato un traino a cingoli che permette il movimento del tubo ad una velocità pari a quella del materiale in uscita dall'estrusore. La velocità di produzione dipende dalla tipologia di mescola, dalla combinazione tra diametro e spessore del tubo e dalla portata delle vasche di raffreddamento. In particolare, i prodotti con maggiore quantità di carbonato di calcio (CaCO_3) vengono estrusi più velocemente.

Dopo il traino vi è la taglierina, che si occupa di tagliare i tubi alla lunghezza desiderata, generalmente 1 m, 3 m o 6 m. Questa macchina è dotata di un braccio rotante che, al momento del taglio, si muove seguendo l'andatura del tubo.

A questo punto, i tubi entrano nell'ultimo stadio del processo, rappresentato dalla bicchieratrice. Questa macchina è dotata innanzitutto di un piccolo traino per recuperare i tubi in uscita dalla taglierina e posizionarli sul banco della macchina in maniera precisa. Sul banco vi sono dei carrellini adibiti al trasporto trasversale di ogni tubo da uno stadio di lavorazione al successivo. Questi stadi, in particolare, sono tre:

1. Si ha un primo riscaldamento dell'estremità del tubo all'interno di un forno;
2. Successivamente, il tubo completa il riscaldamento all'interno di un secondo forno;
3. Infine, il tubo viene inserito in una botte con tampone interno, dove l'estremità del tubo precedentemente riscaldata e rammollita viene modellata fino al conferimento della forma del bicchiere e, in taluni casi, viene preinserita anche una guarnizione in gomma attraverso l'apertura di appositi settori presenti sul tampone. Questo processo avviene con la creazione del vuoto all'interno della botte, in modo da far aderire bene il materiale al tampone interno, e con un successivo raffreddamento ad acqua.

Quest'ultimo stadio può rappresentare il collo di bottiglia di tutto il processo produttivo: a seconda delle tipologie di prodotto, il tempo richiesto per riscaldare l'estremità dei tubi e formare il bicchiere può rendere necessario calare la velocità dell'estrusore, riducendo di conseguenza le performance produttive della linea.

Una volta ottenuto il tubo con bicchiere, questo viene prelevato dal braccio di un pallettizzatore automatico e posizionato, con il corretto orientamento, su un bancale a bordo macchina. Tale bancale è formato da diversi listelli di legno che forniscono sostegno alla base e ai lati, fungendo sostanzialmente da contenitore. Una volta completato il riempimento del bancale, un operatore di fondo linea si occupa dell'imballo finale e della sostituzione del bancale completato con quello successivo da riempire.

In Figura 4.20 viene riportato lo schema di una linea di estrusione di tubo rigido in PVC sopra descritta.

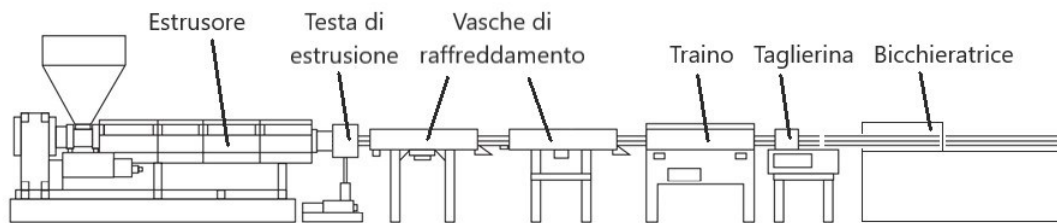


Figura 4.20 - Schematizzazione di una linea di estrusione di tubo rigido in PVC (Goff & Whelan, 2000)

Attraverso questo processo, nel reparto vengono realizzate diverse famiglie di prodotto:

- **Tubi per edilizia.** Questa tipologia di tubi in PVC-U è dedicata agli scarichi civili e industriali. Sono i tubi più semplici da realizzare dal punto di vista produttivo, in quanto dotati di un bicchiere senza inserimento di anelli in gomma (Figura 4.21);



Figura 4.21 - Esempio di tubo per edilizia (RED)

- **Tubi per fognatura.** I tubi dedicati alla fognatura infrastrutturale sono realizzati in PVC-U e sono dotati di un bicchiere più complesso in quanto deve ospitare la guarnizione in gomma. La guarnizione può essere preinserita meccanicamente a caldo durante la fase di formazione del bicchiere o fornita a corredo e inserita manualmente (Figura 4.22);



Figura 4.22 - Esempio di tubo per fognatura (FITT Sewer EVO)

- **Tubi per il trasporto di fluidi in pressione.** I tubi per il trasporto di fluidi in pressione sono destinati a reti idriche e acquedotti. All'interno di questo gruppo sono presenti due diverse categorie di prodotto: tubi di tipo BluTech, realizzati in PVC-U, e tubi di tipo BluForce (Figura 4.23), realizzati in PVC-A. Sono tutti caratterizzati da bicchiere con guarnizione preinserita in quanto devono assicurare perfetta tenuta;



Figura 4.23 - Esempio di tubo per acquedottistica (FITT BluForce)

- **Grondaie.** Le grondaie si differenziano dagli altri tubi rigidi realizzati nel reparto proprio per il loro profilo, e per questo anche il processo produttivo è parzialmente differente: le teste di estrusione sono caratterizzate da un insieme di piastre posizionate in modo da dare la corretta forma alla grondaia, e non è presente lo stadio di formazione del bicchiere. In questo caso, infatti, i prodotti sono semicircolari o con profili più complessi, proprio per il loro scopo di raccolta e trasporto di acqua piovana (Figura 4.24). All'interno del reparto, sono due le linee dedicate a questa tipologia di prodotto.

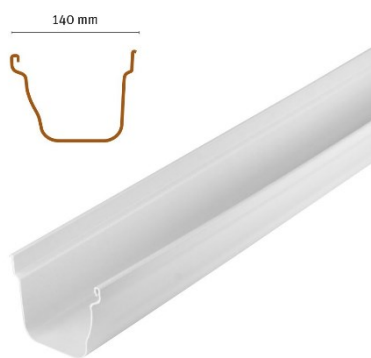


Figura 4.24 - Esempio di grondaia (FITT Rain C140)

4.2.4 Il reparto granulatore

Come nel caso del tubo rigido, anche il processo di produzione del granulo di PVC ha origine a partire dal *dry blend* realizzato in un apposito turbomiscelatore dedicato. A differenza del tubo rigido, però, il *dry blend* per la produzione del granulo contiene un elemento in più: il plastificante. Il *compound*, infatti, verrà poi trasferito agli altri stabilimenti del gruppo FITT (come Sandrigo e San Pietro in Gu, ma anche verso la Francia), che si occupano della produzione di tubi flessibili in PVC.

Una volta ottenuto il *dry blend* con un processo equivalente a quello descritto al paragrafo 4.2.2, questo entra nel granulatore, ovvero un estrusore bivate dotato di un'apposita matrice da cui escono “spaghetti” omogenei di materiale a 150°C, i quali vengono poi tagliati a forma di granulo attraverso apposite lame rotanti. La dimensione dei granuli è determinata dalla velocità di rotazione delle lame: più alta è la velocità, più fine sarà il *compound* ottenuto. I granuli di PVC raggiungono poi un nastro trasportatore ventilato e vibrante, dove l'azione congiunta dell'aria e delle vibrazioni permette di separare e raffreddare i granuli. Questi vengono così inviati alla zona di confezionamento, dotata di una bilancia e appositi sacconi. In questo modo, vengono prodotte circa 60 tonnellate al giorno di *compound* di PVC. In Figura 4.25 è riportata una schematizzazione del processo sopra descritto.

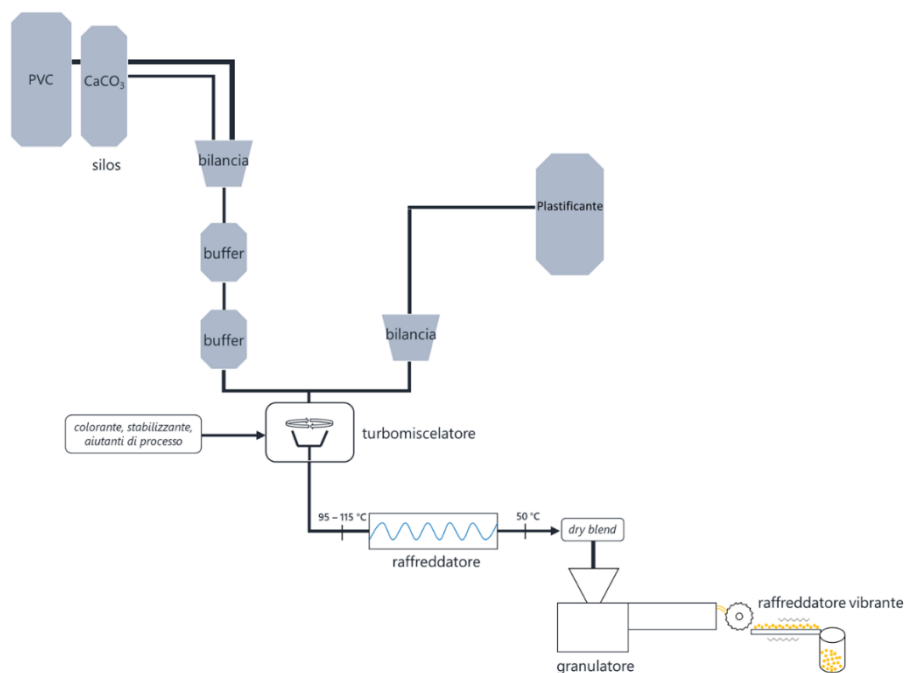


Figura 4.25 - Schematizzazione del processo di produzione del compound di PVC

4.2.5 Il reparto PE

All'interno dello stabilimento vi è un terzo reparto: il reparto PE, il quale è formato da tre linee di estrusione di tubi corrugati di diversi diametri e una linea di produzione di film sottile. Questo reparto lavora su un turno di 8 ore, cinque giorni alla settimana.

Lavorando con un materiale diverso, le linee di estrusione di questo reparto sono parzialmente differenti rispetto a quelle per tubo rigido in PVC. A monte di ogni linea vi sono due estrusori monovite dedicati rispettivamente allo strato interno e allo strato esterno del tubo corrugato. Per realizzare una forma tubolare, la matrice è sempre formata da femmina e maschio, con la differenza che in questo caso il maschio non è riscaldato, cosa che invece avveniva nella produzione con PVC: il materiale in uscita dall'estrusore, infatti, non tocca il maschio ma rimane in sospensione. A valle della testa di estrusione vi è un corrugatore, che ha il compito di rendere la superficie del tubo ondulata. In seguito, il tubo passa attraverso una vasca di raffreddamento ad acqua, un piccolo traino, e infine entra in un avvolgitore. L'avvolgitore si occupa di creare delle bobine di tubo corrugato e tagliare il tubo una volta raggiunta la lunghezza desiderata. Il processo è schematizzato in Figura 4.26.

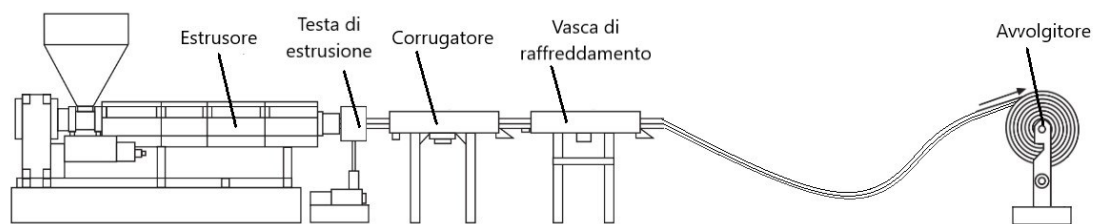


Figura 4.26 - Schematizzazione di una linea di produzione di tubo corrugato in HDPE

All'interno del reparto vi è un'ulteriore linea produttiva: quella legata alla produzione della cosiddetta foglia, ovvero un film sottile di polietilene (PE). Come si vede in Figura 4.27, il processo in questo caso parte da tre estrusori monovite. A valle degli estrusori è posizionata sempre la testa di estrusione che, a differenza dei casi visti precedentemente, è rivolta verso l'alto. L'estruso, sempre di forma tubolare, viene quindi soffiato in verticale con aria, viene fatto gonfiare e salire in altezza. Successivamente, il materiale entra in una serie di rulli che lo riportano a terra piegandolo e appiattendolo, creando così il film sottile finale. L'ultimo stadio è dotato di un avvolgitore che realizza le bobine e taglia il film una volta raggiunta la lunghezza desiderata.

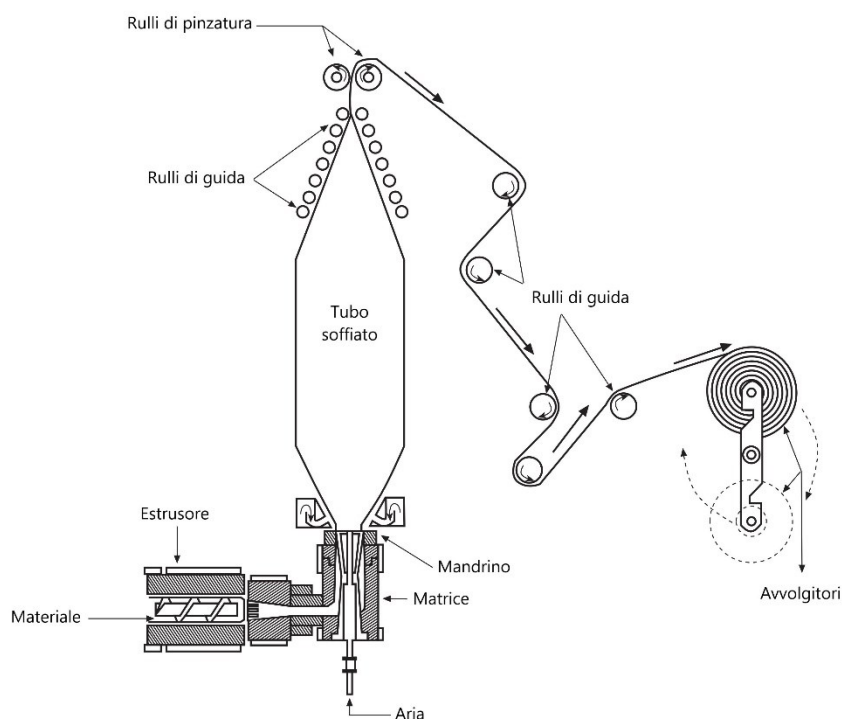


Figura 4.27 - Schematizzazione di una linea di produzione di film in polietilene (Goff & Whelan, 2000)

Capitolo 4

IL CASO STUDIO DI UNA LINEA DI ESTRUSIONE DI TUBI IN PVC - ANALISI DELLA SITUAZIONE INIZIALE

Il seguente capitolo ha lo scopo di presentare la fase preliminare dello SMED nel caso di una linea di estrusione di tubi in PVC.

Verranno introdotte le motivazioni che hanno portato alla nascita del progetto, seguite dalla descrizione degli obiettivi, del gruppo di lavoro e della linea pilota. Successivamente verrà presentata la classificazione delle diverse tipologie di setup, la selezione del setup di riferimento attraverso un'analisi di Pareto e la descrizione delle diverse attività che lo costituiscono. Infine, si entrerà nel cuore dell'analisi con la raccolta dei tempi e l'individuazione dei muda, con il supporto di strumenti *lean* come la Spaghetti Chart. Il risultato finale dell'analisi sarà una schematizzazione del setup di riferimento, da cui prenderanno avvio i passi successivi riportati nel Capitolo 5.

5.1 NASCITA DEL PROGETTO SMED

Il progetto SMED nasce in seguito alla sempre più marcata esigenza dello stabilimento di Fara Vicentino di perseguire una produzione più flessibile per il soddisfacimento delle esigenze dei clienti. Negli anni, infatti, la domanda si è progressivamente diversificata,

portando la pianificazione della produzione a lavorare con lotti più piccoli e, di conseguenza, setup più frequenti. Gestire numerosi setup molto lunghi ha creato nel tempo diverse difficoltà: dedicando la maggior parte della giornata all'attrezzaggio delle linee e all'avvio della produzione, gli operatori si trovavano ad avere sempre meno tempo disponibile per attività di preparazione, pulizia e controllo delle attrezzature. Tali attività sono però fondamentali perché permettono di mantenere nel tempo il buono stato delle attrezzature, garantire la qualità dei prodotti e lavorare in condizioni di ordine e pulizia. Trascurare questi aspetti ha quindi portato ad una crescita del numero di guasti, errori e dimenticanze, con impatto diretto sulle prestazioni operative.

Il progetto SMED si pone quindi un triplice obiettivo:

- ridurre il tempo di setup interno del 50%;
- introdurre le tematiche *lean* all'interno dello stabilimento;
- avviare un processo di attivazione e valorizzazione delle persone. Attraverso la creazione di occasioni di confronto e il lavoro in team è infatti possibile alimentare la creatività del singolo e del gruppo, oltre alla successiva soddisfazione personale, avviando così un processo di miglioramento e partecipazione che si autoalimenta.

5.1.1 La linea pilota

Il primo passo effettuato durante la pianificazione del progetto SMED è consistito nella definizione del perimetro di azione. La strada scelta per massimizzare l'efficacia del progetto, caratterizzato da una durata limitata, è stata quella di concentrare le energie e le attenzioni su un'unica linea produttiva. In particolare, la linea che meglio si prestava al progetto era la linea 12, per i seguenti motivi:

- È una linea satura dal punto di vista delle vendite: tutto ciò che viene prodotto viene venduto. Di conseguenza, riuscire a ridurre il tempo di setup della linea permetterebbe di liberare ulteriore capacità produttiva;
- È una linea caratterizzata da macchinari nuovi, recentemente installati, che permettono quindi di avere migliori performance produttive. Riuscire a ridurre il tempo di setup porterebbe ad un ulteriore miglioramento delle prestazioni della linea, la quale diverrebbe così il punto di riferimento a cui far tendere le altre linee del reparto.

Il fine ultimo di questa scelta era di arrivare a mettere in luce le differenze tra la linea pilota e il resto dello stabilimento, rendendo evidenti i miglioramenti che si possono ottenere non tanto con nuove tecnologie ma, ancor prima, con una riorganizzazione del metodo di lavoro e un graduale cambiamento di mentalità.

La linea 12 è dedicata a diverse tipologie di prodotto, appartenenti alle tre fondamentali famiglie di prodotto della *Building Division*: tubi per edilizia, tubi per fognatura e tubi per il trasporto di fluidi in pressione, presentati al 4.2.3. La maggior parte di questa produzione ricade su diametri di 200 mm, 225 mm e 250 mm, ma il range di diametri può arrivare fino a 160 mm, come riportato in Tabella 5.1, permettendo quindi maggiore flessibilità. Ogni prodotto si distingue per le seguenti caratteristiche:

- **Mescola.** I prodotti della stessa famiglia sono caratterizzati dalla stessa mescola;
- **Diametro esterno;**
- **Spessore.** Lo spessore è individuato da un valore medio di riferimento e da un range di tolleranza, da cui si ricavano i valori minimo e massimo accettabili. Nel caso in cui il tubo sia sotto spessore, deve essere scartato in quanto fuori norma; al contrario, in caso di spessore superiore al valore massimo, il tubo può essere accettato. Tuttavia, è preferibile non superare lo spessore massimo per minimizzare la quantità di materiale utilizzata e quindi i costi di produzione;
- **Bicchiere.** Esistono principalmente quattro tipologie di bicchiere. Il bicchiere per incollaggio è molto semplice e non prevede l'inserimento di anelli in gomma. Il bicchiere DIN Lock ha una forma più complessa per ospitare l'anello in gomma a corredo del tubo, inserito manualmente. Il bicchiere con anello Sewer o Power, in gomma, prevede il preinserimento meccanico a caldo durante fase di formazione del bicchiere stesso. Infine, il bicchiere con anello RJ (*Restraint Joint*) prevede il preinserimento meccanico a caldo, sempre in fase di formazione, di un anello antisfilamento costituito da una parte di gomma e una di ghisa.

Tabella 5.1 - Elenco delle tipologie di prodotto realizzate sulla linea 12.

Per ogni famiglia è stato riportato il nome commerciale del prodotto, il range di diametri prodotti sulla linea e la tipologia di bicchiere.

Famiglia	Prodotto	Diametro (mm)	Bicchiere
Edilizia	<i>Red</i>	160 - 200 - 250	Incollaggio
	<i>Revolution</i>	160 - 200	Incollaggio
	<i>Drain</i>	160 - 200	Incollaggio
	<i>Blu Compact</i>	160 - 200 - 250	Incollaggio
Fognatura	<i>SN2 Sewer</i>	160 - 200 - 250	Anello a corredo (DIN lock)
	<i>SN4 Sewer</i>	160 - 200 - 250	Anello a corredo (DIN lock)
	<i>SN8 Evol</i>	160 - 200 - 250	Anello Sewer
	<i>SN16 Power</i>	160 - 200 - 250	Anello Power Lock
Pressione (<i>BluTech</i>)	<i>PN6 AF</i>	160 - 180 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN10 AF/NF</i>	160 - 180 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN12,5 AF</i>	160 - 180 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN16 AF/NF</i>	160 - 180 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN20 AF</i>	160 - 180 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
Pressione (<i>BluForce</i>)	<i>PN10 BluForce</i>	160 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN16 BluForce</i>	160 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN20 BluForce</i>	160 - 200 - 225 - 250	Anello Power Lock
	<i>PN16 BluForce RJ</i>	160 - 200 - 225 - 250	Anello BullDog RJ
	<i>PN20 BluForce RJ</i>	160 - 200 - 225 - 250	Anello BullDog RJ

5.1.2 Il team di progetto

Il secondo passo fondamentale relativo alla pianificazione di un progetto consiste nella definizione del team di lavoro. In generale, si ottengono i migliori risultati con la creazione di team interfunzionali (come anticipato al paragrafo 3.6).

Per il progetto relativo alla linea 12 è stato seguito questo principio, ed è così stato definito un gruppo di lavoro formato da:

- Team di attrezzisti (cinque);
- Responsabile del team di attrezzisti;
- Tecnologo di processo;
- Plant manager;
- Tirocinante.

5.2 ANALISI DELLA SITUAZIONE INIZIALE

Una volta definiti gli obiettivi che si vogliono raggiungere, la prima fase di ogni progetto, seguendo la logica del ciclo PDCA, consiste nell'analisi della situazione AS IS. Nel caso del progetto SMED, le prime attività sono state svolte direttamente nel *gemba*, attraverso un'osservazione diretta delle diverse attività di attrezzaggio. Durante questi rilievi sul campo, sono stati frequenti e indispensabili i momenti di confronto con gli attrezzisti, permettendo di comprendere al meglio le ragioni di ogni operazione compiuta e raccogliere opinioni sulle maggiori criticità presenti nel ciclo di lavoro.

5.2.1 Classificazione delle tipologie di cambio

La prima attività effettuata è stata un'analisi a livello macro delle varie fasi caratterizzanti il setup sulla linea 12. Non esiste una sola tipologia di setup, ne esistono diverse in base al prodotto del lotto precedente (prodotto A) e del lotto successivo (prodotto B). La classificazione delle tipologie di cambio, riportata in Tabella 5.2, è stata realizzata a partire dall'individuazione delle possibili differenze nelle caratteristiche dei vari prodotti:

- CD = cambio diametro;
- CS = cambio spessore;
- CB = cambio bicchiere;
- CS = cambio mescola.

Per realizzare ognuno di questi cambiamenti nel prodotto, sono necessarie specifiche attività e attrezzature. Su queste sono state definite le diverse tipologie di setup. Salta subito all'occhio, dall'osservazione della Tabella 5.2, che il setup caratterizzato dal maggior numero di attività è il cambio del diametro del prodotto (con o senza cambio della testa di estrusione): vengono infatti montate attrezzature ed effettuate regolazioni in ogni macchina della linea di produzione. Spostandosi verso destra, invece, i setup diventano via via più semplici e più brevi.

Tabella 5.2 - Classificazione delle tipologie di cambio in base alle differenze tra i prodotti

MACROFASI	ATTIVITÀ	TIPO DI CAMBIO						
		CD		CS + CB + CM		CS	CB	
		Cambio diametro (con testa)	Cambio diametro (senza testa)	Cambio spessore + bicchiere + miscela	Cambio spessore + bicchiere + miscela (con testa)	Cambio spessore	Cambio bicchiere	Cambio bicchiere RJ
FERMO MACCHINA	Fermo macchina con miscela di fermata	V	V	V	V	V	-	-
	Fermo macchina senza miscela di fermata	-	-	-	-	V	-	-
CAMBIO TESTA		V	-	-	V	-	-	-
CAMBIO MASCHIO (boccola)		-	V	V	-	V	-	-
CAMBIO PORTA MASCHIO		-	V	V	-	-	-	-
CAMBIO FEMMINA (filiera)		-	V	V	-	-	-	-
PULIZIA DEGASAGGIO		V	V	V	V	V	V	V
CAMBIO CALIBRO		V	V	V	V	V	-	-
CAMBIO VASCHE	Cambio gomme vasche	V	V	-	-	-	-	-
	Cambio mezzelune vasche	V	V	-	-	-	-	-
	Pulizia filtri	V	V	V	V	V	V	V
REGOLAZIONE TRAINO	Regolazione cingoli traino	V	V	-	-	-	-	-
REGOLAZIONE E PULIZIA TAGLIERINA	Regolazione morse	V	V	-	-	-	-	-
	Regolazione inclinazione taglio	V	V	-	-	-	-	-
	Regolazione smusso	V	V	V	V	V	-	-
	Pulizia taglierina	V	V	V	V	V	V	V
		V	V	V	V	V	V	V
CAMBIO BICCHIERATRICE	Cambio tampone	V	V	V	V	-	V	-
	Cambio puntale	-	-	-	-	V	-	-
	Cambio gomme botte	V	V	V	V	-	V	-
	Cambio introduttore anelli	V	V	V	V	-	V	-
	Regolazione culla anelli	V	V	-	-	-	-	-
	Cambio morse bloccatubo	V	V	-	-	-	-	-
	Cambio lamiere forni	V	V	-	-	-	-	-
	Cambio pali magazzino anelli	V	V	-	-	-	V	-
	Cambio anelli	V	V	V	V	-	V	-
	Regolazione pinza anelli	V	V	-	-	-	-	-
	Regolazione altezza piano	V	V	-	-	-	-	-
	Pulizia piano di appoggio	V	V	V	V	V	V	-
	Pulizia filtri	V	V	V	V	V	V	V
TUBO PILOTA	Inserimento tubo pilota	V	V	V	V	-	-	-
PARTENZA	Partenza estrusore	V	V	V	V	V	-	-
	Avvio linea e rimozione tubo pilota	V	V	V	V	V	-	-
CONTROLLI E REGOLAZIONI	Controllo spessore e centratura	V	V	V	V	V	V	V
	Controllo inspessimento	V	V	V	V	V	V	V
	Controllo bicchiere	V	V	V	V	V	V	V
	Controllo segno pennarello	V	V	V	V	V	V	V
	Controllo qualità	V	V	V	V	V	V	V

È importante notare come questa classificazione si concentri su una parte limitata del setup, comprendente la fermata della linea, la sostituzione delle attrezzature, l'avvio della produzione successiva e la regolazione delle macchine. Per semplificare l'analisi, sono state temporaneamente escluse le attività di preparazione, controllo e riposizionamento delle attrezzature. Queste vengono già svolte separatamente come setup esterno: solitamente, infatti, le attività di attrezzaggio vengono effettuate al mattino, mentre nel pomeriggio, quando ormai tutte le linee sono in produzione sotto la supervisione del capoturno, si concentrano le attività di controllo e riposizionamento delle attrezzature smontate e di preparazione di quelle per il giorno successivo. Queste attività verranno considerate in uno step successivo.

Prima di procedere con la descrizione delle attività, è necessario selezionare un setup di riferimento per la successiva analisi e implementazione dello SMED, con l'intenzione di estendere in un secondo momento gli stessi ragionamenti anche alle altre tipologie di setup.

5.2.2 Scelta del cambio di riferimento

Spinte dal desiderio di procedere il prima possibile con le attività di riduzione dei tempi di attrezzaggio, spesso le aziende decidono di studiare in primo luogo i setup più complessi, ovvero quelli caratterizzati dal maggior numero di attività, da eseguire in tutti i macchinari della linea. Non sempre, tuttavia, questo risulta essere l'approccio vincente. Alcuni setup molto complessi, infatti, possono avere una frequenza di accadimento molto bassa, anche di 1-2 volte all'anno. Realizzare lo SMED in questi casi richiede un consistente investimento in termini di tempo e sforzi, minimizzando tuttavia i possibili benefici ottenibili in termini di *saving*. Risulta quindi necessario utilizzare uno strumento di analisi più accurato, come l'analisi di Pareto.

Nel caso della linea 12, è stata ricavata in primo luogo la frequenza di accadimento di ogni tipologia di setup in un anno. In particolare, si è deciso di considerare come riferimento l'anno precedente, ovvero il 2021, ipotizzando che la situazione si ripeta in modo simile nell'anno in corso e in quelli successivi. Ogni cambio prodotto effettuato nell'arco del 2021 è stato fatto ricadere all'interno di una delle categorie riportate in Tabella 5.2, e da qui si è ricavata la frequenza assoluta. Per ogni categoria, successivamente, è stato definito un tempo di setup di riferimento, a partire dalle prime osservazioni sul campo effettuate e dall'esperienza pregressa degli operatori. Dal prodotto di questi due valori è stato quindi possibile determinare l'impatto del setup sull'attività della linea, in termini di h/anno:

$$\text{impatto del setup (h/anno)} = \text{frequenza (n° setup/anno)} \cdot \text{durata media (h/setup)}$$

In Tabella 5.3 sono riportati i valori relativi al 2021.

Tabella 5.3 - Valutazione dell'impatto delle tipologie di cambio sull'attività della linea di produzione in un anno

Tipologia di cambio	Frequenza (n°setup/anno)	Durata media (h/setup)	Impatto (h/anno)
Cambio diametro (con testa)	15	5,5	83
Cambio diametro (senza testa)	4	5,5	22
Cambio spessore + bicchiere + mescola	16	4	64
Cambio spessore + bicchiere + mescola (con testa)	2	4	8
Cambio spessore	23	3	69
Cambio bicchiere	9	2	18
Cambio bicchiere RJ	3	2	5
Cambio mescola	3	2	5
TOTALE	74		265

Tali impatti sono poi stati riorganizzati in ordine decrescente, valutati in termini percentuali e percentuali cumulati (Tabella 5.4). In questo modo è stato possibile realizzare l'analisi di Pareto e individuare quali fossero le poche cause scatenanti la maggior parte degli effetti, ovvero la maggior parte delle ore di setup a cui è soggetta la linea in un anno. Inoltre, si è deciso di completare le valutazioni effettuando un'analisi ABC, ovvero assegnando alla classe A le tipologie di cambio responsabili dell'80% del tempo annuo di setup, alla classe B le tipologie responsabili del successivo 15% e alla classe C le responsabili dell'ultimo 5%.

L'analisi è riassunta, dal punto di vista grafico, dal diagramma di Pareto in Figura 5.1, realizzato a partire dai dati presenti in Tabella 5.4. Le tre classi A, B e C sono distinte in base al colore.

Tabella 5.4 - Classificazione ABC delle tipologie di setup

Tipo di setup	Impatto (h/anno)	Impatto %	% cumulata	CLASSE
Cambio diametro (con testa)	83	30	30	A
Cambio spessore	69	25	55	A
Cambio spessore + bicchiere + mescola	64	23	79	A
Cambio spessore + bicchiere + mescola (con testa)	22	8	87	B
Cambio diametro (senza testa)	18	7	93	B
Cambio bicchiere	8	3	96	C
Cambio bicchiere RJ	5	2	98	C
Cambio mescola	5	2	100	C

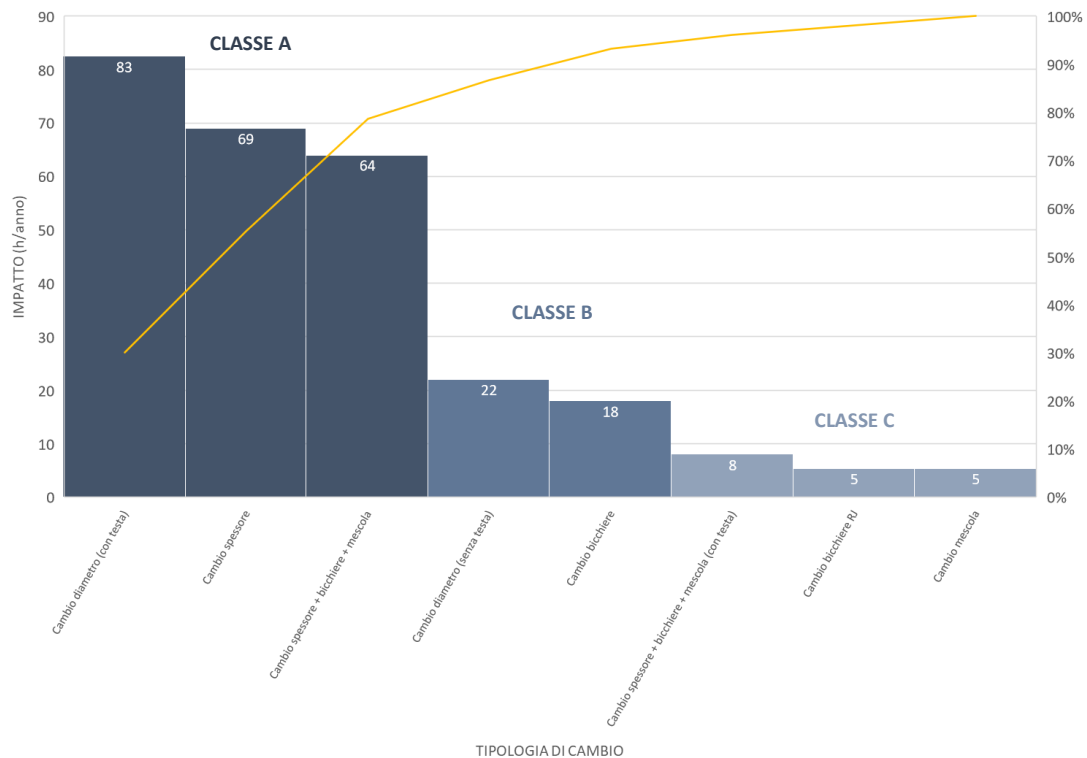


Figura 5.1 - Diagramma di Pareto

Dal grafico appare evidente come il setup maggiormente impattante in termini di ore all'anno sia il cambio diametro con cambio della testa di estrusione. Si è quindi deciso di implementare lo SMED a partire da tale tipo di setup in modo da massimizzare poi i benefici ottenibili.

5.2.3 Il cambio diametro con cambio testa di estrusione

Facendo riferimento alla struttura della linea di estrusione di Figura 4.20, che per facilitare la lettura viene riportata anche di seguito, e alla prima colonna di Tabella 5.2, verranno descritte le diverse attività che costituiscono un cambio diametro con testa di estrusione. Solitamente queste attività vengono portate avanti da due operatori in parallelo.

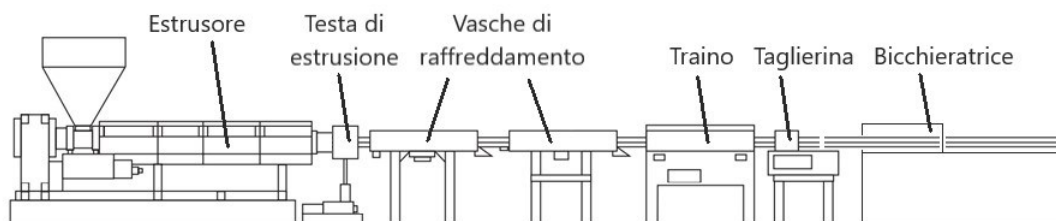


Figura 4.2 - Schematizzazione di una linea di estrusione di tubo rigido in PVC (Goff & Whelan, 2000)

Fermo macchina

Il setup ha avvio con la fermata dell'estrusore (fermo macchina). Questa fase avviene con l'utilizzo di una speciale mescola di fermata e richiede circa 25 minuti, in quanto questa deve prima miscelarsi con la mescola utilizzata per la produzione e successivamente andare a sostituirla completamente. La fase di fermata dell'estrusore si considera conclusa nel momento in cui tutta la mescola di produzione viene espulsa dalla testa di estrusione e l'estrusore viene arrestato. In quest'operazione vengono prodotti scarti, i quali sono raccolti in due specifici contenitori:

- Una gabbia per gli scarti costituiti dalla mescola di produzione;
- Un carrellino per gli scarti inquinati dalla mescola di fermata.

Le due tipologie di scarto vengono separate perché gli scarti contenenti la mescola di produzione verranno poi inviati ad un mulino per la triturazione. La polvere ottenuta potrà poi essere riutilizzata, in percentuale limitata, all'interno della produzione successiva.

Cambio testa

Una volta completata la fermata dell'estrusore, viene realizzato il cambio della matrice, attraverso il cambio dell'intera testa di estrusione. La testa di estrusione viene messa in preriscaldamento a partire dalle prime ore del mattino, prima a 130 °C e poi a 150 °C e, una volta collegata all'estrusore, viene ultimato il riscaldamento alla temperatura di regime di 185 – 200 °C.

Pulizia degasaggio

Inoltre, l'estrusore deve essere soggetto alla pulizia del sistema di degasaggio del cilindro, ovvero il sistema con il quale i gas prodotti durante la fusione del materiale vengono aspirati in modo da evitare la formazione di bolle nell'estruso.

Vasche di raffreddamento

Per quanto riguarda le vasche di raffreddamento, vi sono tre principali componenti che devono essere riattrezzati per effettuare un cambio del diametro del tubo:

- il **calibro** (Figura 5.3), attraverso il quale si contrasta il ritorno del materiale e si conferiscono forma e diametro corretti all'estruso;



Figura 5.3 - Calibro posizionato all'imbocco della prima vasca di raffreddamento

- le **mezzelune** (Figura 5.4), che fungono da sostegno al tubo durante il suo passaggio all'interno della vasca;



Figura 5.4 - Mezzaluna di sostegno per il tubo all'interno della vasca di raffreddamento

- le **gomme**, posizionate all'ingresso e all'uscita delle vasche stesse, che permettono la formazione del vuoto e il contenimento dell'acqua all'interno delle vasche. Queste sono fissate, attraverso una flangia interna ad anello, su una flangia esterna che permette il serraggio alla vasca (Figura 5.5).

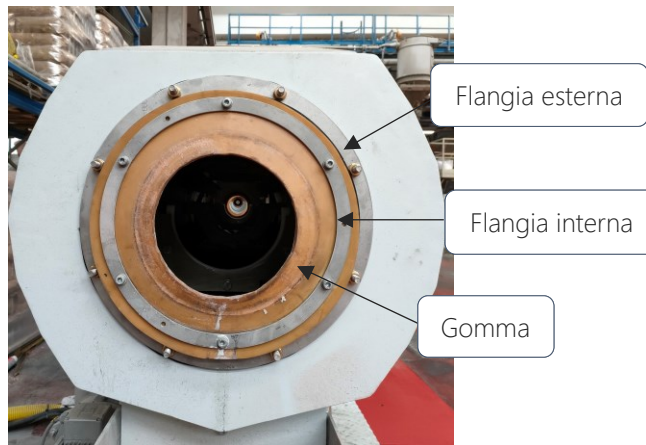


Figura 5.5 - Gomme per il vuoto

Oltre al riattrezzaggio dei componenti sopra descritti, durante il setup è necessario effettuare la pulizia dei filtri del circuito di raffreddamento delle vasche.

Traino

Successivamente vi è il traino, in cui l'unica azione da compiere è una regolazione dell'apertura dei cingoli.

Taglierina

Nel caso di cambio diametro, nella taglierina risulta necessario regolare l'apertura delle morse, regolare l'inclinazione delle lame e lo smusso da fornire al taglio del tubo, il quale dipende dal tipo di bicchiere e dallo spessore. Tale regolazione viene effettuata manualmente con l'ausilio di un'apposita asta graduata, presente in Figura 5.6. È inoltre indispensabile effettuare la pulizia dagli sfridi generati durante la produzione precedente.

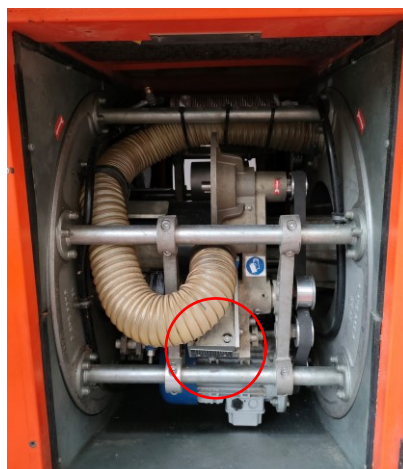


Figura 5.6 - Interno della taglierina con asta di regolazione dello smusso

Bicchieratrice

Si arriva così all'ultima macchina della linea di estrusione, la bicchieratrice. In caso di cambio del diametro del tubo, l'attrezzaggio della bicchieratrice è una fase molto lunga in quanto caratterizzata da numerose attività:

- ***Cambio del tampone.*** Il tampone è quell'attrezzatura che viene inserita all'interno del tubo per dare forma al bicchiere. La punta del tampone, riconoscibile in Figura 5.7 per il colore più chiaro, è detta puntale e viene generalmente sostituita in caso di semplice cambio spessore.

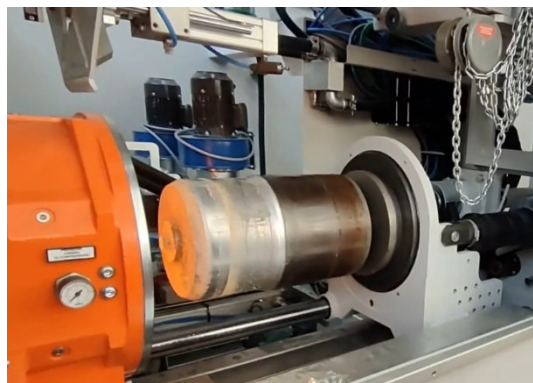


Figura 5.7 - Tampone per la formazione del bicchiere

- ***Cambio delle gomme della botte.*** Le gomme permettono di generare il vuoto all'interno della botte e trattenere l'acqua di raffreddamento utilizzata durante la formazione del bicchiere (Figura 5.8);



Figura 5.8 - Botte per la formazione del bicchiere, con doppia gomma per la tenuta del vuoto

- ***Cambio dell'introduttore anelli.*** L'introduttore anelli è un componente della macchina che si occupa di posizionare l'anello in gomma sul tampone nel caso di tubi con anello preinserito (Figura 5.9);

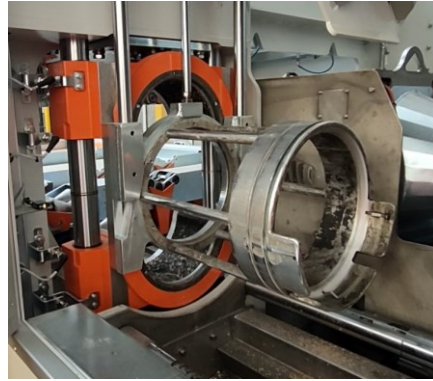


Figura 5.9 - Introduttore anelli

- ***Cambio delle morse bloccatubo.*** Le due morse bloccatubo hanno forma semicircolare, e hanno lo scopo di tenere fisso il tubo durante la formazione del bicchiere (Figura 5.10);



Figura 5.10 - Morse bloccatubo

- ***Cambio delle lamiere dei forni.*** Le lamiere sono posizionate all'ingresso del forno e hanno il compito di trattenere il calore all'interno. Solitamente una stessa lamiera può essere utilizzata per un certo intervallo di diametri;
- ***Cambio dei pali del magazzino anelli.*** Si tratta di quattro pali a base circolare posizionati nella parte posteriore della bicchieratrice, i quali fungono da magazzino per gli anelli da inserire nel bicchiere (Figura 5.11).

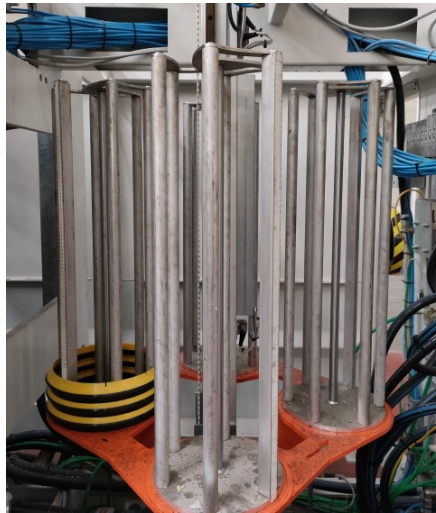


Figura 5.11 - Pali del magazzino anelli

- **Cambio degli anelli.** Nel caso in cui il prodotto successivo sia dotato di anelli preinseriti, insieme al cambio dei pali del magazzino anelli deve essere effettuato anche il cambio degli anelli stessi;
- **Regolazione pinza anelli.** In fase di lavoro della macchina, una pinza scende lungo uno dei pali e, attraverso una fotocellula, legge la posizione del primo anello disponibile e lo preleva. Sopra a questo magazzino vi è un nastro trasportatore sul quale la pinza rilascia gli anelli, i quali vengono portati al lato anteriore della bicchieratrice e lasciati cadere nell'introduttore anelli. In fase di attrezzaggio per cambio diametro, deve essere regolata l'apertura della pinza in base alle dimensioni dell'anello da prelevare.
- **Regolazione altezza del piano di appoggio.** In caso di cambio diametro è necessario regolare l'altezza del piano di appoggio dei tubi. Nel caso di diametro maggiore, per esempio, il piano deve essere abbassato, in modo che il tubo sia sempre centrato con i forni e la zona per la formazione del bicchiere.

Inoltre, durante il setup devono essere svolte delle attività di pulizia, fondamentali per garantire la qualità dei prodotti oltre al corretto funzionamento e mantenimento delle attrezzature e delle macchine: la pulizia del piano di appoggio e la pulizia dei filtri del circuito di raffreddamento.

Inserimento del tubo pilota

Al termine dell'attrezzaggio dell'intera linea viene svolta l'attività di inserimento del tubo pilota. Il tubo pilota è un tubo di lunghezza pari alla distanza tra la testa di estrusione e il traino. Viene utilizzato per agganciare il nuovo materiale in uscita dall'estrusore e portarlo fino al traino stesso, dopo il quale può essere invece sganciato e la produzione proseguire in maniera autonoma. La fase di inserimento del tubo pilota avviene a partire dal fondo della linea, ovvero dalla bicchieratrice, fino alla prima vasca di raffreddamento, in prossimità del calibro.

Partenza della linea

Una volta completato il montaggio di tutte le attrezzature e l'inserimento del tubo pilota, si ha la fase di partenza della linea. Questa inizia con l'avvio dell'estrusore mediante la mescola di fermata. Una volta raggiunta la temperatura ottimale, riconoscibile dalla consistenza del materiale in uscita, la mescola di fermata viene sostituita dalla mescola di produzione. Quando il materiale risulta ben lavorato e uniforme, viene agganciato al tubo pilota e viene avviato il traino. La fase di partenza della linea prosegue fino a quando il tubo pilota non viene sganciato dal tubo prodotto e viene rimosso dalla linea.

Controlli e regolazioni

Dopo la rimozione del tubo pilota può iniziare la fase di regolazione delle macchine:

- ***Regolazione dello spessore.*** Attraverso apposite viti di centraggio sulla testa di estrusione, è possibile regolare la posizione della femmina in modo da avere lo spessore più uniforme possibile lungo tutta la circonferenza del tubo. Una volta regolate manualmente le viti, è necessario attendere che il materiale su cui è stata effettuata la modifica attraversi la linea di produzione fino alla taglierina, dove viene realizzato il campione di lunghezza 1 m per la misura dello spessore. Lo spessore viene misurato manualmente mediante l'utilizzo di un calibro (Figura 5.12).



Figura 5.12 - Misura dello spessore di un campione di tubo mediante il calibro

- **Regolazione dell'ispessimento.** I tubi dedicati al trasporto dei fluidi in pressione prevedono la presenza di un ispessimento nella zona del bicchiere in modo da contrastare la riduzione di spessore che si verifica durante il riscaldamento nei forni e la formazione del bicchiere. Questo ispessimento si ottiene rallentando, per un breve tratto, la velocità del traino di una certa percentuale. La modifica viene effettuata sull'estrusore ed è necessario attendere che il tubo giunga alla taglierina per verificare il corretto posizionamento dell'ispessimento rispetto al taglio del tubo.
- **Regolazione del bicchiere.** Sulla bicchieratrice è necessario impostare le temperature dei due forni, i tempi di riscaldamento in entrambi i forni, il tempo di formazione del bicchiere, il tempo di raffreddamento, la posizione del mandrino e altri dati. Il giusto inserimento di queste caratteristiche permette di ottenere un corretto bicchiere.

Controllo qualità

Una volta ottenuto un tubo conforme in termini di spessore, ispessimento e bicchiere, viene consegnato un campione al reparto qualità. Qui viene effettuata nuovamente la misura dello spessore del tubo, ma vengono inoltre verificati diametro ed eventuale ovalizzazione. Se tutti i parametri risultano nella norma, il setup può essere considerato ufficialmente concluso.

5.2.4 Raccolta dei tempi

La fase preliminare di analisi della situazione iniziale è proseguita con una raccolta dei tempi delle diverse operazioni svolte all'interno delle macrofasi sopra descritte. La collezione dei dati è stata effettuata direttamente nel *gemba*, attraverso la realizzazione di filmati. Si è scelto di utilizzare tale modalità per due motivi:

- Rendere più affidabile la tempificazione delle attività. Si è rivelato necessario filmare il ciclo di attrezzaggio ed analizzare in seguito i due operatori separatamente;
- Riutilizzare i filmati nelle fasi successive dello SMED, insieme a tutto il team di progetto e, in particolare, agli attrezzisti che svolgevano le operazioni.

A causa della bassa frequenza di accadimento del cambio diametro con cambio testa sulla linea 12 e dei tempi limitati di progetto, non è stato possibile effettuare sufficienti osservazioni di tale tipologia di cambio. Tuttavia, sfruttando la sovrapposizione di molte attività con le altre tipologie di cambio, come riportato in Tabella 5.2, è stato possibile raccogliere un numero maggiore di dati, rendendo così affidabili le misurazioni. Complessivamente sono state effettuate dodici osservazioni, per un totale di 75 ore di osservazione e 411 valori raccolti, riportati in Tabella 5.5. Il risultato finale di questa raccolta tempi è stata la definizione di una durata media per ogni operazione in elenco, fondamentale per la successiva schematizzazione del ciclo standard di attrezzaggio che verrà effettuata nella prima fase del progetto SMED (paragrafo 6.2).

Tabella 5.5 - Raccolta dei tempi delle attività di cambio diametro con cambio testa di estrusione

		Set up													
		CD	CD testa	CS + CB + CM	CS	CD testa	CS	CD	CS	CD testa	CD testa	CD testa	CD testa		
		250 SN4 SEWER	225 PN10	250 RED	250 PN16	250 SN16 POWER	225 PN16	225 PN12,5	200 SN16	200 SN4 SEWER	250 RED	200 SN16	250 PN10 SF	250 PN16 SF	200 PN10 SF
		Prodotto precedente	225 PN10	250 PN16	250 SN16 POWER	225 PN16	225 PN12,5	200 SN16	200 SN4 SEWER	250 RED	200 SN16	250 PN10 SF	Prodotto successivo		
		Obs. 1	Obs. 2	Obs. 3	Obs. 4	Obs. 5	Obs. 6	Obs. 7	Obs. 8	Obs. 9	Obs. 10	Obs. 11	Obs. 12		
Macrofase	Attività attualmente IED	00:27:10	00:35:08	00:19:59	00:22:13	00:21:48	00:23:10	00:27:04	00:17:51	00:26:00	00:34:45	00:28:00	00:32:05	Durata media	
FERMATI MACCHINA	FERMATI MACCHINA														
CAMBIO TESTA	Rimozione resistenza femmina (filiera)	00:03:14	00:02:50	00:02:34		00:03:04		00:01:29						00:02:38	
	Allentamento flangia fissaggio femmina (filiera)	00:03:26	00:04:10			00:05:12		00:00:36		00:07:33				00:05:05	
	Smontaggio femmina (filiera)	00:10:40	00:09:30			00:08:26		00:07:11		00:06:26				00:08:27	
	Smontaggio maschio (boccola)	00:05:11		00:03:52	00:06:27		00:08:00	00:03:17	00:03:10	00:03:56	00:04:55	00:05:02	00:04:12	00:04:27	
	Smontaggio portamaschio	00:05:25						00:02:57						00:04:11	
	Rimozione cavi e sonde testa OUT		00:02:13	00:05:33		00:04:01				00:02:03	00:03:35	00:02:50	00:05:30	00:03:41	
	Smontaggio testa OUT		00:15:04	00:16:40		00:09:28				00:11:48	00:07:40	00:07:52	00:07:22	00:10:51	
	Pulizia testa OUT	00:04:18	00:03:54	00:06:46	00:06:10	00:02:44	00:01:47	00:07:44	00:06:07	00:03:11	00:00:50	00:00:40	00:02:02	00:03:51	
	Pulizia estrusore		00:01:22	00:04:42		00:01:22				00:04:17	00:00:30	00:00:40	00:00:00	00:01:50	
	Pulizia pavimento	00:04:54	00:01:15	00:03:49	00:02:22	00:01:15	00:03:49	00:05:39	00:04:32	00:00:35	00:00:30	00:01:02	00:01:25	00:02:36	
	Trasporto testa OUT		00:01:04	00:05:58		00:01:15				00:01:52	00:00:48	00:01:30	00:02:17	00:02:06	
	Prelievo testa IN		00:01:04	00:07:21		00:04:33				00:01:07	00:00:40	00:00:30	00:01:05	00:02:20	
	Montaggio testa IN		00:14:20	00:34:18		00:31:32				00:13:55	00:07:15	00:08:18	00:07:11	00:10:12	
	Collegamento cavi e sonde testa IN		00:08:41	00:16:32		00:14:04				00:09:20	00:06:28	00:08:29	00:03:54	00:09:38	
RISCALDAMENTO TESTA	RISCALDAMENTO TESTA														
		00:43:26	00:51:33			00:55:51				01:00:02	00:54:39	00:48:42	00:46:00	00:51:28	
PULIZIA DEGASAGGIO	Pulizia degasaggio	00:05:44	00:06:56	00:04:44	00:07:30	00:12:15	00:10:46	00:10:33	00:11:48	00:08:13	00:06:40	00:07:40	00:05:45	00:08:13	
CAMBIO CALIBRO	Cambio calibro	00:03:55	00:09:41	00:07:07	00:14:04	00:07:15		00:10:27		00:19:18	00:07:33	00:13:23	00:07:17	00:10:41	
CAMBIO VASCHE	Cambio gomme vasche	00:15:07	00:11:13	00:06:26		00:43:04		00:22:45		00:32:08	00:20:20	00:18:49	00:15:45	00:19:27	
	Cambio mezzelune vasche	00:13:00	00:07:55			00:12:21		00:14:15		00:10:57	00:08:38	00:09:28	00:09:11	00:10:56	
	Regolazione rulli	00:00:19	00:00:36			00:00:18		00:00:41		00:00:34	00:00:22	00:00:27	00:00:38	00:00:28	
PULIZIA E REGOLAZIONE TAGLIERINA	Pulizia e regolazione taglierina	00:09:15	00:06:35	00:07:31	00:06:53	00:06:26	00:02:53	00:04:02	00:01:05	00:07:53	00:08:36	00:05:00	00:06:25	00:06:52	
CAMBIO BICCHERATRICE	Rimozione anelli	00:05:23	00:06:11			00:06:47		00:04:32		00:04:06	00:03:48	00:01:23	00:00:48	00:04:07	
	Cambio palli magazzino anelli	00:05:10	00:02:59			00:06:21		00:05:14		00:05:43	00:05:58	00:06:27	00:06:10	00:05:49	
	Cambio tampone	00:10:21	00:05:36	00:10:51		00:10:22		00:08:01		00:18:20	00:09:06	00:10:10	00:07:54	00:10:05	
	Cambio portale				00:02:17	00:09:59	00:01:15		00:04:13					00:02:35	
	Cambio gomme bicchetratrice	00:10:32	00:07:33	00:07:22		00:05:04		00:03:33		00:08:56	00:06:12	00:04:05	00:03:32	00:06:19	
	Cambio introduttore anelli	00:05:53	00:03:57	00:04:18		00:06:46		00:05:05		00:07:51	00:04:45	00:03:35	00:03:25	00:05:04	
	Regolazione culla anelli	00:01:44	00:01:50			00:01:39		00:01:14		00:01:29	00:01:30	00:01:35	00:01:46	00:01:36	
	Cambio morse bloccatubo	00:08:01	00:06:46			00:08:23		00:04:08		00:06:00	00:03:30	00:04:25	00:04:36	00:05:29	
	Cambio lamiera fori	00:01:43	00:01:10			00:00:51		00:00:59		00:00:26	00:00:31	00:00:40	00:00:35	00:00:52	
	Pulizia filtro interno bicchetratrice	00:05:12	00:02:19	00:01:25		00:02:20		00:03:21		00:04:06	00:04:12	00:03:17	00:02:32	00:03:12	
	Pulizia filtro esterno bicchetratrice	00:01:21	00:05:38	00:01:47		00:02:58		00:03:38		00:04:06	00:02:14	00:01:55	00:01:30	00:02:47	
	Inserimento anelli	00:04:25	00:05:11	00:05:24		00:08:03		00:04:10		00:04:37	00:05:27	00:04:58	00:05:54	00:05:21	
	Regolazione pinza anelli	00:02:45	00:03:18	00:03:33		00:01:04		00:01:30		00:01:58	00:02:01	00:01:10	00:00:43	00:02:00	
	Pulizia bicchetratrice	00:09:04	00:06:46	00:08:13		00:16:37		00:08:52		00:04:30	00:05:34	00:06:20	00:04:41	00:05:59	
	Regolazione pennarello	00:01:57	00:02:10			00:04:48		00:03:05		00:01:23	00:01:32	00:02:01	00:00:53	00:02:14	
PREPARAZIONE MARCATRICE	Impostazione e pulizia marcatrice	00:05:57	00:01:58	00:07:59	00:09:21	00:14:23	00:10:00	00:10:41	00:11:54	00:09:44	00:04:53	00:10:07	00:08:25	00:08:47	
INTRODUZIONE TUBO PILOTA	Introduzione tubo pilota	00:23:32	00:18:54	00:15:25		00:24:53		00:23:53		00:24:54	00:25:32	00:24:21	00:12:30	00:24:43	
AVVIO MACCHINA	AVVIO MACCHINA	00:38:32	00:25:46	00:31:02	00:20:28	00:37:25	00:28:13	00:18:12	00:36:32	00:31:46	00:51:00	00:44:00	00:32:05	00:32:55	
PARTENZA	Avvio linea	00:02:18	00:01:56	00:03:40	00:02:50	00:06:25	00:01:51	00:02:10	00:04:45	00:02:03	00:00:59	00:01:22	00:02:03	00:02:42	
	Attesa rimozione tubo pilota 1	00:13:46		00:19:18		00:22:30		00:07:48		00:15:25	00:14:23	00:19:41	00:07:59	00:16:07	
	Rimozione tubo pilota 1	00:02:05		00:06:32				00:03:36		00:04:21	00:05:46	00:05:55	00:04:19	00:04:46	
	Attesa rimozione tubo pilota 2					00:33:58		00:07:22		00:15:05	00:13:23	00:18:59	00:07:20	00:17:45	
	Rimozione tubo pilota 2					00:02:13		00:05:23		00:03:56	00:04:42	00:06:02	00:05:35	00:04:27	
CONTROLLI E REGOLAZIONI	Controllo spessore, centratura e ingombro	01:13:23	00:59:53	01:32:45	00:45:01	01:18:31	00:44:00	01:03:02	00:48:38	00:46:05	01:13:00	00:50:00	00:42:00	00:59:42	
	Controllo bicchiere	00:50:00	00:25:48	00:31:12	00:21:56	00:34:21	00:45:44	00:30:05	00:33:08	00:17:31	00:53:00	00:15:00	00:22:00	00:31:24	
	Controllo qualità	00:06:04	00:08:41	00:06:55	00:10:45	00:11:06	00:06:23	00:08:35	00:05:31	00:08:22	00:07:28	00:05:59	00:07:36	00:07:48	

Terminata la raccolta dati, si è deciso di proseguire con l'analisi più dettagliata delle attività e dei muda concentrarsi sulla fase di attrezzaggio e tralasciando temporaneamente le fasi di partenza della produzione e regolazione delle macchine. Come si vedrà nel capitolo successivo, queste non saranno poi oggetto di revisioni e miglioramenti con il progetto SMED per due motivazioni: limiti in termini di tempo e limiti in termini di budget. Le fasi di partenza e regolazione delle macchine sono strettamente legata alla velocità di produzione di ogni tubo. Eventuali riduzioni della durata di queste fasi sono ottenibili agendo non tanto sulle persone e sulle sequenze di attività, come nel caso dell'attrezzaggio, ma piuttosto valutando tecnologie che permettano di effettuare la misurazione dei parametri (come spessore e ovalizzazione) in modo più rapido e accurato. Interventi di questo genere richiedono elevati investimenti e lunghe tempistiche per l'acquisto e l'implementazione della tecnologia. Si è quindi deciso di posticipare le attività legate al setup esterno in un secondo momento, concentrandosi invece sulle attività di attrezzaggio in modo da massimizzare le opportunità di miglioramento legate al setup interno.

5.2.5 Individuazione dei muda

Dalle osservazioni sul campo è emerso come l'intero processo fosse permeato di sprechi. In particolare, tra gli otto muda del *lean thinking*, nel caso in esame ne sono state individuate tre tipologie:

- Movimenti superflui;
- Attese;
- Mancato utilizzo della creatività dei dipendenti.

5.2.5.1 Muda legati a movimenti superflui

Dalle osservazioni dirette è apparso subito evidente il livello di disordine e mancata organizzazione con cui lavoravano gli operatori. Spesso durante il fermo macchina si rivelava necessario andare alla ricerca di determinati attrezzi, pulire e riordinare aree della linea, interrompere operazioni o ripetere alcuni passaggi.

Anche la cattiva disposizione dei materiali lungo la linea portava gli operatori a compiere più movimenti e camminate del necessario. Si è quindi deciso di effettuare un'analisi più dettagliata dei movimenti effettuati in modo da valutare quanto del lavoro svolto fosse effettivamente a valore aggiunto e quanto, invece, fosse spreco eliminabile.

Per categorizzare le diverse operazioni è stata utilizzata la distinzione, propria del pensiero snello, tra:

- attività a valore aggiunto, ovvero le vere e proprie operazioni di montaggio;
- attività a semi valore aggiunto, come i movimenti effettuati per il prelievo di attrezzi e chiavi necessari per il montaggio. Queste operazioni non sono a valore aggiunto, ma sono necessarie per realizzare le attività a valore e per questo non sono eliminabili;
- attività a non valore aggiunto, tra cui le attese, le camminate, i tentativi di montaggio, le regolazioni, le misurazioni.

Sulla base di questa distinzione sono state analizzate nel dettaglio le operazioni di montaggio di ogni operatore, ed è emerso come la maggior parte delle attività fosse a non valore aggiunto (Figura 5.13).

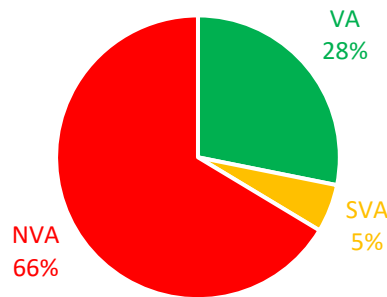


Figura 5.13 - Percentuale di attività a valore aggiunto, a semi valore aggiunto e a non valore aggiunto all'interno delle attività di attrezzaggio

All'interno delle attività a non valore aggiunto, inoltre, è stato importante distinguere tra le diverse cause di spreco, in modo da avere chiare le leve su cui agire e i margini di miglioramento ottenibili. In particolare, sono state individuate cinque sottocategorie di muda:

- **Movimenti.** Qui sono comprese le camminate e i trasporti con il carrello elevatore, ma anche movimenti sul posto come protendersi e piegarsi;
- **Attese.** Si tratta di vere e proprie attese di materiali, persone o, più spesso, macchine;
- **Rilavorazioni.** Questa voce comprende la ripetizione di operazioni e movimenti circolari come, per esempio, la chiusura e apertura di viti e bulloni;
- **Cercare/controllare.** Qui vengono inserite le operazioni di ricerca di attrezzi e materiali;
- **Prelievo.** Fanno parte di questa voce i movimenti superflui legati al prelievo di materiali pesanti o ingombranti, difficili da raggiungere, prendere e riposizionare.

L'obiettivo di questa analisi dettagliata è quello di comprendere quali siano le cause di muda ed eliminarle, fino ad avere una zona di lavoro in cui tutti gli oggetti siano raggiungibili in tre passi e facilmente prelevabili, con posizioni predefinite e riconoscibili mediante colori ed etichette, minimizzando i trasporti e le attese e favorendo il corretto montaggio al primo tentativo.

È stato individuato come la maggior parte delle attività a non valore nella sola fase di attrezzaggio a macchina ferma sia dovute a camminate (42%), rilavorazioni e movimenti ripetitivi (27,6%) e attese (17,6%). I valori di tutte le voci sono riportati in Figura 5.14.

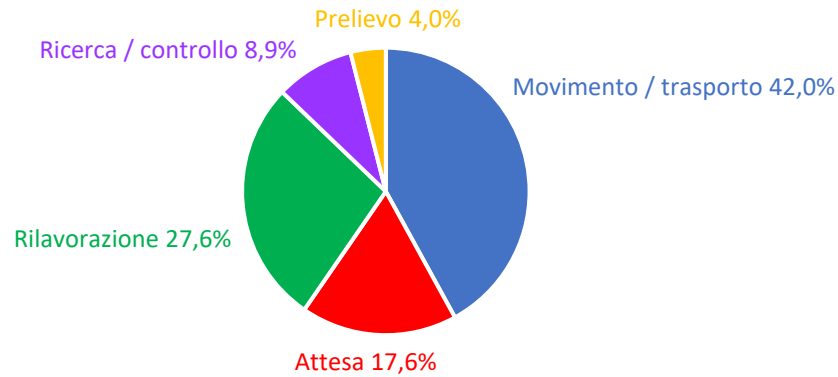


Figura 5.14 - Suddivisione delle attività a non valore aggiunto in un ciclo di attrezzaggio

Nelle spaghetti chart di Figura 5.15 e Figura 5.16 sono rappresentati nel dettaglio i movimenti di due operatori durante la sola fase di attrezzaggio a macchina ferma (escludendo quindi le fasi di preparazione della linea e di partenza della produzione e regolazioni).

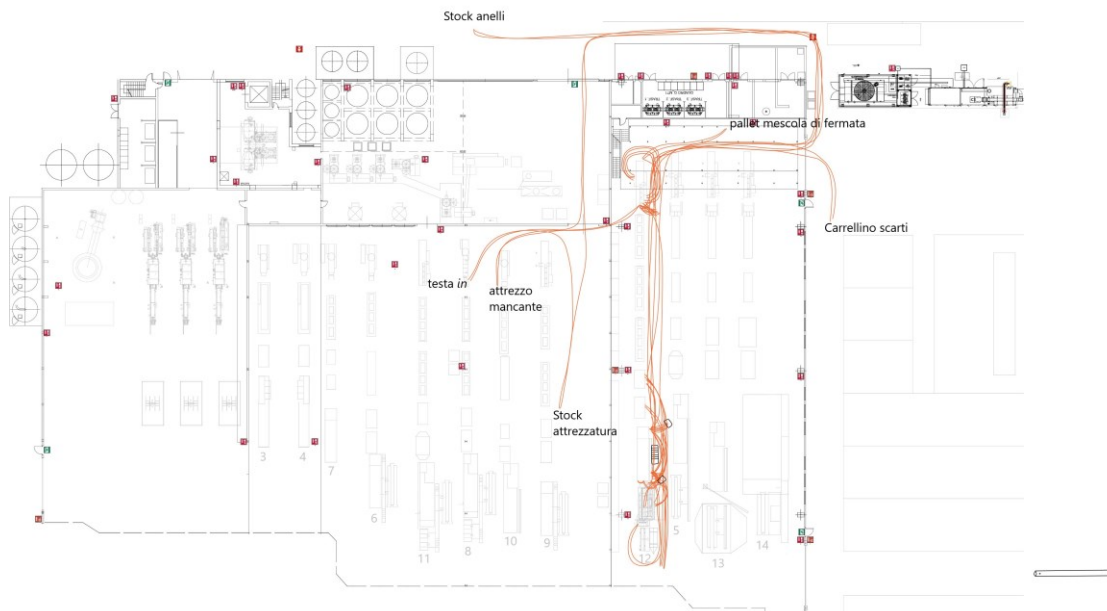


Figura 5.15 - Spaghetti Chart AS IS del primo operatore a macchina ferma

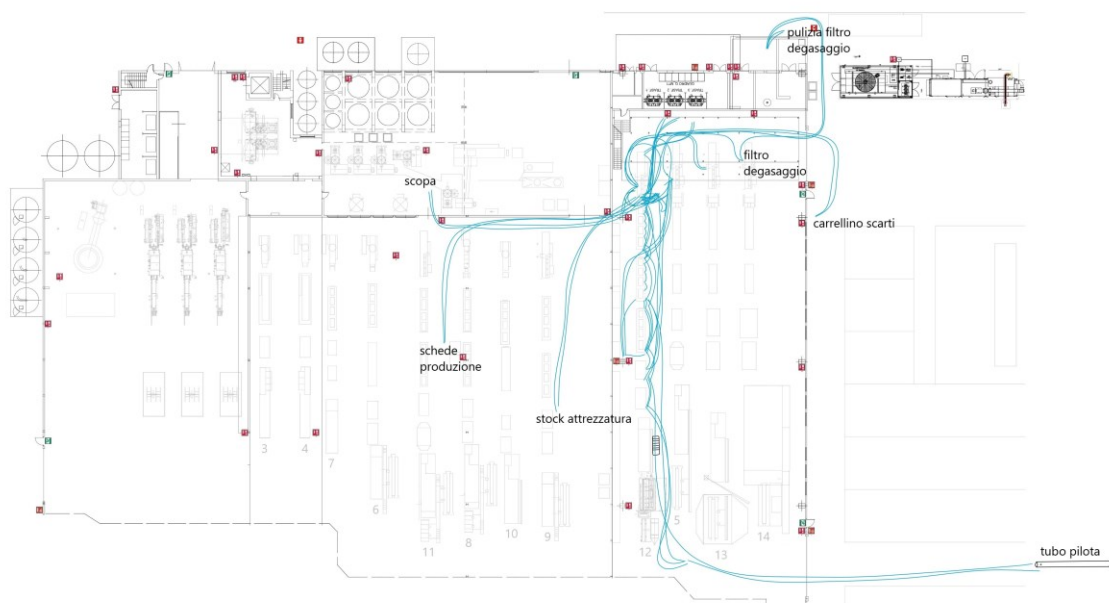


Figura 5.16 - Spaghetti Chart AS IS del secondo operatore a macchina ferma

Innanzitutto, si può osservare come i movimenti all'interno della linea fossero eccessivamente numerosi. Questo era causato da diversi fattori:

- una cattiva disposizione dei carrellini degli attrezzi o dei materiali all'interno dell'area di lavoro;
- una suddivisione dei compiti non chiara e definita, la quale implicava movimenti superflui e attese per capire quali attrezzature fossero già state montate dai colleghi e quale fosse la prossima operazione da effettuare;
- un elevato numero di attrezzi diversi da utilizzare per cambiare le attrezzature.

Nella situazione AS IS, infatti, erano utilizzate complessivamente tredici chiavi diverse per l'apertura e chiusura di viti e bulloni utilizzati per il fissaggio delle attrezzature, posizionate nel carrellino personale degli attrezzi di ogni operatore. Tali carrellini venivano spostati più volte lungo la linea durante il setup, ma spesso erano lasciati in zone scomode rispetto alla posizione di lavoro, richiedendo all'operatore più di qualche passo per raggiungerlo. Considerando che le tredici chiavi venivano usate ripetutamente in diverse zone della linea, come riportato in Tabella 5.6, nella sola fase di fermo macchina l'operatore doveva compiere almeno trenta viaggi di andata e ritorno dal proprio carrellino.

Tabella 5.6 - Elenco delle chiavi utilizzate per l'attrezzaggio della linea 12

	ATTREZZATURA	CHIAVE	MISURA
Testa	Flangia fissaggio femmina	chiave esagonale	19
	Flangia supporto femmina	chiave esagonale	19
	Dadi serraggio all'estrusore	chiave inglese	30
	Resistenze femmina	chiave a T	5
	Maschio	chiave a brugola	22
		chiave esagonale	46
	Regolazione altezza testa	chiave inglese	36
VASCHE	Mezzelune	chiave inglese	19
	Flange vasche 1 e 2	chiave inglese	17
		chiave a brugola	6
	Flange vasca 3	chiave inglese	17
		chiave a brugola	8
	Calibro	chiave inglese	17
		chiave inglese	19
TAGLIERINA	Porticina	chiave a brugola	5
	Regolazione morse	chiave a brugola	6
	Regolazione smusso	chiave inglese	17
	Regolazione altezza braccio	chiave inglese	17
	Regolazione altezza lamiera di appoggio	chiave a brugola	6
BICCHIERATRICE	Tampone	chiave a brugola	10
	Gomme botte	chiave a brugola	8
	Introduttore anelli	chiave a brugola	6
	Morse bloccatubo	chiave a brugola	6
		chiave a brugola	5
	Culla anelli	chiave inglese	19
	Pali magazzino anelli	chiave a brugola	8
	Pinza	chiave inglese	17
	Pennarello	chiave a brugola	6

Ai movimenti sopra descritti si aggiungevano diverse camminate al di fuori della linea 12, in tutto lo stabilimento. Queste erano legate ad una mancata preparazione anticipata di materiali e attrezzi necessari durante il setup: spesso gli operatori erano costretti a interrompere le attività per andare a prelevare attrezzature che per dimenticanza non erano state prelevate, per andare alla ricerca di speciali attrezzi o per pulire e riordinare l'area di lavoro. Inoltre, le frequenti interruzioni delle attività erano causa diretta di numerose ripetizioni (muda di rilavorazione) e di momenti di stallo (muda di attesa). Tra gli elementi da prelevare all'esterno della linea troviamo:

- ***Pallet con i sacchetti predosati di mescola di fermata.*** Nella fase di preparazione della linea prima della fermata della macchina è necessario prelevare dalla zona posteriore alle linee un pallet contenente dei sacchetti di mescola di fermata.

Questo pallet viene posizionato sopra un'apposita tramoggia dell'estrusore con l'aiuto di un carrello elevatore, e i sacchetti vengono così svuotati a mano;

- **Testa di estrusione.** Come anticipato nel 5.2.3, la testa viene messa in preriscaldamento diverse ore prima del fermo macchina. Solitamente viene collegata all'estrusore di una linea più piccola o, quando disponibile, ad una linea ferma. Questo però comporta la necessità di trasportare la testa all'interno dello stabilimento;
- **Tubo pilota.** Il tubo pilota viene stoccato all'esterno in un'apposita zona del magazzino in quanto all'interno non vi è spazio sufficiente per posizionarlo a bordo linea. Questo però richiede all'operatore un trasporto con muletto;
- **Altri attrezzi.** Oltre agli attrezzi presenti nei personali carrellini degli operatori, durante l'attrezzaggio risultano necessari altri utensili quali una scopa per la pulizia del pavimento, pali di acciaio per fare da leva in determinate operazioni di serraggio e aste di ottone per la pulizia interna della matrice;
- **Schede produzione.** Le schede con i dati per la nuova produzione vengono stampate e preparate il giorno precedente su un'apposita zona dedicata ai capireparto. Solitamente queste schede vengono prelevate dagli attrezzisti durante il setup al momento dell'inserimento delle impostazioni nei macchinari.

5.2.5.2 Muda legati alle attese

Un'altra grande percentuale di spreco era legata alle attese, particolare le attese dei tempi macchina come:

- tempo di fermata dell'estrusore;
- tempo di avvio dell'estrusore;
- tempo di attraversamento della linea da parte del tubo pilota;
- tempi di attesa durante la regolazione dello spessore. Come anticipato al Paragrafo 5.2.3, la regolazione dello spessore viene effettuata sulla testa di estrusione. Per poter misurare gli effetti delle modifiche realizzate è necessario attendere che il materiale giunga alla taglierina. Il tempo di attesa dipende dal tipo di prodotto, in quanto ogni prodotto ha una sua velocità di percorrenza della linea;

- tempi di attesa durante la regolazione del bicchiere. Allo stesso modo, anche nel caso di modifiche alle impostazioni della bicchieratrice è necessario attendere un determinato intervallo di tempo per vedere i risultati nel prodotto finale. Tale tempo è pari alla somma dei tempi di riscaldamento nei due forni, del tempo di formazione del bicchiere e del tempo di raffreddamento.

5.2.5.3 *Muda legati al mancato utilizzo della creatività dei dipendenti*

Come anticipato nel Paragrafo 5.1, la situazione iniziale presentava setup molto lunghi e frequenti che, combinati ad altre inefficienze quali ritardi, guasti e prodotti da rilavorare, portavano gli operatori a lavorare sempre di rincorsa. Questa condizione toglieva attenzione e tempo non solo ad altre importanti attività come la preparazione, pulizia e controllo delle attrezzature e degli spazi, ma anche ad occasioni di riflessione individuale o di gruppo. Di conseguenza, la tendenza al cambiamento e al miglioramento dello status quo è stata progressivamente affondata dall'operatività quotidiana. Tuttavia, il mancato utilizzo della creatività dei dipendenti è considerato, in ottica *lean*, un vero e proprio spreco. Come tale, l'obiettivo del management dev'essere proprio invertire la rotta verso la valorizzazione delle capacità e delle idee degli operatori.

5.2.6 Schematizzazione del ciclo di riferimento

Il risultato della fase preliminare di analisi della situazione AS IS è consistito nella creazione di uno schema di riferimento del ciclo di setup selezionato. Nel caso studio in esame, le operazioni di cambio diametro con cambio testa non erano svolte in una precisa sequenza, ma ogni osservazione era differente dalle altre. Inoltre, la durata della fase di partenza e di regolazione era variabile in base alla velocità della linea, differente per ogni prodotto. È stato quindi necessario generalizzare le osservazioni e riportarle ad un ciclo standard di riferimento, rappresentato in Figura 5.17. Si è scelto di escludere dalla schematizzazione le attività di preparazione delle attrezzature e della linea, così come le attività di riposizionamento e pulizia, per separare il campo d'azione delle prime fasi di SMED da quelle successive.

Il ciclo standard di riferimento è stato realizzato su un asse orizzontale in cui ogni slot rappresenta un intervallo di dieci minuti. Sono state ricavate tre fasce dedicate rispettivamente ai tempi della macchina e alle attività dei due operatori: il setup, infatti, veniva svolto da due operatori in parallelo. In rosa sono state rappresentate le fasi della

macchina, ovvero la fase di fermata dell'estrusore, la fase di riscaldamento finale della testa di estrusione, la fase di avvio dell'estrusore e l'avanzamento del tubo pilota lungo la linea. In giallo sono state rappresentate le attività attualmente svolte come setup interno, mentre in verde le attività svolte attualmente come setup esterno. Infine, in azzurro sono stati rappresentati tutti i momenti di attesa degli operatori.

In alto, i segnali triangolari “Stop” e “Start” rappresentano gli istanti in cui l'estrusore inizia ad essere fermato e avviato, e coincidono con l'inizio e la fine del setup interno. Gli altri due segnali rappresentano rispettivamente l'istante in cui si ha l'ultimo taglio del lotto precedente, corrispondente al momento in cui la taglierina può essere fermata, e l'istante in cui si viene realizzato l'ultimo bicchiere del lotto precedente, corrispondente invece al momento in cui la bicchieratrice può essere fermata. La produzione del lotto precedente, quindi, prosegue anche durante la fermata dell'estrusore: il flusso di materiale viene interrotto ma il tubo che era già stato estruso prosegue con il normale ciclo di produzione. A rigore, il setup vero e proprio dovrebbe iniziare in corrispondenza dell'ultimo tubo del lotto precedente e concludersi in corrispondenza del primo tubo conforme del lotto successivo. Tuttavia, si è deciso di prendere come riferimento per lo SMED l'istante di inizio fermata dell'estrusore, il quale può essere fatto coincidere con l'interruzione del flusso di produzione in quanto non viene più estruso nuovo materiale.

Gli istanti di fine taglio e fine bicchieratura sono stati determinati nel caso più pessimistico, ovvero il caso del prodotto più lento: il tubo “250 PN16”, un tubo *BluTech* di diametro 250 mm, spessore $15,60 \pm 0,80$ mm e velocità di 0,84 m/min. Considerando una distanza tra l'uscita dalla testa di estrusione e la lama della taglierina pari a 29,6 m, il tempo necessario per l'ultimo taglio è pari a:

$$t_{ultimo\ taglio} = \frac{distanza_{testa-lama}}{velocità} = \frac{29,6\ m}{0,84\ m/min} = \mathbf{35,24\ min}$$

Allo stesso modo è stato possibile calcolare il tempo necessario per la realizzazione dell'ultimo bicchiere, aggiungendo al tempo necessario per effettuare l'ultimo taglio il tempo per completare il riscaldamento nei forni, la formazione del bicchiere e il raffreddamento:

$$\begin{aligned} t_{ultimo\ bicchiere} &= t_{ultimo\ taglio} + t_{risc.\ forno\ 1} + t_{risc.forno\ 2} + t_{form.} + t_{raff.} \\ &= 35,24\ min + (380\ s + 380\ s + 180\ s + 180\ s)/60 \end{aligned}$$

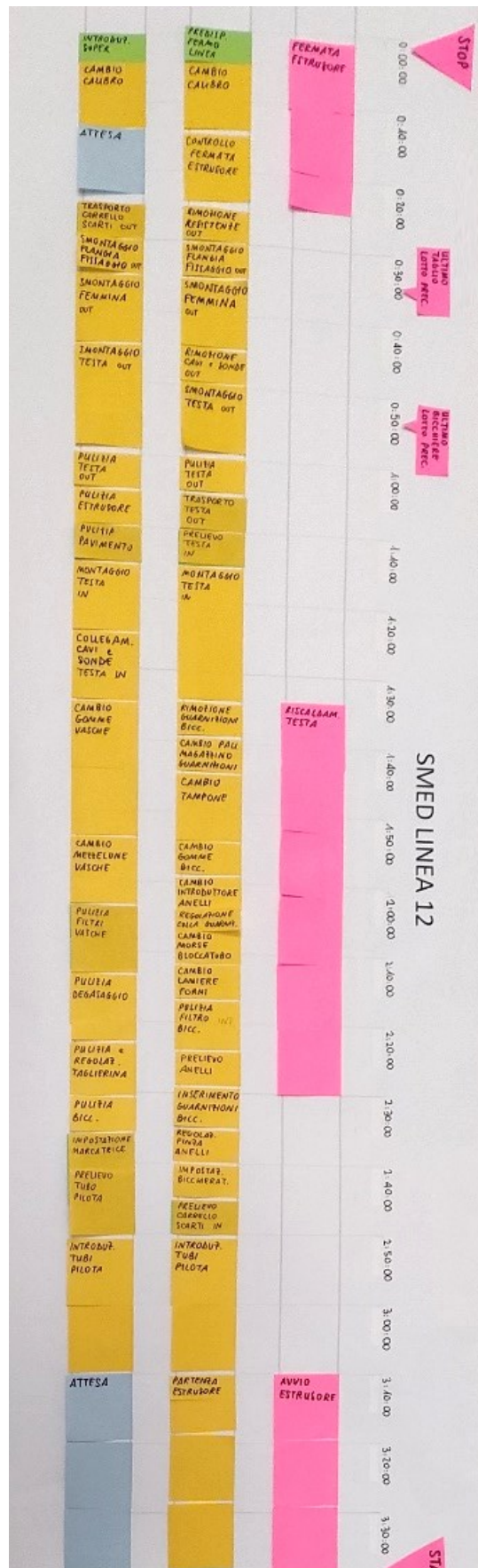
$$= 35,24 \text{ min} + 18,66 \text{ min} = \mathbf{53,90 \text{ min}}$$

Infine, il tempo di attraversamento del tubo pilota è stato ricavato dalle osservazioni dirette, attraverso il calcolo del valore medio:

$$t_{tubo \text{ pilota}} \cong \mathbf{30 \text{ min}}$$

Anche per le attività di regolazione è stato inserito un valore medio ottenuto dalle diverse osservazioni: 1 ora per la regolazione dello spessore e 40 minuti per la regolazione del bicchiere. In base al tipo di prodotto, la durata di tale fase può essere minore o maggiore.

Complessivamente, la durata di un setup è pari a circa 5 ore e 20 minuti, di cui circa 3 ore e 40 minuti di fermo macchina (setup interno) e 1 ora e 40 minuti di partenza e regolazioni (setup esterno).



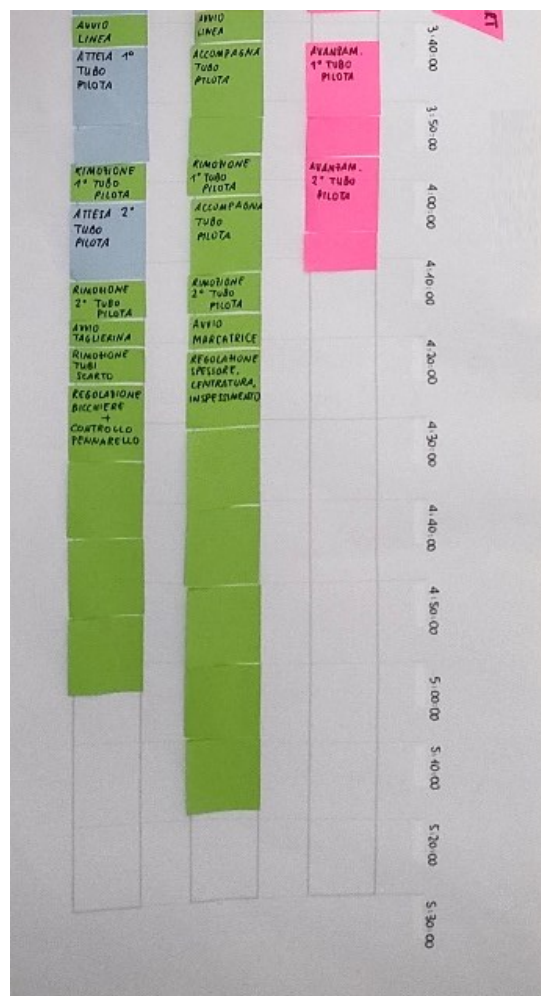


Figura 5.17 - Ciclo standard di riferimento AS IS

Capitolo 5

IL CASO STUDIO DI UNA LINEA DI ESTRUSIONE DI TUBI IN PVC – IMPLEMENTAZIONE DELLO SMED

Il capitolo seguente ha l'obiettivo di illustrare come la metodologia SMED presentata nel secondo capitolo sia stata calata ed implementata nel caso della linea di estrusione di tubi in PVC n° 12 introdotto nel capitolo precedente.

In primo luogo, saranno descritte le attività di miglioramento sulle operazioni di attrezzaggio e sull'organizzazione degli spazi, a partire dalle tempistiche raccolte e dai muda individuati nella fase di analisi. Le tecniche utilizzate in questa fase comprenderanno la separazione tra IED e OED, la preparazione anticipata delle condizioni operative, la parallelizzazione tra più operatori e l'implementazione di checklist.

Successivamente, verranno presentate le attività di miglioramento di attrezzature e strumenti, attraverso l'introduzione di sistemi di fissaggio funzionali e altre modifiche tecniche.

Infine, saranno illustrati alcuni miglioramenti pianificati per il futuro.

6.1 ADATTAMENTO DELLE FASI SMED

Terminata l'analisi preliminare della situazione AS IS, è stato possibile passare alla fase successiva di implementazione dei tre stadi dello SMED. Secondo Shingo, tali stadi non devono essere necessariamente effettuati in maniera sequenziale, ma possono essere portati avanti con successo anche con delle sovrapposizioni (Shingo, 1985). Per questo motivo, nel caso della linea 12, sono stati parzialmente riorganizzati per sfruttare tutte le potenzialità di miglioramento nei brevi tempi di progetto. Gli step seguiti sono schematizzati in Figura 6.1.

Il primo step è consistito in una riorganizzazione delle attività e dei metodi di lavoro con l'obiettivo di ridurre il tempo di setup interno, sfruttando metodi e tecniche presenti in ognuno degli stadi originali di Shigeo Shingo:

- Dallo stadio 1, la separazione tra IED e OED e l'utilizzo di checklist;
- Dallo stadio 2, la conversione di IED in OED attraverso la preparazione anticipata delle condizioni operative e la preparazione anticipata del materiale di ripristino;
- Dallo stadio 3, la parallelizzazione delle attività e la riorganizzazione dell'area di setup.

Il secondo step si è concentrato sulla sola individuazione di sistemi di fissaggio funzionali e miglioramenti tecnici a macchine e attrezzature (originariamente nello stadio 3), con l'obiettivo di ridurre ulteriormente il tempo di setup interno.

Infine, il terzo step è stato dedicato alla riduzione del setup esterno attraverso il miglioramento dell'immagazzinamento delle parti, delle attività di preparazione e pulizia della linea e lo snellimento della fase di regolazione delle macchine. Come anticipato nel Paragrafo 5.2.4, eventuali riduzioni della durata di quest'ultimo step sono ottenibili valutando tecnologie che permettano di effettuare la misurazione dei parametri (come spessore e ovalizzazione) in modo più rapido e accurato, oppure avviando operazioni di re-layout del magazzino-attrezzature nell'ottica di ridurre gli spostamenti e snellire la preparazione della linea. Interventi di questo genere richiedono elevati investimenti e lunghe tempistiche per l'acquisto e l'implementazione della tecnologia. Si è quindi deciso di posticipare le attività legate al setup esterno (terzo step) in un secondo momento, concentrandosi invece sulle attività di attrezzaggio in modo da massimizzare le opportunità di miglioramento legate al setup interno.

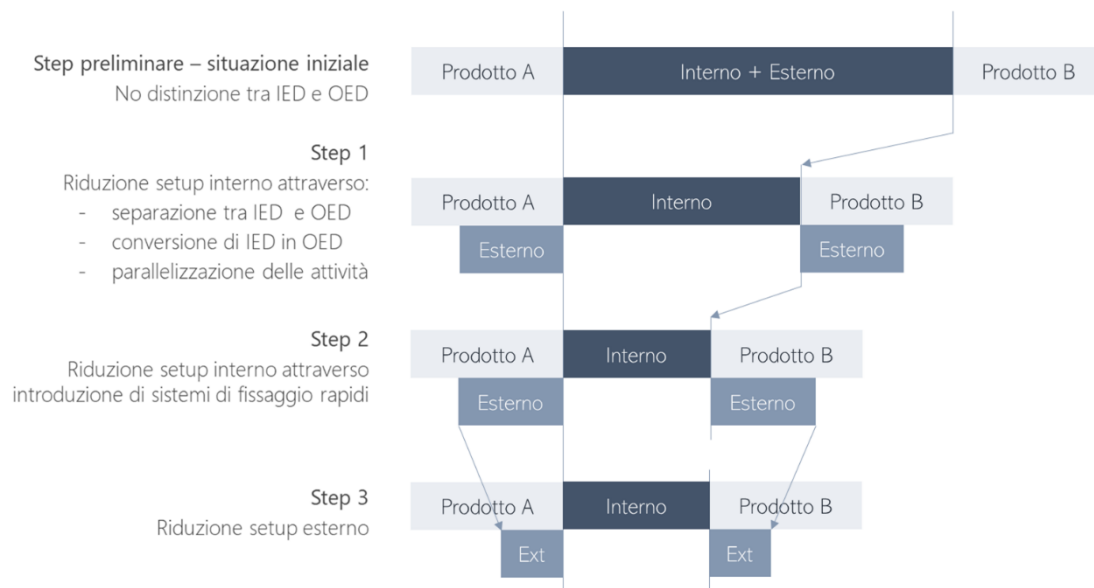


Figura 6.1 - Schematizzazione delle fasi SMED riorganizzate

6.2 STEP 1 - RIORGANIZZAZIONE DEL METODO DI LAVORO

Dallo studio del ciclo standard, schematizzato in Figura 5.17, è apparso subito chiaro come questo fosse caratterizzato da inefficienze, sia dal punto di vista dell'attività della macchina che dal punto di vista delle attività degli operatori.

Osservando il ciclo di lavoro del secondo operatore, infatti, emerge come egli non sia completamente saturo a causa dei momenti di attesa (in colore azzurro). Lo stesso dicasi per la macchina: i tempi rosa sono da considerarsi tempi di lavoro della macchina, incompressibili con le attuali tecnologie, mentre ciò che, al contrario, risulta comprimibile sono gli spazi vuoti tra un'attività della macchina e l'altra. Si tratta di vere e proprie attese della macchina.

A partire da queste osservazioni è stato fissato l'obiettivo per il primo step dello SMED: compattare il più possibile le attività degli operatori in modo da raggiungere la massima saturazione dei tempi macchina e, in altre parole, ridurre il fermo macchina al minimo possibile con le attuali tecnologie.

6.2.1 Separazione tra IED e OED

In primo luogo, è stata effettuata un'analisi critica delle attività svolte come setup interno nel ciclo standard iniziale (Figura 5.17).

Facendo riferimento alla definizione di IED e OED presentate al Paragrafo 3.5, per ogni attività ci si è chiesti se, dal punto di vista puramente tecnico, essa dovesse essere

svolta a macchina ferma o potesse invece essere effettuata durante la produzione. È stato così modificato il ciclo di riferimento, evidenziando in giallo le vere e proprie attività di setup interno e in verde le attività di setup esterno (Figura 6.2), delle quali vengono riportate le più significative:

- trasporto della testa di estrusione smontata (detta testa “out”) alla zona adibita allo stoccaggio delle attrezzature;
- prelievo della testa di estrusione da montare (detta testa “in”) dall’estrusore in cui era stata messa in riscaldamento;
- pulizia del filtro del sistema di degasaggio. Quest’attività può essere anticipata alla fase di preparazione della linea, effettuata il giorno precedente al cambio;
- prelievo degli anelli da montare. Questa attività di trasporto deve essere assolutamente anticipata durante la preparazione della linea, effettuata il giorno precedente al cambio. Si tratta, in altre parole, di effettuare una preparazione anticipata del materiale di ripristino;
- inserimento delle impostazioni nella marcatrice. La marcatrice è una piccola macchina portatile adibita alla stampa, attraverso getto d’inchiostro, delle informazioni relative al lotto di produzione sul tubo. Ad ogni cambio produzione, quindi, è necessario impostare manualmente informazioni come marca, diametro, nome commerciale del tubo, norme di riferimento, numero del lotto eccetera. Quest’attività veniva svolta a macchina ferma, prima di far ripartire l’estrusore, ma può essere effettuata successivamente, durante l’attesa dell’attraversamento della linea da parte del tubo pilota;
- prelievo del tubo pilota. Il tubo pilota, come anticipato nel Paragrafo 5.2.5.1, viene stoccato in una determinata area del magazzino esterno. Dal punto di vista puramente organizzativo, il prelievo del tubo potrebbe essere effettuato prima di fermare la macchina, ma non è possibile anticipare quest’attività durante la fase di preparazione in quanto non vi è sufficiente spazio all’interno per posizionare temporaneamente il tubo pilota. Questa problematica, tuttavia, non è stata affrontata in questo primo step, in quanto si è deciso di eliminare l’utilizzo del tubo pilota a favore di un altro metodo più sicuro e affidabile, presentato al Paragrafo 6.3.4.4.

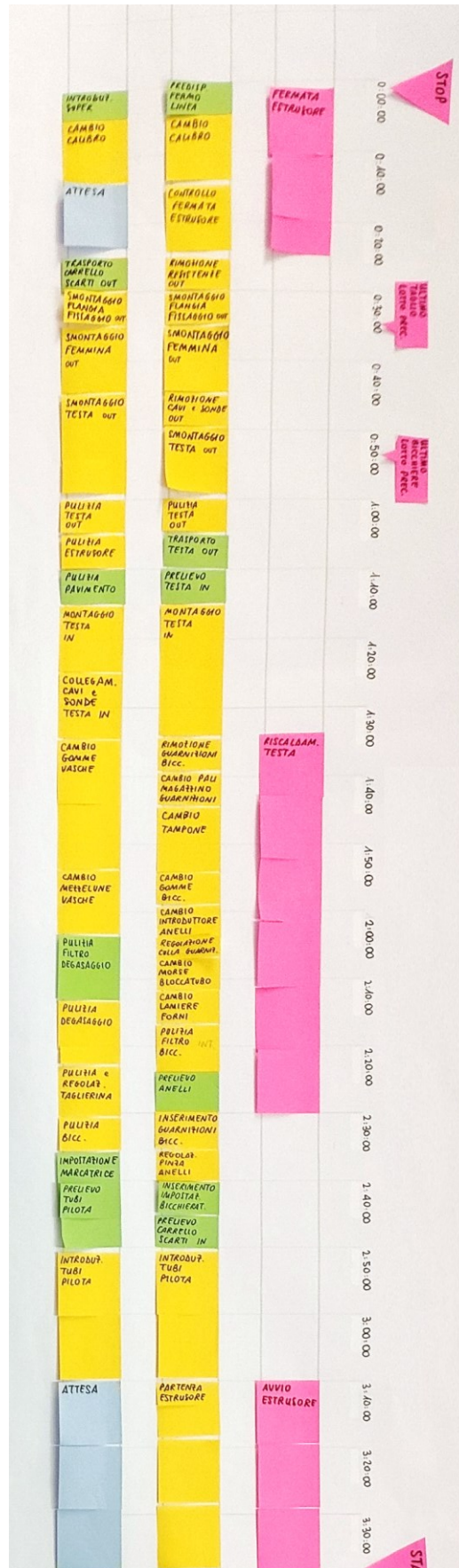




Figura 6.2 - Individuazione di attività di setup esterno nel ciclo di riferimento AS IS

6.2.2 Preparazione anticipata delle condizioni operative

Dalla separazione tra IED e OED è emerso come il prelievo della testa di estrusione in riscaldamento su una delle altre linee di produzione fosse, a rigore, un'attività di setup esterno: la testa di estrusione deve già trovarsi sulla linea 12 al momento del fermo macchina. Questo ha fatto sorgere una seconda domanda: esiste una motivazione tecnica e non organizzativa per cui la testa di estrusione non possa essere messa in riscaldamento sull'estrusore della stessa linea 12? La risposta è stata negativa. La testa di estrusione veniva lasciata in riscaldamento su altre linee per una questione puramente organizzativa: tra le numerose urgenze quotidiane, i manutentori non avevano il tempo di effettuare il controllo del corretto funzionamento delle resistenze, motivo per cui si preferiva lasciare la testa in riscaldamento su linee ferme o più piccole in modo da minimizzare gli scarti in caso di cortocircuito.

Con il progetto SMED è stato messo in discussione lo status quo, e si è deciso di inserire nella procedura di setup il controllo delle resistenze in modo da poter collegare la testa di estrusione direttamente sulla linea 12 per il preriscaldamento, già durante la fase di preparazione delle attrezzature (setup esterno). Questo, inoltre, ha portato ad un cambiamento nella gestione del preriscaldamento della testa, anticipando la fase finale che prevede il passaggio da 150 °C a 185-200 °C, temperatura a regime.

In Figura 6.3 è rappresentato l'effetto della preparazione anticipata delle condizioni operative sul ciclo della macchina: il tempo di fermo macchina può passare da circa 3 ore e 40 minuti a 1 ora e 55 minuti.

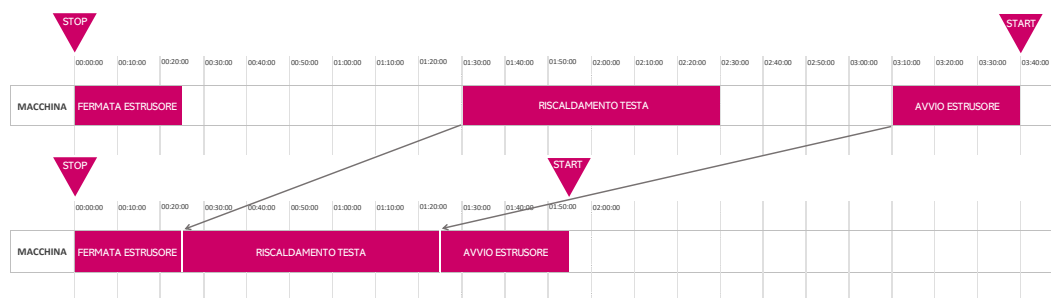


Figura 6.3 - Effetto della preparazione anticipata delle condizioni operative sul ciclo della macchina

6.2.3 Parallelizzazione delle attività

Le sole azioni di separazione tra IED e OED e di preparazione anticipata delle condizioni operative intraprese fino a questo momento non sono state sufficienti per raggiungere la massima saturazione dei tempi macchina. È stata quindi presa in considerazione la possibilità di ridistribuire le attività tra gli operatori in modo da creare una sequenza ottimale che fosse in grado di minimizzare il tempo di fermo macchina.

La ridefinizione del ciclo di attrezzaggio ha portato il team ad approfondire lo studio delle attività, interrogandosi sulle reali motivazioni che portavano gli operatori a svolgerle in determinati momenti. È emerso come vi fosse un intero blocco di attività interne non necessarie per l'avanzamento del setup. Tali attività consistevano nello smontaggio di alcune attrezzature della testa di estrusione rimossa dalla linea, in modo da facilitare la rimozione del materiale e avere la testa già pronta per l'attrezzaggio successivo. Esse vengono elencate di seguito, facendo riferimento al ciclo in Figura 6.2, e rappresentate in Figura 6.4:

- “Rimozione resistenze *out*”;
- “Smontaggio flangia fissaggio *out*”;
- “Smontaggio femmina *out*”;
- “Pulizia testa *out*”.

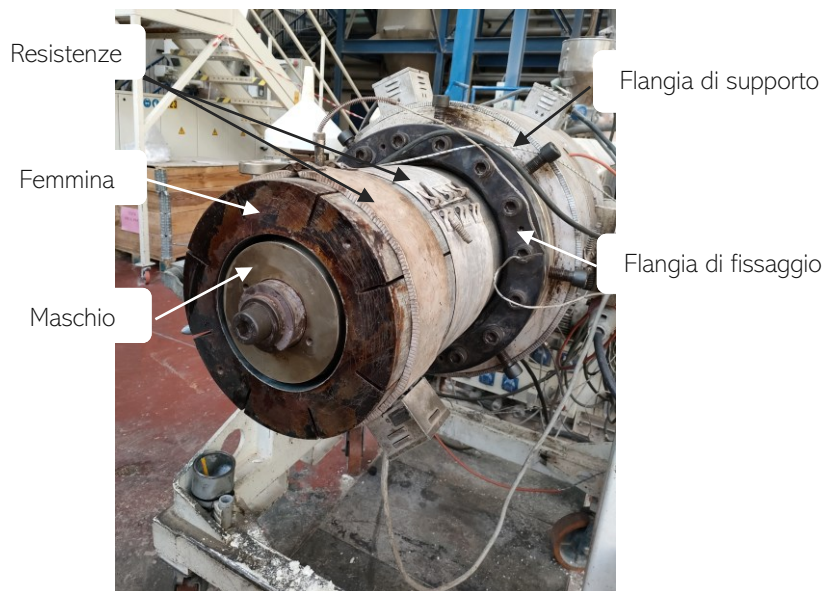


Figura 6.4 - Fotografia del lato anteriore della testa di estrusione

Queste operazioni venivano svolte una volta fermata la macchina, prima di sganciare la testa dall'estrusore. Come anticipato, si trattava di operazioni che non contribuivano al montaggio delle nuove attrezzature sulla linea, per cui l'avanzamento del setup era ritardato di circa 20 minuti. Allo stesso tempo, queste operazioni non potevano essere posticipate e convertite in OED, in quanto dovevano necessariamente essere effettuate a caldo. Infatti, quando il materiale interno alla matrice si trova ancora ad una temperatura elevata, risulta morbido e facile da rimuovere; al contrario, nel caso in cui si lasciasse raffreddare il materiale, questo risulterebbe troppo duro per cui la sua rimozione e lo smontaggio delle attrezzature non risulterebbe realizzabile.

Per queste due motivazioni la soluzione è stata individuata nell'assegnazione delle attività di smontaggio e pulizia della testa rimossa ad un terzo operatore, che lavorasse in un'area esterna alla linea 12, liberando perciò la linea per il montaggio dell'altra testa e permettendo l'avanzamento del setup da parte degli altri due operatori.

Per rendere giustificabile dal punto di vista economico il supporto di un terzo operatore, è stato poi necessario assegnargli anche altre attività in modo da massimizzare la riduzione del tempo di setup. Di conseguenza, il terzo operatore è stato dedicato a tre macrofasi:

- supporto all'operatore 1 nel cambio della testa di estrusione in linea 12;
- smontaggio e pulizia delle attrezzature della testa *out* in un'area apposita;
- supporto all'operatore 1 nell'introduzione del tubo pilota.

Anche le attività degli altri due operatori sono state riorganizzate con l'obiettivo di dedicare ognuno ad una specifica zona della linea e creare così uno schema logico facilmente memorizzabile e ripetibile.

Il primo operatore è stato assegnato all'*upstream* della linea, comprendente tutte le attività di montaggio e smontaggio della testa di estrusione. Una volta completate tali operazioni, l'operatore scende verso il *downstream*, dove svolge delle operazioni di supporto sulla bicchieratrice, e termina con l'introduzione del tubo pilota insieme al terzo operatore.

Il secondo operatore, invece, è stato assegnato al resto della linea (vasche di raffreddamento e taglierina) con particolare focus sul *downstream* (bicchieratrice).

Il ciclo di attrezzaggio così riorganizzato è illustrato in Figura 6.5, nella quale si riporta anche il confronto con il precedente ciclo AS IS. Dall'immagine si nota come i tempi macchina siano stati quasi completamente compattati, arrivando ad un tempo di setup interno pari a 2 ore e 10 minuti.

La fase di partenza e regolazione, invece, non ha subito variazioni in termini di tempo, in quanto appartenente al setup esterno, su cui si concentrerà in futuro il terzo step di SMED.

Un occhio attento potrebbe notare, come nei cicli degli operatori siano rimasti dei momenti di attesa, riconoscibili dal colore azzurro. In realtà, tali attese coincidono con una pausa fisiologica che gli operatori sono abituati a fare a metà mattinata. Si è deciso di mantenerla all'interno del ciclo di attrezzaggio per fornire una regola standard: anziché effettuare la pausa tra la fine dell'attrezzaggio e l'inizio della partenza dell'estrusore, lasciando in attesa tutta la linea, la nuova sequenza propone di effettuare la pausa solo una volta avviato l'estrusore. In tale fase di avvio dell'estrusore, infatti, si genera comunque un'attesa, che in questo modo viene sfruttata in maniera utile dagli operatori.

Chiaramente l'estrusore non può essere lasciato senza supervisione durante l'avvio, motivo per cui è il terzo operatore ad occuparsi del controllo della macchina durante la pausa degli altri due, per poi lasciare loro la linea per l'avvio della produzione e terminare il proprio lavoro di supporto.

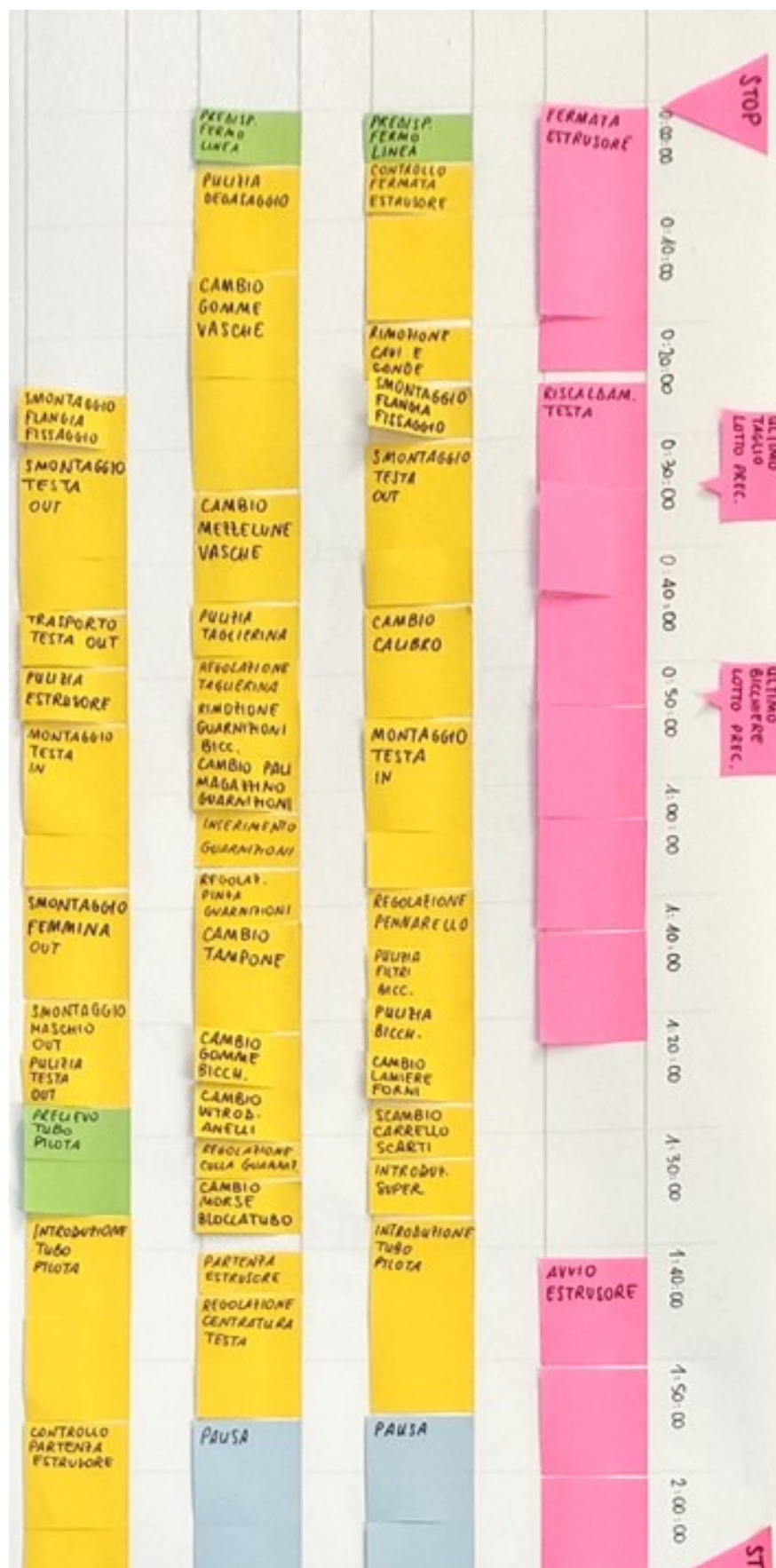




Figura 6.5 - Schematizzazione del nuovo ciclo di attrezzaggio

La suddivisione del lavoro per zone è visibile anche in Figura 6.6, Figura 6.7 e Figura 6.8. Esse illustrano i diagrammi di Gantt delle diverse operazioni svolte da ogni operatore nel nuovo ciclo di attrezzaggio, dove sono stati evidenziati i raggruppamenti in base all'area di lavoro. Tale suddivisione di attività è stata considerata efficace per aiutare gli operatori ad avere uno schema logico chiaro e ripetibile ad ogni setup. Nella situazione iniziale, infatti, le attività erano frammentate, spesso interrotte e riprese successivamente, e gli operatori si spostavano più volte lungo la linea. Nel nuovo ciclo, al contrario, un operatore abbandona una determinata macchina solo una volta terminate tutte le operazioni di attrezzaggio ad essa legate.

I diagrammi di Gantt, inoltre, sono stati utilizzati durante i setup come strumento visuale per aiutare gli operatori a seguire in maniera rigorosa le nuove sequenze operative e per avere un controllo delle tempistiche, confrontando l'orario reale e l'orario target di inizio delle operazioni.

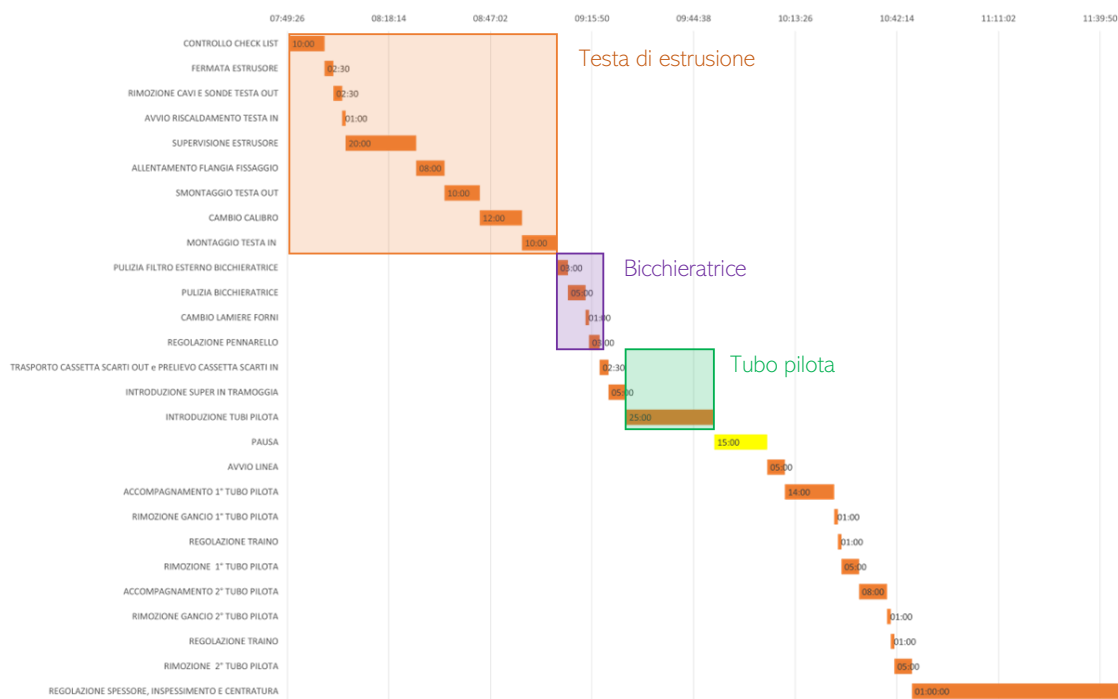


Figura 6.6 - Sequenza di operazioni svolte dal primo operatore

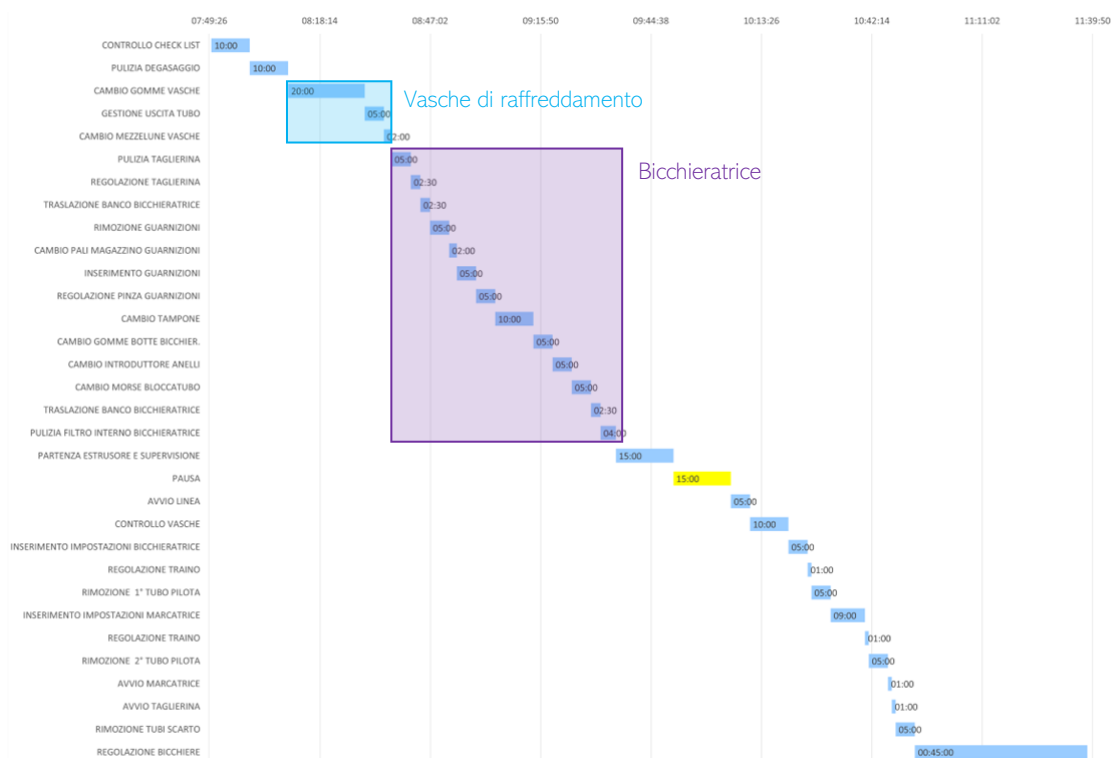


Figura 6.7 - Sequenza di operazioni svolte dal secondo operatore

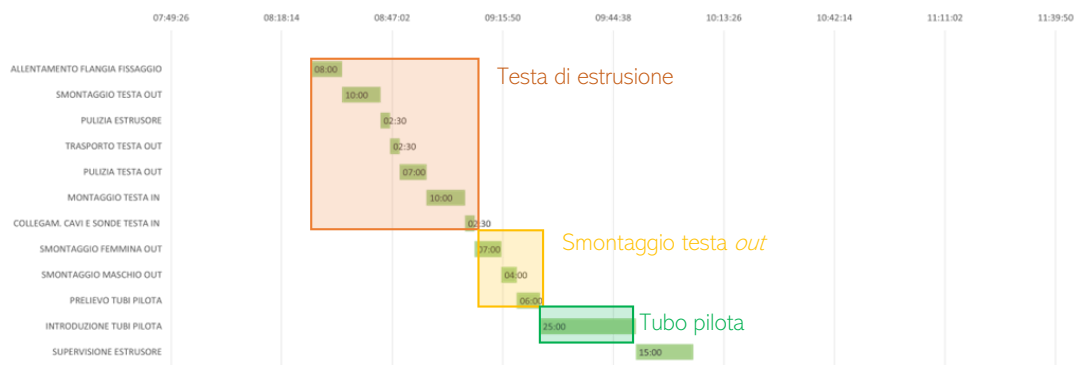


Figura 6.8 - Sequenza di operazioni svolte dal terzo operatore

6.2.4 Utilizzo di checklist

Oltre alla suddivisione dei ruoli per aree di lavoro e alla realizzazione di diagrammi di Gantt per la lettura visiva delle sequenze di attività, sono state introdotte delle checklist per andare a ridurre le dimenticanze e gli errori e per accompagnare l'introduzione di un metodo di lavoro più controllato e standardizzato. In particolare, ne sono state realizzate due tipologie:

- **Checklist per la preparazione della linea.** Questa checklist, riportata in Figura 6.9, ha l'obiettivo di supportare gli operatori nella fase di preparazione delle attrezzature, che viene effettuata generalmente il giorno precedente il setup. Vi è riportato l'elenco di tutte le attrezzature e degli strumenti necessari per un cambio diametro con cambio testa di estrusione e le rispettive posizioni. L'attrezzatura viene così preparata su specifici carrellini dedicati alle diverse macchine, e ogni carrellino ha poi una precisa collocazione lungo la linea, come verrà presentato al Paragrafo 6.2.5.

CAMBIO DIAMETRO con cambio testa	LINEA 12	PRODOTTO	DATA	OPERATORE
CHECKLIST PREPARAZIONE LINEA				
ATTREZZATURA	POSIZIONE		NOTE	
☐ SCHEDE PRODUZIONE	Estrusore			
☐ CARROPONTE <i>in posizione</i>	Zona testa			
☐ SUPER IN TRAMOGGIA				
☐ TESTA <i>IN</i> attrezzata <i>(verificare check resistenze)</i>	Zona estrusore			
☐ CARRELLO TOOL				
○ Pali acciaio				
○ Stecca ottone per pulizia testa				
○ Ganci per partenza				
○ Golfari				
○ Grilli per sollevamento				
○ Corda carroponte				
○ Scopa e paletta				
☐ CARRELLO SCARTI	Zona vasche			
☐ GABBIA SCARTI				
☐ FILTRI DEGASAGGIO x2	Carrello calibro			
☐ CALIBRO <i>(verificare pulizia)</i>	Carrello calibro			
☐ GANCIO A C <i>per sollevamento calibro</i>				
☐ GOMME VASCHE	Carrello vasche			
☐ MEZZELUNE VASCHE				
☐ FILTRI VASCHE PULITI				
☐ MARCATRICE <i>(pulire nel caso di cambio colore)</i>	Zona traino			
☐ PALI MAGAZZINO ANELLI	Zona bicchieratrice			
☐ GOMME BOTTE BICCHIERATRICE	Carrello bicchieratrice			
☐ TAMPONE				
☐ INTRODUTTORE ANELLI				
☐ MORSE BLOCCATUBO				
☐ LAMIERE FORNI				
☐ PALLET ANELLI NUOVI	Zona bicchieratrice			
☐ RIMOZIONE MATERIALE SUPERFLUO DALLA LINEA				

Figura 6.9 - Checklist per la preparazione della linea

- **Checklist per l'avanzamento del setup.** Con la stessa finalità dei diagrammi di Gantt, agli operatori sono state fornite anche delle checklist con l'elenco delle operazioni da portare avanti durante l'attrezzaggio, accompagnate da informazioni su attrezzi da utilizzare, dispositivi di protezione individuali (DPI) e tempistiche. Un esempio è rappresentato in Figura 6.10.

CAMBIO DIAMETRO con cambio testa	LINEA	PRODOTTO	DATA	OPERATORE		
OPERATORE 1						
ATTREZZAGGIO e PARTENZA LINEA						
ATTIVITÀ	ATTREZZATURA IN	TOOL	DPI	ORARIO INIZIO	DURATA PREVISTA	NOTE
☐ CONTROLLO CHECK LIST e prelievo eventuale materiale mancante				07:50:00	10:00	
☐ FERMATA ESTRUSORE		Taglierino	Guanti anticalore	08:00:00	02:30	
☐ RIMOZIONE CAVI E SONDE TESTA OUT			Guanti anticalore	08:02:30	02:30	
☐ AVVIO RISCALDAMENTO TESTA IN				08:05:00	01:00	
☐ SUPERVISIONE ESTRUSORE e rimozione scarti			Guanti anticalore	08:06:00	20:00	
☐ ALLENTAMENTO FLANGIA FISSAGGIO ↓ Parte con OP.3		Chiave esagonale 19	Guanti anticalore	08:26:00	08:00	
☐ SMONTAGGIO TESTA OUT ↓ Insieme a OP.3		Chiave inglese 30	Guanti anticalore	08:34:00	10:00	
☐ CAMBIO CALIBRO	Calibro	Carroponte Gancio a C Chiavi inglese 17 e 19	Caschetto	08:44:00	12:00	
☐ MONTAGGIO TESTA IN ↓ Insieme a OP.3	Testa	Muletto Chiave inglese 30	Guanti anticalore	08:56:00	10:00	
☐ PULIZIA FILTRO ESTERNO BICCHIERATRICE		Pistola pneumatica	Guanti Occhiali	09:06:00	03:00	
☐ PULIZIA BICCHIERATRICE		Pistola pneumatica	Guanti Occhiali	09:09:00	05:00	
☐ CAMBIO LAMIERE FORNI con banco traslato	Lamiere forni		Guanti anticalore	09:14:00	01:00	
☐ REGOLAZIONE PENNARELLO		Chiave brugola 6		09:15:00	03:00	
☐ TRASPORTO CASSETTA SCARTI OUT e PRELIEVO CASSETTA SCARTI IN	Carrello scarti	Muletto		09:18:00	02:30	
☐ INTRODUZIONE SUPER IN TRAMOGGIA		Muletto Scala	Guanti	09:20:30	05:00	
☐ INTRODUZIONE TUBO PILOTA ↓ Insieme a OP.3	Tubi pilota	Carroponte	Guanti Caschetto	09:25:30	25:00	
☐ PAUSA ↓ Lasciare estrusore a OP.3				09:50:30	15:00	
☐ AVVIO LINEA ↓ Insieme a OP.2		Taglierino Gancio	Guanti anticalore	10:05:30	05:00	
☐ ACCOMPAGNAMENTO 1° TUBO PILOTA				10:10:30	14:00 dipende dal prodotto	
☐ RIMOZIONE GANCIO 1° TUBO PILOTA			Guanti	10:24:30	01:00	
☐ REGOLAZIONE TRAINO eventuale				10:25:30	01:00	
☐ RIMOZIONE 1° TUBO PILOTA ↓ Insieme a OP.2		Carroponte	Caschetto Guanti	10:26:30	05:00	
☐ ACCOMPAGNAMENTO 2° TUBO PILOTA				10:31:30	08:00 dipende dal prodotto	
☐ RIMOZIONE GANCIO 2° TUBO PILOTA			Guanti	10:39:30	01:00	
☐ REGOLAZIONE TRAINO eventuale				10:40:30	01:00	
☐ RIMOZIONE 2° TUBO PILOTA ↓ Insieme a OP.2		Carroponte	Caschetto Guanti	10:41:30	05:00	
☐ REGOLAZIONE SPESSORE, INSPESIMENTO E CENTRATURA con controllo qualità		Chiave esagonale 19 Pennarello Micrometro	Guanti anticalore	10:46:30	01:00:00	
				11:46:30		

Figura 6.10 - Checklist per l'avanzamento del setup

6.2.5 Riorganizzazione dell'area di setup

Non solo il metodo di lavoro e la sequenza di attività sono stati soggetti ad una revisione e razionalizzazione; anche l'area di lavoro a bordo linea è stata riorganizzata per facilitare la preparazione delle attrezzature e lo svolgimento delle operazioni di setup. Sono stati realizzati dei carrellini per il trasporto e il posizionamento lungo la linea delle diverse attrezzature. In particolare, il nuovo ciclo di attrezzaggio prevede:

- Un carrellino per il calibro, posizionato a bordo vasca di calibrazione;
- Un carrellino con flange e mezzelune per l'attrezzaggio delle vasche di raffreddamento;
- Un carrellino con l'attrezzatura per la bicchieratrice: tampone, gomme, introduttore anelli, morse bloccatubo e lamiere dei forni.

Questi carrellini sono dotati solitamente di due livelli, per cui permettono anche di riporvi le attrezzature smontate e facilitare poi il trasporto di queste ultime alla zona di stoccaggio per il riposizionamento nelle rispettive casse. Un esempio di carrellino è riportato in Figura 6.11.



Figura 6.11 - Esempio di carrellino per le attrezzature delle vasche di raffreddamento.

In questa foto è presente anche il calibro, al quale è stato dedicato un carrellino a parte in un secondo momento.

Inoltre, a pavimento sono state realizzate delle linee per definire le posizioni delle attrezzature e dei materiali (Figura 6.12):

- Le linee gialle sono state utilizzate per attrezzature, carrellini e materiali legati alle attività di setup;
- Le linee nere sono state usate per materiali e attrezzature fissi, necessari non solo durante il setup ma anche nel normale ciclo di produzione.

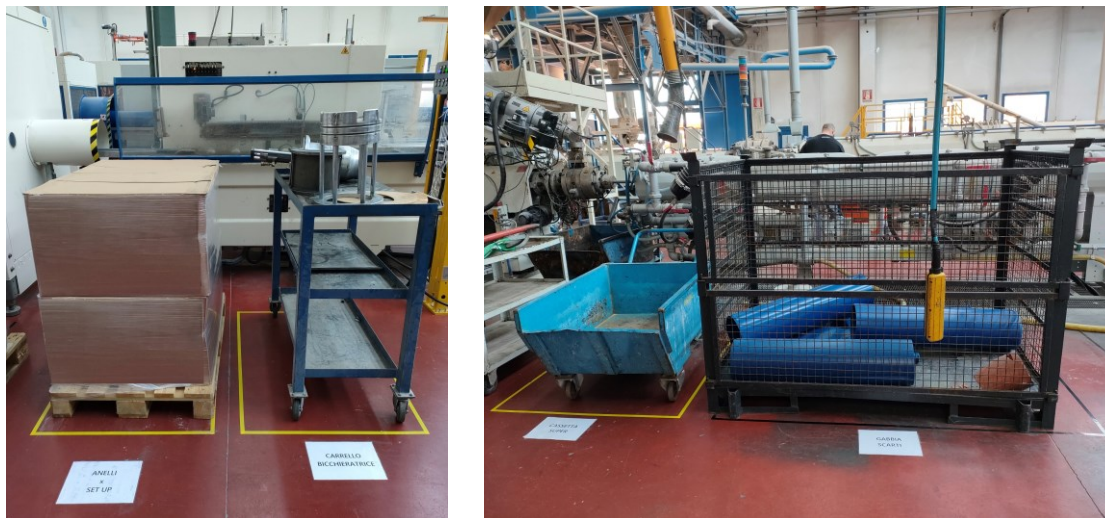


Figura 6.12 - Esempi di linee a pavimento, gialle per il setup e nere per la produzione

Il criterio fondamentale con cui sono state definite le diverse posizioni è consistito nel ridurre il più possibile gli spostamenti degli operatori all'interno della linea. Nella situazione iniziale, spesso i carrellini venivano lasciati in posizioni lontane dall'area di lavoro per evitare che intralciassero durante le attività. Inoltre, non avere delle posizioni fisse per le attrezzature portava spesso a movimenti superflui di ricerca di un attrezzo o di una posizione comoda dove appoggiare il pezzo smontato. Come si può osservare dalle spaghetti chart in Figura 6.13, Figura 6.14 e Figura 6.15, realizzate con la nuova organizzazione dell'area di lavoro e delle sequenze di operazioni:

- i movimenti all'interno della linea sono stati ridotti;
- i movimenti all'esterno della linea sono stati, laddove possibile, eliminati.



Figura 6.13 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 1

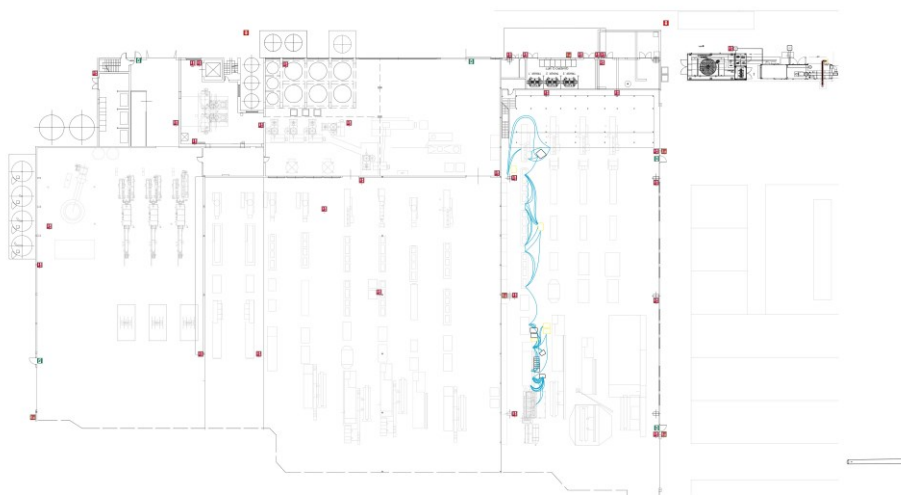


Figura 6.14 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 2

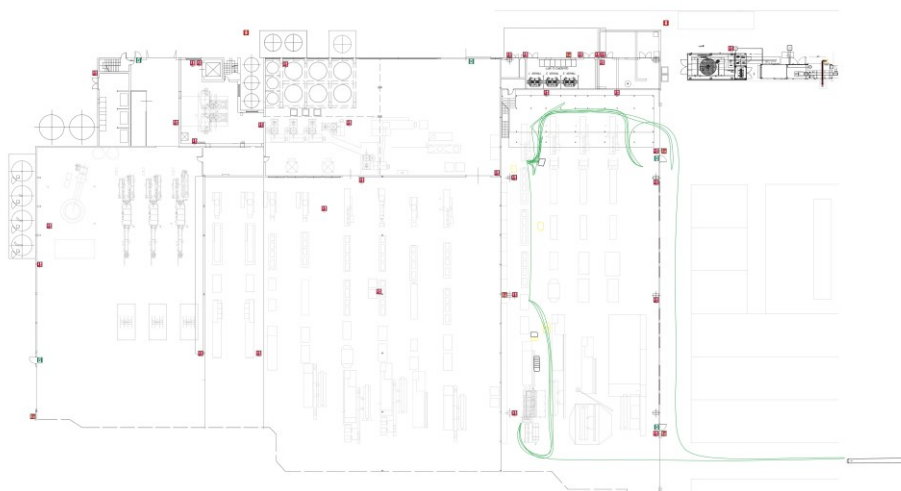


Figura 6.15 - Spaghetti chart delle nuove operazioni di setup interno - operatore 3

Sommando le distanze percorse dai tre operatori nel nuovo ciclo di attrezzaggio, la distanza complessiva coperta a macchina ferma è pari a circa 1,2 km. Ricordando che nella situazione iniziale i due operatori coprivano complessivamente una distanza media di circa 3 km, con la prima fase di SMED i movimenti percorsi dagli operatori sono stati più che dimezzati, con una riduzione percentuale del 60% circa.

6.2.6 Risultati del primo step

L'implementazione del primo step ha visto come risultato una serie di prove sul campo, con l'obiettivo di comprendere se lo schema teorico del nuovo ciclo di attrezzaggio potesse essere validato anche nella realtà. Nel grafico a barre rappresentato in Figura 6.16 è riportata la durata delle due macrofasi di fermata della linea e attrezzaggio (barra blu) e di partenza e regolazione (barra bianca).

Come già anticipato, la macrofase di partenza e regolazione non ha subito variazioni nel metodo di lavoro rispetto alla situazione iniziale, e la variabilità che si osserva nei tempi è legata alla tipologia di prodotto e alla sua velocità di produzione.

Si vuole porre invece l'attenzione sui risultati legati alla macrofase di fermata e attrezzaggio, comprendente attività di setup interno:

- Nella situazione iniziale (a sinistra) la durata di tale macrofase era mediamente di 3 ore e 10 minuti;
- Il target, ricavato dallo schema di riferimento teorico, è pari a 1 ora e 40 minuti;
- Le quattro barre successive riportano i risultati delle prove sul campo.

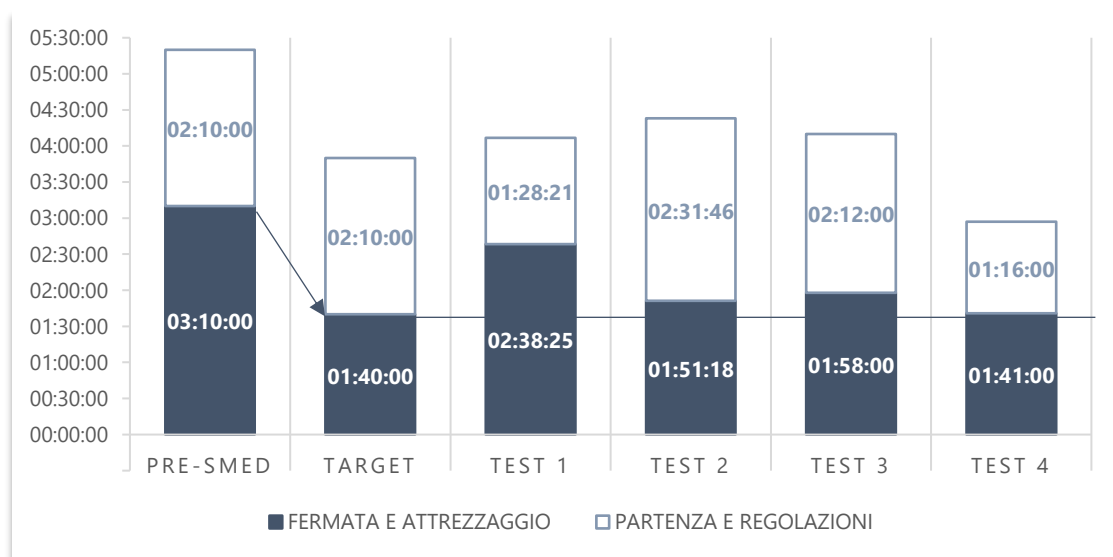


Figura 6.16 - Risultati del primo step

Si può osservare come il primo test abbia avuto un tempo molto lontano dal valore target. Questo è stato dovuto a due principali motivazioni:

- svolgere per la prima volta le operazioni con una sequenza differente da quella a cui si era abituati porta con sé inevitabilmente una velocità di esecuzione più bassa;
- Il ciclo di riferimento era una versione intermedia che presentava delle differenze rispetto a quello di Figura 6.5, preso poi come definitivo. Le attività dei due operatori sulla bicchieratrice erano state pensate in ordine differente, ma questo li portava ad intralciarsi in alcuni momenti, generando attese e disordine mentale.

Presa coscienza delle problematiche riscontrate nel primo test, sono state implementate delle modifiche al ciclo di riferimento ed è stata effettuata una seconda prova sul campo, con un risultato sensibilmente migliore. Si è quindi deciso di congelare il ciclo di riferimento allo schema di Figura 6.5 e ripetere le prove fino al raggiungimento del valore target. I risultati degli ultimi tre test dimostrano proprio questo: un progressivo miglioramento ed assestamento al valore target, fino al suo raggiungimento (test 4). Le ragioni di questo miglioramento possono essere riassunte nei seguenti punti:

- buona riorganizzazione delle attività;
- progressivo apprendimento;
- progressivo cambio di mentalità legato al riconoscimento di attività a valore aggiunto e a non valore aggiunto, e al contemporaneo avvio del secondo step dello SMED.

6.3 STEP 2 – MIGLIORAMENTO DI STRUMENTI E ATTREZZATURE

L'obiettivo del secondo step dello SMED è stato quello di individuare ed introdurre soluzioni che permettessero di snellire le singole operazioni di attrezzaggio, come sistemi di fissaggio più rapidi.

Il metodo più efficace per raccogliere idee è stato quello di coinvolgere coloro che effettuano poi le operazioni, i quali conoscono bene le problematiche quotidiane e possono individuare le migliori opportunità di miglioramento. Il secondo step è stata l'occasione perfetta per dare avvio ad un nuovo percorso: quello di valorizzazione delle idee del singolo, attraverso il coinvolgimento e il lavoro in team. Il secondo obiettivo di questo step è stato quindi quello di eliminare i muda legati al mancato utilizzo della creatività dei dipendenti e andare invece a creare un nuovo valore di spinta alla riflessione, al miglioramento e alla proposta di nuove idee.

6.3.1 Brainstorming

Per stimolare la generazione di idee e la collaborazione si è deciso di organizzare alcune sessioni di brainstorming.

Il brainstorming è una metodologia di ricerca delle idee in gruppo, durante il quale i partecipanti generano idee senza ordine né filtri. La valutazione delle proposte raccolte viene in un secondo momento. Sono quattro le regole fondamentali da rispettare durante un brainstorming (Fitt S.p.A., 2021):

1. ***La quantità viene prima della qualità.*** L'obiettivo è quello di raccogliere una grande quantità di idee, anche se tra queste ve ne sono di insensate o deboli sul piano del contenuto. Anche le proposte percepite come errate sono importanti per stimolare la creatività;
2. ***Nessuna critica, discussione o commento.*** Le proposte non devono essere soggette a giudizio o censura per evitare di disturbare o interrompere il flusso di idee;
3. ***Protocollare correttamente tutte le idee.*** Solo quando vengono riportate tutte le idee, ad esempio con l'aiuto di una lavagna, la sessione di brainstorming riesce ad entrare nella fase di valutazione senza filtri. Se invece alcune idee vengono ignorate si corre il rischio di demotivare i partecipanti.

4. **Pensare trasversalmente e lasciarsi ispirare a vicenda.** Il brainstorming genera molte idee indipendenti le une dalle altre, ma nulla vieta di prendere spunto da una delle idee già raccolte e svilupparne di nuove a partire da questa.

Seguendo queste semplici linee guida, sono state organizzate diverse sedute di brainstorming adottando una tecnica ibrida: una prima fase di scrittura di idee in maniera individuale su dei post-it, e una seconda fase di presentazione e condivisione di queste, facendo nascere così un clima di confronto e di mutua ispirazione di ulteriori nuove idee. Il risultato di una di queste sessioni è riportato in Figura 6.17.

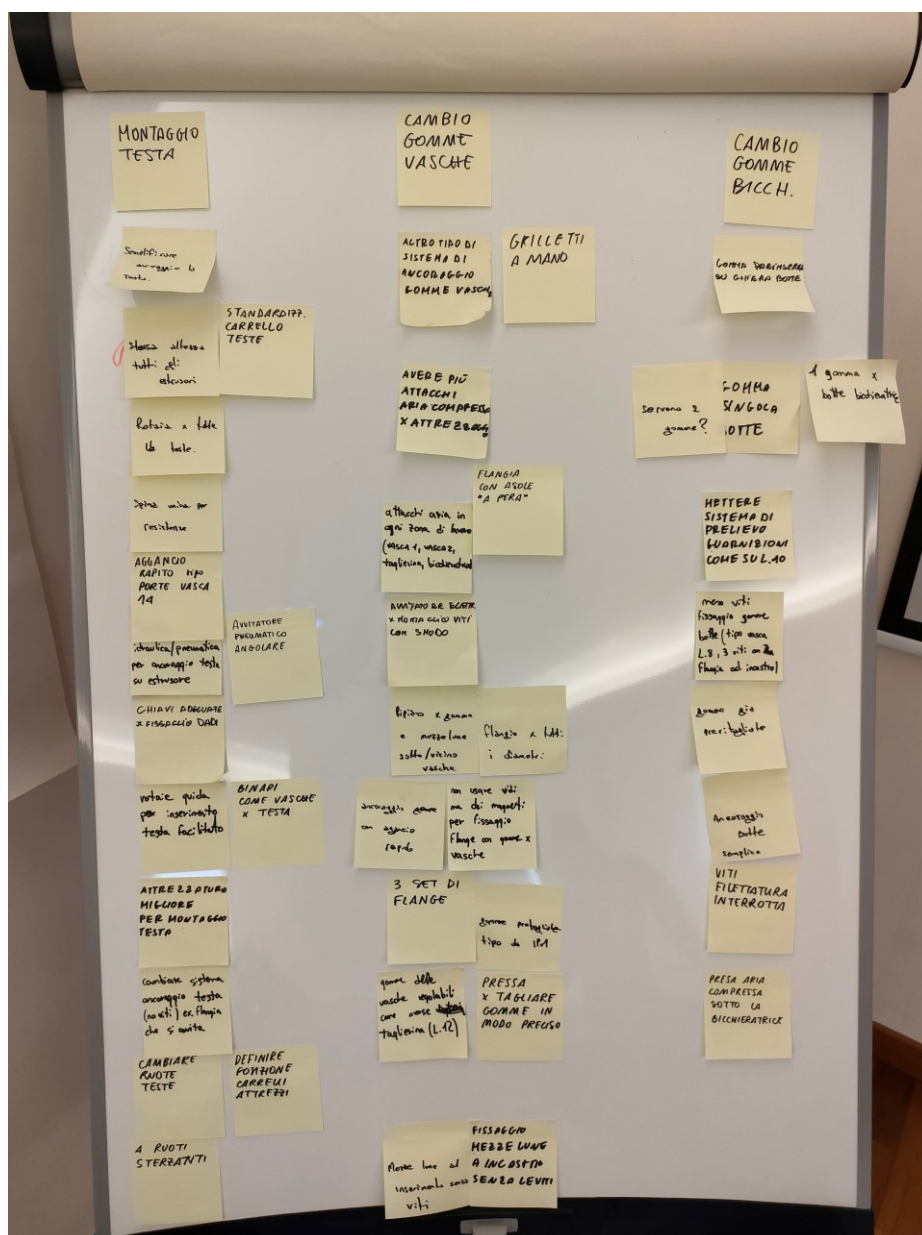


Figura 6.17 - Raccolta su dei post-it delle idee nate da una sessione di brainstorming

Quest'attività ha permesso di avviare un graduale cambio di mentalità delle persone, riscontrabile già durante le sessioni di brainstorming stesse. Al primo incontro, infatti, era prevalente un approccio di tipo reattivo, riscontrabile da proposte del tipo «*Semplificare il metodo di ancoraggio della testa*» oppure «*Diverso ancoraggio delle flange*». Come si può notare, tale approccio sottolinea la presenza di un problema e la necessità di trovare una soluzione, ma non fa quel passo in più verso l'effettiva ricerca di una possibile soluzione. Già a partire dal secondo incontro, l'approccio è sensibilmente cambiato, risultando invece proattivo. Le proposte raccolte sono state concrete e coraggiose, talvolta non realizzabili ma in ogni caso volte alla risoluzione dei problemi come, per esempio, «*Utilizzo di magneti per il fissaggio delle flange*» oppure «*Pali con sede intagliata per inserimento dal lato*». Si è quindi raggiunto un duplice risultato: la raccolta di idee senza vincoli e senza filtri, e l'attivazione delle persone verso il miglioramento e la collaborazione interfunzionale.

Soltanto al termine delle sedute è stata effettuata una valutazione di fattibilità delle proposte, distinguendole tra realizzabili nel breve periodo, realizzabili nel medio-lungo periodo e non realizzabili dal punto di vista tecnico. In Figura 6.18 tali proposte sono state evidenziate con i colori rispettivamente rosso, giallo e verde. Nei prossimi paragrafi verranno presentate le idee che sono effettivamente diventate realtà all'interno del progetto SMED – linea 12.

LINEA 12			
MACROFASI	ATTIVITÀ	IDEE RACCOLTE	
FERMOMACCHINA	Fermomacchina con super	tramoggia per introduzione della super	y
CAMBIO TESTA	Rimozione cavi e sonde testa <i>OUT</i> & collegamento cavi e sonde <i>IN</i>	dotazione di sonde per ogni testa	v
		standardizzazione sonde	v
		supporto cavi e sonde	y
		numerazione/colorazione cavi e sonde	v
		colore zone su estrusore (testa <i>in/out</i>)	y
		fascette per avvolgere sonde troppo lunghe	v
	Smontaggio testa <i>OUT</i> & montaggio testa <i>IN</i>	chiavi dinamometriche	v
		modifica ancoraggio testa	y
		flangia che si avvita	x
		aggancio rapido come porte vasca linea 14	x
		stessa altezza per tutti gli estrusori	y
		rotaie guida per inserimento testa	x
		pavimento liscio	y
		standardizzazione carrelli teste	x
	Pulizia estrusore	contenitore scarti da pulizia	v
PULIZIA DEGASAGGIO		uplicazione tubi di aspirazione	y
CAMBIO VASCHE	Cambio gomme vasche	set di flange per ogni diametro	y
		magneti per il fissaggio rapido	x
		avvitatore elettrico con snodo	y
		flange con asole "a pera"	v
		gomme pretagliate dai fornitori/presa in casa	x
		attacchi aria compressa sotto vasche	v
		ripiani/carrellino per stock attrezzatura vasche	v
	Cambio mezzelune vasche	mezzelune regolabili con manovella	x
		mezzelune ad incastro	v
CAMBIO BICCHIERATRICE	Cambio tampone	banco girevole per scambio dei tamponi	v
		4 o 3 ruote sterzanti anziché 2	v
		paranco più lungo e snodabile	x
		sistema di sollevamento del tampone (culla con golfare, pinza, sella di supporto)	x
		spina di centraggio	x
	Cambio gomme bicchieratrice	creazione set di flange con gomme già montate	x
		uplicazione ghiera → montaggio gomma in esterna	x
		riduzione numero di viti	x
		sistemi di fissaggio rapidi	y
		presa aria compressa sotto la bicchieratrice	v
		gomme pretagliate dai fornitori/presa in casa	x
		pressa per tagliare gomme in modo preciso	x
	Cambio introduttore anelli	inserimento 1 sola gomma anziché 2	x
		sistemi di fissaggio rapidi	x
		fissaggio viti dall'interno	x
	Cambio morse bloccatubo	prigionieri prefissati sul cesto	x
		sistemi di fissaggio rapidi	x
	Cambio pali magazzino anelli	pali con sede intagliata per inserimento laterale	v
		pali autoregolabili come linea 14	x
		eliminazione viti fissaggio dei pali (incastro)	x
	Svuotamento magazzino anelli	magazzino estraibile	x
		coinvolgimento capituono: da una certa ora caricare guarnizioni su un solo palo e non su 4	y
	Regolazione pinza anelli	definire posizioni fisse per i diversi diametri	v
	Regolazione piano di appoggio tubi	automatizzare traslazione banco	v
	Pulizia filtro interno bicchieratrice	uplicazione filtri bicchieratrice	y
RISCALDAMENTO TESTA		forno per riscaldamento	x
		resistenza interna	y
TUBO PILOTA	Introduzione tubo pilota		
	Avvio linea e rimozione tubi pilota	argano	y
CONTROLLI E REGOLAZIONI	Controllo spessore e centratura e inspessimento	schede per regolazione spessore	x
		indicazioni sulle viti per regolazione spessore	x
		creare relazione tra giri vite e variazione spessore	x
	Controllo bicchiere	schede macchina aggiornate	y
ALTRO		carrelli con tool per montaggio	v
		etichette sull'attrezzatura per chiarire quale tool usare	y
		standardizzazione chiavi e tool	y
		telecomando da remoto per carroponte	v

Figura 6.18 - Valutazione di fattibilità delle idee raccolte dalle sedute di brainstorming

6.3.2 Sistemi di fissaggio funzionali

Di seguito saranno presentati alcuni esempi concreti di sistemi di fissaggio funzionali introdotti sulla linea 12. L'obiettivo è quello rendere più semplici e rapide le operazioni di smontaggio e montaggio delle attrezzature eliminando, per esempio, la necessità di avvitare e svitare viti e bulloni per numerosi giri.

6.3.2.1 Mezzelune ad incastro

Le mezzelune di supporto per il tubo si trovano, nella linea 12, all'interno della prima e della seconda vasca di raffreddamento.

Nella situazione iniziale il cambio di tale attrezzatura era un'attività molto semplice che però richiedeva un tempo piuttosto lungo, circa 11 minuti. Complessivamente, infatti, era necessario smontare nove mezzelune effettuando, per ognuna, l'allentamento dei tre dadi di serraggio e la rotazione delle tre asole (visibili in Figura 5.4), e ripetere poi l'operazione inversa per il montaggio. Si tratta di movimenti a non valore aggiunto, e per questo si è deciso di eliminarli introducendo un sistema di serraggio rapido.

Tale sistema consiste in un semplice montaggio ad incastro, realizzato attraverso l'aggiunta di uno spessore tra l'asola e la mezzaluna (Figura 6.19). In questo modo tutto il sistema rimane fisso e la mezzaluna può essere facilmente inserita e sfilata senza movimenti aggiuntivi.

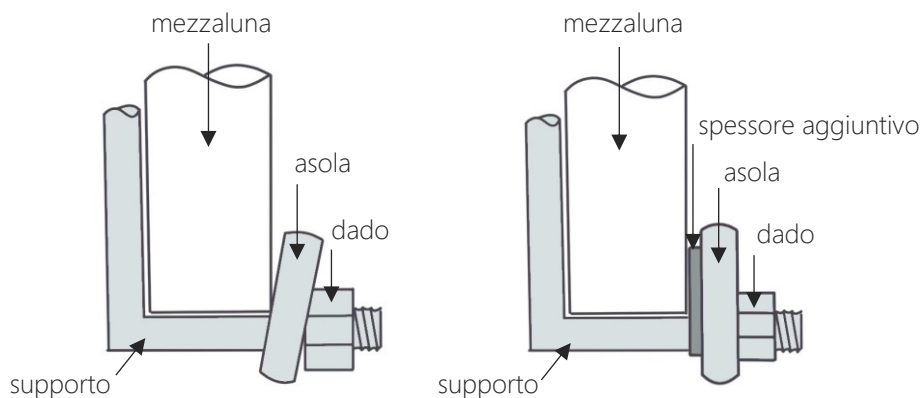


Figura 6.19 - Rappresentazione schematica del sistema di serraggio delle mezzelune prima (a sinistra) e dopo (a destra)

L'introduzione di questo sistema di fissaggio rapido ha permesso così di portare la durata complessiva dell'operazione a circa 2 minuti, con una riduzione complessiva dell'82%.

6.3.2.2 Flange con asole a pera

Anche l'attività di cambio delle gomme delle vasche di raffreddamento era molto lunga e caratterizzata da numerosi sprechi. Innanzitutto, vi erano due differenti modalità per effettuare la sostituzione delle gomme (in riferimento a Figura 5.5):

- Cambio della flangia esterna. In questo caso le gomme rimanevano montate sulla flangia esterna, la quale veniva smontata e sostituita con una seconda flangia con le apposite gomme già montate. L'operazione richiedeva di svitare gli otto dadi di serraggio della flangia esterna, effettuare lo scambio e riavvitare i dadi;
- Cambio delle gomme. In questo caso la flangia esterna rimaneva montata sulla vasca, mentre veniva rimossa la flangia interna e venivano sostituite le gomme. L'operazione richiedeva di svitare le sei viti di serraggio della flangia interna, effettuare lo scambio delle gomme e riavvitare le viti.

A fare da discriminante per la scelta della modalità di cambio era proprio il diametro, in quanto erano presenti soltanto due set di flange esterne:

- Un set dedicato al diametro 250 mm;
- Un set condiviso dai diametri 200 mm e 225 mm.

Nel caso di passaggio da un set all'altro si effettuava il cambio dell'intera flangia esterna, mentre nel caso di passaggio all'interno dello stesso set (quindi tra i diametri 200 mm e 225 mm) si effettuava il cambio delle gomme.

In un'ottica di standardizzazione ed efficientamento si è scelto di:

- avviare la realizzazione di un terzo set di flange, in modo da eliminare le operazioni di cambio delle gomme e mantenere un'unica modalità di lavoro;
- realizzare un sistema di fissaggio rapido, che elimini la necessità di svitare e avvitare gli otto dadi di serraggio.

Il nuovo sistema è consistito nella realizzazione di asole a pera (Figura 6.20). In questo modo, è sufficiente allentare con un giro i dadi di serraggio, ruotare la flangia in modo che la parte larga dell'asola vada in corrispondenza dei dadi e semplicemente sfilare. Lo stesso dicasi per il montaggio.

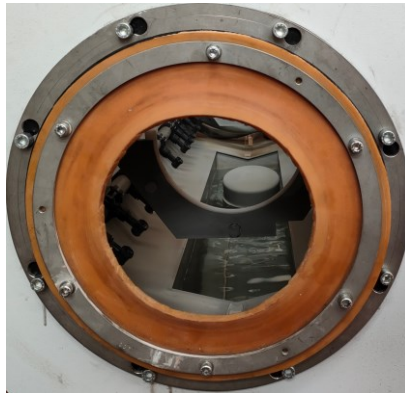


Figura 6.20 - Flangia con asole a pera.
In figura le viti sono posizionate nella zona di fissaggio, mentre la zona di inserimento/estrazione è libera.

L'introduzione di questa nuova modalità di montaggio ha permesso così di ridurre la durata complessiva dell'operazione da 20 minuti a 6 minuti circa (1 minuto per flangia), con una riduzione complessiva del 70%.

6.3.2.3 Pali con base intagliata

Nell'area posteriore della bicchieratrice sono presenti quattro pali che fungono da magazzino per gli anelli da inserire nei bicchieri dei tubi durante la produzione, già presentati in Figura 5.11. Il diametro di questi pali è legato al diametro degli anelli che vi devono essere inseriti, i quali a loro volta dipendono dal diametro del tubo che si deve andare a produrre. Ne consegue che, nel caso di cambio del diametro, tali attrezzature devono essere rimosse e sostituite con quelle della dimensione corretta.

L'operazione di smontaggio di un palo prevedeva la rimozione di una vite di fissaggio posizionata sulla superficie superiore e il successivo sfilamento del palo dalla spina centrale, costringendo l'operatore a svolgere un sollevamento al di sopra dell'altezza delle spalle, non ottimale dal punto di vista ergonomico. Era necessario svolgere quest'operazione per ognuno dei quattro pali e ripeterla in maniera inversa per il montaggio, per un totale di otto ripetizioni. Inoltre, lo sfilamento dall'alto poteva essere effettuato in una sola posizione e questo costringeva l'operatore ad avviare una rotazione del magazzino per ogni palo, in modo da portarlo nella zona di estrazione (Figura 6.21).

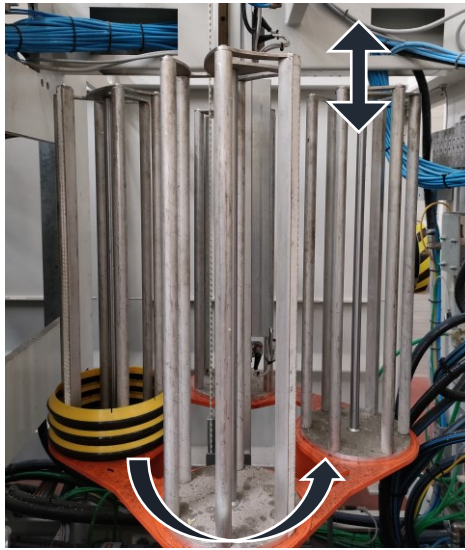


Figura 6.21 - Rappresentazione dei movimenti effettuati per il cambio di ogni palo

È stato quindi realizzato un intaglio nella base inferiore del palo in modo da permettere l'inserimento dal lato anziché dall'alto, eliminando così la necessità di ruotare il magazzino ad ogni cambio palo (Figura 6.22). In seguito alla validazione tecnica è stato organizzato un incontro con il Servizio Prevenzione e Protezione di FITT nel corso del quale si è valutato l'impatto di tale miglioria in termini di benefici per la salute. La valutazione del rischio sulla movimentazione manuale dei carichi (MMC) in FITT viene eseguita secondo il modello suggerito dalla norma UNI ISO 11228-1 e dalla ISO/TR 12295, in linea con il metodo NIOSH, per il quale il risultato della valutazione è un indice ottenuto da un'equazione che considera una serie di variabili numeriche. Nel caso specifico del sotto-compito (sub-task) collegato all'attività di inserimento pali si è visto che l'aver eliminato la dislocazione del carico sopra l'altezza delle spalle permette di soddisfare tutte le condizioni di accettabilità e quindi di abbattere notevolmente il livello di esposizione al rischio della mansione attrezzista tubo rigido.

Con tale modifica, quindi, sono stati ottenuti due vantaggi:

- Miglioramento dell'ergonomia grazie all'eliminazione dei sollevamenti al di sopra dell'altezza delle spalle;
- Riduzione della durata dell'attività, grazie all'eliminazione delle attese legate alla rotazione del magazzino.

Complessivamente l'attività di cambio dei pali del magazzino anelli è passata da una durata iniziale di circa 6 minuti ad una durata finale di circa 3 minuti, con una riduzione del 50%.

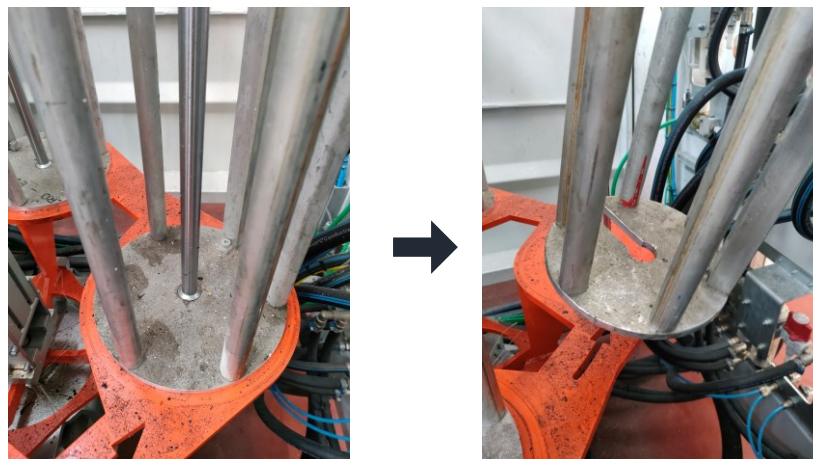


Figura 6.22 - Base dei pali del magazzino anelli prima (a sinistra) e dopo (a destra) la realizzazione dell'intaglio

6.3.2.4 Serraggio rapido della testa di estrusione

Inizialmente, il montaggio della testa sull'estrusore veniva effettuato attraverso l'inserimento di otto prigionieri nell'apposita ghiera forata e il successivo fissaggio attraverso dei dadi (Figura 6.23). Quest'ultima operazione aveva una durata di 6,3 minuti: ogni dado veniva avvicinato alla ghiera attraverso numerosi giri, effettuati mediante una chiave inglese.

Per snellire l'operazione si è optato per una soluzione che permetta di non svitare i dadi ma semplicemente allentarli attraverso un solo giro di chiave. Questo è possibile replicando il concetto delle asole a pera visto nel Paragrafo 6.3.2.2: i prigionieri possono essere modificati ricavando all'estremità una base semicircolare più larga. Al momento dello smontaggio, il prigioniero può essere ruotato di mezzo giro in modo che la base semicircolare possa essere sfilata attraverso la parte larga dell'asola a pera.

Tale soluzione era già presente su una testa di estrusione della linea 13 (riportata a destra in Figura 6.23). Sulla linea 12 la modifica dovrà essere effettuata dai fornitori della testa di estrusione.

È stata fatta una previsione della riduzione di tempo ottenibile con tale modifica, pari a circa 6 minuti per il montaggio e 6 minuti per lo smontaggio, portando così il tempo complessivo di 18 minuti a circa 6 minuti, con una riduzione complessiva del 67%.

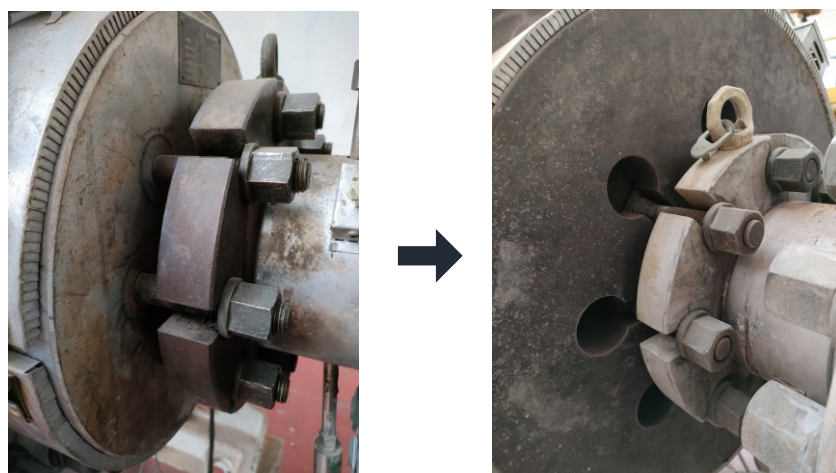


Figura 6.23 - Metodo di fissaggio della testa all'estrusore AS IS (a sinistra) e TO BE (a destra)

6.3.3 Altri miglioramenti tecnici

In aggiunta all'inserimento di veri e propri sistemi di fissaggio funzionali, ulteriori miglioramenti tecnici per lo snellimento delle attività di setup interno.

6.3.3.1 Supporto per cavi e sonde

Ognuna delle resistenze che permettono il riscaldamento della testa di estrusione è dotata di un cavo per il passaggio della corrente elettrica e di una sonda per la rilevazione della temperatura. Le teste di estrusione della linea 12 sono dotate di sei resistenze, da cui giungono complessivamente dodici cavi e sonde che vanno a collegarsi al quadro elettrico dell'estrusore. Tali cavi hanno una lunghezza standard, in modo da garantire intercambiabilità tra le diverse linee.

Inizialmente, quando la testa di estrusione veniva trasportata, cavi e sonde erano avvolti e appesi sulla vite del sistema di regolazione della testa (Figura 6.24). Al momento del montaggio della testa all'estrusore, i cavi e le sonde dovevano quindi essere svolti e districati, comportando una notevole perdita di tempo. Una volta distinti i vari cavi e le varie sonde, l'operatore andava alla ricerca della resistenza di origine di ognuno in modo da collegarli correttamente al quadro elettrico, seguendo l'ordine delle resistenze. Infine, per ridurre la lunghezza dei cavi, questi venivano nuovamente avvolti e appesi ad un apposito gancio posizionato sull'estrusore (Figura 6.24), richiedendo un'ulteriore operazione di svolgimento dei cavi al momento dello smontaggio.

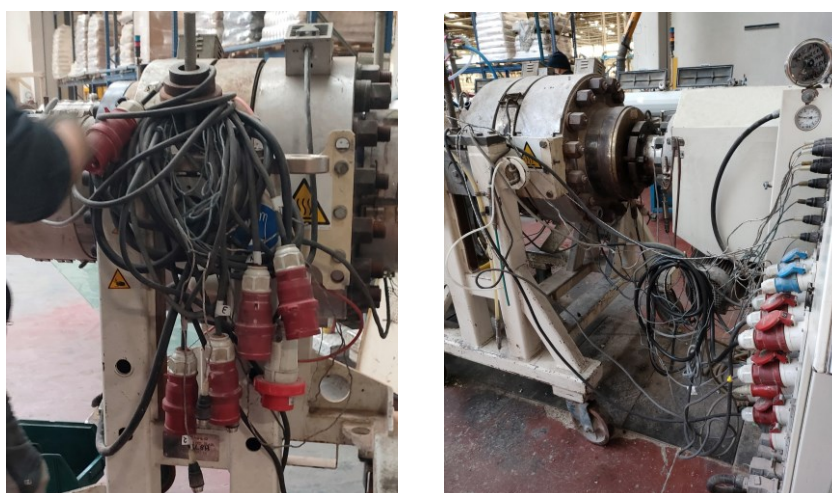


Figura 6.24 - Sistema di supporto dei cavi e delle sonde durante il trasporto della testa (a sinistra) e durante la produzione (a destra) nella situazione iniziale

Tutto ciò comportava una durata di circa 10 minuti per il collegamento e circa 5 minuti per lo smontaggio.

Durante le sessioni di brainstorming sono state valutate molte alternative per l'eliminazione dei muda contenuti in quest'operazione. Tra queste, si è deciso di optare per una piastra alla base della testa di estrusione, dove far poggiare i cavi e le sonde, chiusa da una seconda piastra, in modo da far fuoriuscire soltanto l'ultimo tratto da collegare all'estrusore. Per i cavi sono stati ricavati dei solchi in modo da tenerli separati e ordinati, mentre le sonde sono state raggruppate in una spirale (prototipo in Figura 6.25)



Figura 6.25 - Prototipo del nuovo sistema di supporto dei cavi e delle sonde

A completamento, è stato realizzato anche un sistema di numerazione dei cavi e delle sonde in base alla resistenza di origine (Figura 6.26).

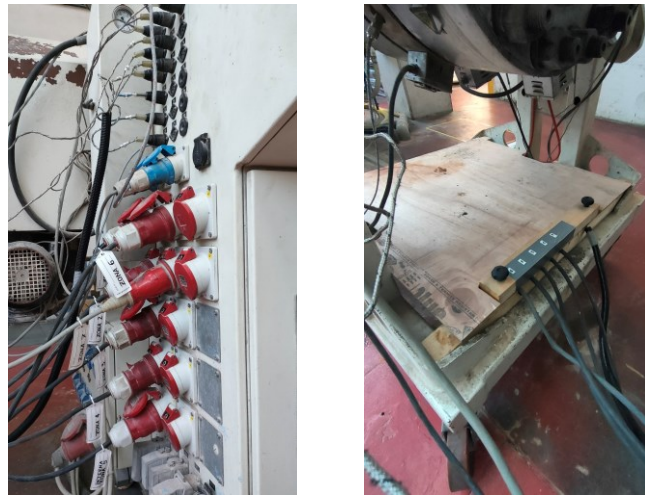


Figura 6.26 - Sistema di numerazione di cavi e sonde

Questo sistema permette di:

- eliminare completamente i muda legati allo svolgimento e al districamento di cavi e sonde;
- eliminare il muda legato alla ricerca della corretta combinazione resistenza – cavo elettrico – sonda;
- ridurre l'usura e la rottura precoce delle sonde;
- ridurre la durata dell'attività dell'88%, portandola ad un valore di 1,5 minuti.

6.3.3.2 Resistenze interne alla testa di estrusione

La riduzione del tempo di setup interno ha fatto nascere una problematica relativa al riscaldamento della testa di estrusione.

Nella situazione iniziale, a causa della lunga durata del setup l'attrezzatura aveva il tempo di scaldarsi in maniera uniforme. Con la riduzione del tempo di fermo macchina ottenuta con il primo step di SMED, la temperatura riesce a raggiungere il valore di regime soltanto nella parte esterna della testa, a contatto con le resistenze, mentre la parte più interna rimane a temperatura inferiore. Accade quindi che, alla partenza, il materiale sulla superficie interna del tubo non sia ben lavorato, presentandosi polveroso o grumoso. La diretta conseguenza di questa problematica è un allungamento del tempo di avvio dell'estrusore e una maggiore quantità di scarto prodotto.

Per risolvere tale criticità, all'interno della testa di estrusione sono state inserite due termoresistenze in ceramica ad anello, di cui viene riportata una foto in Figura 6.27, in modo da poter riscaldare in modo diretto anche la parte interna (Figura 6.28).

Con tale miglioria, stima di ottenere una riduzione del tempo di riscaldamento a temperatura di regime di circa 30 minuti, e una riduzione degli scarti in partenza legati al materiale scarsamente lavorato.



Figura 6.27 - Fotografia di una resistenza in ceramica ad anello

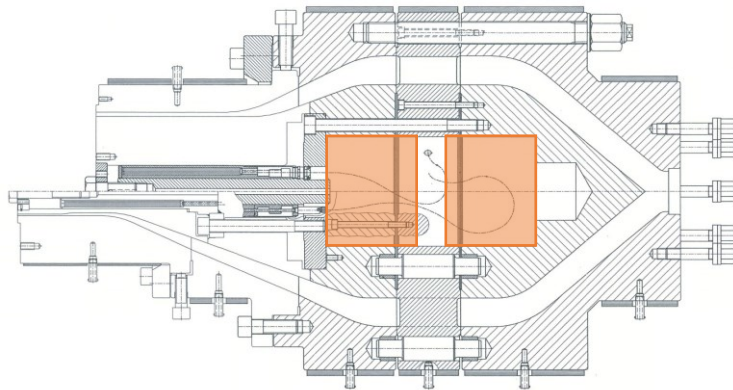


Figura 6.28 - Sezione di una testa di estrusione con aggiunta delle due resistenze interne

6.3.3.3 Traslazione del banco della bicchieratrice

Alcuni miglioramenti sono stati realizzati senza introdurre modifiche allo status quo, ma semplicemente sfruttando strumenti e funzionalità già presenti e non utilizzati per abitudine, comodità o mancata conoscenza.

Un esempio consiste nella possibilità di traslare il banco di appoggio dei tubi durante la fase di attrezzaggio, in modo da creare spazio per l'operatore (Figura 6.29). Tale

funzionalità della macchina era già presente ma non veniva utilizzata. Gli operatori usavano chinarsi e allungarsi sopra il banco per effettuare le operazioni di cambio dell'introduttore anelli, delle morse bloccatubo e delle lamiere dei forni.

Inserendo la traslazione del banco di appoggio nella procedura di setup è stato ottenuto un duplice vantaggio:

- Miglioramento dell'ergonomia, eliminando l'estensione e l'inclinazione della schiena per raggiungere le attrezzature;
- Snellimento delle attività. Un raggiungimento più agevole delle attrezzature ha permesso di ottenere riduzioni della durata delle attività. L'esempio più rilevante è relativo cambio delle lamiere dei forni, la cui durata è scesa da 1,5 minuti a circa 30 secondi, per una riduzione totale del 67%.



Figura 6.29 - Traslazione del banco della bicchieratrice

6.3.4 Miglioramenti futuri

Alcune delle migliorie selezionate dal brainstorming non sono state realizzabili nel breve periodo. Si tratta di interventi che richiedono il coinvolgimento dei fornitori oppure l'acquisto di nuovi strumenti o macchine, con conseguenti lunghi lead time di approvvigionamento.

6.3.4.1 Dosatore per la miscela di fermata

L'attività di SMED ha permesso di migliorare le operazioni di attrezzaggio non soltanto in ottica di tempistiche ma anche in termini di sicurezza ed ergonomia.

Attualmente, la miscela di fermata viene inserita a mano: con un carrello elevatore viene prelevato il pallet contenente i sacchetti predosati e posizionato al di sopra

dell'apposita tramoggia dell'estrusore, un operatore sale quindi sulla scala e svuota a mano il numero necessario di sacchetti (Figura 6.30). Quest'attività non risulta ottimale né in termini ergonomici, a causa del peso da sollevare a mano dagli operatori, né in termini di sicurezza.



Figura 6.30 - Posizionamento dei sacchi con la mescola di fermata

Per agevolare le operazioni di carica della tramoggia, necessarie ogniqualvolta si voglia fermare l'estrusore o riavviare dopo una fermata, si è pensato ad un caricatore da posizionare a lato della linea e facilmente trasportabile (Figura 6.31). In questo modo, la tramoggia potrebbe essere caricata direttamente dal silos interno dedicato alla mescola di fermata, riducendo drasticamente i problemi di sicurezza ed ergonomia. Questa soluzione permetterebbe inoltre di snellire le attività di setup esterno (terzo step), in quanto andrebbe ad eliminare l'attività di preparazione dei pallet con i sacchetti di mescola di fermata.

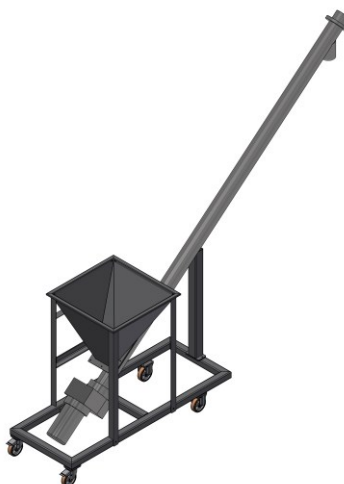


Figura 6.31 - Rappresentazione del dosatore per la mescola di fermata

6.3.4.2 Introduzione di chiavi dinamometriche

Il miglioramento delle attività di attrezzaggio non si è concentrato soltanto sulle attrezzature e sulle macchine, ma anche sugli strumenti utilizzati dagli operatori per effettuare movimenti come avvitare, svitare, sollevare e così via. In particolare, l'attività di apertura e serraggio delle flange della testa di estrusione presenta diverse criticità legate all'utilizzo di strumenti non appropriati, come chiavi a brugola e pali di acciaio utilizzati come leva per l'applicazione di coppie più elevate. Esse comportano:

- Sforzi fisici notevoli per gli operatori;
- Rischio di danneggiamenti alla testa e/o ai fissaggi, in seguito all'utilizzo di una coppia non controllata per il serraggio degli elementi.

Sono state quindi acquistate chiavi dinamometriche, ovvero chiavi a serraggio controllato usate per il serraggio di viti, dadi e bulloni al giusto valore di coppia. Anche in questo caso, così come per l'attività legata ai pali con base intagliata, dall'incontro con il Servizio Prevenzione Protezione aziendale è emerso come il beneficio in termini di salute per gli operatori sia notevole. Infatti, è noto che attività lavorative prolungate nel tempo, combinazione di posture incongrue e sforzi fisici notevoli, espongono l'operatore a patologie da sovraccarico biomeccanico (affezioni al rachide, tendinopatie alle spalle ecc..) e l'adozione di soluzioni tecniche di miglioramento come l'utilizzo di chiavi dinamometriche determina un abbassamento del livello di esposizione del rischio (UNI ISO 11228-1, ISO/TR 12295).

6.3.4.3 Standardizzazione di chiavi e tool

Un'ulteriore tema di miglioramento affrontato ha riguardato la varietà di chiavi e attrezzi utilizzati durante le attività di attrezzaggio.

Ogni componente è fissato alla macchina con viti e/o bulloni specifici, di conseguenza l'elevata quantità di attrezzature differenti comporta un numero importante di cambio di chiavi durante il setup. Per ogni cambio attrezzo, l'operatore deve recarsi al carrellino degli attrezzi personale, riporre l'attrezzo precedente, effettuare una ricerca e un prelievo dell'attrezzo, e ritornare alla macchina. Questi movimenti sono brevi ma, a causa dell'elevata varietà di viti e bulloni per il fissaggio delle macchine, risultano anche molto frequenti, comportando di conseguenza una complessiva perdita di tempo non trascurabile.

L'obiettivo per il prossimo futuro è quello di ridurre la varietà di chiavi e attrezzi utilizzati dagli operatori intervenendo direttamente sui sistemi di fissaggio delle attrezzature, standardizzando le misure di viti e bulloni sulla linea. In Tabella 5.6 sono riportate le attrezzature da sostituire in un cambio diametro con cambio della testa di estrusione, con le rispettive chiavi. Complessivamente, durante il setup vengono effettuati circa 28 cambi delle chiavi per il montaggio, all'interno di una varietà di 13 chiavi diverse. La standardizzazione delle chiavi potrebbe permettere la sostituzione del carrellino degli attrezzi con una speciale cintura indossata dall'operatore, con le sole chiavi necessarie per l'attrezzaggio della linea.

6.3.4.4 Argano per la partenza della produzione

Il sistema di preparazione della linea per la ripartenza con l'utilizzo del tubo pilota comporta problematiche in termini di sicurezza e tempi molto lunghi. Al termine dell'attrezzaggio, durante il fermo macchina, risulta infatti necessario:

1. Cercare e prelevare un carrello elevatore libero;
2. Prelevare il tubo pilota nell'apposita zona esterna e trasportarlo davanti alla linea;
3. Sollevare il tubo con l'ausilio del carroponte e inserirlo sulla linea a partire dal fondo;
4. Trainare il tubo fino al calibro.

Nel caso della linea 12, inoltre, gli spazi ristretti a fondo linea rendono necessario l'utilizzo di due tubi pilota di lunghezza minore, poi agganciati tra loro, rendendo

necessario ripetere due volte il punti 3 e 4. Complessivamente questa fase richiede circa 25 minuti.

Si è deciso di sostituire il tubo pilota con un argano da posizionare a fondo linea (Figura 6.32). Si tratta di un acquisto già effettuato ma non ancora introdotto nello stabilimento, in quanto caratterizzato da un lead time di approvvigionamento di otto mesi.

Con tale strumento, risulta necessario mantenere soltanto un breve tratto di tubo pilota (1-2 m), agganciarlo alla fune e fare in modo che sia l'argano a trainare il tubo in fase di partenza, coordinandosi con la velocità di estrusione. In questo modo viene eliminata la necessità di:

- prelevare il tubo pilota dal magazzino esterno;
- sollevare il tubo pilota con l'utilizzo del carroponte;
- trainare il tubo pilota in maniera automatica;

portando miglioramenti sia in termini di tempistiche che in termini di sicurezza.

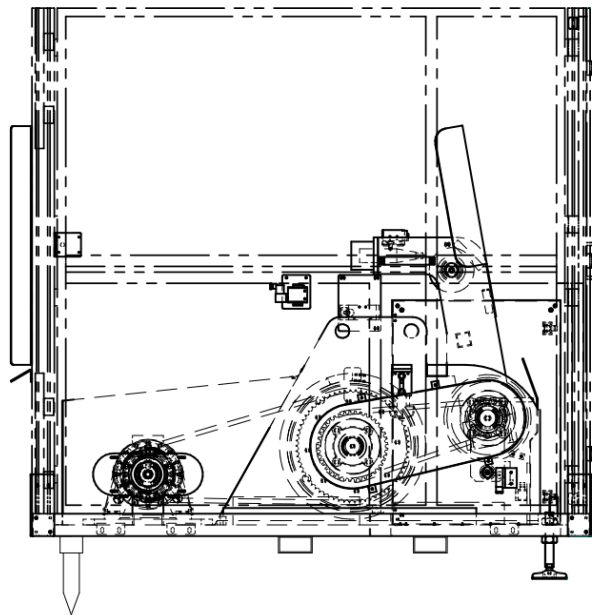


Figura 6.32 - Rappresentazione laterale dell'argano per il traino del tubo in fase di avvio della produzione

Capitolo 6

RISULTATI E SVILUPPI FUTURI

Il seguente capitolo si pone l'obiettivo di presentare i risultati ottenuti al termine del progetto e di introdurre i possibili sviluppi futuri.

Saranno illustrati innanzitutto i risultati quantitativi in termini di tempo risparmiato e saving economico, distinguendo tra primo e secondo step di SMED. I risultati ottenuti non si limitano all'aspetto economico, per cui saranno poi presentati anche i benefici in termini di sicurezza, ergonomia, mantenimento delle attrezzature e metodo di lavoro.

Infine, verranno illustrati i passi futuri già pianificati per l'estensione graduale delle logiche *lean* a tutto lo stabilimento e per avviare un processo di continuo miglioramento.

7.1 RISULTATI

Verranno di seguito presentati i risultati ottenuti con l'implementazione dei primi due step della procedura di SMED illustrata Figura 6.1. Non sono invece presenti risultati relativi al terzo step, in quanto la sua realizzazione è stata posticipata ad una fase successiva. Come già illustrato al Paragrafo 6.1, eventuali riduzioni della durata di quest'ultimo step sono ottenibili:

- valutando tecnologie che permettano, per esempio, di effettuare la misurazione dei parametri (come spessore e ovalizzazione) in modo più rapido e accurato;
- avviando operazioni di re-layout del magazzino-attrezzature nell'ottica di ridurre gli spostamenti e snellire la preparazione della linea.

Interventi di questo genere richiedono elevati investimenti e lunghe tempistiche per l'acquisto e l'implementazione delle tecnologie. Di conseguenza, è stata presa la decisione di posticipare le attività legate terzo step ad un secondo momento, motivo per cui i risultati raggiunti sono da considerarsi parziali e migliorabili con il completamento della procedura.

7.1.1 Saving primo step

Uno degli obiettivi iniziali del progetto SMED (Paragrafo 5.1) consisteva nella riduzione del tempo di setup interno del 50%.

Nella situazione iniziale, il setup interno aveva una durata media di 3 ore e 40 minuti mentre il setup completo di 5 ore e 20 minuti. Con l'implementazione del primo step, il tempo di setup interno è sceso a 2 ore e 10 minuti, comportando una riduzione del 41%, ed il tempo complessivo di setup a 3 ore e 40 minuti.

Tale miglioramento ha permesso l'ottenimento di diversi vantaggi:

- ***Risparmio economico (saving)*** dovuto alla riduzione dei costi di setup;
- ***Liberazione di capacità produttiva;***
- ***Eliminazione della variabilità del tempo di setup legata alla pausa pranzo.***

Considerando che l'orario di inizio del setup interno coincideva con l'inizio del turno degli operatori (ore 08:00), nella situazione iniziale la conclusione delle attività di attrezzaggio cadeva spesso a ridosso della pausa pranzo (ore 12:00). Era frequente, dunque, il posticipo della partenza della linea alle ore 13:00, generando un'ora aggiuntiva di fermo macchina.

Saving

Come anticipato nel Paragrafo 3.1.1, le operazioni di setup hanno un costo composto da due componenti: il costo di fermo della macchina e il costo del lavoro degli attrezzisti. I valori approssimativi di riferimenti per le tariffe relative alla linea 12 sono riportati in Tabella 7.1.

Tabella 7.1 - Tariffe per la determinazione del costo di setup sulla linea 12

TARIFFA	
LINEA + AMMORTAMENTI + MANODOPERA DIRETTA	ATTREZZISTA
50,00 €/h	35,00 €/h

Il costo del fermo è a sua volta costituito da più voci, quali:

- Costo dell'energia elettrica. I macchinari, infatti, non vengono spenti durante l'attrezzaggio, ma restano in stand-by o in modalità attrezzaggio/manutenzione;
- Costo legato all'aria compressa nell'impianto;
- Costo legato all'acqua di raffreddamento nell'impianto;
- Quota di ammortamento dell'impianto;
- Costo legato alla dissaturazione della manodopera diretta. L'operatore di fondo linea si dedica generalmente a due linee di estrusione. Nel momento in cui una linea risulta ferma per il setup, egli si occupa della sola linea in produzione. Questo comporta dei momenti di attesa, e quindi una riduzione della saturazione dell'operatore, considerata come costo.

I costi legati agli operatori di setup dipendono invece dal numero di attrezzisti impegnati sulla linea. La tariffa in base al numero di attrezzisti varia come segue (Tabella 7.2):

Tabella 7.2 - Variazione del costo di setup sulla linea 12 in base al numero di attrezzisti coinvolti

N° attrezzisti	Costo orario del setup	Costo al minuto del setup
1	85,00 €/h	1,416 €/min
2	120,00 €/h	2,000 €/min
3	155,00 €/h	2,583 €/min
4	190,00 €/h	3,167 €/min

Il valore del risparmio ottenuto con il primo step di SMED sul cambio diametro con cambio testa di estrusione è stato valutato calcolando la differenza tra il costo di setup nella situazione iniziale e il costo di setup in seguito alla riorganizzazione delle attività e degli spazi:

$$C_{\text{situazione iniziale}} = 320 \frac{\text{min}}{\text{setup}} \cdot 2,000 \frac{\text{€}}{\text{min}} = 640 \text{ €/setup}$$

$$C_{step\ 1} = 130 \frac{\text{min}}{\text{setup}} \cdot 2,583 \frac{\text{€}}{\text{min}} + 90 \frac{\text{min}}{\text{setup}} \cdot 2,000 \frac{\text{€}}{\text{min}} = 515,83 \text{ €/setup}$$

$$Saving_{step\ 1} = 640 - 515,83 = 124,17 \text{ €/setup}$$

A partire dal risparmio ottenuto per ogni setup, si è poi risaliti al risparmio annuo, moltiplicando il valore ottenuto per la frequenza del cambio diametro con cambio testa in un anno (previsione di 16 setup per il 2022):

$$Saving_{step\ 1} = 124,17 \frac{\text{€}}{\text{setup}} \cdot 16 \frac{\text{setup}}{\text{anno}} = 1.986,67 \text{ €/anno}$$

Per completare il calcolo del risparmio annuo ottenibile sulla linea 12, è stata stimata anche la possibile riduzione di altre tipologie di setup con il primo step di SMED, seguendo la priorità stabilita con l'analisi di Pareto (Figura 5.1). Tale stima è stata ricavata effettuando, a livello teorico, la separazione tra IED e OED e la riorganizzazione delle attività con eventuale parallelizzazione. I risultati più significativi sono riportati in Tabella 7.3.

Tabella 7.3 - Stima del saving ottenibile con l'estensione del primo step ad altre tipologie di cambio

	SAVING STEP 1								
	Cambio diametro con cambio testa		Cambio spessore*		Cambio spessore + bicchiere + mescola*		Cambio diametro senza cambio testa*		
	€/cambio	€/anno	€/cambio	€/anno	€/cambio	€/anno	€/cambio	€/anno	
PRE SMED	640,00 €	10.240,00 €	440,40 €	10.569,60 €	480,00 €	6.400,00 €	570,00 €	1.520,00 €	
POST SMED	515,83 €	8.253,33 €	366,65 €	8.799,60 €	463,85 €	6.184,67 €	490,95 €	1.309,20 €	TOTALE
DIFFERENZA	124,17 €	1.986,67 €	73,75 €	1.770,00 €	16,15 €	215,33 €	79,05 €	210,80 €	4.182,80 €

Al risparmio annuo di 1.986,67 € ottenuto nel cambio diametro con cambio testa, si andrebbero così ad aggiungere, a livello teorico, circa 2.196,13 € derivanti dalla riduzione di altri setup, quali cambio spessore, cambio spessore + bicchiere + mescola e cambio diametro senza cambio testa.

Liberazione capacità produttiva

La riduzione del tempo di setup interno ottenuta con il primo step ha permesso, inoltre, di liberare capacità produttiva sulla linea. Aggiungendo alle ore liberate dalla riduzione

del cambio diametro con cambio testa la possibile riduzione stimata per le altre tipologie di setup sulla linea, si ottiene un totale di circa 39 ore/anno (Tabella 7.4).

Tabella 7.4 - Stima delle ore liberate con l'estensione del primo step ad altre tipologie di cambio

	CAPACITÀ PRODUTTIVA LIBERATA								
	Cambio diametro con cambio testa		Cambio spessore		Cambio spessore + bicchiere + mescola		Cambio diametro senza cambio testa		
	min/cambio	h/anno	min/cambio	h/anno	min/cambio	h/anno	min/cambio	h/anno	
PRE SMED	320,00	85,33	220,00	88,00	240,00	53,33	285,00	12,67	
POST SMED	220,00	58,67	205,00	82,00	220,00	48,89	225,00	10,00	TOTALE
DIFFERENZA	100,00	26,67	15,00	6,00	20,00	4,44	60,00	2,67	39,78

Queste ore di capacità produttiva possono essere sfruttate per la realizzazione di ulteriori pezzi e, nell'ipotesi in cui questi vengano poi venduti, garantire ulteriore beneficio economico. Nel caso della linea 12 questo ragionamento può essere effettuato in quanto, in normali condizioni di mercato, essa è saturata e ogni prodotto realizzato viene venduto, come anticipato al Paragrafo 5.1.1.

A partire da tale assunto, è possibile stimare il beneficio ottenibile dalle ore di capacità produttiva liberate considerando la portata oraria della linea, pari a 830 kg/h, e un valore indicativo di riferimento equivalente al fatturato aggiuntivo per tonnellata di produzione, pari a 1.800 €/ton:

$$\begin{aligned} \text{Fatturato aggiuntivo}_{\text{annuo}} &= \text{capacità produttiva liberata} \cdot \text{portata} \cdot \text{fatturato aggiuntivo}_{\text{unitario}} \\ &= 39,78 \text{ h/anno} \cdot 830 \text{ kg/h} \cdot 1,8 \text{ €/kg} = 59.431 \text{ €/anno} \end{aligned}$$

Considerando poi un valore tipico di margine di contribuzione netto percentuale del 10%, utilizzato come riferimento interno per calcoli a livello operativo, è possibile ottenere il conseguente valore netto:

$$\begin{aligned} \text{valore netto}_{\text{annuo}} &= \text{fatturato aggiuntivo}_{\text{annuo}} \cdot \text{margine di contribuzione}_{\text{di riferimento}} \\ &= 59.431,32 \text{ €/anno} \cdot 0,1 = 5.943 \text{ €/anno} \end{aligned}$$

I possibili benefici ottenibili con la maggior disponibilità dell'impianto coincidono con la riduzione dei costi opportunità legati alla mancata produzione e vendita a causa del setup.

7.1.2 Saving secondo step

Anche il secondo step di SMED, concentrandosi sullo snellimento delle operazioni di montaggio e smontaggio attraverso modifiche alle attrezzature e ai sistemi di serraggio, permette di ottenere ulteriori riduzioni del tempo di setup e, di conseguenza, ottenere risparmi in termini economici.

Per la valutazione del saving conseguente all'introduzione delle modifiche tecniche, sono stati seguiti i seguenti passaggi:

1. sono state innanzitutto selezionate le proposte realizzabili nel breve e medio periodo;
2. ognuna delle proposte impatta positivamente su una o più operazioni del ciclo di setup, riducendone la durata di una certa quantità. È stato quindi valutato il risparmio in termini di tempo di ogni modifica sul singolo setup: per le migliorie che è stato possibile realizzare nel breve periodo è stata effettuata una misura diretta della nuova durata dell'attività; negli altri casi è stata stimata una durata approssimativa, osservando i filmati realizzati in fase di raccolta dati ed eliminando tutti i tempi legati alle operazioni rimosse.
3. si è andati poi a calcolare il risparmio in termini di tempo di ogni modifica all'anno, considerando la frequenza di accadimento delle relative attività in un anno.
4. infine, il risparmio temporale è stato tradotto in risparmio economico con l'utilizzo delle tariffe in Tabella 7.2.

Per rendere completa l'analisi economica, sono stati valutati anche i costi di realizzazione delle modifiche alle attrezzature e i costi di acquisto di nuovi strumenti.

Infine, sono stati considerati ulteriori benefici oltre al risparmio economico, come:

- miglioramento delle condizioni di sicurezza;
- miglioramento delle condizioni ergonomiche;
- riduzione di usura, danneggiamenti e rotture di strumenti e attrezzature.

In particolare, le soluzioni che permettono di portare benefici in termini di sicurezza sono state considerate prioritarie e da realizzare anche senza sensibili risparmi in termini economici.

Il risultato di questa procedura è illustrato in Tabella 7.5.

Tabella 7.5 - Valutazione di costi e benefici del secondo step di SMED

	COSTI		BENEFICI				SELEZIONE
	Risparmio a cambio	Risparmio all'anno	COSTO DI REALIZZAZIONE	SAVING (€/anno)	SICUREZZA	ERGONOMIA	
tramoggia per introduzione della super	00:00:00	00:00:00	5,000,00 €	- €	V	V	V
modifica ancoraggio testa	00:13:15	04:42:40	1,000,00 €	547,67 €			V
supporto apposito cavi e sonde + numerazione/colorazione	00:09:15	03:17:20	150,00 €	382,33 €	V		V
dotazione sonde per ogni testa	00:01:45	00:37:20	- €	72,33 €			V
chiave dinamometrica	00:00:00	00:00:00	550,00 €	- €	V		V
pavimentazione liscia	00:01:30	00:32:00	- €	62,00 €	V		next step
modifica altezza estrusore (stessa altezza delle altre linee) - Setup esterno	00:03:30	01:14:40	valutare altezza nuovo estrusore	144,67 €			V
contenitore apposito per gli scarti	00:01:30	01:32:00	60,00 €	182,00 €	V		V
tubi di aspirazione di ricambio (degassaggio)	00:05:00	05:46:40	15,00 €	663,33 €			V
asole a pera	00:10:00	03:06:40	60,00 €	466,67 €			V
set di fiange per ogni diametro	00:10:00	03:06:40	da valutare	466,67 €			next step
avvitatore elettrico	00:04:30	02:28:00	250,00 €	301,33 €			V
carrellino gomme a bordo delle vasche	00:02:00	00:37:20	240,00 €	93,33 €			V
mezzelune ad incastro	00:07:00	02:10:40	60,00 €	326,67 €			V
intaglio pali magazzino anelli per inserimento dal lato	00:02:30	00:53:20	180,00 €	126,11 €		V	V
coinvolgimento capituono: da una certa ora caricare anelli su un solo palo e non su 4	00:03:30	02:20:00	- €	269,89 €			V
definizione posizioni fisse pinza anelli per i diversi diametri	00:00:30	00:10:40	60,00 €	25,22 €			V
automatizzazione traslazione banco bicchieratrice	00:05:00	01:33:20	1.300,00 €	233,33 €			V
filtro bicchieratrice di ricambio	00:05:00	05:33:20	40,00 €	644,44 €			V
resistenza interna testa	00:30:00	09:20:00	120,00 €	1.400,00 €			V
verricello	00:22:00	16:29:20	- €	1.949,33 €	V		V
standardizzazione chiavi e tool	00:17:00	09:57:20	- €	1.214,22 €			next step
etichette su attrezzatura per chiarire quale chiave usare	00:08:30	04:58:40	30,00 €	607,11 €			V
kit per montaggio testa	00:08:00	05:10:40	120,00 €	610,67 €			V
telecomando per carroponete	00:16:00	11:21:20	- €	1.341,33 €	V		V
COSTI TOTALI			9.235,00 €				
				SAVING STEP 2			
				10.387,78 €			

7.1.3 Ciclo standard di riferimento TO-BE

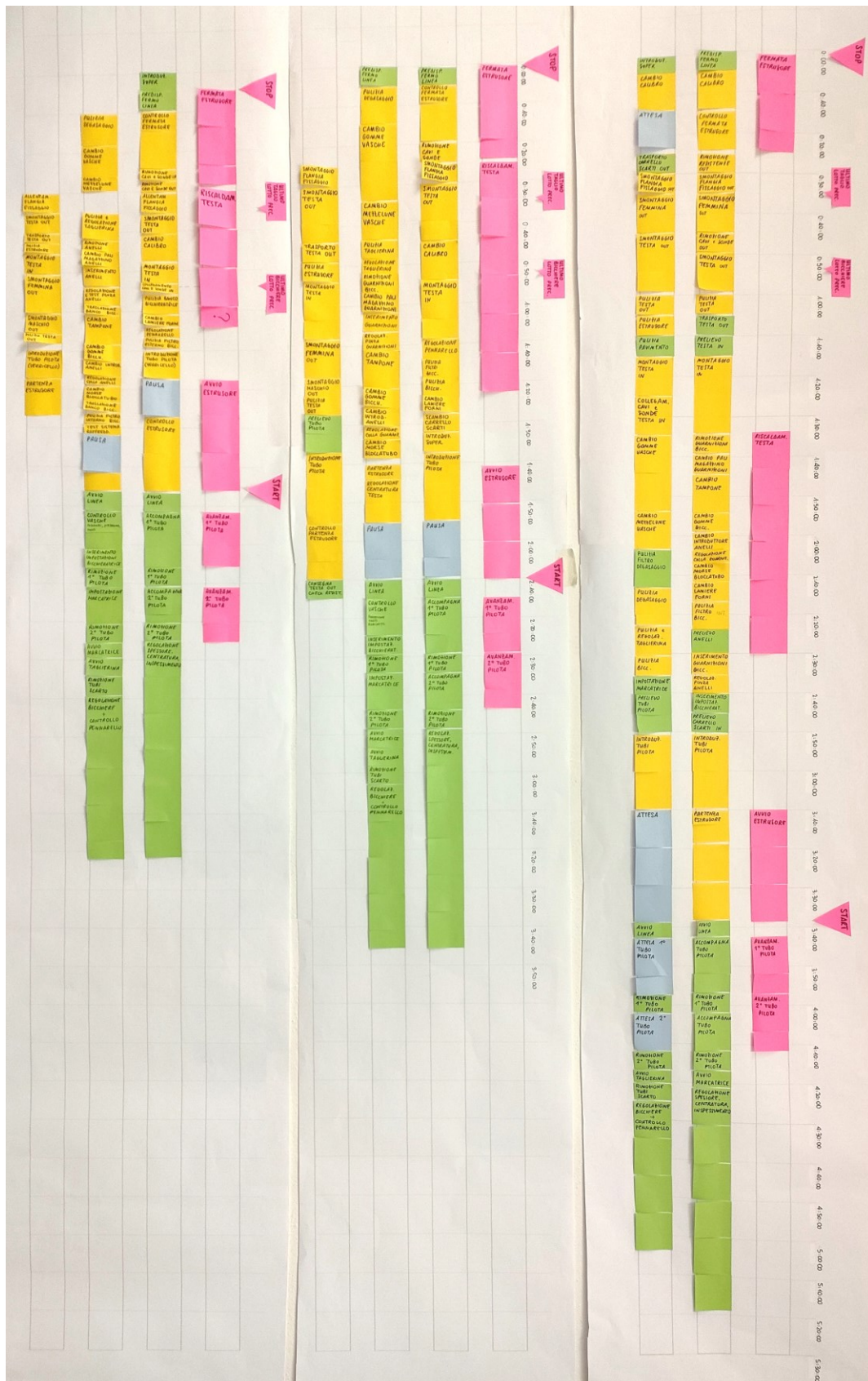
In relazione al solo cambio diametro con cambio testa, la determinazione delle nuove durate delle attività, misurate o stimate, ha permesso di impostare un ciclo standard di riferimento obiettivo (TO-BE).

Sono state ricreate le sequenze di attività dei tre operatori utilizzando le nuove tempistiche. Nonostante i tempi più brevi, l'ordine delle operazioni è risultato ben sincronizzato e non sono sorte criticità che richiedessero di apportare modifiche al ciclo. Si è quindi deciso di congelare la sequenza che era stata definita con il primo step di SMED (Figura 6.5). In favore del consolidamento di quanto appreso dagli operatori, si è accettata l'evenienza di qualche loro momento di dissaturazione.

In Figura 7.1 è illustrato lo schema di riferimento finale (in basso), confrontato con i due precedenti, ovvero la situazione iniziale (in alto) e lo stato attuale dopo il primo step (al centro).

Si può osservare come, con il completamento del secondo step attraverso l'implementazione di tutte le migliorie selezionate, sia possibile ridurre il tempo di setup di ulteriori 25 minuti circa, ottenendo un tempo totale di 3 ore e 20 minuti e un tempo di fermo macchina di 1 ora e 45 minuti.

In conclusione, il tempo di setup interno risulta ridotto di un ulteriore 11%, arrivando così ad una riduzione totale del 52% rispetto alla situazione di partenza e raggiungendo gli obiettivi prefissati (Paragrafo 5.1).



Liberazione capacità produttiva

Anche in questo caso, la riduzione del tempo di setup di un ulteriore 11% permette di liberare capacità produttiva sulla linea, valorizzabile in termini di fatturato aggiuntivo e valore netto nell'ipotesi di saturazione della linea.

Ripetendo le considerazioni effettuate per il primo step, è possibile stimare l'ulteriore beneficio ottenibile dalle ore di capacità produttiva liberate considerando la portata oraria della linea (830 kg/h), e il fatturato aggiuntivo per tonnellata (1.800 €/ton):

$$\begin{aligned} \text{Fatturato aggiuntivo}_{\text{annuo}} &= \text{capacità produttiva liberata} \cdot \text{portata} \cdot \text{fatturato aggiuntivo}_{\text{unitario}} \\ &= 6,67 \text{ h/anno} \cdot 830 \text{ kg/h} \cdot 1,8 \text{ €/kg} = 9.960 \text{ €/anno} \end{aligned}$$

Considerando poi il valore tipico di margine di contribuzione netto percentuale del 10%, utilizzato come riferimento interno per calcoli a livello operativo, è possibile ottenere il conseguente valore netto:

$$\begin{aligned} \text{valore netto}_{\text{annuo}} &= \text{fatturato aggiuntivo}_{\text{annuo}} \cdot \text{margine di contribuzione}_{\text{di riferimento}} \\ &= 9.960 \text{ €/anno} \cdot 0,1 = 996 \text{ €/anno} \end{aligned}$$

Come per il primo step, i possibili benefici ottenibili con la maggior disponibilità dell'impianto possono essere letti come riduzione dei costi opportunità legati alla mancata produzione e vendita a causa del setup.

7.1.4 Risultati complessivi

Prendendo in considerazione quanto presentato finora, i risultati quantitativi complessivi dei primi due step di SMED sono riassunti di seguito:

- riduzione del setup interno rispetto alla situazione iniziale del 41% al termine del primo step e del 52% al termine del secondo;
- saving annuo di 15.553 €;
- rapporto benefici/costi (B/C) pari a 1,68:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{saving annuo}}{\text{costi di realizzazione}} = \frac{15.553\text{€}}{9.235\text{€}} = 1,68$$

- *payback time* di 7 mesi:

$$\text{Payback Time} = \frac{C}{B} = \frac{\text{costi di realizzazione}}{\text{saving annuo}} = \frac{9.235\text{€}}{15.553\text{€}} = 0,594 \text{ anni} \approx 7 \text{ mesi}$$

- 46,5 h/anno di capacità produttiva liberata, le quali potenzialmente comportano un fatturato aggiuntivo annuo di 69.391 €/anno e un valore netto di 6.939 €/anno in caso di saturazione della linea;
- altri benefici, individuati con il nome di “*soft saving*”.

“Soft saving”

Con il termine “soft saving” sono stati identificati i benefici non quantificabili economicamente percepiti dai membri del team durante il progetto.

In un momento di confronto sui vantaggi ottenuti in termini di metodo di lavoro e di interazione tra colleghi sono stati evidenziati i seguenti benefici:

- ***meno errori e dimenticanze.*** Grazie all’introduzione delle checklist e alla definizione precisa delle posizioni lungo la linea, sono state eliminate le dimenticanze che si verificavano spesso durante la preparazione delle attrezzature. Inoltre, l’assegnazione di attività congruenti e sequenziali ad ogni operatore ha permesso di eliminare errori e perdite di tempo che si verificavano nel momento in cui un operatore terminava un’attività e doveva scegliere come proseguire, anche in funzione del lavoro svolto dal collega;
- ***maggiore ordine durante il setup e in officina.*** L’introduzione delle checklist e la definizione delle posizioni con linee a pavimento e carrellini dedicati hanno permesso di avere maggiore ordine e pulizia lungo la linea;
- ***maggiore qualità.*** Il miglioramento della qualità in fase di partenza è legato alla riduzione di usura, danneggiamenti e rotture di strumenti e attrezzature. È stato possibile ottenere questi benefici grazie alla riduzione del tempo di setup, che ha permesso alle risorse di dedicarsi maggiormente alla fase di preparazione e pulizia delle attrezzature;
- ***lavoro di squadra.*** Il progetto ha dato modo alle persone di lavorare in gruppo, condividere idee e proposte e metterle in pratica. Le occasioni di confronto si sono create con l’organizzazione delle sedute di brainstorming, ma hanno avuto modo di nascere spontaneamente anche nel lavoro di tutti i giorni;

- ***individuazione dei problemi e delle cause.*** Il progetto ha permesso alle persone di ricavarsi del tempo dalle mansioni operative quotidiane, evidenziare le problematiche relative alle attività di setup, ragionare sulle cause di tali problematiche con approccio proattivo verso la ricerca di possibili soluzioni;
- ***divisione più equa delle attività sulla linea.*** La riorganizzazione delle attività, effettuata seguendo il criterio dell'assegnazione di macroaree della linea ad ogni operatore, ha permesso di equilibrare i carichi di lavoro e aumentare il grado di collaborazione durante il setup;
- ***riduzione della variabilità nelle tempistiche.*** L'eliminazione dei muda legati alla mancata definizione di precise sequenze operative e posizioni per le attrezzature lungo la linea ha permesso di ridurre la variabilità nelle tempistiche delle singole attività e nella durata complessiva del setup;
- ***creazione di un know-how*** estendibile al resto dello stabilimento. Le nuove conoscenze costruite in termini di metodi di lavoro, tecnologie e sistemi di fissaggio sono la base su cui costruire il futuro dello stabilimento. I nuovi standard entrano in un pacchetto di know-how e best practices estendibili ai processi esistenti in officina ma anche allo sviluppo di nuovi prodotti/processi, con il coinvolgimento dei fornitori nella definizione delle specifiche dei macchinari nell'ottica di attrezzaggio rapido.

Per quanto riguarda l'ultimo punto, è interessante quantificare quali potrebbero essere i benefici ottenibili dall'estensione alle altre linee del reparto degli interventi introdotti sulla linea 12.

Innanzitutto, è opportuno escludere dalla valutazione le due linee produttive dedicate alla grondaia (linea 3 e linea 4), in quanto caratterizzate da una tecnologia, e di conseguenza un insieme di attività, parzialmente differenti rispetto alla linea 12.

Le altre linee di estrusione, invece, condividono la struttura e variano in termini di taglia dell'impianto. Di conseguenza, anche le operazioni di attrezzaggio in caso di cambio diametro risultano approssimativamente equivalenti. Risulta così possibile simulare la riduzione del tempo di setup interno su ogni linea produttiva a partire dalla percentuale di riduzione ottenuta sulla linea 12 con primo e secondo step, ovvero rispettivamente 41% e 11%.

In Tabella 7.6 è riportata una stima delle ore liberate all'anno sulle linee produttive del reparto se si estendessero i primi due step di SMED. Le percentuali di riduzione con primo e secondo step sono state applicate alla durata media del setup interno per il cambio diametro di ogni linea. Dal prodotto tra il risparmio ottenibile e la frequenza annuale di ogni setup, è stato possibile calcolare la capacità produttiva potenzialmente liberabile su ciascuna linea. Potenzialmente, è possibile ottenere un risparmio di circa 478 ore/anno.

Tabella 7.6 - Simulazione del numero di ore annue liberate mediante l'estensione dei primi due step di SMED alle altre linee produttive

	LINEA 5	LINEA 6	LINEA 7	LINEA 8	LINEA 9	LINEA 10	LINEA 11	LINEA 13	LINEA 14
Durata media setup <u>interno</u>	2:00:00	3:00:00	2:00:00	2:00:00	3:00:00	3:00:00	4:00:00	5:00:00	8:00:00
STEP 1	0:49:05	1:13:38	0:49:05	0:49:05	1:13:38	1:13:38	1:38:11	2:02:44	3:16:22
STEP 2	0:13:38	0:20:27	0:13:38	0:13:38	0:20:27	0:20:27	0:27:16	0:34:05	0:54:33
RISPARMIO TOTALE (h/setup)	1:02:44	1:34:05	1:02:44	1:02:44	1:34:05	1:34:05	2:05:27	2:36:49	4:10:55
	1,05	1,57	1,05	1,05	1,57	1,57	2,09	2,61	4,18
Frequenza (n° setup/anno)	62	18	18	16	47	9	25	15	32
RISPARMIO ANNUO (h/anno)	64,82	28,23	18,82	16,73	73,70	14,11	52,27	39,20	133,82

Successivamente, è possibile quantificare il beneficio economico in termini di fatturato e valore netto aggiuntivi. Questa valutazione, tuttavia, va circoscritta alle linee con livello di saturazione elevato, poiché nel caso di livelli di saturazione più bassi una riduzione del tempo di setup può non implicare un aumento della produzione, con il conseguente beneficio economico ottenibile dalla vendita. In ogni caso, tuttavia, lo SMED permette di ottenere risparmi in termini di costi di setup, variabili in base ai consumi energetici di ogni linea produttiva e agli ammortamenti, e vantaggi legati alla standardizzazione del metodo di lavoro nello stabilimento.

In Tabella 7.7 sono riportati i livelli di saturazione approssimativi per le linee del reparto rigido equivalenti alla linea 12 in termini di struttura, considerando 310 giorni come 100% di saturazione, depurati di manutenzioni programmate, guasti lunghi e chiusure aziendali per un totale di 6-8 settimane all'anno.

Tabella 7.7 – volumi di budget 2022 delle linee produttive del reparto per classe di saturazione

Linea	Budget produzione (gg)	Saturazione
Linea 5	297	95,9%
Linea 6	296	95,5%
Linea 7	295	95,2%
Linea 8	236	76,1%
Linea 9	280	90,3%
Linea 10	245	79%
Linea 11	277	89,4%
Linea 12	298	96,1%
Linea 13	261	84,2%
Linea 14	257	83%

In base a questi valori, può essere verosimile una stima di fatturato e valore netto aggiuntivi sulle linee con saturazione superiore al 95%, ovvero le linee 5, 6, 7.

In Tabella 7.8, a partire dalle stime delle ore liberate in un anno di Tabella 7.6, ripetendo i ragionamenti presentati al Paragrafo 7.1.1 per la linea 12 sono stati stimati fatturato e valore netto aggiuntivi per ciascuna linea. Complessivamente, l'implementazione dello SMED sulle tre linee permetterebbe di ottenere un fatturato aggiuntivo di 74.493 €/anno e un valore netto aggiuntivo di 7.449 €/anno.

Tabella 7.8 - Simulazione dei benefici economici ottenibili dall'estensione degli interventi sul cambio diametro alle altre linee di estrusione del reparto

	LINEA 5	LINEA 6	LINEA 7
RISPARMIO ANNUO (h/anno)	64,82	28,23	18,82
Portata (kg/h)	330	625	125
Fatturato aggiuntivo (€/kg)	1,80 €	1,80 €	1,80 €
FATTURATO AGGIUNTIVO ANNUO (€/anno)	38.505,72 €	31.753,13 €	4.234,50 €
Margine di contribuzione netto (%)	10%	10%	10%
VALORE NETTO AGGIUNTIVO ANNUO (€/anno)	3.850,57 €	3.175,31 €	423,45 €

7.2 SVILUPPI FUTURI

Il progetto SMED presentato in questo elaborato non è da considerarsi concluso, e i risultati presentati non sono da considerarsi come punto di arrivo ma come punto di partenza per ulteriori sviluppi e miglioramenti.

7.2.1 Completamento dello SMED sulla linea 12

La prima strada da percorrere in futuro riguarda la conclusione della procedura di SMED sulla linea 12. In particolare, sono in programma le seguenti attività:

- estensione del primo step alle altre tipologie di setup sulla linea 12;
- conclusione del secondo step sulla linea 12, attraverso l'implementazione di tutte le modifiche tecniche pianificate;
- implementazione del terzo step sulla linea 12, con miglioramenti relativi alle attività di setup esterno.

È importante sottolineare che il secondo e il terzo step impattano in maniera trasversale su tutte le tipologie di setup della linea 12.

7.2.2 Realizzazione di un sistema di monitoraggio delle performance

Una volta completati gli step, è importante implementare un sistema di monitoraggio e valutazione delle performance. Seguendo la logica del ciclo PDCA, infatti, una volta definito lo standard, è fondamentale mantenerlo e, in seguito, migliorarlo. Per ottenere ciò, sono state già definite tre strade da intraprendere:

- Implementazione di audit 5S.
- Realizzazione di un cartellone dei setup per la raccolta e condivisione dei dati, di cui è riportato un esempio in Figura 7.2. L'obiettivo, in questo caso, è di realizzare un sistema visuale da posizionare in officina, che permetta di:
 - raccogliere dati sulla durata dei setup;
 - abituare il personale operativo al monitoraggio e alla condivisione dei risultati;
 - segnalare la presenza di eventuali problematiche in modo da individuare nuove opportunità di miglioramento.

DATA			ATTREZZAGGIO		PARTENZA E REGOLAZIONI					
LINEA	PRODOTTO A	PRODOTTO B	TIPOLOGIA DI CAMBIO	ORA INIZIO	ORA FINE	ORA INIZIO	ORA FINE	DURATA TOTALE SETUP	TARGET	EVENTUALI NOTE E RITARDI
12										

Figura 7.2 - Tabellone per il monitoraggio dei setup in officina

- Definizione di KPI (*Key Performance Indicators*). L'esempio più semplice di indicatore per la valutazione dei setup consiste nella misura della durata totale. Questo valore può essere estratto automaticamente dal software gestionale e visualizzato nel cruscotto per il controllo quotidiano delle performance operative (Figura 7.3).

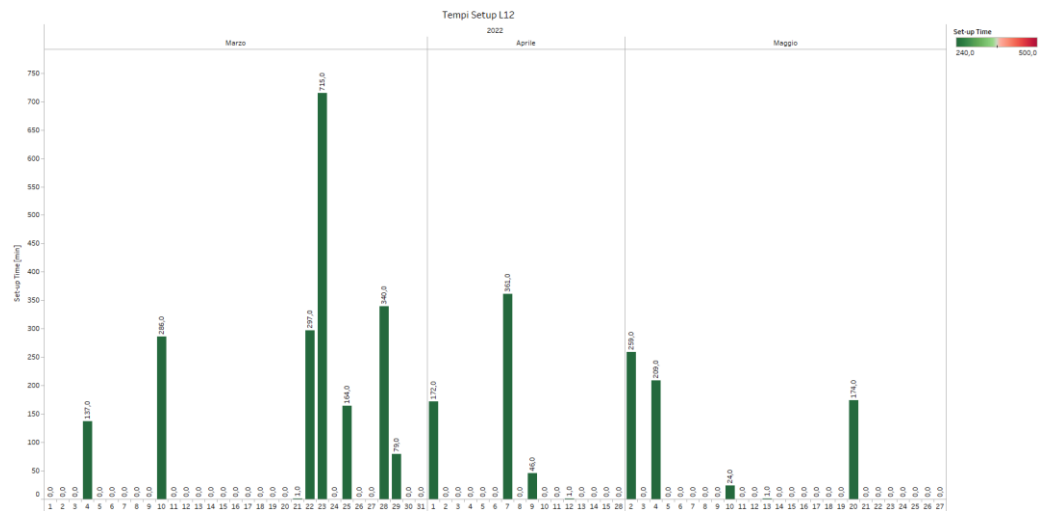


Figura 7.3 - Possibile modalità di visualizzazione dei dati grezzi sulla durata ufficiale dei cambi lavorazione nel cruscotto gestionale

7.2.3 Nuovi progetti

Come anticipato nel paragrafo precedente, l'implementazione dello SMED sulla linea 12 ha permesso di costruire un know-how tecnologico e metodologico estendibile al resto dello stabilimento. In quest'ottica, i prossimi passi prevedono:

- organizzazione di cantieri 5S nei tre reparti produttivi;
- implementazione del progetto anche alle linee 13 e 14, dedicate alla produzione di tubi con diametri maggiori rispetto alla linea 12. Qui i setup hanno durata molto lunga in quanto: le attrezzature sono più grandi e complesse e richiedono maggiore attenzione nella movimentazione e nel montaggio, e le velocità di produzione sono minori, rendendo la fase di partenza molto più lunga. L'implementazione dello SMED su queste linee permetterebbe di ridurre considerevolmente i costi di setup e l'impegno delle risorse, liberandole per altre attività a valore e facilitando così la gestione di frequenti setup nello stabilimento.

7.3 CONCLUSIONI

L'elaborato di tesi presentato ha avuto come obiettivo l'illustrazione di un progetto di miglioramento in ottica lean all'interno di un ambiente produttivo in cui le tematiche di lean production non erano ancora utilizzate nella pratica. Il progetto è stato costruito su tre obiettivi: la riduzione del tempo di setup interno del 50%, l'introduzione dei valori *lean* all'interno dello stabilimento e l'avviamento di un processo di attivazione e valorizzazione delle persone.

A valle dei risultati presentati nel Capitolo 7.1, è possibile affermare come questi tre obiettivi siano stati raggiunti.

In primo luogo, il tempo di setup interno è stato ridotto da 3 ore e 40 minuti a 2 ore e 10 minuti, per una riduzione percentuale del 41%. Con il completamento del secondo step attraverso l'implementazione di tutte le migliorie pianificate, di cui è già stata realizzata una parte, è possibile ridurre il tempo di setup di ulteriori 25 minuti circa, raggiungendo un tempo di fermo macchina di 1 ora e 45 minuti. Complessivamente, quindi, con i risultati del primo e del secondo step di SMED si ottiene una riduzione complessiva del tempo di setup interno del 52% rispetto alla situazione di partenza.

In secondo luogo, la realizzazione dello SMED su una linea pilota ha permesso di introdurre all'interno del team di progetto nuovi concetti e modalità di lavoro proprie del mondo *lean*: l'impostazione del progetto secondo un ciclo PDCA, i concetti di valore aggiunto e di muda, e la procedura della metodologia SMED stessa.

Infine, proprio queste novità hanno portato i membri del team ad un graduale cambio di mentalità che si è tradotto anche, nella pratica, in diverse modalità di lavoro e diversa organizzazione degli spazi.

Tali cambiamenti sono stati visibili e hanno fatto nascere curiosità anche in altri colleghi del personale operativo, aprendo così la strada per l'estensione del tema *lean* alle altre aree dello stabilimento.

Inoltre, le occasioni di lavoro in gruppo, come le sessioni di brainstorming, hanno dato l'opportunità ad ognuno di esprimere la propria opinione e le proprie idee, avviando una discussione costruttiva su problematiche e soluzioni. Questo ha permesso di eliminare il muda, inizialmente presente, del mancato sfruttamento della creatività dei dipendenti, e,

al contrario, ha permesso di creare un nuovo valore: quello del riconoscimento delle doti, delle idee e del contributo che ogni persona può dare per il miglioramento.

Il progetto si è concentrato sull'implementazione dei primi due step, lasciando per una seconda fase la chiusura dello SMED con la realizzazione del terzo step. Questo è dedicato alla riduzione del setup esterno, attraverso il miglioramento delle attività di preparazione e pulizia della attrezzature e lo snellimento della fase di regolazione delle macchine.

Come già esposto nell'elaborato, eventuali riduzioni della durata di quest'ultimo stadio sono ottenibili valutando tecnologie che permettano, per esempio, di effettuare la misurazione dei parametri (come spessore e ovalizzazione) in modo più rapido e accurato, oppure avviando operazioni di re-layout del magazzino-attrezzature nell'ottica di ridurre gli spostamenti e snellire la preparazione della linea. Interventi di questo genere richiedono elevati investimenti e lunghe tempistiche per l'acquisto e l'implementazione delle tecnologie. Per questo motivo è stata presa la decisione di posticipare le attività legate terzo step ad un secondo momento, concentrandosi invece sulle attività di attrezzaggio in modo da massimizzare le opportunità di miglioramento legate al setup interno.

La conclusione della procedura di SMED attraverso l'implementazione del terzo step, dunque, fa parte degli sviluppi pianificati per il futuro. Oltre a questo, la volontà dell'azienda è di avviare un percorso a lungo termine legato alla realizzazione di diversi progetti di miglioramento, tra i quali vi sono l'estensione dello SMED ad altre linee di produzione, l'organizzazione di un cantiere 5S nello stabilimento e la definizione di un cruscotto di KPI per il monitoraggio dei nuovi standard.

L'eliminazione degli sprechi e l'efficientamento della produzione attraverso questi interventi sono il primo passo di un percorso ancora più lungo e ambizioso, ovvero quello verso l'Industria 4.0.

BIBLIOGRAFIA

- Bonfiglioli Consulting. (2006). *Guardare oltre*. FrancoAngeli.
- Chakraborty, A. (2016). Importance of PDCA Cycle for SMEs. *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, pp. 13-17.
- Coletta, A. R. (2012). *The lean 3P Advantage*. CRC Press.
- Federici, C., & Giannotta, G. (1991). *Polimeri Termoplastici*. Tecniche Nuove.
- Fitt S.p.A. (2021). *Materiale ad uso interno*.
- Galgano, A. (2002). *Le tre rivoluzioni*. Guerini e Associati.
- Gåsvaer, D., & von Axelson, J. (2012). Kaikaku - Radical improvement in production. *International Conference on Operations and Maintenance* (p. 758-765). World Academy of Science, Engineering and Tech.
- Goff, J., & Whelan, T. (2000). *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*. Dynisco.
- Graziadei, G. (2006). *Lean Manufacturing. Come analizzare il flusso del valore per individuare ed eliminare gli sprechi*. Hoepli.
- Hellerich, W., Harsch, G., & Haenle, S. (1989). *Prontuario delle materie plastiche*. Tecniche Nuove.
- Imai, M. (2015). *Gemba Kaizen*. FrancoAngeli.
- Ingaldi, M., & Jagusiak-Kocik, M. (2014). Lean tool used in the automotive industry. *Production Engineering Archives*, Vol. 4, No. 3, pp. 7-10.
- Jagusiak-Kocik, M. (2017). PDCA cycle as a part of continuous improvement in the production company - a case study. *Production Engineering Archives*, Vol. 14, pp. 19-22.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Pearson.
- Liker, J., & Attolico, L. (2014). *Toyota Way*. Hoepli.

- Martinazzo, D., & Frescura, E. (2020). *Guida pratica per applicare il Lean Six Sigma in azienda: Green Belt*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press.
- Palmer, V. (2001). Inventory Management Kaizen. *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology* (p. 55). Austin, TX, USA: EMAT.
- Panizzolo, R. (2019). *Dispense del corso di Gestione Snella dei Processi*. Università degli Studi di Padova.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see*. Productivity Press.
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge, Massachusetts & Norwalk, Connecticut: Productivity Press.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., Danese, P., Romano, P., & Vinelli, A. (2019). *Gestione delle operations e dei processi*. Pearson.
- Toniolo, N. (2012). *Modifiche strutturali basate su nanomateriali per condotte in PVC destinate al trasporto di fluidi in pressione*. Università degli Studi di Padova.
- Wilkes, C. E., Summers, J. W., & Daniels, C. A. (2005). *PVC Handbook*. Hanser.
- Womack, J., & Jones, D. (1997). *Lean Thinking*. Guerini e Associati.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *La macchina che ha cambiato il mondo*. Biblioteca Universale Rizzoli.