

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

*Dai flussi produttivi alle possibilità e criticità dell'automazione
delle movimentazioni in ambiente promiscuo:
un'analisi verso la riduzione delle attività non a valore aggiunto*

Relatore

Ch. Mo prof. Alessandro Persona

Laureando

Giovanni Battista Suppiej

Anno Accademico 2017-2018

A Chiara, esempio di caparbità.

Ringraziamenti

Per il compimento di questo lavoro, conclusione del mio percorso universitario, mi sento di ringraziare innanzitutto il professor Persona per la professionalità e la prontezza con cui ha accettato la mia proposta e stimolato le mie ricerche.

In secondo luogo, l'Ing. Marcello Furlati per avermi incentivato e insegnato molto con entusiasmo, competenza e curiosità scientifica.

Un grazie di cuore alla mia famiglia ed in particolar modo ai miei genitori per avermi dato l'opportunità di portare a termine questa esperienza e per avermi sempre sostenuto nell'affrontarla.

Infine, un ringraziamento speciale a Diletta per aver condiviso con me il percorso fatto in questi anni supportandomi e sopportandomi.

Sommario

Il seguente lavoro può essere suddiviso in tre parti principali, ad ognuna delle quali è possibile collegare un obiettivo ben preciso che ci si è prefissati prima di iniziare. Nella prima parte è descritta in maniera approfondita l'analisi dei flussi produttivi delle tre principali famiglie di prodotto presenti in Sit S.p.A., l'obiettivo di questa fase è quello di fotografare lo stato attuale della produzione (AS IS) e di valutare/proporre dei cambiamenti per provare a migliorare i flussi produttivi in uno stato futuro (TO BE). La seconda parte analizza le movimentazioni dei materiali interne allo stabilimento ed ha come obiettivo quello di valutare quale tra le diverse movimentazioni dovrebbe avere la priorità per una possibile automazione, tenendo in considerazione i volumi da movimentare, i costi dell'automazione e la facilità di automazione. Nella terza parte, infine, si è cercato di approfondire l'interazione dei carrelli automatici in un ambiente promiscuo, ossia un ambiente con altri carrelli ed operatori. Questo argomento, ad oggi, non ha ancora trovato riscontro né teorico, in letteratura, né pratico. L'obiettivo di quest'ultima parte è quindi quello di provare a stimare un coefficiente di riduzione delle performance dei carrelli automatici da tenere in considerazione sia in fase di progettazione/dimensionamento della flotta di carrelli, sia in fase di valutazione degli investimenti da sostenere.

INDICE

| | |
|---|----------------|
| 0 INTRODUZIONE | pag. 1 |
| 1 SIT S.p.A. | pag. 5 |
| 1.1 Una panoramica di SIT S.p.A. | pag. 5 |
| 1.2 Il Plant Rovigo1 | pag. 8 |
| 2 I PROCESSI PRODUTTIVI | pag. 9 |
| 2.1 Il Processo produttivo dei pressocolati | pag. 9 |
| 2.2 Altri processi produttivi | pag. 10 |
| 3 ANALISI DEI FLUSSI | pag. 11 |
| 3.1 Individuazione famiglie di prodotto di interesse | pag. 11 |
| 3.2 Flusso produttivo delle tre famiglie principali | pag. 13 |
| 3.2.1 Le Unità di Carico utilizzate nel flusso produttivo | pag. 14 |
| 3.2.2 SIGMA | pag. 16 |
| 3.2.3 EUROSIT | pag. 18 |
| 3.2.4 DELTA | pag. 19 |
| 3.3 Flusso informativo delle tre famiglie principali | pag. 20 |
| 3.3.1 SIGMA | pag. 20 |
| 3.3.2 EUROSIT | pag. 21 |
| 3.3.3 DELTA | pag. 21 |
| 3.4 Value Stream Map delle tre famiglie principali (stato attuale) | pag. 21 |
| 3.5 Spaghetti chart delle tre famiglie principali | pag. 29 |
| 3.6 Individuazione KPI di interesse | pag. 37 |
| 4 STATO FUTURO | pag. 39 |
| 4.1 Problematiche individuate e soluzioni proposte | pag. 39 |
| 4.2 Value Stream Map delle tre famiglie principali (stato futuro) | pag. 41 |
| 4.3 Kanban SIGMA | pag. 49 |
| 4.3.1 Kanban SIGMA finiti | pag. 50 |
| 4.3.2 Kanban SIGMA grezzi | pag. 52 |
| 4.3.2.1 Calcolo lotto economico in fonderia | pag. 53 |
| 4.3.2.2 Allocazione codici di livello9 nei nuovi magazzini. | pag. 58 |
| 5 ANALISI DELLE MOVIMENTAZIONI INTERNE | pag. 61 |
| 5.1 Calcolo movimentazioni interne | pag. 61 |
| 5.2 Classificazione movimentazioni interne..... | pag. 63 |
| 5.3 Approfondimento su una possibile automazione | pag. 65 |

| | | |
|----------|--|----------------------|
| 6 | CARRELLI AUTOMATICI IN AMBIENTE PROMISCUO | |
| | SICUREZZA, COMPORTAMENTO E SOLUZIONI | pag. 67 |
| | 6.1 Principali problemi di sicurezza e soluzioni adottate |pag. 67 |
| | 6.2 Riduzione performance carrello automatico dovuta | |
| | alla promiscuità dell'ambiente | pag. 67 |
| | 6.3 Un possibile modello per stimare la riduzione delle | |
| | performance dovuta alla promiscuità dell'ambiente |pag. 69 |
| 7 | CONCLUSIONI | pag. 73 |
| | Bibliografia |pag. 75 |

0 Introduzione

L'Industry 4.0 è l'argomento che negli ultimi tempi ha occupato maggiormente la scena del mondo industriale ed accademico. I termini Industria 4.0, Fabbrica Intelligente, Smart Manufacturing, ruotano attorno ad un insieme di innovazioni tecnologiche ed informatiche per l'industria manifatturiera, che saranno alla base della così detta quarta rivoluzione industriale. La digitalizzazione e l'interconnessione sono gli elementi che hanno sancito l'inizio di questa nuova rivoluzione industriale, dopo l'invenzione della macchina a vapore, della scoperta dell'elettricità e dell'introduzione dei controlli elettronici.

“L'Industry 4.0 è l'insieme di tecnologie che accompagneranno la cosiddetta quarta rivoluzione industriale, basata sulla digitalizzazione e interconnessione di tutte le unità produttive presenti all'interno di un sistema economico”, questa è la definizione del fenomeno di cui si tratta data dalla società di consulenza Roland Berger. L'Industry 4.0 va oltre l'automazione e la digitalizzazione della fabbrica, infatti rappresenta anche un vero e proprio nuovo modello economico per l'industria. Come viene detto dalla società di consulenza Staufen in una ricerca del 2015 "L'Industria 4.0 rappresenta un cambio di paradigma dalla produzione 'centralizzata' verso quella 'decentralizzata', reso possibile dai progressi tecnologici che costituiscono un ribaltamento della logica dei processi produttivi. Detto in altre parole, tutto ciò significa che i macchinari industriali non 'processeranno' più semplicemente il prodotto, ma che il prodotto comunicherà con la macchina per dirle cosa fare esattamente”.

In un articolo pubblicato dal Boston Consulting Group vengono identificati nove pilastri portanti dell'Industry 4.0: Big Data & Analytics, robot autonomi, simulazioni, integrazione orizzontale e verticale dei sistemi informativi, Industrial Internet of Things, cybersecurity, cloud, additive manufacturing e augmented reality. Molte di queste tecnologie esistono da tempo e vengono già usate nell'industria manifatturiera, la novità infatti riguarda il modo in cui queste tecnologie cambieranno le relazioni e la comunicazione tra fornitori-produttori-clienti, tra uomo-macchina, tra macchina-macchina e tra uomo-uomo.

L'obiettivo dell'Industria 4.0 non è l'ottimizzazione delle singole stazioni del processo produttivo ma è quello di ottenere un flusso produttivo e informativo integrato, automatizzato e più efficiente, cioè una catena del valore integrata. Tutto ciò porterà ad avere dei benefici come la riduzione dei magazzini di

semilavorati, miglior customizzazione del prodotto, lotti di produzione più piccoli e personale con competenze di più alto livello.

L'Industry 4.0 avrà forti impatti sia sul sistema-impresa, il sistema che comprende l'organizzazione dei processi aziendali e le relazioni con gli stakeholder interni ed esterni all'azienda, sia sul sistema economico a livello globale.

Secondo quanto riporta la società di consulenza BCG, infatti, a livello aziendale *“l'Industry 4.0 porterà con sé una trasformazione che non coinvolgerà solo i processi di produzione, ma tutta la catena del valore di un'azienda manifatturiera, dalla progettazione al servizio post-vendita. Lungo la catena del valore i processi di produzione saranno ottimizzati attraverso un'integrazione tra i sistemi informativi. I prodotti, i processi di produzione e l'automazione di produzione verranno progettati e commissionati in modo virtuale attraverso un unico processo integrato e la collaborazione di produttori e fornitori. Grazie a robot e macchine intelligenti che potranno comunicare in modo autonomo, sarà possibile gestire i processi di produzione in modo ancor più flessibile, garantendo anche la produzione di piccoli lotti.*

I macchinari saranno in grado di auto-apprendere e auto-adattarsi, ad esempio aggiustando i propri parametri in base a determinate caratteristiche del semilavorato rilevate durante il processo di produzione. In generale queste tecnologie potranno analizzare i dati dalle macchine per prevedere eventuali problemi, auto-configurarsi e adattarsi ai cambiamenti, favorendo processi più rapidi, flessibili ed efficienti”.

Da uno studio della società Roland Berger emerge, invece, che a livello globale *“l'Industry 4.0 trasformerà il modello economico dei Paesi occidentali e il meccanismo di creazione di valore alla base dello stesso, aumentando la redditività e l'efficienza del capitale impiegato del Sistema-Paese. In altre parole, contribuirà a cambiare le regole del gioco del modello economico industriale, attualmente basato sul principio della riduzione del costo unitario del prodotto attraverso l'aumento dei volumi. Fino a oggi, infatti, le aziende manifatturiere si sono concentrate soprattutto sull'ottimizzazione dei costi e dei prezzi dei prodotti, piuttosto che sull'ottimizzazione del capitale necessario per realizzarli. Questo paradigma, che ha favorito l'emergere di fenomeni quali la produzione di massa, la delocalizzazione e l'automazione industriale, oggi non è più sostenibile a causa del clima di insicurezza relativamente ai volumi di*

vendita e alla forte differenziazione delle esigenze e delle aspettative dei consumatori. [...] Il nuovo paradigma dell'Industry 4.0 sposterà l'attenzione dalle economie di scala e dalla riduzione del costo del lavoro, alla flessibilità e alla customizzazione di prodotti e servizi, come principale fonte di valore aggiunto ed elemento di competitività”.

In quest’ottica l’Industry 4.0 potrebbe essere, secondo l’opinione di molti esperti, la soluzione per gestire i cambiamenti e le complessità del mercato attuale, dall'aumento della competitività alla volatilità della domanda, dall'esigenza di maggiore flessibilità produttiva alla frammentazione della supply chain. La sfida di oggi, quindi, è quella di apprendere ed ampliare la conoscenza di queste tematiche per gestire al meglio la transizione dal vecchio al nuovo paradigma sfruttando maggiormente le opportunità che si presentano.

Sulla base di queste considerazioni, la presente tesi, svolta nell’ufficio Ingegneria di Stabilimento e Servizi Tecnici presso il Plant Rovigo1 di SIT S.p.A., partendo dalle analisi dei flussi di produzione di determinate famiglie di prodotto di interesse, eseguite attraverso le tecniche del Value Stream Mapping e della Spaghetti Chart, si pone l’obiettivo di arrivare a proporre una possibile automazione delle movimentazioni all’interno dello stabilimento, nell’ottica di una riduzione delle attività non a valore aggiunto o attività di supporto per gli operatori e dell’integrazione tra i sistemi informativi dei diversi processi produttivi attraverso l’implementazione di un MES (progetto, questo, già avviato dall’azienda).

Quanto sopra, successivamente al miglioramento e alla razionalizzazione dei flussi produttivi e al calcolo/valutazione dell’importanza delle diverse movimentazioni sia in termini di volumi che di difficoltà di automazione.

Un ulteriore obiettivo prefissato è quello di attuare un focus sull’interazione tra il sistema automatico di movimentazione e gli operatori umani in un ambiente produttivo promiscuo. Tema, quest’ultimo, che, ad oggi, vede rilevanza quasi solamente a livello teorico e per il quale si vuole arrivare a dare un prospetto più pratico e calato nel contesto aziendale di riferimento.

Per completezza di esposizione:

Il MES nel corso degli anni si è sicuramente evoluto e, ad oggi, ricopre un ruolo fondamentale in ambienti produttivi strutturati e di dimensioni rilevanti. Non svolge più soltanto un ruolo di interfaccia e collegamento tra PLC della macchina e sistema gestionale dell’azienda, ma anche un ruolo attivo nella

comunicazione di informazioni ed istruzioni agli operatori. Basti pensare che in alcune realtà è il MES a comunicare all'operatore quali e quanti pezzi prelevare e portare alle linee di assemblaggio ed è lo stesso ad accendere segnali luminosi in caso di condizioni di lavoro al di fuori dalle specifiche. Nell'ottica di una automazione di una movimentazione, potrebbe essere il MES a comunicare all'operatore di chiamare un AGV/LGV tramite un apposito comando, quindi lo scheduling di chiamata dei carrelli automatici potrebbe essere gestito da questo software. Guardando al MES in un contesto più ampio, questo potrebbe permettere un controllo in feed back della produzione. Essendo collegato al PLC e al gestionale, potrebbe facilmente confrontare gli ordini e le richieste pianificati a sistema e, confrontandole con le scorte, il WIP e gli scarti, capire se la produzione sia allineata o meno. Il MES ricopre quindi un ruolo importante e nell'ottica di una fabbrica totalmente integrata avrà un ruolo sempre più rilevante.

CAPITOLO 1

SIT S.p.A.

1.1 Una panoramica di SIT S.p.A.

SIT è un'azienda multinazionale che sviluppa e produce dispositivi per la misura dei consumi e sistemi per la sicurezza, il comfort e l'alto rendimento degli apparecchi domestici a gas.

La sede centrale si trova a Padova, dove SIT è stata fondata nel 1953 dai fratelli Pierluigi e Giancarlo de' Stefani; ad oggi SIT conta 4 sedi di Ricerca e Sviluppo, 8 siti produttivi, 23 sedi commerciali tra Europa, America, Asia e Australia ed oltre 1900 dipendenti.



Figura 1.1 SIT nel mondo

SIT è organizzata in due divisioni:

- SIT Heating che comprende i componenti e i sistemi per il controllo, la regolazione e la sicurezza del gas negli apparecchi per il riscaldamento domestico, negli impianti di cottura e ristorazione collettiva e negli elettrodomestici;
- METERSIT Smart Gas Metering che comprende i contatori gas intelligenti telegestibili che forniscono direttamente la misura dei consumi in standard m³.

Come si evince dai grafici sottostanti, gli ottimi risultati ottenuti da SIT negli ultimi anni sono frutto di una strategia aziendale vincente, volta al continuo e costante investimento in qualità ed innovazione per costruire un know-how unico, ampliare la gamma dei prodotti offerti e conquistare nuovi mercati.

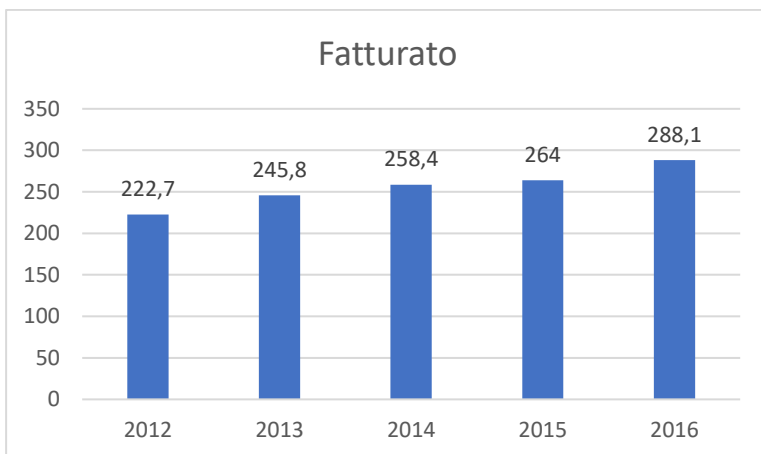


Figura 1.2 Fatturato SIT

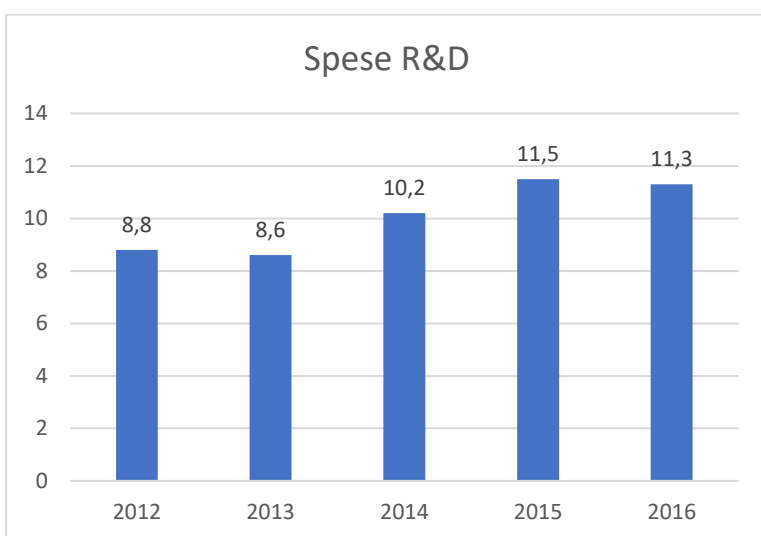


Figura 1.3 Spese in ricerca e sviluppo SIT

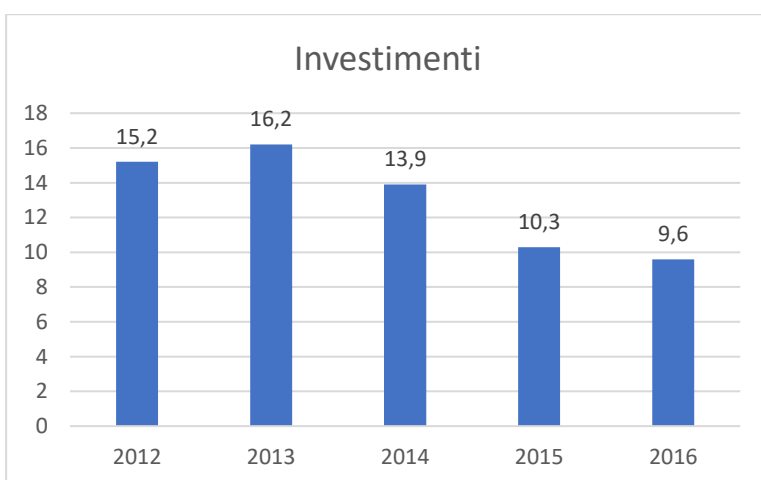


Figura 1.4 Investimenti SIT

Tale strategia, quindi, ha portato SIT ad avere quote di mercato particolarmente importanti in tutti i mercati in cui compete e a diventare leader mondiale nella produzione di valvole multifunzionali per il controllo, la regolazione e la sicurezza degli apparecchi alimentati a gas.

SIT produce circa 25 milioni di prodotti ogni anno adatti ad equipaggiare una vasta gamma di applicazioni: caldaie, generatori d'aria calda, radiatori, stufe, caminetti, asciugatrici, scaldabagni, impianti di cottura, impianti di riscaldamento. SIT opera in un mercato B2B ed ha come principali clienti aziende di primissimo piano come Bosch, Viessmann ed Electrolux.

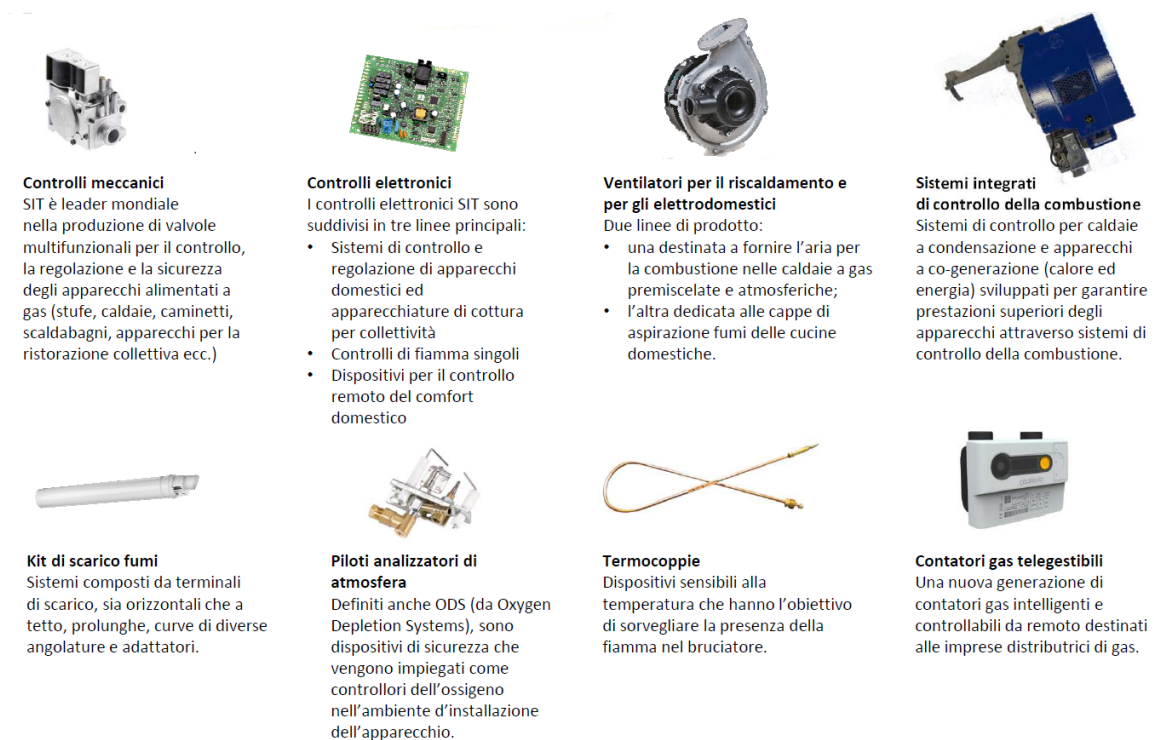


Figura 1.5 Gamma prodotti SIT

Il punto di forza dei prodotti SIT non risiede tanto nella fase di ricerca e sviluppo o in quella di produzione, quanto in quella di controllo qualità e collaudo. Proprio per questa particolare attenzione di SIT, i suoi prodotti vantano la fama di essere altamente affidabili e performanti.

1.2 Il Plant Rovigo1



Figura 1.6 Plant Rovigo1

Il plant Rovigo1 è la fonderia del gruppo e fornisce direttamente gli stabilimenti di assemblaggio di SIT situati a Rovigo, in Romania, in Messico e in Cina. All'interno dello stabilimento ci sono due flussi principali: quello di produzione dei pressocolati in lega di alluminio per i prodotti SIT, che inizia dal lingotto e termina con il corpo di alluminio lavorato

pronto per l'assemblaggio, e quello di produzione e assemblaggio di termocoppie, sensori e gruppi magnetici che serviranno ad equipaggiare i vari prodotti.

Lo stabilimento, ad oggi, produce sulla base di previsioni fatte dall'ufficio di pianificazione, la domanda però è molto alta e non segue andamenti particolari. Proprio per questo le analisi di forecasting non sono sempre azzeccate e l'azienda si trova ad "inseguire" la domanda. Lo stabilimento di Rovigo1 lavora a pieno ritmo, sette giorni in settimana, ventiquattro ore su ventiquattro, su tre turni lavorativi. Ci sono poi alcuni reparti che lavorano sei giorni su sette per permettere manutenzioni e quant'altro.

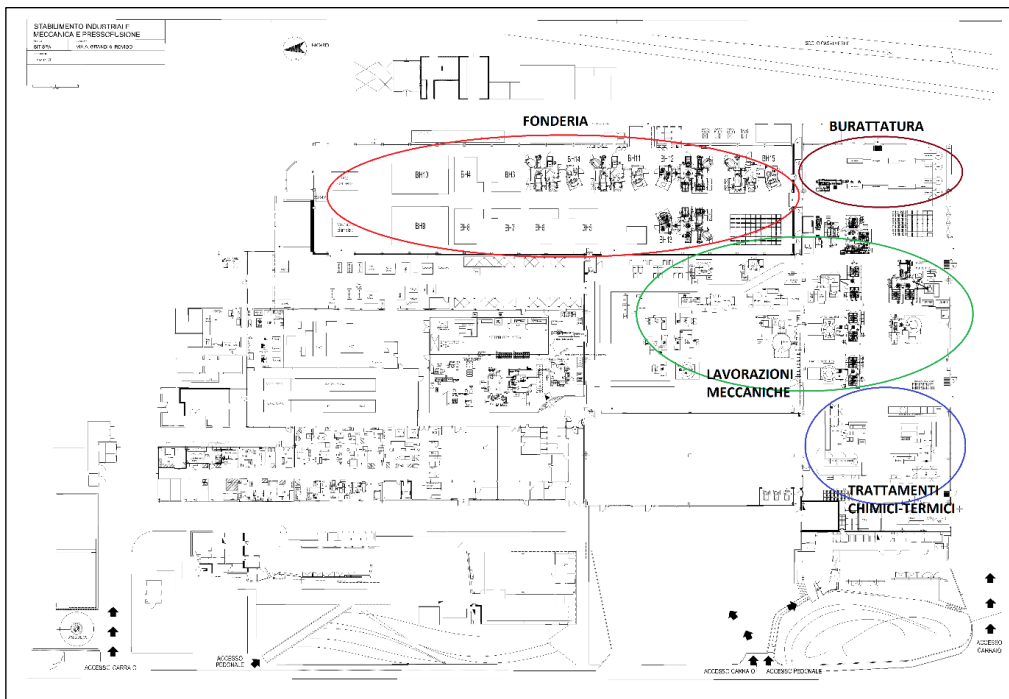


Figura 1.7 Layout attuale Plant Rovigo

CAPITOLO 2

I Processi produttivi

2.1 Il Processo produttivo dei pressocolati

Il processo produttivo dei pressocolati inizia nel reparto di fonderia dove avviene la *fusione dell'alluminio* a partire da lingotti o scarti riciclati internamente, in un forno fusorio a torre Striko Westofen. Una volta fuso, l'alluminio viene spillato, tramite il meccanismo di *basculamento* , nelle siviere in materiale refrattario. Prima di essere trasferito nei forni di mantenimento a bordomacchina delle 15 isole di pressocolata, situate nel reparto di fonderia, l'alluminio liquido viene degasato con l'aggiunta di appositi sali e l'insufflaggio di gas inerte.

Tramite il processo di *pressocolata* , ossia l'iniezione dell'alluminio fuso direttamente in uno stampo a 2 o 4 cavità tramite il movimento di un pistone, viene prodotto velocemente un grandissimo volume di getti. Le isole sono inoltre dotate di apposite trincee in grado di tagliare tutto il materiale superfluo che non viene così fatto avanzare verso i reparti di lavoro ma viene immesso nel flusso di riciclo.

A seguire si ha un processo di *burattatura* , un trattamento meccanico sui pressocolati che ha lo scopo di eliminare le bave e le piccole imperfezioni. I corpi vengono inseriti in ceste contenenti coni (buratti) in resina, tensioattivo ed acqua. In uscita dai buratti i pezzi vengono lavati e asciugati dentro dei forni elettrici per evitare la formazione di ossido. Successivamente vengono raffreddati perché sia possibile una ripresa manuale di sbavatura in alcuni punti critici. I pressocolati, poi, vengono avanzati verso i reparti di lavorazione meccanica.

La lavorazione meccanica avviene su macchine ad asportazione di truciolo, con olio per lubrificazione e raffreddamento dell'utensile ed evacuazione del truciolo stesso. L'olio da taglio usato è a bassa viscosità e viene filtrato in apposite apparecchiature con farine fossili. Le lavorazioni sono eseguite in due reparti differenti: transfer e centri di lavoro. Nel reparto *transfer* i pressocolati vengono lavorati da macchine completamente robotizzate, dedicate quasi esclusivamente ad un solo tipo di prodotto. Un robot antropomorfo provvede al caricamento del pezzo su un'apposita morsa girevole della tavola rotante che permette la lavorazione su più lati. Il pezzo viene quindi lavorato automaticamente dalle varie postazioni che eseguono forature, filettature, rifiniture ed alesature. I *centri di lavoro* sono dedicati a lavorazioni meccaniche di asportazione di truciolo come avviene per le macchine transfer, con la differenza che possono eseguire

lavorazioni su diverse tipologie di prodotti in alluminio e le macchine sono caricate da un operatore.

Dopo la lavorazione meccanica, i pezzi subiscono dei trattamenti chimico-fisici che consistono in processi di lavaggio, sbavatura termica e passivazione. Inizialmente i pressocolati vengono *sgrassati* con solvente per eliminare oli ed altre impurità superficiali in macchine a ciclo completamente chiuso in modo che non siano emessi vapori nell'ambiente di lavoro e all'esterno. La *sbavatura termica*, invece, viene utilizzata per togliere le microbave di lavorazione meccanica e le piccole particelle di alluminio non rimosse dal trattamento precedente. I pezzi entrano all'interno di una camera chiusa dove viene fatta esplodere una miscela di gas in rapporto stechiometrico che porta le microbave e le particelle a sublimazione. La fase di *passivazione*, infine, serve a prevenire l'ossidazione dei pezzi prodotti ed è realizzata attraverso un impianto automatico. Essa viene eseguita in apposita vasca con soluzione acquosa di sali di cromo. Successivamente i pezzi sono risciacquati con acqua ed infine asciugati con processo di riscaldamento a vapore e a vuoto.

2.2 Altri processi produttivi

La produzione di termocoppie invece avviene in un reparto attiguo e le principali lavorazioni svolte consistono in: taglio del tubo di rame e saldature dei vari componenti della termocoppia effettuate su macchina dedicata. A seconda delle personalizzazioni, le termocoppie vengono trattate in apposito locale con trattamenti di cromatazione, ramatura o alluminatura con piccolo forno ad alluminio.

I gruppi magnetici, invece, vengono assemblati partendo da componenti semilavorati o finiti; il 90% del materiale è costituito da componenti metallici non ferrosi, il rimanente da componenti in plastica o gomma. Sono presenti nel reparto due impianti di lavaggio per la deceratura di minuterie metalliche e per il lavaggio finale dei gruppi assemblati.

CAPITOLO 3

Analisi dei flussi

3.1 Individuazione famiglie di prodotto di interesse

Come è già stato detto, all'interno del Plant Rovigo1, sono presenti due flussi principali dei materiali, quello di produzione dei pressocolati (dal lingotto di alluminio al corpo pressocolato pronto per l'assemblaggio) e quello di assemblaggio di termocoppie, gruppi magnetici ed elementi. L'intero progetto di tesi è partito con l'individuazione delle famiglie di prodotto più importanti sia dal punto di vista dei volumi sia da quello del valore. Tutto ciò è stato fatto per capire quali famiglie di prodotto analizzare e per poter valutare flussi che fossero significativi per l'azienda. Si sono quindi analizzati i dati relativi alle spedizioni settimanali dell'ultimo anno (marzo 2017-marzo 2018) in uscita dal Plant Rovigo1 verso gli stabilimenti di assemblaggio. Il risultato ottenuto è stato l'individuazione del gruppo dei pressocolati come gruppo con maggior impatto, rappresentante il 70% dei volumi ed oltre 23 milioni di euro di valore.

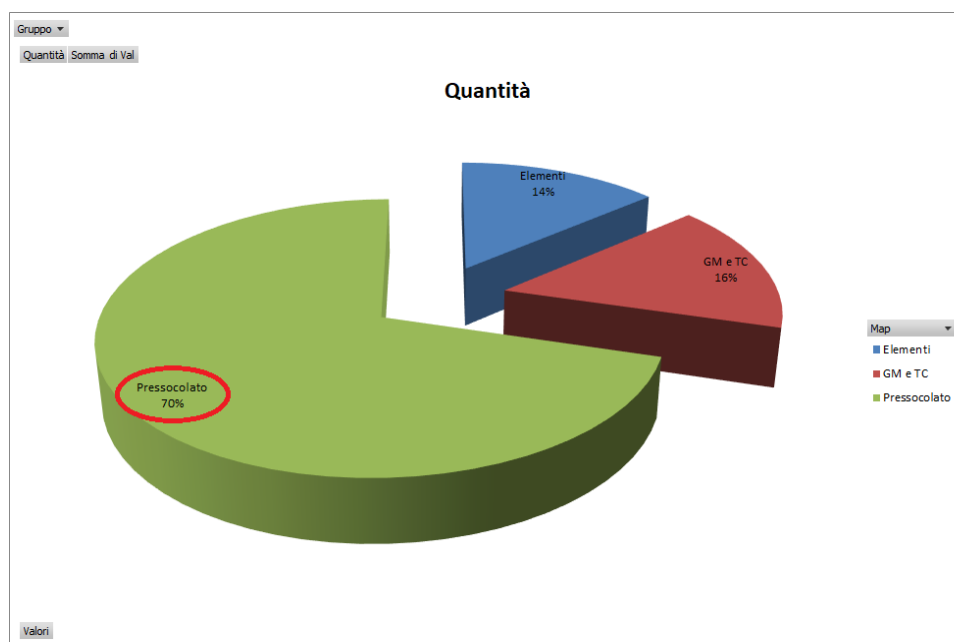


Figura 3.1 Grafico volumi principali famiglie di prodotto

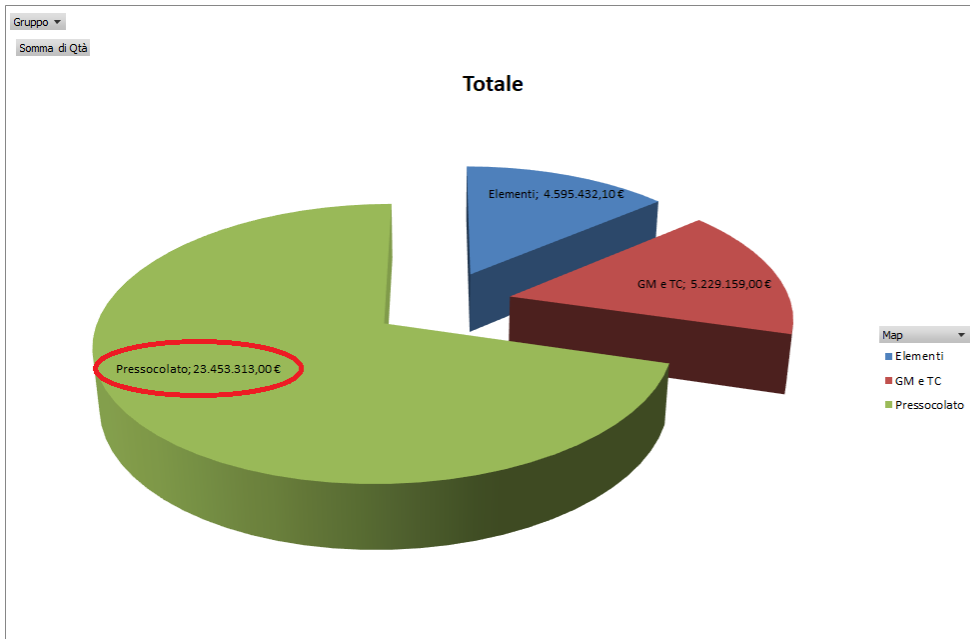


Figura 3.2 Grafico valore economico principali famiglie di prodotto

Analizzando nel dettaglio la famiglia dei pressocolati si è potuto notare come le tre famiglie dei corpi valvola SIGMA, EUROSIT e DELTA rappresentino più del 37% dei volumi produttivi e circa 17 milioni di euro di valore.

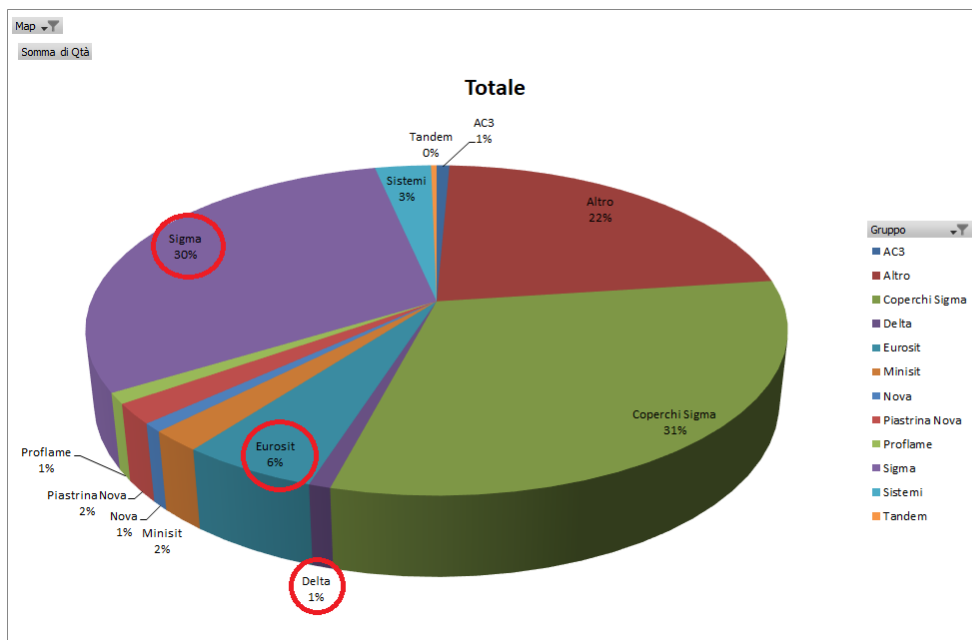


Figura 3.3 Grafico volumi famiglia pressocolati

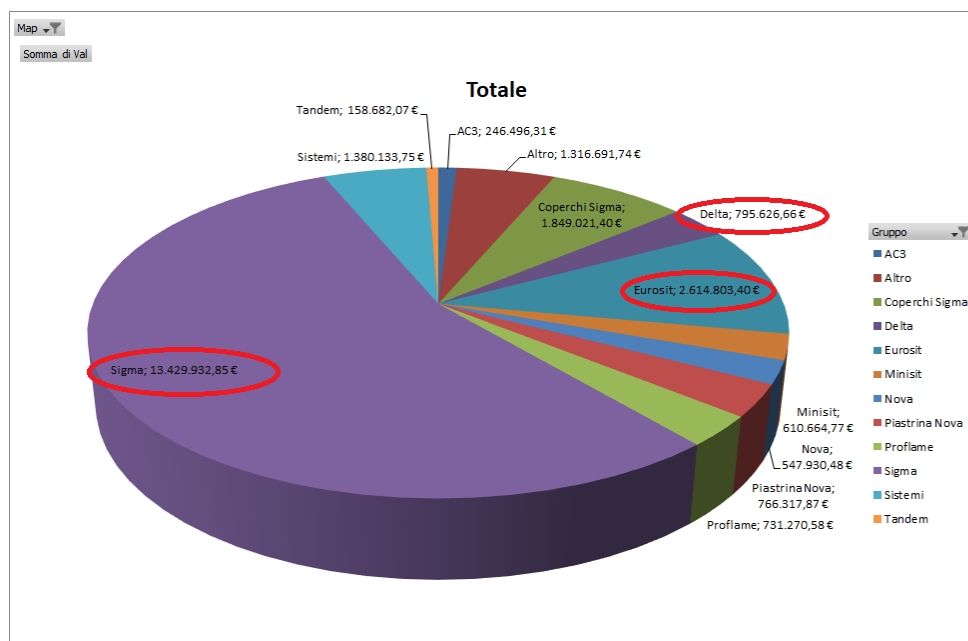


Figura 3.4 Grafico valore economico famiglia pressocolati

I volumi produttivi per i tre tipi di prodotto sono pari a più di 7 milioni di pezzi per SIGMA, 1,3 milioni di pezzi per EUROSIT e circa 200 mila pezzi per DELTA. Sono questi volumi che negli ultimi anni stanno seguendo un trend crescente e che si prevede continueranno a crescere.

La grande maggioranza dei pezzi appartiene alla famiglia SIGMA i cui 7 milioni di pezzi sono suddivisi in 61 codici di prodotti finiti identificati come livelli7. Di questi, 18 codici fanno il 94% della produzione, altri 24 codici solo lo 0,5%.

I livelli7, o prodotti finiti, derivano dai livelli9, o prodotti grezzi. Nel livello9 di SIGMA ci sono 29 codici di cui 9 fanno il 90% della produzione ed altri 9 solamente lo 0,2%. Si è quindi in una situazione molto disomogenea, con prodotti altorotanti ed altri bassorotanti, che rende difficile la definizione del mix produttivo e la gestione delle scorte a magazzino.

Anche EUROSIT e DELTA sono suddivise in livelli7 e livelli9, ma la numerosità dei codici finiti e grezzi è decisamente inferiore.

All'interno di SIT i corpi valvola equipaggiati ed assemblati, vengono identificati come livelli1.

3.2 Flusso produttivo delle tre famiglie principali

Si vedano ora nel dettaglio i flussi produttivi delle tre famiglie dei corpi valvola che risultano molto simili per la fase di fonderia, ma che differiscono grandemente dalle lavorazioni meccaniche in poi. Prima, per maggiore chiarezza

di esposizione, si descrivono le Udc impiegate per la movimentazione dei materiali durante la produzione.

3.2.1 Le Unità di Carico utilizzate nel flusso produttivo

Nella fase produttiva dei corpi valvola i materiali si muovono lungo il processo produttivo posizionati in diverse Udc a seconda della fase di processo e della macchina in cui devono essere lavorati o da cui escono. Le Udc sono sostanzialmente simili per le tre famiglie di corpi valvola, differiscono solamente nella capacità. Bisogna fare attenzione, però, perché le Unità di Carico e le Unità di Movimentazione non corrispondono, infatti ad ogni movimentazione vengono mosse più Udc.

Gabbia metallica per la fonderia



Figura 3.5

È la prima Udc in cui vengono posizionati i pezzi grezzi. Viene riempita a bordo pressa in maniera automatica o manuale ed è una gabbia metallica impilabile e non collassabile. La gabbia può contenere o 384 pz SIGMA o 1360 pz EUROSIT o 288 pz DELTA. Le gabbie vengono movimentate tre alla volta.

Termoformato per le lavorazioni meccaniche e i trattamenti termici

È un vassoio di plastica, impilabile ma non collassabile, che viene riempito alla fine della linea di burattatura dagli operatori. Ogni vassoio tiene 45 pz sia per SIGMA che per EUROSIT. I termoformati si muovono in pedane da quindici vassoi l'una (675pz), dalla burattatura alle transfer di lavorazione meccanica, e in pedane da dieci vassoi (450pz), dalle transfer ai trattamenti termici. La pedana di termoformati è l'input per le lavorazioni meccaniche e per i trattamenti termici.



Figura 3.6

Cesta metallica per il lavaggio

È una semplice cesta metallica impilabile e non collassabile. Viene riempita o in modo automatico in uscita dalle transfer o in modo manuale dagli operatori in uscita dai centri di lavoro per poi entrare nelle lavatrici. Può contenere 48 pz sia per SIGMA che per EUROSIT e 37 pz per DELTA. Anche le ceste vengono movimentate su pedane contenenti dodici ceste ciascuna.



Figura 3.7

Cestone metallico per la passivazione



Figura 3.8

È un cestone dalla forma cilindrica, non impilabile e non collassabile. Viene riempito in maniera automatica dopo la fase di sbavatura termica e viene dato in ingresso alla fase di passivazione. Contiene o 264 pz SIGMA, o 290 pz EUROSIT o 260 pz DELTA. I cestoni vengono movimentati quattro alla volta verso il magazzino.

Martini per le spedizioni di SIGMA ed EUROSIT

È una scatola di plastica impilabile e non collassabile. Viene riempita manualmente dopo il controllo visivo ed è l'input per i sistemi di assemblaggio. Un Martini può contenere dai 12 ai 20 pz SIGMA a seconda del codice e 35 pz EUROSIT. I martini vengono movimentati su bancali con 48 scatole ciascuno.



Figura 3.9



Cartone per le spedizioni della DELTA

È una scatola di cartone, impilabile e collassabile, riempita manualmente dagli operatori. Le scatole vengono poi spedite su bancali contenenti 28 cartoni. In ogni scatola di cartone vengono imballati 16 pz DELTA.

Figura 3.10

3.2.2 SIGMA

Il processo produttivo inizia con la fusione dell'alluminio primario e secondario nel forno fusorio a torre, da qui l'alluminio liquido, dopo essere stato degassato, viene trasferito con le apposite siviere, nei forni di mantenimento a bordo macchina delle presse. Per la produzione di tutti i codici della famiglia SIGMA vengono impiegate 6 presse su cui sono montati stampi a 2 o a 4 cavità, a seconda del tipo di prodotto che si vuole.

I prodotti ottenuti con gli stampi a 2 cavità sono prodotti che subiscono, oltre alle lavorazioni standard, delle rilavorazioni particolari denominate "ripresa uscita laterale" e "ripresa filetti". Quelli ottenuti con gli stampi a 4 cavità, invece, seguono il processo produttivo standard.

Una volta completato il ciclo di pressocolata e successivamente all'apertura dello stampo, i pezzi, con ancora attaccati materozze e canali di colata, vengono estratti da un robot antropomorfo e vengono posizionati all'interno di una torre di raffreddamento. Terminato il ciclo di raffreddamento, lo stesso robot posiziona il getto sotto ad una trancia, questa va a separare i pezzi dai canali di colata e dalle materozze. Completata questa operazione, un secondo robot preleva i pezzi dalla trancia e li posiziona all'interno delle gabbie metalliche. Una volta riempite le gabbie, le stesse vengono movimentate tre alla volta e posizionate in un'area del reparto fonderia che funge da magazzino per i prodotti grezzi. Successivamente le gabbie vengono prelevate e portate nella zona di burattatura. Qui sono presenti 4 buratti che vengono caricati manualmente, completata la lavorazione i pezzi vengono lavati per rimuovere le impurità, asciugati per evitare la formazione di ossido ed infine raffreddati per poter permettere la ripresa manuale di sbavatura da parte degli operatori a fine linea. Questa ripresa viene fatta su delle zone specifiche per tutti i pezzi, l'operatore

poi posiziona il pezzo o sui vassoi termoformati che vengono impilati uno sopra l'altro in pedane o nelle ceste metalliche. Le pedane di termoformati vengono poi spostate in un buffer tra la burattatura e la zona di lavorazione meccanica fino al momento in cui vengono riprese per far sì che i pezzi vengano lavorati per asportazione di truciolo su delle transfer meccaniche o su dei centri di lavoro. Da qui in poi il flusso dei prodotti SIGMA si suddivide in quattro, alla famiglia SIGMA infatti sono dedicate ben 3 transfer di lavorazione meccanica con azionamento a camme (*Mikron1-2-3*), in cui il pezzo si muove grazie alla tavola rotante su cui è caricato e gli utensili rimangono fissi, ed una transfer flessibile a tavola rotante (*Giuliani*) in cui sia il pezzo che gli utensili si muovono. Sulla *Mikron1*, non essendo questa dotata di lavatrice per lavare i pezzi successivamente alla lavorazione, vengono lavorati i prodotti che dovranno subire le riprese di lavorazione per l'uscita laterale ed i filetti. La pedana di termoformati viene quindi posizionata in ingresso alla *Mikron1* che in modo completamente automatizzato preleva i pezzi, li posiziona sulle morse della tavola rotante e, una volta lavorati, li posiziona nelle apposite ceste metalliche. Le ceste vengono impilate su delle pedane che vengono poi spostate in un buffer vicino alla zona dei trattamenti chimici e termici, da qui vengono prelevate e portate alla *lavatrice Delfino*, dove i pezzi vengono lavati, sgrassati dall'olio di lavorazione e puliti da eventuali impurità rimaste intrappolate. I pezzi vengono poi spostati dalle ceste ai termoformati, durante questo riposizionamento i corpi valvola subiscono una semplice soffiatura con aria compressa. Le pedane di termoformati sono l'input della *TEM*, la macchina per la sbavatura termica e la passivazione. Questa macchina è completamente automatica e dà come output cestoni metallici contenenti pezzi sbavati, passivati e lavati. All'interno del processo vi è infatti un cambio di Udc svolto automaticamente: i pezzi vengono prelevati dai termoformati e dopo aver subito la sbavatura termica vengono posizionati nei cestoni metallici che saranno l'input per la fase di passivazione. I cestoni vengono poi portati nel magazzino da dove partono le spedizioni.

La *Mikron2* e la *Mikron3*, invece, sono entrambe dotate di lavatrice, la pedana di termoformati viene posta in input alla stazione di lavoro e in modo completamente automatico i pezzi vengono prelevati, lavorati, lavati e riposizionati sui termoformati impilati. La pedana di termoformati in uscita dalle due *Mikron* conta, però, solamente 10 vassoi termoformati, e ciò a causa di alcune motivazioni tecniche di cui, comunque, si è tenuto conto in fase di progettazione dell'impianto. Le pedane vengono poi spostate nel buffer di WIP

a monte della *TEM* in attesa di essere prelevate per i successivi trattamenti. I corpi valvola appartenenti a questo flusso sono già lavati e si trovano già posizionati sui termoformati, subiscono quindi meno cambi di Udc e il flusso risulta essere più veloce e diretto. Una volta passati per la *TEM* i pezzi nei cestoni vengono portati in magazzino.

La *Giuliani* è una transfer flessibile in grado di eseguire lavorazioni su diverse tipologie di prodotti in alluminio. La macchina viene caricata e scaricata da un operatore in modo manuale e, a differenza delle Mikron, ha come unità di carico in ingresso gabbie o ceste e in uscita pedane di ceste metalliche. Le pedane vengono poi spostate nel buffer prima del reparto trattamenti chimici e termici, da dove i pezzi vengono poi prelevati, lavati nella *lavatrice Delfino*, posizionati su termoformati, trattati nella *TEM* e stoccati in magazzino negli appositi cestoni per la passivazione.

Per completare il flusso produttivo, tutti i cestoni contenenti i corpi valvola della famiglia SIGMA vengono prelevati dal magazzino e spediti da *ROUNDS*, un fornitore del Plant Rovigo1. Qui i pezzi vengono ispezionati uno ad uno per verificarne la qualità e vengono posizionati all'interno dei contenitori Martini che saranno l'input per le linee di assemblaggio. Finita questa fase i Martini che contengono i corpi valvola conformi e quelli contenenti i non conformi, come anche i cestoni vuoti, tornano al Plant Rovigo1. Una volta arrivati i pezzi, per una piccola parte di questi è prevista una ripresa di lavorazione chiamata "ripresa trapani" o "lamatura", per un'altra, prelevata a campione, vengono fatti dei controlli qualità interni. I pezzi vengono infine messi in magazzino in attesa di essere spediti agli stabilimenti di assemblaggio del gruppo.

3.2.3 EUROSIT

Il flusso produttivo per la famiglia EUROSIT in fonderia è simile a quello della famiglia SIGMA. Le differenze principali sono che alla famiglia EUROSIT sono dedicate solo due presse su cui vengono montati stampi a 4 cavità. Inoltre, le gabbie metalliche riempite a bordo macchina contengono 1360 pezzi, e, una volta riempite, vengono portate tre alla volta direttamente in magazzino, da qui sono prelevate e spedite da *ROUNDS*, dove i pezzi subiscono una lavorazione meccanica di spianatura. I corpi vengono prelevati dalle gabbie metalliche, lavorati e posizionati sugli appositi termoformati. Una volta completata la lavorazione, le gabbie vuote e le pedane di termoformati vengono riportate nel Plant Rovigo1 dove i pezzi vengono lavorati da due transfer meccaniche

completamente automatizzate, identificate come *Imas*. I pezzi entrano su pedane di termoformati ed escono dentro le ceste metalliche per il lavaggio. Queste vengono poi spostate nel buffer antecedente la *lavatrice Delfino*, una volta lavati i pezzi rimangono in attesa di essere soffiati e posizionati sui termoformati per entrare in *TEM*; completata la sbavatura termica e la passivazione, i pezzi nei cestoni vengono depositati nel magazzino. Da qui i cestoni contenenti i corpi valvola EUROSIT vengono mandati nuovamente da *ROUNDS* dove i pezzi vengono ispezionati visivamente e messi nei Martini. Completata questa fase, i cestoni vuoti e i Martini vengono riportati nel magazzino del Plant Rovigo1 dove vengono campionati per un controllo qualità interno e dove rimangono fino a quando non verranno spediti agli stabilimenti di assemblaggio.

3.2.4 DELTA

La famiglia DELTA è quella meno rilevante dal punto di vista dei volumi ma è la più critica dal punto di vista del flusso produttivo che risulta lungo e tortuoso. Ad oggi i prodotti DELTA sono critici perché risultano essere il collo di bottiglia della produzione, infatti la domanda del mercato supera la capacità produttiva. Il flusso parte sempre in fonderia dove alla famiglia DELTA è dedicata una sola pressa sulla quale vengono montati stampi a 2 cavità, le gabbie metalliche riempite a bordo macchina contengono 288 pezzi. Da qui le gabbie vengono prelevate e spedite da *ROUNDS* per far sì che i pezzi vengano sbavati manualmente; finita la lavorazione le gabbie vengono riportate nello stabilimento. Una volta rientrati in fabbrica i corpi vengono lavorati per asportazione di truciolo in due centri di lavoro *Makino*. Nei centri di lavoro i pezzi, caricati dall'operatore, rimangono fermi mentre l'utensile si muove per eseguire le diverse lavorazioni. I pezzi vengono prelevati dalle gabbie e, una volta lavorati, vengono posizionati nelle ceste metalliche per il lavaggio. Queste vengono portate nel buffer di WIP della zona di lavaggio, i pezzi vengono poi prelevati e lavati nella *lavatrice Delfino*. All'uscita, le ceste sono portate nella zona dei banchetti di lavoro dove rimangono in attesa della sferruzzatura, una lavorazione manuale eseguita da alcuni operatori. Da qui i pezzi, sempre all'interno delle ceste, ritornano nel reparto trattamenti chimici e termici, dove vengono trattati su una *TEM* manuale per la sbavatura termica (i pezzi rimangono nelle ceste) e su di una automatica per la passivazione (i pezzi vengono spostati nei cestoni per la passivazione). Finito il trattamento, i cestoni vengono riportati nella zona dei banchetti dove i pezzi vengono controllati visivamente ed imballati in appositi cartoni. I cartoni contenenti i corpi valvola

vengono campionati per un controllo qualità interno e portati in magazzino, dove rimarranno per poco tempo, infatti saranno presto prelevati per essere spediti verso gli stabilimenti di assemblaggio.

3.3 Flusso informativo delle tre famiglie principali

Il flusso informativo all'interno di SIT è piuttosto complesso, rispecchia infatti la complessità della rete di fornitura/produzione/distribuzione di SIT. L'ufficio pianificazione si trova nella sede di Padova e si interfaccia con i diversi stabilimenti per determinare e monitorare i piani di produzione e di assemblaggio. Per quel che riguarda il Plant Rovigo¹, la pianificazione della produzione delle tre famiglie di prodotti viene effettuata una volta al mese e viene fatta in base al piano di assemblaggio, riportato per famiglia, degli stabilimenti che deve servire. Durante questa fase il responsabile della programmazione e il responsabile della produzione si interfacciano per verificare che la capacità produttiva sia sufficiente, che non ci siano colli di bottiglia e che la turnistica sia in linea con la richiesta; sulla base di queste verifiche vengono prese decisioni riguardanti i turni lavorativi ed eventuali investimenti da sostenere.

3.3.1 SIGMA

Per la famiglia SIGMA l'ufficio programmazione riceve dall'ufficio pianificazione di Padova due file Excel contenenti le richieste dei livelli¹, corpo valvola assemblato, degli stabilimenti di assemblaggio di Rovigo (Gasco) e della Romania. Questi file però non tengono conto né di eventuali giacenze a magazzino né dei lead time di fornitura, l'ufficio programmazione pertanto verifica come prima cosa le giacenze e la copertura. Per alcuni codici di livello¹ le richieste vengono direttamente da Gasco, anche qui l'ufficio programmazione riceve un file Excel con le richieste che spesso non corrispondono alle richieste a sistema (basate su una pianificazione a 18 mesi di ordini più previsioni). Il sistema trasforma le richieste in ordini una settimana prima (planned order), questi però non vengono sempre soddisfatti poiché superano la capacità produttiva. Ciò accade perché il sistema ragiona a capacità infinita. Ricevuti i diversi file con le richieste, l'ufficio programmazione prepara un piano di produzione per i diversi reparti (fonderia, lavorazioni meccaniche, trattamenti chimici e termici) e per le diverse macchine (Mikron, Giuliani, TEM).

La tendenza degli ultimi anni è stata quella di un allungamento dei lead time, dovuto alle richieste di alcuni clienti di avere dei codici specifici che prevedono

delle lavorazioni supplementari (uscita laterale, filetti). È stato ciò ad obbligare l'ufficio programmazione a preparare il materiale una settimana prima.

3.3.2 EUROSIT

La programmazione per la famiglia EUROSIT avviene basandosi sui dati a sistema per quel che riguarda lo stabilimento in Messico. La comunicazione viene fatta telefonicamente per evitare di avere ritardi. Da sistema si definisce il piano di produzione guardando le richieste, i pezzi in viaggio e le giacenze. Anche per EUROSIT il sistema ragiona a capacità infinita. Per lo stabilimento in Romania, invece, il piano viene preparato con un mese di anticipo e la comunicazione viene fatta tramite mail.

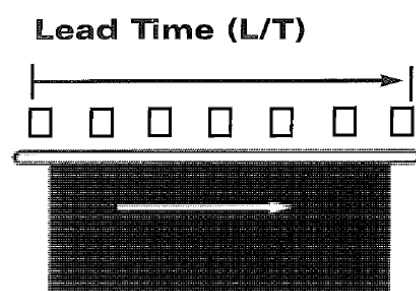
3.3.3 DELTA

La famiglia DELTA conta due codici finiti, la pianificazione viene fatta guardando unicamente gli ordini a sistema. Ad oggi i codici DELTA sono pianificati al massimo della capacità produttiva proprio perché risultano essere il collo di bottiglia della produzione.

3.4 Value Stream Map delle tre famiglie principali (stato attuale)

Come primo strumento di analisi dei flussi si è deciso di utilizzare la **Value Stream Map**, ossia la mappatura del flusso del valore in ottica Lean Production. *“Un Value Stream è l'insieme di tutte le azioni (sia quelle a valore aggiunto che quelle a non valore aggiunto) attualmente necessarie affinché una materia prima, attraverso i suoi flussi fondamentali, divenga prodotto finito. I flussi fondamentali sono: (1) il flusso della produzione dalle materie prime fino alle braccia del cliente e (2) il flusso della progettazione dall'idea al lancio del prodotto”*, questo è quanto riportato nel libro *“Learning to see”* di Mike Rother e John Shook, libro di riferimento per il value stream mapping e libro sulla base del quale ho lavorato per mappare il flusso della produzione. Nel disegnare le diverse VSM si son seguite passo passo le linee guida fornite dal libro: rappresentazione delle aziende fornitrici e clienti, individuazione dei *process box* (riquadri verdi), creazione e completamento dei data box (tabelle poste sotto i process box), individuazione degli accumuli di WIP (triangoli gialli), mappatura del flusso produttivo (frece grosse tratteggiate), mappatura del flusso informativo (frece sottili continue), creazione del time line (riga gialla per il calcolo del lead time e riga verde per il calcolo del tempo ciclo). Il tutto risalendo il flusso produttivo da valle verso monte. Questo tipo di mappatura consente di calcolare facilmente diversi indici utili a capire l'andamento del flusso

all'interno dello stabilimento. Uno degli indici più importanti è sicuramente il lead time, “tempo che impiega un prodotto per attraversare tutte le fasi di un processo o catena del valore dall'inizio alla fine. Idealmente si potrebbe seguire fisicamente uno specifico pezzo nel suo percorso dall'inizio alla fine del processo, misurandone il tempo totale impiegato. I lead time (in giorni) vengono calcolati per ogni accumulo di WIP in questo modo: si divide la quantità in scorta per la richiesta media giornaliera del cliente. Sommando i lead time attraverso ogni processo ed attraverso ogni triangolo di scorte presente nel flusso del materiale, possiamo arrivare ad una buona stima del lead time totale di produzione impiegato”.



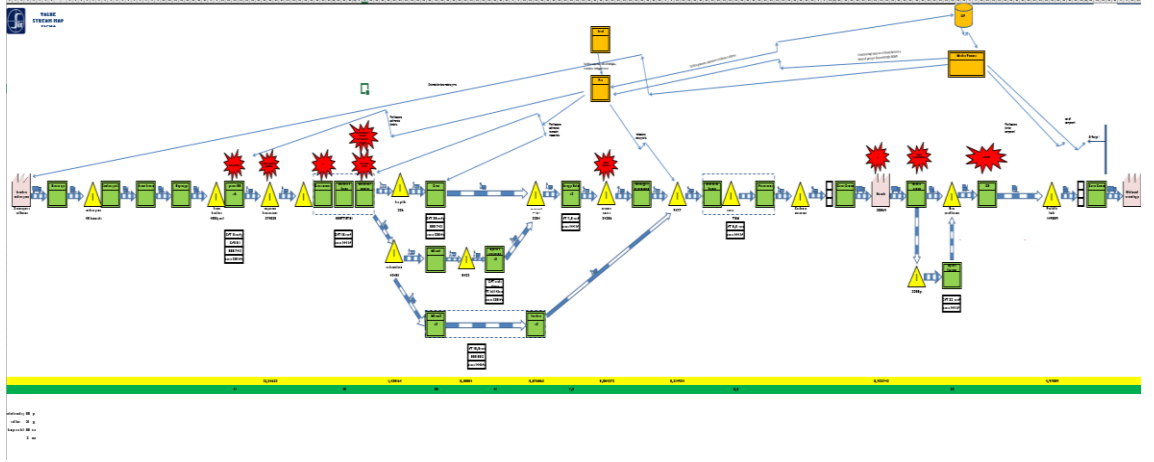
In questa mappatura si è posta particolare attenzione alla rappresentazione dei magazzini di WIP a bordo macchina, questi sono stati rappresentati solo quando il *takt time* del processo sia risultato essere considerevole e quindi il WIP a bordo macchina abbia rappresentato un lead time significativo. Il *takt time* non è altro che il ritmo della produzione e si calcola dividendo il tempo disponibile in un turno di lavoro o in una giornata lavorativa per le richieste del cliente in quel turno o in quella giornata lavorativa.

$$\text{takt time} = \frac{\text{tempo di lavoro disponibile per turno}}{\text{richieste del cliente per turno}}$$

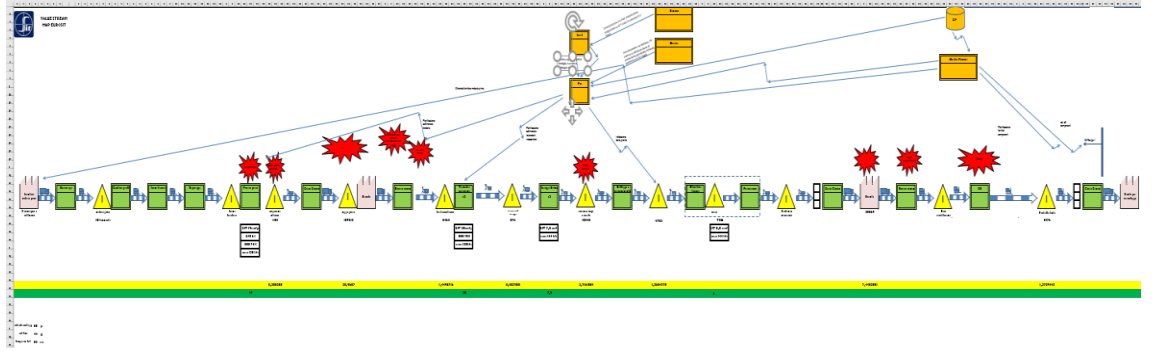
Finito di disegnare le tre mappe si è cercato di andare ad individuare le principali criticità del flusso e capire quali potessero essere i miglioramenti da proporre (segnate dentro le esplosioni in rosso).

Si riportano di seguito le tre Value Stream Map riferite ai flussi produttivi delle tre famiglie principali: SIGMA, EUROSIT e DELTA.

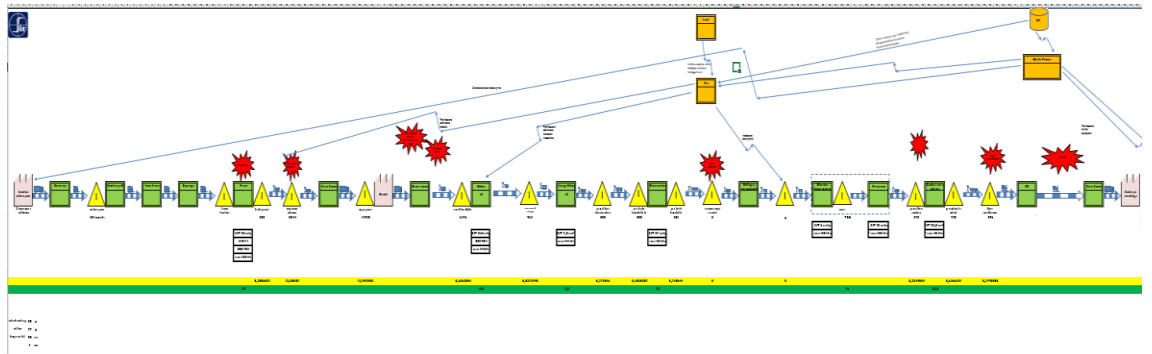
VSM STATO ATTUALE SIGMA



VSM STATO ATTUALE EUROSIT



VSM STATO ATTUALE DELTA



3.5 Spaghetti chart delle tre famiglie principali

Il secondo strumento utilizzato per analizzare i flussi produttivi all'interno dello stabilimento è la **Spaghetti Chart**. Questa tecnica, utilizzata sempre in ambito di Lean Production, permette di mappare il flusso di materiali e persone all'interno dello stabilimento. Si sono prese in considerazione le tre famiglie di prodotto e si sono disegnati sul layout di stabilimento tutti i percorsi fatti normalmente all'interno dell'azienda sotto forma di semplici linee colorate. Nella rappresentazione della famiglia SIGMA si è tenuto conto della suddivisione del flusso, da dopo la burattatura, nei diversi flussi secondari a seconda delle lavorazioni e rilavorazioni che subiscono i pezzi. Si possono pertanto individuare quattro flussi produttivi sulla Spaghetti Chart di SIGMA: quello "totale" che passa per la fonderia e la burattatura rappresentante l'84% dei volumi totali (freccia azzurra), quello "standard" che rappresenta il 72% dei volumi di SIGMA (freccia verde), quello "lamato" che passa per la Giuliani e per la lamatura rappresentante il 17% dei volumi di SIGMA (freccia rossa) e quello "rilavorato" passante per le rilavorazioni uscita laterale e filetti che rappresenta l'11% dei volumi di SIGMA (freccia gialla). Per le famiglie EUROSIT, 13% dei volumi totali, e DELTA, 3% dei volumi produttivi dei corpi valvola, il flusso rappresentato è uno solo non avendo, queste, delle rilavorazioni. Nella mappatura si è posta particolare attenzione a rappresentare i diversi flussi produttivi per le famiglie con linee colorate con spessori diversi, proporzionali ai rispettivi volumi produttivi. Si sono segnati, inoltre, i punti di carico (pallino pieno rosso) e scarico (pallino pieno verde) dei materiali per le diverse fasi di lavorazione e le zone di stoccaggio dei pezzi (buffer di WIP e magazzino prodotti finiti, pallino vuoto rosa). Questo tipo di mappatura ha permesso di mettere in evidenza tutte le movimentazioni dei corpi valvola, le zone dello stabilimento più trafficate e le distanze percorse da ogni famiglia di prodotto. Si riportano di seguito le tre Spaghetti Chart per le tre famiglie di prodotto.

Figura 3.11 SpaghettiChart SIGMA

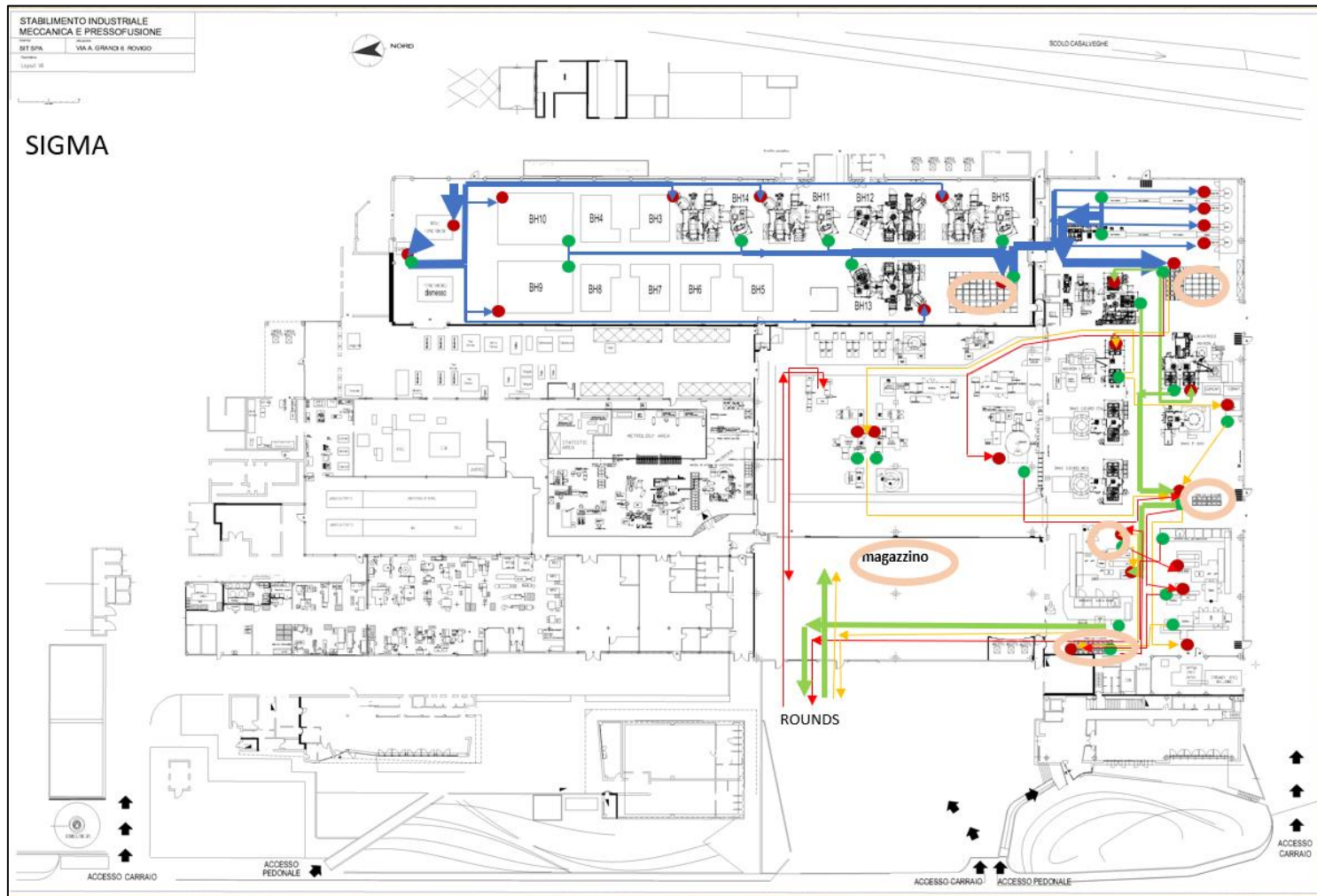
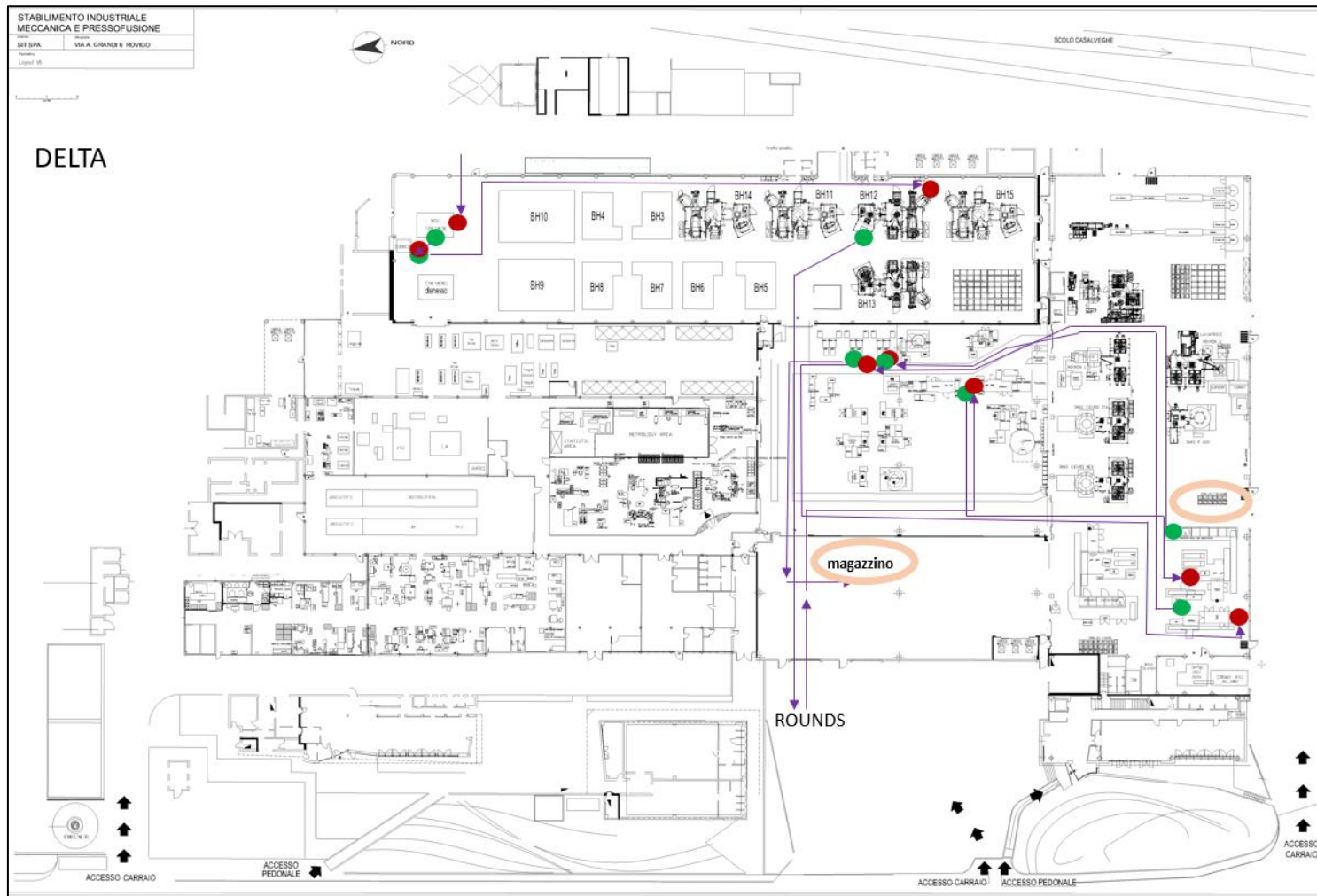


Figura 3.13 SpaghettiChart DELTA



3.6 Individuazione KPI di interesse

La mappatura dei flussi produttivi, con l'utilizzo delle Value Stream Map e delle Spaghetti Chart, ha permesso di individuare e calcolare facilmente dei KPI (Key Performance Indicators) che potessero fotografare la situazione attuale e indirizzare i cambiamenti e le scelte di investimento futuri verso un miglioramento delle performance globali dello stabilimento. I KPI scelti per questa valutazione, riportati nella tabella sottostante, sono la capacità produttiva dello stabilimento per le tre famiglie di prodotto, i lead time produttivi ed il takt time di queste ultime, il numero di cambi di Unità di carico per ogni flusso produttivo, la distanza percorsa da un pezzo all'interno dello stabilimento e la distanza percorsa in totale da una unità produttiva.

| KPI | SIGMA | EUROSIT | DELTA |
|---|--------------|----------------|--------------|
| <i>CAPACITA' PRODUTTIVA (pz/gg)</i> | 30094 | 3770 | 1149 |
| <i>LEAD TIME (gg)</i> | 21 | 43 | 36 |
| <i>TAKT TIME (sec/pz)</i> | 2,87 | 15,27 | 75,2 |
| <i>CAMBI UDC</i> | 3-5 | 5 | 3 |
| <i>DISTANZA DENTRO STABILIMENTO (m)</i> | 326 | 333 | 636 |
| <i>DISTANZA TOTALE (km)</i> | 27 | 55 | 28 |

Tabella 3.1 KPI

Come si può notare, la famiglia SIGMA è quella con le migliori performance, ciò è giustificato dal fatto che rappresenta i maggiori volumi produttivi. Oltre ad avere una capacità produttiva molto elevata il flusso risulta essere il più razionale. Per EUROSIT si può notare come la distanza totale percorsa sia molto elevata, ciò è dovuto al fatto che i prodotti escono e rientrano due volte dallo stabilimento. Per DELTA invece si evidenzia come il takt time sia alto rispetto alle altre due famiglie e come i corpi percorrano troppa strada all'interno dello stabilimento, segno di un flusso non ben progettato.

CAPITOLO 4

Stato futuro

Come già detto in precedenza la mappatura dei flussi, produttivi ed informativi, ha permesso di mettere in evidenza le principali problematiche legate a questi. In questo capitolo si espongono le problematiche prese in considerazione e le relative soluzioni proposte per un miglioramento dei processi in ottica futura. Inoltre, si riportano le VSM delle tre famiglie di prodotto per lo stato futuro ipotizzato e, in seguito, ci si concentra in particolar modo sulla soluzione di più “immediata” e “facile” adozione da parte dell’azienda.

4.1 Problematiche individuate e soluzioni proposte

Per la famiglia SIGMA la problematica presa in considerazione è legata alla difficile gestione e programmazione della produzione per via dell’elevata numerosità dei codici e per la disomogeneità nei volumi produttivi tra questi. Per quanto riguarda la famiglia EUROSIT si è evidenziata l’enorme quantità di strada percorsa dai pezzi dentro e fuori lo stabilimento con il conseguente allungamento del lead time. La problematica legata alla famiglia DELTA, invece, risulta essere un flusso produttivo troppo lungo che la rende il collo di bottiglia della produzione vista la crescente richiesta del mercato.

Per quanto riguarda il flusso informativo è evidente come questo sia confuso, lento e complesso soprattutto in fase di programmazione della produzione.

Le soluzioni proposte sono da prendere in considerazione in riferimento ad un piano di investimenti deciso dall’azienda e già avviato. Questo prevede l’acquisto e l’installazione di nuovi macchinari per potenziare la capacità produttiva dello stabilimento e per aumentarne la flessibilità e la reattività, l’apertura di un polo logistico del gruppo e l’implementazione di un sistema MES (Manufacturing Execution System) all’interno dello stabilimento. Tutte le soluzioni proposte hanno come obiettivo ultimo quello di ridurre le attività non a valore aggiunto o attività di supporto per fare in modo che la forza lavoro sia concentrata il più possibile su quelle attività ed operazioni che aggiungono valore ai prodotti SIT. Inoltre, quanto proposto di seguito, mira ad internalizzare il più possibile le attività, così facendo l’azienda avrebbe un controllo diretto su parti del processo che prima venivano svolte da terze parti. Questo maggior controllo si tradurrebbe facilmente in miglior qualità, affidabilità e performance del prodotto, tutte caratteristiche distintive dei prodotti SIT ed apprezzate dal mercato.

La soluzione proposta per la famiglia SIGMA è quella di mettere sia i codici finiti che i codici grezzi a KANBAN. In questo modo, la spedizione di un bancale di Martini di un certo codice dal magazzino darebbe il via alla produzione di altrettanti corpi valvola finiti dello stesso codice nel reparto delle lavorazioni meccaniche e dei trattamenti termici-chimici. Allo stesso modo, il prelievo di una gabbia di pezzi grezzi di un certo codice dal magazzino grezzi, darebbe il via alla produzione di una gabbia di pezzi grezzi dello stesso codice in fonderia. Così facendo si andrebbe a produrre solo ciò che è richiesto per ripristinare le scorte, i flussi produttivi ne dovrebbe beneficiare risultando più semplici e snelli e la produzione passerebbe da “push” a “pull”. Per ridurre il lead time della famiglia EUROSIT, invece, si è proposto di eseguire la lavorazione di spianatura internamente allo stabilimento. In questo modo si spedirebbero i pezzi da *ROUNDS* una volta sola risparmiando ai pezzi ben 27 km di spostamento, inoltre si potrebbe garantire una lavorazione più veloce e di miglior qualità. Un'altra proposta riguardante sia le famiglie SIGMA che EUROSIT è quella di svolgere il controllo visivo e l'imballaggio internamente, magari installando una macchina ottica automatica. In questo modo l'azienda riuscirebbe ad avere tutti i flussi principali al proprio interno, rendendosi indipendente dalle prestazioni del proprio fornitore. Anche per la famiglia DELTA si è proposto di eseguire la sbavatura manuale internamente all'azienda evitando così l'allungamento del lead time dovuto alle spedizioni dei pezzi verso *ROUNDS* ed alle inefficienze lavorative dello stesso, il flusso rimarrebbe tutto internamente all'azienda dando così la possibilità di attuare interventi/correzioni più celeri ed una visione globale del flusso migliore. Altro intervento proposto è quello di spostare i banchetti per la sferruzzatura più vicino al reparto dei trattamenti termici-chimici in modo da ridurre ulteriormente la distanza percorsa. Da una prima stima risulta che con un semplice layout la distanza percorsa dagli operatori passerebbe da 340 m a 162 m con un evidente saving sia in termini di costo che di tempo.

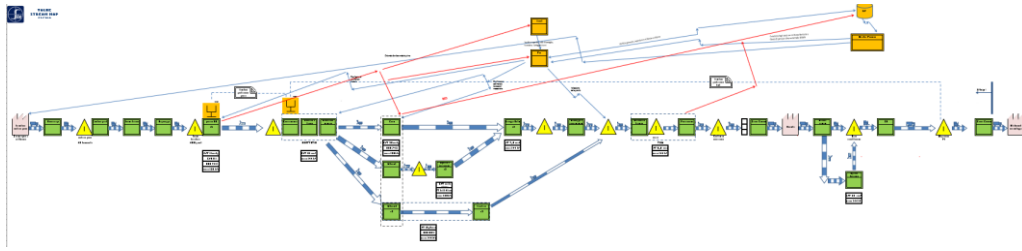
Le problematiche legate al flusso informativo verranno in parte risolte grazie all'implementazione del MES, questo infatti permetterà di avere dati a sistema più aggiornati. Le giacenze a sistema saranno più aggiornate, l'efficienza e l'utilizzo dei macchinari potranno essere viste in real-time, l'avanzamento delle commesse potrà essere facilmente verificato da computer.

4.2 Value Stream Map delle tre famiglie principali (stato futuro)

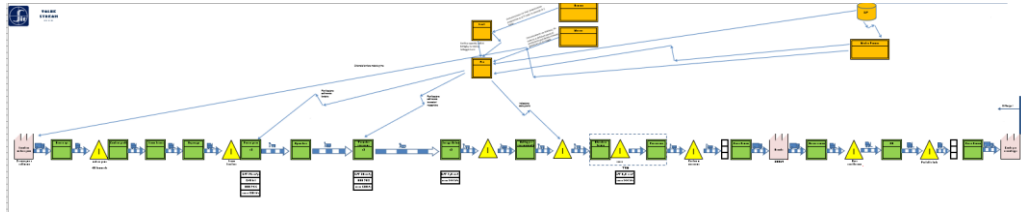
Quanto fatto per mappare i flussi produttivi allo stato attuale è stato ripetuto per mapparli allo stato futuro ipotizzato. Lo stato futuro, infatti, tiene conto delle soluzioni proposte per risolvere le problematiche emerse dalla mappatura dello stato attuale. Nella VSM della famiglia SIGMA si può notare come sia presente un flusso informativo di ritorno dai macchinari verso i responsabili e verso l'ERP (frece rosse), questo flusso è stato rappresentato solo per questa famiglia perché l'implementazione del MES verrà fatta inizialmente solo sulle macchine dedicate alla produzione della famiglia SIGMA che è quella più onerosa in termini di volumi produttivi. Sempre in questa mappa si può notare l'introduzione di due KANBAN (uno per regolare la produzione dei corpi valvola finiti e uno per la produzione dei corpi valvola grezzi). La VSM della famiglia EUROSIT vede un nuovo process box per la spianatura interna ma non tiene più conto dell'andata e del ritorno dei pezzi da *ROUNDS*, lo stesso vale per la VSM della famiglia DELTA che al posto dell'icona di *ROUNDS* con trasporti annessi vede il process box della sbavatura manuale.

Di seguito si riportano le VSM delle tre famiglie di prodotto riferite allo stato futuro.

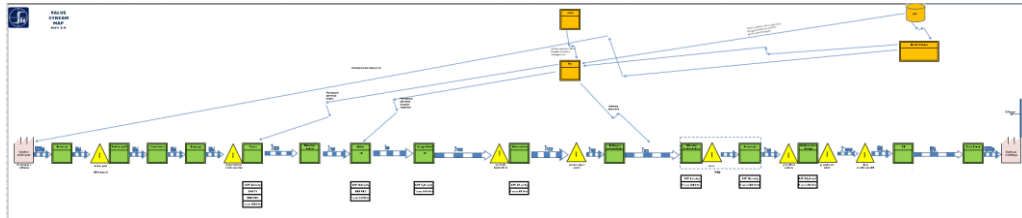
VSM STATO FUTURO SIGMA



VSM STATO FUTURO EUROSIT



VSM STATO FUTURO DELTA



4.3 Kanban SIGMA

Tra le diverse soluzioni proposte si è scelto di approfondirne una in particolare. La proposta di “mettere a KANBAN” sia i codici grezzi sia quelli finiti della famiglia SIGMA è quella più facilmente e velocemente applicabile. Questo approccio permette di rendere il flusso produttivo più “snello”, ossia permette di produrre solo quanto e quando richiesto dal processo a valle. Inoltre ciò, modificando l’approccio produttivo della famiglia con i maggiori volumi produttivi, porterebbe a dei benefici immediati e su larga scala. Con il termine KANBAN si intendono dei cartellini/documenti che accompagnano i contenitori dei prodotti, presentano una serie di informazioni riguardo a questi (numero pezzi, disegni di riferimento, lavorazioni, ...) e permettono, con la loro circolazione, la gestione della produzione con una modalità “pull” o “in tiro”. Esistono diversi tipi di KANBAN:

- Kanban-prelievo (o consegna): C-kanban
- Kanban-ordine di produzione: P-kanban
- Kanban-fornitore
- Kanban-segnale

La tipologia scelta per provare a migliorare il flusso produttivo dei prodotti SIGMA è il kanban-ordine di produzione, in questo caso il cartellino è apposto sui contenitori presenti nel magazzino, a seguito di un prelievo di materiale, su richiesta del processo a valle, questo viene staccato dal contenitore corrispondente diventando un ordine di produzione e viene posto su di un’apposita bacheca rappresentando così un ordine di produzione per il processo a monte.

Nel nostro caso quello che si propone è di creare due “sistemi a KANBAN”, uno per la lavorazione dei pezzi finiti, livelli7, e uno per la produzione dei pezzi grezzi, livelli9. Nel primo sistema con il prelievo/spedizione di un bancale di scatole Martini, contenenti i corpi valvola finiti, verso gli stabilimenti di assemblaggio il cartellino viene portato a monte prima della burattatura e dà il via alle lavorazioni meccaniche ed ai trattamenti termici e chimici su di una quantità fissa di pezzi grezzi prodotti dalla fonderia che vengono prelevati dal magazzino grezzi. È proprio questo secondo prelievo che dà il via al secondo sistema, infatti il prelievo di una gabbia contenente corpi valvola grezzi dal magazzino a valle della fonderia implica di staccare il cartellino sulla gabbia e portarlo a monte della fonderia. Il cartellino staccato dà il via alla produzione di

una quantità predefinita di pezzi grezzi in fonderia. Quello che si vuole cercare di fare è disaccoppiare i due rami principali dello stabilimento in modo che sia la fonderia che il reparto di lavorazioni e trattamenti lavorino per ripristinare le scorte a valle potendo così soddisfare sempre le richieste dei processi successivi. In questa fase del lavoro non ci si è concentrati sulla definizione delle informazioni contenute nel cartellino, ma si è posta attenzione al calcolo del numero di cartellini che rappresenta una delle problematiche legate al KANBAN. I cartellini rappresentano un'immobilizzazione di materiale, quindi limitarne il numero significa limitare le scorte inter-operazionali e gli oneri di immobilizzo di denaro. Dall'altro lato però maggiori scorte permettono una certa protezione da eventuali fermate dei reparti produttivi e quindi da eventuali rotture di stock. Bisogna trovare quindi un compromesso tra oneri legati allo stoccaggio e oneri legati alla mancata produzione. Per determinare il numero di KANBAN, sia per i prodotti finiti sia per i prodotti grezzi, si è fatto riferimento alla formula riportata sotto:

$$KB = \left\lceil \frac{C \cdot LT}{Q} \right\rceil + 1$$

dove C è il consumo medio giornaliero del pezzo, LT è il lead time di produzione dello stesso e Q è la quantità di pezzi all'interno del contenitore a cui è attaccato il cartellino.

4.3.1 Kanban SIGMA finiti

Il primo sistema KANBAN analizzato è quello riferito alle spedizioni dei pezzi finiti e al successivo ordine di lavorazione e trattamento dei corpi grezzi per ripristinare la scorta del codice spedito. Per il calcolo del numero di cartellini riferiti ai corpi valvola finiti della famiglia SIGMA, livelli7, si è partiti dalle spedizioni fatte nell'ultimo anno dallo stabilimento Rovigo1 verso gli stabilimenti di assemblaggio. Il file utilizzato tiene conto di tutte le spedizioni fatte in ogni settimana per ciascun codice di livello7 appartenente alla famiglia SIGMA. Con questi dati si sono potuti calcolare i consumi medi riferiti ad ogni codice, per far ciò si è calcolata la media mobile su due settimane delle spedizioni e si è fatta la media delle medie mobili per avere un dato che fosse "ripulito" da eventuali picchi o valli. Si è calcolato anche il novantesimo percentile, ossia quel valore sotto cui ricadono il 90% delle spedizioni. Si è calcolato questo dato per essere maggiormente sicuri di non avere rotture di

stock visto il complesso ed altalenante andamento delle spedizioni verso gli stabilimenti di assemblaggio.

| Etichette di rigo | 201714 | 201715 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | 2E+05 | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 7101005 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101009 | 8176 | 3196 | 7160 | 3880 | 5900 | 680 | 5750 | 1300 | 7200 | 6720 | 1320 | 7200 | 6519 | | | | | 4914 | 4980 | 7200 | | 4800 | 4920 | 4080 | 4080 | 2474 | 4660 | 7980 | 800 | 4940 | 6340 | 4000 | 1989 | 5740 | | | | | |
| 7101016 | | 576 | | | 1152 | 1315 | | | | | | | 1320 | 1152 | | | | | | 576 | 576 | 576 | | 924 | 756 | 1728 | | | | 648 | | | 576 | | | | | | |
| 7101023 | | | | | | | | | | | | | 653 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101042 | 3456 | 3456 | 2448 | 2304 | 2880 | 2880 | 5148 | 5916 | 4296 | | | | 4416 | 4608 | 4608 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101044 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101051 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101102 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101189 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101223 | 3600 | 8560 | 3360 | 5600 | 6140 | 7200 | 13160 | 6400 | 800 | 8140 | | | 340 | 6400 | 4280 | 3920 | 4140 | 2910 | 2400 | 7240 | 1199 | 3456 | 5851 | 5952 | 800 | 2400 | 11200 | 7962 | 1960 | 4356 | 5520 | 1936 | 3200 | 1600 | 9029 | 3552 | | | |
| 7101234 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101251 | 5184 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101252 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101300 | 2964 | 8000 | 6760 | 7117 | 1600 | 4420 | 10980 | 6580 | 3900 | 5200 | 20120 | 7834 | 11020 | 7372 | 8212 | 8960 | 8660 | 11080 | 6720 | 12048 | 12972 | 21600 | | 9856 | 5247 | 5459 | 2560 | 6220 | 2020 | 4208 | 3558 | 580 | 19992 | 4704 | 18428 | 3972 | | | |
| 7101313 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101384 | 4032 | 11280 | 8064 | 7488 | 10828 | 4116 | 4512 | 9792 | 6336 | 9864 | 4032 | 11460 | | 5184 | 9216 | 4440 | 13656 | 7452 | 16128 | | | | | 6336 | 11520 | 5184 | 8064 | 9120 | 15031 | 10368 | 4608 | 17103 | 11292 | 10584 | 15551 | 8420 | 12434 | 14460 | 10568 |
| 7101386 | 2928 | 9152 | 6336 | 6324 | 6912 | 6912 | | | | | | | | 7488 | 7488 | 7488 | 8604 | 8724 | 8064 | 9216 | 9120 | 8064 | 5748 | 9792 | 6336 | 3456 | 16128 | 5760 | 1776 | 8936 | 8790 | 6960 | 3800 | 7200 | 7470 | 7484 | | | |
| 7101387 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101390 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101395 | 3456 | | 3348 | 10368 | | 3300 | 7163 | 3456 | 5184 | 8712 | 3456 | 3573 | 5184 | 6000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101437 | 1890 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101438 | 6912 | 5184 | 10281 | 4608 | 8640 | 5184 | 6336 | 3456 | 4032 | 10583 | 6695 | 13085 | 10944 | 9552 | 6462 | 10368 | 11561 | 9756 | 10910 | 10368 | 10919 | 9204 | 5184 | 18336 | 8616 | 9216 | 10788 | 7488 | 3456 | 6912 | 17856 | 9009 | 9456 | 4608 | 6336 | 6912 | 7488 | 5760 | |
| 7101471 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101515 | 1128 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101648 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101678 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101680 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101683 | 1800 | 2400 | 2400 | | 1080 | | 7200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101686 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101687 | 1152 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101688 | 51776 | 58958 | 54976 | 55308 | 44256 | 59648 | 32808 | 42144 | 33512 | 61632 | 45284 | 46816 | 47692 | 51592 | 57856 | 39592 | 51168 | 69304 | 66163 | 50272 | 52802 | 65904 | 45487 | 61841 | 79008 | 60992 | 65720 | 76352 | 52096 | 61746 | 61120 | 67936 | 60465 | 69248 | 30432 | 50816 | 55936 | 33760 | |
| 7101689 | 1236 | 576 | 576 | 1728 | | 252 | 2804 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101694 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101696 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101697 | 5184 | 1640 | 1152 | 5184 | | 3972 | 5220 | 7296 | 3588 | 4604 | 4032 | 7812 | 8736 | 1360 | 7184 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101698 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101705 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101707 | 1049 | | 1728 | | 576 | | 936 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101708 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101709 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7101710 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 4.1 File spedizioni

Per calcolare il consumo giornaliero è bastato dividere il 90° percentile per il numero di giorni lavorativi riferiti alle spedizioni, nel caso in questione sei giorni. Il calcolo del lead time invece è stato più semplice, per calcolarlo si è fatto riferimento alla VSM della famiglia SIGMA ed è stato così possibile calcolare un lead time riferito alla parte di lavorazione e trattamento dei corpi per le tre diverse sottofamiglie di prodotto (standard, lamato, rilavorato). A questo si è aggiunto un lead time di sicurezza di un paio di giorni per far fronte ad eventuali problemi legati a fermate degli impianti o a ritardi. Per quanto riguarda la quantità contenuta nei contenitori sappiamo che i corpi valvola finiti sono posizionati nei Martini, ma sono i bancali ad essere spediti, non le singole scatole. Non tutti i bancali contengono 48 scatole, infatti ci sono dei codici alto-rotanti che vengono prodotti e spediti in continuazione ed altri per cui la domanda è inferiore e vengono richiesti in quantità minore poche volte all'anno. Mentre i primi vengono spediti con bancali pieni (48 Martini), gli altri codici vengono spediti con bancali contenenti un numero minore di scatole. Si sono quindi tenute in considerazione diverse quantità a seconda che i codici fossero alto-rotanti, medio-rotanti o basso-rotanti (200, 400 e 800).

La quantità contenuta nelle gabbie per i prodotti SIGMA è fissa, la Q infatti corrisponde a 384 corpi valvola grezzi. Per quanto riguarda il calcolo del lead time in fonderia, invece, si son riscontrate delle difficoltà dovute al fatto che in fonderia, a differenza degli altri reparti produttivi, non sono presenti scorte inter-operazionali. Le uniche scorte individuabili sono l'alluminio solido sotto forma di billette, l'alluminio fuso contenuto nei forni dosatori a bordo pressa e i pezzi grezzi nelle gabbie nel buffer a valle della fonderia. Queste scorte non permettono di calcolare un lead time di produzione che sia significativo anche perché in fonderia oltre alla famiglia SIGMA si producono altre diverse famiglie di prodotto. Le billette di alluminio e l'alluminio fuso non sono convertibili facilmente in corpi grezzi, mentre il magazzino è un magazzino finale quindi non sfruttabile per il calcolo del lead time di produzione di fonderia. Il problema legato al calcolo del lead time verrà approfondito in seguito, al momento si prenda per buono un lead time di sei giorni più un lead time di sicurezza di due giorni aggiuntivi. Il lead time di sei giorni è un dato che viene da analisi di dati storici, inoltre la giacenza media del magazzino grezzi di 353.088 pezzi, ottenuta con un lead time complessivo di 8 giorni, rientra nel range di giacenza storico dell'azienda (dai 300000 ai 400000 pezzi circa).

| SIGMA GREZZI | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------------|-----------------------|----------------|----------|--------------------|----------|---------------|----------------|--------------|
| codice | 90°percentile | media mmob | consumo gg percentile | consumo gg mmb | leadtime | leadtime sicurezza | quantità | numero kanban | giacenza media | giacenza max |
| 9.101.715 | 93.279 | 65.444 | 18.656 | 13.089 | 6 | | 384 | 390 | 71232 | 149760 |
| 9.101.076 | 24.505 | 10.549 | 4.901 | 2.110 | 6 | 2 | 384 | 104 | 27072 | 39936 |
| 9.101.099 | 15.898 | 7.406 | 3.180 | 1.481 | 6 | 2 | 384 | 68 | 17088 | 26112 |
| 9.101.089 | 15.703 | 847 | 3.141 | 169 | 6 | 2 | 384 | 67 | 24384 | 25728 |
| 9.101.102 | 14.989 | 5.570 | 2.998 | 1.114 | 6 | 2 | 384 | 64 | 17856 | 24576 |
| 9.101.107 | 15.034 | 7.396 | 3.007 | 1.479 | 6 | 2 | 384 | 64 | 15552 | 24576 |
| 9.101.044 | 13.810 | 4.961 | 2.762 | 992 | 6 | 2 | 384 | 59 | 16704 | 22656 |
| 9.101.716 | 11.710 | 4.696 | 2.342 | 939 | 6 | 2 | 384 | 50 | 13632 | 19200 |
| 9.101.082 | 10.349 | 1.886 | 2.070 | 377 | 6 | 2 | 384 | 45 | 14784 | 17280 |
| 9.101.122 | 9.682 | 979 | 1.936 | 196 | 6 | 2 | 384 | 42 | 14784 | 16128 |
| 9.101.711 | 9.727 | 4.158 | 1.945 | 832 | 6 | 2 | 384 | 42 | 10944 | 16128 |
| 9.101.998 | 9.512 | 3.131 | 1.902 | 626 | 6 | 2 | 384 | 41 | 11712 | 15744 |
| 9.101.014 | 8.695 | 2.533 | 1.739 | 507 | 6 | 2 | 384 | 38 | 11328 | 14592 |
| 9.101.710 | 7.549 | 1.585 | 1.510 | 317 | 6 | 2 | 384 | 33 | 10560 | 12672 |
| 9.101.084 | 7.210 | 259 | 1.442 | 52 | 6 | 2 | 384 | 32 | 11712 | 12288 |
| 9.101.039 | 7.102 | 708 | 1.420 | 142 | 6 | 2 | 384 | 31 | 10944 | 11904 |
| 9.101.712 | 6.464 | 376 | 1.293 | 75 | 6 | 2 | 384 | 28 | 10176 | 10752 |
| 9.101.130 | 5.902 | 1.267 | 1.180 | 253 | 6 | 2 | 384 | 26 | 8256 | 9984 |
| 9.101.111 | 4.680 | 1.497 | 936 | 299 | 6 | 2 | 384 | 21 | 5952 | 8064 |
| 9.101.072 | 4.291 | 1.171 | 858 | 234 | 6 | 2 | 384 | 19 | 5952 | 7296 |
| 9.101.020 | 3.230 | 96 | 646 | 19 | 6 | 2 | 384 | 15 | 5568 | 5760 |
| 9.101.138 | 2.036 | 40 | 407 | 8 | 6 | 2 | 384 | 10 | 3648 | 3840 |
| 9.101.042 | 1.546 | 29 | 309 | 6 | 6 | 2 | 384 | 8 | 2880 | 3072 |
| 9.101.131 | 1.152 | 21 | 230 | 4 | 6 | 2 | 384 | 6 | 2112 | 2304 |
| 9.101.713 | 965 | 18 | 193 | 4 | 6 | 2 | 384 | 6 | 1728 | 2304 |
| 9.101.717 | 1.094 | 21 | 219 | 4 | 6 | 2 | 384 | 6 | 2112 | 2304 |
| 9.101.698 | 771 | 14 | 154 | 3 | 6 | 2 | 384 | 5 | 1728 | 1920 |
| 9.101.008 | 653 | 12 | 131 | 2 | 6 | 2 | 384 | 4 | 1344 | 1536 |
| 9.101.112 | 523 | 10 | 105 | 2 | 6 | 2 | 384 | 4 | 1344 | 1536 |
| | | | | | | | | | 353088 | |

Tabella 4.4 Kanban SIGMA grezzi

4.3.2.1 Calcolo lotto economico in fonderia

Il lead time di produzione è il tempo necessario per fabbricare un certo prodotto ed è legato alla capacità produttiva e alla quantità che un'azienda deve produrre. In una situazione in cui vi sia un'unica risorsa produttiva che deve produrre un

unico prodotto, l'unica cosa che bisogna decidere è la quantità da produrre: questa deve tener conto dei costi di attrezzaggio della macchina e del costo di mantenimento a scorta che sono costi non trascurabili. Per tenere in considerazione tutto ciò solitamente si calcola il lotto economico di produzione con la seguente formula:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H(1 - \frac{d}{p})}}$$

Dove S è il costo di setup, D è la domanda, H è il costo di mantenimento a scorta, p il tasso di produzione e d il tasso di consumo. Una volta calcolato il lotto economico è possibile calcolare una stima del lead time produttivo. La programmazione della produzione ed il conseguente calcolo del lead time si complica quando si hanno k prodotti che devono essere fabbricati su di una unica unità produttiva. Infatti, nel caso in cui una singola macchina debba produrre prodotti diversi, il modello per la determinazione del lotto economico del prodotto singolo può risultare inadeguato se applicato a ciascun prodotto indipendentemente dagli altri. I lotti ottenuti, infatti, possono risultare incompatibili tra loro o con la capacità produttiva dell'impianto. Questa problematica viene superata utilizzando il modello di Magee-Boodman. Secondo i due autori, John F. Magee e David M. Boodman, in molti casi, in una situazione con k prodotti e singola unità produttiva "è desiderabile fabbricare tutta la sequenza dei prodotti successivamente, fabbricando ciascun prodotto una sola volta. Il solo punto da risolvere in questo caso è la lunghezza totale del ciclo attraverso tutti i prodotti. Spesso la sequenza viene stabilita in base all'analisi del costo che comporta la riattrezzatura dell'impianto nel passare dalla produzione di un articolo a quella di un altro. Occorre determinare il numero di volte che questo ciclo deve essere ripetuto". Con questo modello si introduce un nuovo concetto, quello di *campagne* (n), cioè periodi produttivi in cui si producono tutti i k prodotti. Il numero ottimale di campagne di produzione viene calcolato con la seguente formula:

$$n_o = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N p(k) \cdot C_m \cdot D(k) \cdot \left(1 - \frac{D(k)}{H \cdot r(k)}\right)}{\sum_{k=1}^N 2 \cdot a(k)}}$$

Dove k è l'indice di prodotto, H i giorni lavorativi annui, $r(k)$ il ritmo produttivo del prodotto k , $D(k)$ la domanda annuale del prodotto k , C_m il costo opportunità del circolante, $p(k)$ il costo variabile di produzione del prodotto k e $a(k)$ il costo di setup del prodotto k . Una volta trovato il numero di campagne ottimali è possibile calcolarsi il lotto economico di produzione come:

$$Q_o(k) = \frac{D(k)}{n_o}$$

Definite le campagne e i lotti economici di produzione, bisogna decidere la sequenza dei prodotti, questa spesso è determinata su criteri economici basati sul costo del cambiamento della produzione, in relazione alle caratteristiche dell'impianto o del prodotto. Si avrà quindi un lead time variabile all'interno di un certo range che dipende dalla sequenza e dalla situazione in cui ci si trova.

Il calcolo del lead time produttivo in fonderia non rientra però in nessuno dei due casi appena visti: si è in una situazione con k prodotti e m macchine su cui produrli. Nella fonderia del Plant Rovigo1, infatti, sono presenti 15 presse di cui 6 dedicate alla produzione dei corpi grezzi della famiglia SIGMA su cui devono essere prodotti 29 codici di prodotto. Ad oggi ci sono formule, modelli, algoritmi o euristici che possono aiutare nella programmazione della produzione in un contesto simile. Basti pensare, ad esempio, alla regola di Johnson: un metodo facente parte dell'Operation Scheduling che si usa quando diverse lavorazioni devono essere eseguite sulle stesse macchine in una sequenza precisa. Per poter trovare l'ordine ottimo in cui realizzare queste lavorazioni occorre conoscere il tempo esatto che impiegherà ogni lavorazione su ogni macchina. Quello che si è provato a fare però è stato seguire una strada autonoma per lo scheduling delle presse ed il calcolo del lotto economico di produzione. Come prima cosa si è pensato a come allocare i diversi prodotti e quindi i diversi codici da far produrre alle diverse macchine. Entrando più nel dettaglio, alla produzione dei corpi grezzi della famiglia SIGMA sono dedicate 6 presse della fonderia, cinque di queste montano stampi a 4 cavità e le chiameremo presse grandi, la rimanente, invece, uno stampo a due cavità e verrà chiamata pressa piccola. Quelle con stampi a quattro impronte hanno una produttività di circa 30.000 pezzi a settimana mentre quella con stampo a due impronte ha una capacità produttiva di 15.000 pezzi. Su queste presse devono essere prodotti 29 codici di corpi grezzi. Fortunatamente ci sono dei vincoli produttivi e tecnologici che hanno permesso di semplificare il problema. Infatti, due delle sei presse sono dedicate

alla produzione fissa di un unico codice (9101715), inoltre alcuni codici, quelli che richiedono la rilavorazione uscita laterale, devono essere prodotti con stampi a due cavità, quindi sulla pressa piccola. Per provare ad assegnare i diversi codici da produrre alle 3 presse grandi rimanenti si sono presi in considerazione diversi parametri quali: domanda annuale del componente, produttività giornaliera della pressa, giorni lavorativi, capacità produttiva annuale totale massima e minima della pressa, costo di produzione, costo di setup e costo di mantenimento a scorta.

| | | |
|--|--------------------|------|
| produttività giornaliera pressa | 6000 | pz |
| giorni lavorativi | 235 | gg |
| capacità produttiva annuale massima pressa | 1410000 | pz |
| capacità produttiva annuale minima pressa | 6000 | |
| costo di produzione | <i>Dato omesso</i> | €/pz |
| costo di setup | 250 | € |
| tasso di mantenimento a scorta | 20% | |

Tabella 4.5 Parametri

Individuati i parametri di interesse si è scritta una Macro di Excel che assegnasse alla pressa libera la sequenza di codici con il costo totale minimo e che rispettasse i vincoli produttivi. Iterando il procedimento per tre volte ed eliminando ad ogni iterazione i codici già assegnati, è stato possibile assegnare alle tre presse grandi libere delle sequenze di codici sub-ottimali.

```

Sub solutore()
    For col = 2 To 24
        For co2 = col + 1 To 24
            For co3 = co2 + 1 To 24
                For co4 = co3 + 1 To 24

                    If col <> co2 And co2 <> co3 And co3 <> co4 And col <> co3 And col <> co4 And co2 <> co4 Then
                        For r = 2 To 7
                            For c = 1 To 2
                                Foglio7.Cells(r, c) = ""
                            Next c
                        Next r

                        If Foglio1.Cells(col, 2) + Foglio1.Cells(co2, 2) + Foglio1.Cells(co3, 2) + Foglio1.Cells(co4, 2) < Foglio7.Cel:

                            Foglio7.Cells(2, 1) = Foglio1.Cells(col, 1)
                            Foglio7.Cells(2, 2) = Foglio1.Cells(co1, 2)
                            Foglio7.Cells(3, 1) = Foglio1.Cells(co2, 1)
                            Foglio7.Cells(3, 2) = Foglio1.Cells(co2, 2)
                            Foglio7.Cells(4, 1) = Foglio1.Cells(co3, 1)
                            Foglio7.Cells(4, 2) = Foglio1.Cells(co3, 2)
                            Foglio7.Cells(5, 1) = Foglio1.Cells(co4, 1)
                            Foglio7.Cells(5, 2) = Foglio1.Cells(co4, 2)

                            ri = ri + 1
                    End If
                Next co4
            Next co3
        Next co2
    Next col
End Sub

```

Figura 4.1 Macro Excel

Questo procedimento ha portato ad assegnare sequenze di quattro codici alle tre presse grandi, la pressa piccola invece dovrà produrre i sette codici che richiedono la lavorazione uscita laterale ed i restanti dieci codici. La produzione di ben dodici codici su di un'unica pressa con capacità produttiva ridotta non risulta essere un problema. Infatti, i dieci codici non assegnati con il solutore di Excel sono tutti codici con domanda annuale molto bassa, basteranno quindi pochi giorni di produzione per soddisfare l'intera domanda.

| NUMERO PRESSA | CODICI |
|----------------------|--|
| 3 | 9101715; 9101998; 9101014; 9101082 |
| 4 | 9101107; 9101099; 9101044; 9101716 |
| 5 | 9101076; 9101711; 9101710; 9101111 |
| 6 (UL) | 9101102; 9101039; 9101712; 9101084; 9101020; 9101042; 9101008; 9101130; 9101072; 9101122; 9101089; 9101138; 9101131; 9101717; 9101713; 9101698; 9101112 |

Tabella 4.6 Assegnazione codice-pressa

I codici assegnati alle presse 3-4-5 sono codici con domanda e volumi produttivi più elevati. Una volta prodotti in fonderia non rimangono a lungo nel magazzino grezzi perché la richiesta da parte dei processi a valle è piuttosto alta, vengono prelevati per essere lavorati e spediti. I dieci codici assegnati alla pressa 6 invece hanno domanda e volumi produttivi più contenuti, per molti di questi codici basterà una sola sequenza produttiva per poter soddisfare l'intera domanda annuale. Il problema legato a questi codici è il costo di mantenimento a scorta, infatti una volta prodotti gran parte di questi corpi grezzi rimarranno in magazzino per molto tempo.

Completata questa operazione di scheduling, si è proseguito applicando il modello di Magee-Boodman in riferimento alle quattro presse con i rispettivi codici assegnati. In questo modo si sono potute calcolare le rispettive campagne di produzione e i rispettivi lotti economici. Questi ultimi dati hanno permesso di calcolare sia i giorni produttivi necessari a produrre il lotto economico sia una stima di una giacenza media a magazzino basata su produttività e consumi riferiti

al numero di giorni necessari per produrre il lotto economico. Si riporta di seguito il foglio di calcolo riferito ad una pressa.

| CODICE (k) | D(k) | R(k) | Q | gg | prod | consumo | giacenza | | | | |
|------------|--------|------|-------|----|-------|----------|----------|-----------|-----|--|--------------------------|
| 9101107 | 413360 | 6000 | 29526 | 5 | 30000 | 8794,894 | 21205 | 105184,11 | 250 | | P(k) costo var prod |
| 9101099 | 413115 | 6000 | 29508 | 5 | 30000 | 8789,681 | 21210 | 105147,61 | 250 | | Cm tasso mant scorta 20% |
| 9101044 | 275440 | 6000 | 19674 | 4 | 24000 | 4688,34 | 19312 | 79788,05 | 250 | | a(k) costo set up 250 |
| 9101716 | 265519 | 6000 | 18966 | 4 | 24000 | 4519,472 | 19481 | 77586,75 | 250 | | H gg lavorativi 235 |
| | | | | | | | 81208 | | | | |
| | | | | | | | | | | | numeratore 367706,53 |
| | | | | | | | | | | | denominatore 2000 |
| | | | | | | | | | | | n0 14 |

Tabella 4.7 Foglio di calcolo

Applicato il modello alle quattro presse si è potuto vedere come i giorni medi produttivi si aggirino intorno ai sei, così come la somma delle giacenze medie per i diversi codici da 341.941 pezzi, un numero molto vicino a quello calcolato in precedenza che rientra nel range storico. Quanto preso per buono precedentemente nel calcolo del numero di KANBAN trova quindi conferma in quanto fatto sopra.

4.3.2.2 Allocazione codici di livello9 nei nuovi magazzini

La procedura seguita nel paragrafo precedente ha permesso di calcolare le giacenze medie per ogni codice di livello9 e una giacenza totale di corpi grezzi. Ad oggi il magazzino grezzi è unico e si trova nel reparto fonderia (cerchio verde), presto però dovrà lasciare spazio ad una nuova pressa, la sedicesima della fonderia. Pertanto, le gabbie di corpi grezzi dovranno essere stoccate in aree diverse. L'azienda ha individuato delle aree di stoccaggio provvisorie (rettangoli rossi), non si esclude infatti che possano essere spostate nuovamente in futuro. A differenza della situazione attuale, con un'unica area dedicata allo stoccaggio delle gabbie, la situazione futura prevede tre magazzini più piccoli dislocati in zone diverse che per comodità chiameremo magazzino buratti, magazzino trapani e magazzino parete.

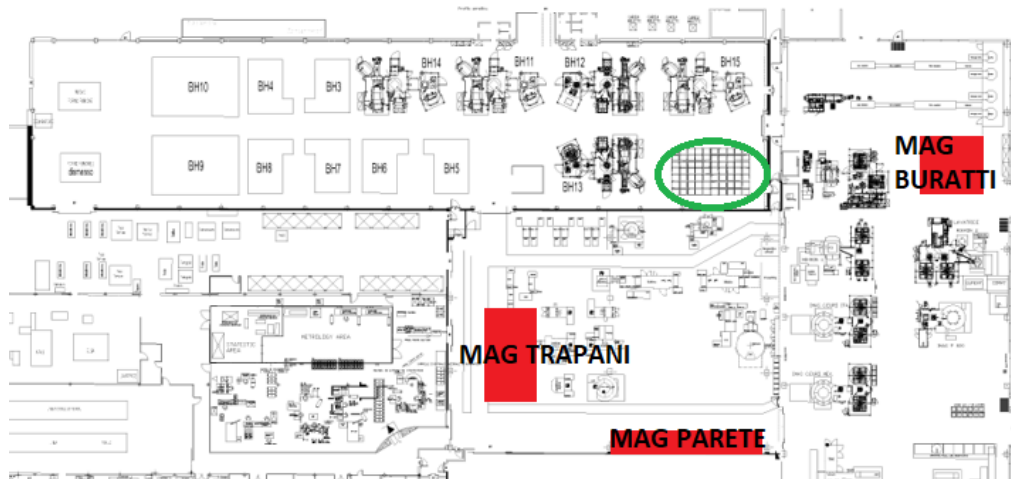


Figura 4.2 Disposizione magazzini

I problemi da risolvere in questo cambio di locazione sono due, il primo è quello di capire l'effettiva capacità in termini di numero di pezzi potenzialmente contenuti delle tre aree e il secondo è decidere a quale magazzino assegnare i diversi codici prodotti in fonderia.

Per il calcolo delle capacità si sono misurate le superfici destinate allo stoccaggio e si sono divise per la superficie occupata da una gabbia ($0,8 \text{ m}^2$). In questo modo si è potuto calcolare il numero di gabbie potenzialmente contenute in quell'area. Si è poi moltiplicato questo numero per quattro, ossia il numero di gabbie impilate una sopra all'altra nelle cataste. Come ultimo passaggio si è moltiplicato il numero di gabbie totali contenute in ogni area per il numero di pezzi contenuto in ogni gabbia (384). La somma dei pezzi potenzialmente contenuti (364.800) è superiore alla somma delle giacenze medie (341.941), questo indica che le aree individuate per il futuro stoccaggio delle gabbie uscenti dalla fonderia sono sufficienti.

Per l'allocazione dei vari codici alle diverse aree di stoccaggio si è partiti saturando il magazzino più "comodo", ossia quello più vicino alla burattatura. Il primo magazzino preso in considerazione è quindi il magazzino buratti, poi si è preso in considerazione il magazzino trapani ed infine il magazzino parete. Per decidere quali codici assegnare ai diversi magazzini si è calcolato un indice di ripristino della scorta, ossia un indicatore di ogni quanto la scorta a magazzino viene ripristinata. L'indice di ripristino è stato ottenuto dividendo la giacenza media del codice per il consumo settimanale del medesimo, questo calcolo è stato fatto per tutti i codici. Si è proceduto a saturare la capienza dei tre magazzini prendendo i codici di prodotto per indice di ripristino crescente, quindi dai codici

con indice di ripristino più basso, codici che rimangono poco tempo nel magazzino, ai codici con indice più alto, che rimangono in magazzino più a lungo.

| codice | giacenza | consumo sett | indice ripristino | n gabbie giacenza | n gabbie movimentate | viaggi | mag | pressa |
|---------|----------|--------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------|--------------------|--------|
| 9101715 | 25760 | 14988 | 2 | 67 | 40 | 14 | BUR | BH15 |
| 9101099 | 21210 | 8487 | 2 | 55 | 23 | 8 | BUR | BH13 |
| 9101107 | 21205 | 8474 | 3 | 55 | 23 | 8 | BUR | BH13 |
| 9101076 | 31246 | 12087 | 3 | 81 | 32 | 11 | BUR(62)/TRAP(19) | BH11 |
| 9101998 | 15787 | 4686 | 3 | 41 | 13 | 5 | BUR | BH15 |
| 9101044 | 19312 | 5684 | 3 | 50 | 15 | 5 | TRAP | BH13 |
| 9101716 | 19481 | 5381 | 4 | 51 | 15 | 5 | TRAP | BH13 |
| 9101014 | 10780 | 2902 | 4 | 28 | 8 | 3 | TRAP | BH15 |
| 9101711 | 20006 | 4765 | 4 | 52 | 13 | 5 | TRAP | BH11 |
| 9101102 | 30050 | 6382 | 5 | 78 | 17 | 6 | TRAP | BH6 |
| 9101082 | 11091 | 2161 | 5 | 29 | 6 | 2 | TRAP | BH15 |
| 9101710 | 11238 | 1816 | 6 | 29 | 5 | 2 | TRAP(8)/PARETE(21) | BH11 |
| 9101111 | 11299 | 1715 | 7 | 29 | 5 | 2 | PARETE | BH11 |
| 9101130 | 13479 | 1452 | 9 | 35 | 4 | 2 | PARETE | BH6 |
| 9101122 | 11044 | 1121 | 10 | 29 | 3 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101084 | 2938 | 296 | 10 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101072 | 13593 | 1342 | 10 | 35 | 4 | 2 | PARETE | BH6 |
| 9101039 | 8490 | 811 | 10 | 22 | 3 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101089 | 11173 | 971 | 12 | 29 | 3 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101712 | 5819 | 431 | 14 | 15 | 2 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101020 | 2977 | 111 | 27 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101138 | 2991 | 46 | 65 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101042 | 2993 | 33 | 90 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101131 | 2995 | 24 | 125 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101717 | 2995 | 24 | 125 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101713 | 2996 | 21 | 143 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101698 | 2997 | 16 | 187 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101008 | 2997 | 14 | 220 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |
| 9101112 | 2998 | 11 | 275 | 8 | 1 | 1 | PARETE | BH6 |

Tabella 4.8 Allocazione codici- magazzino

Seguendo questa procedura si è potuto allocare i codici più importanti in termini produttivi il più vicino possibile, di conseguenza si è andati a minimizzare le distanze percorse. La suddivisione ottenuta viene avvalorata anche dall'analisi ABC delle movimentazioni verso la burattatura che si può effettuare su quanto deciso. Infatti, i codici presenti nel magazzino buratti rappresentano il 17% dei codici ed il 54% delle movimentazioni (classe A), nel magazzino trapani sono presenti il 21% dei codici responsabili del 30% delle movimentazioni (classe B) e nel magazzino parete, il più lontano, sono contenuti il 62% dei codici responsabili del 16% delle movimentazioni. Grazie allo studio di scheduling fatto in precedenza si sono potute assegnare le sequenze di codici da produrre alle presse più vicine al magazzino a cui gli stessi codici sono stati assegnati minimizzando la distanza percorsa.

CAPITOLO 5

Analisi delle movimentazioni interne

L'obiettivo finale del lavoro è quello di andare a vedere quali delle movimentazioni interne allo stabilimento possano essere automatizzate per poter permettere agli operatori di dedicarsi solamente alle attività a valore aggiunto, ossia quelle attività che agli occhi del cliente aggiungono valore al prodotto. Le movimentazioni interne allo stabilimento non ricadono sicuramente tra queste, sono infatti attività che non aggiungono valore al prodotto ma che sono inevitabili, queste possono essere classificate o come attività di supporto o come attività non a valore aggiunto.

5.1 Calcolo movimentazioni interne

Quanto fatto fino ad adesso ci ha permesso di valutare i flussi produttivi in termini di volumi e distanze percorse. Quello che si vuole fare ora è stimare, per le principali movimentazioni coinvolte nel processo di produzione della famiglia SIGMA, una distanza percorsa settimanalmente dagli operatori e riportarla su un intero anno produttivo quantificandola anche in termini di costo. Le principali movimentazioni individuate per la produzione di SIGMA sono:

- Spostamento gabbie dalle presse ai magazzini grezzi
- Spostamento gabbie dai magazzini grezzi alla burattatura
- Spostamento termoformati dalla burattatura alle Mikron
- Spostamento termoformati dalle Mikron alla TEM
- Spostamento cassoni materozze dalle presse al forno fusorio

Quest'ultima è una movimentazione che fino ad ora abbiamo trascurato, è una movimentazione di ritorno e non di avanzamento dei pezzi verso valle. Mentre tutte le movimentazioni permettono l'avanzamento della produzione dei corpi, questa movimentazione non avanza i corpi valvola verso valle ma riporta al forno fusorio le materozze e i canali di colata tranciati nell'isola di pressocolata.

Per stimare la distanza percorsa in una settimana ci si è basati sul numero di viaggi fatti dall'operatore nella settimana e sulla distanza coperta ad ogni viaggio. Si è considerata solo l'andata dei viaggi per semplificare il problema e per poter valutare la movimentazione su parametri certi, durante lo studio e le diverse valutazioni, infatti, si sono valutati solo i flussi di andata mentre quelli di ritorno sono stati trascurati. Il numero di viaggi compiuto da un operatore è funzione del volume produttivo, della capienza delle Udc e del numero di Udc

spostate ad ogni viaggio. Pertanto, si sono presi in considerazione i seguenti parametri:

- I cassoni contenenti i canali di colata e le materozze vengono portati singolarmente dall'operatore dalla pressa al forno
- Le gabbie metalliche vengono movimentate tre alla volta dall'operatore con un transpallet elettrico (3 gabbie = 1.152pz) sia dalle presse ai magazzini che dai magazzini alla burattatura
- Le pedane di termoformati movimentate dalla burattatura alle Mikron contengono 15 vassoi (675pz)
- Le pedane di termoformati movimentate dalle Mikron alla TEM contengono 10 vassoi (450pz)
- La velocità della movimentazione si è ipotizzata fissa ad 1m/s

Per la valutazione delle movimentazioni di gabbie e pedane di termoformati si è fatto riferimento a tutti i dati fino a qui trovati e ricavati (volumi, giacenze, percorsi), per la valutazione delle movimentazioni dei cassoni della fonderia, invece, si è potuto fare riferimento ai dati di carico del forno. Il forno, infatti, ha una sorta di ascensore in cui vengono caricati o un certo numero di lingotti di alluminio o un singolo cassone di scarti alla volta. Il carico prima di essere rovesciato nel forno viene pesato, ed è proprio la differenza di peso delle due tipologie di carico che ha permesso di conteggiare quanti cassoni vengono portati mediamente al forno in una settimana (650 cassoni a settimana). Si è poi potuto stimare la distanza totale percorsa calcolando le diverse distanze tra le presse e il forno e sapendo che le presse piccole generano un cassone di scarti ogni tre ore mentre le presse grandi un cassone ogni due ore.

In seguito alla valutazione delle movimentazioni si è fatta una stima del costo annuale delle stesse prendendo in considerazione il costo orario della manodopera.

| MOVIMENTAZIONE | DISTANZA SETT.(m/sett) | DISTANZA ANNUALE(m/anno) | TEMPO MOVIMENTAZIONE(h/anno) | COSTO MOVIMENTAZIONE(€/anno) |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| cassoni da pressa a forno | 31.178 | 1.403.028 | 390 | 11.022 |
| gabbie da presse a magazzini | 7.991 | 359.573 | 100 | 2.825 |
| gabbie da magazzini a burattatura | 6.629 | 298.294 | 83 | 2.343 |
| termoformati da burattatura a Mikron | 8.667 | 390.005 | 108 | 3.064 |
| termoformati da Mikron a TEM | 8.348 | 375.638 | 104 | 2.951 |

Tabella 5.1 Principali movimentazioni

Dalla tabella si può notare come la movimentazione dei cassoni contenenti canali di colata e materozze, movimentazione fino ad ora non presa in considerazione,

sia quella più rilevante in termini di distanza percorsa e di conseguenza anche in termini di costi.

5.2 Classificazione movimentazioni interne

Ora che abbiamo quantificato le diverse movimentazioni in termini di distanza percorsa e costo, quello che si vuole fare è una classifica delle diverse movimentazioni per capire quale di queste debba avere la priorità per un'ipotetica futura automazione. Per stilare questa classifica si è ipotizzata una possibile automazione per ogni tipo di movimentazione considerata e si sono presi in considerazione diversi aspetti, quali: distanza percorsa settimanalmente, facilità di automazione (da 0 a 1), completezza dell'automazione (da 0 a 1) e costo stimato per l'installazione e l'implementazione dell'automazione. I costi stimati sono proporzionali al numero di carrelli coinvolti (un unico carrello coinvolto per ogni automazione) e alla lunghezza della movimentazione da automatizzare. Si è preso un costo fisso per il carrello LGV di 80.000 €, un costo fisso del software per la gestione del sistema e della sua installazione di 20.000€ e un costo variabile legato alla lunghezza del percorso e alle criticità dell'ambiente.

Vediamo ora nel dettaglio le possibili automazioni proposte per le rispettive movimentazioni:

- Cassoni dalle presse al forno: l'automazione di questa movimentazione non elimina l'intervento da parte dell'operatore, questo infatti deve prelevare il cassone pieno da sotto la trancia e posizionarlo nell'apposita area di prelievo fuori dalla cella. Una volta fatta questa operazione, l'operatore deve posizionare sotto la trancia un cassone vuoto. I cassoni pieni vengono prelevati da un carrello automatico LGV e vengono portati o in un buffer vicino al forno oppure, se il forno lo consente, vengono posizionati sull'ascensore di carico del forno. Le criticità per questa automazione sono l'ambiente promiscuo e sporco, tipico degli ambienti di fonderia.
- Gabbie dalle presse ai magazzini: la movimentazione prevede un LGV capace di movimentare 3 gabbie alla volta. Il carrello viene chiamato dall'operatore dopo che lo stesso ha impilato le gabbie. Il carrello preleva le tre gabbie da un'area a bordo pressa dedicata ed in base al codice di prodotto contenuto nelle gabbie si muove verso l'area di stoccaggio a questi assegnata. Una volta raggiunta l'area di stoccaggio, l'LGV deposita

la catasta in una zona dedicata, sarà poi un operatore a stoccare le gabbie nella maniera più opportuna. Anche questa implementazione prevede comunque l'intervento umano. Le criticità sono legate alla movimentazione di 3 gabbie alla volta, alle distanze percorse elevate, all'ambiente ambiente promiscuo, alla gestione di più carrelli e alla contemporaneità di chiamata.

- Gabbie dai magazzini alla burattatura: l'automazione proposta è molto simile a quella precedente. Prevede un carrello LGV che preleva tre gabbie alla volta da un'area adiacente al magazzino e le deposita in una zona dedicata vicino alla burattatura. Le criticità rilevate sono le stesse descritte sopra.
- Termoformati dalla burattatura alle Mikron: anche questa automazione prevede l'utilizzo di un LGV che preleva da un buffer a fine linee di burattatura e deposita le pedane di termoformati in ingresso alle Mikron. Le criticità sono legate alla gestione del buffer e dello scheduling e alla promiscuità dell'ambiente.
- Termoformati dalle Mikron alla TEM: la movimentazione prevede l'utilizzo di un carrello a guida automatica (LGV) che si interfaccia con le Mikron (2-3) e con la TEM per portare le pedane di termoformati dall'uscita delle Mikron all'ingresso della TEM. Il sistema prevede la chiamata dell'LGV da parte dell'operatore della Mikron (solo dopo il controllo delle misure sui pezzi fatto dall'operatore stesso), una volta prelevata la pedana e percorso il tragitto, il carrello deposita le pedane o in ingresso alla TEM, se questa è pronta a riceverla, o in un buffer vicino, creato appositamente per ricevere le pedane che non possono essere caricate in TEM. Chiamate, prelievi, depositi, buffer vengono gestiti da un software dedicato (WMS/MES). Le criticità riscontrabili sono: la contemporaneità di chiamata dell'LGV da parte delle Mikron, la saturazione del buffer, il fermo macchina della TEM, la presenza di operatori lungo il tragitto.

Tutte le proposte fatte sopra hanno due caratteristiche in comune: non eliminano del tutto l'intervento da parte dell'operatore e sono automazioni che devono essere implementate tenendo conto della promiscuità dell'ambiente, quindi della presenza di operatori e carrelli manuali.

Per concludere quanto detto si è stilata una classifica per capire quale delle movimentazioni prese in considerazione debba avere la precedenza per

un'ipotetica automatizzazione. Per far ciò si è calcolato un *indice di priorità* con al numeratore la distanza percorsa settimanalmente moltiplicata per un fattore di facilità di automazione e uno di completezza e al denominatore il costo stimato dell'automazione, il tutto moltiplicato per un fattore di scala in modo da avere degli indici di facile lettura. Di seguito si riporta la classifica ottenuta:

| Tipo movimentazione | Metri settimana | Peso | Facilità automazione | Completezza automazione | Costo | Indice priorità | Costo Movimentazione |
|--------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|-------------------------|--------|-----------------|----------------------|
| movimentazione cassoni Trancia-Forno | 31178 | 4,811084739 | 0,9 | 0,5 | 150000 | 0,45 | 11021,5644 |
| movimentazione termo Mikron-TEM | 8348 | 4,811084739 | 0,9 | 1 | 100000 | 0,361466419 | 2950,84125 |
| movimentazione termo Buratto-Mikron | 8667 | 4,811084739 | 0,7 | 1 | 100000 | 0,2918837 | 3063,708563 |
| movimentazione gabbie Presse-Mag | 7991 | 4,811084739 | 0,7 | 0,8 | 120000 | 0,179411765 | 2824,64175 |
| movimentazione gabbie Mag-Buratto | 6629 | 4,811084739 | 0,7 | 0,8 | 120000 | 0,14883251 | 2343,263125 |

Tabella 5.2 Classificazione movimentazioni

Si può vedere che la movimentazione candidata alla possibile automatizzazione è quella dei cassoni in fonderia. Questo è dovuto al fatto che la distanza da percorrere in una settimana è molto elevata (31km) e che l'automazione, per come è stata pensata, non dovrebbe presentare grosse difficoltà.

5.3 Approfondimento su una possibile automazione

A completamento di questa analisi delle movimentazioni e della loro possibile automatizzazione si è voluto approfondirne una più nel dettaglio. La movimentazione scelta per l'approfondimento, ovviamente, è quella dei cassoni in fonderia. L'azienda ha deciso di appoggiarsi ad una ditta esterna specializzata nella realizzazione di automazioni in ambito industriale per avere in mano una proposta più dettagliata e un preventivo più preciso. Quanto proposto dalla ditta esterna è molto simile a quanto ipotizzato come possibile automazione. L'offerta prevede l'utilizzo di un carrello LGV che in andata preleva da un'area di stock dedicata (area A cassoni pieni/vuoti) un cassone pieno e lo deposita in un'area di stock nei pressi del forno (area B cassoni pieni), al ritorno il carrello preleva un cassone vuoto dall'area di stock apposita (area C cassoni vuoti) e lo deposita nell'area A. Come si può intuire questa proposta di automazione richiede comunque l'intervento dell'operatore. L'operatore della pressa, infatti, dovrà prelevare il cassone da sotto la trancia, posizionarlo nell'area A e rimpiazzarlo con un cassone vuoto. L'operatore del forno fusorio invece dovrà prelevare il cassone pieno dall'area B, posizionarlo nell'ascensore del forno e una volta svuotato metterlo nell'area C. L'automazione proposta porterebbe comunque dei benefici, gli operatori infatti non dovranno più fare su e giù per la fonderia spingendo i cassoni ma potranno rimanere nei pressi delle isole di pressocolata garantendo così un maggior controllo del processo e interventi più celeri in caso di bisogno, potendosi concentrare maggiormente sulle attività a valore aggiunto.

L'azienda che ha studiato e progettato questa soluzione consiglia inoltre di rifare la pavimentazione della fonderia facendo uno specifico trattamento di indurimento. Il passaggio del carrello sempre sulla stessa traiettoria, infatti, porta ad una veloce usura della pavimentazione. Il preventivo finale si aggira comunque intorno a quanto stimato in precedenza. Ad oggi però, il periodo di pay back è troppo lungo perché questo investimento possa essere approvato. L'azienda comunque riprenderà sicuramente in considerazione l'argomento in futuro quando i costi potrebbero essere minori e l'investimento necessario per via dei volumi produttivi sempre crescenti.

CAPITOLO 6

Carrelli automatici in ambiente promiscuo: sicurezza, comportamento e soluzioni

Tutte le proposte di automazione delle movimentazioni interne fatte fino ad ora hanno un elemento in comune non di poco conto, sono cioè tutte automazioni da fare in ambiente promiscuo, ovvero un ambiente in cui vi è la presenza sia di operatori sia di carrelli manuali movimentati di primi, con conseguenti problemi legati alla sicurezza degli operatori, delle strutture e dei carrelli stessi.

6.1 Principali problemi di sicurezza e soluzioni adottate

L'utilizzo di carrelli elevatori manuali ed automatici in un ambiente promiscuo porta con sé una serie di rischi non trascurabili sia per gli operatori che per le strutture. L'utilizzo scorretto dei carrelli è infatti una delle principali cause di incidenti e infortuni all'interno delle aziende. Ricerche recenti, fatte da diversi istituti che si occupano di sicurezza sul lavoro, hanno evidenziato come i carrelli manuali ed automatici siano coinvolti nelle principali dinamiche degli infortuni che sono: schiacciamento, ribaltamento, urto contro strutture ed oggetti, caduta persone e modalità di carico errate. Le cause principali di questi incidenti possono essere identificate in distrazioni da parte degli operatori, elevata velocità del carrello negli spostamenti ed eccessivo peso trasportato in modo scorretto. Negli ultimi anni si sta cercando di ridurre il numero e la severità degli incidenti introducendo normative e regolamenti più stringenti, formando e sensibilizzando gli operatori e sviluppando dispositivi di sicurezza innovativi.

6.2 Riduzione performance carrello automatico dovuta alla promiscuità dell'ambiente

L'utilizzo di carrelli automatici in sostituzione ai carrelli manuali non elimina completamente i problemi legati ad incidenti ed infortuni ma sicuramente ne riduce la numerosità e l'entità. I carrelli automatici, infatti, sono dotati di diversi sensori (ottici, laser, sonori, luminosi) che permettono un costante controllo dell'ambiente circostante e la modulazione della velocità in base alle condizioni dell'ambiente. Sommariamente possiamo dire che un carrello ha diverse classi di velocità e modula la propria velocità in base all'ambiente circostante. Un esempio per chiarificare: un carrello sta viaggiando lungo una corsia alla sua velocità massima di 1 m/s, ad un certo punto, ad una distanza di 10 m, un operatore che spinge un transpallet attraversa la corsia, il carrello vede l'ostacolo ad una certa distanza ed inizia a rallentare, man mano che si avvicina all'ostacolo

identificato continua a rallentare (0,8-0,6-0,4 m/s), se l'ostacolo rimane fermo il carrello arriverà a fermarsi, se invece, come nel caso di un operatore con transpallet che attraversa, l'ostacolo si sposta e lascia la traiettoria libera, il carrello riprende ad accelerare per riportarsi alla sua velocità massima. Possiamo dire quindi che i carrelli automatici utilizzati in ambiente promiscuo difficilmente andranno alla loro velocità massima impostata ma continueranno a frenare ed accelerare a causa dei diversi e numerosi ostacoli che potrebbero incontrare lungo il proprio tragitto. Nelle prime progettazioni degli impianti di movimentazione quello che si tendeva a fare in fase di installazione, per garantire la sicurezza, era limitare la velocità massima raggiungibile dai carrelli per assicurare tempi e spazi di frenata ridotti con classi di velocità ristrette. Con il passare del tempo il controllo dei carrelli automatici si è evoluto grazie soprattutto alla programmazione software degli stessi. È proprio nel software del carrello infatti che vengono impostate velocità massima, classi di velocità e traiettorie. Negli ultimi anni sono stati sviluppati progetti molto interessanti proprio sullo studio delle migliori traiettorie da far compiere ai carrelli e sulle velocità ottimali da impostare per compiere le diverse traiettorie con pesi differenti, tutto ciò per aumentare l'efficienza dei carrelli e quindi la produttività del sistema. Programmando i carrelli in questo modo (con classi di velocità e controlli più performanti) si è sicuri che i carrelli si riescano a fermare prima di un eventuale urto o che non si ribaltino in curva per via dell'eccessivo peso trasportato o della troppo elevata velocità. Questo approccio però, per quanto corretto in ambito di sicurezza, è sconveniente in termini di produttività. Infatti, ridurre la velocità massima raggiungibile del carrello significa limitarne la potenzialità sacrificando la produttività. Spesso, infatti, si acquistano carrelli automatici che possano essere guidati anche da operatori, in questo modo nei momenti di picco si potrà far passare i carrelli da guida automatica a manuale per garantire maggior flessibilità e produttività. L'automazione delle movimentazioni in ambiente promiscuo presenta quindi un importante problema ossia quello del rischio di sottodimensionamento dell'impianto, cioè progettare un impianto con un certo numero di carrelli n che, una volta avviato l'impianto, risulterà insufficiente per garantire la produttività desiderata. Questo problema può essere "superato" attraverso due strade: la prima, già presa in considerazione da molti, è quella di rendere i carrelli sempre più performanti in termini cinematici e dinamici così che la loro velocità reale sia sempre il più vicino possibile a quella teorica presa in considerazione in fase di progettazione, la seconda è provare a stimare un indice/coefficiente che sia rappresentativo della

promiscuità dell'ambiente in cui deve essere fatta l'automazione per poi considerarlo in fase di dimensionamento della flotta di carrelli automatici come coefficiente di sicurezza o fattore di penalizzazione. Per quel che riguarda la prima via percorribile, già approfondita e sviluppata in diversi progetti, una menzione particolare merita il progetto europeo "SAFERUN" sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Parma in collaborazione con Elettroc80, noto costruttore di AGV e LGV, e PreGel, azienda in cui si sono fatti i test sperimentali. I risultati dell'intero progetto, durato quasi due anni, sono stati presentati a febbraio 2018 ed è emerso che grazie agli studi fatti su traiettorie e velocità, questo progetto ha permesso di migliorare la sicurezza dell'ambiente lavorativo e di aumentare la produttività dell'8,5%. La seconda via, invece, non trova ancora riscontri né teorici né pratici, almeno fino ad oggi. Quello che ci si propone di fare è provare a creare un modello che consenta, tenendo conto dell'ambiente di lavoro in cui si muovono i carrelli, di stimare la riduzione di velocità degli stessi per poter calcolare una velocità il più vicina possibile a quella reale.

6.3 Un possibile modello per stimare la riduzione delle performance dovuta alla promiscuità dell'ambiente

Per provare a creare un modello che permetta di stimare la riduzione della performance dei carrelli automatici che lavorano in ambiente promiscuo si è partiti analizzando i tipi di incontro che può avere un carrello nel corso della sua missione. Durante il tragitto, un carrello AGV/LGV può incontrare altri carrelli o gli operatori; il primo passo è stato quello di provare a calcolare la probabilità di incontro del carrello con questi ultimi. Per la probabilità di incontro con altri carrelli i parametri presi in considerazione sono il numero di missioni/ora dei carrelli legato alla movimentazione considerata N e il tempo per compiere una singola missione t , legato alla distanza da percorrere D e alla velocità di spostamento del carrello v . La probabilità di incontro P_c sarà data dal numero di missioni al secondo moltiplicato per il tempo di missione di un carrello.

$$P_c = (N/3600) \times t = (N/3600) \times (D/v)$$

Un esempio per chiarire: il numero di missioni/ora è 10, la distanza da percorrere è di 80 m ad una velocità di 1m/s, il tempo di missione è quindi di 80s. Le missioni al secondo sono $10/3600=0.0027$, la probabilità di incontro sarà $0.0027 \times 80=0,22$ quindi 22% di probabilità di incontrare altri carrelli sul proprio tragitto. Per la probabilità di incontro con un operatore, invece, ci si è basati sulla

densità degli operatori nel reparto o nella porzione di fabbrica in cui avviene la movimentazione. La probabilità di incontro del carrello con un operatore P_o sarà data dalla moltiplicazione tra la densità degli operatori sulla superficie considerata d (legata al numero di operatori n e alla superficie di lavoro s) e la superficie controllata dal carrello durante la movimentazione S , infatti, come abbiamo già detto, il carrello durante il movimento non controlla solo l'area nelle sue prossimità, ma controlla una superficie molto più ampia per verificare la presenza di eventuali ostacoli.

$$P_o = d \times S = (n/s) \times S$$

Per completezza, se gli operatori del reparto sono 5 e la superficie utile è di 400 m², la densità degli operatori sarà 0,0125 operatori/m². Ipotizzando che un carrello automatico in movimento controlli una superficie di 25 m², la probabilità di incontro con un operatore è 0,31 quindi 31%. Stimati questi due parametri basterà sommarli per sapere quale sarà la probabilità di incontro del carrello durante una missione P_{tot} ,

$$P_{tot} = P_c + P_o$$

53% se consideriamo gli esempi fatti. Il secondo passo per la creazione del modello è stato quello di provare a stabilire un coefficiente di riduzione della velocità dovuta agli incontri. Come si è già avuto modo di dire in precedenza, i carrelli automatici hanno diverse classi di velocità e modulano la propria velocità in base alla prossimità agli ostacoli. Durante il proprio tragitto il carrello potrà incontrare diverse situazioni, da quelle più agevoli che non richiederanno alcuna riduzione di velocità (nessun ostacolo) a quelle più critiche che porteranno il carrello a fermarsi completamente (ostacoli fermi lungo la traiettoria percorsa). Stimare i tipi di incontro del carrello e quindi le conseguenti riduzioni di velocità risulta molto difficile, per ricavare il coefficiente di riduzione ci si è messi in "vantaggio di sicurezza" prendendo in considerazione una delle situazioni di incontro peggiori e che non dovrebbe verificarsi spesso, quella in cui il carrello è costretto a fermarsi del tutto e ripartire da fermo. Per comodità si chiamerà questa situazione stop&go. Considerando un carrello con 6 classi di velocità che teoricamente viaggia alla velocità di 1m/s, nella situazione di stop&go il carrello varierà la propria velocità secondo questa sequenza: 1m/s-0,8-0,6-0,4-0,2-0m/s-0,2-0,4-0,6-0,8-1m/s, considerando tempi di permanenza in ciascuna classe di velocità uguali, la velocità media in questo caso sarà di 0,54 m/s con una riduzione rispetto a quella teorica del 46%. Il coefficiente di riduzione *Coeffrid*

trovato è il coefficiente di riduzione di velocità del carrello ad ogni incontro, basterà quindi moltiplicare questo coefficiente per la probabilità cumulata di incontro per avere una stima di riduzione della performance *Ridperf* del carrello in termini di velocità.

$$Ridperf = Coeffrid \times P_{tot}$$

Per l'esempio fatto si ottiene una velocità teorica di 0,75 m/s. Di seguito si riporta il modello ipotizzato scritto su Excel.

| | | | | |
|-------------------------------------|--------|-------------------|------------------------------------|----------|
| missioni | 10 | carrelli/h | | |
| distanza movimentazione | 80 | m | probabilità incontro tra carrelli | 22% |
| velocità carrello | 1 | m/s | | |
| tempo movimentazione | 80 | s | probabilità incontro con operatori | 31% |
| superficie totale di lavoro | 400 | m ² | | |
| superficie controllata dal carrello | 25 | m ² | | |
| numero operatori | 5 | | | |
| densità operatori | 0,0125 | op/m ² | probabilità incontro cumulata | 53% |
| | | | riduzione performance | 0,245972 |
| | | | perdita performance | 0,245972 |
| vel media stop&go | 0,54 | | velocità reale carrello | 0,754028 |
| differenza vel teorica-reale | 0,46 | | | |
| coeff riduzione | 46% | | | |

Tabella 6.1 Modello di calcolo ipotizzato

Questo modello può essere applicato facilmente e velocemente a diverse situazioni in cui vi sia l'utilizzo di carrelli automatici in ambiente promiscuo, dalla realtà produttiva metalmeccanica con carico/scarico delle Udc dalle stazioni di lavoro tramite LGV, allo stabilimento di assemblaggio con linee servite da carrelli automatici, fino al magazzino con stoccaggio e prelievo della merce in modo automatizzato. È facile intuire che minore sarà la presenza di altri carrelli e di operatori, minori saranno le probabilità di incontro e quindi maggiore sarà la velocità reale. Per la stima di questo modello non si è presa in considerazione una situazione in cui vi sia la presenza di soli carrelli automatici perché si presuppone che il software che gestisce le movimentazioni minimizzi le probabilità di incontro.

Con un approccio di questo tipo e a seconda dell'aspetto che si vuole considerare, sarà possibile, già in fase di progettazione, fare delle valutazioni sia di carattere tecnico che di carattere economico per verificare l'aderenza di quanto progettato a quanto richiesto. Sarà possibile, infatti, valutare sia eventuali sottodimensionamenti o sottoutilizzi della flotta sia gli eventuali investimenti da sostenere ed i diversi parametri economici a questi collegati.

CAPITOLO 7

Conclusioni

Gli obiettivi che ci si era posti all'inizio della stesura di questo lavoro erano principalmente tre: fotografare lo stato attuale della produzione (AS IS) e di valutare/proporre dei cambiamenti per provare a migliorare i flussi produttivi in uno stato futuro (TO BE); valutare quale tra le diverse movimentazioni dovrebbe avere la priorità per una possibile automazione, tenendo in considerazione i volumi da movimentare, i costi dell'automazione e la facilità di automazione e provare a stimare un coefficiente di riduzione delle performance dei carrelli automatici da tenere in considerazione sia in fase di progettazione/dimensionamento della flotta di carrelli, sia in fase di valutazione degli investimenti da sostenere. Per quel che riguarda il primo obiettivo si può dire che, grazie ad una mappatura approfondita e dettagliata e all'utilizzo di strumenti molto visual, è stato possibile individuare facilmente le criticità legate alla produzione e proporre delle soluzioni per migliorare e razionalizzare i flussi produttivi. Per la valutazione della priorità di automazione, poi, si è visto come tenere in considerazione tutti i diversi parametri legati alle movimentazioni può portare a risultati che ad una prima valutazione non sarebbero mai stati presi in considerazione. Infine, per il terzo ed ultimo obiettivo, sicuramente il più difficile ed ambizioso, la pretesa di questo lavoro non è quella di proporre una soluzione perfetta e definitiva ma è quella di portare alla luce un problema di una certa rilevanza che ad oggi non è stato ancora preso in considerazione a dovere. Quanto proposto, perciò, aspira ad essere solo una base o uno spunto per studi e ragionamenti più approfonditi con prove sperimentali sul campo ad avvalorare quanto emerso.

Bibliografia

Baglio M., Dallari F., Raboni M., Russo G., “*Sicuri di non poter far di più?*”, Centro di Ricerca sulla Logisitca-Università Cattaneo LIUC

Blanchet M., Rinn T., (2016), “*The Industrie 4.0 transition quantified - How the fourth industrial revolution is reshuffling the economic, social and industrial model*”, Roland Berger GMBH (www.rolandberger.com)

Blanchet M., Rinn T., Von Thaden G., De Thieulloy G., (2014), “*Industry 4.0: the new industrial revolution. How Europe will succeed*”, Roland Berger GMBH (www.rolandberger.com)

Brandolese A., Pozzetti A. e Sianesi A., “*Gestione della produzione industriale*” (editore Hoepli)

King P.L., “*Lean thinking per le aziende di processo*” (editore Hoepli)

Magee J.F. e Boodman D.M., “*Programmazione della produzione e controllo delle scorte*” (editore FrancoAngeli)

Oriani G. (2015), “*Industria 4.0. Sulla strada della fabbrica del futuro. Qual è la situazione dell'Italia?*”, Staufen Italia (www.staufen.it)

Perri S., Guarino Lo Bianco C., Locatelli M., “*Jerk bounded velocity planner for the online management of autonomous vehicles*”

Persona A., Pareschi A., Ferrari E. e Regattieri A., “*Logistica integrata e flessibile*” (editore Esculapio)

Raineri M., Perri S., and Guarino Lo Bianco C., *“Online velocity planner for Laser Guided Vehicles subject to safety Constraints”*

Rother M. e Shook J., *“Learning to see”* (editore CUOA Lean Enterprise Center)

Rußmann M., Lorenz M., Gerbert P., Waldner M., Justus J., Engel P., Harnisch M., (2015) *“Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”*, Boston Consulting Group (www.bcgperspectives.com)