POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria della Produzione Industriale e dell' Innovazione Tecnologica

Applicazione della Filosofia Lean per la Standardizzazione della Produzione - Il Caso Pirelli

Relatori:

Prof.ssa Sabrina Grimaldi

Ing. Bruno Rollero

Candidato:

Ing. Marco Vetrugno

Torino, 26 ottobre 2020

SOMMARIO

ASTRATTO 5
INTRODUZIONE 6
CAPITOLO 1 – EVOLUZIONE DEL MANUFACTURING SYSTEM 8
1.1 Industria 4.0 e Lean Production per creare valore nel prodotto 9
1.1.1 La filosofia GEMBA 12
1.2 Identificazione dei MUDA 12
1.3 Il Just in Time: modello realizzativo di una Visual Factory 13
1.4 Smart Manufacturing: i pilastri dell' Industria 4.0 14
1.5 Strumenti della Lean Production 16
1.5.1 Il Ciclo PDCA come piano di ottimizzazione interna 17
1.5.2 Principi operativi della Lean Production 18
1.6 Standardizzazione & Target: la Quality Loss Function 19
1.7 KPI – Indicatori di performance e miglioramento 21
1.8 TPM – Total Productive Maintenance 22
1.9 Overall Equipment Effectiveness(OEE) come principale KPI aziendale 23
CAPITOLO 2 – LA PIRELLI INDUSTRIE PNEUMATICI SRL 26
2.1 Storia di Pirelli 26
2.2 Lo pneumatico 27
2.3 I prodotti 28
2.4 Composizione di uno pneumatico 30
2.5 Ricerca e Sviluppo (R&D) 30
2.6 MIRS - Modular Integrated Robotized System 31
2.7 Partners & Mercato 33
2.8 Sostenibilità ed indicatori sociali 34
CAPITOLO 3 – LA GESTIONE DELLE SCORTE IN MAGAZZINO 37
3.1 Sistemi di gestione a periodo multiplo 38
3.1.1 Modello a tempo fisso 38
3.1.2 Modello a quantità fissa 39
3.1.3 Scorte di sicurezza 41
CAPITOLO 4 – PREVISIONE DELLA DOMANDA E PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE 42
4.1 Strategia PUSH 43
4.2 Strategia PULL 44
CAPITOLO 5 – DESCRIZIONE DEL CICLO PRODUTTIVO PIRELLI 45
5.1 Mescolatura 45
5.2 Semi-lavorati 47
5.3 Confezione(Building) 49

5.4 Vulcanizzazione 52
5.5 Finitura 53
5.6 Analisi del sistema di pianificazione Pirelli 55
5.7 Descrizione Polo di Settimo Torinese 57
5.8 Confezione e Vulcanizzazione nel Car Nord 59
5.9 Funzionamento e struttura del magazzino nel Car Nord 60
CAPITOLO 6 – INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' 64
6.1 Analisi FMEA – Failure Modes and Effect Analysis 65
6.2 Ottimizzazione della produzione: cosa si deve migliorare? 68
CAPITOLO 7 – VALORE AGGIUNTO DEL PROGETTO 73
7.1 Metodo – Sistema a quantità fissa (FOQ) 74
7.2 Procedimento 76
7.3 Calcolo 78
7.4 MRP – Material Requirements Planning 81
7.4.1 Rappresentazione grafica 84
7.5 Situazione di partenza 86
7.6 Ottimizzazione e risoluzione dei problemi 88
CAPITOLO 8 – OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO E RISULTATI 91
8.1 Diminuzione dei fermi ed incremento dell'OEE 94
8.2 Standardizzazione di regole comportamentali 95
8.3 Analisi di Pareto degli items 97
8.4 Ampiezza dei lotti su mole produttiva: dimostrazione di Lean Production 98
CONCLUSIONE 101
GLOSSARIO 103
BIBLIOGRAFIA 105
RINGRAZIAMENTI 107

INDICE DELLE FIGURE

Figure 1 - Approccio Lean 10
Figure 2 - Gli sprechi 12
Figure 3 - Pilastri dell'Industria 4.0 14
Figure 4 - Quality Loss Function 20
Figure 5 - Scheda OEE 24
Figure 6 - Logo Pirelli 27
Figure 7 - Prodotti Pirelli 28
Figure 8 - Miglioramento MIRS 32
Figure 9 - Indicatori Economici 34
Figure 10 - Indicatori Ambientali 34
Figure 11 - Indicatori Sociali 35
Figure 12 - Riordino a tempo fisso 39
Figure 13 - Modello a quantità fissa 41
Figure 14 - Riordino a quantità fissa 41
Figure 15 - Banbury 46
Figure 16 - Composizione pneumatico 48
Figure 17 - VMI 49
Figure 18 – Man-Machine Chart VMI 51
Figure 19 – Vulcanizzatore (2 stampi) 53
Figure 20 - Man Machine Chart Finitura 54
Figure 21 - Interfaccia Push/Pull 56
Figure 22 - Flow Chart Pirelli 58
Figure 23 - Magazzino 61
Figure 24 - Flow Chart FMEA 66
Figure 25 - FMEA di partenza 67
Figure 26 - Lottizzazione 78
Figure 27 - Tabella di calcolo 79
Figure 28 - MRP base 81
Figure 29 - MRP completo 83
Figure 30 - Rappresentazione grafica 84
Figure 31 - Rappresentazione consumi 85
Figure 32 - Andamento iniziale consumi 86
Figure 33 - Occupazione iniziale magazzino 87
Figure 34 – Diagramma di Gantt iniziale 87
Figure 35 – Diagramma di Gantt ottimizzato 88
Figure 36 - Consumi regolarizzati 89
Figure 37 - Magazzino ottimizzato 90
Figure 38 - Risultati 91
Figure 39 - FMEA Finale 92
Figure 40 - Miglioramenti RPN 93
Figure 41 - Miglioramento OEE 94
Figure 42 - Analisi ABC 97
Figure 43 – Confronto Diagrammi di Gantt 98
Figure 44 - Ampiezza lotto 99

ASTRATTO

Questa tesi in azienda è incentrata sull'applicazione di un nuovo modello di pianificazione e programmazione della produzione tra le fasi di confezione, stoccaggio e vulcanizzazione di uno pneumatico in Pirelli.

Attraverso la tecnica della standardizzazione si può ovviare a cause di spreco e ritardi nel processo, incrementare i lotti prodotti, incentivare la produzione e sfruttare meglio le risorse a disposizione, che siano macchinari, scorte in magazzino o semilavorati.

L'obiettivo del progetto proposto è di individuare un target di ampiezza dei lotti idoneo al raggiungimento di questi scopi ed allo stesso tempo un sistema per calcolarlo in ogni situazione nonostante l'alto grado di diversificazione dei prodotti e di variazione dei tempi di ciclo in fabbrica.

L'utilizzo di un sistema di riordino a quantità fissa ed il calcolo di un Fixed Order Quantity (FOQ) affiancati ad una precisa delineazione di un Material Requirements Planning (MRP) hanno permesso di ottimizzare la parte di processo in questione con evidenti risultati.

In Pirelli "Power is nothing without control" ma in produzione "improvement is nothing without standardization".

INTRODUZIONE

La stesura di questa tesi di laurea parte dall'esperienza di tirocinio svolta negli scorsi mesi presso il polo produttivo di Pirelli a Settimo Torinese(TO). Pirelli è una azienda multinazionale con più stabilimenti produttivi in tutto il mondo, ma mantiene solidamente le proprie origini italiane, e lavorarci non può che essere motivo di orgoglio per uno studente che sogna di contribuire a rendere il proprio Paese un posto migliore ed all'avanguardia, anche grazie all'implementazione della tecnologia.

Ogni società è figlia della propria era, ed è negli ultimi decenni che si può collocare la nascita dell'Industria 4.0, che ha rivoluzionato il modello aziendale e rovesciato le logiche della produzione industriale.

Lavorare in Pirelli da l'occasione di interfacciarsi con menti brillanti che ogni giorno dimostrano cosa significhi convogliare le capacità alla motivazione per fare bene il proprio lavoro. Il forte senso di appartenenza che i dipendenti Pirelli hanno nei confronti del marchio che rappresentano infonde in loro uno spirito di sacrificio che spesso va oltre il semplice dovere lavorativo. Con questi presupposti il motto ufficiale Pirelli "Power is nothing without control" diventa "Power is nothing without our people".

Il tirocinio in questione ha avuto luogo nel dipartimento di PMS (Pirelli Manufacturing System) nell'ambito dell'Industrial Engineering, posto ideale per capire anche da un punto di vista pratico cosa sia la Lean Production e quali siano gli strumenti più usati in ottica di ottimizzazione e riduzione degli sprechi. In fabbrica la standardizzazione assume il ruolo cruciale di attività di stabilizzazione del miglioramento continuo e di monitoraggio dei target di qualità, evidenziando come produzione, qualità, manutenzione, ricerca e contabilità non siano mondi a sé stanti se convogliati in un'unica direzione che segua una visione comune.

Il progetto portato avanti durante questi mesi è incentrato sulla standardizzazione dei lotti di produzione e sulla gestione del magazzino secondo logica FIFO, che hanno portato ad un incremento della produzione in determinate fasi di processo. Fa riflettere come anche in un'azienda multimiliardaria e tra i leader del settore si possa sempre migliorare e migliorarsi. E forse è proprio la consapevolezza dei propri limiti a dare coscienza che le imperfezioni non sono un demerito se si punta a correggerle, bensì un motivo di vanto.

Lavorare in Pirelli permette di osservare dall'interno come è strutturata una grande azienda e cosa significhi unire le conoscenze teoriche al pragmatismo. Spesso le cose più funzionali sono le più semplici. È stata un'occasione di crescita sia universitaria e lavorativa ma anche umana.

Partendo dal concetto di Industria 4.0 si può approfondire la filosofia Lean a valle dello Smart Manufacturing, con riferimento particolare all'ambito della produzione e della pianificazione volte a minimizzare gli sprechi nel processo al fine di creare valore per il prodotto.

È proprio il concetto di 'valore', inteso come qualsiasi risorsa, azione o attività che apporti qualcosa di significativo e nuovo al prodotto, a definire la soglia limite che divide l'utile dall'inutile, il necessario dal superfluo, il miglioramento continuo dalla routine e stagnazione delle idee.

Ottimizzazione è miglioramento di ciò che hai davanti, conoscenza di quel che hai alle spalle ma soprattutto valorizzazione di quel che hai dentro.

CAPITOLO 1 – EVOLUZIONE DEL MANUFACTURING SYSTEM

Lo sviluppo dell'attuale sistema manifatturiero aziendale passa attraverso quattro tappe temporali che prendono il nome di rivoluzioni industriali.

Ognuna di queste quattro rivoluzioni ha segnato cambi radicali nell'approccio al mondo del lavoro, con l'introduzione di nuove invenzioni e scoperte, ma non solo. Ad ogni rivoluzione tecnologica ha corrisposto una rivoluzione culturale e sociale, con variazioni nello stile di vita, nell'economia e nelle usanze delle persone.

Si può ricondurre per la prima volta l'espressione 'Rivoluzione Industriale' al periodo storico a cavallo tra il 1700 ed il 1800 in cui la scoperta di nuove fonti energetiche quali i combustibili fossili e la creazione delle prime macchine a vapore da il via in Inghilterra alla Prima Rivoluzione Industriale, con un importante passaggio da un'economia di tipo rurale ed artigianale ad un'economia industriale. In contemporanea avviene una migrazione di massa dai piccoli centri rurali verso le grandi città, che si ingrandiscono sempre più gettando le basi della società moderna.

Circa un secolo dopo, tra fine '800 ed inizio '900, in America si assiste all'inizio della Seconda Rivoluzione Industriale, costernata da nuove invenzioni in vari campi produttivi, ma ancor più dalla scoperta dell'elettricità, che stravolge il tenore di vita del tempo con innovazioni come l'illuminazione stradale, e del petrolio che da modo di creare nuovi mezzi di trasporto. Con la Seconda Rivoluzione Industriale nasce anche un modello di gestione aziendale che prende il nome di 'Produzione di Massa' introdotto dallo statunitense Henry Ford, che prevede lo sfruttamento intensivo delle risorse e la creazione di linee di produzione basate su una 'catena di montaggio'. Il principio di questa teoria è di produrre in maniera intensiva fino a saturare la linea raggiungendo la massima capacità di produzione, per poi mettere in magazzino tutto ciò che non viene venduto.

Nella metà del secolo XX si assiste alla Terza Rivoluzione Industriale, all'insegna dell'implementazione dell'elettronica e dell'informatica con l'invenzione di nuove tecnologie quali computer, radio e televisione. È in questo contesto storico di globalizzazione, ossia di rafforzamento delle reti di comunicazione fisica ed ancor più informatica, che nasce il concetto di azienda multinazionale. In questi anni si investe nel progresso scientifico raggiungendo risultati emblematici tra cui, ad esempio, lo sbarco dell'uomo sulla Luna.

Si arriva a vivere dai primi anni del secolo XXI l'epoca della Quarta Rivoluzione Industriale, segnata da un implementazione aziendale in termini di innovazione tecnologica e di governance interna.

Se da un lato l'introduzione dei Robot come nuove macchine aziendali porta ad un incremento della produzione ed allo stesso tempo della qualità dei prodotti in ambito manifatturiero, dall'altra l'avvento del 'modello Toyota' mette in discussione le logiche produttive in larga scala dell'epoca Ford, creando una nuova visione improntata sull'eliminazione degli sprechi per creare valore aziendale. Questo modello nasce in Giappone a partire dal secondo dopoguerra, quando lo Stato riversa in una situazione di drammatica crisi dovuta alla grossa sconfitta subita. L'azienda Toyota sprofonda nella mancanza di risorse e da questa situazione di necessità l'allora direttore Taiichi Ono decide di adottare una nuova strategia contrapposta al modello occidentale e volta a favorire la flessibilità della produzione in tempi di domanda variabile, a scapito della produzione di massa. È così che nasce l'Industria 4.0.

1.1 Industria 4.0 e Lean Production per creare valore nel prodotto

Con la definizione di 'Industria 4.0' oggi si indica il nuovo modello di azienda tecnologicamente avanzata che prende piede nei primi anni del XXI secolo di pari passo al mutamento del mondo del lavoro. Pensato su logiche di tipo IT (Information Technology), questo modello di industria si prefigge l'obiettivo di automatizzare al 100% l'intero processo produttivo attraverso la digitalizzazione dei macchinari e l'utilizzo dei robot.

L'efficienza di questo nuovo modello industriale è garantita dal legame che si instaura tra IT, data analysis e automazione volto a migliorare i processi produttivi, intesi come operazioni che da un input iniziale danno vita all'output del prodotto finito. Questo legame è la chiave per 'educare' il robot all'auto-miglioramento.

L'idea di Industria 4.0 parte dal concetto di Lean Production, tradotto come produzione snella, basato sui principi di standardizzazione, miglioramento continuo, coinvolgimento, conoscenza del prodotto, implementazione dei processi ed attenzione ai bisogni del cliente.

La standardizzazione dei processi è utile ad eliminare errori ed a svolgere le stesse operazioni in maniera omogenea, facendo sì che due processi uguali ma svolti indipendentemente portino sempre allo stesso risultato. A questo si può collegare il concetto di miglioramento continuo del processo, volto ad aumentare gli standard e quindi il valore e la qualità del prodotto ed a rendere poi questo miglioramento definitivo. Il coinvolgimento delle risorse al 100% è sinonimo di riduzione dei tempi e quindi degli sprechi. Verificare che tutte le risorse siano usate per il maggior tempo possibile assicura un ricavo sia in termini economici e produttivi e sia in termini qualitativi. L'impostazione del mercato secondo cui è il cliente ad esprimere le esigenze attese ed i bisogni richiesti porta ad

avere un range di prodotti altamente customizzato, in cui non è più l'acquirente ad adattarsi al prodotto ma è il processo produttivo a cambiare in base alle volontà del consumatore. Si passa da un mercato ad alto volume ad un mercato a basso volume ma alto mix.

Di conseguenza aumentare la qualità del prodotto significa rispettare le specifiche di produzione, definite grazie ad un'attenta osservazione dei bisogni del consumatore e delle caratteristiche e potenzialità interne.

Alla base della Lean Production troviamo il Modello Toyota, secondo cui per generare profitto è necessario soddisfare il cliente con il più alto tasso di qualità possibile ed allo stesso tempo ridurre al minimo costi e tempi, ed incrementare sempre più le competenze delle proprie risorse.

La Lean Production, o Lean Manufacturing, ha lo scopo di eliminare gli sprechi, diminuire la rigidità e limitare la variabilità. Come spreco definiamo tutto ciò che all'interno dell'azienda non aggiunge valore al prodotto, quindi qualsiasi risorsa o operazione che nel complesso si può considerare superflua e può essere eliminata generando un risparmio. Per rigidità si intende invece tutto ciò che non permette di dare una rapida risposta alla domanda del mercato, limitando il miglioramento del processo. Possono essere sinonimo di rigidità i colli di bottiglia in produzione(ossia gli step di un processo che generano code o ritardi per lo step successivo), la complessità dei processi che non agevola la produzione e può generare scarti, guasti o problemi di altro tipo, l'eccesso di burocrazia che rallenta l'azienda etc. La limitazione della variabilità esige poi l'individuazione di modelli standard che riducano disfunzioni processuali ed mettano chiaramente in evidenza la composizione di un processo. È possibile sintetizzare l'approccio Lean in 5 pilastri interconnessi tra loro:

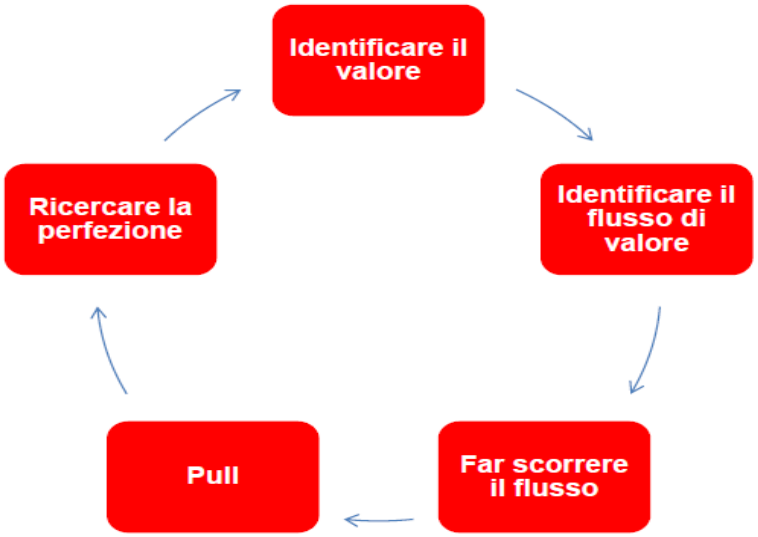

Figure 1 - Approccio Lean

Il valore è ciò che viene fisicamente aggiunto al prodotto in ogni fase durante il suo avanzamento nel processo e che incentiva il cliente ad acquistarlo. È anche inteso come un servizio o come la capacità di soddisfare un bisogno del cliente stesso.

Questo implica un cambio di visione nella definizione del prezzo di mercato, che da una visione tradizionale

$$prezzo = costi + profitto$$

passa ad una visione Lean secondo cui

$$profitto = prezzo - costi$$

indirizzata alla crescita del profitto tramite l'aumento del prezzo, possibile solo se si aumenta il valore del prodotto, e la riduzione dei costi possibile con l'eliminazione degli sprechi.

Il secondo pilastro della Lean è la determinazione dei flussi all'interno dell'azienda, che possono essere flussi di materiali(partendo dalla materia prima ed arrivando al prodotto finito) o anche flussi di informazioni. Ci sono strumenti idonei ad identificare e descrivere i flussi(flow chart, value stream mapping etc.) per poi catalogare le corrispondenti attività in uno dei tre seguenti modi:

- attività che creano valore
- attività che non creano valore ma sono indispensabili al processo
- attività che non creano valore e possono essere eliminate

Terzo punto è lo scorrimento dei flussi, al fine di garantire la lavorazione continua senza intoppi o fermi inutili che creino perdite. I principali motivi di interruzione di un flusso sono le code, la produzione in lotti eccessivi, l'inefficienza dei fornitori che non fanno pervenire per tempo il materiale necessario, la mancanza di informazioni sul processo, i setup ed in generale qualsiasi fattore che causi discontinuità. Possibili soluzioni adottate per migliorare quest'aspetto della produzione sono la riduzione dei lotti, il rifacimento del layout, la diminuzione dello stock, la riduzione dei tempi di setup, la tecnica delle 5S etc.

Si passa così all'impostazione di un sistema Pull, approfondito meglio più avanti, in cui si inverte il verso del processo avviando l'osservazione a partire dalla fine, ossia dalla domanda del cliente, e andando a ritroso per decidere le specifiche della fase precedente sulla base delle necessità di quella successiva, così da aver certezza di produrre solo ciò che è stato realmente richiesto dal mercato e di evitare sprechi e sovrapproduzione.

Importante è ricordare che il valore per il cliente cambia nel tempo in base a molteplici fattori quindi, per ultimo, è importante nell'ambito della Lean Manufacturing continuare sempre a ricercare la perfezione, ottimizzando qualità, processi e flussi e riducendo tempi e sprechi così da elevare in ogni momento il valore del prodotto.

1.1.1 La filosofia GEMBA

Il termine GEMBA, parte della filosofia Lean, deriva dal giapponese e significa 'reparto'. Indica la filosofia secondo cui il modo migliore per individuare uno spreco è quello di 'andare a gemba', ossia andare in reparto. Le linee guida principali di questa metodologia suggeriscono che chi si occupa del miglioramento continuo dei processi di produzione debba avere il proprio ufficio nei dintorni delle aree produttive. Anche se può sembrare una raccomandazione banale, nella realtà troppo spesso le dinamiche aziendali aggravano il distacco tra la componente fabbrica e quella amministrativa, creando distanze che influiscono sul rallentamento del flusso di informazioni e sulla produzione in generale. Secondo questa filosofia la gran parte del tempo deve essere passata in reparto fuori dall'ufficio, per favorire il miglioramento continuo con l'individuazione più rapida possibile degli sprechi sul campo. L'osservazione non è da considerarsi come una perdita di tempo, perché permette sempre di apprendere nuove informazioni utili.

1.2 Identificazione dei MUDA

Il termine giapponese 'muda' che tradotto in italiano significa 'spreco' è il primo nemico in assoluto che il modello giapponese si prefigge di combattere con la Lean Production. Lo spreco è tutto ciò che ostacola i flussi aziendali o che non crea valore per l'azienda aumentando allo stesso tempo le spese.

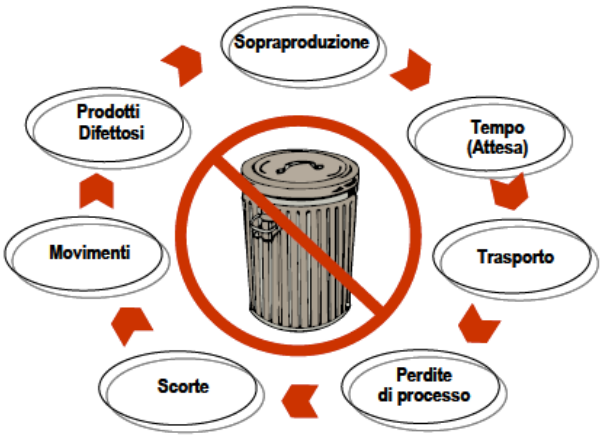

Figure 2 - Gli sprechi

Analizzandoli nel dettaglio:

a. la sovrapproduzione è la situazione in cui l'azienda produce senza seguire la domanda del mercato e si trova a svolgere azioni non richieste. Questo può verificarsi in più situazioni: con produzione di lotti più grandi del dovuto, con largo anticipo nella produzione, o in casi in cui la produzione è finalizzata semplicemente alla saturazione della linea e non è dettata dall'effettiva richiesta;
b. lo spreco di tempo è causato da attese dell'operatore o da inutilizzo delle risorse in tempi morti, dovuti a mancanza di semilavorati o materiali in genere, oppure ai setup o agli interventi manutentivi che bloccano momentaneamente gli operatori che seguono le macchine. Tant'è che in ottica Lean ogni risorsa deve essere sfruttata al massimo per evitare sprechi;
c. il trasporto è inteso come l'inutile spostamento di qualsiasi materiale o documento all'interno dell'azienda che non aggiunge valore al prodotto. Basti pensare ai continui scambi di file o cartaceo da un ufficio all'altro che creano inefficienza, o allo spostamento di materiali dallo stock di magazzino alla linea di produzione o ancor peggio da una macchina all'altra a causa di una ripianificazione improvvisa;
d. le perdite di processo sono l'insieme degli errori derivanti dall'utilizzo di tecniche obsolete o da errori di pianificazione, che contribuiscono a creare scarti di pezzi finiti fuori stagionatura o fuori produzione;
e. le scorte sono tutto ciò che resta in magazzino in attesa di essere utilizzato o immesso nel processo;
f. un movimento è un qualsiasi spostamento di persone o macchine che presenta dei rischi e può originare danni. Il numero di questi movimenti aumenta in casi in cui si ha un alta frequenza di riposizionamento dei macchinari o lunghi tragitti da percorrere tra magazzino e linea.
g. i prodotti non conformi sono tutti quei pezzi che non rientrano negli standard interni di qualità e devono essere rilavorati, producendo costi aggiuntivi, o scartati.

1.3 Il Just in Time: modello realizzativo di una Visual Factory

La Lean Production si basa sul sistema di gestione Just in Time. Secondo questo sistema l'azienda deve produrre solo i quantitativi richiesti nel breve periodo ed allo stesso tempo servire il cliente con precisione e rapidità. Di conseguenza il Just in Time richiede riduzioni di scorte e movimenti e ottimizzazione degli spazi a disposizione, riduzione dei tempi di setup etc.

Importante in quest'ottica è anche evidenziare i risultati ed esporre i flussi in maniera chiara con l'utilizzo di strumenti visivi. Si inizia così a parlare di 'Visual Factory', un nuovo modello aziendale che si prefigge di diffondere rapidamente le informazioni, evidenziare le anomalie, promuovere la prevenzione dei problemi ed incentivare l'autonomia dei lavoratori per ottenere un prodotto finito privo di errori. Nell'Industria 4.0 ogni semilavorato è tracciato e collocato in un posto specifico, ogni risorsa o informazione è immediatamente identificabile, la descrizione visiva semplifica e velocizza la comprensione da parte dell'operatore che non dovrà più lavorare a memoria o per abitudine ma avrà sempre degli standard da seguire, ben descritti ed immediati da capire.

Il Just in Time, 'giusto in tempo', ha rovesciato la logica tradizionale di produrre item finiti da mandare in magazzino per esser pronti a rispondere al mercato, ed ha preferito un modello di velocizzazione dei processi e produzione 'su misura' che permettesse di produrre il necessario ed in tempi tali da soddisfare la domanda.

1.4 Smart Manufacturing: i pilastri dell' Industria 4.0

Alla base dello Smart Manufacturing c'è un'innovazione tecnologica che ha cambiato il modo di intendere l'azienda manifatturiera, e l'ha rivoluzionata nelle procedure, nelle abitudini e negli strumenti. È possibile riassumere i principidell'Industria 4.0 come segue:

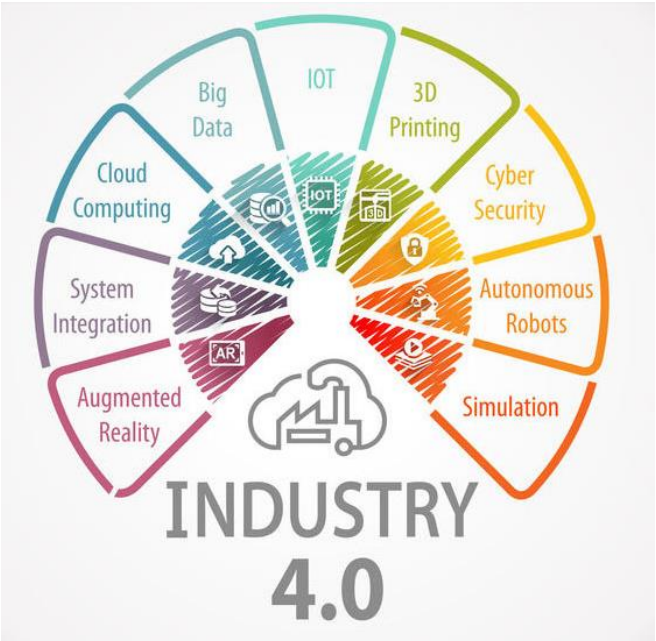

Figure 3 - Pilastri dell'Industria 4.0

Mediante l'utilizzo di queste nuove tecnologie le 'Smart Factory' incrementano i loro fluissi di informazioni ed inseguono il miglioramento continuo tramite la progressiva osservazione ed analisi della spropositata mole di dati immagazzinati, alcuni dei quali fisicamente estrapolati dai processi ed altri simulati analiticamente con nuovi strumenti appresi:

- 'Big Data' è l'immagazzinamento e l'analisi di dati derivanti dall'automazione o dall'utilizzo in linea di robot o di software integrati al sistema che permettono la raccolta e lo studio di un'ampia mole di dati;
- 'Simulation' è la simulazione virtuale dell'ambiente aziendale con situazioni e tempistiche reali al fine di valutare preventivamente delle modifiche che potrebbero apportare vantaggi ai processi;
- Integrazione, è la connessione di tutti i sistemi aziendali con l'utilizzo di interfacce che rendano comprensibile la lettura di informazioni anche a livelli di accesso differenti. Si parla di integrazione orizzontale per intendere il collegamento tra sistemi aziendali dello stesso livello al fine di favorire lo scambio di flussi informativi, mentre con integrazione verticale si intende lo scambio di dati tra livelli differenti della gerarchia aziendale, con il riadattamento degli stessi a seconda della destinazione per rendere la comprensione alla portata di tutti;
- IOT ('Industrial Internet of Things'), è un nuovo ecosistema aziendale in cui tutte le informazioni sono collegate tra loro per garantire la miglior adattabilità di un prodotto/servizio ai bisogni richiesti;
- Robot, macchinari automatizzati ed inclini all'autoapprendimento, introdotti nei processi per garantire qualità ed autonomia;
- Cloud, sistema informatico in remoto che funge da base dati a cui è possibile accedere da qualsiasi computer in posti differenti. È uno strumento digitale che agevola l'immagazzinamento di dati ed informazioni;
- Cyber Security, ossia la sicurezza informatica. Con la diffusione dei sistemi digitali diventa di primaria importanza possedere un sistema di sicurezza informatica adeguato che difenda l'azienda da qualsiasi attacco;
- Augmented Reality, ossia realtà aumentata. È un sistema informatico che permette in tempo reale di scambiare informazioni all'interno di un'azienda e di simulare interventi risolutivi utili a livello tecnico e manutentivo;
- Stampaggio 3D, una nuova tecnica ancora in via di sviluppo che permette di creare prototipi fisici degli articoli da produrre o di loro componenti al fine di testarne le caratteristiche.

1.5 Strumenti della Lean Production

Alla base dell'industria del futuro ci sono una serie di tecniche e di strumenti utili a favorire efficacemente il miglioramento:

a. La tecnica delle 5S riassume in 5 punti la strategia basilare da applicare in ogni contesto lavorativo:
   I. separare l'utile dall'inutile
   II. sistemare l'utile per renderlo facilmente accessibile e rintracciabile
   III. pulire minuziosamente per trovare le anomalie
   IV. standardizzare
   V. sviluppare e mantenere quanto fatto

   Inculcare questa cultura aiuta l'azienda a raggiungere l'eccellenza migliorando l'ambiente lavorativo in termini di ordine, precisione e pulizia ed implementando la sicurezza, la qualità del lavoro ed il coinvolgimento del personale.

   È una tecnica da adottare soprattutto quando le dinamiche interne sono rallentate dalla ricerca di ciò che serve o quando la disposizione dell'ambiente lavorativo è lasciata al caso impedendo di reperire informazioni e risorse con la velocità e l'accesso necessari.

   Per l'individuazione delle inutilità il modo più immediato è il ricorso al controllo visivo, con utilizzo di cartellini identificativi di colore verde per i materiali che sono idonei o utili al processo e di colore rosso per quelli che invece devono essere messi da parte. Sistemare l'utile significa assegnare una postazione nota ad ogni elemento così da seguire quel processo di mappatura degli spazi e delle postazioni in cui le risorse vengono collocate, per renderle di più facile reperibilità. La pulizia serve poi a ripristinare le condizioni di ottimale funzionamento della macchina o del processo con conseguente definizione dei target di mantenimento. Standardizzare significa esportare questo modello a tutte le postazioni affini, al fine di renderlo di pubblico dominio e facile reperibilità, ma anche di omologarlo in tutti i processi simili. Infine il metodo 5s impone di mantenere quanto fatto mediante un controllo periodico che sia più oggettivo possibile, mediante il monitoraggio di determinati parametri.

b. il Kanban, un sistema segnaletico che da informazioni per monitorare la produzione sviluppando una gestione dei materiali a vista che favorisce l'auto-controllo ed evita eccessi nella produzione. Il kanban(in giapponese 'segnale') è utile a ridurre i tempi di

attraversamento del processo e presentare le informazioni in modo immediato. Esempio pratico della Logica Kanban è il cartellino identificativo esposto sui materiali al fine di tracciarli, anche con l'uso dei QR code.

c. Kaizen week: periodo di lavoro di pochi giorni in cui si compone una squadra che vada ad operare su una precisa e ristretta aerea per apportare significative migliorie. Gli obiettivi che l'iniziativa si prefigge possono essere diversi: ottimizzazione dello stock o degli spazi, riduzione del lead time, gestione degli scarti, diminuzione degli sprechi. È un'iniziativa che generalmente viene svolta in azienda una volta all'anno, partendo dall'analisi dei dati raccolti per poi implementare idee o azioni correttive al fine di incrementare gli indicatori di efficienza presi in esame.

d. La Value Stream Mapping, strumento utilizzato per la mappatura e lo studio dei flussi delle attività al fine di analizzarne gli sprechi e definire un piano di ottimizzazione per ridurli. Consiste in una rappresentazione grafica delle operazioni svolte a partire dall'input di materie prime fino alla consegna del prodotto finale al cliente. In base al 'current state' attuale si implementa una seconda rappresentazione grafica del 'future state' con il rispettivo piano per realizzarlo.
   La VSM è importante per fornire a tutte le componenti aziendali un linguaggio comune a tutti i livelli per la tracciatura dei flussi interni, fortificando il legame tra flusso di materiali e flusso di informazioni. Mediante l'applicazione dei principi della Lean Production si possono effettuare miglioramenti sui processi che possono essere valutati nel future state della VSM, così da individuare un piano di miglioramento proficuo e privo di scelte casuali o istintive. È utile principalmente nei casi in cui si vuole osservare un processo di produzione nel suo complesso, per migliorare non le attività singolarmente ma l'intero flusso. Individuando ed eliminando gli sprechi la VMS aiuta a capire come il processo fluirebbe di conseguenza.

1.5.1 Il Ciclo PDCA come piano di ottimizzazione interna

L'acronimo PDCA, che sta per PLAN – DO – CHECK – ACT, consiste in un piano di azione definito per l'implementazione aziendale, e riassumibile in 4 fasi: pianificare il da farsi, agire, verificare il risultato mettendolo in pratica e standardizzarlo. Seguendo questo ciclo la pianificazione deve avvenire sul posto e con una raccolta ed analisi dei dati che lasci fuori i pareri soggettivi ma si basi più sui numeri e sui parametri che influenzano il risultato. In questa fase

scontato ma sempre utile è l'utilizzo delle 5 W + H (what, when, who, where, why, how) per contestualizzare le criticità. La fase 'Do' consiste nelle'ideazione di un piano di miglioramento e la messa in pratica dello stesso. La fase 'Check' consiste nella verifica di quanto fatto con una valutazione delle migliorie apportate. Se il piano ha funzionato si passa alla fase finale altrimenti si ritorna indietro a correggere ciò che non è andato bene. Gli indicatori di prestazione utilizzati in questa fase sono i KPI (Key Performance Indicators), i cui valori vengono confrontati tra prima e dopo per quantificare l'effettivo miglioramento in maniera più oggettiva possibile. Si passa infine alla fase 'Act' il cui obiettivo è di acquisire definitivamente il nuovo piano introdotto dal ciclo PDCA e inserirlo nelle dinamiche aziendali. A tal fine viene erogata dal reparto di competenza una SOP(Standard Operating Procedure) ossia una procedura di standardizzazione che dettaglia in maniera semplice il procedimento da applicare oppure una OPL(One Point Lesson) che in maniera ancora più breve sintetizza in un unico foglio il concetto cardine della miglioria.

1.5.2 Principi operativi della Lean Production

La filosofia Lean si serve di alcuni principi base ideati e messi in pratica per la prima volta dalla Toyota Motors.

Si parte con il concetto di Takt Time, che riassume qual è l'obiettivo della produzione in maniera chiara e sintetica, e fa capire a tutti quale sia il reale bisogno del cliente e quindi il risultato al quale la linea di produzione deve arrivare. Indica in quanto tempo si deve produrre una singola unità, da cui si evince la frequenza con cui il cliente richiede il prodotto. Raggiungere il Takt Time significa soddisfare il cliente assecondando il suo ordine nelle quantità e nel tempo voluti. Il Takt Time si può calcolare nel modo seguente:

Takt Time = Tempo disp. x turno / domanda cliente x turno

Altro metodo della Lean è lo One Piece Flow(OPF). È il modo più rapido di movimentare un pezzo nel minor tempo consentito sulla linea di produzione, al fine di minimizzare gli sprechi grazie alla riduzione del tempo di attesa(lead time). Si può sintetizzare nella frase "fai fluire un pezzo alla volta", intesa come miglioramento del flusso continuo ed eliminazione delle code. Secondo questo metodo una produzione perfetta sarebbe quella in cui si può produrre un pezzo alla volta, ma nella realtà dei fatti questo è impossibile in quasi ogni azienda, perché ne deriverebbero aumenti di lead time e di costi. Se impossibilitati dal fare ciò, il metodo suggerisce di iniziare producendo lotti piccoli. Uno dei vantaggi di questo metodo è la semplificazione della produzione. Una

sintetizzazione del processo evidenzia meglio tutti i problemi circostanti dando un duplice vantaggio all'azienda.

Una differenza sostanziale tra la visione OPF e la visione tradizionale della produzione sta nell'abbassamento del WIP (Work in Process). Con la visione tradizionale la linea di produzione era composta da aree di lavoro separate e con un WIP elevato, in quanto per ovviare ai costi le macchine schedulavano più pezzi nello stesso momento. Con il passaggio al One Piece Flow si favorisce il lavoro in serie con il riavvicinamento delle postazioni tra loro e l'azzeramento del WIP tra una lavorazione e l'altra.

Altro importante principio della Lean Production è il Heijunka, termine giapponese con cui si identifica il bisogno di livellare i volumi dei prodotti frazionandone i lotti per garantire un mix produttivo. In ottica Lean se si mantiene un livello volumetrico dei lotti non elevato ed allo stesso tempo costante è possibile garantire il mix di prodotti in linea anche giornalmente. L'Hejunka implica la necessità di avere un processo con setup veloci e flessibilità delle risorse, che siano macchine o operatori, non condizionando comunque la qualità di quanto prodotto. Questo metodo permette di osservare con facilità l'avanzamento del processo e di individuare i ritardi accumulati.

In fine, il termine giapponese Jidoka si traduce con 'automazione', ossia la necessità di rendere le macchine intelligenti, dotandole di dispositivi utili a controllare che gli standard di qualità e l'avanzamento della produzione siano corretti. Alla base dell'automazione si ha la figura del manutentore, colui che più di tutti conosce la macchina e la può perfezionare e migliorare ogni volta che si riscontra un'imperfezione. Le azioni correttive sono l'insieme di interventi che devono risolvere i guasti per eliminare i fermi macchina. Rendere le macchine più autonome implica un risparmio di risorse che non sono più vincolate al monitoraggio della macchina in ogni momento.

1.6 Standardizzazione & Target: la Quality Loss Function

Il concetto di standardizzazione è alla base della filosofia di Industria 4.0 e della produzione in ottica Lean. Standardizzare aiuta ad eliminare gli sprechi e ridurre gli scarti creando valore. Avere uno standard significa sapere come un'azione dovrebbe essere svolta in una data circostanza, senza escludere però dei miglioramenti in un secondo momento secondo una logica kaizen. Standardizzare serve ad avvicinare il livello di qualità del prodotto al target ottimale, e quindi al livello di qualità voluto dal cliente. A ridosso del target vi è una tolleranza all'interno della quale un prodotto risulta idoneo ed al di fuori della quale deve invece essere scartato o rilavorato. Questa tolleranza varia a seconda delle specifiche di produzione e dei costi associati.

Nella Quality Loss Function (funzione di perdita della qualità) del modello giapponese è mostrato come all'allontanarsi della qualità effettiva dal target ottimale ci sia via via un aumento dei costi. In questa visione un pezzo non crea un costo solo quando viene scartato perché fuori tolleranza, ma anche man mano che si allontana dal target richiesto. In Figura 4 le due righe verticali delimitano le soglie di tolleranza consentite e la linea verticale nel mezzo indica il target. Sull'asse delle ordinate è registrato il costo, che cresce al crescere del delta tra qualità e target. Anche un pezzo idoneo ma lontano dal target di produzione può generare un costo, nell'immediato o nel futuro, per molteplici cause(manutenzione, garanzia, reso etc.). L'unico modo di prevenire questi costi è cercare di standardizzare la produzione minimizzando la varianza dal target.

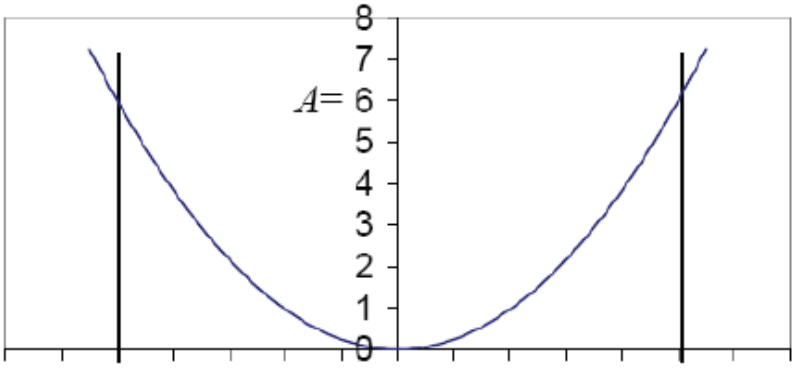

Figure 4 - Quality Loss Function

Uno standard quindi è il modo migliore di svolgere un'azione che sia condivisa da tutti. A seguito di ogni miglioria è opportuno creare un formato che standardizzi il modo giusto di svolgere un'attività lavorativa o di adempiere ad una funzione, così da diffondere il modello tra tutti gli operatori ed implementare un miglioramento omogeneo e collettivo. A tal proposito la Lean Manufacturing utilizza uno strumento chiamato 'procedura di standardizzazione aziendale' o più comunemente SOP, importante per mettere nero su bianco quanto stabilito all'atto del miglioramento ed ufficializzarlo in accordo con i reparti interessati.

La standardizzazione non è però mai eterna e definitiva, ma si riferisce sempre alle circostanze del periodo in cui viene studiata e serve a rispondere alle necessità del momento ed alle esigenze del cliente o del prodotto. Un cambiamento nel sistema aziendale o una variazione nel mercato renderebbe necessario un nuovo miglioramento per raggiungere il nuovo target richiesto e, di conseguenza, una nuova standardizzazione dell'attività.

Caratteristiche vincolanti degli standard aziendali sono la chiarezza e il consenso. Il livello di dettaglio deve essere elevato e minuzioso, per non lasciare spazio a dubbi o incertezze degli operatori che potrebbero portare ad errori ed interpretazioni soggettive ed abitudinarie. Il consenso dell'operatore che dovrà applicare lo standard è fondamentale per il successo della strategia, tant'è che l'ideale è scrivere la SOP insieme agli stessi operatori che svolgono quotidianamente quel compito, così da assicurare il loro coinvolgimento e il loro benestare.

1.7 KPI – Indicatori di performance e miglioramento

I Key Performance Indicators sono indicatori di efficienza usati per monitorare i principali macchinari e processi dell'azienda, al fine di controllare i fattori che influenzano l'efficienza della macchina con particolare riguardo ai fattori di rischio e perdita. Permettono anche di definire la capacità della macchina e di verificare la coerenza del processo con i target stabiliti. Il principale limite dei KPI è che registrano solo le situazioni ripetute periodicamente dalla macchina e non tengono conto del trasporto, della manutenzione o dei processi indiretti ed ausiliari. Ciononostante sono gli strumenti migliori per capire come ottimizzare la produzione di un macchinario o una fase di lavoro e per individuare facilmente le fonti di spreco o di ritardo a cui apportare migliorie. Essendo i KPI dei valori numerici, è sempre possibile confrontare gli indicatori prima e dopo l'adozione di una miglioria, per valutarne l'efficacia in maniera oggettiva e precisa.

Primo KPI è l'utilizzo della macchina, calcolato come il tempo di lavoro effettivo sul tempo totale in cui la macchina è disponibile durante il processo. È un modo per definire la saturazione della macchina e di conseguenza il tempo in cui la macchina potrebbe lavorare ma è ferma, causando sprechi. Si calcola nel seguente modo:

$$Utilization\ (\mathrm{U}) = \left(\frac{Valuable\ Operating\ Time(Q)}{\text{Time available for production (D)}}\right) \times 100\%$$

Il Performance Efficiency indica invece la prestazione della macchina non in termini di produzione o di pezzi idonei ma in termini di tempo in cui la macchina ha lavorato, e si calcola:

$$Performance\ Efficinecy\ (\mathrm{W}) = \frac{Cycle\ time\ (T) * Total\ production\ (good + scrap)\ (R + M)}{Operating\ time\ (I)} \times 100\%$$

Il Quality Rate indica il numero di pezzi prodotti rispetto al totale che rientrano nelle specifiche di produzione imposte dal controllo qualità. Con R si indicano tutti i pezzi idonei e con M la somma degli scarti. L'indice di qualità si può calcolare come segue:

$$Quality\ Rate\ (X) = \frac{Total\ production\ (good + scrap)\ (R+M) - n^{\circ}\ of\ scrap\ (M)}{Total\ production\ (good + scrap)\ (R+M)} \times 100\%$$

Altro importante KPI è lo Standard Time, corrispondente al tempo che si impiega a produrre un singolo pezzo in linea, comprendendo anche l'approvvigionamento dei materiali necessari. Si calcola nel seguente modo:

$$T_c = T_{machine} + T_{man} + T_{mat\ change}$$

Corrisponde alla somma dei tempi uomo, del tempo di ciclo della macchina e dei tempi per il cambio materiali.

La disponibilità del macchinario è invece uguale al tempo programmato per la produzione al netto del tempo perso, diviso il tempo programmato al lordo del tempo perso. Mostra quanto tempo è stato perso a causa di sprechi rispetto al tempo totale in cui la macchina avrebbe dovuto lavorare:

$$Availability\ (V) = \frac{Loading\ time\ (G) - Loss\ for\ non\ avaiblity\ of\ machine\ (H)}{Loading\ time\ (G)} \times 100\%$$

1.8 TPM – Total Productive Maintenance

Il TPM ('Manutenzione totalmente produttiva') consiste in un insieme di tecniche volte ad eliminare le 6 grandi perdite di tempo all'interno del ciclo produttivo di una macchina: guasti, setup piccole fermate, perdita di velocità, scarti, perdite in avviamento. Obiettivo di questo metodo è di garantire la miglior efficienza possibile della macchina. È applicabile soprattutto in quei sistemi in cui il lavoro della macchina costituisce il fulcro centrale del processo, o dove la complessità degli impianti genera perdite di tempo che si traducono in sprechi.

Il TPM introduce un nuovo KPI chiamato OEE, sinonimo di efficienza e necessario per individuare quanto le 6 perdite elencate danneggino davvero la macchina e influenzino la produzione nel complesso.

1.9 Overall Equipment Effectiveness(OEE) come principale KPI aziendale

Per quanto l'aumento della produzione possa essere importante in un'azienda manifatturiera, non è l'unica cosa che conta. Il numero di pezzi prodotti nell'arco di tempo non può essere il primo KPI di riferimento nella valutazione della performance aziendale, in quanto influenzato da alcuni fattori che nel calcolo delle prestazioni potrebbero essere fuorvianti. Basti pensare ad un cambio misura che per antonomasia implica una diminuzione della produzione ma è vincolante ai fini aziendali, o al numero di operatori spesi sulla macchina che in ottica di implementazione della produzione dovrebbero essere massimizzati, e tanto altro.

Un indicatore che tiene conto di tutti i fattori impattanti sulla prestazione aziendale è l'OEE, che riesce a registrare l'efficienza complessiva degli impianti. Per misurare l'OEE di una macchina o di un processo si registrano tutte le perdite al suo interno per ottenere alla fine un grado di efficienza in percentuale che dirà quanto la macchina, o il processo, ha reso rispetto alla sua massima capacità di resa ed in che modo lo ha fatto. In una situazione ideale una macchina dovrebbe lavorare per tutto il tempo ed alla velocità più elevata senza creare nessun guasto e rispettando il target di qualità del prodotto, così da avere un OEE e quindi un'efficienza del 100%, ma raramente si riesce.

L'OEE tiene quindi conto di tutte e tre le principali fonti di costo(tecniche, di prestazione, di qualità) che sfociano nelle seguenti situazioni: guasti, setup, acicli, mancanza materiale, cambio materiale, perdite di velocità, fermi qualità. Possiamo calcolarlo nel seguente modo:

$$OEE = \left(\frac{Availability\,(V)}{100}\right) \times \left(\frac{Performance\ \ efficiency\,(W)}{100}\right) \times \left(\frac{Quality\ rate\,(X)}{100}\right) = \left(\frac{Q}{G}\right) \times 100\%$$

L'OEE è quindi il risultato dell'unione di disponibilità, performance e qualità del prodotto. La disponibilità(V) corrisponde al tempo operativo, in cui la macchina è in funzione e riesce a produrre senza intoppi, sul tempo totale:

V = tempo operativo(I) / tempo disponibile(D)

La performance della macchina calcola il tempo in cui la macchina ha prodotto davvero rispetto al tempo operativo in cui avrebbe potuto farlo, e si calcola come:

W = tempo operativo netto(L) / tempo operativo(I)

Infine il tasso di qualità(X) si ottiene come rapporto tra i pezzi idonei ed i pezzi totali:

X = (pezzi tot. – pezzi difettosi)/ pezzi tot.

In un contesto di ottimizzazione di processo con metodo PDCA, il calcolo dell'OEE è utilizzato nella prima fase di 'Plan' per fare il punto della situazione sull'efficienza della macchina e per definire le priorità su cui intervenire ed i rischi maggiori. Nella fase di 'Check', a seguito dell'azione correttiva intrapresa, è poi possibile ricalcolare l'OEE per verificare l'avvenuta risoluzione del problema, prima di standardizzare definitivamente la procedura adottata.

In Figura 5 è possibile osservare un modello base per la definizione dell'OEE e degli altri indicatori aziendali (a sinistra di ogni voce è indicata la lettera di riferimento con cui la si identifica):

D.T.-Effc.Tecn.	CAPACITY, UTILIZ., OEE AND PRACTICAL OUTPUT	PLANT: PERIOD:					
LINE:	MACHINE:	n. of mach.	n. of days	hours /day	hours /period	%	
A	**TOTAL TIME**	0.0	0	24	**0**	**100.0**	**%**
	B1 DAYS NOT WORKED (days/period-factory open))	0.0	0.0	24	0	0.0	O
	B2 EXCEPTIONAL EVENTS	0.0	0.0	24	0	0.0	F
	B LOSS FOR DAYS NOT WORKED (B1 + B2)				0	0.0	
	C MACHINES NOT AVAILABLE FOR PRODUCTION	0.0	0.0	24	0	0.0	A
D	**TIME AVAILABLE FOR PRODUCTION** A-(B+C)				**0**	**100.0**	
	E1 NON PROGRAMMED				0	0.0	
	E2 OPERATOR REST + UNION ALLOWANCES				0	0.0	%
	E3 CANTEEN				0	0.0	O
	E PROGRAMMED MdO LOSS				0	0.0	F
	F1 PLANNED ABSENCE				0	0.0	
	F2 PREVENTIVE MAINTENANCE				0	0.0	D
	F3 INDUSTRIALIZATION				0	0.0	
	F ORGANIZATIONAL LOSS				0	0.0	
G	**TIME PROGRAMMED FOR PRODUCTION** D-(E+F)				**0**	**0.0**	**100.0**
	H1 MACHINE BREAKDOWN				0	0.0	0.0
	H2 EQUIPMENT CHANGE & SET-UP				0	0.0	0.0
	H3 WORKING CYCLES				0	0.0	0.0
	H4 WAITING FOR MATERIAL				0	0.0	0.0
	H5 QUALITY				0	0.0	0.0
	H6 MATERIAL CHANGE				0	0.0	0.0 %
	H7 ABSENCE NOT PLANNED				0	0.0	0.0 O
	H NON AVAILABILITY LOSS				0	0.0	0.0 F
I	**OPERATING TIME** (G-H)				**0**	**0.0**	**0.0**
	K1 SPEED LOSS				0	0.0	0.0 G
	K2 LOSS FOR MINOR STOPPAGES				0	0.0	0.0
	K LOW PERFORMANCE LOSS				0	0.0	0.0
L	**EFFECTIVE OPERATING TIME** (I-K)				**0**	**0.0**	**0.0**
	M SCRAP LOSS 0 (scarti)				0	0.0	0.0
N	DECLARED LOSS (E+F+H+K+M)				0	0.0	0.0
O	NOT DECLARED LOSS (P-N)				0	0.0	0.0
P	TOTAL LOSS (D-Q)				0	0.0	0.0
Q	**VALUABLE OPERATING TIME** (R*T)/60				**0**	**0.0**	**0.0**

R	PRODUCTION - SCRAPS	0	(tyres/period)	0	(tyres/day)
S	CAPACITY (D*R/(D-E1))	0	(tyres/period)	0	(tyres/day)
T	CYCLE TIME	0.000	(min/tyre)	0.000	(min/tyre)
U	PRACTICAL OUTPUT	1440*R/((D-E1)/60)		0	(tyres/day/mach.)
V	AVAILABILITY	[(G-H) / G] *100		0	(%)
W	PERFORMANCE EFFICIENCY	(T * (R+M) / I) * 100		0	(%)
X	QUALITY RATE	R / (R+M) * 100		0	(%)
Y	O.E.E	((V/100)*(W/100)*(X/100))*100 = (Q/G)*100		**0**	(%)
Z	UTILIZATION	(Q/D)*100		**0**	(%)

Figure 5 - Scheda OEE

Si parte dal tempo totale (A) e si definisce il tempo disponibile per la produzione (D), al netto dei giorni non lavorativi (B1) o dei giorni persi per guasto (C) o eventi eccezionali (B2). All'interno del tempo disponibile sarà definito un intervallo di tempo programmato(G = D – (E+F)), in cui a livello teorico la macchina deve produrre. Dal tempo programmato si sottrae poi il tempo sprecato (H- G) per ottenere l'operating time (I). Esso varia a seconda della performance della macchina in quel lasso di tempo, quindi al netto delle perdite in termini di performance (K) si calcola l'operating time effettivo (L = I – K). Dopo questi calcoli sarà possibile estrapolare tutti i KPI desiderati.

Come si può vedere in tabella, i fattori considerati che producono una riduzione del tempo programmato per la produzione(G) sono guasti macchina(H1), cambi misura(H2), acicli(H3), mancanza materiali(H4), qualità(H5), cambio materiali(H6), assenza non programmate(H7).

CAPITOLO 2 – LA PIRELLI INDUSTRIE PNEUMATICI SRL

2.1 Storia di Pirelli

Pirelli S.p.a. è un'azienda italiana fondata a Milano nel 1872 da Giovanni Battista Pirelli per la creazione di prodotti in gomma elastica. A partire dai primi anni del 1900, con l'apertura di nuovi centri produttivi anche fuori nazione e con l'ingresso nel mondo dello sport, Pirelli si focalizza quasi esclusivamente sulla produzione di pneumatici ed inizia ad affermarsi fortemente a livello internazionale.

Date emblematiche della firma sono, ad esempio, il 1922 con la prima quotazione in borsa o il 1953 con l'uscita sul mercato del Cinturato, primo pneumatico di tipo radiale.

Negli anni 2000 l'assiduo impegno nella ricerca e nello sviluppo portano Pirelli ad ottimizzare la propria tecnologia di produzione ad un grado successivo, con l'adozione del sistema MIRS (Modular Integrated Robotized System). Inoltre nel 2004 Pirelli istituisce una join venture con Continental(di cui possiede quote per l'80%) e crea un nuovo modernissimo stabilimento in Romania, presso Slatina.

In ambito sportivo Pirelli può vantare un esperienza centennale nel mondo del Motorsport, del quale si rende protagonista annoverando partecipazioni a circa 350 eventi all'anno, ed è inoltre fornitore esclusivo del campionato mondiale di Superbike dal 2004 e di Formula 1 dal 2011.

Ad oggi Pirelli conta 19 stabilimenti produttivi in tutto il mondo, sparsi in 12 differenti Paesi, con una presenza commerciale in 160 Paesi con circa 16mila punti vendita ed oltre 30mila dipendenti. Tutti questi dati indicano lo spessore di un'azienda nata in Italia ma che al giorno d'oggi si è affermata nel mondo come una delle multinazionali leader del mercato degli pneumatici, con un fatturato annuo che supera i 5 miliardi di euro.

Il suo motto aziendale, che da decenni affianca il nome della compagnia, è "Power is nothing without control" che significa "la potenza è nulla senza il controllo", proprio a sottolineare come le potenzialità di un prodotto valgano zero senza un'accurata gestione dello stesso. Il suo logo, riportato in Figura 6, è conosciuto nel mondo come 'la grande P'.

Figure 6 - Logo Pirelli

Negli anni Pirelli si è sempre più specializzata nella produzione di pneumatici high value, che al momento rendono all'azienda il 67% dei suoi ricavi complessivi. La sua capacità di produzione totale ammonta a 77 milioni di pezzi all'anno.

2.2 Lo pneumatico

Uno pneumatico è composto da fibre, acciaio e gomma: i primi due sono ingredienti strutturali, mentre la gomma costituisce la parte più esterna e funge da protettore dello pneumatico.

All'interno dell'autovettura uno pneumatico ha svariate funzioni: sostiene il carico, assicura la trasmissione motrice della potenza, garantisce la tenuta di strada, sospende la vettura da terra, dirige il veicolo.

Un buono pneumatico deve avere determinati requisiti: tenuta su asciutto, tenuta su bagnato, comportamento adatto su neve, uso a basse temperature, comfort nel rotolamento, isolamento del rumore, durata, costo non troppo elevato.

Inoltre lo pneumatico è l'unico componente che di fatto collega l'autovettura all'asfalto, quindi è importante garantirne sempre integrità e funzionalità. Esso costituisce la prima causa di origine di rischi in un'autovettura, per cui è fondamentale che se ne abbia un pieno controllo.

Risulta difficile garantire tutte queste caratteristiche insieme, ed assicurare con un unico pneumatico una guida sicura in ogni circostanza. Anche per questo Pirelli ha suddiviso i sui articoli in tre categorie principali:

- Pneumatici winter
- Pneumatici summer
- Pneumatici 4 stagioni

Ognuno di questi è creato con impasti chimicamente differenti per adattare la ruota alle caratteristiche atmosferiche del momento. Gli pneumatici invernali assicurano aderenza e frenata anche in situazioni di pioggia o neve e con temperature tendenti allo zero. Sono studiati per elevare

la capacità di trazione su strada sia asciutta che bagnata, per minimizzare il rischio di incorrere in aquaplaning.

L'aquaplaning è un fenomeno che si verifica in situazioni di pioggia elevata in cui il livello dell'acqua sull'asfalto raggiunge una certa soglia, causando una riduzione dell'aderenza con il rischio di perdere il controllo della ruota all'aumentare della velocità. Per ovviare a questo problema Pirelli ha introdotto fasce battistrada dell' altezza di 8mm, con scanalature tali da assicurare una frenata sicura con una distanza di sicurezza di appena 100 metri.

Gli pneumatici estivi sono pensati per garantire sicurezza ed efficienza anche ad alte temperature, in particolare in termini di tenuta di strada e di diminuzione della resistenza al rotolamento.

In fine, gli pneumatici 4 stagioni sono ideati per combinare le caratteristiche di un winter ed un summer e dar vita ad un prodotto funzionale e pratico.

Di primaria importanza per la sicurezza del pilota è anche il controllo periodico della pressione delle ruote. Lo pneumatico svolge realmente il suo compito solo ad una giusta pressione interna che permetta di far fronte agli sforzi. Le ruote Pirelli sono create ad hoc tramite soluzioni tecnologiche molto specifiche volte ad eliminare i rischi.

2.3 I prodotti

Pirelli vanta oltre 300 differenti tipologie di pneumatico, destinate in principio ad autovetture ma anche a moto e biciclette. L'alta differenziazione del prodotto è necessaria per adattarsi a tutte le situazioni climatiche, urbanistiche, automobilistiche.

Figure 7 - Prodotti Pirelli

Gli pneumatici per auto possono essere raggruppati in 5 macro famiglie:

- P Zero
- Cinturato
- Scorpion
- Carrier
- Sottozero

Gli P Zero includono la gamma di pneumatici destinati al mondo sportivo ed al top del bisogno, garantendo prestazioni e sicurezza(a frenata e trazione) anche a velocità elevate. La categoria Cinturato è creata per rispondere alle esigenze di salvaguardia dell'ambiente. Questi pneumatici sono fatti con materiali eco-friendly e presentano emissioni di Co2 molto ridotte in quanto i componenti utilizzati garantiscono una minore resistenza a rotolamento e quindi minori emissioni. Gli Scorpion sono pensati per offrire alti livelli di sicurezza su SUV e Crossover. I sottozero sono pneumatici prettamente indirizzati alla stagione invernale, per offrire prestazioni elevate a bassissime temperature. Infine gli pneumatici della famiglia Carrier sono destinati ai VAN. Gli pneumatici per moto sono a loro volta suddivisi in:

- Racing
- On/off road
- Off road
- Scooter

I racing sono quegli pneumatici destinati ad uso sportivo in strada, che attraggono i motociclisti più esigenti. Gli esempi più comuni sono il Diablo, destinato a centauri che vogliono avere le massime prestazioni possibili, e l'Angel GT o anche l' MT Rout 66 destinati agli amanti dello sport touring propensi a percorrere lunghe distanze. Gli on/off road sono pneumatici destinati a motociclette di grosse cilindrate utilizzate solitamente su strade non asfaltate. Il più diffuso è lo Scorpion Trail II. Gli off road sono pneumatici per sabbia, fango, rocce e più in generale per competizioni fuoristrada. L'ultima categoria è poi quella dei maxi scooter da città.
L'attenzione al mondo del Motorsport ha incentivato la produzione di copertoni per ciclismo(velo) adatti a più situazioni diverse. Si possono raggruppare in:

- Road, per competizione
- Gravel, per percorsi complicati
- MTB, per terreni non battuti
- Urban, per ciclismo urbano

2.4 Composizione di uno pneumatico

Uno pneumatico è un involucro deformabile ma inestensibile che racchiude un fluido in pressione. Nasce come una carcassa(parte interna in tessuto tessile e metallico) con struttura diagonale finchè nel 1948 l'azienda Michelin inventa un nuovo pneumatico con struttura radiale. I vantaggi tecnici che ne conseguono sono una risposta più veloce e una necessità di torsione dimezzata, maggior comfort, e minor quantità di materiale e consumo di carburante. Lo pneumatico moderno è composto per circa il 40% da gomma, per il 30% da additivi, per il 15% da rinforzi, per il 6% da olii e resine, per un altro 6% da agenti chimici necessari alla vulcanizzazione(cottura) della ruota, e per un ultimo 2% da anti-ossidanti.

Possiamo suddividere uno pneumatico in 3 macroaree:

- Battistrada, parte a contatto con l'asfalto composta da gomma
- Spalla, parte all'estremità del battistrada, necessaria a garantire stabilità e mantenimento della traiettoria in curva
- Fianco, situato tra spalla e bordo, necessario a proteggere la carcassa dagli urti laterali

2.5 Ricerca e Sviluppo (R&D)

La mission di Pirelli è di promuovere lo sviluppo della società attraverso la continua innovazione tecnologica. Tra il suo personale, l'azienda conta oltre 2000 dipendenti impiegati in R&D in tutto il mondo, e negli ultimi anni ha destinato in media oltre il 6% dei suoi utili in ricerca e sviluppo, collezionando circa 6700 diversi brevetti in materia. In ottica di miglioramento continuo una importante ricerca di Pirelli ci dice che ad oggi solo l'1% dei dati raccolti ed analizzati viene realmente utilizzato per apportare delle migliorie ai processi. L'obiettivo della firma è quello di aumentare questo dato continuando ad investire nella ricerca e nell'innovazione tecnologica, al fine di 'istruire' i robot ad auto-correggere le proprie imperfezioni. A questo proposito Pirelli sta portando avanti il progetto 'Total Efficiency 4.0' in collaborazione con Telco per creare un sistema di gestione di 'machine learning' che aumenti efficienza, produttività e flessibilità delle fasi del processo, con conseguenti vantaggi anche per il prodotto stesso.

A dimostrare quanto la ricerca abbia preso piede all'interno della firma ci sono una serie di nuove tecnologie studiate, testate ed introdotte negli ultimi tempi e che hanno diffuso la consapevolezza della qualità e della performance dello pneumatico Pirelli, e la garanzia di un ottimo controllo della ruota in ogni circostanza.

PNCS (Pirelli Noise Cancelling System) è una tecnologia che riduce i rumori che diversamente si sentirebbero dall'interno del veicolo durante il rotolamento. Mediante l'utilizzo di una spugna in poliuretano il sistema neutralizza le vibrazioni che si originano dalle sollecitazioni tra asfalto e battistrada. Più tecnicamente, il rumore è prodotto dalla risonanza dell'aria che passa nelle cavità della ruota(dette cavity noise) e che si avverte fino all'interno della vettura. La spugna introdotta con questa tecnologia filtra la frequenza del suono, riducendolo di almeno 2 o 3 decibel e di fatto dimezzandolo.

La tecnologia 'Pirelli Seal Inside' è studiata per permette al pilota di continuare a guidare la vettura anche in casi di emergenza come la foratura di uno pneumatico. Questo è possibile grazie all'installazione di un rivestimento interno alla ruota che la richiude automaticamente senza che ci sia perdita di pressione. L'agente esterno responsabile della foratura, se rimasto all'interno dello pneumatico, viene circondato da un rivestimento in mastice che lo isola ed allo stesso tempo sigilla il foro. Quando in un secondo momento quest'agente esterno verrà rimosso, il mastice ripristinerà i bordi permettendo di continuare ad utilizzare il pezzo. È studiato che questa tecnologia riduca dell'85% le cause di perdita di pressione dello pneumatico, con conseguenti vantaggi in sicurezza e durata della vita media di una ruota.

La 'Pirelli Run Flat Technology' è pensata per garantire la stabilità della ruota anche in casi di foratura, fino a velocità anche di 80km/h. Questo è possibile grazie all'installazione di specifici rinforzi ai lati della struttura interna che permettono di sostenere i carichi che poggiano sullo pneumatico anche in assenza della pressione necessaria. In questo modo lo pneumatico non dovrà essere sostituito immediatamente ma lo si potrà fare tranquillamente anche in un secondo momento.

2.6 MIRS - Modular Integrated Robotized System

A riprova della spiccata innovazione tecnologica di Pirelli è l'introduzione, già a partire dai primi anni del 2000, delle linee di produzione a gestione MIRS. È un sistema automatizzato, completamente robotizzato e comandato da un software integrato che gestisce tutti gli aspetti della produzione: movimenti dei robot, setup, approvvigionamento materiali, avanzamento delle fasi di lavorazione, movimentazione del pezzo da una fase all'altra etc. Il software segue il prodotto fin dall'inizio con la definizione del suo layout e confluisce in un sistema globale che presiede il processo ingegneristico di Pirelli in tutti i suoi aspetti.

Presenta grossi vantaggi in termini di flessibilità della linea ed ha una capacità produttiva di circa uno pezzo ogni 3 minuti. Il sistema ha la potenzialità di abbattere le normali tempistiche di

produzione di uno pneumatico(in media di 6 giorni) riducendole a circa 70 minuti. Il taglio è dato in primis dall'eliminazione delle fasi di stoccaggio, in quanto il pezzo passa direttamente da un robot all'altro. Questo permette anche un risparmio in termini di spazio dato che non è più necessario avere grossi depositi per lo stoccaggio e quindi la linea può essere installata anche su di una superficie limitata.

Per ultimo, ma non meno importante, il sistema MIRS contribuisce al miglioramento aziendale in termini di eco-sostenibilità, riducendo il numero di fasi del processo e limitando i fermi e le ripartenze della linea in ogni suo step. Questo produce un grosso risparmio energetico ed una riduzione delle tempistiche di attraversamento del processo, oltre che un abbassamento delle dispersioni di calore del pezzo caldo che non ha più bisogno di essere raffreddato prima del passaggio allo step successivo. Questa tipologia di linea di produzione è un esempio lampante di Industria 4.0 e rappresenta lo standard a cui Pirelli punta per il prossimo futuro. Nella tabelle in Figura 8 si può osservare un confronto dei dati tra una linea tradizionale ed una linea MIRS.

	Processo tradizionale Pirelli	Processo M.I.R.S.	Delta %
INVESTMENTO			
-dal prato Copertura/giorno	Euro 16,800	Euro 14,200	- 15%
-in fabbriche esistenti Copertura/giorno	Euro 16,800	Euro 8,800	- 50%
AREA OCCUPATA			
Da semilav. a finitura	5.6 Mq / cop / gg	1.1 Mq / cop / gg	- 80%
EFFICENZA IMPIANTI			
Overall Equipment Efficiency(indice)	75 %	92 %	+ 23 %
LEAD TIME			
Da semilav. a vulcanizzaz.	6 giorni	72 minuti	incomparabile

EFFICENZA IMPIANTI			
Overall Equipment Efficiency(indice)	75 %	92 %	+ 23 %
LEAD TIME			
Da semilav. a vulcanizzaz.	6 giorni	72 minuti	incomparabile
FLESSIBILITA'			
Lotto minimo economico	3200 pezzi	375 pezzi	- 88%
Tempo cambio articolo	375 min.	20 min.	- 95%
PRODUTTIVITA' MANODOPERA (indice)	100	180	+ 80%
QUALITA'			
Radial Force Variation (indice)	100	50	+ 100%
CONSUMO ENERGIA	3000 Kcal./Kg	2000 Kcal./Kg	- 33%
COSTO TOTALE DEL PRODOTTO (indice)	100	75	- 25%

Figure 8 - Miglioramento MIRS

2.7 Partners & Mercato

Pirelli negli anni ha stretto collaborazioni con importanti case automobilistiche per unire le forze al fine di aumentare l'adattabilità del prodotto alla vettura, con un incremento delle prestazioni. Offre materiali dedicati e tecnologie differenti per ogni casa automobilistica, necessarie a rispondere alle necessità dei partner che variano di veicolo in veicolo. Ogni casa automobilistica produce infatti più tipologie differenti di veicolo a seconda delle esigenze del cliente. Le auto avranno configurazioni, misure e pesi differenti determinando la dinamica del veicolo. Di conseguenza anche lo pneumatico sarà diverso di volta in volta.

Lo sviluppo di uno pneumatico ad hoc passa attraverso un lento processo di collaborazione tra Pirelli e azienda partner: in media si spendono 2/3 mesi per individuare le caratteristiche principali su cui focalizzarsi per poi passare ad una fase di test che dura tra i 2 ed i 3 anni. Alla fine di questo percorso, quando il prodotto è stato adattato al meglio alla vettura, si passa ad una fase di industrializzazione di circa 6 mesi. Tra le firme più autorevoli servite da Pirelli troviamo Ferrari, Lamborghini, Maserati, Porsche, McLaren, Aston Martin, Bentley, Pagani.

Pirelli è infatti un brand affermato nel mondo per la sua alta qualità. L'azienda ha deciso di soffermarsi sulla fetta di mercato dell'high value nel settore delle auto, moto e velo(biciclette). I suoi principali concorrenti sono Michelin, con sede in Francia ed un fatturato nel 2019 di circa 24mld di euro, la tedesca Continental con con un fatturato di 44mld di euro e Bridgestone con sede in Giappone.

L'attività di Pirelli nel mondo si può raggruppare in cinque macro zone:

- APAC, in Cina ed Indonesia per un totale di 4 sedi produttive
- Europa, per un totale di 7 poli produttivi oltre al quartier generale di Milano
- LATAM, con 3 poli in Brasile ed uno in Argentina
- Nord America, con due sedi una negli USA ed una in Messico
- Russia, con ulteriori due sedi

Attualmente la zona Europa è la più considerevole in termini di guadagni e produzione, contribuendo nel complesso per il 44% del totale. Il polo produttivo più grande in assoluto è situato a Slatina, in Turchia. Il Polo di Settimo Torinese(TO) risulta essere invece il più automatizzato al mondo.

	2017	2018	2019
Indicatori Economici			
Valore aggiunto globale lordo (€/000)	2.080	2.178	2.315
- contributi alla comunità esterna	0,3%	0,2%	0,2%
- remunerazione del personale	49,8%	49,0%	46,3%
- remunerazione della Pubblica Amministrazione	2,0%	2,4%	7,2%
- remunerazione del capitale di credito	17,4%	9,0%	4,7%
- remunerazione del capitale di rischio	0,0%	0,0%	7,6%
- remunerazione dell'azienda	30,5%	39,4%	34,0%
Spese Ricerca e Sviluppo (€/MLN)	222	219	233
- % su Ricavi	4,1%	4,2%	4,4%
- % su Ricavi High Value	6,5%	6,1%	6,1%
Ricavi Green Performance*	43,5%	49,8%	55,8%

Figure 9 - Indicatori Economici

Come si può leggere in Figura 9 negli ultimi anni il trend di Pirelli è più che positivo. È interessante notare che larga parte di questo patrimonio sia originato da attività green o destinato alla ricerca ed alla remunerazione del personale o della Pubblica Amministrazione. Infatti circa il 46% del valore aggiunto globale è destinato al personale aziendale e più del 7% va ad incrementare le tasche dello Stato. Ma ancor più importante è evidenziare che quasi il 56% di valore aggiunto è originato da servizi e prestazioni di tipo green.

2.8 Sostenibilità ed indicatori sociali

Dal 2004 Pirelli aderisce ufficialmente al Global Compact istituito dalle Nazioni Unite per la salvaguardia dell'ambiente, sottolineando con forza come tutte le proprie attività vengano pensate ed attuate in concordanza ad uno sviluppo ecosostenibile e nel rispetto dell'ambiente.

Indicatori ambientali			
Consumo specifico di energia [GJ/ton_{PF}]	13,4	13,48	13,90
Emissioni specifiche di CO_{2eq} [ton/ton_{PF}]	1,02	0,99	1,02
Prelievo specifico d'acqua (m^3/ton_{PF})	10,3	9,3	8,4
Produzione specifica di rifiuti [kg/ton_{PF}]	138	151	141
Recupero rifiuti	93%	96%	97%
Sedi operative Tyre certificate ISO 14001	94%	100%	100%

Figure 10 - Indicatori Ambientali

Più indicatori aziendali possono confermare l'impegno della multinazionale in tal senso: nel 2019 Pirelli ha registrato un 97% di recupero dei rifiuti sul totale, ed ha raggiunto il 100% di sedi con certificato ISO14001, senza minimamente aumentare le emissioni di Co2, il consumo di acqua ed il dispendio di energia rispetto agli anni precedenti. Sono decine le consulenze esterne svolte su Pirelli da terze parti che testano la veridicità dei dati elencati ed il perfetto conseguimento degli obiettivi stabiliti.

La rigidità morale ed il senso civico dell'azienda supportano la necessità di un futuro sostenibile e pulito, che va costruito già a partire dal presente.

La risorsa principale di Pirelli è costituita dal proprio personale, ed oltre all'alto capitale remunerativo destinato alla 'classe operaia' sono svariati gli indicatori sociali che mostrano un continuo investimento in tal senso (vedi Figura 11).

Indicatori sociali			
Dipendenti a fine esercizio	30.189	31.489	31.575
- % donne in posizione manageriale	21,6%	22,0%	22,4%
- lavoratori temporanei	4,6%	2,6%	2,7%
Perimetro Pirelli cui si applica lo Standard di riferimento SA8000®	100%	100%	100%
Sedi operative Tyre certificate OHSAS 18001/ISO45001	88%	100%	100%
Indice frequenza infortuni	0,27	0,29	0,26
Giorni medi di formazione per dipendente	8	8,1	7,5
Sedi operative Tyre certificate ISO 9001	100%	100%	100%
Segnalazioni Whistleblowing	34	70	77
N° Audit di terza parte su sostenibilità fornitori	83	85	90

Figure 11 - Indicatori Sociali

Quasi il 100% del personale Pirelli è assunto con contratti a tempo indeterminato e quasi ¼ delle posizioni manageriali ad oggi sono occupate da donne, fattore non da poco in un ottica di sostegno dei pari diritti e delle pari opportunità. La sicurezza costituisce un obiettivo primario per la firma, ed

a dimostrarlo non sono solo le tante certificazioni in materia che negli anni sono state attribuite a questo marchio, ma anche un indice di frequenza infortuni praticamente nullo, pari solo allo 0,26.

Pirelli investe continuamente sul proprio personale con corsi di aggiornamento e di formazione sul mondo del lavoro, della sicurezza e della produzione sostenibile. Si contano in media circa 8 giorni l'anno investiti su ogni dipendente per formazioni di questo tipo.

CAPITOLO 3 – LA GESTIONE DELLE SCORTE IN MAGAZZINO

Con il termine scorta si indica qualsiasi prodotto(finito e non) che un'azienda conserva in magazzino al fine di riutilizzarlo in un futuro più o meno prossimo. Di conseguenza un sistema di gestione delle scorte è una politica di controllo utile a monitorare quantità, soglie limite e tempi o quantità di reintegro del magazzino.

Seppur nei sistemi Pull l'utilizzo del magazzino è molto limitato, anche in una visione JIT è necessario avere uno stock di magazzino. Le scorte sono inserite nel processo per assicurare l'indipendenza tra le fasi che si accavallano e dar vita ad un processo più flessibile ma che allo stesso tempo soddisfi la domanda della clientela.

Possiamo distinguere due macro tipologie nella gestione del magazzino:

- gestione a fabbisogno
- gestione a scorte

La gestione a fabbisogno è incentrata su procedure di pianificazione MRP (Material Requirements Planning) utile a gestire il reintegro di materiali con elevato valore, per i quali è necessario ridurre al minimo il livello di stock per limitare i costi ad esso associati ed eliminare gli sprechi.

La gestione a scorta proviene invece da stime previsionali della richiesta futura che implica livelli di scorte più alti per prodotti di più basso valore. È utile anche in casi in cui è difficile calcolare le precise quantità di semilavorati necessari a creare il prodotto finito. Con questo metodo si vuole evitare la situazione di mancanza materiale ma si rischia di portare lo stock in magazzino a livelli superiori al necessario, generando costi.

Il metodo opportuno da utilizzare varia quindi da situazione in situazione. Per trattare ogni prodotto con il giusto metodo è possibile svolgere un'analisi di Pareto, o Analisi ABC, nel seguente modo:

1. si osserva il consumo annuo dei prodotti, e li si classifica in ordine decrescente
2. si crea una funzione che sommi il valore di ogni articolo anche in funzione del numero di articoli presente

Così facendo si suddividono i materiali in 3 classi in base al loro utilizzo:

- classe A: sono quei pochi prodotti(circa il 10-15%) che comprendono il 70-80% del valore complessivo

- classe C: sono una larga quantità di articoli che però costituiscono solo il 5-10% del valore complessivo
- classe B: articoli che costituiscono una via di mezzo tra le due classi precedenti

Questa suddivisione aiuta a comprendere le caratteristiche dei vari prodotti e rende possibile definire il criterio di gestione per i prodotti di ognuna di queste classi. I prodotti di classe A verranno trattati in maniera più rigida, usando un sistema a fabbisogno per evitare rimanenze di prodotti che, data la tipologia, causerebbero grosse perdite di valore. I materiali di classe C sono gestiti in maniera più flessibile, visto il loro valore ridotto. I materiali di classe B vengono accorpati ad una delle due classi adiacenti a seconda delle situazioni.

3.1 Sistemi di gestione a periodo multiplo

Possiamo dividere i sistemi di gestione a scorta in sistemi a periodo singolo e sistemi a periodo multiplo. I primi comprendono singole situazioni di acquisto, mentre i secondi contemplano situazioni in cui si verificano più acquisti periodicamente.

I sistemi a periodo multiplo si adottano per articoli che nell'arco di tempo in esame vengono più volte riordinati per assicurarne la costante disponibilità, e si suddividono in due tipologie:

- modello a quantità fissa
- modello a tempo fisso

I due modelli differiscono in primis per la modalità di attivazione poichè il modello a quantità fissa innesca il riordino di un materiale al variare della scorta che raggiunge una determinata soglia, mentre il modello a tempo fisso commissiona l'ordine al raggiungimento di un delta di tempo dall'ordine precedente.

3.1.1 Modello a tempo fisso

Questo modello esprime il bisogno di emettere un ordine al raggiungimento di un tempo predefinito. Impone che la distanza tra due ordini sia sempre la stessa, indipendentemente dalle quantità ordinate o dalla richiesta del prodotto. Non esige un controllo troppo frequente dell'inventario ma solo ad intervalli periodici definiti, ed ha in genere un livello di scorta più alto in quanto bisogna far fronte all'eventualità che tra un tempo di riordino e l'altro si esauriscano le scorte, per questo è utilizzato principalmente per prodotti di classe C, di più scarso valore.

La formula base del modello è la seguente:

$$q = d_m(T+L) + z\sigma_D\sqrt{L+T}$$

dove:

q = quantità da ordinare

T = intervallo di reintegro(tempo tra un ordine e l'altro)

L = lead time

d = domanda media giornaliera

z = num. di deviazione standard associata alla probabilità scelta

σ = deviazione standard della domanda

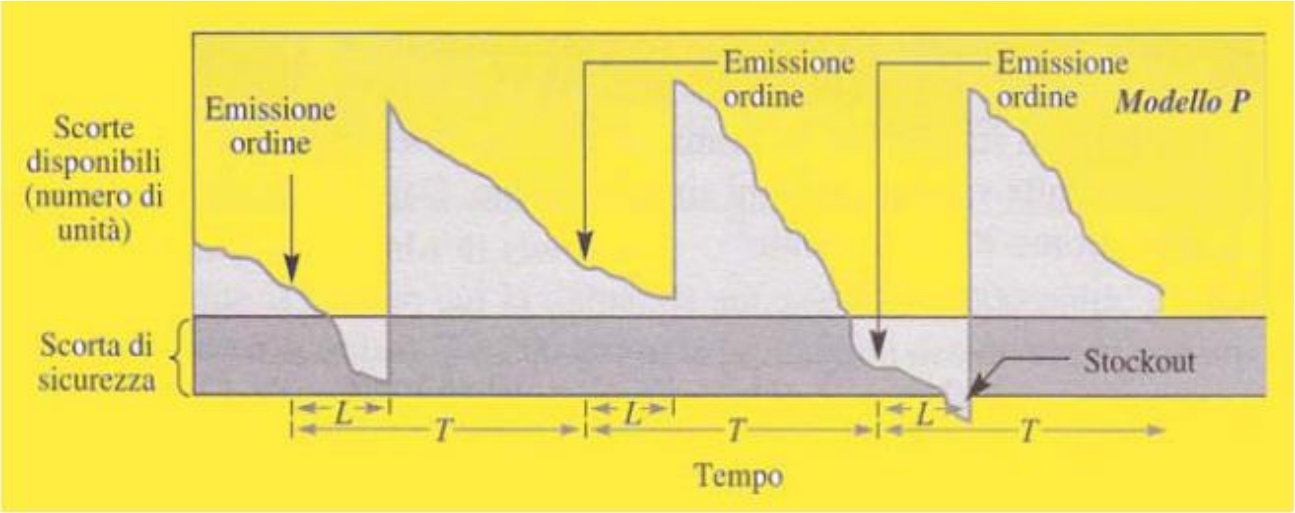

Figure 12 - Riordino a tempo fisso

3.1.2 Modello a quantità fissa

Con il modello a quantità fissa si definisce un punto di riordino (PUR) al quale riordinare l'approvvigionamento della scorta. Questo PUR può essere raggiunto in qualsiasi istante in quanto dipende dal consumo del prodotto cui si riferisce, di conseguenza non ci saranno tempi costanti tra un riordino e l'altro ed il magazzino dovrà essere controllato continuamente. Questo modello in genere presenta un livello medio di stock inferiore ed è quindi adatto per i prodotti di classe A, pur generando complessità nel tracciare ripetutamente tutte le entrate.

Da qui si passa a definire un FOQ (Fixed Order Quantity) che sia tale da minimizzare il costo totale, che si può calcolare con la seguente formula:

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

dove:

TC = costo totale

D = domanda

C = costo unitario

Q = quantità da ordinare (FOQ)

S = costo di setup

R = punto di riordino (PUR)

H = costo di mantenimento scorta media

Da questa formula si calcola poi la derivata in maniera tale da trovare la quantità Q da riordinare:

$$\frac{dTC}{dQ} = 0 + \left(\frac{-DS}{Q^2}\right) + \frac{Q}{2}H = 0$$

da cui si avrà un FOQ pari a:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Per calcolare il punto di riordino si ricorre invece alla seguente formula:

$$R = \bar{d}L + z\sigma_D\sqrt{L}$$

dove:

d = domanda media / giorno

L = lead time

z = num. di deviazione standard associata alla probabilità scelta

σ = deviazione standard dal consumo

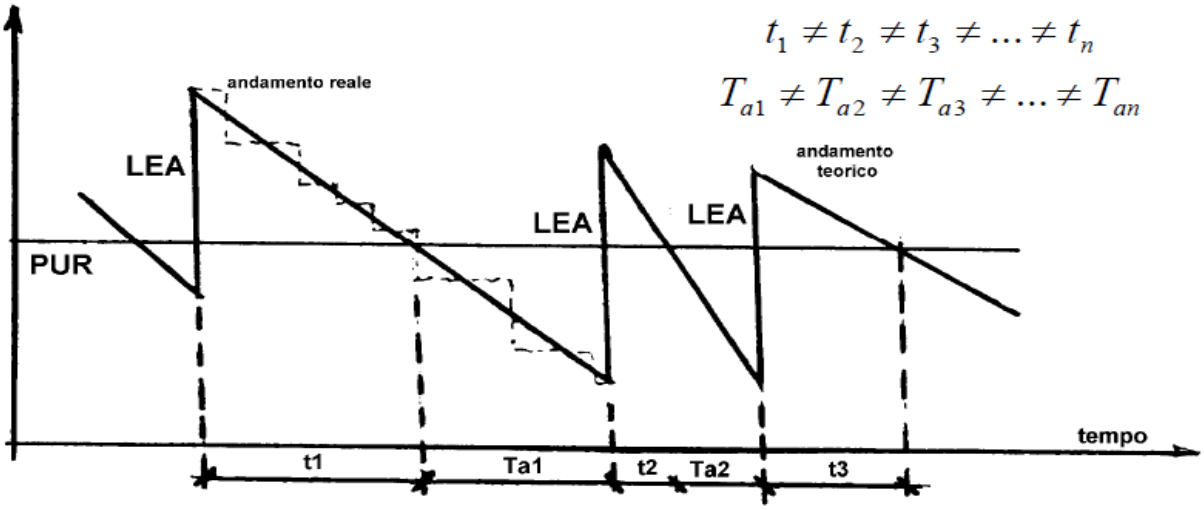

Figure 13 - Modello a quantità fissa

3.1.3 Scorte di sicurezza

Il modello precedente assume che ci siano una domanda ed un lead time sempre costanti, quindi esclude la necessità di avere scorte di sicurezza. Nella gran parte dei casi però la domanda è variabile, quindi occorre calcolare delle adeguate scorte di sicurezza. Vengono calcolate considerando che la domanda di un prodotto nell'arco di tempo segua una distribuzione normale.

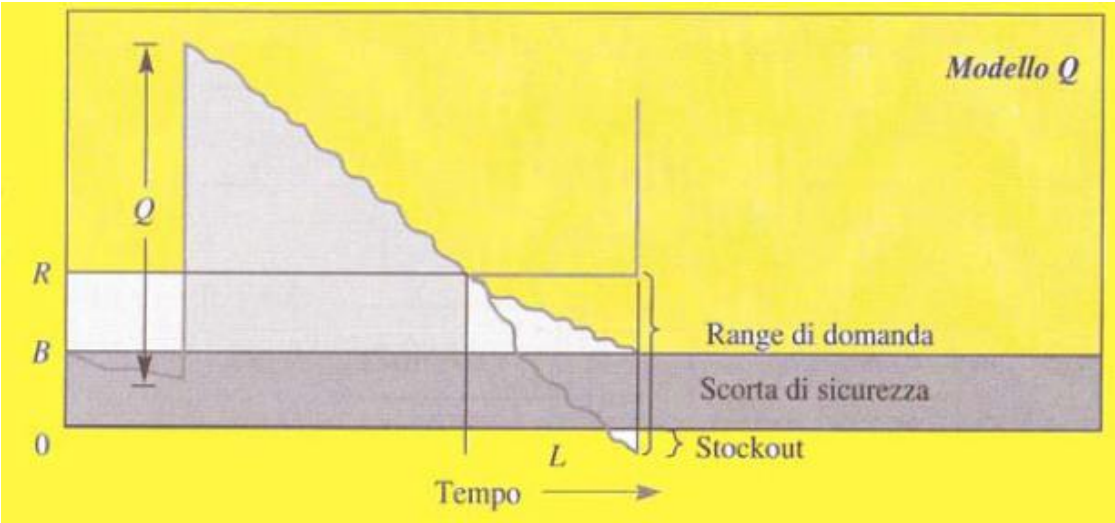

Figure 14 - Riordino a quantità fissa

Si sceglie il livello di scorta di sicurezza anche in base al livello di sicurezza voluto. In generale la formula per calcolare la scorta di sicurezza opportuna è:

$$S = z\sigma_D\sqrt{L}$$

CAPITOLO 4 – PREVISIONE DELLA DOMANDA E PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE

Le analisi di previsione della domanda si effettuano per cercare di prevedere l'andamento del mercato nel prossimo periodo e tentare di anticipare la domanda del cliente per esser pronti a dare una risposta adeguata e tempestiva. È possibile sdoppiare il concetto di previsione della domanda in due visioni principali:

- una logica 'Look Back', basata sul costante monitoraggio delle scorte di magazzino al fine di ricostituirle non appena possibile, e sull'emissione di un ordine al raggiungimento di una certa soglia di giacenza minima che contribuisca nuovamente al riempimento del magazzino.
- una logica 'Look Ahead' che si basa sul calcolo dei fabbisogni futuri influenzati da un tipo di domanda dipendente, ossia dalla domanda dei codici di livello successivo.

Il comportamento di un'azienda cambia anche a seconda che il consumo di un materiale sia continuo o discontinuo. Un consumo continuo di un pezzo/componente ne implica un prelievo frequente dal magazzino, al contrario un consumo discontinuo implica prelievi ad intervalli di tempo più irregolari e meno frequenti, ma in lotti di grandezza maggiore.

Per la gestione di materiali ad alta frequenza di prelevamento è preferibile seguire una logica look back perché più efficace nel soddisfare una produzione continua per lunghi periodi. Per componenti con frequenza altalenante invece si è soliti seguire una logica look ahead che soddisfa la fornitura solo nel momento di necessità.

Compito principale del management aziendale è di adottare la miglior strategia di programmazione della produzione possibile. Essa cambia in base ad una moltitudine di fattori, a partire dal mercato di riferimento e dal comportamento dei clienti e finendo con le caratteristiche e le risorse interne all'azienda. Possiamo distinguere la strategia di produzione in Push e Pull.

4.1 Strategia PUSH

La strategia Push risponde alle esigenze di produzione in casi in cui il lead time di produzione(tempo che il processo impiega per trasformare le materie prime in prodotto finito), sia superiore al tempo di risposta all'ordine dell'acquirente. Più semplicemente, per processi produttivi con lunghe tempistiche di lavorazione è preferibile adottare una strategia push che garantisce in ogni momento la presenza di stock in magazzino, permettendo di soddisfare la richiesta del cliente in tempi più brevi.

La strategia prevede l'individuazione di un PUR (punto di riordino) e di un LEA (lotto economico d'acquisto).

Il PUR corrisponde alla soglia minima di stock in magazzino sotto la quale effettuare un nuovo ordine per sostituire le vecchie scorte ormai consumate.

Il LEA invece è la dimensione ottimale del lotto da produrre nel momento in cui si oltrepassa il PUR, calcolata in base ai costi di produzione e ad eventuali sconti/risparmi quantità delle materie prime.

Il Push è un sistema a quantità fisse ma tempi variabili. Infatti non è possibile definire una frequenza di riordino costante ne ad istanti programmati, ma permette di stabilire qual'è la quantità ottimale da produrre nel momento in cui si scende al di sotto del PUR.

La strategia Push segue prevalentemente una logica di produzione 'make to stock' che prevede una gestione delle scorte secondo previsioni look back e un calcolo della domanda futura secondo previsioni look ahead.

Affinché un'azienda possa applicare questa strategia sono necessari dei prerequisiti:

- l'azienda deve essere in grado di stimare il proprio fabbisogno sulla base di dati storici
- sono necessarie previsioni di lungo periodo
- il magazzino deve avere una capienza tale da poter garantire il funzionamento di questo metodo
- i prodotti per cui si applica questa politica di gestione devono essere preferibilmente a basso costo
- i prodotti non devono avere tempi di stagionatura a breve scadenza
- le scorte di sicurezza devono essere mantenute al di sopra di una soglia elevata

4.2 Strategia PULL

La strategia pull organizza la produzione di un'azienda seguendo una logica 'make to order' che prevede l'emissione di un ordine solo nel momento della sua effettiva richiesta da parte del cliente. Questa strategia viene adottata in un'ottica di Lean Production per ridurre gli sprechi ed evitare sovrapproduzione.

In questo modo le scorte di sicurezza sono lasciate al minimo e la produzione è guidata dalla domanda effettiva del prodotto. Questa semplificazione implica un miglioramento dei flussi informativi e maggiore efficienza, ma allo stesso tempo comporta complicazioni nella programmazione della produzione.

Le aziende che adattano questo tipo di strategia possiedono brand molto customizzati con una grande mole di prodotti differenti, che non permette di avere una previsione di lunga gittata su quelle che saranno le richieste del mercato. Al contrario il push è adottato in processi più standardizzati e con una domanda pressochè stabile.

La strategia Pull prevede anche l'utilizzo di metodi di ottimizzazione continua quali Kanban, JIT, VSM e calcolo dei KPI.

CAPITOLO 5 – DESCRIZIONE DEL CICLO PRODUTTIVO PIRELLI

ll processo produttivo di uno pneumatico in Pirelli è composto da 5 fasi principali:

1) Mescolatura
2) Semilavorati
3) Confezione
4) Vulcanizzazione
5) Finitura

5.1 Mescolatura

La mescolatura è la fase iniziale in cui le materie prime vengono mischiate chimicamente, in quantità differenti in base al tipo di impasto che si vuole ottenere e alle caratteristiche richieste(es. resistenza ad urto, aderenza, deformabilità etc).

Il processo ha inizio con l'utilizzo di un grande macchinario denominato 'Banbury', un'enorme mixer che combina carbonio, gomma, solfuri, solventi dando vita ad una miscela, che passa poi attraverso dei rulli che rimescolano i materiali dando alla miscela forma e spessore voluti.

Il Banbury(Figura 15) è un miscelatore chiuso che contiene una camera attrezzata con due rotori in cui si introducono gli ingredienti che poi vengono chiusi con un peso pressatore. A seguito della chiusura inizia il lavoro dei rotori, che esercitano una forte azione di miscelamento. In pochi minuti la temperatura interna arriva fino a 150-160 gradi ed è in quel momento che le materie prime si fondono indissolubilmente per poi venire scaricate attraverso una portella apposita.

I Banbury, così chiamati dal nome dell'ingegnere inglese che li inventò nel 1916, sono regolati da meccanismi complessi in cui ogni variabile, dalla temperatura alla pressione, deve essere tenuta sotto controllo in ogni momento. Anche una piccola variazione potrebbe determinare errori o difetti della mescola prodotta.

Possiamo distinguere un Banbury in due tipologie principali: tangenziale o intermix. Il Banbury tangenziale è stato il primo ad essere creato, e quì la miscelazione dei materiali avviene tra i rotori e le pareti del macchinario. Risulta più antiquato in quanto ha un maggior rischio di dispersione del calore attraverso le pareti, che sono tenute continuamente sotto sforzo. Inoltre genera meno energia rispetto al suo successore in quanto ogni rotore è fornito di una sola elica.

L'intermix, introdotto in un secondo momento, permette la miscelazione tra un rotore e l'altro, senza supporto delle pareti. È capace di sviluppare una maggiore energia di miscelazione e migliori prestazioni in quanto la lavorazione della mescola avviene solo per mezzo dei rotori senza il coinvolgimento delle pareti, limitando così le dispersioni e favorendo l'omogeneizzazione dell'impasto.

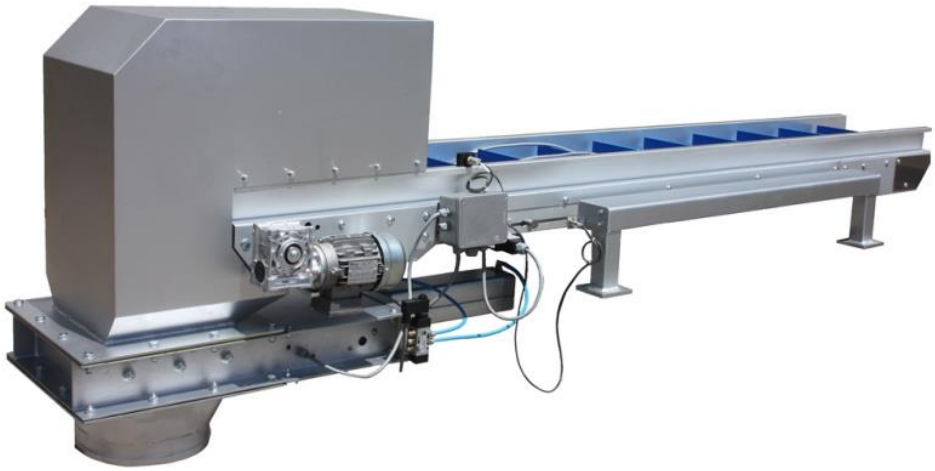

Figure 15 - Banbury

Alla fine della lavorazione la mescola viene indirizzata verso un estrusore, un altro macchinario che svolge funzione antiadesiva e di raffreddamento. L'estrusione è il processo che modella le mescole nella forma necessaria alla confezione del prodotto. È in questo frangente che la mescola viene pressata attraverso dei rulli ed assume la sua forma finale a strati di foglie, e viene raccolta su bancali per poi essere trasportata dai carrellisti nei reparti adibiti alla produzione dei semilavorati. Con l'estrusione la mescola è portata ad una temperatura di 120 gradi, temperatura a cui diventa fluida e viene fatta passare attraverso una feritoia, cioè il bocchettone che determina la sua forma finale.

Le materie prime fondamentali che vanno a comporre la mescola sono:

- polimeri
- cariche di rinforzo
- prodotti chimici: ingredienti e olii
- materiali di rinforzo: tessuto tessile, cordicella metallica, cerchietti

I polimeri utilizzati per produrre uno pneumatico sono gomma naturale(ancora oggi il principale ingrediente) e gomma sintetica(ne esistono di più tipi: butadienica, butilica, isoprenica etc.). La gomma è un materiale altamente elastico e che può essere soggetto anche ad alte deformazioni ma torna sempre alla sua forma originale.

Le cariche di rinforzo hanno la funzione di accrescere alcune proprietà della gomma. La principale carica utilizzata è il Nero di Carbonio, o Nerofumo, che serve ad aumentare resistenza e durata della gomma. A questo si aggiunge poi la Silice, necessaria a ridurre la resistenza a rotolamento dello pneumatico. Utilizzo e quantità delle cariche variano a seconda del componente per cui si sta producendo la mescola: ad esempio se la mescola è destinata alla creazione di fascia battistrada, si riscontrerà una maggiore presenza di Silice, in quanto il battistrada è lo strato più esterno dello pneumatico, a contatto diretto con l'asfalto; se invece la mescola è destinata alla creazione di fianchi, ci sarà maggior presenza di Nerofumo, per aumentare la resistenza a possibili urti.

Gli ingredienti chimici che possono essere utilizzati sono svariati (ossido di zinco, zolfo, acidi, cere, olii, etc.) e cambiano a seconda che si vogliano migliorare prestazioni e protezione o agevolare il processo di vulcanizzazione. Possono avere funzione di antiossidanti, coadiuvanti, acceleranti o ritardanti.

I materiali di rinforzo sono componenti di pneumatico non a base di gomma: i tessuti tessili sono composti da un intreccio di fili annodati perpendicolarmente tramite tessitura, i cerchietti sono il vincolo al cerchio dello pneumatico, il cord metallico o steelcord è applicato all'interno delle cinture o della carcassa.

La mescolatura ha sempre inizio con il posizionamento degli ingredienti su di un nastro trasportatore che li conduce all'interno del Banbury. Alle volte questo impasto può anche essere soggetto ad una doppia cottura, che ne migliora alcune caratteristiche tra cui la resistenza.

5.2 Semi-lavorati

Come anticipato nel paragrafo "2.4 Composizione di uno Pneumatico", ogni ruota è composta da più aree, alcune interne ed altre esterne, che necessitano di caratteristiche differenti a seconda della funzione che sono destinate a svolgere nell'architettura del copertone. I sottocomponenti che formano uno pneumatico sono detti 'semilavorati'. Ognuno di essi è originato partendo da una mescola con una determinata composizione che viene lavorata da un certo macchinario. La mescola costituisce l'input di questa parte di processo ed il semilavorato ne è l'output.

I principali semilavorati nelle ruote Pirelli sono:

- Complex, anche detto camera d'aria, costituito da due foglie di mescola differenti ma appiccicate tra loro. È la parte più interna dello pneumatico e ne definisce lo scheletro. A ruota finita è la parte che contiene aria in pressione ed anche la più delicata dello pneumatico, protetta dagli strati successivi;
- Tela, all'interno del copertone si trova subito a ridosso del complex. Serve a trasmettere le forze tra ruota e terreno e garantisce resistenza alla pressione esercitata dal complex dopo il gonfiaggio. È composta da fili di Nylon gommati e di diverso spessore a seconda che si desideri favorire la resistenza o la scorrevolezza della ruota;
- Cinture, solitamente due strati interni di mescola posizionati sopra la tela per equilibrare il copertone con la carcassa;
- Bandina, ultimo strato interno di mescola, a contatto con il battistrada;
- Battistrada(bts), lo strato più esterno del copertone con caratteristiche di aderenza e di scorrevolezza, composto esclusivamente da gomma naturale o sintetica;
- Tallone, formato da fili di acciaio che vengono ricoperti di gomma e che si installano sui fianchi. È un componente importantissimo perché limita la fuoriuscita dell'aria e allo stesso tempo collega il copertone al cerchio con un attacco ermetico;
- Fianchi, sono due e chiudono il pezzo al lato conferendogli rigidità. Servono ad unire il battistrada ai cerchietti;
- Cerchietti, anelli laterali composti da filamenti metallici.

Figure 16 - Composizione pneumatico

Il battistrada è il componente dello pneumatico a contatto con l'asfalto. Ha il compito di scaricare sul terreno le cariche che agiscono sullo pneumatico. A tal fine ha suo interno è inserito un inserto conduttivo, ossia un filo che permette alla ruota di scaricare tutta la sua carica elettrostatica sul terreno. Sul battistrada alle volte sono anche disegnate delle linee(possono essere 3 o 5) al fine di identificare visivamente il pezzo, sono chiamate righe WDK. Rimangono sulla ruota anche dopo la vulcanizzazione ma con il consumo dello pneumatico di solito spariscono dopo non molto tempo.

5.3 Confezione(Building)

La confezione rappresenta la terza fase del processo di lavorazione. La macchina alla base di questo step è una VMI, così chiamata dal nome dell'azienda leader nella produzione di questo macchinario, la 'VMI Group'. È un macchinario semiautomatico che assemblea i semilavorati per dare origine allo stato primordiale della ruota, detto crudo(perché ancora non vulcanizzato). Si tratta di una confezionatrice composta da un tamburo al centro su cui vengono posizionati i semilavorati in maniera sequenziale. È una macchina semi automatica in quanto alcune operazioni tra cui l'azionamento ed il controllo visivo dipendono dall'operatore, ma nella realtà le azioni svolte manualmente sono limitate.

Figure 17 - VMI

Tutti i semilavorati giungono sul tamburo tramite dei nastri trasportatori che, in base alle specifiche inserite da programma, sapendo quale ruota si sta producendo, apportano il componente già tagliato

ad una determinata lunghezza. Tutti i componenti giungono in maniera automatica sul tamburo, fatta eccezione per i cerchietti che devono essere posizionati manualmente dall'operatore.

I semilavorati arrivano in confezione arrotolati in grosse bobine, e vengono installati dagli operatori sul retro della macchina. Questa operazione rappresenta un aciclo del processo, in quanto è svolta occasionalmente quando la bobina si esaurisce e deve essere sostituita con una nuova. A trasportare le bobine da un reparto all'altro sono i carrellisti, che le depositano al lato della VMI. Il cambio bobina non richiede un tempo eccessivo, al contrario del cambio tamburo, necessario quando si vuole produrre un copertone con diametro differente dal precedente: questa operazione è chiamata calettamento.

La VMI attinge automaticamente dalle bobine, srotolandole e facendo scorrere le strisce di semilavorato sul nastro trasportatore che le porta direttamente al tamburo. È sempre la VMI a tagliare in automatico le strisce alla lunghezza desiderata, a seconda delle specifiche date inizialmente alla macchina.

Nel momento in cui tutte le strisce di semilavorati sono piazzate sul tamburo, la macchina svolge in successione una prima operazione di rullatura con cui il tamburo arrotola tutte le strisce intorno a sè, una pressatura con rigonfiamento del tamburo per unirli definitivamente e un degonfiamento del tamburo che conferisce alla ruota la sua forma finale.

L'avvio della rullatura del tamburo è dato dall'operatore mediante l'azionamento di un pedale a bordo macchina. Successivamente le operazioni continuano in maniera automatica.

Una volta che la ruota è stata confezionata, tocca all'operatore rimuoverla dal tamburo ed effettuare una serie di operazioni manuali:

- applicazione del bar-code mediante una dima al fine di tenere tracciatura dello pneumatico
- rosellatura (appiattimento) delle giunture mediante una rotella
- controllo visivo del crudo
- ribaltamento del pezzo per posizionarlo sulla rulliera che lo porterà autonomamente in magazzino.

In Figura 18 è mostrato un 'Man-Machine Chart' (grafico uomo-macchina) che illustra l'ordine con cui le operazioni vengono svolte durante questa lavorazione.

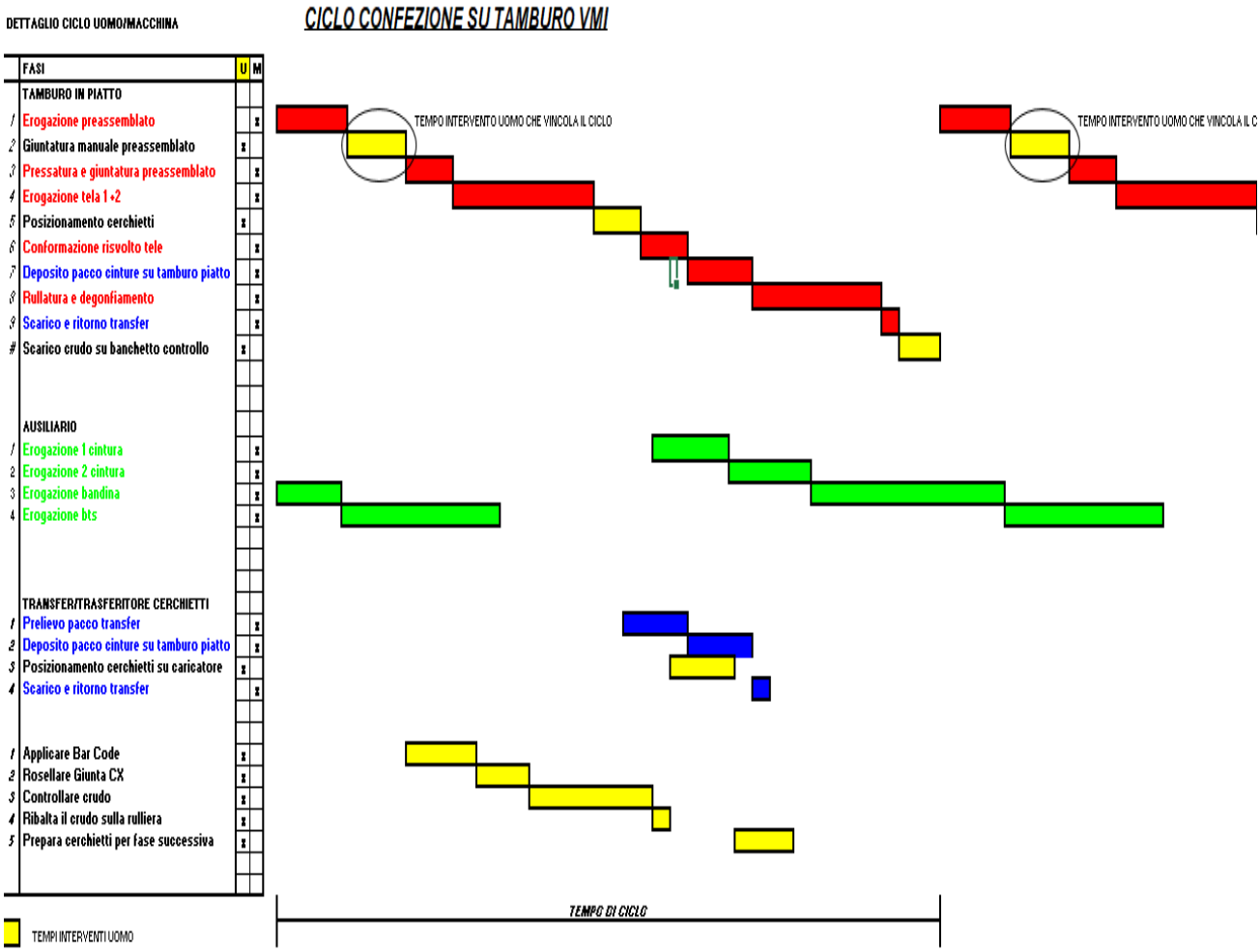

Figure 18 – Man-Machine Chart VMI

La leggenda colori è la seguente:

- tempi uomo
- tempi macchina
- tempi nastri ausiliari tempi transfer
- cerchietti

In giallo si possono osservare le operazioni svolte dall'uomo. Importante precisare che anche quando l'operatore non svolge attività manuali ha comunque il compito di assistere e controllare visivamente il corretto avanzamento del processo. Infatti durante questo processo l'operatore risulta saturo di lavoro per oltre il 75% del suo tempo ed in attesa solo per il restante 25%. In un processo differente con una simile saturazione si potrebbe tentare di riallocare l'operatore per ottimizzare la manodopera, ma in questo caso trovandosi in un'operazione che ha una durata complessiva inferiore al minuto, non è possibile riallocarlo nel suo tempo vuoto, che quantificato corrisponde ad attimi della durata di pochi secondi.

In rosso sono evidenziate le operazioni svolte dalla macchina, che come detto lavora in modalità semiautomatica, partendo a seguito del comando dell'operatore. La macchina non è completamente

autonoma perché per portare a termine il suo lavoro ha bisogno dell'assistenza dell'operatore, che svolge alcune azioni che vincolano il ciclo e che la macchina non riesce a svolgere. Più nel merito l'operatore deve occuparsi manualmente della giuntura del preassemblato, caricare i cerchietti e scaricare il crudo a fine lavorazione, per permettere alla macchina di lavorare la ruota successiva. Queste tre operazioni umane sono da considerarsi fasi critiche del processo, senza le quali la macchina non potrebbe proseguire il lavoro. Nel man-machine chart questo si può notare dal fatto che i tempi macchina in rosso sono interrotti dai tempi uomo che vincolano il passaggio del ciclo da una fase all'altra.

Il nastro ausiliario prepara i semilavorati mentre la macchina è in moto, così da ridurre i tempi e poterli arrotolare sul tamburo non appena l'operatore avrà scaricato il crudo precedente. I tempi del nastro sono evidenziati in verde, ed i componenti vengono erogati nell'ordine descritto nel grafico(prima cintura, seconda cintura, bandina, battistrada). Una volta applicati sul tamburo spetta all'operatore aggiungere manualmente i cerchietti e controllare la giunta, prima che la macchina possa concludere il suo ciclo.

Nelle VMI più moderne, sotto osservazione nell'analisi di questo progetto, i cerchietti necessari vengono avvicinati nei pressi della macchina da un trasportatore, detto transfer, da cui l'operatore li preleva manualmente per riporli sul tamburo. Il lavoro del transfer nel grafico è evidenziato in blu, e si può notare che anch'esso come il nastro ausiliario lavora in parallelo al tamburo principale, così da preparare i cerchietti in tempo per la lavorazione successiva ed azzerare i tempi di attesa.

5.4 Vulcanizzazione

Il processo di vulcanizzazione della gomma consiste nella somministrazione ad alte temperature di zolfo e additivi vari sul crudo, con lo scopo di modificarlo chimicamente per conferirgli determinate proprietà. Da un punto di vista molecolare durante il processo gli atomi di zolfo prendono il posto dell'ossigeno nel legame andando a legarsi con il carbonio presente nella gomma. I primi vantaggi di questo processo sul prodotto sono una migliore elasticità, una maggiore resistenza all'usura, e miglior isolamento da calore, gas, elettricità ed agenti chimici.

La vulcanizzazione è un processo termoindurente che trasforma lo pneumatico da elastomero a solido con proprietà elastiche. Il processo ha inizio con il prelievo di un copertone crudo dal magazzino e l'introduzione dello stesso nel vulcanizzatore. Ogni vulcanizzatore è un macchinario composto da due postazioni autonome chiamate stampi, che possono lavorare in parallelo due pezzi differenti senza intralciarsi l'un l'altro.

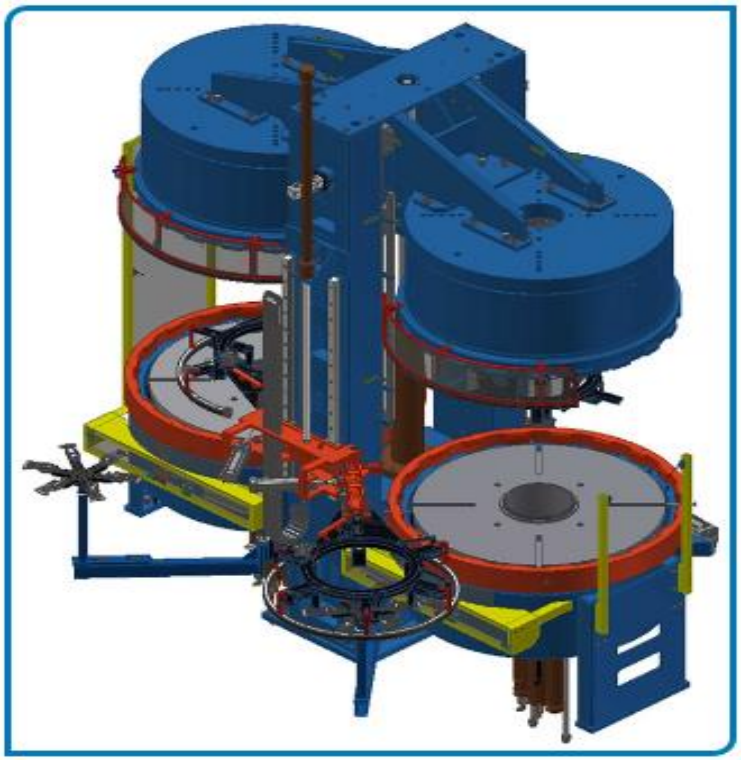

Figure 19 – Vulcanizzatore (2 stampi)

Ogni stampo è formato da un cuscinetto superiore ed uno inferiore all'interno dei quali si inserisce lo pneumatico per essere cotto. Il cuscinetto superiore imprime sull'esterno dello pneumatico la forma voluta, chiudendosi sull'altro ed isolando la ruota dall'ambiente esterno. Il cuscinetto inferiore è più grande di quello superiore ed ha il compito di applicare una certa pressione che contribuisce ad elevare la temperatura per cuocere il copertone. Inoltre il cuscinetto inferiore possiede un ulteriore cuscino interno che dopo la chiusura dello stampo si gonfia per spingere la ruota su quello superiore. All'interno dello stampo con l'aumentare della pressione la temperatura raggiunge il livello voluto e vengono somministrati i gas necessari ad avviare il processo chimico. Alla fine del processo i cuscinetti si apriranno e i gas verranno aspirati da un condotto di areazione. Lo pneumatico cotto a questo punto è prelevato automaticamente da un braccio robotico, fatto raffreddare e portato in finitura sempre mediante l'utilizzo dei rulli trasportatori.

5.5 Finitura

La finitura è la fase di revisione e perfezionamento dei dettagli dello pneumatico vulcanizzato che culmina con l'approvazione del pezzo che viene trasportato in magazzino per poi essere spedito direttamente al cliente. Seppur priva di grandi lavorazioni o modifiche, è un momento cruciale nella

costruzione dello pneumatico per rilevarne errori o imperfezioni ed è svolto visivamente direttamente dall'operatore.

Il pezzo arriva sempre in maniera autonoma alla postazione su dei rulli trasportatori che lo conducono dall'area di vulcanizzazione direttamente in finitura. Una volta ultimato il controllo e gli eventuali aggiustamenti il copertone viene rilanciato sui rulli che lo portano via. Il man-machine chart in Figura 20 riassume i controlli svolti dall'operatore sullo pneumatico e l'andamento delle sottofasi che compongono la finitura. Sono evidenziate in giallo le operazioni svolte dall'operatore ed in blu i passaggi che avvengono automaticamente.

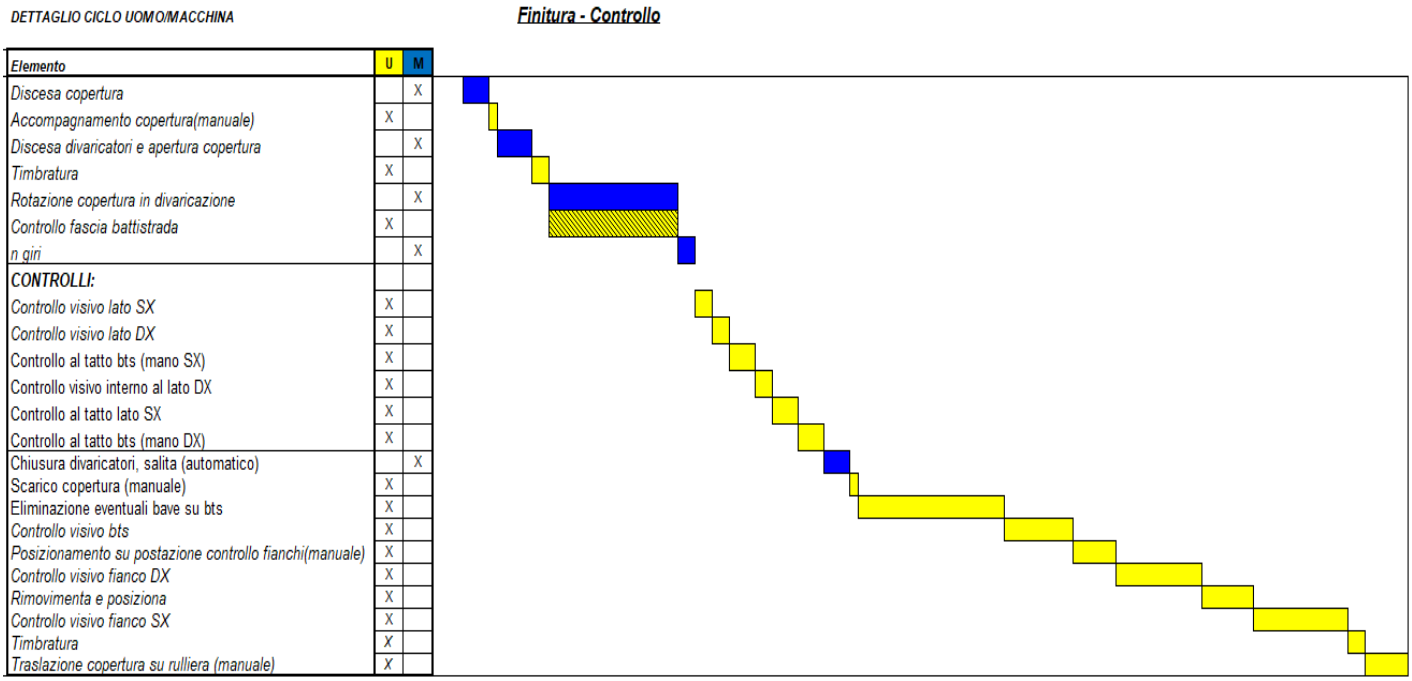

Figure 20 - Man Machine Chart Finitura

La leggenda colori è la seguente:

tempi uomo tempi macchina

Le operazioni di finitura sono svolte da un unico operatore presente in postazione e sono completamente manuali. Qui non sono presenti macchinari, fatto salvo per l'ausilio di particolari divaricatori che aiutano a muovere e spostare la ruota e che costituiscono gli unici tempi macchina, rappresentati in blu in Figura 20.

L'operatore assolve a compiti di controllo e perfezionamento del copertone ed in questo caso, a differenza dell'MMC visto per la confezione, le fasi critiche sono date dal lavoro della macchina, ossia dai movimenti di discesa, rotazione e chiusura dei divaricatori, che se non avvenissero per tempo causerebbero un ritardo nelle azioni della persona preposta.

La saturazione dell'uomo qui si attesta quasi al 100% in quanto anche durante la rotazione del pezzo fatta dai divaricatori l'operatore svolge il lavoro di controllo del battistrada in ombra, cioè in parallelo alla divaricazione. Anche le fasi di discesa e salita del copertone rappresentano una piccolissima parte del complessivo CT del processo di finitura, di per sé già molto breve, per cui l'insaturazione dell'operatore in quei due momenti corrisponde a pochi secondi, rendendo impossibile nel mentre pensare di riallocarlo per affidargli una seconda mansione.

5.6 Analisi del sistema di pianificazione Pirelli

Pirelli srl è un'azienda altamente customizzata, che può vantare fino a 300 tipi differenti di pneumatici o misure, e che applica i criteri della Lean Production seguendo una filosofia di produzione Just in Time.

Decisione logistica di Pirelli è quella di tenere le scorte quasi a zero, vista la variabilità nella domanda di ogni prodotto e l'eccessiva presenza di prodotti diversi. Non si riesce ad avere una previsione della domanda realistica se non nel breve termine, ed in generale l'incremento dello stock potrebbe causare gravi perdite in termini economici e di risorse, se si tiene conto che i semilavorati hanno una stagionatura molto ridotta, alle volte di pochi giorni, prima di incorrere nello scarto. Inoltre i prodotti Pirelli fanno parte per oltre il 60% di una gamma di pneumatici 'High Value' che devono garantire alti livelli di qualità. Tutto ciò implica però uno svantaggio produttivo in termini di complessità, variazioni frequenti, e continua necessità di riadattamento delle linee produttive. La previsione della domanda a corto raggio e la necessaria prontezza di risposta al cliente non facilitano la produzione. D'altro canto però l'assenza di stock apporta vantaggi economici in termini di riduzione dei costi di immobilizzazione e di sfruttamento delle risorse.

Ad oggi è però molto raro trovare aziende che applichino una strategia totalmente Pull, tant'è che anche in Pirelli si può scomporre il processo produttivo in due parti mediante l'utilizzo di un'interfaccia scorte/ordini che individui un modello misto Push/Pull. A livello teorico l'interfaccia è il limite da cui un processo di produzione passa da una filosofia 'Make to Stock' ad una 'Make to Order', applicando una strategia mista di previsione della domanda aggregata nelle prime fasi del

processo seguita da un assemblaggio ed una produzione finali basati sull'effettiva domanda del prodotto da parte del cliente.

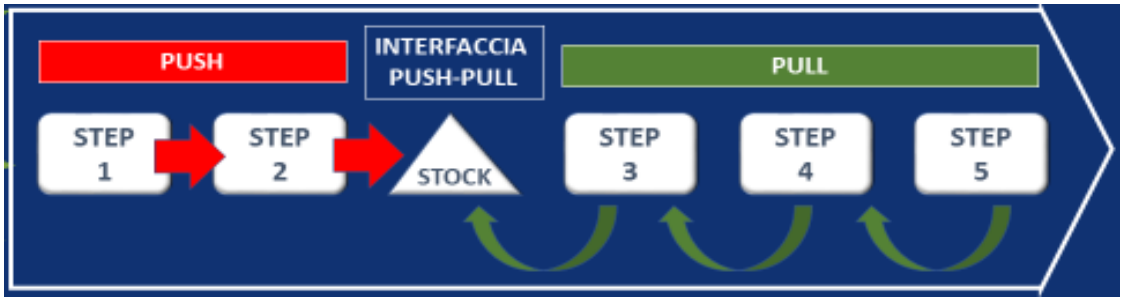

Figure 21 - Interfaccia Push/Pull

Riadattando l'interfaccia al caso Pirelli, si può riassumere l'avanzamento del processo nel modo seguente:

Banbury - Estrusione//INTERFACCIA //Semilavorati – Confezione – Vulcanizzazione – Finitura

La previsione di domanda aggregata risulta essere più efficace di quella su un singolo prodotto, vista la comunanza di materie prime nella produzione di pneumatici anche molto diversi tra loro che da la possibilità di emettere ordini in maniera programmata, e di produrre nei Banbury quantità di mescola in maniera più flessibile. Nelle fasi successive si passa invece ad una metodologia pull dettata da varie circostanze:

- La giacenza massima di magazzino è molto ridotta, e questo porta ad avere bassissime scorte;
- Il tempo di stagionatura dei semilavorati e dei crudi di pneumatico è limitato a qualche giorno, quindi non permette una giacenza per tempi troppo estesi;
- La programmazione della produzione di ognuna delle fasi pull è dettata dal fabbisogno della fase successiva, e a loro volta dalla domanda del cliente(es. produco crudi in VMI solo se in vulcanizzazione sono necessari);
- Come già sottolineato, il brand Pirelli produce una quantità sconfinata di pneumatici differenti e per più clienti diversi, con comande molto dettagliate, con tante specifiche di produzione differenti che variano in base ad altrettanti fattori(utilizzo sportivo, stagione winter/summer, high/medium value, macchine/moto/bici etc.);

- il magazzino intermedio alle fasi di confezione e vulcanizzazione segue una logica look ahead ed è quindi limitato a qualche centinaio di unità, che se paragonate alla produzione complessiva di Pirelli risultano essere una piccolissima percentuale.

Si può capire come non sia possibile seguire una logica make to stock per l'intero processo in quanto non è possibile mettere in pratica una produzione su larga scala con un numero così elevato di articoli diversi.

Definire un' interfaccia che 'spezza' il processo differenzia le fasi iniziali, in cui la materia prima viene utilizzata per creare la base che da vita al prodotto generico, dalle fasi finali in cui le richieste del cliente variegano le caratteristiche del prodotto, creando molteplici varianti dello stesso che hanno bisogno di trattamenti differenti:

Materie prime =>Prodotto generico // INTERFACCIA // Prodotto customizzato => Cliente

5.7 Descrizione Polo di Settimo Torinese

Lo stabilimento di Settimo Torinese è diviso in 3 differenti aree di produzione fornite ognuna di macchinari propri ed indipendenti dalle altre aree. Questa diversificazione permette al Polo di avere più linee di produzione in serie autonome tra loro. La fase di mixing è la sola ad essere unica per tutto il Polo, e rifornisce quindi tutte e 3 le aree sottoelencate:

- CAR SUD: area di produzione manuale, con presenza di un alto numero di operatori che lavorano su più linee di produzione differenti, producendo in prevalenza tipologie di pneumatico destinate alla vendita di media gamma e con volumi di produzione e domanda elevati;

- CAR NORD: area semi-automatica, dotata di magazzini con traslo elevatore, e composta da più linee di produzione differenti che lavorano in parallelo, ognuna con un proprio magazzino. Su ogni linea sono presenti una VMI, un magazzino intermedio ed un reparto di vulcanizzazione con n. vulcanizzatori, per un totale di 2n. stampi per ogni VMI;

- NEXT: area robotizzata e dotata di sistema MIRS, con due linee di produzione completamente automatizzate da inizio a fine processo.

Il flow chart in Figura 22 descrive il funzionamento dell' Area Car Nord con particolare attenzione alle fasi di confezione e vulcanizzazione, e del magazzino tra le due.

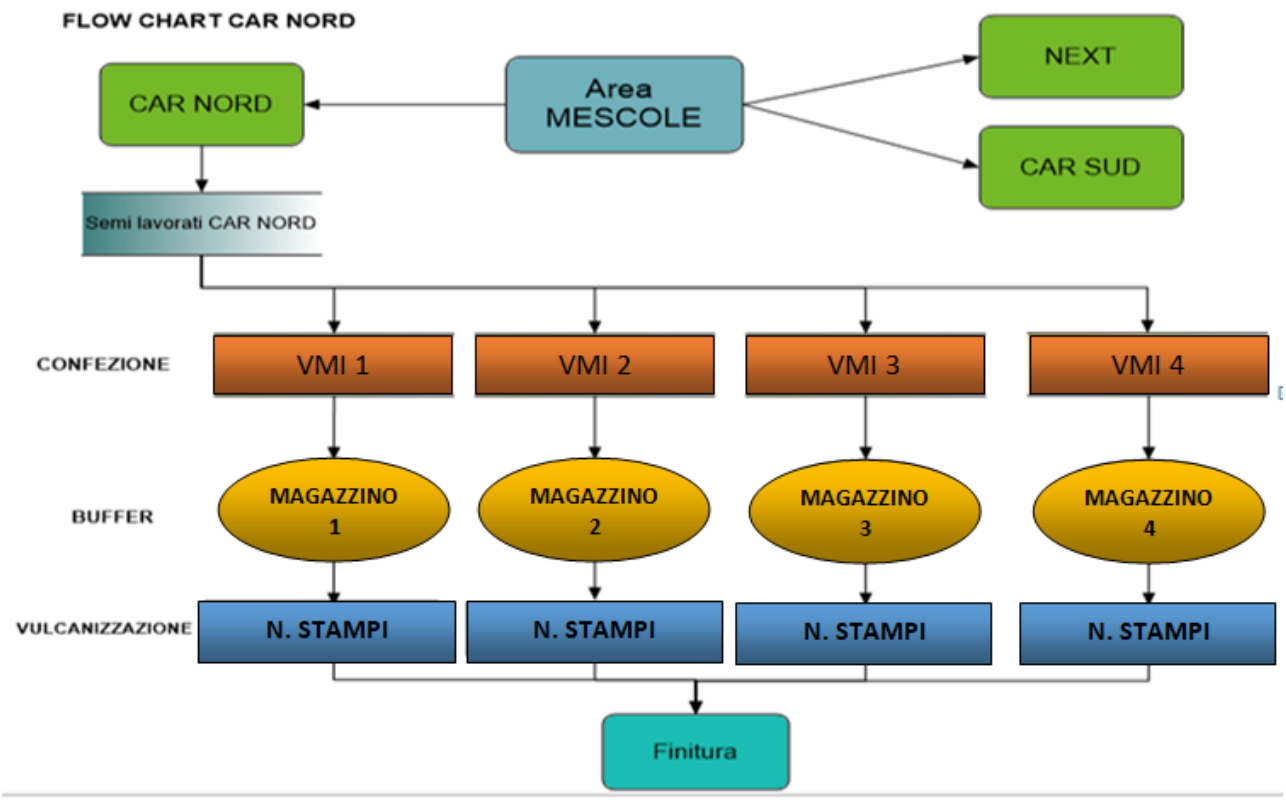

Figure 22 - Flow Chart Pirelli

Come si evince in Figura 22, sono presenti 4 linee di produzione in parallelo, ognuna fornita di:

- N.1 VMI
- N.1 magazzino automatizzato, sconnesso dalle altre 3 linee, servito da n.1 trasloelevatore ognuno
- N. vulcanizzatori con 2 stampi ognuno, per un totale di 2N stampi (ogni stampo processa un solo pezzo alla volta)

I tragitti VMI-Magazzino e Magazzino-Vulcanizzazione sono anch'essi automatizzati con presenza di nastri trasportatori, da cui il trasloelevatore del magazzino preleva il pezzo in ingresso, e su cui deposita il pezzo in uscita.

5.8 Confezione e Vulcanizzazione nel Car Nord

La confezione nell'area del Car Nord è svolta in modalità semiautomatica, con l'ausilio dell'operatore che monitora la VMI. Il lavoro ha inizio nel momento in cui dal reparto di semilavorati giungono in confezione tutti i componenti che andranno a formare lo pneumatico. Fatta eccezione per i cerchietti, che vengono trasportati con appositi carrelli e posti di fronte alla macchina per inserirli manualmente su di essa, gli altri componenti arrivano arrotolati in grosse bobine che vengono inserite nella VMI che su specifiche dell'operatore preleva le quantità necessarie ad assemblare il pezzo. Una volta costruito lo pneumatico, l'operatore lo preleva dalla macchina ed a seguito di un controllo visivo lo posiziona sul nastro trasportatore che lo porterà in magazzino. La confezionatrice ha un tempo di ciclo molto ridotto e circa uguale per qualsiasi articolo, ma alle volte ha un tempo di cambio misura elevato dato il numero di bobine da sostituire.

La vulcanizzazione è un processo chimico a cui vengono sottoposte le gomme in uscita dalla confezione, che prendono il nome di crudi, prima di essere inseriti all'interno delle presse degli stampi per essere cotti. Durante il processo si sottopone lo pneumatico ad alte temperature e forti pressioni al fine di conferirgli la forma finale e migliorarne le proprietà rendendolo plasticamente deformabile.

Ogni vulcanizzatore possiede due stampi che lavorano in parallelo su due pezzi differenti, cuocendo i due crudi per un tempo definito in base alla tipologia di ruota voluta. Ogni ruota viene processata su un solo stampo che funziona indipendentemente dall'altro. Ogni stampo è fornito di una pressa, che avvolge completamente il pezzo ed applica pressione, elevando la temperatura durante il processo grazie anche alla somministrazione di acqua calda. Alla fine di questo processo la gomma passerà da uno stato modellabile ad uno stato più solido.

Al contrario che in VMI, in vulcanizzazione gli stampi hanno tutti un Cycle Time differente che varia a seconda della misura processata. Inoltre anche i setup risultano difficoltosi, tant'è che nel tempo t di produzione di n. misure gli stampi processano solo un tipo di misura, il che appare inevitabile se si considera che già in questo modo la vulcanizzazione rappresenta il collo di bottiglia del processo ed un aumento dei setup comporterebbe ulteriori code. Inoltre il setup degli stampi comporta il cambio manuale della pressa da parte degli operatori, che richiede tempo e sforzi aggiuntivi.

5.9 Funzionamento e struttura del magazzino nel Car Nord

Confrontando i tempi di processamento di confezione e vulcanizzazione appare evidente come, producendo a pieno regime, in pochissimo tempo si creerebbe una lunga coda di crudi in attesa di essere cotti. Come già illustrato, al fine di evitare un sovraccarico della vulcanizzazione, è presente su ogni linea un magazzino che funge da buffer nel processo.

Un magazzino viene introdotto all'interno di un processo o di un'azienda per ottenere una minimizzazione dei costi operativi ed allo stesso tempo garantire prontezza nella risposta.

In questo caso un magazzino sulla linea è necessario a disaccoppiare le due fasi del processo e rendere la vulcanizzazione più indipendente dalla confezione. La velocità con cui il magazzino si riempie dipende dalla produzione di pezzi/ora che si decide di programmare sulla VMI che lo rifornisce.

Ogni magazzino possiede un solo trasloelevatore, che si occupa sia dei pezzi in ingresso dalla VMI sia di quelli in uscita da mandare a cuocere, di conseguenza la capacità di transito è limitata.

Altrettanto si può dire per la ricettività effettiva, ossia il reale numero di unità stoccabili in magazzino, che risulta essere inferiore alla totale potenzialità ricettiva dell'area. Questo accade perché gli spazi necessari alla movimentazione del trasloelevatore ed alla corretta allocazione dei pezzi verrebbero meno se si sfruttasse il 100% delle postazioni disponibili. A causa di questi problemi logistici la ricettività effettiva ammonta quindi al 90% della potenzialità ricettiva del magazzino.

Ad impegnare ulteriormente il trasloelevatore contribuisce anche un'altra operazione: la lubrificazione degli stampi. Più nel dettaglio, il magazzino è fornito di una postazione automatizzata e dotata di braccio robotico con pistola, che deposita sulla parte interna della ruota scelta un liquido che funge da lubrificante per lo stampo in cui lo pneumatico verrà introdotto. L'idea di base è di evitare ulteriore manutenzione manuale sulla macchina, in quanto si tratta di un'operazione molto frequente, apportando il lubrificante necessario direttamente sullo pneumatico che entrando nello stampo lo lubrificherà senza necessità dell'intervento dell'operatore ne di un fermo macchina. Tale procedura ha lo scopo di garantire una durata di vita dello stampo maggiore, ed un minor numero di guasti e perdite di tempo.

Il lubrificante è spalmato su uno pneumatico ogni cinque che entrano in vulcanizzazione, quindi il trasloelevatore dovrà prelevare una seconda volta lo pneumatico indicato dal sistema e condurlo nei pressi del braccio robotico, su di una postazione apposita che funge da buffer in testata al

magazzino, per poi riprenderlo e riportarlo nello scomparto di partenza. Questa procedura agevola la vulcanizzazione ma implica un carico di lavoro extra per il trasloelevatore.

Il magazzino segue una logica FIFO(first in first out) secondo la quale deve essere sempre prelevato il pezzo che è arrivato in magazzino prima degli altri, opposta alla logica LIFO(Last in fist out) secondo cui ad essere prelevato è invece l'ultimo pezzo giunto in magazzino.

I crudi in magazzino non si possono ancora considerare un prodotto finito, in quanto devono essere vulcanizzati per acquisire proprietà di resistenza e di anticorrosione. Pertanto nel frangente tra confezione e vulcanizzazione un crudo non può rimanere a stock per troppo tempo prima di superare il suo periodo di stagionatura massimo, che di solito corrisponde a pochi giorni.

Aspetto positivo dell'automazione del magazzino è la possibilità di tracciare in ogni momento la posizione di tutti i pezzi in linea tramite la base dati aziendale interna. Il trasloelevatore non assegna casualmente le locazioni agli pneumatici, ma li posiziona in base alla richiesta in vulcanizzazione ed alla frequenza di uscita dal magazzino stesso.

Degli n. stampi collegati ad ogni VMI, in genere vengono assegnati dai 2 ai 6 stampi per ogni misura diversa, limitando il numero di misure processabili insieme in vulcanizzazione ad un minimo di 3 ed un massimo di 7 misure.

La struttura del magazzino è identica per tutte le linee di produzione dell'area Nord.

Figure 23 - Magazzino

Si può descrivere il magazzino come automatizzato e di tipologia tradizionale, con gabbie apposite per il contenimento di pneumatici, con la presenza di un corridoio centrale sul quale il trasloelevatore si può muovere monodirezionalmente (avanti o indietro). Sono presenti due file di scaffalature bifronte, una a sinistra ed una a destra del trasloelevatore, che sembrano conferire al trasloelevatore la configurazione di layout ottimale per limitare che percorra distanze troppo elevate, dovendo effettuare un gran numero di movimenti.

Ogni scaffalatura ha due postazioni e può contenere due pezzi, uno davanti che si affaccia sul corridoio ed uno all'interno, subito dietro al primo. Secondo la logica FIFO il trasloelevatore deve usufruire prima dei pezzi che giacciono in magazzino da più tempo, quindi per prendere uno pneumatico che è nella seconda postazione della scaffalatura dovrà prima prelevare il pezzo davanti e spostarlo in un'altra postazione. Proprio per permettere questi continui spostamenti bisogna riempire il magazzino non oltre il 90% della sua giacenza. Definiamo così la selettività del magazzino, calcolata come il numero di unità a cui il traslo elevatore può accedere direttamente in magazzino rispetto al totale:

$$I_s = \frac{\text{u.d.c. o voci direttamente accessibili}}{\text{R o numero voci complessive}}$$

In questo caso la selettività è uguale al 50% della capienza del magazzino, ciò significa che le postazioni raggiungibili con una sola movimentazione sono la metà delle postazioni totali del magazzino, quindi quelle che si affacciano sul corridoio. I pezzi depositati nelle postazioni in seconda linea non possono essere raggiunti se non spostando prima i copertoni nella postazione più esterna della scaffalatura.

Il coefficiente di stoccaggio invece è l'indice volumetrico che quantifica il volume sfruttato in magazzino rispetto al totale. Si calcola nella seguente maniera:

$$C_V = \frac{V_{stoccaggio}}{V} \; [\%]$$

Il numeratore corrisponde al volume complessivo che le unità di carico occupano, mentre il denominatore corrisponde al volume complessivo del magazzino. In questo caso il volume di stoccaggio non eccede il 90% su ogni linea.

Per ultimo si definisce l'indice di rotazione delle merci, calcolato come il rapporto tra le unità di transito in un periodo di tempo e la giacenza media(G) a stock nello stesso tempo, nel modo che segue:

$$I_R = \frac{U_{transito}}{G}$$

Nel magazzino in osservazione l'indice di rotazione è molto variabile, soprattutto per i pezzi in uscita, in quanto la frequenza con cui vengono prelevati dipende dalle necessità degli stampi in cui i pezzi andranno. In entrata il CT più o meno costante della confezione permette di avere ingressi mediamente regolari, mentre in uscita l'indice di rotazione è molto volatile a causa della grande differenza di CT in vulcanizzazione, che varia la frequenza di uscita ed il fabbisogno in fase di cottura a seconda della combinazione schedulata in linea.

Ad ogni modo, sapendo che il magazzino è occupato mediamente al 40% della sua ricettività, è assumendo un valore medio di U transito in uscita, è possibile definire un indice di rotazione medio che si attesta intorno al 20%. Ciò significa che mediamente ogni ora andranno in vulcanizzazione il 20% dei pezzi a stock, pari a circa l'8% della ricettività del magazzino.

Seppur il basso indice di rotazione e la scarsa occupazione del magazzino possono sembrare fattori che facilitano la gestione delle scorte, nella realtà dei fatti la ricettività del magazzino corrisponde solo al 21% della produzione giornaliera dell'area, per cui una mala programmazione della produzione ed un errato dimensionamento dei lotti prodotti potrebbero causare gravi ritardi nella consegna degli ordini. In tal senso sarebbe più opportuno sviluppare una strategia che permetta di usufruire a pieno del magazzino così da aumentare la dimensione del buffer nel processo, visto che presa visione dell'indice di rotazione attuale il transito delle merci non rappresenta un aspetto critico del processo.

CAPITOLO 6 – INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA'

Nonostante l'elevata automazione, nel Car Nord si riscontrano forti criticità nella standardizzazione della produzione in VMI con una produzione discontinua e con grandezze dei lotti molto variabili. Anche la bassa saturazione del magazzino può essere considerata un disservizio, se si pensa che uno sfruttamento superiore degli scomparti presenti contribuirebbe ad allungare l'ampiezza media dei lotti prodotti in confezione standardizzando il sistema.

Le cause di tali difficoltà sono molteplici:

- Ogni VMI produce più tipologie di misura di pneumatico e ad ogni misura viene poi assegnato un numero di stampi in vulcanizzazione(di solito 2, 4 o 6 degli n. totali) a seconda del fabbisogno e del CT della misura stessa. In ogni linea, processando più tipi differenti di ruote, si deve cercare sempre di assicurare la presenza di tutte le tipologie richieste, così che non ci siano vulcanizzatori in attesa. In magazzino devono essere sempre presenti delle scorte di pneumatico per ogni item in produzione. Si hanno così svariate combinazioni di programmazione possibili, che cambiano in base al numero di misure da produrre ed al numero di stampi associati ad ognuna di esse: le dimensioni dei lotti varieranno a seconda della combinazione scelta, e saranno differenti di misura in misura a seconda della domanda in vulcanizzazione e del tempo ciclo di ognuna.
- Prerogativa della produzione è che ogni stampo lavori h24 senza mai fermarsi, in quanto la fase di vulcanizzazione rappresenta il collo di bottiglia del processo, e un fermo degli stampi causerebbe in poco tempo la formazione di code o ritardi nella produzione.
- Il divario di Cycle Time di uno pneumatico tra confezione e vulcanizzazione è abissale, e mentre nella prima fase le tempistiche si aggirano sull'ordine dei secondi, nella seconda per alcune misure sono necessari anche decine di minuti; è quindi fondamentale cercare di adattare la produzione in VMI al fabbisogno degli stampi così da evitare fermi o eccessi in entrambe le fasi.

  Volendo quantificare mediamente il netto divario di tempistiche di produzione tra le due fasi si può assumere che lo stampo impiega 25 volte il tempo di confezione per cuocere un copertone, e quindi:

$$CT\ Stampo = 25\ CT\ VMI$$

- Il Cycle Time in vulcanizzazione è molto variabile a seconda della tipologia di pneumatico che si deve produrre. Prendendo in esame il tempo medio di tutti i CT conosciuti, che può

essere chiamato ‘CT_x’, si può individuare un range di tempo entro il quale includere tutte le tipologie diverse di cottura. Il delta, ossia la volatilità dal valore medio, è uguale a circa il 40% di CT_x, quindi:

$$CT = CT_x \pm 0,4 * CT_x$$

- I setup in VMI richiedono tempo, in quanto devono essere cambiate manualmente dagli operatori tutte le bobine dei semilavorati che compongono il pezzo, differenti di misura in misura. Quindi pur producendo in un’ottica di Just in Time e di Lean Production, si deve cercare di mantenere la dimensione dei lotti ad un valore tale da ridurre anche il numero di setup. La VMI può dover produrre fino a 7 misure diverse ogni settimana quindi non ci si può permettere, ad esempio, di produrre lotti da 10 pezzi l’uno e poi resettare e passare alla misura dopo.
- La mancanza materiali in vulcanizzazione causa la necessità di setup aggiuntivi per riprogrammare lo stampo a lavorare su un nuovo item. Questo produce elevatissimi costi di attrezzaggio, data la complessità e l’elevato tempo di setup, nettamente superiore allo stesso tempo di ciclo della fase in questione:

$$Tempo\ setup\ stampo >> Tempo\ ciclo\ stampo >> Tempo\ setup\ VMI$$

- Il magazzino installato tra confezione e vulcanizzazione ha una ricettività effettiva molto limitata in confronto alla produzione giornaliera:

$$ricettività\ effettiva = 21\%\ prod.giornaliera = 3\%\ prod.settimanale$$

6.1 Analisi FMEA – Failure Modes and Effect Analysis

La FMEA è un metodo per riassumere e schematizzare le criticità, analizzare i modi di cedimento di un sistema, le cause da cui il cedimento deriva e gli effetti che può produrre per poi definire delle azioni correttive da adottare e trasmettere il ‘know how’ acquisito a tutto il sistema aziendale. Il FMEA di processo ha lo scopo di ottimizzare il processo in maniera tale da rispettarne le specifiche e da ridurre scarti, rilavorazioni e fermi macchina.

La procedura si compone di più step:

- Step 1: definizione del sistema da osservare e analisi delle sue funzioni e situazioni di funzionamento ideale;

- Step 2: analisi della struttura del sistema;
- Step 3: analisi degli elementi con due possibili modalità(top-down e bottom-up). Il top-down analizza le fasi superficiali del sistema in fase di pianificazione, è più rapido e meno complesso, ma alle volte anche più impreciso. Il bottom-up analizza in maniera spaiata tutti i componenti del sistema, dando una maggior precisione ma maggior dispendio di tempo e costi.

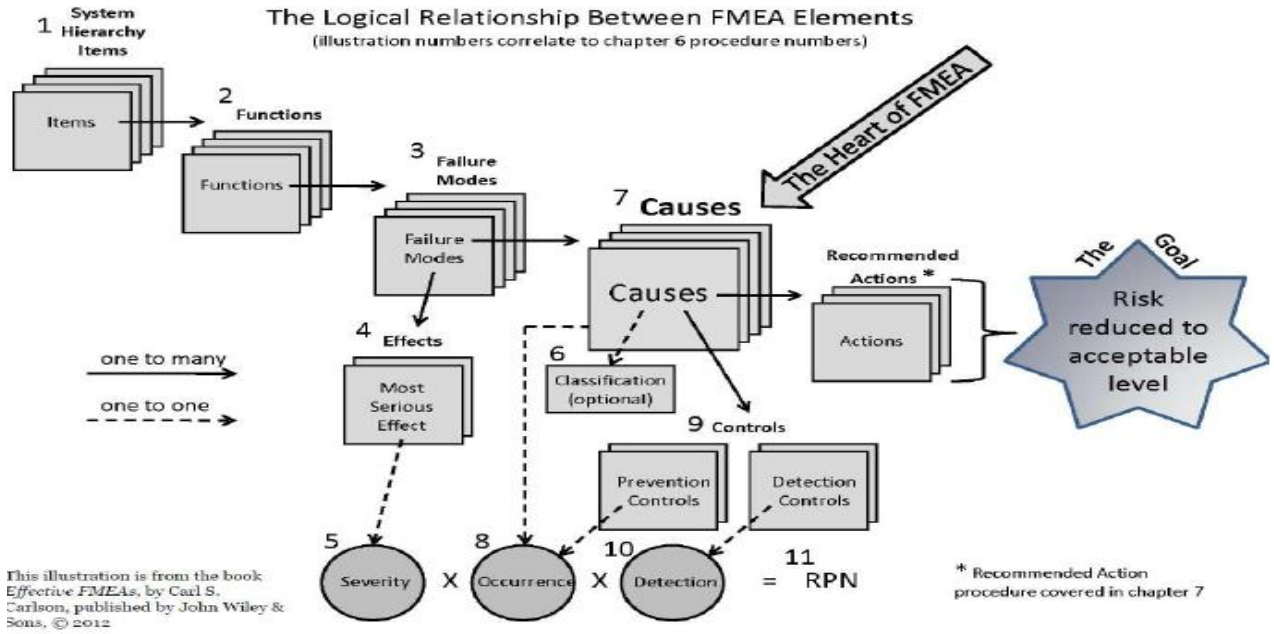

Figure 24 - Flow Chart FMEA

Il diagramma in Figura 24 delinea degli indici calcolabili dall'osservazione del rapporto causa-effetto del processo in analisi. Studiando le modalità di fallimento e gli effetti che potrebbero causare si quantifica la gravità degli eventuali problemi, ricercando le cause all'origine si può definire la probabilità di incorrere in ogni problema, e valutando il tipo di monitoraggio che l'azienda svolge a riguardo si può definire un indice di rilevabilità.

Grazie al calcolo di questi indici l'analisi FMEA quantifica numericamente il grado di priorità di ogni problema, così da sapere da dove iniziare ad intraprendere le azioni correttive. L'indicatore che interpreta questo dato è il RPN (Risk Priority Number), calcolato nel modo che segue:

$$RPN = G * P * R$$

dove:

G = indice di gravità [0;10]

P = indice di probabilità [0;10]

R = indice di rilevabilità [0;10]

G indica la gravità del problema riscontrato, P indica la probabilità che l'evento si verifichi, R è la probabilità di rilevare l'errore. Per G e P un valore più alto indica un aumento della gravità e della probabilità di accadimento, per R un aumento dell'indice simboleggia maggiore difficoltà nel rilevamento dell'anomalia.

FMEA										
Step del processo	Potential Failure Mode	Potenziale falla nel sistema	G	Possibili cause	P	Current Controls	R	RPN	Azione Raccomandata	Responsabile
Fase di Confezione - Zona Car Nord	Sovraproduzione o sottoproduzione di crudi nelle VMI	Scarti in magazzino	8	Superamento giacenza o stagionatura massima	6	Controllo visivo	2	96	Dimensionamento dei lotti tramite nuovo modello	Produzione
		Fermi macchina in vulcanizzazione	10	Mancanza materiale	7	Controllo visivo	3	210	Adozione nuovo modello per aumento lunghezza media dei lotti	Produzione
		Ritardi nella consegna al cliente	10	Allungamento dei tempi di produzione in VMI	4	Analisi dati	9	360	Revisione delle priorità	Pianificazione
	Errato dimensionamento dei lotti	Aumento del numero di set-up in VMI	6	Sottodimensionamento dei lotti	8	Verifica in vulcanizzazione	8	384	Adozione nuovo modello per aumento lunghezza media dei lotti	Produzione
		Spreco di risorse(semilavorati ed operatori)	8	Scarto di pezzi superflui	7	Man Machine Charts	7	392	Saturazione tempi uomo-macchina	Supply Chain
		Cambi improvvisi nella pianificazione	7	Pianificazione imprecisa	9	Analisi dati	9	567	Ripianificazione ordini secondo nuovo modello	Pianificazione

Figure 25 - FMEA di partenza

In Figura 25 è possibile osservare la scheda FMEA creata in riferimento al progetto, che si focalizza sulla riorganizzazione dei lotti in confezione, e sottolinea quali sono gli errori nel processo con possibili cause, azioni consigliate e persone responsabili delle criticità.

Tutte le cause si possono ricondurre a problemi di errata pianificazione e programmazione della produzione, che a livello pratico si concretizzano nella sovrapproduzione di lotti di items che dovrebbero essere prodotti in ampiezza minore, nella sottoproduzione di lotti di cui è richiesto un maggior fabbisogno, e di sottosfruttamento del magazzino, che se usato meglio potrebbe agevolare la ridefinizione dei lotti nella fase antecedente.

Partendo dall'individuazione delle cause di malfunzionamento, con la FMEA si determina quali sono i principali rischi, classificati in base alla gravità ed alla probabilità di imbattersi in ognuno di essi.

Come si può vedere osservando il RPN di ognuno, le falle più pericolose sono lo spreco di risorse ed i cambi improvvisi nella pianificazione, entrambi provenienti da un errato dimensionamento dei lotti, con RPN rispettivamente pari a 392 e 567. È necessario quindi puntare ad una saturazione nello sfruttamento delle risorse, che siano operatori o macchine, ed alla definizione di un nuovo piano di approvvigionamento che permetta di avere crudi in quantità opportune garantendone comunque il mix in ogni momento.

6.2 Ottimizzazione della produzione: cosa si deve migliorare?

Come si evince le criticità maggiori riguardano l'ambito della pianificazione della produzione. Approfondendo meglio, le difficoltà nella programmazione cambiano in base alle caratteristiche delle misure schedulate.

Più nel dettaglio, in VMI il CT è uguale per ogni tipologia di misura ed il tempo di setup non è eccessivo e varia in base ad alcuni fattori: il numero di bobine da cambiare corrisponde al numero di componenti che devono essere sostituiti per variare da un item all'altro, e non richiede troppo tempo; invece il calettamento, ossia il cambio del tamburo della VMI, costituisce la parte più lunga del setup, ma è meno frequente in quanto previsto solo se si passa a processare misure di dimensioni completamente differenti dalla precedente(ex. da un 17 si passa ad un 19 pollici). Per misure diverse ma di uguale diametro non è previsto invece un calettamento.

Al contrario in vulcanizzazione i CT degli stampi possono cambiare radicalmente da misura a misura, per questo una situazione ideale sarebbe quella in cui le misure con tempo di processamento più corto vengano schedulate assieme ad altre con tempo più lungo, così che l'approvvigionamento del nuovo crudo in vulcanizzazione avvenga su ogni stampo in momenti diversi, e che non ci sia un sovraccarico di lavoro per il trasloelevatore in un unico momento, ma piuttosto una suddivisione del lavoro più omogenea nel tempo. Così facendo si faciliterebbe anche la produzione in VMI, dato che le misure che in vulcanizzazione vengo esaurite più rapidamente dovranno essere prodotte in quantità maggiore, ma le misure con consumo minore compenseranno le prime perché verranno prodotte in lotti di ampiezza minore.

È importante sottolineare che l'ampiezza di un lotto deve dipendere dalla velocità con cui la misura in questione è cotta in vulcanizzazione e dal numero di stampi che la lavorano. Una misura a cui

sono associati solo 2 stampi e che ha un alto CT di cottura sarà esaurita in un lasso di tempo superiore, quindi non ha senso ordinarne lotti molto lunghi in confezione perché la gran parte del lotto andrebbe a costituire stock in magazzino per tempi prolungati e toglierebbe spazio per l'immagazzinamento di pezzi di altre misure più richieste in quel momento. Al contrario una misura con un CT di cottura breve cui sono stati assegnati più stampi ha bisogno di essere prodotta in lotti più lunghi in VMI dato il suo elevato fabbisogno orario.

È qui che dovrebbe entrare in gioco il concetto di standardizzazione dei lotti introdotto dalla filosofia Lean, per ridurre sprechi e produrre di più, per evitare di sovradimensionare un lotto o di lasciare fermo uno stampo per mancanza materiale, ma anche per dare un ordine alla produzione ed incentivarla.

Le principali migliorie di cui il processo ha bisogno sono due:

a) Standardizzazione dei lotti in confezione
b) Utilizzo maggiore del magazzino

I risultati attesi sarebbero:

a) Ridefinizione dell'ampiezza media dei lotti
b) Aumento della produzione
c) Diminuzione dei setup in confezione (dovuto alla riorganizzazione dei lotti)
d) Diminuzione dei fermi macchina per mancanza materiale in vulcanizzazione

È in questo frangente che serve un metodo il più ripetitivo possibile per definire delle regole di comportamento in situazioni critiche e dei criteri di schedulazione che siano validi sia in casi più gestibili che in situazioni più complicate. Per casi più gestibili si intendono tutte quelle situazioni in cui in linea sono lavorate solo poche misure e quindi si producono già i lotti in maniera abbastanza lineare, mentre le situazioni complicate sono quelle in cui si ha il massimo numero di misure lavorate in linea e i CT di cottura sono perlopiù bassi. Quindi all'aumentare del numero di misure l'ampiezza massima dei lotti si riduce, tant'è che nella rarissima ipotesi in cui per un tempo prolungato in linea ci fosse solo un'unica misura da produrre, teoricamente si darebbe vita ad una produzione continua senza code, setup e ritardi, se non per guasto macchina. Diventa fondamentale accoppiare le misure in maniera tale che la combinazione che ne viene fuori semplifichi la schedulazione.

Altresì in un processo con caratteristiche di sistema Pull, dove la produzione di una fase di lavoro è calcolata sul fabbisogno di quella successiva, il numero degli stampi che vengono associati ad ogni

misura dipende dalla domanda del cliente e dal totale dei pezzi necessari per ognuna. Non è consigliabile perciò variare il numero degli stampi assegnati da misura a misura, bensì individuare una dimensione standard dei lotti che li massimizzi in funzione degli stampi associati alla misura stessa.

Per motivi di produzione e domanda del cliente ad oggi non si è però ancora riusciti a raggiungere questa situazione ideale. Al contrario, per garantire la disponibilità delle misure necessarie si è andati verso una programmazione non standardizzata ma occasionale in base alla misura richiesta, che ha portato ad una riduzione dell' ampiezza dei lotti con conseguente esaurimento a stock delle stesse misure in un tempo ancor più breve. L'obiettivo è di ottimizzare la produzione mediante una standardizzazione della grandezza dei lotti che allo stesso tempo li massimizzi, e questo è possibile solo sfruttando lo stock di magazzino. Trattandosi infatti di prodotti che vengono schedulati in tempi all'ordine del minuto, una riduzione dell'ampiezza dei lotti porterebbe in poco tempo a mancanze di materiale. Standardizzare per produrre di più e meglio, questa è la linea guida.

In questo contesto si introduce il concetto di lotto medio complessivo, uguale alla media dei lotti di tutte le misure prodotti dalla VMI in linea per un dato periodo, e destinati a finire in magazzino e poi in vulcanizzazione.

Denominando come *A, B, C...Z* (lettere alfabetiche) le misure lavorate in linea in un dato intervallo di tempo, possiamo calcolare il lotto nel seguente modo:

$$\textit{Lotto Medio Complessivo} = (\sum \textit{lotti A} + \textit{lotti B} + \ldots \textit{lotti N}) / \textit{n. lotti tot}$$

Fattori che influenzano e contribuiscono a definire il lotto medio complessivo sono:

- Numero di misure da lavorare in vulcanizzazione
- Numero di stampi dedicati ad ogni misura
- Tempi di Ciclo(CT) in vulcanizzazione
- Fabbisogno di pezzi/misure in vulcanizzazione

Variazioni di questi fattori ci aiutano a capire che:

- all'aumentare di tipologie diverse di misure cotte in vulcanizzazione sale anche la difficoltà in confezione, in quanto la VMI dovrà differenziare maggiormente il suo output, con conseguente riduzione dell'ampiezza dei lotti e aumento del numero di setup. Il lotto medio sarà quindi inferiore nel caso in cui in calendario ci siano molte misure da produrre.
- ad ogni misura viene associato un certo numero di vulcanizzatori, in base al numero di misure da schedulare ed al CT di ognuna di esse. Avendo a disposizione un numero costante

di stampi in ogni linea, al crescere del numero di misure ci saranno meno stampi per ognuna, ed al diminuire degli stampi per una misura diminuirà anche il lotto medio della stessa prodotto in VMI, perché il fabbisogno in vulcanizzazione scenderà. Al contrario, se una misura è associata a più stampi il suo fabbisogno di crudi sarà più alto, a scapito degli altri tipi di pneumatico, e in confezione si produrranno lotti più lunghi di quella misura.

- i pezzi prodotti in confezione sono tendenzialmente uguali ai pezzi richiesti in vulcanizzazione. Un eccesso di produzione in VMI saturerebbe il magazzino in breve tempo e creerebbe code sulla linea, vista la lentezza in fase di cottura.
- il Cycle Time in vulcanizzazione cambia a seconda dell'item in cottura, quindi per misure con un basso CT dovrebbe esser prodotto in confezione un lotto di dimensione superiore. Questo perchè il basso CT in vulcanizzazione implica un fabbisogno orario superiore, permettendo agli stampi di schedulare più pezzi nel tempo in esame.
- le scorte in magazzino si consumano più rapidamente al diminuire dei CT in vulcanizzazione, e di conseguenza la VMI avrà bisogno di lotti più lunghi per ogni misura al fine di garantire per ognuna un certo stock disponibile. Come accennato numerose variazioni in VMI disincentivano l'ampliamento dei lotti da produrre. La situazione ideale sarebbe quella in cui in VMI si riuscisse a ripartire con la produzione di ogni misura quando il corrispettivo in magazzino sta per esaurirsi, definendo come PUR (punto di riordino) della misura il momento in cui i pezzi a stock saranno prossimi allo zero.
- un lotto maggiore assicura un consumo progressivamente più duraturo nel tempo, mentre un fabbisogno maggiore aumenta il consumo orario diminuendo la durata del lotto nel tempo, che verrà esaurito prima.
- con CT in vulcanizzazione omogenei tra loro si possono produrre lotti simili anche per misure diverse. Al contrario con CT molto discostanti ad ogni misura sarà assegnato un numero diverso di stampi, che implicherà fabbisogni orari diversi in vulcanizzazione. Di conseguenza anche le dimensioni dei lotti da produrre in VMI differiranno tra loro.

Importante è precisare che la programmazione della produzione tiene già conto della domanda del mercato e della clientela, e che massimizzare la grandezza dei lotti, se fatto nei limiti della domanda, non significa violare una logica di mercato make to order, bensì combinarla ad una logica di previsione della domanda.

L'obiettivo dell'attività di pianificazione è di coordinare le caratteristiche dell'azienda con le richieste del mercato. Sorge spontaneo chiedersi come collegare le tempistiche di produzione con il dimensionamento dei lotti: come vedremo più avanti l'idea è di allungare la dimensione del lotto

così da ritardare l'esaurimento della misura a stock e sfruttare a pieno il magazzino. In tal modo si andrebbero a ridurre anche i setup della VMI e sarebbe possibile, grazie al modello proposto nelle pagine che seguono, assicurare sempre la presenza dei crudi così da non fermare i vulcanizzatori.

CAPITOLO 7 – VALORE AGGIUNTO DEL PROGETTO

L'ideazione e la messa in pratica di questo progetto hanno lo scopo di esercitare un'azione correttiva per eliminare gli sprechi nelle fasi di confezione, stoccaggio e vulcanizzazione nel comparto Car Nord al fine di incrementare la produzione. Le cause di spreco che più impattano in questo frangente sono:

- errato dimensionamento dei lotti prodotti in VMI
- fermi macchina per mancanza materiale in vulcanizzazione
- scarso utilizzo del magazzino come buffer di processo per disaccoppiare le due fasi adiacenti
- elevato numero di setup in confezione

Come visto le cause di questi sprechi sono attribuibili alla disomogeneità dei lotti ed al loro sottodimensionamento rispetto al totale.

Il valore aggiunto del progetto proposto è la diminuzione di questi sprechi con l'aumento e la standardizzazione del lotto medio complessivo ed un migliore sfruttamento del magazzino.

Si prevede che un dimensionamento costante dei lotti calcolato proporzionalmente per ogni misura in base al fabbisogno degli stampi ad essa attribuiti allunghi l'ampiezza media di ogni lotto in confezione, riducendo i setup ed incrementando la produzione.

Si pensa inoltre che un maggior utilizzo del magazzino a sua volta aiuti a definire una grandezza media dei lotti da produrre superiore a quella attuale. Proprio utilizzando questo buffer tra le due fasi, seppur molto limitato, l'obiettivo è di definire dei criteri di lottizzazione standard che in ogni combinazione permettano di produrre sulle VMI lotti sempre uguali del medesimo item.

Per fare ciò si è utilizzato un sistema FOQ (Fixed Order Quantity) per la gestione del magazzino e dello stock, integrato ad un piano MRP (Material Requirements Planning) per il corretto riordino dei lotti in linea.

La prima fase di attuazione di questo progetto è stata la raccolta dei dati inerenti la produzione reale. Tramite l'utilizzo della base dati Pirelli sono stati estrapolati i dati medi di produzione su base settimanale, prendendo in considerazione più combinazioni diverse, che contenessero dalle poche alle tante misure in linea, con tempi simili o molto differenti. Si è osservato quali fossero le variazioni e le criticità al variare di ogni combinazione e quali fossero i fattori più impattanti sul sistema.

Pirelli sceglie le misure da produrre in base alla richiesta del mercato e le assegna ad una linea piuttosto che ad un'altra in base ai CT, ed in base ai tipi di mescola o di semilavorati che compongono ogni pneumatico. Questo viene fatto sia per agevolare le prime fasi del processo e favorire una produzione su domanda aggregata, cercando di produrre tipi di pneumatico più o meno omogenei in ogni linea, sia per accoppiare pneumatici con basso CT insieme ad altri con CT più alto, così da non sovraccaricare di lavoro il trasloelevatore in magazzino e disaccoppiare le tempistiche di ogni stampo. Infatti se su una linea venisse impostata la produzione di 6/7 misure con CT molto basso, la frequenza di uscita dei pezzi dal magazzino sarebbe troppo alta e ci potrebbero essere code o perdite in vulcanizzazione.

Inoltre, in un'ottica di produzione pull, a definire la produzione di una fase di processo è sempre il fabbisogno della fase successiva. Come la vulcanizzazione scandisce la produzione delle VMI anche la confezione a sua volta determina quello che sarà necessario produrre tra i semilavorati. Secondo questo principio si dovrà creare una similitudine tra quanto viene prodotto tra le due fasi esaminate così che non ci siano pezzi scartati per inutilizzo o perdite di tempo nel processo.

Gli step del progetto sono stati i seguenti:

1. acquisizione ed analisi dei dati aziendali inerenti la parte di processo interessata al miglioramento;
2. definizione degli obiettivi: standardizzazione dei lotti e sfruttamento del buffer di magazzino per allungare o accorciare i lotti ed incentivare la produzione;
3. creazione su Microsoft Excel di un sistema di calcolo basato su una metodologia di riordino FOQ del magazzino, per calcolare la grandezza consigliata dei lotti di ogni misura, in base alla combinazione schedulata ed alla capienza del magazzino;
4. creazione di un piano MRP per il riordino delle misure e la pianificazione del lavoro in VMI in base al fabbisogno della vulcanizzazione;
5. evidenziazione grafica delle migliorie con grafici ad area, grafici a linee, schede FMEA, Diagrammi di GANTT per quantificare l'ottimizzazione raggiunta.

7.1 Metodo – Sistema a quantità fissa (FOQ)

È stato creato un modello di calcolo dell'ampiezza ideale dei lotti che tenga conto degli stampi e dei CT di ogni misura e della combinazione in cui le misure sono associate con le altre. Il modello è stato realizzato tramite l'ausilio di Microsoft Excel e a seguito dell'inserimento dei dati restituisce come risultato la grandezza consigliata a cui stabilizzare i lotti di ogni item.

Il fattore di rischio su cui il progetto incide maggiormente è il fermo macchina per mancanza materiali. Infatti la ripianificazione dei lotti con MRP permette di azzerare i fermi in vulcanizzazione dovuti a mancanza di crudi sugli stampi.

La logica di base del modello segue un sistema multiplo a quantità fisse e calcola un FOQ da riordinare nel momento in cui le scorte della misura in questione raggiungono lo zero. Risulta il modello più appropriato da applicare per ripianificare il processo, rispetto a modelli a tempi fissi con cui si avrebbe uno sfruttamento impreciso del magazzino, con possibile mancanza di crudi nei momenti precedenti al tempo di riordino. Risulta più efficace riordinare un lotto sempre della stessa quantità nel momento in cui esso si esaurisce piuttosto che fare ordini periodici ma di lotti ogni volta diversi. Visti i continui cambi nella combinazione di misure in linea, alle volte anche da settimana a settimana, si preferisce adottare un sistema che non standardizzi i tempi, troppo variabili, ma i lotti. Con il calcolo di un FOQ sappiamo che ogni volta che le scorte si esauriscono abbiamo una quantità nota e sempre uguale da ordinare in confezione.

Questo modello assume che ci sia un fabbisogno orario costate durante la schedulazione di una combinazione di misure, e che ogni ora in vulcanizzazione l'input di crudi sia costante, per cui si esclude il bisogno di ulteriori scorte di sicurezza in magazzino, che occuperebbero spazio con conseguenze sulla grandezza dei lotti da produrre in confezione. Al contrario, l'obiettivo del progetto è proprio di sfruttare il magazzino come buffer per produrre lotti più idonei e ridurre anche i setup in VMI. Sarebbe quindi controproduttivo ordinare ulteriori SS che occuperebbero il poco spazio a disposizione ma nella realtà non servirebbero, visto il breve arco temporale in cui si schedula una combinazione in linea prima di passare ad un'altra.

Il modello ideato si basa su una suddivisione del tempo operativo dei macchinari in linea proporzionale alla domanda di ogni misura. Ad esempio, a parità di CT, una misura a cui sono assegnati 4 stampi è richiesta il doppio di una che ne ha 2, quindi la VMI dovrà produrre pezzi del primo tipo per il doppio del tempo del secondo. Facendo una suddivisione su base settimanale la VMI dovrà produrre la misura A per i 2/3 della settimana e la misura B per il restante 1/3. Si può estendere questo ragionamento anche a sistemi più complessi per suddividere il tempo operativo della VMI e proporzionare la produzione di ogni misura a quella di tutte le altre. Questo aiuta a definire anche la dimensione dei lotti, perché per misure che sono processate su più stampi ed hanno un CT minore ci sarà più richiesta di crudi e quindi si dovranno allungare i lotti. Contrariamente, per misure con pochi stampi associati e CT più alto ci sarà meno necessità di pezzi e quindi i lotti potranno essere più corti.

7.2 Procedimento

Per definire la mole di pezzi da produrre in confezione si deve prima calcolare il fabbisogno in vulcanizzazione. Per farlo è necessario acquisire i dati inerenti i CT in vulcanizzazione di tutte le misure e conoscere il numero di stampi dedicati ad ognuna. Calcolando su base oraria il fabbisogno di ogni misura è possibile risalire al fabbisogno orario complessivo della vulcanizzazione. Concettualmente, per non mandare il magazzino in overflow si dovrà produrre in confezione solo ciò che è realmente richiesto dalla fase successiva. Questo è possibile visto che il collo di bottiglia del processo è costituito dalla vulcanizzazione e la capacità di produzione di una VMI in linea è almeno uguale alla capacità di cottura di tutti i suoi stampi insieme, a causa del divario di CT tra le due fasi. Viene naturale chiedersi perché non impostare al massimo la produzione oraria della VMI: non è possibile perché così facendo si saturerebbe in pochissimo tempo il magazzino e si creerebbero code. Inoltre, avviare e fermare più volte una VMI creerebbe problemi di riallocazione di risorse ed operatori, oltre che perdite in partenza per rallentamenti della macchina. La logica Lean insegna che anche le perdite di tempo sono sprechi e tenere fermo un operatore, o ancor peggio reindirizzarlo a svolgere ogni volta mansioni diverse, andrebbe contro il concetto stesso di standardizzazione. Meglio invece è spalmare costantemente la produzione sulle ore a disposizione.

Si è optato quindi per impostare una frequenza di produzione in confezione uguale a quella della vulcanizzazione. Quindi nell'arco di un'ora i pezzi che verranno prodotti dalla VMI corrisponderanno in numero al totale dei pezzi necessari agli stampi da rifornire. Non si possono però avere setup ogni ora, quindi nelle ora in cui la VMI produrrà il lotto di una misura, il magazzino dovrà rifornire gli stampi delle altre misure ricorrendo allo stock. È in questo modo che si disaccoppiano le due fasi del processo e si permette alla VMI di allungare e standardizzare i lotti e diminuire i setup.

Detto ciò, i rischi possono essere principalmente due:

- Produrre lotti troppo piccoli in VMI, con successiva insoddisfazione del fabbisogno di una o più misure sugli stampi e conseguente fermo macchina per mancanza materiale;
- Produzione di lotti troppo grandi, con conseguente sovraccarico del magazzino e creazione di code.

Nell'ottica di individuare una grandezza che aiuti a trovare una dimensione dei lotti ottimale, prendiamo in considerazione il 'lotto medio', pari alla media dei lotti prodotti in VMI per uno stesso item.

Da quì definiamo poi il 'lotto medio complessivo' come media dei lotti di tutte le misure prodotte su una VMI. Questa grandezza è la prima da monitorare per valutare l'ottimizzazione della produzione. L'obiettivo è quello di standardizzare i lotti medi al fine di regolarizzare la produzione ed evitare mancanza materiali in magazzino e, nei limiti della produzione, aumentare il lotto medio complessivo cosi da diminuire il numero di setup.

Tornando al sistema, inserendo nella tabella Excel i CT e gli stampi associati ad ogni misura che compone la combinazione schedulata, viene calcolato il fabbisogno orario in vulcanizzazione, prima per misura e poi totale, e si definisce la produzione oraria della VMI. In base a questo la tabella calcola i lotti medi consigliati per ogni misura, e li riduce progressivamente in proporzione agli altri, se non rispettano i limiti imposti dal magazzino. Alla fine si otterranno i massimi lotti medi consentiti.

Dalla media dei lotti medi si calcola poi il lotto medio complessivo, che funge da indicatore di miglioramento in termini di pezzi. Per vedere se dalla ripianificazione si è realmente avuto un incremento della produzione basta confrontare il lotto medio complessivo inziale con il nuovo appena calcolato e verificarne l'incremento in termini di ampiezza.

Per quantificare i limiti di grandezza dei lotti medi, da non superare per mantenere integro il magazzino, sono state effettuate una serie di prove pratiche con cui si sono individuati dei valori soglia che garantiscono di non sforare con lo stock ma allo stesso tempo di eliminare le mancanze materiali.

I risultati venuti fuori sono i seguenti:

- 3 misure → massimo lotto medio complessivo consentito = al 98% di ricettività magazzino
- 4 misure → massimo lotto medio complessivo consentito = al 69% di ricettività magazzino
- 5 misure → massimo lotto medio complessivo consentito = al 52% di ricettività magazzino
- 6 misure → massimo lotto medio complessivo consentito = al 38% di ricettività magazzino
- 7 misure → massimo lotto medio complessivo consentito = al 33% di ricettività magazzino

Per definirli si è progressivamente aumentata la grandezza dei lotti fin quando non si è oltrepassata la soglia di giacenza massima in magazzino, e si è assunta quell'ampiezza come limite massimo del lotto.

Seguendo questi limiti il modello Excel parte da lotti molto grandi di ogni item e li ridimensiona proporzionalmente agli altri finchè ognuno non rispetta le soglie elencate. Ovviamente con l'aumentare del numero di misure decresce il lotto massimo consentito, perchè il magazzino dovrà

contenere più misure diverse, e quindi quantità minori di ognuna, e la VMI a sua volta dovrà produrre un mix di misure più variegato.

Osservando combinazioni con misure diverse si è visto che all'aumentare del numero delle misure cresce la saturazione in magazzino ed aumenta la difficoltà nella produzione in VMI, in quanto una sola macchina produce più tipi di pneumatico ed aumentano i setup. Di conseguenza più saranno le misure nella stessa combinazione e più la VMI lavorerà lentamente e con una produzione oraria inferiore.

Minore sarà invece il tempo di processamento, maggiore sarà la dimensione del lotto, e minori saranno le ripetizioni ed i setup. Per questo il sistema cerca di trovare il lotto più grande possibile.

Figure 26 - Lottizzazione

É necessario garantire che in magazzino ci sia disponibilità di ogni item in qualsiasi momento, anche per questo se si producessero lotti troppo piccoli non si potrebbe soddisfare questa prerogativa, e in alcuni momenti gli stampi non avrebbero crudi a disposizione. Invece un lotto più lungo garantisce una presenza di pezzi per un periodo più ampio.

7.3 Calcolo

Come anticipato nei paragrafi 3.2 e 7.1 il FOQ è una quantità fissa da riordinare ogni volta che le scorte in magazzino si stanno esaurendo e che varia di misura in misura. Nel sistema a quantità fisse il nuovo lotto è ordinato nel momento in cui il livello di scorte in magazzino raggiunge il PUR, ossia il punto di riordino al quale si ritiene necessario ripristinare il quantitativo di stock iniziale. In questo caso la domanda oraria costante degli stampi rende inutile e complicato prevedere delle ulteriori scorte di sicurezza in magazzino, per cui è possibile fissare il PUR sullo zero, e riordiare il FOQ di ogni item nel momento in cui si sta esaurendo.

Per calcolare il FOQ è stato ideato il seguente modello Excel, esposto in Figura 27, che mostra il processo di calcolo effettuato tenendo conto del numero di misure nella combinazione e delle variabili di stampi/misura e CT.

(esempio numerico non reale, finalizzato solo alla comprensione dei calcoli dell'MRP)

		CELLE VARIABILI				Moltiplicatori: progressivo ridimensionamento proporzionale dei lotti fino a trovare il FOQ ottimale													
						1.0		0.85		0.75		0.66		0,5		0,49			
N. Misure lavorate	Misure	Stampi per misura	Tempi di ciclo CT (min)	Consumo misura (Pz/h)	FabVulc (Pz/h)	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo	FOQ	Lotto medio complessivo
3	Misura A	6	15	24	54	1296		1080		972		864		648	486,0			648	486,0
	Misura B	6	15	24		1296		1080		972		864		648				648	
	Misura C	2	18	6		324		270		270		216		162				162	
4	Misura A	4	10	24	47	1128		940		846		752	364					752	364,3
	Misura B	4	20	12		564		470		423		376						376	
	Misura C	4	30	8		376		329		282		235						235	
	Misura D	2	34	3		141		141		94		94						94	
5	Misura A	4	20	12	39	468		390	257,4									390	257
	Misura B	2	20	6		234		195										195	
	Misura C	2	21	5		195		156										156	
	Misura D	4	18	13		507		429										429	
	Misura E	2	40	3		117		117										117	
6	Misura A	2	19	6	50	300		250		250		200		150		150,0	200	150	200,0
	Misura B	6	18	20		1000		850		750		650		500		500,0		500	
	Misura C	2	17	7		350		300		250		250		200		150,0		150	
	Misura D	4	40	6		300		250		250		200		150		150,0		150	
	Misura E	2	25	4		200		150		150		150		100		100,0		100	
	Misura F	2	17	7		350		300		250		250		200		150,0		150	
7	Misura A	2	18	6	50	300		250		250		200		150	178,6			150	178,6
	Misura B	2	18	6		300		250		250		200		150				150	
	Misura C	2	20	6		300		250		250		200		150				150	
	Misura D	4	17	14		700		600		550		450		350				350	
	Misura E	2	18	6		300		250		250		200		150				150	
	Misura F	4	30	8		400		350		300		250		200				200	
	Misura G	2	30	4		200		150		150		150		100				100	

Figure 27 - Tabella di calcolo

Le celle in giallo sono le uniche celle variabili del modello, in cui è possibile inserire da tastiera i CT delle misure ed il numero di stampi associati ad ognuna, che determinano il consumo orario di ogni misura ed il fabbisogno della vulcanizzazione, calcolati nelle due colonne accanto.

A differenza del modello teorico mostrato nel paragrafo 3.2, quì il lotto consigliato non viene calcolato in funzione dei costi effettivi, bensì in funzione degli sprechi. Vale a dire che i lotti che prima erano prodotti in eccedenza rispetto al fabbisogno degli stampi ora saranno ridimensionati e, viceversa, i lotti sottodimensionati verranno ampliati per soddisfare la richiesta della fase di vulcanizzazione ed eliminare i fermi. L'economicità dei lotti viene valutata in base alla vicinanza della loro ampiezza rispetto al fabbisogno degli item nella fase successiva.

Possiamo riassumere i passaggi in tabella per il calcolo dei FOQ ideali nei seguenti step:

1) la tabella calcola per prima la colonna "consumo misura", in termini di pezzi/ora. Questa colonna corrisponde al fabbisogno in vulcanizzazione per ogni misura nell'arco di un'ora, e la formula utilizzata è la seguente:

*Consumo = Stampi * CT(min) / 60 min*

2) si calcola poi alla voce 'Fab. Vulc.' il fabbisogno totale degli stampi, che corrisponde alla produzione oraria che si andrà ad impostare in confezione, sommando tutti i consumi precedentemente calcolati:

Fab. Vulc. = Prod/ora VMI = Consumo A + Consumo B + ... + Consumo N

3) si definisce un primo FOQ ideale per ogni misura, partendo per eccesso e riducendolo via via(dividendo il lotto per il moltiplicatore riportato in alto):

*FOQ = Consumo * Pro/ora VMI * divisore*

Lotto medio complessivo = (∑ Lotti CX) / n.misure

4) se il lotto medio rientra nei limiti % del magazzino elencati precedentemente il sistema prende i lotti per buoni e li stampa nella colonna di destra, altrimenti continua a riproporzionarli fino a trovare dei lotti ammissibili:

IF lotto medio complessivo< max. lotto medio =>FOQ accettati

ELSE FOQ rifiutati

Se il primo lotto medio complessivo sarà superiore al limite, il sistema passerà a calcolare quello accanto con un divisore via via più restrittivo, finchè non troverà una combinazione di FOQ e li stamperà nella casella in verde in fondo alla tabella di calcolo;

5) i lotti calcolati alla fine per ogni misura corrisponderanno ai FOQ teorici da riordinare per quelle misure ogni volta che verranno schedulate nella combinazione corrente.

7.4 MRP – Material Requirements Planning

L'MRP è una tecnica di pianificazione della produzione che calcola i fabbisogni netti dei materiali e programma gli ordini di produzione, anche tra due fasi adiacenti del processo, tenendo in conto le scorte disponibili, i tempi di processamento, la giacenza massima dello stock e la domanda del mercato.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		T0	ora 1	ora 2	ora 3	ora 4	ora 5	ora 6	ora 7	ora 8
3	Domanda A		fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca	fab. vulca
4	Pz/h schedulati A		SE(C5>0;C8;0)	########	########	########	########	########	########	########
5	Cumula pezzi A		B5+C8	########	########	########	########	########	########	########
6	Proiezione Stock A		SE(B6+C4-C3>0;B6+C4-C3;0)	########	########	########	########	########	########	########
7										
8	Prodduzione in VMI(pz/h)		xxx							

Figure 28 - MRP base

In figura 28 è possibile osservare un MRP standard impostato su Microsoft Excel. Rappresenta l'andamento degli ordini, della domanda e delle scorte di una sola misura durante un turno di lavoro per una qualsiasi VMI in confezione.

La "Domanda" di pezzi in VMI è pari al fabbisogno della fase seguente di vulcanizzazione.

Se la misura è in produzione, i pezzi/ora schedulati in VMI sono costanti e corrispondono alla produzione oraria della VMI, diversamente la voce è pari a zero e significherà che la misura in quel momento non è prodotta.

Il "cumula pezzi" somma progressivamente il numero di pezzi di A prodotti consecutivamente e, quando la macchina cambierà misura, l'ultima voce di quella riga corrisponderà all'ampiezza del lotto prodotto. La "proiezione a stock" somma tutti i pezzi che rimangono temporaneamente in magazzino, ed è uguale ai pezzi in ingresso più i pezzi già presenti meno i pezzi consumati.

L'ultima voce in giallo è la "produzione" in termini di pezzi/ora che si decide di sostenere in VMI. Perché non si abbiano code deve essere circa uguale al fabbisogno orario della fase successiva. Infatti per evitare sprechi l'output in confezione deve essere uguale all'input in vulcanizzazione.

Quindi, come mostrato nel capitolo precedente, si calcola la produzione oraria della VMI come somma dei fabbisogni orari degli stampi in linea:

$$Prod/ora\ VMI = Fab.\ Vulc.$$

Nel caso basilare in figura Figura 28 la domanda di pezzi dalla vulcanizzazione alla confezione è costante, in quanto gli stampi producono sempre la stessa misura, il cui CT di cottura è fisso. I pezzi/ora da produrre in VMI sono uguali al fabbisogno della misura A in vulcanizzazione, quindi:

$$Prod.A/ora\ VMI = Domanda\ A = Fab.A\ Vulc. = \sum(Fab.A\ Vulc\ n.)$$

Essendoci una sola misura in linea non si creeranno attese o code e la proiezione dello stock sarà sempre uguale a zero. Il cumula pezzi continuerà progressivamente a salire finchè non si cambierà misura. Si evince che una linea di produzione con misura singola potrebbe, a livello teorico, produrre in perpetuo senza generare code e senza necessità di un buffer in linea.

È però rarissimo trovarsi nella circostanza in cui in linea è schedulata un'unica tipologia di pneumatico, date l'alta diversificazione del brand Pirelli e la grande adattabilità del prodotto al partner automobilistico che determina centinaia di copertoni con caratteristiche diverse.

In tutti gli altri casi in vulcanizzazione si schedulano parallelamente 6 o 7 differenti misure di pneumatico, quindi la VMI di riferimento non può più produrre in perpetuo ma deve suddividere il suo tempo operativo nella schedulazione di più tipologie di ruota. È proprio in questo frangente che si calcola il FOQ di ogni misura, così da pianificare l'MRP della macchina e dire alla VMI dopo quanti pezzi dovrà fermare la produzione della misura A e passare a produrre la misura B e così via. L'allungamento del lotto fino al FOQ è consentito grazie all'utilizzo del magazzino che disaccoppia la fase antecedente da quella successiva, senza bisogno di produrre in rapporto 1 a 1(sarebbe impossibile fare un setup dopo ogni pezzo) ma permettendo di produrre in rapporto tot a tot. Il FOQ è limitato solo dal 'lead time' della consegna al cliente e dalla giacenza massima del magazzino, in Pirelli molto limitata, che si riflette sui vincoli % elencati a pagina 76 nel capitolo 7.2. Quindi se non si producono lotti più lunghi e su archi temporali maggiori è solo perché la ristrettezza del magazzino e l'attesa del cliente non lo permettono.

L'FOQ tiene conto del tempo macchina effettivo, dei tempi ciclo e degli stampi dedicati ad ogni misura per garantire la saturazione della vulcanizzazione e il maggior tempo operativo netto possibile in confezione.

Riproducendo l'MRP iniziale su larga scala si avrà il seguente formato Excel (Figura 29):

(esempio numerico non reale, finalizzato solo alla comprensione dei calcoli dell'MRP)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
9																				
10	Prodduzione in VMI(pz/h)		118																	
11	Periodo	T0	ora 1	ora 2	ora 3	ora 4	ora 5	ora 6	ora 7	ora 8	ora 9	ora 10	ora 11	ora 12	ora 13	ora 14	ora 15	ora 16	ora 17	ora 18
12	Domanda A		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
13	Domanda B		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
14	Domanda C		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15	Domanda D		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
16	Domanda E		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
17	Domanda F		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
18	Domanda G		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
19	Pz/h schedulati A		118	118	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	Pz/h schedulati B		0	0	0	118	118	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Pz/h schedulati C		0	0	0	0	0	0	118	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	Pz/h schedulati D		0	0	0	0	0	0	0	0	118	118	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Pz/h schedulati E		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	118	118	0	0	0	0	0
24	Pz/h schedulati F		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	118	118	0	0
25	Pz/h schedulati G		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	118
26	Cumula pezzi A		118	236	354															
27	Cumula pezzi B		0			118	236	354												
28	Cumula pezzi C		0						118	236										
29	Cumula pezzi D		0								118	236								
30	Cumula pezzi E		0										118	236	354					
31	Cumula pezzi F		0													118	236	354		
32	Cumula pezzi G		0																118	236
33	Proiezione Stock A		98	196	294	274	254	234	214	194	174	154	134	114	94	74	54	34	14	0
34	Proiezione Stock B		0	0	0	106	212	318	306	294	282	270	258	246	234	222	210	198	186	174
35	Proiezione Stock C		0	0	0	0	0	0	103	206	191	176	161	146	131	116	101	86	71	56
36	Proiezione Stock D		0	0	0	0	0	0	0	0	100	200	182	164	146	128	110	92	74	56
37	Proiezione Stock E		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	192	288	266	244	222	200	178
38	Proiezione Stock F		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	190	285	262	239
39	Proiezione Stock G		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	220
40	Total stock		98	196	294	380	466	552	623	694	747	800	831	862	893	901	909	917	917	923

Figure 29 - MRP completo

La "domanda" di ogni misura è costante e dipende dal numero di stampi che schedulano la misura e dal tempo ciclo della stessa in fase di cottura. Si calcolerà così:

$$Domanda\ misura\ N = \sum_{x=1}^{x=n.stampi} Fabbisogno\ misura\ N\ (stampo\ x)$$

Quindi la domanda di pezzi di tipo N in VMI è uguale alla somma dei fabbisogni della misura N per ogni stampo.

Il "cumula pezzi" cresce all'aumentare delle ore in cui la VMI produce l'item in questione e termina con il raggiungimento del FOQ, cioè del lotto fisso di riordino.

La "proiezione a stock" al tempo t sarà uguale allo stock al tempo t-1 sommato alla produzione al tempo t e al consumo in t, quindi:

Proiezione stock A (t) = proiezione stock A (t-1) + pz/h schedulati A (t) – domanda A (t)

L'ultima riga chiamata "Total Stock" si calcola come somma degli stock di tutte le misure per ottenere la giacenza in magazzino e controllare che non superi la ricettività massima.

Importante notare come in tabella ad ogni periodo sia associata la produzione di un'unica misura in VMI. Non è possibile produrre più misure insieme in quanto si possiede una sola VMI per linea e la schedulazione di una esclude la lavorazione dell'altra. Ogni ora c'è una misura che viene prodotta, in quantità pari alla produzione oraria impostata, incrementando lo stock, e le altre che vengono solo consumate, abbassando lo stock.

La produzione oraria della macchina sarà uguale alla somma dei fabbisogni degli stampi, così che alla fine del processo di produzione output in confezione ed input in vulcanizzazione siano uguali.

7.4.1 Rappresentazione grafica

Utilizzando un grafico ad area è possibile osservare il progressivo riempimento del magazzino.

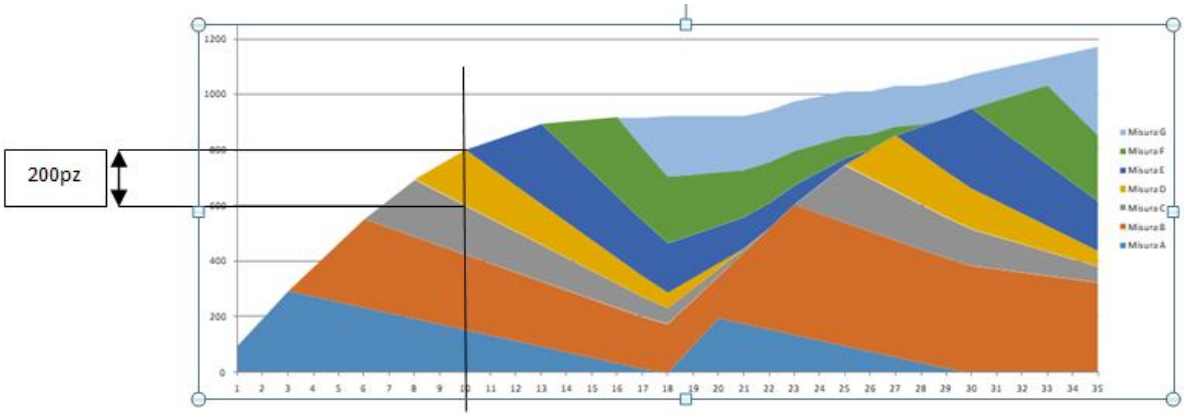

Figure 30 - Rappresentazione grafica

In Figura 30 sull'asse delle ascisse sono rappresentati i periodi in esame e sulle ordinate il numero di pezzi. Ogni colore corrisponde alle scorte di una misura diversa. Dando al grafico una lettura in verticale si può vedere in ogni istante quante scorte sono disponibili per ogni misura. Ad esempio al periodo 10 in magazzino sono presenti scorte delle misure A, B, C e D in valori pari al punto più alto meno il punto più basso di ogni area, tant'è che al t=10 la misura D ha così 200 pezzi a stock.

Invece con un grafico a linee(Figura 31) è possibile osservare l'andamento della produzione e del consumo di ogni misura in vulcanizzazione:

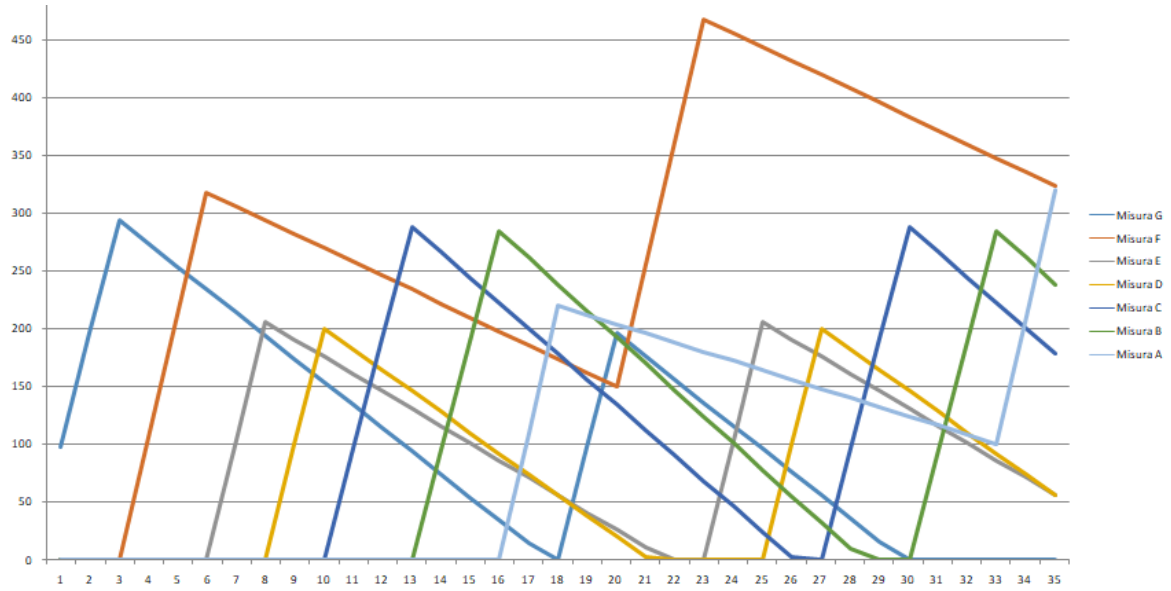

Figure 31 - Rappresentazione consumi

All'asse delle ascisse corrisponde sempre l'avanzamento delle ore del processo ed all'asse delle ordinate corrisponde l'aumento dei pezzi. I colori rappresentano ognuno un item diverso. Se la linea cresce vuol dire che si stanno producendo in VMI pneumatici di quella misura, al contrario se la linea scende vuol dire che i pezzi che erano a stock si stanno consumando, perché gli stampi li stanno progressivamente assorbendo. Bisogna evitare che una misura si stabilizzi sullo zero, perchè significherebbe che non sono più disponibili pezzi di quella tipologia in magazzino e che la VMI non ne può produrre in quel momento. Questo implicherebbe sprechi di tempo e costi extra in vulcanizzazione per mancanza materiali.

Quello in Figura 31 è un esempio grafico di produzione in lotti non costanti e non proporzionati da una misura all'altra. Per ridurre i tempi di mancanza materiale (crudi) si devono proporzionare le ampiezze dei lotti tra le misure affinché il lavoro della VMI sia equamente suddiviso secondo i fabbisogni di ogni misura. Nel caso mostrato questo non avviene. Un ulteriore problema è dato dalla continua variazione di ampiezza anche tra lotti dello stesso item che non seguono evidentemente uno standard.

7.5 Situazione di partenza

Partendo da un caso reale è possibile verificare la funzionalità del sistema a quantità fissa che si è scelto di utilizzare. Si può applicare la logica del sistema sul caso reale per ottimizzare la produzione la prossima volta che quella combinazione di misure verrà nuovamente schedulata in linea.

In Figura 32 si può osservare il consumo progressivo, in una linea tipo di una combinazione di 6 misure schedulate nell'arco di una settimana. Appare evidente come l'andamento di ogni misura sia altalenante e discontinuo, e come la disponibilità di alcune misure sia a zero per periodi molto lunghi, in quanto non si è riusciti a garantire la loro ripresa di produzione in VMI nel momento in cui il lotto precedente si è esaurito.

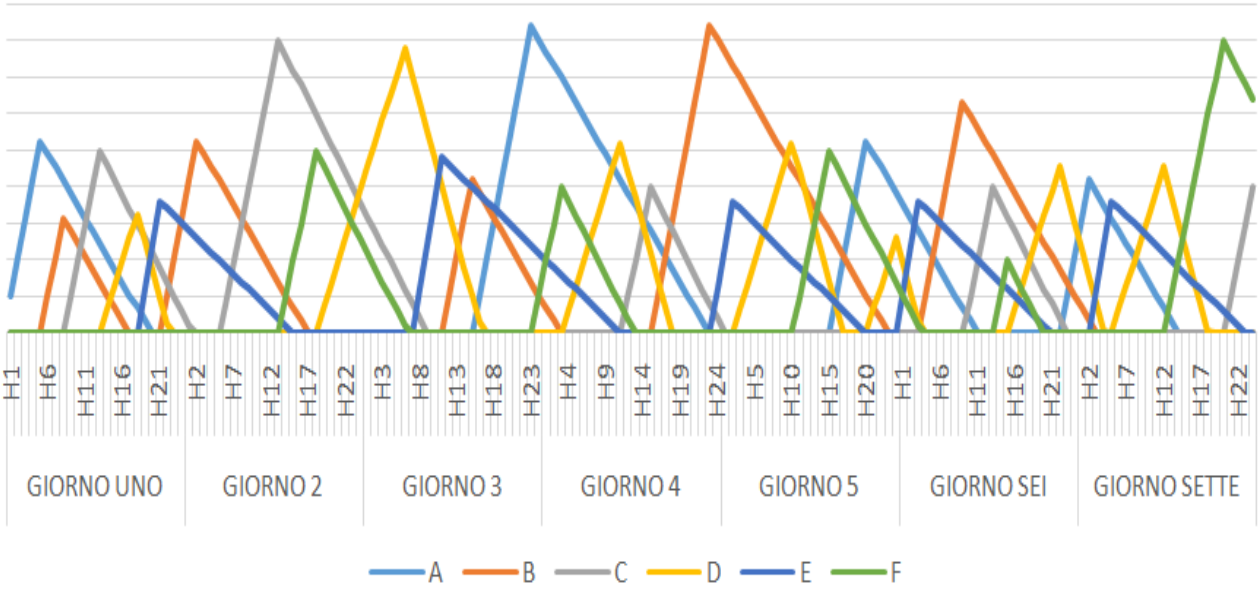

Figure 32 - Andamento iniziale consumi

La discontinuità è dovuta alla dimensione dei lotti, sempre diversi anche tra misure uguali, che vengono prodotti in confezione. In un dato istante si produce la misura che è richiesta con più urgenza ma la mancanza di dimensionamento dei lotti porta ad alte percentuali di mancanza materiale. Infatti la VMI può produrre un solo item alla volta, e mentre esso viene prodotto gli altri vengono cotti e quindi consumati, con conseguente riduzione delle scorte che se non vengono riordinate al più presto si stabilizzano sullo zero. Come si può vedere sull'asse delle ascisse, dove sono scandite le 168 ore che compongono una settimana, ci sono misure che rimangono a zero per decine di ore, con conseguente insoddisfazione del fabbisogno della vulcanizzazione e riadattamento della stessa. Di conseguenza la linea di produzione impiega più tempo di quanto potrebbe per soddisfare un ordine.

Una regolarizzazione delle quantità prodotte di volta in volta di certo agevolerebbe il processo, e quindi l'utilizzo del magazzino è importante per garantire delle scorte minime ed un buffer che aiuti a non rallentare la produzione. Nella situazione iniziale invece il magazzino è sfruttato solo in scarsa parte rispetto alla sua giacenza complessiva, come mostrato in Figura 33 mai oltre il 50%.

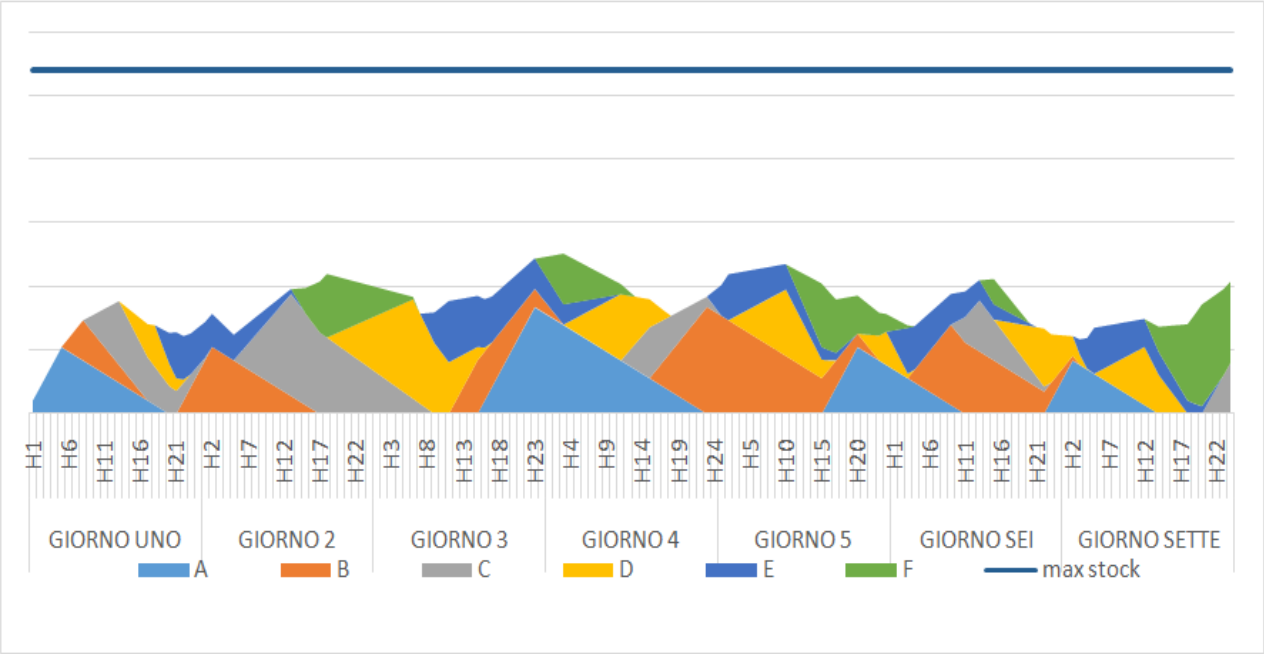

Figure 33 - Occupazione iniziale magazzino

Solo disaccoppiando le due fasi di produzione si può garantire una produzione continua in vulcanizzazione eliminando i fermi e la mancanza materiali, ed agevolare la confezione con la produzione di lotti meglio dimensionati.

Nel Diagramma di Gantt in Figura 34 si osserva la lottizzazione che da origine alla situazione del magazzino esposta in Figura 33, con 6 misure diverse lavorate contemporaneamente in VMI e poi stoccate in magazzino.

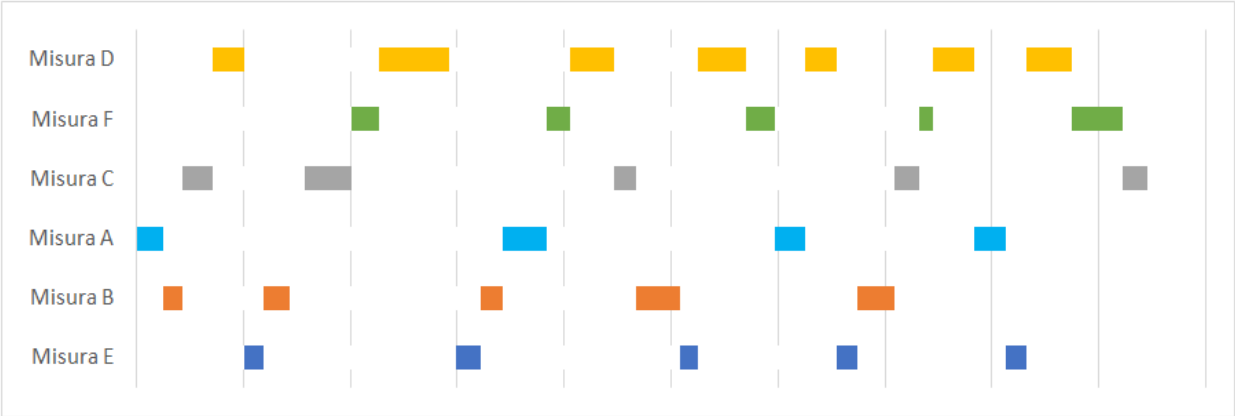

Figure 34 – Diagramma di Gantt iniziale

La discontinuità nella produzione e la mancanza di un lotto consigliato complicano la produzione al punto che anche tra lotti della stessa misura le dimensioni cambiano di volta in volta, e non è presente un criterio univoco che standardizzi i lotti.

Tutti i problemi inerenti a fermi macchina, mancanza materiale, rallentamenti, ritardi o assenza di scorte possono essere ricondotti a questo. Certamente la programmazione di questa parte della produzione può e deve essere ottimizzata.

7.6 Ottimizzazione e risoluzione dei problemi

Partendo dalla combinazione di misure presa in esame nel capitolo precedente è possibile applicare il sistema di risoluzione a quantità fisse ideato con questo progetto per regolarizzare la produzione.

Di seguito si può osservare la stessa situazione precedente rischedulata secondo gli FOQ calcolati con Excel. Con una standardizzazione dei lotti in VMI come esposto in Figura 35, si producono quantità costanti per ogni misura, e proporzionali ai lotti delle altre misure.

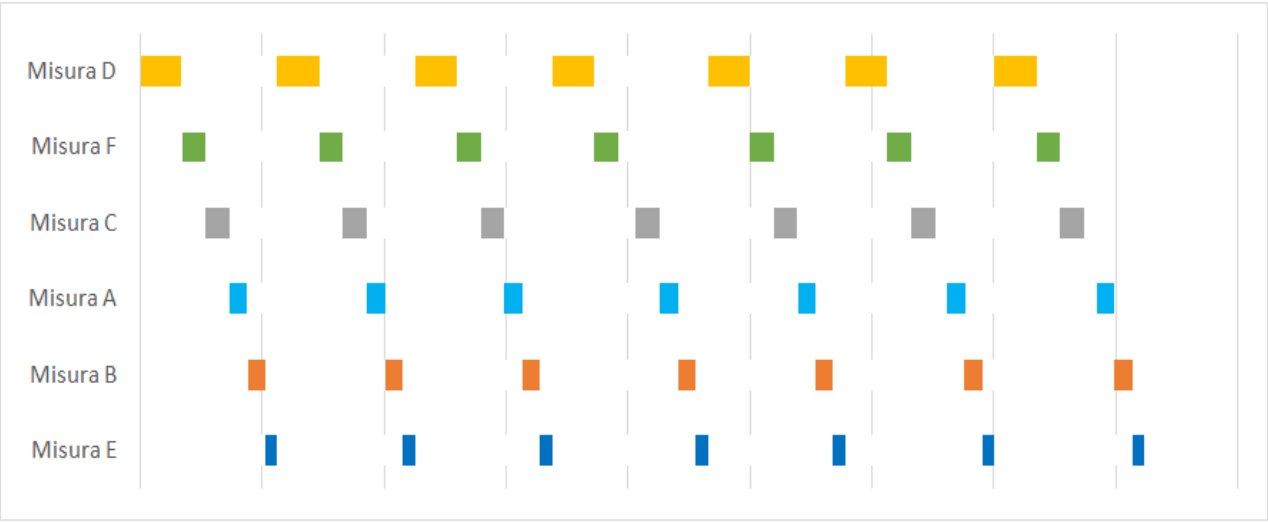

Figure 35 – Diagramma di Gantt ottimizzato

Questa modifica regolarizza l'assortimento dei pezzi da parte degli stampi ed elimina i fermi macchina dovuti alla mancanza di crudi. Nel grafico del progressivo dei consumi in Figura 36 si può osservare che a seguito della ripianificazione dell'MRP secondo i FOQ consigliati la produzione di ogni misura in VMI riprende non appena il suo stock si esaurisce, garantendo un ricambio frequente in magazzino, evitando scarti per scadenza del prodotto, e fornendo agli stampi i crudi tali da poter lavorare in continuo e senza creare code. Questo è possibile grazie ad un calcolo dei FOQ proporzionali tra loro, che dimensiona i lotti in rapporto all'assortimento orario degli

stampi, alla capacità del magazzino ed al tempo di lavoro effettivo della macchina. Ciò significa che se i lotti di una misura sono più lunghi di altre misure è perché la misura in questione è più richiesta in vulcanizzazione(ha CT minore e/o più stampi associati) e quindi la VMI dovrà dedicare più tempo alla produzione di quell'item rispetto ad altri. Questo si intende per suddivisione proporzionale del lavoro della macchina in base alle necessità.

In Figura 36 si può osservare il nuovo andamento della produzione e del consumo delle misure a seguito dell'applicazione di un MRP con dimensionamento dei lotti al FOQ consigliato. In quest'esempio il processo assume regolarità perché i lotti vengono prodotti in lunghezze proporzionali tra loro e ogni misura viene riordinata nel momento in cui si sta esaurendo, così da non togliere il lavoro agli stampi.

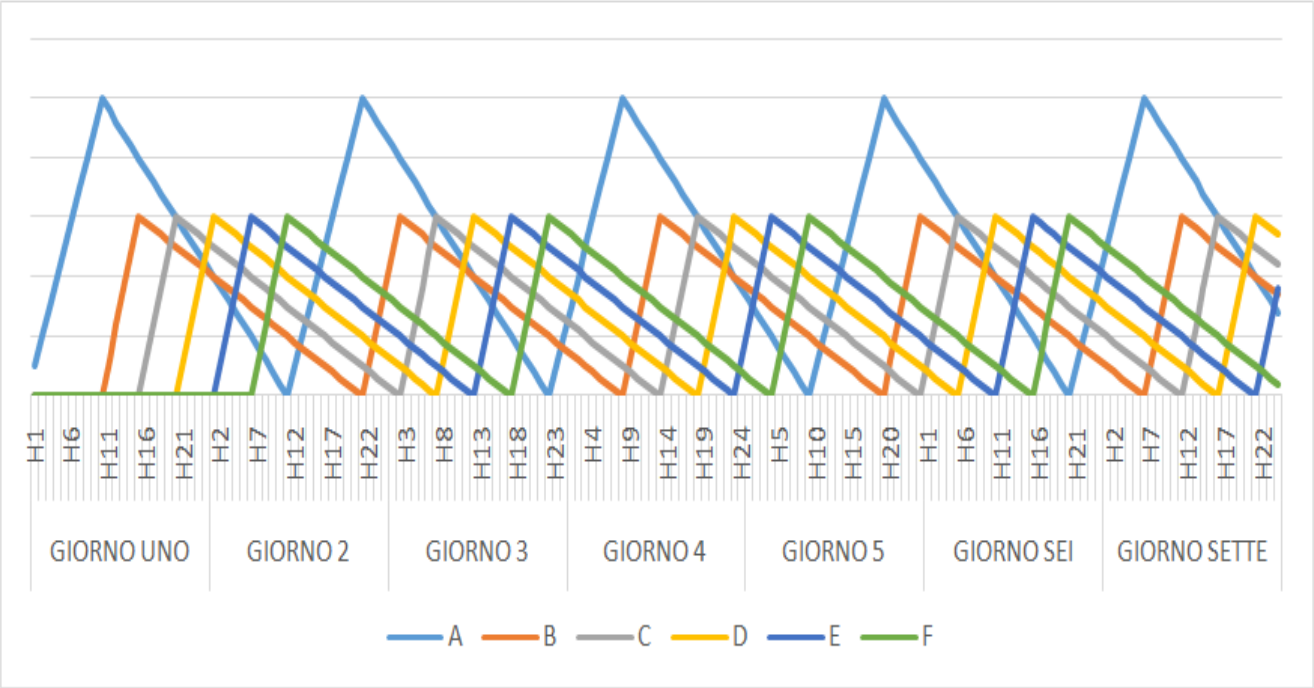

Figure 36 - Consumi regolarizzati

Non è un caso che adesso, come mostrato in Figura 37, il magazzino sia utilizzato quasi al pieno delle sue possibilità: si è riusciti a trovare un dimensionamento adatto dei lotti che ha permesso di avere tutte le misure a stock durante la settimana, garantendo il mix di produzione ma senza eccedere il limite di ricettività massima consentita.

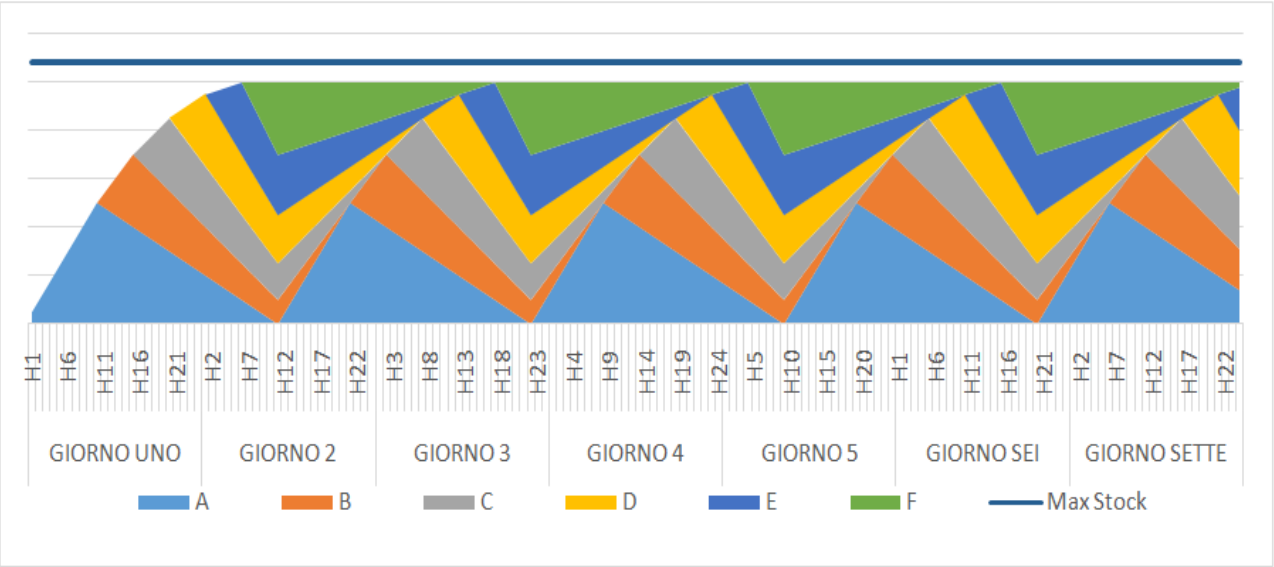

Figure 37 - Magazzino ottimizzato

Ora il magazzino assolve realmente al ruolo di buffer nel processo, permettendo alla VMI di produrre lotti mediamente superiori a prima e agli stampi di lavorare in maniera continuata. Senza questo intermezzo non sarebbe possibile per la VMI produrre in lotti o non sarebbe possibile garantire a tutti gli stampi i crudi voluti in ogni momento.

È evidente come una standardizzazione dell' ampiezza dei lotti proporzionale tra loro, che tenga conto del tempo in cui ogni misura viene assortita dai suoi stampi, possa regolarizzare ed allo stesso tempo aumentare la produzione sfruttando al meglio ogni risorsa.

CAPITOLO 8 – OTTIMIZZAZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO E RISULTATI

Sulla base del modello esposto, riapplicato a situazioni pregresse che sono state riprodotte in linea con il nuovo piano MRP ed i FOQ calcolati per ogni item, sono state riscontrate le seguenti ottimizzazioni del processo:

- ampliamento della dimensione dei lotti in VMI pari al 21%
- aumento della produzione del 29% in VMI
- riduzione cambi misura in confezione del 17% in proporzione alla produzione
- aumento dello sfruttamento del magazzino mediamente del 35%

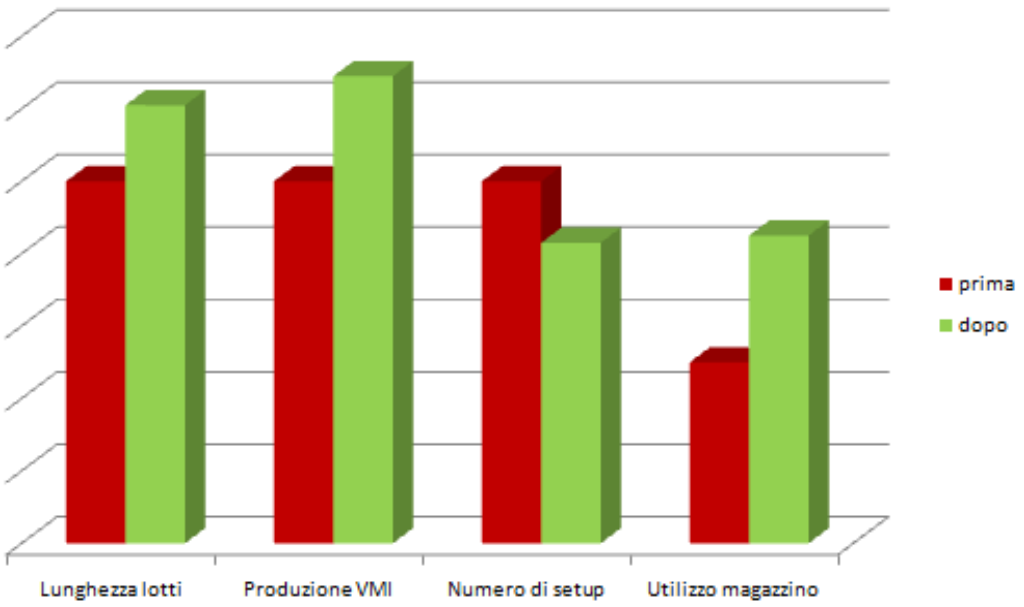

Figure 38 - Risultati

L'allungamento dei lotti ha ridotto gli sprechi in termini di tempo, grazie all'adozione del nuovo MRP introdotto nel progetto. Questo ha prodotto un aumento della produzione in VMI nelle combinazioni schedulate di circa il 29% di pezzi in più, nello stesso arco temporale dei casi di partenza. L'incremento è favorito anche da una considerevole riduzione dei setup e dal miglior assortimento dei pezzi da parte degli stampi, che attingendo dal magazzino hanno sempre a disposizione i crudi della misura per la quale sono stati impostati. Lo sfruttamento del 35% in più

del magazzino permette infatti di immagazzinare scorte di ogni misura non lasciando mai lo stampo in attesa, e contravvenendo di fatto all'aumento medio delle ampiezze dei lotti in confezione. L'allungamento dei lotti si attesta intorno al 21% rispetto alla situazione di partenza e questo comporta logicamente una riduzione dei setup che, in proporzione a quanto prodotto, si riducono del 17% rispetto all'inizio.

La tabella FMEA in Figura 39 mostra il miglioramento avuto dopo aver intrapreso le azioni correttive elencate. In rosso sono evidenziati gli RPN iniziali ed in verde i corrispondenti valori a seguito delle azioni correttive intraprese.

FMEA															
Step del processo	Potential Failure Mode	Potenziale falla nel sistema	G	Possibili cause	P	Current Controls	R	RPN	Azione Raccomandata	Responsabile	Actions Taken	G	P	R	RPN
Fase di Confezione - Zona Car Nord	Sovraproduzione o sottoproduzione di crudi nelle VMI	Scarti in magazzino	8	Superamento giacenza o stagionatura massima	6	Controllo visivo	2	96	Dimensionamento dei lotti tramite nuovo modello	Produzione	Equiparazione dell'output in VMI con l'input in vulcaniz.	4	2	2	16
		Fermi macchina in vulcanizzazione	10	Mancanza materiale	7	Controllo visivo	3	210	Adozione nuovo modello per aumento lunghezza media dei lotti	Produzione	Rilottizzazione della lunghezza dei lotti	4	2	2	16
		Ritardi nella consegna al cliente	10	Allungamento dei tempi di produzione in VMI	4	Analisi dati	9	360	Revisione delle priorità	Pianificazione	Ottimiz. buffer per riduzione sprechi di tempo	4	2	4	32
	Errato dimensionamento dei lotti	Aumento del numero di set-up in VMI	6	Sottodimensionamento dei lotti	8	Verifica in vulcanizzazione	8	384	Adozione nuovo modello per aumento lunghezza media dei lotti	Produzione	Allungamento dei lotti per ridurre i setup in proporz. ai pezzi	3	1	4	12
		Spreco di risorse(semilavorati ed operatori)	8	Scarto di pezzi superflui	7	Man Machine Charts	7	392	Saturazione tempi uomo-macchina	Supply Chain	Calcolo fabb. stampi per stimare prod.VMI	3	3	4	36
		Cambi improvisi nella pianificazione	7	Pianificazione imprecisa	9	Analisi dati	9	567	Ripianificazione ordini secondo nuovo modello	Pianificazione	Standardizzazione dei lotti della stessa misura	7	1	6	42

Figure 39 - FMEA Finale

I valori dell'RPN indicano la priorità associata alla correzione dei problemi elencati. Prima dell'applicazione della nuova pianificazione gli indici erano molto elevati, tanto da richiedere una attenta analisi volta a limitare la probabilità di incorrervi. La volatilità delle dimensioni dei lotti e lo scarso utilizzo del magazzino creavano rischi di vario genere: ritardi, fermi macchina, setup inutili etc.

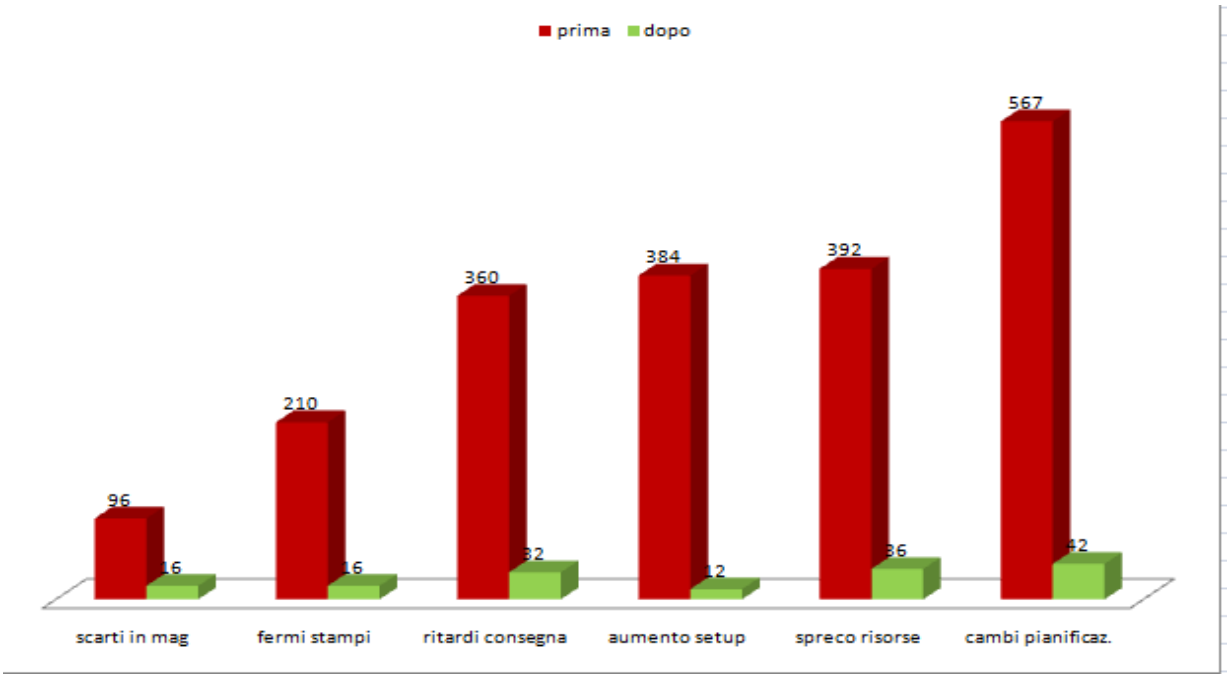

Figure 40 - Miglioramenti RPN

Come si evince in Figura 40, con il nuovo MRP basato sul utilizzo dei FOQ gli RPN si sono molto ridotti. La standardizzazione dei lotti in VMI ha regolarizzato la produzione e ridotto notevolmente la probabilità di incorrere nel problema. L'indice di gravosità è diminuito grazie alla maggior capacità del nuovo sistema di rispondere alle richieste della produzione in maniera più tempestiva ed efficace. Anche l'indice di rilevabilità migliora grazie alla definizione di target precisi che aiutano a capire quanto produrre ed in che modo, a che ampiezza stabilizzare i lotti e quando riordinarli. Questo rende più facile il rilevamento di errori o imprecisioni che potrebbero allontanare la produzione dagli standard stabiliti. In precedenza invece l'assenza di un target rendeva più difficile capire che qualcosa non andava. La definizione di paletti intorno ai quali mantenersi facilita il controllo e l'accompagnamento del processo.

8.1 Diminuzione dei fermi ed incremento dell'OEE

Il principale fattore su cui il nuovo MRP va ad incidere è la minimizzazione della mancanza materiali. La pianificazione di una nuova schedulazione migliora l'assortimento della vulcanizzazione ed elimina le mancanze di crudi di una o dell'altra misura che bloccherebbero la produzione degli stampi. Si va così a ridurre nel calcolo dell'OEE la voce inerente improduttività per non disponibilità (H) e ad aumentare il tempo programmato per la produzione (G), incrementando di fatto l'efficienza della macchina.

Perdita OEE per misura	Prima	Dopo
A	28,9%	3,6%
B	10,2%	3,7%
C	4,6%	0,0%
D	3,4%	0,0%
E	0,4%	0,0%
F	7,8%	0,0%
Media per misura	9,2%	1,2%

Figure 41 - Miglioramento OEE

Come osservabile in Figura 41, convertendo la mancanza materiali sugli stampi in mancanza per misura si può estrapolare il valore medio di mancanza materiale, che ammontava all'inizio al 9,2% per item.

In seguito all'applicazione del nuovo piano di riordino si ha una riduzione della mancanza materiali/misura dell'8%. Questa diminuzione riduce i fermi macchina degli stampi ed incide positivamente sull'efficienza delle macchine e dell'intero processo, aumentando di conseguenza l'OEE di confezione e vulcanizzazione.

Data la complessità e la perdita di tempo per il setup di uno stampo in vulcanizzazione(superiore allo stesso tempo di cottura) diminuire la mancanza materiali significa garantire il fabbisogno della vulcanizzazione, e quindi evitare setup non previsti limitando i costi di attrezzaggio che diversamente si avrebbero.

8.2 Standardizzazione di regole comportamentali

L'applicazione di questo modello permette anche di definire delle regole generali per rispondere prontamente a situazioni di criticità nel processo, o per ovviare a quelli che possono essere i problemi più frequenti.

1) Con mancanza materiali in VMI, saltare il lotto.

In situazioni in cui in confezione si ha una mancanza materiali di semilavorati è possibile passare alla misura successiva e recuperare il lotto perso alla fine della sequenza. I modelli a quantità fissa infatti non impongono un istante di riordino fisso, bensì una quantità di riordino sempre costante. È importante quindi che il lotto di una misura commissionato in VMI sia sempre della stessa grandezza rispetto alla volta precedente, e che rispetti l'FOQ stabilito.

In una sequenza di produzione di misure A-B-C-D non è importante l'ordine con cui vengono schedulate sulla macchina, ma la proporzionalità dei lotti delle misure tra loro. Se non è possibile produrre la misura A al tempo t, si può passare a quella successiva definendo l'ordine B-C-D-A e ripianificando quindi la produzione di A in coda al processo.

Se invece si producesse comunque la misura A in confezione ma con un lotto minore a causa dell'insufficienza di semilavorati, in un secondo tempo si darebbe vita ad una mancanza di crudi in vulcanizzazione con conseguente fermo di uno o più stampi, dovuto alla ristrettezza del lotto che in magazzino si esaurirebbe prima di essere riordinato, con perdita di tempo e di OEE in vulcanizzazione.

2) L'ordine di schedulazione delle misure non è vincolante.

Non importa in che ordine venga schedulata una combinazione di items in linea, l'importante è che una volta scelta la sequenza si ripeta sempre nel medesimo ordine, così da garantire il riordino di ogni lotto nel momento in cui si sta esaurendo. Come anticipato, in caso di mancanza materiali il lotto perso può comunque essere recuperato a fine sequenza senza incorrere in overflow in magazzino, ma considerando che si avranno in vulcanizzazione delle perdite per piccole fermate.

3) Meglio produrre lotti più corti che più lunghi.

In casi eccezionali in cui non ci sono alternative, in generale è meglio produrre lotti più corti piuttosto che lotti che eccedono il FOQ. Nel primo caso i pezzi mancanti potranno essere recuperati a fine sequenza, seppur con perdita di tempo non calcolata, ma nel secondo caso un superamento del FOQ farebbe produrre alla macchina pezzi che nella realtà dei fatti non sono richiesti dalle

specifiche di produzione, rischiando di generare scarti per superamento della stagionatura massima o per inutilità.

4) L'eliminazione dei setup in vulcanizzazione è prioritaria rispetto alla riduzione in confezione. La visione Lean alla guida della produzione non è casuale, il mantenimento dei lotti in confezione al di sotto di piccole soglie è necessario, oltre che per evitare sprechi, anche per garantire il mix di produzione. Lotti corti implicano un aumento di setup della VMI, ma comportano una stabilizzazione dei macchinari in vulcanizzazione perché si riesce così a garantire ad ogni stampo il fabbisogno di pezzi della corrispondente misura, evitando di incorrere in setup forzati da fermi per mancanza materiali. Come detto più volte, i setup degli stampi sono più critici che nelle VMI, anche per questo la produzione della confezione deve essere pianificata sulla base delle necessità della vulcanizzazione.

5) Meglio piccole fermate in confezione che in vulcanizzazione.
La vulcanizzazione rappresenta il collo di bottiglia del processo, per cui è la fase in cui si ha la maggior probabilità di creare code. In casi in cui imprevisti di produzione lo impongano, è più opportuno generare piccole fermate sulla VMI piuttosto che sugli stampi. La produzione oraria della VMI può essere incrementata, circostanze permettendo, al contrario della produzione in vulcanizzazione, che già di per sé è lo step più lento di questa parte di processo. Infatti i CT delle misure in cottura sono molto elevati e non permettono di accelerare ulteriormente. Fermate in vulcanizzazione creerebbero ritardi più difficili da recuperare che in confezione.

6) Riempimento magazzino.
In ottica di Lean Manufacturing l'eccessivo accumulo di scorte è uno dei principali rischi di spreco. Pirelli ha strategicamente impostato la seconda parte del suo processo su un modello Pull improntato alla minimizzazione delle scorte. Inoltre il tempo di stagionatura dei crudi o dei semilavorati è limitato, per cui non può essere adottato un modello 'Make to Stock'. Durante la schedulazione di una combinazione di misure in linea, nell'intervallo tra confezione e vulcanizzazione, il magazzino aiuta a disaccoppiare le fasi per rendere la seconda meno dipendente dalla prima e ridurre i fermi macchina. In questo frangente un magazzino tenuto ad alti livelli di stock, seppur per un tempo limitato, garantisce il proseguo del processo senza intoppi in vulcanizzazione e garantisce il mix produttivo richiesto dalla linea.

Durante la schedulazione di una combinazione di misure è quindi opportuno sfruttare tutto lo spazio disponibile in magazzino, per assicurare un margine di indipendenza degli stampi dalla VMI ed evitare fermate in vulcanizzazione.

8.3 Analisi di Pareto degli items

Come accennato nel Capitolo 3, uno strumento utile a catalogare i prodotti in base alle loro caratteristiche è l'Analisi di Pareto, anche detta Analisi ABC.

Al fine di individuare quali siano gli articoli di cui puntare a ridimensionare i lotti, e quali invece quelli di cui incrementare l'ampiezza, può risultare utile effettuare un'Analisi ABC per confrontare la produzione passata di ogni item, con quella avuta a seguito dell'applicazione del progetto.

Avendo già calcolato il lotto medio con cui ogni misura veniva prodotta inizialmente in linea, e paragonandolo con il lotto medio ottenuto a seguito dell'applicazione del nuovo modello, si può osservare quanti siano gli items che hanno subito un ampliamento del lotto medio e quanti siano stati invece quelli ridimensionati.

Possiamo definire come prodotti di Classe A quegli articoli che nella fase di confezione sono stati soggetti al ridimensionamento, e che sono artefici del maggior risparmio da un punto di vista produttivo, come items di Classe C tutti quelli che hanno subito un incremento dell'ampiezza dei lotti aumentando la produzione e la saturazione del magazzino, e come items di Classe B quelli i cui lotti sono rimasti pressochè invariati.

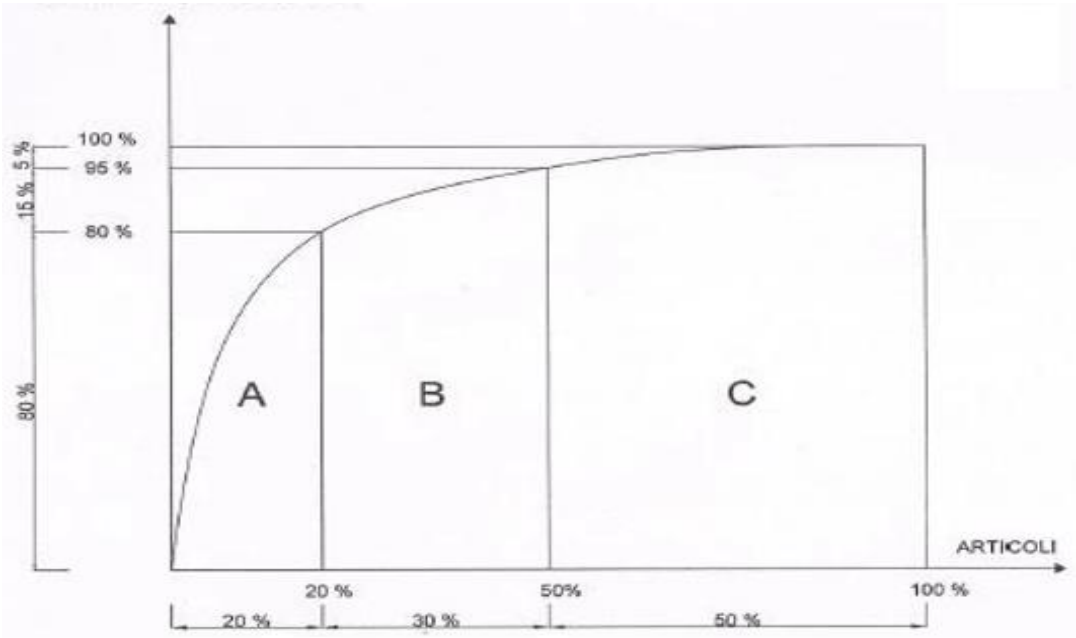

Figure 42 - Analisi ABC

La suddivisione fatta si riassume con la descrizione del grafico in Figura 42. Nella situazione attuale circa il 20% degli articoli ha subito un ridimensionamento del lotto medio rispetto alla situazione di partenza, e lo si può identificare negli items di Classe A. Il 30% degli items non subisce grandi variazioni nell'ampiezza dei lotti, andando a costituire la Classe B. Mentre la metà degli items, crica il 50%, che hanno subito un aumento dell'ampiezza dei lotti sono catalogati come Classe C.

Seppur in numero molto inferiore a quelli di Classe C, i Classe A danno comunque un ritorno di circa l'80% del risparmio complessivo, in termini di eliminazione degli sprechi, rispetto delle tempistiche di produzione e gestione idonea del magazzino e del lavoro delle macchine. Gli elementi di Classe C ammontano al 50% del totale, ma producono un risparmio effettivo minore in quanto vanno ad incidere con forza solo sulla riduzione della mancanza materiali.

8.4 Ampiezza dei lotti su mole produttiva: dimostrazione di Lean Production

Il modello MRP studiato emette gli ordini di ogni misura in maniera proporzionale alle altre. Rispetto ai casi di partenza, in generale, l'ampiezza dei lotti delle misure meno richieste viene ridotta a fronte di un ingrandimento dei lotti delle misure più richieste, proporzionando così la domanda delle prime alla domanda delle seconde.

Il primo fattore che salta all'occhio confrontando i diagrammi di Gantt della produzione passata e poi ottimizzata(Figura 43) della medesima combinazione di misure è la continua variazione nel dimensionamento dei lotti, anche tra lotti della stessa misura.

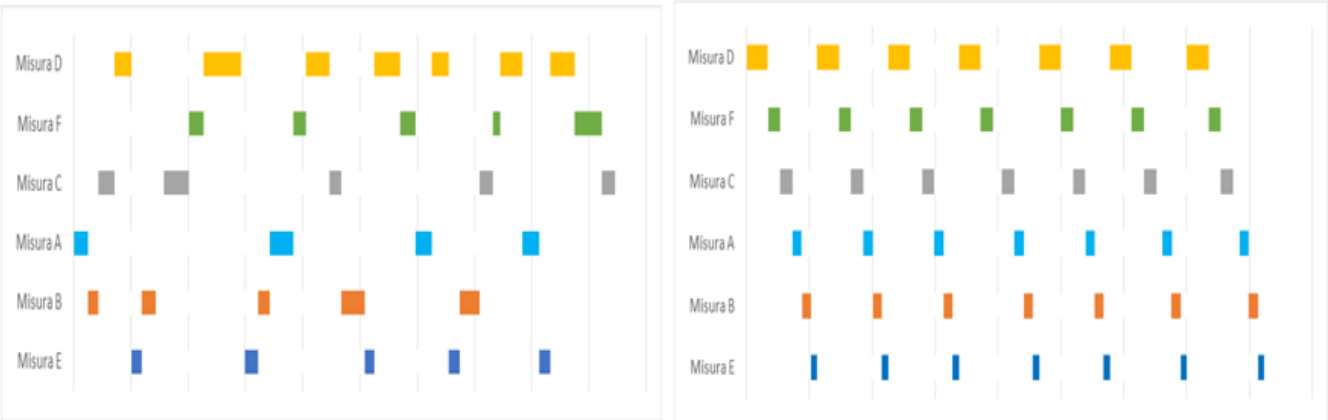

Figure 43 – Confronto Diagrammi di Gantt

Importante precisare che in questi due diagrammi complementari l'intervallo di tempo rappresentato è lo stesso(una settimana) e la situazione presa in esame è lineare da entrambe le

parti, non ci sono fattori esterni che influenzano un ritardo della produzione nel primo caso o un incentivo della stessa nel secondo. Nonostante ciò grazie ad uno sfruttamento ottimale degli stampi in vulcanizzazione la VMI ha potuto produrre più lotti nello stesso frangente temporale aumentando l'output del processo ma riducendo comunque il rapporto setup/pezzi prodotti.

Seppur mediamente ci sia un ampliamento del lotto medio complessivo, ci sono molti lotti che precedentemente venivano sopraprodotti ed ora sono stati ridimensionati, come mostrato in precedenza nell'Analisi ABC in Figura 42.

Questo avviene principalmente per i lotti delle misure di cui si ha minore domanda in cottura, che adesso vengono emessi nelle giuste quantità, eliminando gli sprechi. Inoltre l'ampliamento di molti dei lotti è proporzionale all'aumento della produzione, per cui paragonando l'ampiezza del lotto medio in rapporto alla produzione tra il prima e il dopo si ha un decremento % della grandezza del lotto rispetto alla produzione totale.

In parole povere, inizialmente l'ampiezza del lotto medio complessivo si attestava intorno al 3,5% della produzione della linea, mentre ora il lotto, seppur ingrandito, risulta essere circa il 2,4% della produzione, anche'essa incrementata, nel medesimo arco temporale.

Ricollegandosi ai risultati esposti nel Capitolo 8 a pagina 90, è possibile sintetizzare quanto detto nelle ultime righe con la seguente tabella in Figura 44:

(valori medi)	SITUAZIONE INIZIALE	SITUAZIONE FINALE
Ampiezza loto medio	Z	121% Z
Produzione linea	M	129% M
Rapporto ampiezza lotto/produzione	3,5%	2,4%

Figure 44 - Ampiezza lotto

Seppur si sia registrato un incremento dell'ampiezza dei lotti di oltre il 20%, si è anche registrato un aumento della produzione di quasi il 30% rispetto a prima, per cui i nuovi lotti sono anche in media più grandi dei precedenti, ma sono rapportati ad una mole produttiva quasi 1/3 più ampia.

Quindi, nonostante oltre il 50% dei lotti ha subito un ampliamento rispetto alla situazione iniziale, le rispettive ampiezze in rapporto alla nuova produzione totale hanno subito un decremento, confermando di fatto la corretta applicazione della Filosofia Lean.

I nuovi lotti sono risultati infatti ingranditi in valore assoluto ma ridotti in proporzione alla produzione complessiva. Si è potuto quindi incrementare sia la produzione sia l'ampiezza dei lotti, pur seguendo una logica di Lean Manufacturing che nella realtà ha davvero eliminato gli sprechi ed implementato allo stesso tempo la produzione.

CONCLUSIONE

L'attuazione di questo progetto dimostra come le basi teoriche e le azioni pratiche siano aspetti che in un'azienda devono avanzare di pari passo. Se da un lato l'individuazione di tecniche e di modelli segna la strada attraverso cui dirigersi al traguardo, dall'altro lato la praticità delle azioni e le prove svolte in reparto mostrano quali siano i risultati che partendo dalla teoria di base portano ad un reale risultato.

Studiare il processo da un punto di vista teorico serve ad individuare le imperfezioni che si possono ottimizzare, mentre l'approccio pragmatico al processo mostra quali sono le azioni correttive ottimali tra quelle proposte e quali siano i risultati che si possono davvero ottenere.

Quello che un buon ingegnere deve saper fare è adattare le conoscenze teoriche alla situazione in cui si ritrova, sempre soggettiva e con criticità diverse di volta in volta, di reparto in reparto, di azienda in azienda.

La Lean Production consiglia una serie di strumenti e di strategie utilizzabili per ridurre gli sprechi in azienda. Concetto di fondo della Lean, applicato a pieno in questo progetto, è la standardizzazione del processo di produzione. La definizione di un target dimensionale opportuno ha permesso di individuare le situazioni di spreco dovuto a sopradimensionamento dei lotti e le situazioni di mancanza materiale, con successivi costi e perdite, dovute al sottodimensionamento.

Seppur in linea di massima la filosofia Lean consigli di minimizzare l'ampiezza dei lotti per non incorrere in sprechi, alle volte il sottodimensionamento origina sprechi dovuti all'insaturazione delle macchine o degli operatori, o ai costi derivanti da eccessivi setup, cambi misura e ritardi nelle tempistiche di produzione. Così un aumento dei costi di attrezzaggio può di fatto concretizzarsi in uno spreco ancor più grande.

Il processo Pirelli è un classico esempio di quanto appena detto. Non è possibile produrre lotti di dimensioni troppo piccole in confezione perché non si riuscirebbe a garantire il fabbisogno della fase di vulcanizzazione ed il mix di misure voluto, causando cospicui danni in termini di costi di attrezzaggio(aggiuntivi setup degli stampi per cambio misura anticipato). Allo stesso tempo non si possono produrre lotti troppo grandi per non incorrere in sprechi. Da un lato si ha un vincolo imposto dalle caratteristiche della linea, dall'altro un vincolo imposto dalla visione aziendale dell'eliminazione delle eccedenze.

È qui che si deve avere la capacità di adattare la teoria alla pratica, individuando come obiettivo il calcolo di un target che tenga conto di queste limitazioni.

Con l'utilizzo degli strumenti di Lean Production e del metodo PDCA, con il calcolo mediante strumenti ingegneristici di un risultato idoneo, e la diffusione del risultato mediante tecniche di standardizzazione volte a stabilizzare il nuovo metodo nel processo, si può convogliare il teorico con il pratico, con ottimi risultati.

Come visto nell'elaborato, la standardizzazione non è un'azione isolata ma la definizione delle procedure interne che deriva da un processo di ottimizzazione, in cui le tecniche utilizzate vengono adattate ai bisogni aziendali di un dato momento. A seguito di ogni miglioramento è sempre necessaria una standardizzazione dell'azione intrapresa per rendere quel miglioramento definitivo.

La Lean Manufacturing non è solo separazione dell'utile dall'inutile, ma è prima ancora un modello di pensiero che segue una concezione Kaizen di ottimizzazione e miglioramento continuo indirizzati al conseguimento della perfezione.

GLOSSARIO

Capitolo 1:

- GEMBA = Reparto
- MUDA = Spreco
- Kanban = Segnale
- JIT = Just in Time = Appena in Tempo
- IOT = Internet of Things
- VSM = Value Stream Mapping
- Ciclo PDCA = plan – do – check – act
- Kaizen Week = settimana di miglioramento
- KPI = Key Point Indicators
- SOP = Standard Operating Procedure = procedura di standardizzazione aziendale
- OPL = One Point Lesson
- OPF = One Peace Flow = un pezzo alla volta
- WIP = work in process
- Hijunka = Livellamento
- Jidoka = Automazione
- Quality Loss Function = funzione di perdità della qualità
- TPM = Total Productive Maintenance = Manutenzione totalmente produttiva
- OEE = Overall Equipment Effectiveness = Efficienza

Glossario relativo al calcolo OEE:

D = tempo disponibile per produzione
H = improduttività per non disponibilità
M = pezzi scartati
R = pezzi idonei
U = resa pratica
W = efficacia prestazioni
Z = utilizzo

G = tempo programmato per produzione
I = tempo di funzionamento
Q = tempo operativo netto
S = capacità
V = disponibilità
X = tasso qualità

Capitoli 2, 3 e 4:

- R&D = Research and Development = ricerca e sviluppo
- PNCS = Pirelli Noise Cancelling System
- MIRS = Modular Integrated Robotized System
- MRP = Material Requirement Planning = piano di approvvigionamento dei materiali
- PUR = punto di riordino
- FOQ = Fixed Order Quantity = quantità fissa di riordino
- LEA = lotto economico d'acquisto
- Lead Time = Tempo di consegna

Capitolo 5:

- VMI = confezionatrice
- MMC = Man-Machine Chart = grafico uomo-macchina
- Crudi = pneumatici assemblati ma ancora non vulcanizzati
- Cotti = pneumatici ormai vulcanizzati
- CT = Cycle Time = tempo di ciclo
- Stampo = parte del vulcanizzatore che cuoce un crudo
- LIFO = Last in First out
- FIFO = First in First out
- I_S = indice di selettività
- C_V = coefficiente di stoccaggio
- I_R = indice di rotazione delle merci
- U = unità di transito
- G = giacenza media
- V = volume

Capitoli 6, 7 e 8:

- Misura o Item = tipologia di pneumatico
- A, B, C, D...N = lettere alfabetiche assunte per indicare un qualsiasi item
- CT Stampo = tempo di ciclo dello stampo
- CT VMI = tempo di ciclo della VMI
- CT_x = tempo di ciclo medio di cottura di tutti gli item in vulcanizzazione
- Lotto Medio = media dei lotti di uno stesso item in VMI
- Lotto Medio Complessivo = media dei lotti di tutti gli items in VMI
- RPN = Risk Priority Number = numero di priorità del rischio
- G = indice di gravità di un problema
- P = indice di probabilità di un problema
- R = indice di rilevabilità di un problema
- FMEA = Failure Modes and Effect Analysis = analisi di effetti e modi di cedimento
- SS = Scorte di Sicurezza
- Overflow = eccedenza delle scorte in magazzino
- Collo di Bottiglia = fase più lenta del processo
- Setup = intervento di cambio misura su una macchina
- Sotck = scorta

BIBLIOGRAFIA

[1] Richard J.Schonberger, "*World Class Manufacturing, the lessons of simplicity applied*", pag.1-35

[2] Alberto Viola, "*A GEMBA! Guida operativa per la produzione snella*", 2012, pag. 11 - 157

[3] Politecnico di Torino, "*Impianti Industriali e Gestione delle Scorte*", 2005 http://corsiadistanza.polito.it/on-line/imp_industriali/pdf/U3_2.pdf

[4] Klaus Schwab, "*The Fourth Industrial Revolution*", 2016, pag. 7 – 105

[5] JF Krafcik, "*Triumph of the Lean Production System*", pag. 41 – 52

[6] SM Dahlgaard-Park, J Pettersen - The TQM journal, 2009. "*Defining Lean Production: Some conceptual and practical issues*"

[7] M. Holweg - Journal of operations management, 2007. **"***The genealogy of lean production*", pag. 20 - 37

[8] C. Karlsson, P Åhlström , Journal of Operations & **Production**, 1996. '*Assessing changes towards lean production*', pag. 24 - 41

[9] L. Koskela - Lean construction, 1997. **"***Lean Production in Costruction*", pag. 1 - 8

[10] SML Coalition - Workshop summary report, 2011. "*Implementing 21st century smart manufacturing*"

[11] A Kusiak - International Journal of Production Research, 2018. "*Data-driven smart manufacturing*", pag. 1-11

[12] J Wang, Y Ma, L Zhang, RX Gao, D Wu - Journal of Manufacturing Systems, 2018. "*Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications*", pag. 144 - 154

[13]Y Sugimori, K Kusunoki, F Cho& S. Uchikawa – Journal of Production, 1977. "*Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-forhuman system*", pag. 1 -13

[14]Yasuhiro Monden, "*Toyota Production System, an integrated approach to just in time*", pag.5-19

[15]C.D. Chapman - Quality progress, 2005. "*Clena House with lean 5S*"

[16] https://www.herbert.eu/en/produkte/reifenheizpressen/

[17] http://intereuropean.it/tyre-building-machines.html

[18] "*10 Real Life Examples of Internet of Things*", https://circuitdigest.com/ten-examples-of-internet-of-things-iot

[19] "*The Nine Pillars of Industry 4.0*", https://circuitdigest.com/article/what-is-industry-4-and-its-nine-technology-pillars

[20] Easypoli, "*La Pianificazione delle Scorte, modelli a punto fisso e quantità fissa*", http://www.easypoli.it/materie/logistica/teo_logistica/La_pianificazione_delle_scorte_2.pdf

[21] https://press.pirelli.com/pirellidal-nuovo-rivoluzionario-processo-mirs-un-nuovo-rivoluzionario-pneumaticole-tyre/ (MIRS Pirelli)

[22] https://www.pirelli.com/global/it-it/homepage (Sito ufficiale Pirelli)

[23] https://www.continental-pneumatici.it/moto/piu-che-pneumatici/a-tutto-grip/ (Sito de 'Continental')

[24] https://home.kpmg/it/it/home/insights/2017/12/industry-40.html (Sito de 'KPMG')

[25] https://argomenti.ilsole24ore.com/pirelli.html (Sito de 'Il Sole 24 Ore')

[26] https://www.salesforce.com/it/blog/2019/08/che-cosa-quarta-rivoluzione-industriale.html

[27] https://www.internet4things.it/industry-4-0/industria-4-0-le-reti-it-destinate-a-sostituire-le-reti-ot/

RINGRAZIAMENTI

Queste ultime righe della mia tesi di laurea voglio indirizzarle a me, perché la fine della stesura di questo documento segna in contemporanea la fine di un percorso di vita costellato da tante gioie e tante difficoltà, di momenti belli e brutti, ma di cui non vorrò mai perdere il ricordo.

Sono una persona emotiva e tradizionalista, a cui il cambiamento ha sempre fatto paura, ma che si è sforzato ogni volta di superare i propri limiti e di intraprendere nuove avventure, interpretare i propri stimoli e dare sfogo alla propria voglia di fare.

Di questi 5 anni magnifici ricordo tanto, ricordo la solitudine dei sabato sera su quel tavolo rettangolare, ricordo l'inadattabilità in una città che nonostante mi abbia dato tanto non sarà mai la mia, ricordo la nostalgia di casa, con il tempo affievolita ma ancora oggi lì dentro di me a ricordarmi chi sono, ricordo la paura prima di ogni viaggio e l'ansia prima di ogni trasferimento. Ma ricordo ogni giorno a me stesso che rifarei tutto quello che ho fatto, perché da quei momenti di difficoltà è nato tanto altro. Ricordo quell'11 febbraio 2016 al secondo piano della sede centrale, ad abbracciare un amico dopo aver passato il mio esame di analisi. Quell'anno ricordo altre persone, altrettanto care, sempre li ad attendermi in corso Galileo Ferraris.

Ricordo Barcellona, e come potrei dimenticarla. La sua bellezza e grandiosità che hanno aperto la mente ad un ragazzino di periferia che oggi può considerarsi, magari un po presuntuosamente, un fiero cittadino di questo mondo. Su Barça ci sarebbe tanto da dire e da raccontare, ma non serve, quella cicatrice da 9 punti sulla mano mi ricorda già tutto.

Ricordo la prima tappa di questo percorso, il 17 luglio del 2018, con una corona d'alloro in testa ed un pantalone strappato a terra. Ricordo l'orgoglio dei miei genitori, la felicità della mia famiglia e l'allegria dei miei amici.

Ricordo il freddo polare della lontana Irlanda, le Guinness in riva al fiume e la voglia di evadere da qualcosa che mi stava stretto.

Ricordo quest'anno, difficile per tanti motivi, ma certamente il più formativo della mia vita.

E ricorderò, certamente, anche questo giorno!

Porto avanti con me la gioia e l'esperienza acquisita con tanti piccoli momenti di questi anni, ed è doveroso ringraziare tutte le persone che si sono succedute al mio fianco, tutti coloro che oggi sono quì e continueranno sempre a sostenermi, ed anche chi pur non essendoci più ha contribuito a traformare istanti ed occasioni in ricordi fantastici.

Ogni incontro ed ogni momento mi hanno reso la persona che sono oggi, ma ancor prima la persona che voglio essere. Per questo vi dico grazie.

Grazie alle città che porto nel cuore e nella memoria, Torino, Barcellona, Athlone e ultima ma non per importanza Lecce, e perché no Carmiano ed il mio Salento.

Grazie a mia mamma Stefania ed a mio padre Gianni, da sempre primi interpreti delle mie emozioni e primi pacieri del mio animo. Sulle loro fondamenta poggerò sempre il mio essere, perché sono i momenti in cui un genitore non vuole insegnarti niente che ti insegna davvero qualcosa. Grazie a mio fratello Luca, che mi ha fatto capire l'importanza di essere d'esempio per chi, gli auguro, farà ancor più di quanto ho fatto io.

Grazie a tutta la mia famiglia. Grazie a mia nonna Teresa, dalla quale ho appreso quanto conti la socialità e cosa siano il rispetto e l'educazione. Purtroppo per lei però, la tazza del bagno la lascio ancora alzata. Grazie a mio nonno Enzo, che mi ha insegnato cosa sia il senso del dovere, che mi ha fatto capire che non tutte le 'iastime' sono accezioni negative, e che mi ha mostrato quanto sia indescrivibile il bene che un nonno può volerti.

Grazie a mia zia Luana per la stima di cui mi ha sempre onorato e per la fiducia nei miei confronti e l'immancabile sorriso. Per sua fortuna son cresciuto in fretta, e pannolini non dovrà mai più cambiarne. Con lei grazie a mio zio Mimmo, per tutti i cazzotti che negli anni ha dovuto sorbire e per i libri, ma prima ancora per i pareri e le idee. Grazie anche a Giorgina e Gabrielino, piccoli mostriciattoli che crescono e mi ricordano che il tempo passa ed i momenti persi non ritornano.

Grazie a mia Zia Grazia, a quelle giornate alla casa di mare che hanno arricchito la mia infanzia ed alla cura che ha sempre avuto di me, della sua famiglia e delle persone che ci stanno accanto. Grazie a mio zio Camillo, per le risate ricche di consigli e l'umorismo senza eguali che lo rendono speciale.

Grazie a mia nonna Albina che, nonostante tutto, non manca mai di donarmi quei 10 euro che sotto sotto non sono altro che un segno di amore nascosto agli occhi. Grazie allo zio e Don Mimino, per quei "Naa lu Marcu miu" che arricchiscono i miei ritorni a casa, e mi fanno sentire atteso e ben voluto.

Grazie ai miei cugini Kiko, Giorgio e Leonardo con cui son cresciuto e che han scandito i momenti della mia adolescenza, perché nessuno meglio dei tuoi cugini può capire che significa far parte della tua famiglia.

In particolare grazie a Leo, spalla forte ed appoggio da sempre, con cui ho trascorso gran parte di questi 5 anni e senza cui oggi non sarei quì a raccontarmi quello che ho fatto nella vita, perché tanto di tutto ciò l'ho fatto insieme a lui.

Grazie ai miei amici, seppur fortunatamente troppi per citarli tutti, che mi ricordano che ci sono cose che nella vita non dimenticherai mai, tra cui le tue origini ed il bene ricevuto.

Grazie ai miei amici dello Sprivè, tutti pieni zeppi di difetti, come me d'altronde, ma ricchi di valori ed impossibili da replicare. Grazie ai loro abbracci sinceri, ai loro sorrisi ed ai momenti vissuti insieme, oltre che alla voglia di viverne ancora tanti altri.

Grazie a Yuri, insostituibile costante della mia vita, e povero lui, con cui ho trascorso ogni singolo giorno di questi 24 anni, passando da Carmiano a Lecce, dal Banzi a Torino.
Grazie a Oigroig, amico da sempre e per sempre, che mi ricorda che l'amicizia è un lucchetto indistruttibile e che la bellezza di una persona alle volte sta in quello che nasconde.
Grazie a Mattia per la sua contagiosa voglia di fare, ma prima ancora per i suoi bronci che sotto sotto nascondono emozioni.
Grazie a Giulio per l' immancabile umorismo e l'importante ponderatezza di consigli ed idee, a Scarpa per la stimolante apertura mentale che mi spinge ad osare sempre più, a Kekko per le tante risate ed i troppi momenti di follia, e per quell'indimenticabile microfrattura vertebrale.
Grazie a Giorgio per i suoi valori e per la bontà e la sensibilità della sua persona, e per il significato che da all'amicizia, ad Andrea per la sua emotività ed i tanti abbracci che hanno arricchito altrettanti momenti, a Robby per l'affettuosa violenza e la grande scherzosità, a Dino per il suo enorme sorriso che mette sempre allegria, e la condivisione di timori ed ambizioni.
Grazie ad Betta ed Alessandra per l'affetto sincero di cui mi riempiono da oltre 10 anni e per aver imparato a conoscere tanto di me, e con cui continuerò sempre a condividere stati d'animo, pensieri e pettegolezzi senza il benchè minimo filtro, convinto di ritrovarle sempre al mio fianco.

Grazie alla mia Associazione, Giovani INformazione, che coincide in realtà con i miei amici, con la mia famiglia, e che è poi un tutto'uno!
Un sogno vissuto ed un obbiettivo raggiunto che mi ha formato da un punto di vista umano e sociale. Di essa conserverò sempre l'ideale e l'ingenua speranza che nella vita non è mai tardi per poter realizzare le proprie ambizioni e per cambiare il mondo. Grazie a tutte le persone che negli anni si sono accavallate lì al mio fianco, perchè con loro ho plasmato le mie ideologie.
Grazie a Carmiano, il mio borgo, la mia periferia, palestra di vita e scuola di politica, e grazie alla gente come Daniele e Simone, che ogni giorno si spendono per valorizzare un territorio e mi ricordano che la politica, quella vera, è quella fatta col cuore.

Grazie alle persone che più di tutti possono capire cosa siano stati questi anni, perché li hanno vissuti con me. Grazie a Tibbe, primo amico in quella grigia Torino del 2015, come me terrone nel sangue ma prima ancora nel cuore. Grazie a Maso, per la genuinità del suo essere e per gli oltre 3 anni di convivenza, perché un compagno è una cosa, un amico è un'altra. Grazie a Ugo, per ricordarmi che la vita è una, e tanto vale viverla con serenità. Grazie a MichiG, per la comprensione nei momenti difficili e l'ubriachezza che ci ha accomunati in quelli belli, grazie per gli abracci da sobrio ed i "ti voglio bene" detti da ubriaco. Grazie a Saitta, piccolo sosia di Renzi, ma certamente più buono ed affettuoso. Di lui ricorderò sempre le cazzate in riva al mare ed i bagni di febbraio, momenti che significano sentimenti.
Grazie agli amici di Resistenza, e tutte le persone che hanno vissuto quei due erasmus e quei 5 anni al mio fianco, perché sono stati i protagonisti di esperienze che valgono una vita.

Grazie a tutti i miei coinquilini, che in questi anni si sono succeduti al mio fianco, traformando delle semplici mura in una vera casa.

Grazie alla mia relatrice, Prof.ssa Grimaldi, per avermi guidato in quest'ultimo sprint finale, con cui ho potuto unire la filosofia concettuale al pragmatismo manuale dell'ingegneria, e dato una cornice precisa a quanto appreso in questi anni.

Grazie ad Alcar e ad Alfredo, che mi ha insegnato come il lavoro e la felicità siano due cose che possono andare a pari passo, e come un Sud migliore sia possibile se trainato dalle sue menti.

Ultima ma non per importanza, grazie a Pirelli, un'azienda fatta di persone, gente con un gran senso di appartenenza nei confronti di un simbolo e di un nome, quella grande P di cui mi sono sentito subito parte attiva.
In primis grazie a Raffaella, per avermi voluto lì al suo fianco, e per avermi mostrato che spesso l'ambizione comporta anche sacrifico.
Grazie a Bruno, mente brillante ed intuitiva, che con la sua risata mi ha mostrato che lavorare è più bello se fatto con il sorriso. Senza la loro guida non sarei riuscito a portare a termine questo percorso con una tesi che sento mia.
Grazie a Claudia ed Elisabetta, per il supporto nei momenti di sconforto ma soprattutto le tante risate fatte, a suon di parole inventate o capite male.
Grazie a Valeria, per la disponibilità e l'aiuto forniti, e per la sua solarità.
Grazie a Martina, Antonio, Max e Massimo che hanno alleggerito le giornate di lavoro e mi hanno mostrato come anche in una multinazionale di spicco ci possano essere umanità e comprensione.
Grazie ai trainers per l'umiltà e la familiarità che hanno dimostrato nei miei confronti.

Grazie a me, che con i miei mille difetti e nonostante i tanti errori commessi oggi sono qui dove vorrei, a dimostrare a me stesso che qualcosa posso valere e che tanto posso ancora dare alla mia vita ed a chi mi circonda. Conscio che ogni fallimento fortifica ed ogni vittoria motiva, ma consapevole che sono i momenti passati che ti rendono l'uomo che sarai in futuro, e le ambizioni del presente che ti spingeranno a diventarlo.

Non posso che concludere dicendo Ad Maiora, Semper!

Torino, 26 ottobre 2020

Marco