



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Sessione di Laurea di Aprile 2021

Implementazione del modello DDMRP nel settore
automotive: confronto con l'utilizzo del sistema MRP
applicato alla filiera logistica presso SFC Compositi s.r.l.

Candidato

Alberto Donadel

Relatore

Prof. Carlo Rafele

Indice

1.	Contesto aziendale, punti di forza e di debolezza attuale.....	1
1.1.	Il prodotto: qualità finale e del processo produttivo, criticità della fibra di carbonio.....	5
1.2.	La produzione: i punti salienti dovuti alla gestione delle materie prime	6
1.3.	I clienti: focus sulla qualità e i tempi di consegna.	7
1.4.	SFC Compositi sul mercato: analisi di mercato e principali competitors.....	7
1.5.	Modalità di gestione degli ordini e criticità del sistema MRP	10
2.	Gestione della produzione aziendale attuale.....	11
2.1	Le criticità riscontrate: fermi di produzione, ordini dei clienti in ritardo	11
2.2	Il sistema in implementazione: MRP classico con un disaccoppiamento	12
2.3	Logiche di gestione dei materiali.....	13
2.4	Sistema informativo	14
2.5	Organizzazione della logistica aziendale	16
2.6.	La volatilità del processo produttivo: scarti e rilavorazioni dei particolari.....	18
3	Utilizzo del DDMRP: un po' di teoria	22
3.1.	Limiti del sistema MRP tradizionale e risoluzione tramite DDMRP	23
3.2.	Il confronto tra MRP e DDMRP: il caso applicativo tramite simulazione	24
3.3.	I benefici teorici previsti con l'utilizzo della simulazione	25
4.	La simulazione su un caso reale: azioni preliminari.....	28
4.1.	Assunzioni del caso di studio	28
4.2.	Selezione del particolare	31
4.3.	Filiera logistica dei particolari e distinta base	31
4.4.	Criteri di selezione dei punti di disaccoppiamento.....	32
4.5.	Orizzonte temporale e scelta del time bucket	35
5	Dati in input	37
5.1.	Domanda del cliente	37
5.2.	Part Type.....	38
5.3.	Lead Time e Decoupled Lead Time (DLT)	38
5.4.	Imposed o Desired Order Cycle (IOC/DOC).....	39
5.5.	Minimum Order Quantity (MOQ)	40

5.6.	Lead Time Category e Lead Time Factor	41
5.7.	Variability Category e Variability Factor	42
5.8.	Buffer Profile	43
5.9.	ADU Past Horizon	44
5.10.	ADU Future Horizon.....	44
5.11.	Spike Horizon	45
5.12.	Order Spike Threshold	45
5.13.	Starting On-Hand.....	46
5.14.	Starting On-Order.....	46
5.15.	Cycle Time.....	47
5.16.	Scrap Rate.....	47
5.17.	Unitary Cost.....	48
5.18.	Demand Adjustment Factor (DAF)	49
5.19.	Red Zone Adjustment Factor (RZAF)	49
5.20.	Calcolo dei costi di magazzino.....	50
6.	Simulazione del caso di studio tramite MS Excel	52
6.1.	Foglio inputs.....	52
6.2.	Foglio ADU.....	53
6.3.	Foglio RZAF	54
6.4.	Foglio DIBA e Lead Time	54
6.5.	Foglio Consuntivo.....	54
6.6.	Foglio Costi di magazzino	55
6.7.	Foglio grafici di magazzino.....	55
6.8.	Foglio MRP	55
6.9.	Foglio Simulazione	56
7	Comparazione dei Risultati ottenuti.....	60
7.1.	Risultati attesi sulla base della letteratura	60
7.2.	Analisi dei risultati effettivi	61
7.2.1.	Particolari della prima categoria	61
7.2.2.	Particolari della seconda categoria	63
7.2.3.	Particolari della terza categoria	66
7.3.	Analisi dei costi	68
8	Elasticità dell' algoritmo.....	71

8.1.	Inserimento di un Zone Adjustment Factor per il particolare ASSY	71
8.2.	Passaggio da 10 a 3 giorni del lead time del PF	72
8.3.	Esternalizzazione della produzione dei particolari polimerizzati	73
8.4.	Acquisto del part number FC da un fornitore alternativo	74
8.5.	Vantaggi per l'acquisto in bulk: aumentata MOQ per l'acquisto di colle e inserti	76
8.6.	Inserimento di spike di domanda, come le assorbe l'algoritmo?	77
9.	Conclusioni ed open points	80
9.1.	Pro e contro del DDMRP, analisi a posteriori	80
9.2.	Open points	81
	Bibliografia	83

PIANO DI DRAFT DELLA TESI

Titolo proposto:

Applicazione del modello DDMRP nel settore automotive: confronto con l'utilizzo di un sistema MRP per la filiera logistica presso SFC Compositi s.r.l.

Motivazione

Il lavoro di tesi nasce dalla necessità di migliorare la filiera logistica di SFC Compositi, proponendo una soluzione ai problemi conosciuti di ritardi nel soddisfacimento degli ordini dei clienti, di fermi di produzione e di sovra scorta dei magazzini.

Scopo del lavoro di tesi:

Lo scopo del lavoro di tesi è confrontare i livelli e costi di magazzino causati dall'inserimento dell'algoritmo DDMRP nella produzione di un prodotto finito con i costi derivanti dalla produzione a consuntivo presso SFC Compositi s.r.l.

Obiettivi:

Obiettivi	Metodo/strumenti
Confronto tra DDMRP e consuntivo della produzione	Rilevazione della produzione effettiva di SFC Compositi dal 01/01/2021 al 02/07/2021, calcolo dei costi associati di magazzino, creazione di un tool Excel che simuli l'utilizzo di un software DDMRP, creazione, rilevazione ed inserimento dei dati in input necessari.
Individuazione pro e contro del DDMRP	Sulla base dei dati ottenuti tramite il tool Excel, analisi e confronto dei risultati.

PIANO DI RICERCA

- Analisi del contesto aziendale, del mercato e della concorrenza
- Analisi della letteratura sull'argomento DDMRP
- Analisi della filiera logistica di SFC Compositi propedeutica all'inserimento di punti di disaccoppiamento
- Predisposizione, sulla base della letteratura e degli studi in azienda, delle assunzioni effettuate per il lavoro di tesi
- Predisposizione, sulla base della letteratura, degli input da applicare all'algoritmo DDMRP
- Creazione, sulla base del manuale di implementazione del DDMRP, del tool Excel usato per simulare l'algoritmo applicato al caso di studio
- Inserimento dello storico delle dichiarazioni di produzione, vendite a clienti e ordini a fornitori nel tool Excel per costruire il MRP per il particolare in studio
- Creazione la simulazione dell'algoritmo DDMRP tramite il tool Excel al fine di ottenere i livelli di scorte per ogni part number per ogni time bucket.
- Confronto tra i livelli di magazzino ottenuti con DDMRP e MRP
- Analisi dei risultati, discussione pro e contro dei due algoritmi
- Modifica dei parametri e dei dati in input per testare differenti scenari, sia di origine interna che esterna

OUTLINE PROPOSTO DEL LAVORO DI TESI

Lo scopo di questo lavoro di tesi è quello di effettuare un confronto tra gli algoritmi di gestione della catena logistica Material Requirements Planning (MRP) e Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP) presso SFC Compositi, operante nel settore della produzione di particolari in fibra di carbonio per il settore automotive. Sulla base di dati in input riguardanti il processo produttivo forniti dall'azienda, esperienza e dati ricavati durante la permanenza presso la stessa e lo studio del manuale sull'implementazione del DDMRP (Ptak e Smith, 2019), si è creato un modello tramite MS Excel in grado di simulare l'utilizzo di un software DDMRP per poi confrontarlo con la produzione a consuntivo di un particolare dal 01/01/2021 al 30/06/2021. Nei primi tre capitoli verrà illustrato il contesto aziendale, la filiera logistica attuale e le logiche di

funzionamento dell'algoritmo DDMRP, che si propone di risolvere alcuni dei problemi principali del MRP, ovvero il nervosismo dell'algoritmo che causa un aumento della variabilità della domanda all'allontanarsi dalla fine della filiera logistica, la tempestività nel reagire a picchi di domanda e il conseguente livello di servizio del cliente. Questo viene affrontato con l'inserimento di punti di disaccoppiamento nella filiera e con l'utilizzo della domanda effettiva del cliente come dato in input e non una previsione della stessa.

Nel quarto, quinto e sesto capitolo, saranno esposte le assunzioni ed approssimazioni effettuate, (sia a causa della limitata reperibilità delle informazioni, sia per questioni di riservatezza) per il corretto funzionamento del modello Excel, e ne saranno inoltre spiegate le logiche di funzionamento. Nei capitoli settimo e ottavo saranno analizzati i risultati ottenuti tramite algoritmo DDMRP, andando poi a confrontarli sia con i risultati attesi a livello qualitativo, sia con i risultati di SFC a livello quantitativo.

Il modello Excel ha la funzione di elaborare dati in input secondo un algoritmo DDMRP e restituisce in output il livello dei buffer associati ai punti di disaccoppiamento, grafici di confronto con il consuntivo aziendale sia di costo che di quantità per tutti i part number presi in considerazione.

I risultati confermano la bontà di utilizzo di questo sistema date le condizioni di basso lead time e bassa quantità minima di ordine imposto, mentre i costi di magazzino aumentano all'aumentare dei due parametri sopracitati a causa dell'aumento delle dimensioni delle zone di buffer. Si è ipotizzato un utilizzo ibrido dei sistemi DDMRP e MRP per SFC Compositi, mantenendo le logiche di riapprovvigionamento attuali dove il DDMRP genera costi superiori al MRP, ed inserendo il DDMRP dove porta benefici consistenti a livello economico. È importante sottolineare come i risultati discussi nel lavoro di tesi siano stati ricavati sulla base del set di parametri proposto in input, e come questo siano all'atto pratico modificabile per adattare l'algoritmo ad ogni realtà logistica che lo richieda.

Introduzione e descrizione aziendale

1. Contesto aziendale, punti di forza e di debolezza attuale

SFC Compositi sviluppa e produce dal 2003 particolari ed attrezzature in materiale composito per il settore automotive, motociclistico, aeronautico ed aerospaziale. SFC compositi conta attualmente 75 dipendenti divisi tra produzione e personale di supporto [1]. SFC compositi è stata acquistata per il 70% da ARAS, una società specializzata nella produzione di sedute per il settore automotive e aeronautico. ARAS è stata a sua volta acquisita per l'80% da Proma Group [2], specializzata dagli anni '80 nella produzione di particolari in metallo stampato per il settore automotive, con una forte presenza, oltre che in Italia, in paesi come Germania e Francia creando anche impianti produttivi in Marocco e Polonia. Parlando di SFC Compositi in particolare, ha attualmente un unico stabilimento produttivo a Rivoli (TO), e di seguito è possibile individuare tramite il grafico l'andamento di fatturato, ricavi e assets. Vediamo come effettivamente il fatturato sia in crescita, sebbene i ricavi siano estremamente negativi. I motivi di ciò saranno affrontati nei paragrafi successivi [3][4].

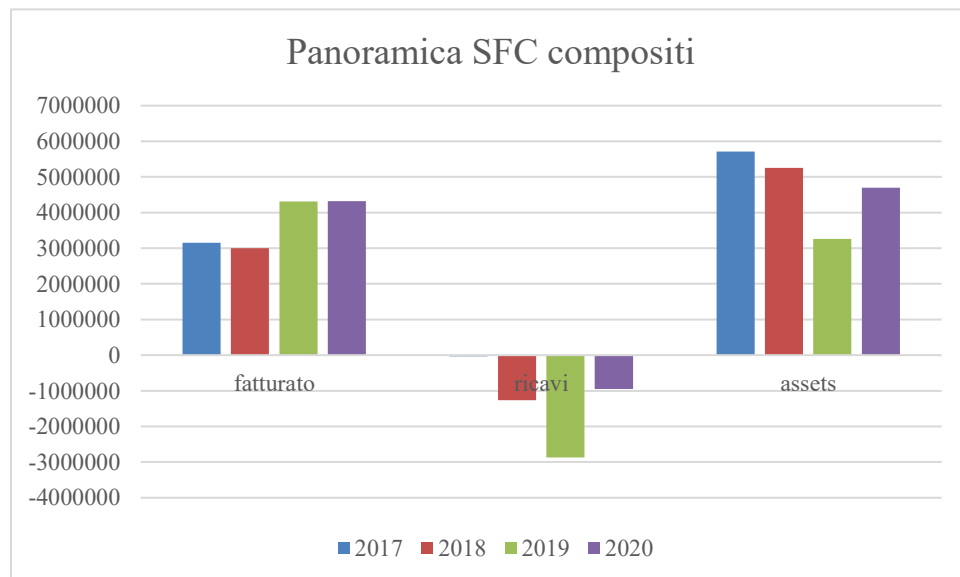


Figura 1.1: Andamento di SFC Compositi

L'organigramma aziendale riportato di seguito individua in maniera più specifica le funzioni aziendali e i reciproci rapporti:

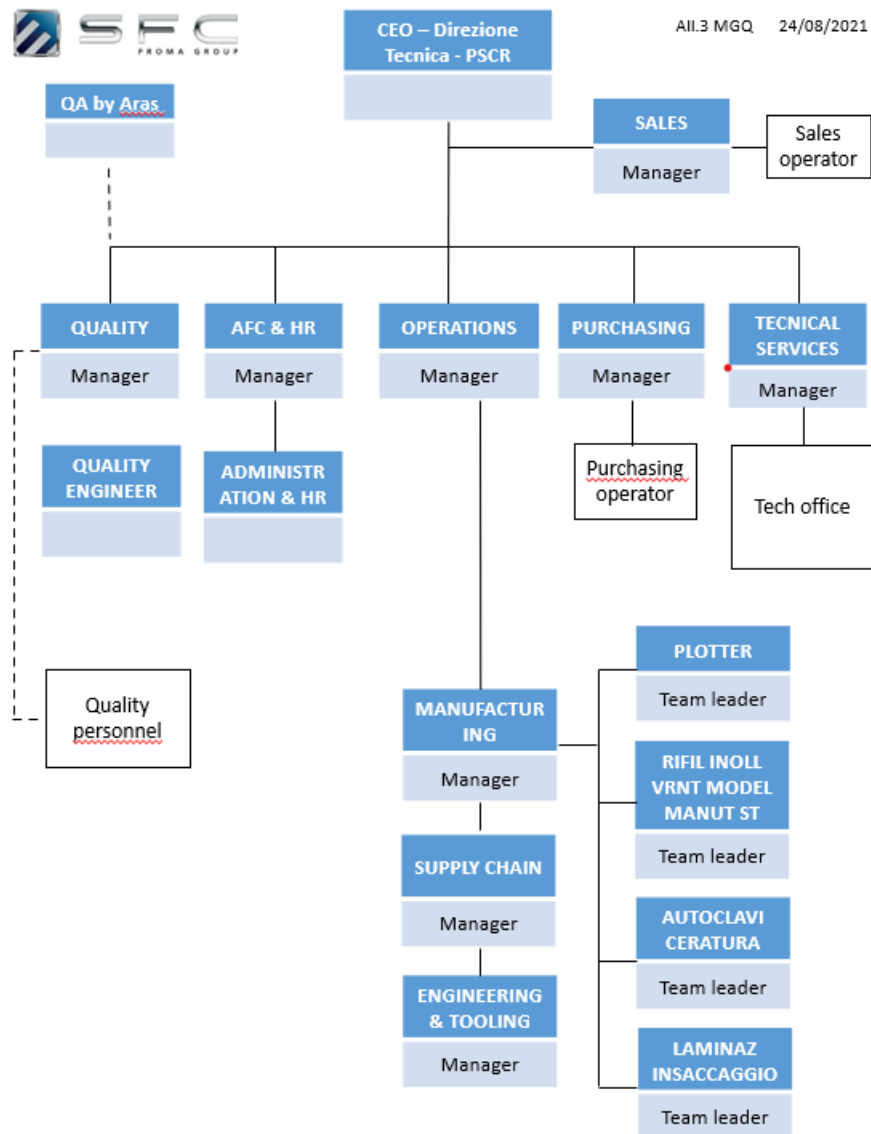


Figura 1.2: Organigramma aziendale di SFC Compositi

- Ufficio tecnico: si occupa della stesura delle istruzioni per la lavorazione dei particolari, crea i percorsi delle macchine utensili, crea tramite programmi di sviluppo 3D gli stampi per la produzione dei particolari, supporta il resto del personale per questioni tecniche ed è il primo ad agire in caso di problemi in produzione. Una volta valutata la portata del problema, procede a risolverlo o a interpellare le funzioni preposte a seconda della gravità.
- Funzione qualità: si occupa di monitoraggio e miglioramento del processo produttivo, provvedendo settimanalmente all'analisi degli scarti e all'ideazione di soluzioni per migliorare il processo produttivo
- Funzione logistica: si occupa, a partire dagli ordini dei clienti, degli ordini ai fornitori, della gestione dei magazzini e della valutazione dei ritardi nel flusso produttivo. Lavoro di tesi sarà essere di supporto a questa funzione sviluppando processi alternativi a quelli attuali per migliorare le performance aziendali in questo ambito.
- Funzione commerciale: si occupa del rapporto con fornitori e clienti e, soprattutto si occupa di ricercare, valutare e fare offerte per nuove commesse. parte del lavoro di tirocinio è stato supportare questa funzione tramite l'analisi di tempi e costi di produzione attualmente prodotti, al fine di dare più strumenti possibili per formulare analisi corrette e verosimili in fase di offerta.

L'azienda può vantare collaborazioni con leader di settore quali Lamborghini, Ferrari, Sparco, Boeing e molti altri, e si occupa sia della produzione di particolari in fibra di carbonio dall'inizio alla fine del processo sia di lavorazioni parziali per altri produttori. La produzione dei particolari avviene si può schematizzare nelle seguenti fasi:

- Ceratura e preparazione degli stampi in alluminio e fibra di carbonio: come primo passaggio, dopo l'utilizzo, lo stampo viene pulito e cerato insieme agli inserti utilizzati come viti, bulloni e spine. Ogni 25 pulizie lo stampo viene controllato dal responsabile della qualità per verificarne lo stato e, se ritenuto necessario, viene mantenuto.
- Taglio del materiale: il materiale viene tagliato tramite due plotter e vengono formati i kit di taglio, che alimentano un buffer di produzione. È infatti più efficiente tagliare

più kit per la produzione dello stesso particolare di fila (a causa dei tempi di attrezzaggio) rispetto ad optare per una produzione just in time.

- Laminazione della fibra di carbonio e insaccaggio: vengono prelevati dal buffer i kit di taglio e, seguendo le istruzioni dei plybook stilati dall'ufficio tecnico, gli operatori laminano la fibra di carbonio, inserendo dove indicato inserti in acciaio o alluminio. Dopo ciò i particolari sono inseriti in un sacco a vuoto, sigillati e caricati in autoclave
- Ciclo in autoclave e controllo qualità: una volta insaccati i particolari sono caricati nelle autoclavi (l'azienda ne ha 6, di diverse dimensioni) dove seguono il ciclo di cura a loro assegnato. Il pezzo grezzo viene poi estratto, smontato dallo stampo e sottoposto al primo quality gate. Se i clienti richiedono il pezzo grezzo, dopo queste lavorazioni può essere imballato e spedito.
- Fresatura (manuale o automatica) negli stampi precedentemente cerati, insaccaggio dei particolari, ciclo in autoclave e primo controllo qualità. Dopo quest'ultima fase i particolari possono essere imballati o spediti, se il committente richiede il pezzo grezzo. In alternativa, i pezzi saranno sottoposti a fresatura (manuale o tramite macchine a controllo numerico) e se la commessa lo richiede anche incollaggio e/o verniciatura.
- Incollaggio: i particolari che richiedono incollaggio di semilavorati o di inserti vengono incollati e rifiniti.
- Verniciatura: l'azienda dispone di una camera di verniciatura dove i particolari vengono verniciati, sebbene siano in corso delle analisi costi/benefici per valutare se esternalizzare la produzione.

1.1. Il prodotto: qualità finale e del processo produttivo, criticità della fibra di carbonio

SFC Compositi ritiene di fondamentale importanza detenere un sistema organizzativo che permetta di armonizzare e di tenere sotto controllo i propri processi e la raccolta delle informazioni da essi derivanti.

Inoltre, consapevole della necessità di preservare l'ambiente, ed in linea con i principi di sviluppo sostenibile, SFC COMPOSITI si impegna a migliorare le proprie prestazioni ambientali e a garantire il soddisfacimento di tutte le disposizioni normative cogenti in materia e applicabili alle proprie attività. Al fine di agevolare il raggiungimento di tali ambizioni propositi, e considerando come aspetti decisivi e distintivi l'orientamento al cliente e la ricerca del miglioramento continuo, SFC Compositi ha deciso l'istituzione prima, il conseguimento, il mantenimento e il consolidamento poi, di un Sistema di Gestione per la Qualità e di Gestione Ambientale conformi rispettivamente agli standard internazionali ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004, che permettano di garantire una maggiore efficienza interna, una maggiore attenzione ambientale ed una migliore predisposizione a soddisfare le esigenze e i desiderata dei Clienti e di tutti gli Stakeholders.

Il focus sulla qualità del prodotto finito è la prima preoccupazione di SFC compositi per due motivi principali: una volta finito il processo di autoclave, il materiale non è più riciclabile e quindi gli scarti non sono recuperabili, inoltre gli standard qualitativi imposti dai clienti, a causa dell'impiego dei particolari in fibra di carbonio, sono molto elevati. Inoltre, è necessario specificare come la maggior parte degli scarti derivi dai processi pre-ciclo in autoclave (laminazione e insaccaggio) e quindi siano quelle più interessate da interventi migliorativi. È necessaria una piccola digressione per distinguere i particolari strutturali e carbon look: questi ultimi sono particolari che, a differenza dei primi, hanno anche una funzione estetica e quindi devono rispettare parametri qualitativi più stringenti. È stato rilevato un indice di scarto interno e di resi tra i componenti in carbon look più alto rispetto a quelli non carbon look, il che comporta un costo di produzione maggiore quindi una maggiore attenzione alla qualità del processo produttivo. È stato rilevato che questo avviene tramite un monitoraggio continuo del processo produttivo e delle causali di scarto,

per andare dove possibile a modificare i processi e/o a formare gli operatori i quali, essendo le fasi di laminazione e insaccaggio prevalentemente manuali, sono la risorsa più importante dell'azienda.

1.2. La produzione: i punti salienti dovuti alla gestione delle materie prime

La gestione delle materie prime è, nel caso della lavorazione della fibra di carbonio, una questione molto delicata per molteplici motivi

- La conservazione della materia prima: è stato verificato come il kevlar e la fibra di carbonio debbano essere conservati a una temperatura minima di -18 gradi e abbiano una vita utile di un anno, che viene consumata dodici volte più velocemente quando viene estratto dalle celle freezer per essere tagliato. Questo ha ripercussioni sul riapprovvigionamento di materiale per i particolari che o richiedono poca materia prima, o sono prodotti saltuariamente.
- L'acquisto della materia prima: la materia prima è venduta in rotoli di metratura fissa, che devono essere trasportati refrigerati per garantire una conservazione più lunga comportando spese di spedizione più alte. è quindi facile da intuire come si debba cercare di ridurre al minimo le spedizioni per ridurre le spese (ovviamente per quanto possibile, c'è il drawback della scadenza, non ha senso fare poche spedizioni rischiando di far scadere il materiale). Questo punto sarà analizzato durante il lavoro di tesi con l'identificazione della quantità ideale di riordino.
- La specificità della materia prima: in base alle richieste dei clienti e alle valutazioni interne in fase di sviluppo dei vari particolari, vengono utilizzate numerosi tipi di fibra di carbonio che si differenziano in base al peso per metro quadro, la trama delle fibre (plain o twill) e la resina utilizzata che ne condiziona la polimerizzazione. Tutto ciò rende le fibre non sostituibili portando a varie criticità nella gestione dei magazzini, ovvero fermi di produzione in caso di materiale esaurito e alti costi affondati causati da materiali scaduti o non riutilizzabili una volta finite le commesse.

1.3. I clienti: focus sulla qualità e i tempi di consegna.

SFC si interfaccia giornalmente con un portafoglio di clienti di altissimo livello, che lavorano sia come assemblatori e rivenditori finali (Ferrari, Lamborghini), sia come fornitori di questi ultimi (Sparco, Italdesign, Fabbrica Dallara). Il principale fattore comune è la richiesta del rispetto rigoroso degli standard qualitativi e dei tempi di consegna concordati all'inizio della commessa. Come già discusso e come verrà analizzato nei capitoli successivi l'ostacolo principale per queste richieste è il tipo di produzione che caratterizza SFC Compositi: alle criticità della gestione del materiale già discusse si sommano molteplici modifiche al prodotto, sia in fase di progettazione sia soprattutto in fase di produzione. Esse possono riguardare dimensioni, peso, rinforzi strutturali e modifiche estetiche. Ne risulta un processo produttivo molto più complicato rispetto a una produzione in serie di particolari simili in metalli o plastiche, a causa della possibilità di riciclo dei primi e dei costi minori delle seconde. Il principale lavoro di tesi sarà infatti confrontare l'attuale sistema produttivo e logistico utilizzato con un sistema Demand Driven MRP (DDMRP), per analizzare se quest'ultimo possa ridurre i ritardi nelle consegne e i fermi di produzione rimanendo economicamente sostenibile.

1.4. SFC Compositi sul mercato: analisi di mercato e principali competitors

SFC compositi compete principalmente nel mercato italiano nella vendita di particolari in fibra di carbonio di alta qualità, per servire il mercato automotive e aeronautico. È importante notare come la lavorazione della fibra di carbonio abbia enormi economie di apprendimento essendo una lavorazione largamente manuale (almeno per quanto riguarda le geometrie più complesse di una semplice tavola) quindi le aziende che si specializzano su particolari componenti o geometrie (ad esempio estrattori, fondi) sviluppano conoscenze implicite e economie di apprendimento non replicabili dai competitors, i quali a questo punto, in caso ricevano un ordine per un determinato particolare, possano trovare

vantaggioso esternalizzare la produzione ai competitors. Vedremo infatti come SFC compositi lavori sia con Ferrari, sia con Sparco per la produzione di particolari Ferrari. Si arriva così a definire uno dei maggiori obiettivi di SFC, ovvero perdere la posizione di terzista per guadagnare quella di fornitore diretto dei grandi marchi per aumentare la propria marginalità oltre alla propria reputazione. Si punta a raggiungere questo risultato tramite due strade: la funzione di gestione della qualità pianifica di acquisire le migliori certificazioni ISOXXXX per rispettare i massimi requisiti dei clienti, mentre la funzione commerciale sta espandendo il portafoglio clienti cercando di penetrare anche mercati esteri. Un esempio di questo processo è l'assegnazione a SFC compositi della commessa di produzione del kit di componenti in fibra di carbonio per una nuova vettura Bentley in uscita nel 2022. I principali competitori di SFC Compositi sono Sparco, Dallara Compositi e CBS Compositi. Simile a quella di SFC è l'evoluzione di Dallara Compositi, ex Camattini Meccanica, acquistata da Dallara per integrare verticalmente la produzione di particolari in fibra di carbonio nella propria filiera, nonché il loro portafoglio clienti e la complessità dei particolari.

È immediatamente possibile notare come SFC abbia delle performance molto inferiori ai competitori, fondamentalmente a causa dei suoi alti costi di materia prima e soprattutto del personale. Questo alto impatto dei costi sui ricavi è spiegato dai ricavi bassi, causati a loro volta dall'alta percentuale di scarti e dai fermi di produzione. Questi causano ritardi nelle consegne, che a loro volta, dato il monte ore di lavoro definito, impediscono di iniziare nuove commesse e aumentare il fatturato. Se infatti la commessa A, invece di terminare in 8 mesi come definito in fase di offerta, termina in 11, impedisce ai commerciali di portare nuovo lavoro in azienda a causa della mancanza di personale disponibile. Uno dei risultati del lavoro di tesi sarà quindi verificare l'ipotesi che, investendo in costi per la creazione e il mantenimento di buffer di produzione, diminuiscano i fermi di produzione e aumenti il livello di servizio ai clienti, andando quindi a migliorare fatturato e diminuire l'impatto dei costi delle materie prime sul

bilancio. Di seguito è possibile visualizzare due dei principali indici di bilancio di SFC Compositi, dei competitors e del gruppo Proma [5][6][7][8][9][10].

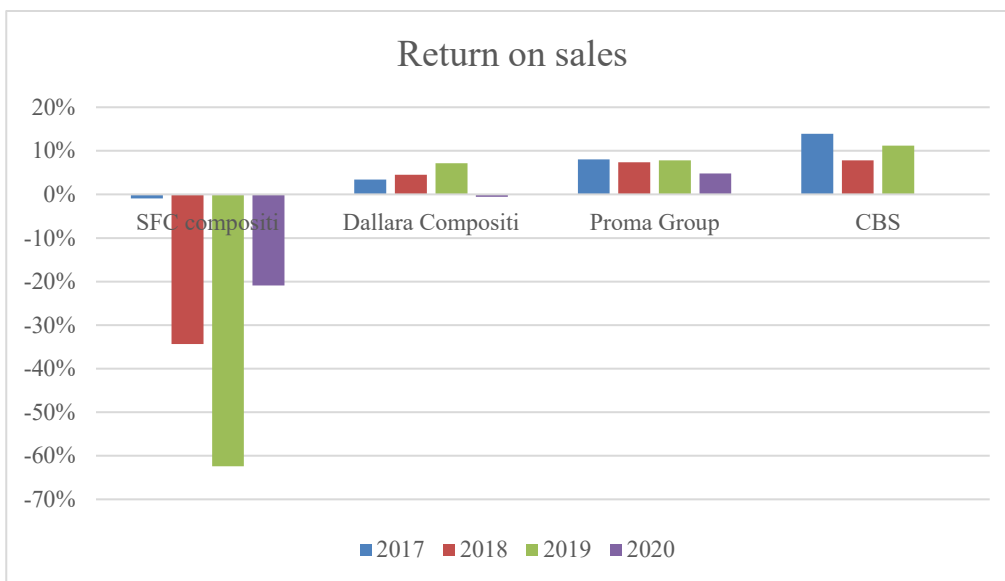


Figura 1.3: confronto dei ROS di SFC e competitors

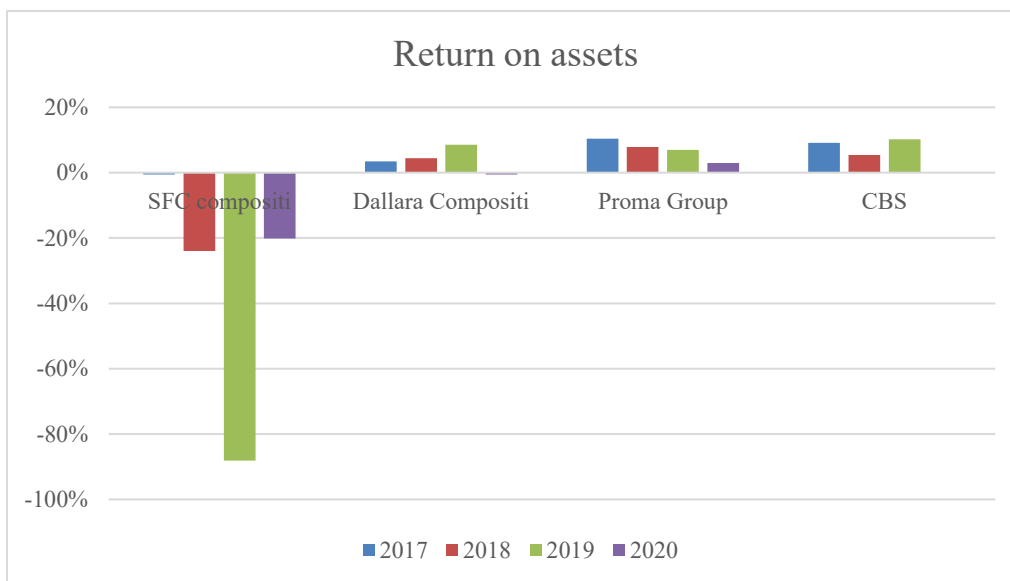


Figura 1.4: confronto dei ROA di SFC e competitors

1.5.Modalità di gestione degli ordini e criticità del sistema MRP

Il metodo attualmente in implementazione presso SFC Compositi per la gestione della produzione è un MRP classico (adattato ai bisogni aziendali) con tutte le implicazioni che ciò comporta; non sono inoltre attualmente previsti buffer di produzione in SFC, cosa che causa dei fermi nella produzione in caso di ritardi o di scarti. si pone inoltre il problema della gestione dei magazzini: basandosi attualmente la produzione sulla domanda dei clienti e non sulla previsione di essa, vengono acquistate le materie prime. Il problema è il nervosismo generato dal sistema: a causa della mancanza di buffer di produzione e delle sopracitate fasi di lavorazioni che ogni particolare subisce, le informazioni che passano da un reparto all'altro sono via via meno precise, arrivando a monte a causare lavorazioni straordinarie e ordini integrativi di materie prime o giacenze eccessive di materiale in eccesso. Essendo così complesso il sistema produttivo (che può anche integrare il lavoro da parte di terzisti nelle fasi di laminazione, insaccaggio, autoclave e verniciatura) vi è una variabilità intrinseca causata da scarti, fermi, assenze degli operatori e rilavorazioni che causano, oltre alle già discusse cattive performance di magazzini, livelli di servizio bassi (fondamentalmente ritardi di produzione) e costi di trasporto più alti causati da spedizioni più frequenti. Nello specifico le assenze degli operatori sono particolarmente critiche a causa delle alte economie di apprendimento sul singolo particolare prodotto: se l'operatore A produce 50 volte lo stesso particolare, via via causerà meno scarti e sarà più veloce. in caso di sua assenza non è possibile aspettarsi lo stesso livello di qualità e velocità da un operatore non skillato, e soprattutto non ci sono modi di skillarlo allo stesso modo senza che prima produca un numero comparabile dello stesso particolare. Entra qui in gioco l'idea di costituire un caso di studio che, sulla base dell'esperienza di tirocinio, si proponga di risolvere uno dei maggiori problemi riscontrati nell'azienda.

2. Gestione della produzione aziendale attuale

Attualmente in SFC Compositi la produzione viene organizzata dai capi reparto in base agli ordini dei clienti considerando un lead time di produzione stimato per ogni particolare. Non vengono considerati in questa previsione gli scarti previsti in produzione (dipendenti anch'essi da particolare a particolare, i più semplici hanno un 2-4% di scarto mentre i più complicati toccano picchi del 30% nei mesi peggiori), che in caso siano presenti vanno a diminuire la quantità inviabile al cliente per la data settimana, creando così ritardi nelle consegne: le scelte sono di mandare un ordine incompleto in tempo e finirlo successivamente (aumentando i costi di trasporto) o mandare un ordine completo in ritardo. Non è inoltre implementato un controllo continuo delle giacenze di magazzino in base agli ordini in lavorazione previsti, le cui conseguenze saranno discusse nei paragrafi successivi. Gli ammanchi di produzione causati da scarti sono recuperati nei giorni o nelle settimane successive (dipendentemente quindi dal carico di lavoro, dalla disponibilità degli stampi e dalla segnalazione: un particolare scartato all'ultima lavorazione verrà ovviamente rimpiazzato dopo rispetto a un particolare scartato al primo quality gate).

2.1 Le criticità riscontrate: fermi di produzione, ordini dei clienti in ritardo

La mancata gestione giornaliera, o almeno settimanale, dei magazzini ha portato nel 2021 a tre fermi di produzione dalla durata variabile, in base ai tempi di riapprovvigionamento delle materie prime, le quali possono essere acquistate a prezzo maggiorato dai competitors diretti oppure attendere i tempi di riapprovvigionamento dal fornitore preferenziale. Questi fermi non hanno causato un fermo della linea, gli operatori sono infatti stati dirottati sulla produzione di altri particolari, particolari prodotti però meno abilmente a causa delle curve di apprendimento precedentemente discusse risultando in maggiori scarti su questi ultimi. In sostanza i fermi non solo causano ritardi per il cliente colpito, ma hanno lo spiacevole inconveniente di causare tassi di scarto maggiore sugli

altri particolari. A causa del processo di ceratura, ovvero della manutenzione degli stampi dopo ogni utilizzo, e del fatto che per la produzione vengono preventivati e realizzati un numero finito di stampi, non è possibile recuperare in breve periodo il ritardo accumulato a causa di fermi di produzione, manutenzioni straordinarie degli stampi causate da usura o danni accidentali o di moli non preventivate di scarti. I ritardi sono quindi distribuiti, in caso ci sia capacità produttiva disponibile, nei previsionali di produzione delle settimane successive e verranno recuperati man mano (in caso, ovviamente non ricompaiono i problemi sopracitati). Nel caso studio che vedremo potremo osservare come, nella realtà dei fatti, per un particolare complicato non sia così facile recuperare un ritardo per quanto piccolo che potrà anzi essere portato avanti per mesi. Sebbene I contratti con i clienti non prevedano penali per i ritardi, si proverà a quantificare il danno potenziale in immagine, molto importante in una industria dove il rapporto cliente-committente è molto importante per ottenere rapporti commerciali duraturi negli anni.

2.2 Il sistema in implementazione: MRP classico con un disaccoppiamento

Il sistema attualmente in implementazione in SFC Compositi è un sistema MRP classico con un solo punto di disaccoppiamento dettato dal processo produttivo: essendoci economie di scala nella fase di taglio dei materiali tramite Plotter, è stato reputato conveniente, dato inoltre il piccolo volume occupato dai kit di pelli tagliate, creare dei lotti di produzione che vengono inseriti in un buffer di produzione prima della fase successiva. Quest'introduzione, se effettuata correttamente, porta flessibilità al processo produttivo permettendo una metodologia di lavoro differente da quella pull del resto dell'azienda. Il sistema è basato su un programma gestionale (ARCA di Wolters Kluwers) che, partendo dalle distinte base e dagli ordini dei clienti, sviluppa ordini di lavorazione per avere i particolari pronti entro la data limite dell'ordine. Qui incontriamo il primo limite dell'MRP classico, ovvero la sua eccessiva rigidità: un MRP con informazioni dettagliate richiede un livello di dettaglio in entrata e in utilizzo molto elevato, al contrario scegliendo di avere un MRP snello verranno tagliate molte informazioni che rispecchiano

la realtà del processo produttivo. Questo è il grande scoglio rilevato nell'implementazione di questo sistema, capire le informazioni necessarie e quelle superflue per sviluppare un sistema che dia la massima resa con la minima spesa possibile di lavoro, sia in fase di setup sia in fase di lavoro.

Dopo questa introduzione a grandi linee del sistema di gestione della logistica di SFC Compositi, è necessaria una descrizione più di dettaglio delle meccaniche di funzionamento del sistema logistico attuale.

2.3 Logiche di gestione dei materiali

La gestione logistica di materie prime e semilavorati avviene al momento della scrittura della tesi tramite un algoritmo MRP. successivamente alle fasi di progettazione dello stampo in base alle specifiche fornite dal cliente, lavoro eseguito dallo staff dell'ufficio tecnico, e della realizzazione degli stampi necessari e dei primi prototipi, viene redatta la distinta base del particolare in revisione 00. Questa è la terminologia tecnica che indica la prima versione di produzione del particolare in serie che, in caso di revisioni successive, subirà solo modifiche marginali a livello di distinta base. È infatti stato verificato come in revisioni successive dello stesso particolare, vengano inseriti o cambiati al massimo inserti o tipologie di colle, tenendo invariata la geometria e la funzione del particolare. Nel caso preso in esame, alla redazione del lavoro di tesi, il particolare è in revisione 02 da dicembre 2020

Parallelamente alla fase di prototipazione, una volta ricevuto l'ordine del cliente, viene effettuato il primo ordine di fibra di carbonio e degli altri componenti necessari alla produzione del particolare, che una volta arrivati rendono possibile l'inizio della produzione. La produzione è così gestita: in base ai lead time complessivi di produzione viene presa in esame la domanda del cliente relativa al time bucket per il quale verranno prodotti i particolari finiti iniziando la produzione la settimana corrente. C'è da notare, come discusso precedentemente nel capitolo, come nel caso di studio sia già presente un punto di disaccoppiamento creato in maniera "artigianale", per ovviare al problema delle

tempistiche di riordino della fibra di carbonio per questo particolare, molto più lunghe rispetto alla somma dei lead time di produzione di semilavorati e prodotto finito sommati (i numeri in dettaglio possono essere consultati nel foglio DIBA del tool Excel). Al momento del lavoro di tesi la produzione viene gestita tramite un misto di fogli di lavoro Excel condivisi sul server aziendale e sistema informativo. La figura preposta alla programmazione della settimana lavorativa è la responsabile dei reparti laminazione e insaccaggio. Sulla base della domanda del cliente, dei ritardi (causati da scarti o da stockout) e dei semilavorati già in lavorazione redige la programmazione settimanale dei propri reparti che viene poi adottata dal resto dell'azienda. Questa programmazione trova riscontro tramite controlli di produzione dalla frequenza giornaliera (come minimo) o settimanale (al massimo) in base alla criticità del processo produttivo associato. I processi più critici vengono controllati giornalmente, mentre i processi accessori hanno un livello di controllo meno stretto. Verrà di seguito illustrato in dettaglio il flusso produttivo e di informazioni per il particolare preso in esame.

2.4 Sistema informativo

Come già discusso nel paragrafo superiore, per il periodo preso in esame il flusso di informazioni necessario all'avanzamento della produzione presso SFC Compositi è gestito sia tramite sistema informativo aziendale (ARCA di Wolters Kluwer) sia tramite MS Excel che ne integrano le funzionalità non ancora on line, ovvero la produzione avanzata.

Il programma gestisce:

- Gli ordini da cliente: vengono inseriti nel sistema informativo non appena vengono comunicati dal cliente tramite mail
- Gli ordini fatti ai fornitori: sono inseriti, in maniera analoga agli ordini dei clienti, gli ordini effettuati ai fornitori
- L'anagrafica articoli: per ogni articolo (materia prima, semilavorato e prodotto finito) è inserita una anagrafica che contiene, oltre alla codifica del nome, il lotto minimo di riordino, la scorta minima, il lead time e, dove necessaria, la produzione massima

giornaliera. Questo dato è particolarmente critico in quanto, anche volendo allocare tutta la capacità produttiva ad un singolo particolare per qualsivoglia motivo (recupero ritardi, sostituzione particolari ko, ecc...) la capacità ha nel numero degli stampi disponibili il limite giornaliero di capacità, in quanto lo stampo può essere utilizzato una volta sola prima di necessitare ceratura e pulizia.

- Le distinte base: sono state create divise in livelli: materie prime, kit di fibra di carbonio e di vetro tagliato, semilavorato polimerizzato, semilavorato rifinito e prodotto finito. Questa suddivisione è stata concordata con il responsabile della produzione e i titolari cercando il giusto compromesso tra quantità, qualità e reperibilità delle informazioni. Si è voluto infatti semplificare il lavoro di reportistica agli operatori, mantenendo la mole e la modalità di inserimento dei dati dai file Excel utilizzati e il sistema informativo. A dimostrazione di ciò sono i file Excel utilizzati per il monitoraggio della produzione.
- I magazzini e i documenti di trasporto (DDT): partendo dall'inventario di fine anno, in base alla produzione settimanale, ai ddt di merci in entrata, uscita e conto lavoro, il programma gestisce sia il magazzino interno sia il magazzino del conto lavoro.
- La previsione della produzione: sulla base delle rilevazioni di magazzino, delle informazioni contenute nell'anagrafica degli articoli, degli ordini in entrata e degli ordini dei clienti con le relative scadenze il programma effettua un algoritmo di tipo MRP che genera le proposte di ordini a fornitori per quanto riguarda le materie prime e le proposte di ordini di lavorazione interna per i prodotti finiti. Queste proposte sono poi valutate e viene effettuata una pianificazione della produzione.

2.5 Organizzazione della logistica aziendale

L'organizzazione logistica aziendale è attualmente divisa in due macroaree: produzione ed organizzazione. Nella prima area rientrano tutti i flussi di informazione riguardanti la produzione vera e propria nelle varie fasi precedentemente descritte, dove gli operatori e i team leader comunicano il consuntivo giornalmente o settimanalmente. Queste informazioni sono raccolte in due modalità: la prima, più di dettaglio, è la scheda di tracciabilità che segue il particolare (a cui è associato un numero di matricola) dove sono riportate tutte le informazioni relative al particolare. Queste sono:

- Numero di matricola.
- Materie prime utilizzate, con relativo numero di lotto e data di scadenza.
- Data e ora di inizio e fine lavorazione, per tutte le lavorazioni.
- Esito dei controlli qualità.
- Ciclo utilizzato in autoclave, con relative note riguardo eventuali accadimenti anormali (esplosione del sacco, rework, perdita di pressione).
- Inserti utilizzati.

Per le logiche MRP non viene utilizzata, è importante però menzionarla in quanto è utilizzata in caso di avvenimenti (controllo a tappeto di particolari il cui problema sia la materia prima proveniente da un certo lotto, oppure un ciclo in autoclave che abbia potenzialmente prodotto danni su tutti i particolari di un batch di cottura) che impattano la produzione e quindi il corretto funzionamento di un sistema MRP. È utilizzata invece per la gestione della qualità, sia, per come si è appena parlato, internamente, sia per la rilevazione dei dati da comunicare al cliente (come, ad esempio, a Ferrari) per ogni singolo particolare.

La seconda modalità di raccolta dati sacrifica il livello di dettaglio per la semplicità di consultazione, ed è quella utilizzata per la logistica aziendale. Per motivi di riservatezza non è chiaramente possibile inserire un esempio nel lavoro di tesi, è però possibile descrivere come siano strutturate le informazioni. È utile precisare come, al momento del caso di studio, il programma ERP sia in fase di implementazione in produzione, vengono quindi ancora compilati dei file Excel parallelamente all'utilizzo del software,

principalmente per due motivi: tramite la ridondanza delle informazioni si è sicuri che gli operatori forniscano dati veritieri tramite il metodo usuale (il file Excel) finché non sono giudicati competenti nell'utilizzo del software, ed inoltre il file ha un livello di manipolabilità migliore finché non verranno implementate tutte le funzioni richieste (se possibile) nel programma.

I file Excel della produzione vengono compilati giornalmente, e riguardano rispettivamente la giacenza di magazzino di fibra di carbonio, la giacenza di magazzino di kit pretagliati, i risultati del primo e del secondo quality gate e i prodotti finiti spediti ai clienti. Nella figura sottostante è possibile osservare il flusso delle informazioni riguardanti logistica e produzione.

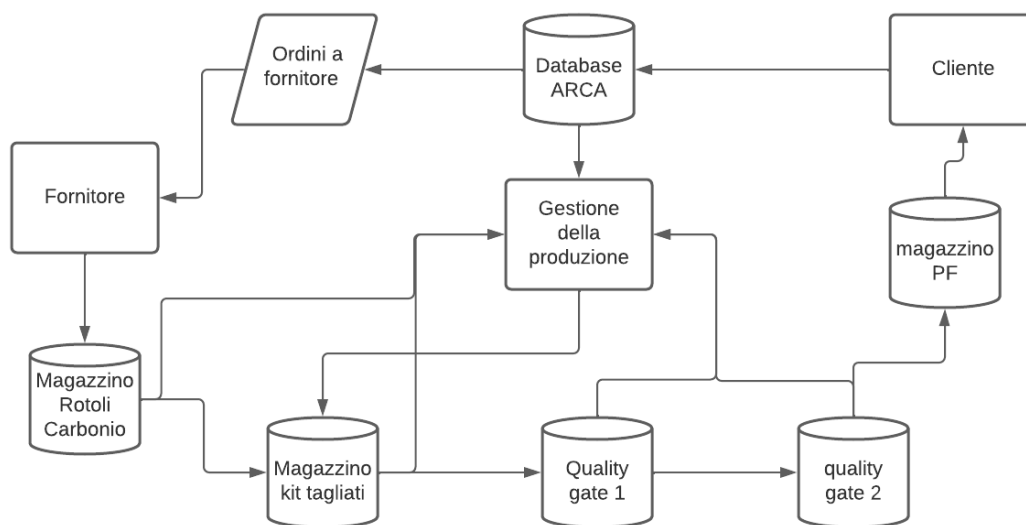


Figura 2.1: flusso di informazioni in SFC Compositi

2.6. La volatilità del processo produttivo: scarti e rilavorazioni dei particolari

Come già discusso nell'introduzione, il livello di scarti dipende per la maggior parte da tre cause: complessità del particolare da lavorare, abilità degli operatori in fase di laminazione e il fatto che il particolare sia carbon look o meno. Nei grafici di seguito si può notare come, differenziando nella geometria del particolare, la percentuale di scarti vari notevolmente. Il particolare che prenderemo in esame è costituito da tre parti in fibra di carbonio lavorate separatamente: la calotta dello specchio, l'ossatura e le U di incollaggio. Queste ultime sono un inserto strutturale molto semplice da lavorare, e come vedremo nelle assunzioni del caso studio il loro tasso assunto di scarto sarà molto inferiore rispetto agli altri componenti polimerizzati. La criticità della gestione degli scarti sta nella tempistica di realizzazione dei particolari: considerando oltre ai tempi vivi anche i tempi morti di produzione, dalla ricezione dell'ordine di lavorazione passano come minimo due giorni prima del primo quality gate per la rilevazione dello scarto e quindi della modifica del piano di produzione. Sempre ottimisticamente parlando, ovvero se uno stampo è disponibile, se un kit di pelli tagliate è già disponibile, se un laminatore ha tempo sufficiente e se il particolare riesce a essere inserito in autoclave il giorno stesso può essere controllato e approvato il giorno successivo. Questo perché, e sarà un punto centrale nella organizzazione del processo produttivo, una volta polimerizzato il particolare non è più rilavorabile o riciclabile. Lo stesso discorso vale, con modalità diverse, anche per i particolari dati in lavorazione esterna: difatti sebbene il terzista si prenda la responsabilità economica dello scarto, il fatto che abbia giorni e lotti di consegna prestabiliti aumentano ancora di più il problema di fermi di produzione in caso non sia in grado di consegnare il numero di particolari prestabiliti.

Importante è da notare come le diverse lavorazioni abbiano tassi di scarto differenti: le lavorazioni che generano più scarti sono quelle di laminazione, insaccaggio e autoclave, ovvero quelle di "creazione" del particolare, poiché una volta strutturalmente consolidato non è più modificabile, mentre quelle di "rifinitura", ovvero incollaggio, fresatura, finitura e verniciatura hanno tassi approssimabili allo zero (anche per la maggiore facilità nella

rilavorazione in caso di errore, come ad esempio la rimozione di bave di colla, riapplicazione di mani di vernice, ecc). L'azienda ha sviluppato un sistema di tracciamento del processo produttivo in modo che possano essere analizzate le causali degli scarti per verificarne la casualità o meno: conoscendo il lotto di materia prima e di ausiliari di produzione, gli operatori che lo hanno lavorato per ogni singola fase, lo stampo utilizzato e l'autoclave nella quale il particolare ha polimerizzato si possono cercare pattern tramite i quali risalire alla causale degli scarti. Questo impegno di SFC Compositi nella gestione della qualità fa comprendere al lettore la criticità nella gestione degli scarti in questo particolare mercato. Di seguito la tabella con le causali di scarto e le relative frequenze in SFC Compositi. Notiamo come la stragrande maggioranza delle causali di scarto (eccessi di resina, stramature, inclusioni, errori di laminazione e sacco) siano causate dalle fasi di laminazione, insaccaggio e autoclave a conferma delle affermazioni precedentemente fatte.

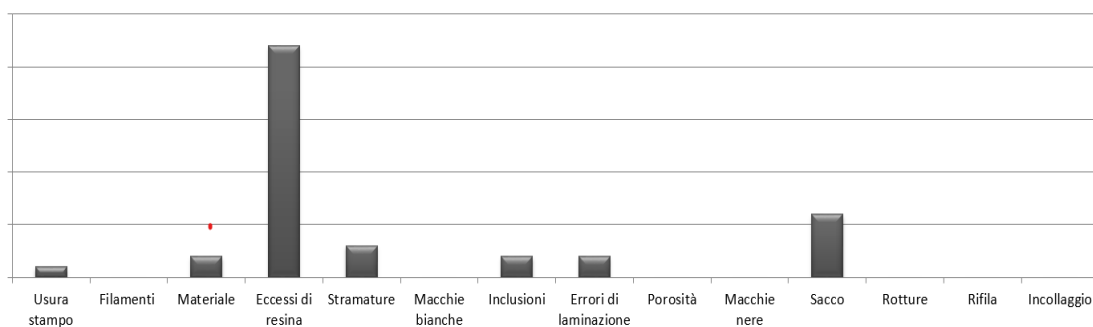


Figura 2.2: principali causali di scarto dei semilavorati necessari per la produzione di PF

Possiamo già vedere, sebbene solo in maniera qualitativa, come sia importante avere dei punti di disaccoppiamento con dei piccoli buffer di produzione in modo tale che gli scarti non pregiudichino le tempistiche di produzione causando inoltre ritardi per i clienti. Nei grafici seguenti, nonostante per motivi di riservatezza sono stati censurati rispettivamente il nome del cliente e quello del particolare e il grafico delle ascisse con le percentuali di scarto totali di SFC Compositi, possiamo trovare conferma di quanto detto

precedentemente, ovvero come un particolare di grandi dimensioni e complessità (figura 2.3) abbia un tasso di scarto maggiore rispetto a uno più semplice (figura 2.4).

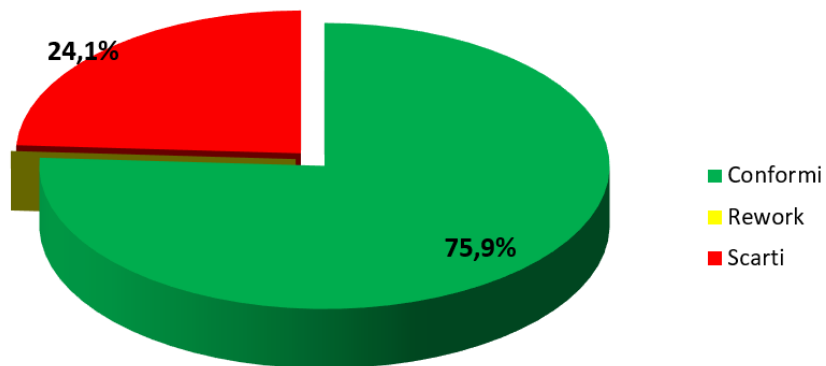


Figura 2.3: percentuale di scarti per un particolare dalla geometria complessa

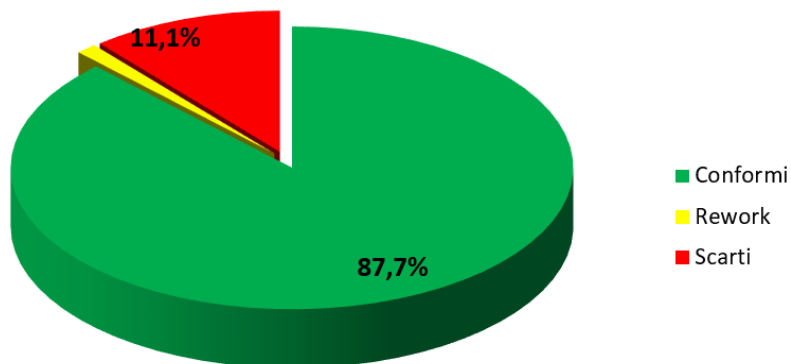


Figura 2.4: percentuale di scarti per un particolare dalla geometria semplice

Possiamo inoltre notare come l'andamento degli scarti segua una tendenza decrescente all'aumentare della specializzazione degli operatori. (figura 2.5).

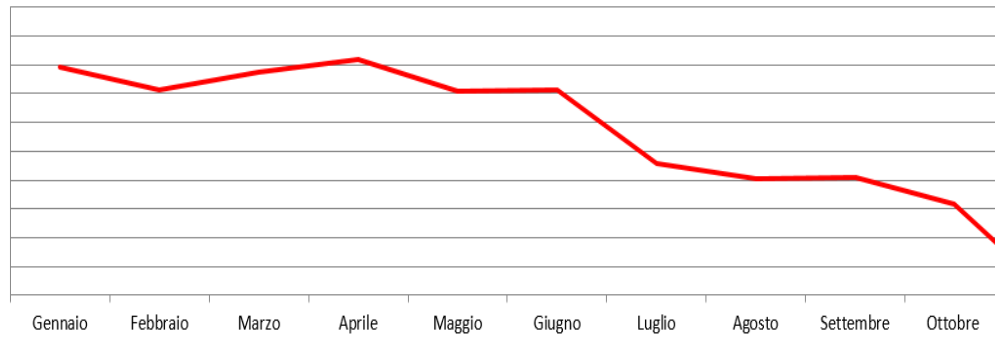


Figura 2.5: percentuale dello scarto del part number studiato nel lavoro di tesi nel tempo

Revisione della letteratura

3 Utilizzo del DDMRP: un po' di teoria

Il Material requirements planning nasce negli anni '50, e successivamente gli algoritmi e le procedure che lo compongono vengono codificate durante l'arco degli anni '60 e commercializzate negli anni '70. La premessa e l'obiettivo del sistema MRP è quella di ottenere minimo livello di scorte necessario, massimi livelli di servizio tramite il coordinamento della logistica dei materiali. L'MRP è un algoritmo che riceve in ingresso la domanda di mercato e/o le previsioni di vendita, la distinta base, i lead time, la situazione delle scorte, e produce in uscita gli ordini di produzione, di conto lavorazione e di acquisto necessari per rispondere alla domanda di mercato.

L'MRP trasforma i fabbisogni dei prodotti finiti nei fabbisogni dei componenti e delle materie prime e, in base al lead time per l'arrivo e la produzione di ogni materia prima e semilavorato, l'inventario di magazzino corrente e la domanda prevista di mercato, sviluppa un previsionale sulla gestione della produzione e dei riordini di materie prime. Questa funzione è stata sviluppata nell'evoluzione del MRP, ovvero il Manufacturing Resource Planning (MRP 2), che introduce il concetto di capacità produttiva finita nell'algoritmo MRP classico [11].

Per ovviare ai limiti dei sistemi MRP, descritti nei seguenti paragrafi, nasce nel 2011 il Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP), un metodo per la progettazione e pianificazione della supply chain generato ibridamente a partire dalle logiche MRP e Lean.

Tratto distintivo del DDMRP è la presenza dei punti di disaccoppiamento, che consentono di creare parziale indipendenza fra i nodi della filiera produttiva così da non consentire la propagazione della variabilità in maniera massiva (detta effetto bullwhip) riducendo il lead time complessivo disaccoppiandolo in lead time tra due punti di disaccoppiamento.

3.1. Limiti del sistema MRP tradizionale e risoluzione tramite DDMRP

Il MRP classico e MRP 2 lavorano in ottica push, ovvero prevedendo la domanda di mercato e facendo produrre in anticipo rispetto alle previsioni e non alla domanda dei clienti. Si tratta inoltre, per lo meno in teoria, di un sistema che non prevede buffer di produzione e variazioni nei lead time, sia di produzione sia di approvvigionamento. Dalla sua introduzione sono stati subito evidenti i problemi che l'algoritmo si porta con sé, ovvero:

- **Nervosismo:** non includendo nei parametri in entrata dell'analisi buffer di produzione, variabilità di lead time, domanda effettiva del cliente ma dovendo effettuare una previsione di quest'ultima, il sistema MRP non è considerabile robusto, ovvero cambiamenti dei parametri in entrata sono ammortizzati e non causano grandi scostamenti nell'output del sistema. Al contrario in un sistema MRP, quando si verificano piccoli cambiamenti nei record di livello superiore, (ad esempio una domanda effettiva diversa da quella pronosticata o nel programma di produzione principale) causano cambiamenti significativi di tempistiche o quantità nei programmi o negli ordini di livello inferiore (ad esempio, 5 o 6). Questo è chiamato effetto frusta, o bullwhip effect, ovvero un aumento della variabilità della domanda man mano che ci si allontana dal mercato finale e si risale la catena di fornitura, che sale con maggiore intensità quanto più la catena di distribuzione è lunga (cioè quanto più ci si allontana dal consumatore per risalire verso l'azienda produttrice) e quanto sono maggiori i tempi di consegna degli ordini. Nella figura seguente si può vedere una rappresentazione dell'effetto frusta su una catena produttiva [11].
- **Poca flessibilità:** come già detto, l'algoritmo MRP lavora tramite determinate condizioni che ne pregiudicano l'adattabilità a una filiera produttiva sempre più complessa, almeno per quanto riguarda la produzione di particolari complessi. Le aziende che applicano un MRP o MRP 2 solitamente affiancano all'output dell'algoritmo delle elaborazioni aggiuntive, spesso eseguite tramite fogli Excel

per inserire gli adattamenti effettuati dall'azienda per poter fruire del MRP con successo. Questa poca flessibilità, infatti, spesso pregiudica l'adattabilità ai processi produttivi, come già detto, sempre più complessi. E parlando di processi complessi, diventano maggiori sia la complessità sia la mole di informazioni da inserire, aumentando la probabilità di errore che, come abbiamo già visto parlando dell'effetto frusta, viene amplificato [11].

- Tradeoff tra informazione e semplicità: una prima soluzione ai problemi introdotti nel punto precedente, come evidenziato da studi effettuati da Ptak e Smith [11], è quella di fornire all'algoritmo una immagine di processo produttivo aziendale "semplificato", andando ovvero ad unire materie prime o anche lavorazioni in blocchi di materiali o attività simili. Questa strategia semplifica sicuramente la lettura e l'applicazione degli output dell'algoritmo, andando però a ridurre la qualità delle informazioni generate. Queste informazioni sono però comunque rilevanti: dovrà essere necessario lavoro supplementare per svilupparle e inserirle all'interno dei processi aziendali, causando inoltre sia dubbi sulle informazioni generate sia errori dati dal duplice lavoro.

3.2. Il confronto tra MRP e DDMRP: il caso applicativo tramite simulazione

La produzione di SFC Compositi, avendo solo un buffer di produzione proprio all'inizio del processo produttivo, produce con un lead time variabile in base al processo a cui si sottopongono i particolari non inferiore alla settimana. Per il particolare preso in considerazione il lead time di processo è di, mediamente, di 25 giorni. Inserendo ulteriori buffer di produzione il lead time si riduce considerevolmente (facendo però come assunzione di avere una capacità produttiva adattabile all'inserimento in produzione di ulteriori particolari che, come vedremo, per il pezzo

preso in considerazione è plausibile) in base al posizionamento degli stessi. In particolare, preventivando un posizionamento in fase di controllo qualità, si riduce di undici giorni ma soprattutto si crea un buffer dopo le fasi che generano l'80% degli scarti di produzione. Il problema principale di SFC infatti è proprio questo, l'alto lead time di lavorazione dei particolari sostitutivi degli scarti: prendiamo ad esempio un assemblato costituito dai semilavorati S1 e S2: se vengono scartati due S2 allo stato attuale devono essere rimessi in produzione prima che l'assemblato possa essere prodotto, cosa che causa da una parte ritardi e dall'altra rimodulazioni necessarie nei processi produttivi a valle.

3.3. I benefici teorici previsti con l'utilizzo della simulazione

Possiamo quindi prevedere in maniera qualitativa, sulla base della letteratura considerata, alcuni dei vantaggi derivanti dall'implementazione del DDMRP in azienda, ovvero:

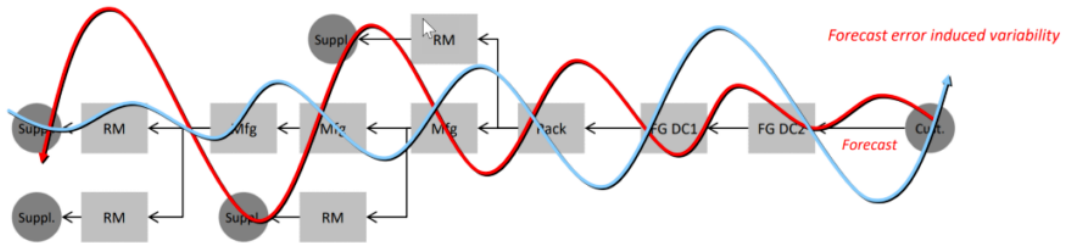
- Riduzione dei ritardi: si prevede che il disaccoppiamento del processo produttivo porterà ad avere minori lead time e quindi ad essere più reattivi nella gestione degli scarti e alle modifiche degli ordini da parte dei clienti.
- Riduzione o annullamento dei fermi di produzione: la creazione di buffer di produzione a livelli controllati porterà a diminuire sensibilmente l'occorrenza del problema precedentemente descritto: mentre viene prodotto il ricambio, la produzione potrà continuare pescando il semilavorato S2 dal buffer di produzione senza generare così necessità di ri-schedulare la produzione del giorno attuale e di quelli successivi.
- Produzione meno "nervosa": la variabilità del processo produttivo verrà ridotta, in particolar modo per quanto riguarda i processi a monte (riapprovvigionamento delle materie prime e gestione dei kit di taglio). Si prevede di notare livelli medi di magazzino più bassi andando a ridurre sia il capitale immobilizzato sia il rischio di portare le materie prime a scadenza. Si ridurrà anche il rischio di avere la

necessità di ordini spot che attualmente hanno costi di trasporto antieconomici in caso di mancanza di materie prime.

Si è quindi parlato del fatto che il principale problema dei sistemi di pianificazione MRP e MRP 2 è la distorsione della domanda cliente, presente indipendentemente dalle politiche di generazione degli ordini impiegate. La variabilità è però intrinseca del mondo in cui viviamo, e non può essere quindi azzerata. Si cercherà però di ridurla al minimo possibile tramite metodologie di pianificazione tali da limitare l'impatto che la variabilità ha sull'efficienza della gestione dei flussi di materiali, non permettendone la libera propagazione e amplificazione attraverso la filiera logistica e produttiva. L'MRP, e la totale dipendenza fra i nodi della supply chain che esso comporta, da questo punto di vista non è chiaramente la soluzione migliore, visto il nervosismo e l'impatto disastroso che l'effetto bullwhip ha su di esso.

È necessario quindi creare una parziale indipendenza fra i nodi della supply chain, obiettivo perseguibile tramite il posizionamento di buffer di disaccoppiamento. Essi rappresentano di fatto punti in cui si scollegano le lavorazioni che si verificano da un lato della filiera logistica o produttiva da quelli che si verificano dall'altro. Il posizionamento di tali punti rientra sicuramente nella categoria delle decisioni strategiche, che condiziona sensibilmente il funzionamento e l'efficacia del sistema. L'obiettivo di questi buffer è quello di disconnettere i tassi di consumo di un prodotto con i tassi rifornimento dello stesso, spezzettando gli orizzonti di pianificazione ed esecuzione della filiera logistica. Si vedrà infatti più approfonditamente che nella logica DDMRP ogni buffer di disaccoppiamento, quando necessario e con frequenza presumibilmente costante, genera un ordine al buffer di disaccoppiamento che lo precede, dipendentemente dal proprio tasso di consumo (Sezione 2.5.4). Questo significa che le oscillazioni degli ordini ai quali un buffer di disaccoppiamento deve fare fronte non condizionano direttamente tutta la filiera logistica, in quanto "assorbite" dal buffer in questione. Questi agiscono dunque come barriere di propagazione dell'effetto frusta sia per quanto riguarda le informazioni sia per quanto riguarda i materiali. Possiamo vedere nella figura successiva la variazione di variabilità ed effetto frusta causato dall'inserimento di buffer di disaccoppiamento.

Bullwhip effect without decoupling buffers



Bullwhip effect with decoupling buffers

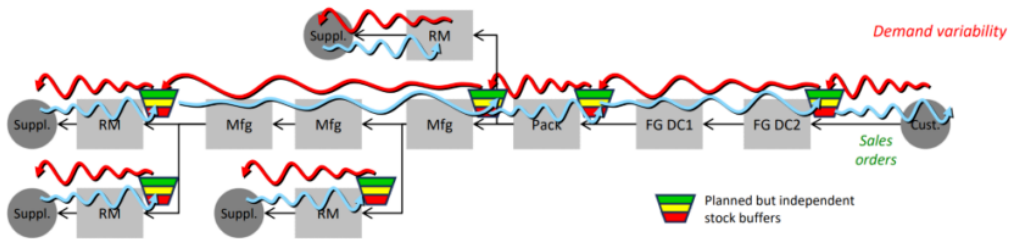


Figura 3.1: propagazione della variabilità con e senza effetto bullwhip

Analisi

4. La simulazione su un caso reale: azioni preliminari

Il lavoro di tesi si basa sulla simulazione di un algoritmo di tipo DDMRP su un particolare in produzione presso SFC Compositi contro il processo produttivo utilizzato e rilevato a consuntivo attuale. Il processo è di tipo MRP, a cui sono state effettuate alcune modifiche per adattarlo alle routine aziendali. Sarà necessario però effettuare alcune assunzioni, di seguito individuate e spiegate, prima di inizializzare il modello.

4.1. Assunzioni del caso di studio

Di seguito sono elencate le condizioni al contorno e le assunzioni a partire dalle quali si è strutturato l'intero caso di studio; per ognuna di queste è riportata la motivazione che ne ha guidato la scelta e le implicazioni da essa derivanti.

- La percentuale degli scarti applicata alla produzione dei particolari verrà calcolata sulla base di quella reale, che segue una funzione approssimabile alla teoria del modello delle curve di apprendimento di Crawford-Boeing per approssimare al meglio l'andamento degli stessi. È stato verificato infatti come l'esperienza, come già per altro esplicitato nei capitoli precedenti, giochi un ruolo molto importante nella dinamica di produzione di un particolare di scarto o meno, e tramite questo modello si possono infatti includere nel modello le economie di apprendimento presenti nella lavorazione della fibra di carbonio. Questo significa una alta percentuale iniziale che va a ridursi asintoticamente ad un valore terminale. Per quanto riguarda in particolare il prodotto preso in considerazione è in produzione dal 2019 e quindi si è deciso considerare la percentuale di scarto nella parte asintotica della curva, avente quindi tasso di scarto costante.

- I particolari in ritardo rispetto alle consegne dovranno essere recuperati nelle due settimane successive venendo inseriti negli ordini di produzione, appunto, delle due settimane successive. Verrà inoltre considerata una capacità produttiva aumentata ma non infinita, ad indicare il condizionamento della capacità stessa in base alla quantità di stampi presenti, alla ceratura degli stessi e alla disponibilità delle autoclavi. Potrebbe infatti essere antieconomico utilizzare una autoclave per recuperare un ritardo a causa degli alti costi associati al ciclo di produzione.
- Nel confronto fra le logiche del DDMRP e quelle aziendali basate sul tradizionale MRP si sono considerate invariate tutte le dinamiche relative al trasporto dei materiali. Non essendo stato possibile reperire informazioni riguardanti i trasporti effettuati nell'orizzonte temporale della simulazione (sia quelli tradizionali che quelli straordinari), non si è operato un confronto sulla frequenza e sui costi dei trasporti dei prodotti considerati nel caso di studio. Si è pertanto effettuato un confronto economico delle due logiche considerando solamente i costi generati dalle scorte a magazzino, ipotizzando i costi di trasporto invariati fra le due metodologie di pianificazione.
- Lead time costanti: effettuare una simulazione su un orizzonte temporale passato significa idealmente riprodurre le stesse condizioni al contorno verificatesi. Non è stato tuttavia possibile reperire informazioni riguardo alla variabilità sui lead time di trasporto e di produzione dell'orizzonte temporale analizzato. Pertanto, per la simulazione si sono assunti i lead time forniti dall'azienda costanti. La maggior parte dei lead time sono stati conservativamente approssimati per eccesso, così da non compromettere la veridicità della simulazione.
- Tempi di movimentazione all'interno dello stesso impianto di produzione nulli: non sono stati tenuti in considerazione i tempi di movimentazione dei materiali all'interno dello stesso stabilimento. Si intendono in questo contesto i tempi per trasportare: le materie prime dal magazzino alla linea di produzione, i prodotti di un processo produttivo fino al magazzino e il materiale dal magazzino al mezzo di trasporto. Sono infatti tempi assolutamente irrilevanti rispetto ai lead time presenti nel caso di studio e pertanto ininfluenti ai fini del risultato prodotto dalla simulazione.

- Entità degli ordini vincolata: nella simulazione si è deciso di non dare la facoltà ai buffer di disaccoppiamento di emettere ordini qualsiasi entità (per i motivi già discussi precedentemente). Nella realtà, infatti, non sempre è possibile emettere degli ordini di entità particolarmente elevata, in quanto questi potrebbero mettere in crisi la gestione delle scorte del buffer a cui le quantità sono richieste o l'erosione della capacità produttiva dedicata ad altri prodotti. Gli ordini corposi sono nella maggior parte dei casi suddivisi giornalmente al fine di preservare l'integrità della pianificazione aziendale. Essendo situazioni molto dipendenti dalla casistica considerata e non essendo possibile reperire informazioni sulle logiche adottate in materia per il prodotto considerato nel caso di studio per l'orizzonte temporale considerato, si è dunque scelto di limitare l'entità degli ordini. Si noti che, dal momento che, come si potrà notare, sono stati considerati i vincoli di capacità produttiva del particolare, questa è un'assunzione a sfavore del DDMRP: a prescindere dall'entità dell'ordine, le quantità del prodotto richiesto sono prontamente spedite dal buffer di disaccoppiamento che le ha domandate.
- Produzione completa dell'ordine prima della spedizione: prima di essere spedite, sono prodotte tutte le quantità di un ordine, a prescindere dall'entità. Nella realtà, specialmente se gli ordini sono di corporosa entità, al fine di preservare il flusso continuo dei materiali, le quantità sono spedite in più tranches anche se non è completata la produzione dell'intero ordine, così da smaltirne l'accumulo. Si può anche decidere di spedire parte dell'ordine al fine di riempire un mezzo contenente altri prodotti, così da pagare il trasporto sulla base delle tariffe di FTL (Full Truck Load), naturalmente ridotte rispetto a quelle per LTL (Less Truck Load). Alla stregua del ragionamento seguito nel punto precedente, tuttavia, queste decisioni sono molto dipendenti dalla casistica considerata e non è stato possibile reperire informazioni riguardo le logiche adottate in materia per l'orizzonte temporale considerato.

4.2. Selezione del particolare

Il particolare selezionato è stato scelto per via di due fattori fondamentali: al momento della scrittura della tesi risulta in produzione da oltre un anno ed ha una domanda settimanale che oscilla tra i 20 e i 30 particolari, quindi una delle più alte in SFC Compositi. È inoltre un particolare assemblato che richiede tre semilavorati, inserti e colle. Essendo il particolare uno dei più prodotti in azienda e da tempo maggiore nel momento del caso di studio, è stato possibile quindi ottenere dati più solidi rispetto a un particolare appena entrato in produzione, avendo anche la possibilità di valutare anche l'approccio alla produzione del particolare in diverse maniere: totalmente internalizzata oppure parzialmente dato in produzione in conto terzi. Queste scelte sono state fatte in base a decisioni di make or buy valutando i costi (allungamento dei lead time, margini di vendita inferiori) e i benefici (guadagno in termini di capacità produttiva, esternalizzazione dei costi della non qualità).

4.3. Filiera logistica dei particolari e distinta base

La diversità delle materie prime in distinta base utilizzate in diverse fasi della produzione (fibra di carbonio, inserti plastici e vernici specifici per il particolare, ausiliari di laminazione e viteria condivisi con alcuni altri) è causa di un processo di approvvigionamento dai lead time molto differenti gli uni dagli altri, dando a ogni materiale un diverso tipo di priorità in fase di riordino e stoccaggio. Infatti, gli EOQ di ogni materiale sono differenti in base ai consumi ma soprattutto in base al lotto minimo di riordino. Il particolare ha due varianti, una con finitura opaca e una con finitura lucida (Matte e Shiny). L'unica differenza è nel processo di verniciatura, nelle fasi precedenti sia il processo produttivo sia la distinta base sono uguali. Le due varianti sono ordinate in maniera esclusiva, un ordine del particolare Shiny può essere ricevuto solo in date differenti rispetto a quello del particolare Matte. Nella figura di seguito riportata è possibile vedere la distinta base del particolare divisa per livelli.

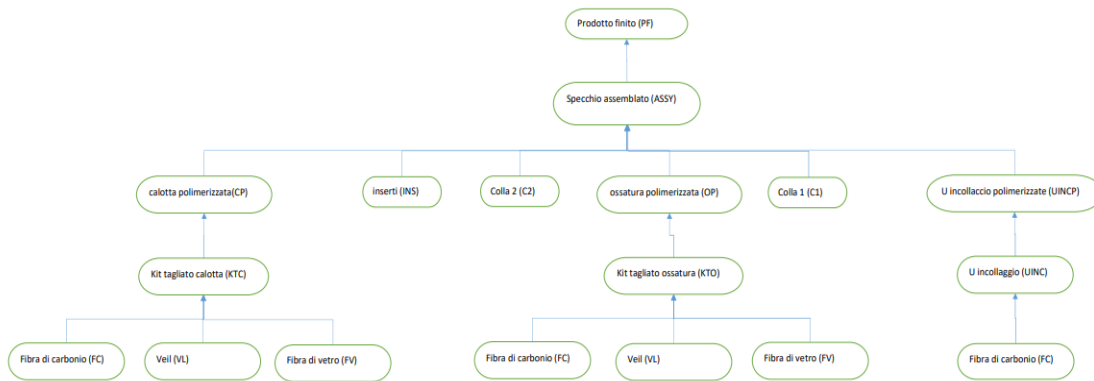


Figura 4.1: Distinta Base dello specchietto retrovisore Lamborghini

4.4. Criteri di selezione dei punti di disaccoppiamento

In questo paragrafo si esploreranno i principali fattori che influenzano il posizionamento dei punti di disaccoppiamento all'interno della filiera logistica e produttiva. questa scelta impatta sulle performance della gestione della supply chain: livello di servizio offerto, ammontare del capitale circolante, costi di trasporto, capitale immobilizzato, flussi di cassa e ROI.

In quanto decisione strategica, non vi sono regole e definite o applicabili ad un generico contesto applicativo, ma piuttosto principi guida da considerare nel processo decisionale. Di seguito sono riportati i sei fattori che giocano un ruolo fondamentale nella scelta del posizionamento:

- Tolleranza del cliente: è il tempo che il cliente è disposto ad attendere da quando emette l'ordine a quando intende ritirarlo. Ci si riferisce in questo caso ai buffer di disaccoppiamento presenti a valle della filiera: il tempo che un prodotto (materia prima o semilavorato) impiega per giungere dal buffer di disaccoppiamento più a

valle della filiera al cliente, come prodotto finito, deve essere inferiore del tempo di tolleranza del cliente. nel caso in cui questo tempo di tolleranza sia nullo, ciò significa che il buffer di disaccoppiamento va inoltre necessariamente inserito sul prodotto finito, così che il cliente possa immediatamente ritirarlo nel momento in cui lo richiede. non è però questo il caso di SFC Compositi, sia a causa del fatto che opera nel mercato B2B sia a causa delle lunghe e numerose lavorazioni a cui deve essere sottoposto il particolare (di cui è a conoscenza anche il cliente).

- Orizzonte di visibilità della domanda cliente: maggiore è l'orizzonte temporale in cui si conosce la domanda cliente, minore è la quantità di buffer di disaccoppiamento necessari. Infatti, una maggiore visibilità implica in genere una maggiore accuratezza della domanda cliente, dal momento che non c'è bisogno di fare delle previsioni.
- Variabilità esterna: si tenga presente che buffer di disaccoppiamento nascono al fine di contenere la variabilità dell'ambiente esterno e non consentirne la propagazione. Sono individuabili due tipi di variabilità:
 - Variabilità della domanda: ovvero il numero di picchi di domanda di prodotto finito presenti nel tempo di tolleranza del cliente. Può anche essere valutata a partire dal confronto del forecast effettuato con le quantità effettivamente vendute, mediante l'utilizzo di indici per valutare l'accuratezza della domanda come il Mean Absolute Deviation (MAD). In assoluto, se la domanda cliente è molto variabile, è altamente suggerito posizionare dei punti di disaccoppiamento a valle della filiera così da non consentire la propagazione e l'amplificazione di tale variabilità tramite l'effetto bullwhip. Nel caso di studio la domanda del cliente non è caratterizzata da alta variabilità, la è invece la domanda di semilavorati e materie prime a valle del processo produttivo
 - Variabilità della fornitura: dipende dalla affidabilità dei fornitori e dal potere contrattuale delle parti. Può essere valutata confrontando le date a preventivo e a consuntivo dell'arrivo degli ordini di fornitura, dalla frequenza dei ritardi o degli

anticipi, dagli sconti offerti. È sempre consigliato in genere di posizionare dei buffer sui prodotti forniti da terzi, così da isolare il sistema dalla variabilità da loro generata e dunque dal processo produttivo.

- Flessibilità delle scorte: nel contesto generale della produzione, in relazione alla struttura della distinta base (DiBa), inserire un buffer di disaccoppiamento in corrispondenza di determinati prodotti consente di garantire flessibilità all'intera filiera. Rientrano in questa categoria quelli comuni alla DiBa di più prodotti finiti (punti di divergenza): è necessario, infatti, in questo caso prevedere una certa flessibilità delle scorte, in quanto i prodotti finiti di cui essi fanno parte potrebbero avere tassi di consumo e frequenza di picchi di domanda molto differenti. I picchi non sono però presenti nelle matrici di domanda di SFC Compositi, in quanto è stato verificato che l'orizzonte degli ordini è abbastanza lungo e le modifiche non sono così improvvise e numericamente rilevanti da creare picchi nella curva della domanda. Inoltre, ogni semilavorato è correlato a uno e un solo prodotto finito per natura stessa del mercato, semplificando enormemente le matrici di domanda del cliente e il processo logistico. Centralizzando la gestione delle scorte si aggregano differenti fonti di incertezza e, se le singole domande sono indipendenti fra loro, l'incertezza sulla domanda aggregata è inferiore alla somma delle incertezze sulle singole domande (effetto del risk pooling) seppure nel caso preso in esame, a causa della specificità dei particolari presi in esame essi non sono nemmeno venduti a più di un cliente. Generalmente anche nei prodotti assemblati (punti di convergenza) vi è il bisogno di garantire una certa flessibilità, specialmente se ai buffer dei prodotti da assemblare non sono associati punti di disaccoppiamento: questi semilavorati infatti sono critici, vista la sincronia con cui i componenti devono essere disponibili.

Considerazioni di questa natura sono maggiormente rilevanti e delicate, quanto più complessa è la struttura e la grandezza dell'intera azienda.

- Protezione delle operazioni critiche: ci si riferisce ai prodotti in cui vi siano limitazioni particolarmente stringenti sulla capacità produttiva o relativamente alte percentuali di scarto a seguito dei controlli di qualità. Entrambe le situazioni danno origine a variabilità, la cui propagazione e amplificazione è contenuta da un buffer di disaccoppiamento. Questo punto è particolarmente critico nella decisione di posizionamento dei punti di disaccoppiamento in SFC Compositi: infatti si è potuto riscontrare sia con esperienza diretta sia come analisi del tipo di lavorazione effettuata in azienda (ovvero della fibra di carbonio, come già discusso nei capitoli precedenti) in quanto il numero di stampi limita la capacità produttiva e le prime fasi di lavorazione sono caratterizzate da alte percentuali di scarto.

4.5. Orizzonte temporale e scelta del time bucket

Il time bucket scelto è quello bisettimanale poiché sulla base dell'esperienza maturata in azienda è il time bucket più approssimabile alle rilevazioni fatte sul campo. Difatti è stato concordato con gli operatori, dovendo attualmente inserire manualmente i consuntivi degli ordini di lavorazione, di far eseguire i versamenti di lavorazione bisettimanalmente. Per quanto riguarda l'orizzonte temporale si è scelto di considerare la produzione del particolare da gennaio 2021 fino a giugno 2021, così da avere un campione significativo di produzione. Infatti, i particolari considerati per il periodo sono 520 per un ordine settimanale medio di circa 20 particolari. Inoltre, considerando l'intervallo temporale scelto, possiamo valutare l'evoluzione della filiera produttiva in quanto sono state esternalizzate alcune fasi produttive per i motivi discussi nei paragrafi precedenti.

È stato esternalizzato il processo combinato di laminazione, insaccaggio e ciclo in autoclave, (reintegrandolo nella settimana 19) conseguentemente a delle analisi economiche considerando i pro e i contro della situazione descritti precedentemente. Brevemente possiamo riassumere dicendo che i fattori fondamentali per la decisione sono

stati l'aumento della capacità produttiva nelle fasi interessate e l'assegnazione delle responsabilità degli scarti al terzista.

5 Dati in input

In questo capitolo si tratterà dei dati utilizzati in input per costruire il modello sviluppato all'interno del foglio Excel "DDMRP_SIMULAZIONE" (a cui ci si riferisce all'interno del lavoro di tesi anche come tool Excel) secondo il manuale di utilizzo del DDMRP, e verranno descritte le logiche sottostanti alla loro selezione.

5.1. Domanda del cliente

L'intera logica DDMRP è basata sulla domanda cliente di prodotti finiti, che traina il consumo e gli ordini generati da tutti i buffer coinvolti della filiera (motivo per quale è chiamato appunto Demand Driven MRP), dipendentemente da come questi sono collegati l'un l'altro. Sulla base della richiesta dei prodotti finiti è calcolato il consumo dei buffer di riferimento e, grazie allo storico delle quantità in uscita e sulla base della domanda cliente futura, in ogni time bucket sono inoltre calcolati ADU e Qualified Demand, colonne portanti del DDMRP.

Per il caso di studio sono stati forniti dall'azienda lo storico degli ordini del prodotto considerato, nelle quali è contenuto lo storico delle quantità in uscita, la data di uscita, e la data attesa dal cliente di evasione dell'ordine, per ogni time bucket, la domanda cliente futura conosciuta nell'istante di tempo considerato. Tali matrici sono caratterizzate da time bucket settimanali, precisamente in un orizzonte temporale di sei mesi, dalla settimana 1 del 2021 alla settimana 26 del 2021; è stato fornito inoltre uno storico, sempre dei sei mesi considerati, del passaggio dei particolari tramite alcune fasi della produzione: il taglio dei kit e il primo controllo qualità. Considereremo tuttavia una produzione costante nella settimana (in caso di produzione interna) per le fasi più lunghe, è stato infatti osservato come la fase di controllo qualità tenda ad accorpate i particolari simili da controllare e quindi ci siano giorni dove non ne sono controllati e altri dove è controllata la produzione di più giorni.

5.2. Part Type

Vedremo l'utilizzo di 3 part type differenti:

- Purchased: sono i materiali acquistati per la produzione del particolare, possono essere a loro volta materiali, ausiliari di produzione (come colle, sacchi, resine) o inserti (plastici o metallici)
- Manufactured: sono i particolari prodotti dall'azienda, attendono ulteriori lavorazioni o l'assemblaggio per ottenere il prodotto finito
- Sold: ovvero il particolare richiesto dal cliente tramite l'ordine.

Nella tabella seguente si potranno vedere i part type assegnati ai part number considerati.

Prodotto	Part type
PF	sold
ASSY	manufactured
CP	manufactured
OP	manufactured
UINCP	manufactured
C1	purchased
C2	purchased
INS	purchased
KTC	manufactured
KTO	manufactured
UINC	manufactured
FC	purchased
VL	purchased
FV	purchased

5.3. Lead Time e Decoupled Lead Time (DLT)

Nel caso di studio sono individuati due tipi di lead time

- Lead time di produzione: è definito come il tempo utilizzato per produrre un particolare, dal momento in cui è emesso l'ordine al momento in cui è terminato.

Questo lead time, è ovviamente dipendente dal tempo di processamento della singola unità, ovvero il tempo ciclo, e dall'eventuale tempo di setup e preparazione della linea, nonché dai tempi "morti" o di coda che nella produzione della fibra di carbonio sono rilevanti a causa della peculiarità del processo produttivo

- Lead time di trasporto: ovvero il tempo che intercorre fra l'inoltro dell'ordine di acquisto e l'arrivo del carico a destinazione. È dipendente dalla posizione e dall'affidabilità del fornitore, ma come già detto ai fini del caso studio verrà considerato fisso e verrà approssimato per eccesso in logica conservativa.

Il decoupled lead time (DLT) di un buffer di disaccoppiamento di un part number è invece definito come la somma dei lead time che si interpongono fra il buffer in questione e il buffer di disaccoppiamento che lo precede, e viene calcolato sulla base della letteratura [11] come:

$$T_{setup} + cycle\ time * ordine\ medio$$

I Lead time sono stati approssimati per eccesso, dato che il tempo di produzione è una frazione del time bucket considerato nel caso studio.

5.4. Imposed o Desired Order Cycle (IOC/DOC)

L' IOC e il DOC sono rispettivamente il lasso di tempo che, per ragioni esterne di differente natura (quali per esempio vincoli generati dal production planning o condizioni di fornitura contrattuali), intercorre fra due ordini e più semplicemente un numero medio di giorni desiderato che si vuole far trascorrere tra un ordine ed un altro. Tale valore può intervenire, in alcune circostanze e dipendentemente da altri parametri, nel dimensionamento della Green Zone e dunque della frequenza e entità degli ordini generati. Nel caso di studio considerato si è deciso però di imporre un DOC ai seguenti part number: ALI E VL, in quanto si è verificato che sono utilizzati per la maggior parte dei particolari prodotti da SFC Compositi e il loro utilizzo periodico è abbastanza costante da giustificare un periodo di riordino fisso. Per gli altri part number si è deciso per il contrario, dal momento che non sono presenti vincoli relativi a questa tematica. Infatti, trattandosi di specchi retrovisori, formati da componenti la cui qualità non deteriora nel breve periodo (come, per esempio, nel caso dell'industria chimica o alimentare), non è stato necessario porre vincoli sulla frequenza degli ordini.

5.5. Minimum Order Quantity (MOQ)

La MOQ è la quantità minima ordinabile di ogni part number dal buffer da cui si rifornisce, ovvero la quantità minima che il buffer al livello immediatamente inferiore delle supply chain è disposto, su richiesta, a spedire o produrre (dipendentemente dalla natura del part number in questione). la MOQ è uguale al batch minimo da produrre nel momento in cui si richiede il prodotto allo stabilimento produttivo, ovvero la quantità minima richiesta per dare il via alle procedure di movimentazione dei materiali utilizzati nel processo di produzione, preparazione e setup della linea produttiva. Nel caso studio la MOQ è stata considerata uguale a 1 per i semilavorati ed i prodotti finiti, data la possibilità (e anche avendo verificato di persona la frequenza di questa occorrenza) di ordinare anche solo un particolare aggiuntivo per coprire domande aggiuntive di clienti o scarti di produzione. Per quanto riguarda le materie prime e gli ausiliari di produzione, essendo questi condivisi con altre DIBA oltre a quella del particolare preso in considerazione, la MOQ è stata calcolata come la proporzione dell'incidenza dei consumi mensili del materiale selezionato per il particolare del caso studio rispetto ai consumi totali per l'ordine minimo che il fornitore considera. Per esempio, fatto 100 il consumo di fibra di carbonio mensile per tutti i particolari e 40mq di fibra di carbonio il minimo ordinabile, se gli specchi pesano per il 30% sul consumo di fibra di carbonio nella produzione mensile tipica allora la MOQ sarà di 12mq. Questo ragionamento è stato applicato a materie prime, colle e inserti. Per quanto riguarda i materiali ausiliari di produzione, è stato assunto lo stesso metodo applicato in azienda: un ordine ogni 4 settimane (o 20 giorni lavorativi) per coprire il fabbisogno previsto. Non avendo questi materiali vincoli di conservazione o di scadenza è stato scelto quello degli ordini periodici, insieme al fornitore, come metodo migliore per gli acquisti. Per quanto riguarda gli inserti, specifici per questo particolare, la MOQ è stata calcolata normalmente.

5.6. Lead Time Category e Lead Time Factor

La Lead Time Category è la categoria fra tre (Short, Medium, Long), su scala nominale, a cui è assegnato ogni prodotto (purchased, manufactured e sold) sulla base della lunghezza del Lead Time. Tale categoria di appartenenza è ciò che determina l'assegnazione ad ogni prodotto di un Lead Time Factor, ovvero di un fattore numerico, appartenente all'intervallo (0,1], responsabile del dimensionamento della Green Zone (maggiore è il Lead Time Factor, più grande è la Green Zone, maggiore è la frequenza di riordino e dunque minore è l'entità degli ordini) e della Red Zone del buffer di disaccoppiamento (maggiore è il Lead Time Factor, maggiore è la Red Base e dunque maggiore è la capacità del buffer di assorbire ordini di grandi dimensioni senza andare incontro a situazioni di stockout). Il fattore assegnato è inoltre dipendente dal Part Type del part number considerato.

Per l'assegnazione dei Lead Time Factor ad ogni prodotto sono presenti nella letteratura di riferimento delle tabelle consigliate, che assegnano un fattore ad ogni Lead Time Category, in relazione al Part Type. La tabella è di seguito riportata.

	Lead time category	Days	Lead time factor
Purchased	Long	10+	0,3
	Medium	3-9	0,5
	Short	1-2	0,7
Manufactured	Long	11+	0,3
	Medium	3-10	0,5
	Short	1-2	0,7
Sold	Long	10+	0,3
	Medium	3-9	0,5
	Short	1-2	0,7

5.7. Variability Category e Variability Factor

La Variability Category è la categoria fra tre possibili (Low, Medium, High), su scala nominale, a cui è assegnato ogni part number sulla base della variabilità che lo caratterizza. Nel particolare, in relazione al tipo di part number il concetto di variabilità assume diversi significati:

- Nel caso di prodotti acquistati da terzi, la variabilità deve essere rapportata al grado di affidabilità del fornitore di tali prodotti, può essere calcolata in base ai ritardi medi sugli ordini e/o sul livello di servizio ottenuto, nonché sulla flessibilità ai cambiamenti
- Negli altri casi (beni venduti direttamente al cliente, prodotti internamente o trasportati fra diversi stabilimenti aziendali), la variabilità deve essere rapportata alla quantità di picchi di domanda che il buffer di un part number deve essere in grado di soddisfare e la frequenza con cui essi sono individuati. È necessario ricordare che, nella logica DDMRP, un picco di domanda è definito come una quantità della domanda cliente superiore ad una soglia fissata, denominata Order Spike Threshold, in un orizzonte temporale futuro pari allo Spike Horizon. Tale quantità è presa in considerazione e dunque conteggiata all'interno della Qualified Demand.

La Variability Category è ciò che determina l'assegnazione ad ogni part number di un Variability Factor, ovvero di un fattore numerico, appartenente all'intervallo $[0,1]$, responsabile del dimensionamento della Red Zone del buffer di disaccoppiamento (maggiore è il Variability Factor, maggiore è la Red Safety, maggiore è la capacità del buffer di assorbire improvvisi ordini di grande entità e/o fare fronte alla variabilità sulla fornitura senza andare incontro a situazioni di stockout). Dal momento che, come sopra citato, la variabilità caratteristica di un prodotto dipende dalla sua natura, anche in questo caso il fattore varia a seconda del Part Type del part number.

Analogamente alla sezione precedente, per l'assegnazione dei Variability Factor ad ogni part number sono presenti nella letteratura di riferimento delle tabelle consigliate, che assegnano un fattore ad ogni Lead Time Category, in relazione al Part Type. La tabella è di seguito riportata.

	variability category	variability factor
Purchased	High	0,7
	Medium	0,4
	Low	0,2
Manufactured	High	0,7
	Medium	0,4
	Low	0,2
Sold	High	0,7
	Medium	0,4
	Low	0,2

5.8. Buffer Profile

Sulla base di Part Type, Lead Time Category e Variability Category vi sono 27 possibili configurazioni di buffer di disaccoppiamento associati ad ogni part number, denominate Buffer Profile, riportate nella tabella di seguito riportata.

		Part type				
		Purchased	Manufactured	Sold		
Lead time category	short	PSL	MSL	SSL	low	Variability Category
		PSM	MSM	SSM	medium	
		PSH	MSH	SSH	high	
	medium	PML	MML	SML	low	
		PMM	MMM	SMM	medium	
		PMH	MMH	SMH	high	
	long	PLL	MLL	SLL	low	
		PLM	MLM	SLM	medium	
		PLH	MLH	SLH	high	

5.9. ADU Past Horizon

L'ADU Past Horizon è l'orizzonte temporale dello storico dei volumi (prodotti, spediti o consegnati al cliente, dipendentemente dalla natura del part number considerato), espresso in giorni, preso in considerazione per ogni part number per il calcolo dell'ADU.

Nel caso di studio si è deciso di porre l'ADU Past Horizon uguale a 0 per ogni part number e per ogni time bucket lontano dal time bucket di fine simulazione. Si è scelto di considerare l'ADU past horizon nei time bucket di fine simulazione, quando l'ADU future horizon non è disponibile a causa della mancanza di dati. È stato possibile fare questa scelta a causa dell'assunzione fatta nel capitolo precedente, ovvero che a causa della sostanziale regolarità della domanda da una settimana all'altra lo storico della domanda è altrettanto utile per calcolare la domanda media quanto la domanda futura. La domanda risulta regolare in quanto è stato possibile verificare, per il particolare preso in esame, che il cliente, dopo un periodo di ramp-up della produzione avvenuto nella seconda metà del 2019, ordina quantità comprese tra i 15 e 30 particolari a settimana, ovvero quantità già presenti nella simulazione. Ricordiamo inoltre come il DDMRP sia un algoritmo il cui obiettivo è quello di assorbire la variabilità proveniente da monte della catena logistica e produttiva, quindi risulta ovvio che, essendo un algoritmo robusto, è stato possibile effettuare questa scelta.

5.10. ADU Future Horizon

L'ADU Future Horizon è l'orizzonte temporale futuro della domanda di ogni part number, espresso in giorni, preso in considerazione per il calcolo dell'ADU.

Nel caso di studio si è deciso di porre l'ADU Future Horizon uguale a 25 giorni lavorativi, cioè di 5 settimane complete, per ogni part number e per ogni time bucket. Tale scelta è da ricercarsi nella volontà di offrire una visibilità, in ogni time bucket, a cavallo fra due mesi differenti pur rispettando la natura dei dati di input della domanda cliente (forniti su time bucket settimanali). Aggiungere un'altra settimana (cioè ADU Future Horizon = 30) sarebbe inefficiente sia perché al crescere del periodo di osservazione aumenta l'inaffidabilità della domanda cliente, sia perché ciò farebbe accrescere ulteriormente la quantità di dati sulla

quale è calcolata la media; quest'ultimo aspetto renderebbe infatti l'ADU meno sensibile ad oscillazioni della domanda e dunque meno reattivo.

5.11. Spike Horizon

Lo Spike Horizon è l'orizzonte temporale futuro, espresso in giorni, preso in considerazione per il calcolo della Qualified Demand. Quest'ultima è definita come la somma della domanda del time bucket immediatamente successivo e la quantità di eventuali picchi di domanda, individuati nell'orizzonte Spike Horizon. La Qualified Demand è una componente (negativa) della Net Flow Position ed ha il compito di fare un prospetto del consumo futuro, al fine di emettere in anticipo ordini atti al suo soddisfacimento.

Con questa premessa, la Spike Horizon di ogni part number, anche in relazione a ciò che la letteratura suggerisce, è stata calcolata come $\text{Spike Horizon} = \text{DLT} + 1$. In questa maniera, infatti, se all'interno di questo orizzonte temporale è rilevato un picco di domanda, il buffer ha il tempo di emettere un ordine che riesca per tempo a giungere a destinazione ed evitare così possibili situazioni di stockout.

5.12. Order Spike Threshold

La Order Spike Threshold è la soglia al di sopra della quale, nell'orizzonte temporale Spike Horizon, la quantità di una domanda cliente futura è considerata un picco di domanda e dunque conteggiata all'interno della Qualified Demand. Si ricorda che sono presenti in letteratura tre diversi modi per valutare la Order Spike Threshold, di seguito richiamati [11]:

1. $OST1(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = 0,5 * \text{Red Zone}(t)$
2. $OST2(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = \text{Red Base}(t)$
3. $OST3(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = 3 * \text{ADU}(t)$

Nel lavoro di tesi si è deciso di optare per OS3 per ogni part number per ogni time bucket.

5.13. Starting On-Hand

La Starting On-Hand è la quantità di prodotti (materie prime, semilavorati e prodotti finiti) presente in magazzino all'inizio dell'orizzonte temporale della simulazione. La decisione di tale valore risulta molto critica ai fini del risultato generato dalla simulazione, in quanto rappresenta la posizione iniziale del livello del magazzino ed è quindi responsabile dell'entità del primo ordine generato e del momento in cui questo sarà emesso. Infatti, una Starting On-Hand eccessivamente ridotta causa la generazione di un ordine elevato nel primo time bucket della simulazione che, se non controbilanciato da un consumo proporzionato successivamente, dà origine ad un periodo di overstock considerevole, indesiderato ed ingannevole ai fini dell'analisi comparativa dei livelli di magazzino. Si è quindi deciso di fare iniziare la simulazione la prima settimana dell'anno, subito dopo l'inventario di fine anno per avere una posizione iniziale il più accurata possibile.

5.14. Starting On-Order

Lo starting on order è la quantità di prodotti (materie prime, semilavorati e prodotti finiti) non ancora in produzione/presenti in magazzino ma di cui è già stato effettuato un ordine, che sia di produzione o a fornitori. Come per lo starting on-hand, si sono presi i valori di partenza alla data dell'inventario fisico aziendale 2020, così da poter avere un valore accurato a questo dato. È possibile trovare i valori di starting on order all'interno del foglio "INPUTS" del tool Excel.

5.15. Cycle Time

Il Production Cycle Time, dato presente per i part number di categoria Manufactured, Transit e Sold, è il tempo, espresso in minuti, impiegato per la produzione dell'unità di prodotto a partire dal part number del buffer precedente ed eventualmente altri componenti (nel caso dell'assemblaggio del prodotto finito: esso è processato a partire dal corrispettivo modulo, del buffer precedente, e da tutti gli altri componenti utilizzati).

I dati forniti necessari per la simulazione non sono aderenti a quelli individuati in azienda, in quanto dati sensibili e non liberalmente divulgabili, sebbene si conservino le proporzionalità tra i tempi di produzione. Al fine di dare un'idea dei tempi in questione, è possibile inoltre fornire due informazioni sommarie a riguardo: I tempi di produzione di ogni prodotto presente sono dell'ordine di grandezza delle ore minuti per unità, ed inoltre i tempi di produzione sono sensibilmente inferiori al lead time.

5.16. Scrap Rate

Lo Scrap Rate, presente per i part number di categoria Manufactured, Transit e Sold, è la percentuale di prodotto scartati nella fase di produzione dei pezzi. Tale dato è preso in considerazione per il calcolo degli ordini generati da ogni buffer di disaccoppiamento, che devono tenere conto del fatto che nel processo produttivo del pezzo in questione, non tutte le unità saranno da considerarsi accettabili. Alcuni processi produttivi hanno tassi di scarto più alti di altri, come descritto nei paragrafi precedenti, mentre lo stesso processo produttivo (ad esempio la laminazione, insaccaggio e autoclave) ha due tassi di scarto differenti in base al fatto che la produzione sia interna o esternalizzata. Infatti la produzione esternalizzata, sebbene sia soggetta ad un controllo di accettazione a tappeto (giustificato dal basso volume produttivo dettato dalla domanda del cliente e dalla qualità attesa dal cliente stesso) al momento dell'arrivo presso SFC Compositi è già stata controllata dal terzista e sono pertanto già stati scartati la maggior parte dei particolari KO. Sono di seguito riportati i valori per ogni materiale del caso studio.

Prodotto	Scrap rate
PF	5%
ASSY	3%
CP	20%
OP	14%
UINCP	3%
C1	3%
C2	3%
INS	0%
KTC	5%
KTO	5%
UINC	3%
FC	3%
VL	3%
FV	3%

5.17. Unitary Cost

L'Unitary Cost è il costo unitario del part number considerato. Tale dato è utilizzato nell'analisi economica per stimare l'ammontare di capitale immobilizzato delle unità in magazzino.

Non è esplicitamente possibile elencare i costi unitari dei prodotti del caso di studio, in quanto dati sensibili e non liberalmente divulgabili. Al fine di dare un'idea dei dati in questione, è possibile fornire due informazioni sommarie a riguardo:

- L'ordine di grandezza dei costi unitari spazia dalle decine di euro (per materie prime e inserti), alle centinaia di euro (per semilavorati e prodotti finiti);
- Naturalmente il costo unitario dei prodotti aumenta con ogni processo produttivo, dato il valore che ogni tipo di lavorazione genera.

Il valore dei part number è inoltre calcolato sulla base del costo di vendita del PF (impostato a 100 per comodità di calcolo) e di conseguenza verranno calcolati tutti i costi di materie prime e semilavorati.

5.18. Demand Adjustment Factor (DAF)

il Demand Adjustment Factor, indicato con $DAF(t)$ è un fattore numerico positivo moltiplicativo eventualmente applicato all'ADU in funzione del time bucket considerato, utilizzato al fine di dimensionare il consumo medio di ogni periodo dell'anno in relazione ai trend della domanda cliente. Tale fattore è utilizzato per tenere conto principalmente della stagionalità del mercato e della fase di lancio o ritiro di un prodotto nel/dal mercato.

Non essendo presenti nel caso di studio trend di stagionalità della domanda ed essendo la domanda del prodotto finito relativamente prevedibile (quando non già conosciuta a priori) nella misura di dai 15 ai 30 particolari a settimana si è deciso di impostare il DAF ad 1, per ogni part number e in ogni time bucket.

5.19. Red Zone Adjustment Factor (RZAF)

Il red zone adjustment factor è un fattore moltiplicativo positivo applicato alla red zone dei vari decoupling points, utilizzato ove necessario per sovradimensionare quest'ultima nei buffer più critici. L'utilizzo di valori di RZAF maggiori di 1 va considerato alla luce di costi e benefici che esso porta: Incrementando il valore della Red Zone, infatti, si lascia al buffer in questione la facoltà di reagire ad ingenti e improvvisi ordini, senza incorrere in situazioni di stockout. Ciò comporta però ovviamente un costo: incrementare la red zone vuol dire aumentare deliberatamente la giacenza media a magazzino del prodotto, aumentando costi di magazzino e capitale immobilizzato. Nel caso di studio si è deciso di implementare un $RZAF(t) = 1$ per ogni prodotto per ogni time bucket, essendo la più alta variabilità della produzione assorbita adeguatamente dai buffer già presenti senza il bisogno di aumentarli.

5.20. Calcolo dei costi di magazzino

Per effettuare l'analisi comparativa economica fra le logiche aziendali e quelle DDMRP, si sono confrontati gli storici dei livelli di stock ricavati tramite i consuntivi e l'MRP aziendale, per ogni settimana e per ogni part number, con quelli generati dalla simulazione tramite algoritmo DDMRP. Per fornire anche una dimensione economica del confronto e non solo quantitativa, è stato necessario raccogliere i dati relativi ai costi di magazzino. Nel caso di studio sono stati individuate due macrocategorie in cui raggruppare i costi di magazzino:

- Costo del capitale immobilizzato C_c : come da nome, rappresenta il costo generato dall'immobilizzazione del valore monetario delle scorte, che tiene conto del potenziale ritorno economico ottenibile con lo stesso ammontare di capitale. Tale costo è espresso come percentuale del valore economico dell'inventario e tale percentuale (non esplicitamente espressa in quanto dato aziendale sensibile) è stata fornita dall'azienda su base annuale. Dal momento che si vogliono confrontare i livelli di stock ogni fine settimana, tale percentuale nell'analisi economica sarà quindi considerata su base settimanale. Tale costo è stato supposto prudenzialmente con una approssimazione ad un rateo annuale del 8%.
- Costo della gestione e mantenimento delle scorte C_m : come da nome, è il costo generato dalle quantità presenti a magazzino in relazione allo spazio che queste occupano e non al valore monetario delle scorte come C_c .

In tale costo sono compresi:

- Costi dello spazio occupato: 3%
- Costi di elettricità, in cui sono compresi i costi per lo stoccaggio in celle frigo dei part number FC, FV, KTC, KTO, UINC: 3%
- Costo del personale, diretto e di supporto, e del Sistema gestionale che gestisce la logistica del prodotto finito e dei semilavorati presi in considerazione: è stato approssimato, tramite il lavoro effettuato in azienda per lo sviluppo del documento di Cost breakdown sulla base del bilancio 2019, ad un valore pari al 10% del costo del prodotto finito.

Sia il costo C_m che il costo C_c sono, per natura di riservatezza, calcolati in base al costo del prodotto finito (fatto 100 per semplicità) e saranno confrontati in base ai due algoritmi logistici nel capitolo 7.

Abbiamo quindi, all'interno di questo capitolo, illustrato tutti i dati utilizzati in input e l'anagrafica utilizzata all'interno del tool Excel e del lavoro di tesi, senza i quali sarebbe impossibile effettuare una simulazione dal valore significativo. I risultati della simulazione, sulla base di questi input, verranno discussi nel capitolo 7 con anche l'ausilio di grafici.

6. Simulazione del caso di studio tramite MS Excel

Si è effettuata, come lavoro di tesi, la simulazione tramite MS Excel della gestione della logistica tramite algoritmo MRP dell'azienda SFC Compositi (illustrato nel capitolo 2) per confrontarlo con il metodo di produzione attualmente utilizzato. In questo capitolo verrà esplorato il funzionamento del tool Excel utilizzato, così da esplorare in dettaglio la struttura utilizzata. Verranno di seguito descritti in dettaglio i singoli fogli del tool.

6.1. Foglio inputs

Raccoglie tutti i dati in input necessari allo sviluppo della simulazione raccolti dall'azienda e il cui utilizzo è stato consentito, nonché i profili di rischio di lead time e variabilità associati ai particolari. È il “foglio zero” della simulazione, andando a cambiare i parametri verrà modificato anche il risultato della simulazione. Fa riferimento a questo foglio principalmente il foglio “Simulazione” che recupera il profilo associato ad ogni part number per lo svolgimento della simulazione. I dati individuati nel foglio input sono:

- Part number: ovvero l'identificazione di prodotto finito, semilavorati e materie prime tramite una codifica alfanumerica
- Part type: ovvero la tipologia logistica del part number (sold, manufactured o purchased)
- Decoupled lead time: ovvero il lead time di produzione (o di ordine) tra un decoupling point e il successivo, espresso in giorni, per ogni part number.
- Imposed or desired order cycle: ovvero il tempo (in giorni lavorativi) che intercorre obbligatoriamente tra un ordine e il successivo
- Minimum order quantity: ovvero il numero di pezzi di ogni part number minimo per ogni ordine.
- Buffer profile: descritto nei capitoli precedenti, riassume i parametri per il calcolo dei buffer di ogni part number (part type, lead time factor e variability factor).

- ADU past and future horizon: precedentemente descritti in dettaglio, è l'orizzonte temporale utile a calcolare la domanda media giornaliera
- Spike horizon: il tempo in giorni entro il quale viene calcolata la presenza di spike all'interno dell'algoritmo
- Order spike treshold: ovvero la soglia per il calcolo della spike (che viene considerata oltre la soglia) calcolata tramite il OST Multiplicative factor (il fattore moltiplicativo stesso) che è uguale a 3
- On hand e On order: ovvero la quantità a $t=0$ rispettivamente a magazzino e in ordine
- Cycle time: ovvero il tempo di produzione (in minuti) per ogni part number di tipo manufactured e sold
- Scrap rate: ovvero il tasso di scarto per ogni part number in percentuale sui pezzi prodotti
- Pieces/box: ovvero il numero di pezzi per ogni part number contenuti in una scatola
- Occupied space: ovvero lo spazio in MQ occupato da una scatola o da un pallet
- Unitary cost: ovvero il costo unitario per ogni part number.

6.2. Foglio ADU

Viene utilizzato per calcolare, in base alla domanda del cliente, la presenza di eventuali order spike e quindi la qualified actual demand, dato necessario nel foglio simulazione. Per fare ciò ci sono due strade: per il part number PF è stata fornita dall'azienda la domanda del cliente, che è stata riportata nella riga "domanda cliente". Per i semilavorati e le materie prime, invece, la domanda dei "figli" è uguale alla quantità ordinata (scarti compresi) del part number padre. Con questo dato in input il foglio calcola la Average Demand sull'orizzonte temporale precedentemente scelto (20 giorni) facendo una media dei valori di domanda nel time bucket attuale e i 19 successivi. Questo dato viene utilizzato per calcolare la presenza di spike (se il valore è uno spike $QAD(t)=ordini(t)$, altrimenti $QAD(t)= ordini(t) + SPIKE$ (se presente). Questo dato viene utilizzato nel foglio

“simulazione” come dato in input nella riga “Qualified Demand” del part number corrispondente.

6.3. Foglio RZAF

In questo foglio è inserito il dato in input Red Zone Adjustment Factor utilizzato nel foglio “Simulazione”, che come descritto nel capitolo precedente è uguale a 1 per ogni time bucket di ogni part number. Si è scelto di includere comunque questo foglio per inserire il RZAF come parametro che incide sulla simulazione in caso si voglia far variare.

6.4. Foglio DIBA e Lead Time

In questo foglio è presente una rappresentazione visiva della distinta base del prodotto finito preso in esame (già presente nei capitoli precedenti), nonché due tabelle rappresentanti i consumi di materie prime e per ogni semilavorato e i lead time associati alla produzione. Vuole essere un aiuto al lettore (nonché al tesista) per reperire più facilmente informazioni durante la consultazione del file. Oltre alla composizione della DiBa, è presente inoltre la descrizione delle attività produttive necessarie per la lavorazione dei semilavorati e delle materie prime per la realizzazione del prodotto finito.

6.5. Foglio Consuntivo

In questo foglio sono presenti i calcoli fatti sulla base dei dati forniti a consuntivo riguardanti la produzione di SFC Compositi. Sono presenti quantità e date di ordini evasi, ritardi e rilevamenti di produzione che è stato possibile reperire Presso SFC.

6.6. Foglio Costi di magazzino

In questo foglio sono riportati, per ogni part number, i valori per ogni time bucket di magazzino. È stato quindi possibile calcolare i costi associati ad ogni time bucket dei magazzini per ogni part number, facendo un confronto tra le due logiche di riordino.

6.7. Foglio grafici di magazzino

In questo foglio, seguendo le istruzioni riportate, è possibile consultare i due grafici di magazzino, ovvero il grafico riguardante la Net flow position rispetto alle tre zone rossa, gialla e verde e il grafico riguardante il valore di On Hand, rispetto alle cinque zone (low red, low yellow, green, high yellow e high red). I dati per la compilazione dei grafici sono stati riportati dal foglio “simulazione”

6.8. Foglio MRP

In questo foglio è stato calcolato, tramite il foglio Consuntivo, lo sviluppo dell’algoritmo MRP utilizzato presso SFC Compositi.

Per ogni part number sono stati calcolati i valori relativi a:

- Domanda del cliente/di prodotto a valle(t): è la domanda che arriva da valle del part preso in considerazione, scarti inclusi
- Projected inventory(t): è il magazzino, proiettato per ogni time bucket, al momento $t=0$ della simulazione, prende in considerazione solamente le informazioni disponibili a $t=0$, ovvero il valore di Starting on-hand, Starting inbound e domanda a valle
- Inventory(t): è il magazzino effettivo per ogni time bucket. È calcolato come:
$$\text{inventory}(t) = \text{inventory}(t-1) + \text{quantità in arrivo ok}(t) - \text{domanda}(t)$$

- Quantità in arrivo $ok(t)$: è la quantità del part number preso in considerazione in arrivo nel magazzino al time bucket t , può essere ricavata in due modi:
 - Ove esplicitamente presente, è uguale al valore di part number in arrivo a consuntivo, se il dato è stato reso disponibile dall'azienda.
 - Ove non è stato possibile recuperare il dato direttamente a consuntivo, il dato è ricavato dall'utilizzo del particolare a valle. Prendendo l'esempio del part number "ASSY", il valore di quantità in arrivo $(t) = \text{Domanda ASSY}(t + \text{lead time})$. È stato possibile fare questa approssimazione in quanto è stato verificato come il part number ASSY sia prodotto direttamente a partire dalla domanda di PF, da cui deriva per l'appunto il valore "domanda ASSY".
- Quantità in arrivo $ko(t)$: è la quantità del part number preso in considerazione scartata nel processo di controllo qualità a fine lavorazione considerata, è stata fornita a consuntivo dall'azienda.
- Quantità richiesta con scarti (t) : è la somma delle quantità ok e ko nel time bucket preso in considerazione, va a formare, dove non è stato possibile rilevare giornalmente la produzione a consuntivo, la domanda del (o dei) part number a monte.

6.9. Foglio Simulazione

È il cuore del tool Excel e del lavoro di tesi, in questo foglio, a partire dai dati forniti dal foglio input e dal foglio ADU, vengono calcolati i dati, di seguito riportati insieme alle formule utilizzate, necessari per ottenere i livelli dei magazzini e quindi per calcolare i costi logistici con l'utilizzo dell'algoritmo DDMRP applicato al caso di studio SFC Compositi.

- Time bucket: da 1 a 130 (lo studio è stato effettuato su un orizzonte temporale di 6 mesi, nei quali ci sono 130 giorni lavorativi).
- ADU: average daily usage, ricavata tramite il foglio ADU
- DAF: demand adjustment factor, la cui funzione è spiegata nel dettaglio all'interno del capitolo 5

- Lead Time Factor (pezzi): utilizzato per il calcolo della Green zone, calcolato come:
 $LTF(t) = DAF * LTF * ADU(t)$
- MOQ: minimum order quantity (vedi 6.1).
- I/D order cycle (vedi 6.1).
- Green zone: viene calcolata come $green\ zone(t) = MAX(MOQ, I/D\ order\ cycle, LFT(t))$.
- Yellow zone: calcolata come $yellow\ zone(t) = ADU(t) * DLT$.
- Red base: calcolata come $red\ base(t) = ADU(t) * Variability\ factor * lead\ time\ factor\ red$.
- Red safety: calcolata come $red\ safety(t) = red\ base(t) * variability\ factor$.
- Red zone: calcolata come $red\ zone(t) = red\ base(t) + red\ safety(t)$.
- RZAF: dato in input ricavato dal foglio omonimo.
- OST1: calcolato come $OST1(t) = 0.5 * red\ zone(t)$.
- OST2: calcolato come $OST2(t) = red\ base(t)$.
- OST3: calcolato come $OST3(t) = OST3\ multiplicative\ factor * ADU(t)$.
- Planning priority: ovvero la priorità di pianificazione, calcolata come $planning\ priority(t) = NFP(t) / TOG(t)$.
- Shipped/Demand: è ricavata sulla base della domanda del cliente per il part number PF e sulla base della simulazione per i restanti part number. Per il particolare PF è calcolata solamente di venerdì poiché è il giorno di spedizione al cliente ed è così calcolata: $demand(t) = somma(adu(t-4:t))$. Per i restanti part number figli $demand(t) = order\ with\ scraps(t)$ del part number padre.
- Inbound: i pezzi in arrivo le time bucket t; il valore viene ricavato tramite una funzione che cerca, in corrispondenza del valore sulla riga Request date (TB)=t, se vi è associato un ordine sulla riga Order. Per esempio, nella cella T20 è presente il valore associato alla cella G28, essendo a t=14 ed essendo il valore della cella G29=14.

Inbound (pieces)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45,32
Virtual on hand	0	-4	-8	-12	-16	-20	-24	-28	-32	-36	-40	-44	-48	-6,68	
On hand	45	45	45	45	25	25	25	25	25	5	5	5	5	50,32	
On order	0	45,32	45,32	45,32	45,32	65,32	65,32	65,32	65,32	65,32	85,32	85,32	85,32	40	
Qualified Demand	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Net Flow Position	41	86,32	86,32	86,32	66,32	86,32	86,32	86,32	86,32	66,32	86,32	86,32	86,32	86,32	
NFP to TOG	45,32	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	
Order with scraps	47,59	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Order	45,32	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	
Request Date (TB)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	

Figura 6.1: funzionamento della riga Inbound

- Virtual on hand: calcolato come $VOH(t) = VOH(t-1) + Inbound(t) + on\ order\ starting\ inbound - ADU(t)$.
- On hand: calcolato come $OH(t) = OH(t-1) + Inbound(t) - Shipped(t)$.
- On order: calcolato come $On\ Order(t) = Somma(order(t-DLT;t))$.
- Qualified demand: calcolata tramite il foglio ADU, il cui funzionamento è stato precedentemente spiegato.
- Net Flow Position: calcolato come $NFP(t) = OH(t) + On\ order(t) - Qualified\ Demand(t)$.
- NFP to TOG(t): la differenza tra la NFP e Top of Green in t, calcolato come $NFP\ to\ TOG(t) = TOG(t) - NFP(t)$.
- Order: l'ordine emesso tramite l'algoritmo, è calcolato in tre modi a seconda dei dati in input:
 - calcolato come $Order(t) = NFP\ to\ TOG(t)$, in caso $MOQ(t) = 1$ e DOC/IOC del part number sia uguale a zero.
 - calcolato come $Order(t) = MAX(NFP\ to\ TOG(t); MOQ(t))$ se il part number ha un $MOQ > 0$.
 - calcolato come ordine periodico ogni $IOQ/DOQ * t$ time bucket, se nel time bucket dovrei ordinare allora $Order(t) = somma\ dei\ valori\ on\ order\ tra\ t\ e\ t + IOQ/DOQ$.
- Order with scraps: è l'ordine che il processo a valle riceve, sono quindi inclusi gli scarti attesi, è calcolato come $Order\ with\ scraps(t) = Order(t) * Scrap\ rate$.
- Request date: è la data di arrivo dell'ordine emesso in t, calcolata come $Request\ date(t) = Time\ Bucket(t) + lead\ time$.
- Top of red: calcolato come $TOR(t) = Red\ Zone(t)$.
- Top of yellow: calcolato come $TOY(t) = Red\ Zone(t) + Yellow\ zone(t)$.
- Top of green: calcolato come $TOG(t) = TOY(t) + Green\ zone(t)$.

È poi presente la parte riguardante la esecuzione della simulazione, per il calcolo del buffer status, calcolato come $Buffer\ Status(t) = On\ hand(t) / TOR(t)$. Ovviamente il best case scenario sarebbe avere un buffer status del valore intorno al 100% per ogni time bucket, e

con la costruzione delle curve tramite la tabella “execution” per ogni part number è possibile valutare l’andamento delle scorte, e i relativi costi, in base ai parametri impostati per l’algoritmo MRP.

In questo capitolo è quindi stato illustrato, foglio per foglio, il funzionamento del tool Excel nei minimi particolari, e i risultati ricavati tramite esso verranno discussi nel capitolo successivo.

Discussione dei Risultati

7 Comparazione dei Risultati ottenuti

In questo capitolo verranno discussi i principali risultati ottenuti tramite la simulazione via tool Excel dell'algorithmo DDMRP in applicazione al caso studio SFC Compositi. Dopo una breve panoramica sui risultati attesi sulla base della letteratura, si procederà ad una analisi di dettaglio sui risultati effettivamente ottenuti, sui vantaggi e gli svantaggi dell'algorithmo DDMRP e dell'effettiva applicabilità del sistema presso SFC Compositi. Verrà inoltre fatta una breve introduzione alla possibilità di modificare i parametri in input all'algorithmo.

7.1. Risultati attesi sulla base della letteratura

Come già descritto nei capitoli precedenti, il DDMRP non si propone come la panacea per tutti i problemi causati dall'algorithmo MRP, ma è una sua evoluzione che può ovviare alcuni dei problemi. Con la creazione dei buffer di disaccoppiamento si crea sì una situazione in cui vengono create scorte per attutire la variabilità della domanda, ma come si è spiegato nel capitolo 5 le scorte costano. Essendo inoltre queste ultime dipendenti, tra gli altri parametri, dalla lunghezza del decoupled lead time del part number prescelto, è chiaro come all'aumentare del lead time la dimensione del buffer aumenti. Ci sarà quindi un lead time da quale in poi il buffer calcolato tramite il DDMRP sarà maggiore per dimensione (e quindi per costi) a quello calcolato tramite MRP.

Ci possiamo aspettare quindi, con un buon grado di sicurezza, di avere grossi vantaggi in termini di costi su part number con un lead time basso che vanno a ridursi all'aumentare del lead time. I part number con lead time più basso, per il nostro caso di studio, sono quelli di tipo "manufactured", ovvero prodotti internamente dall'azienda. Essendo di questo tipo, hanno anche una Minimum Order Quantity uguale a 1. È importante ricordarlo in quanto, come per il lead time, MOQ alte portano a dimensionamenti dei buffer maggiori, che a loro volta portano a performance peggiori rispetto all'algorithmo MRP.

7.2. Analisi dei risultati effettivi

Possiamo vedere come, dai grafici esemplificativi sottostanti (e per una visione più di dettaglio è possibile consultare il foglio “grafici magazzini” del tool Excel), le aspettative dettate dalla concezione teorica degli algoritmi siano rispettate: ad un lead time basso corrisponde un livello di magazzino associato all’algoritmo DDMRP più basso rispetto a quello del consuntivo rilevato in azienda. Ciò è inoltre coadiuvato dal fatto che ai particolari con lead time minore è associata una MOQ uguale a 1, che si rispecchia in un dimensionamento minore dei buffer. In questo caso abbiamo, quindi, costi associati minori. Possiamo raggruppare i confronti di risultati in tre categorie:

- Lead time medio-alto e vicinanza al cliente finale, con costi associati al DDMRP leggermente superiori ai costi associati all’utilizzo del MRP
- Lead time medio-basso e vicinanza al fornitore, con costi associati all’utilizzo del DDMRP molto inferiori ai costi associati all’utilizzo del MRP
- Lead time alto, con costi associati all’utilizzo del DDMRP molto superiori ai costi associati all’utilizzo del MRP

Di seguito verranno discussi tutti i costi associati ad ogni singolo particolare, e verranno inclusi i grafici di un part number appartenente ad ogni categoria, rispettivamente PF, FC e CP.

7.2.1. Particolari della prima categoria

I particolari facenti parte della prima categoria sono raggruppati secondo il criterio per cui i costi di magazzino derivanti dall’utilizzo del DDMRP sono più alti, ma dello stesso ordine di grandezza di quelli derivati dai dati a consuntivo aziendale. Di questa categoria fanno parte i part number PF e ASSY, che generano costi più alti rispettivamente del 13% e del 21% tramite l’utilizzo del DDMRP. Tuttavia, il minor costo di questi particolari a magazzino è anche la ragione dei 20 pezzi di ritardo che ha SFC rispetto alla domanda del cliente. La questione del ritardo sarà discussa in dettaglio nei paragrafi successivi. Per ora basti

considerare che, a fronte di una spesa più alta di 92 il DDMRP consente la vendita di ulteriori 20 particolari per un guadagno netto di 400.

Per questi particolari è possibile, e consigliabile, adattare e modificare nel corso del tempo alcuni parametri in input al fine di diminuire lo stock medio di magazzino, data anche la stabilità del livello di stock.

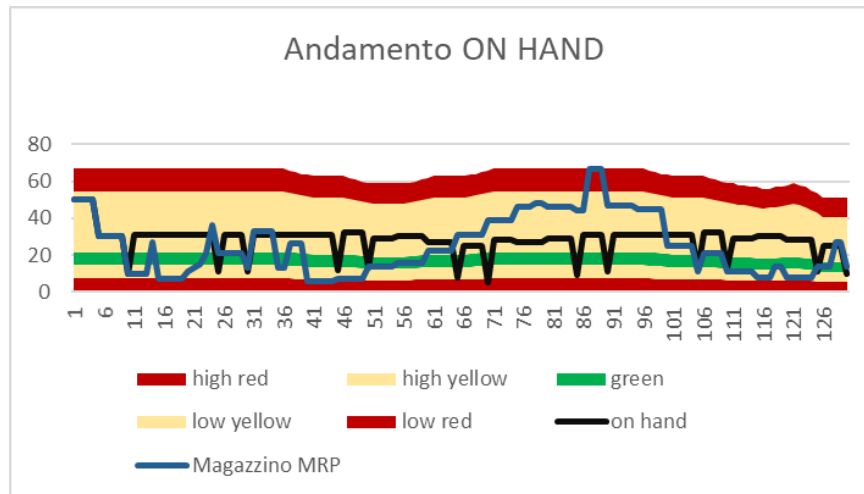


Figura 7.1: grafico di magazzino di PF

Come vedremo infatti nel dettaglio all'interno del capitolo successivo, sebbene per il particolare PF (dal lead time di 10 giorni) i valori di magazzino medio del DDMRP sono leggermente più alti, è però interessante osservare come l'andamento di magazzino on hand (ovvero l'andamento DDMRP) sia molto più regolare di quello del MRP, e si potrebbero quindi potenzialmente cambiare alcuni parametri, ad esempio inserire un yellow zone adjustment factor di 0.8 per ridurre la dimensione della yellow zone. Questa ipotesi, il cui grafico è riportato di seguito, porta ad una riduzione di costi del 25% (passando ad una giacenza media da 28.4 a 21.2) senza mai causare stockout. Analisi di questo tipo saranno affrontate più in dettaglio all'interno del capitolo 8

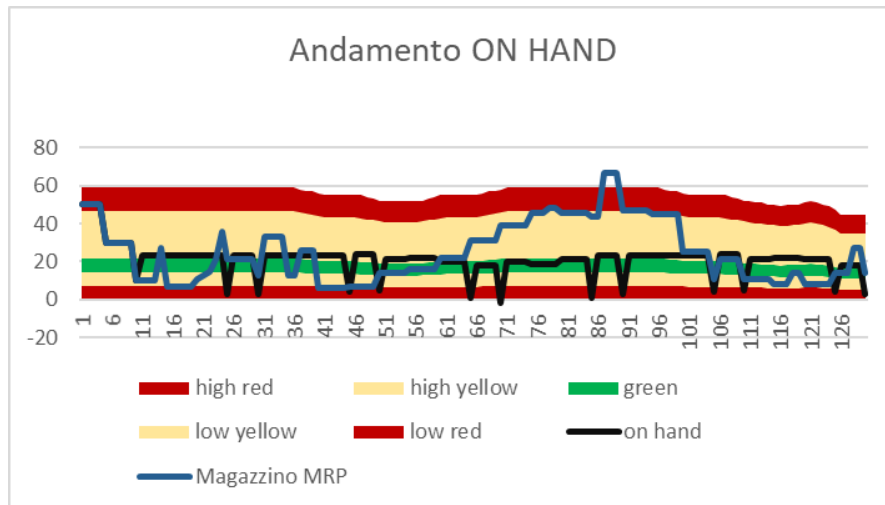


Figura 7.2: grafico di magazzino di PF con inserimento del Yellow zone adjustment factor

7.2.2. Particolari della seconda categoria

Di questa categoria fanno parte i part number dal lead time medio-basso e vicini al fornitore nella catena logistica, ovvero:

- CP
- OP
- UINCP
- C1
- C2
- INS
- KTC
- KTO
- UINC
- FV

Questi sono gli elementi che beneficiano maggiormente dell'adozione dell'algoritmo DDMRP, principalmente a causa del basso lead time (come descritto nella letteratura, il DDMRP funziona meglio in condizioni di lead time basso). Si può notare, sia dalla figura 3

(esemplificativa dell'andamento di tutti i particolari facenti parte di questa seconda categoria) sia dalla figura 5, come ci sia una sostanziale riduzione dei livelli di magazzino mediante l'utilizzo del DDMRP. Per una consultazione più approfondita si rimanda ai fogli "Grafici di magazzino" e "Costi di magazzino" del tool Excel.

Analizzando poi il grafico di uno dei particolari sopracitati (nel caso preso come esempio il part number è CP), è possibile notare già dal grafico come la giacenza media sia minore (in particolare del 58%), confermando le aspettative dettate dalla teoria sul DDMRP.

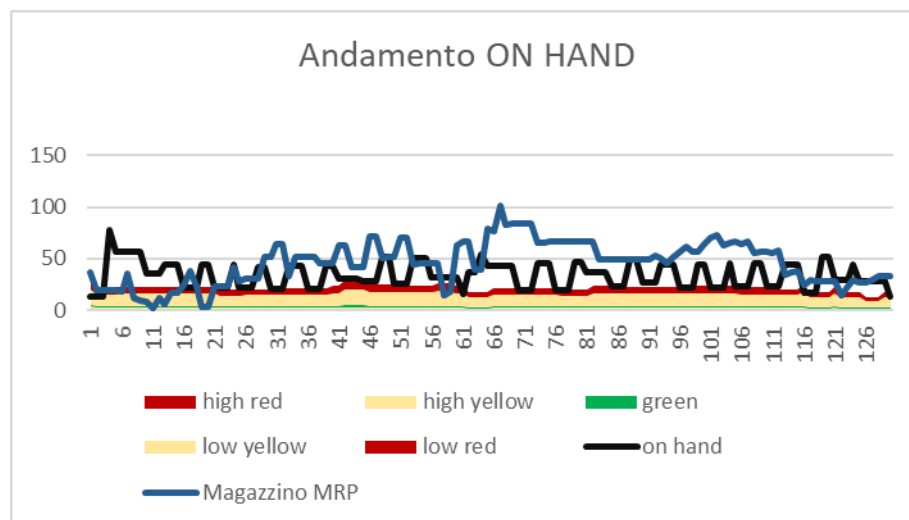


Figura 7.3: grafico di magazzino di CP

Per fornire una visione di insieme sui particolari considerati senza però risultare ridondante, sono forniti per il lettore ulteriori esempi grafici per diverse tipologie di particolari che fanno parte di questa categoria di part number. È stato fornito il grafico di un part number polimerizzato, CP, e di seguito saranno forniti i grafici di un part number kit di taglio, KTC, e di un particolare di tipo purchased, ovvero Colla 2

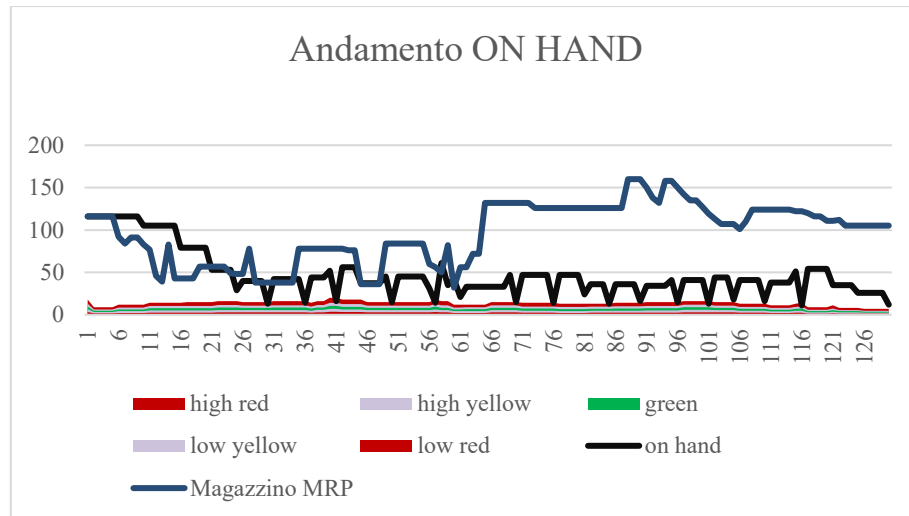


Figura 7.4: grafico di magazzino di KTO

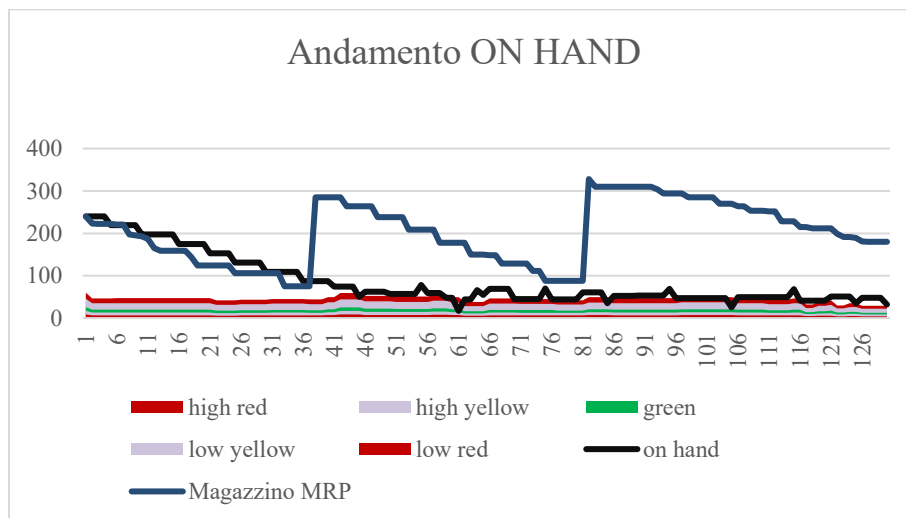


Figura 7.5: grafico di magazzino di Colla 2

Notiamo come, tramite l'algoritmo DDMRP, dalle alte scorte iniziali otteniamo un andamento del livello di magazzino molto più basso e stabile rispetto a quello MRP, andando a confermare le ipotesi basate sulla letteratura a inizio capitolo. Gli ordini sono sì più frequenti, ma al prezzo di un magazzino enormemente gestito meglio.

7.2.3. Particolari della terza categoria

I part number facenti parte di questa categoria devono essere affrontati singolarmente a causa delle condizioni al contorno che li descrivono.

Il part number FC è sicuramente il più interessante dal punto di vista dell'algoritmo DDMRP a causa del problema del suo lungo lead time, che comporta alti livelli delle zone di buffer. Ricordiamo infatti come il calcolo delle tre zone verde, gialla e rossa (per le formule si rimanda al capitolo 6) sia direttamente dipendente dal Decoupled lead time, dalla minimum order quantity, dai fattori moltiplicativi di variabilità e di lead time.

Dalle dimensioni delle zone del buffer, come è stato ampiamente esplicito nei capitoli precedenti, dipende quindi, in base alle formule consultabili nel capitolo 6, la dimensione, e conseguentemente la frequenza, degli ordini.

Nel capitolo 8 saranno discussi i risultati della modifica di questi dati, simulando ad esempio la fornitura da un fornitore italiano invece che estero (con una riduzione sostanziale del lead time).

Nel caso in esame, con i parametri inseriti in input correnti, prendendo in considerazione il part number FC (fibra di carbonio) avente un lead time di 60 giorni lavorativi, vediamo come la giacenza media utilizzando l'algoritmo DDMRP sia in questo caso maggiore di circa il 55 % rispetto al consuntivo aziendale.

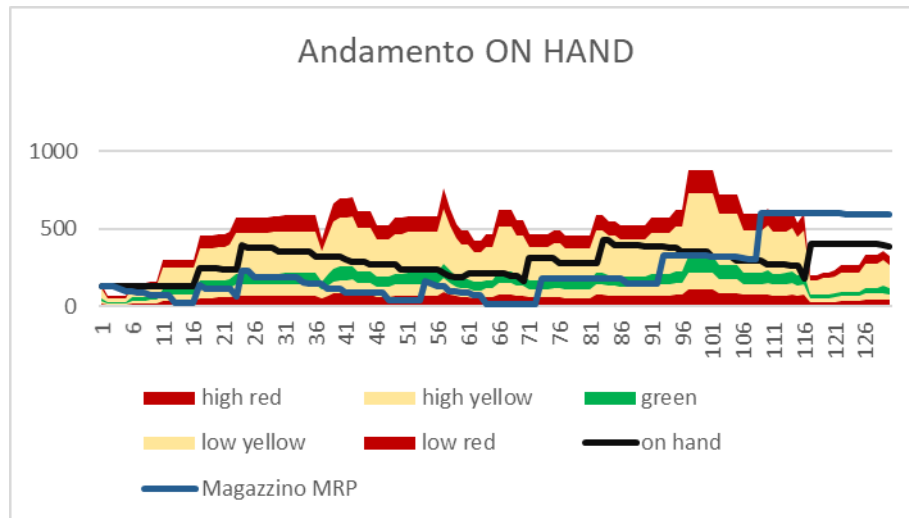


Figura 7.6: grafico di magazzino di FC

Per quanto riguarda il part number Veil, vediamo come il costo di magazzino sia maggiore per il DDMRP rispetto al MRP, ma questo accade per una ragione specifica: il part number ha un costo unitario molto basso e condizioni di stoccaggio molto favorevoli: occupa poco spazio e non necessita di procedure specifiche come gli altri componenti (celle frigo, movimentazione specifica a causa della natura del semilavorato, ordini frequenti a causa della data di scadenza), è stato quindi deciso presso SFC Compositi di effettuare acquisti massivi una volta ogni 300 giorni lavorativi circa. Al momento della scrittura della tesi è presente uno stock considerevole di Veil, che copre la produzione di tutti i sei mesi considerati nell'analisi, rendendo non necessari ulteriori ordini nel periodo considerato. Il costo inferiore è quindi da imputarsi alla produzione di SFC, più concentrata nei primi mesi, rispetto a quella simulata tramite il DDMRP. Vediamo infatti dal grafico sottostante come la pendenza della curva di magazzino MRP sia più pronunciata rispetto a quella del DDMRP.

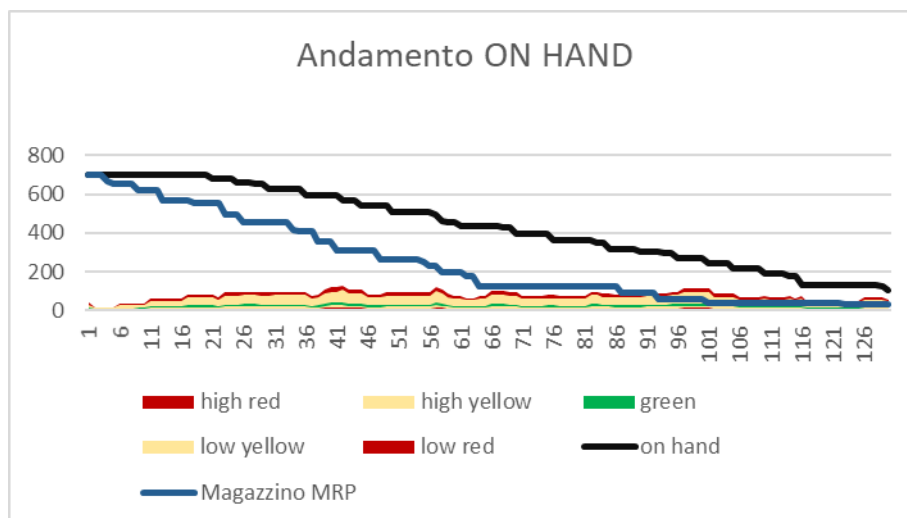


Figura 7.7: grafico di magazzino di Veil

7.3. Analisi dei costi

In questo paragrafo saranno analizzati i costi associati ai livelli di magazzino nelle logiche MRP e DDMRP, andando ad analizzare i molteplici scenari possibili: totalmente MRP, Totalmente DDMRP, Best case scenario.

Nella tabella di seguito è possibile osservare i tre scenari, che verranno successivamente commentati.

Part number	Costo associato DDMRP	Costo associato MRP	Costo Best case scenario	Risparmi/Perdite
PF	439,49	384,75	384,75	14%
ASSY	334,04	233,24	233,24	43%
CP	116,67	161,10	116,67	-28%
OP	86,81	185,29	86,81	-53%
UINCP	5,35	14,51	5,35	-63%
C1	7,79	14,79	7,79	-47%
C2	3,87	9,05	3,87	-57%
INS	36,81	62,86	36,81	-41%
KTC	35,69	55,67	35,69	-36%
KTO	33,26	72,37	33,26	-54%
UINC	8,39	14,08	8,39	-40%
FC	403,52	308,91	308,91	31%
VL	31,01	18,61	18,61	67%
FV	1,12	1,11	1,11	1%
SOMMA	1543,815447	1536,339249	1281,26532	0%

Figura 7.8: tabella riportante i costi di magazzino associati ai part number

Vediamo come nella tabella i part number dal lead time basso abbiano un costo associato all'algoritmo DDMRP inferiore a quello associato all'algoritmo MRP, e all'aumentare del lead time stesso questa relazione viene meno. È possibile notare inoltre come il DDMRP non voglia essere una evoluzione diretta del MRP (infatti non è superiore a quest'ultimo per ogni part number), ma è un metodo da integrare al MRP nelle casistiche in cui può portare un miglioramento delle logiche di magazzino. Infine, infatti, il best case scenario risulta ottenuto tramite la metodologia di gestione del magazzino ibrida superiore ad entrambi gli algoritmi applicati uno alla volta.

7.4. Gestione dei ritardi

Possiamo subito individuare come, in base ai dati di domanda del cliente e di spedizione di SFC Compositi, alla fine del periodo considerato si sia generato un ritardo nel soddisfacimento degli ordini dei clienti di 20 pezzi del part number PF. Questo ritardo genera due tipologie di costo: un costo opportunità e un costo di immagine

Considerando che il particolare finito generi un guadagno netto del 20% rispetto al costo complessivo di produzione, otteniamo che il costo generato dal ritardo, come per il resto della tesi considerando uguale a 100 il costo di produzione di un PF, è di 400. Questo costo va a sommarsi ai costi generati dall'algoritmo MRP, andando ancor di più ad inasprire il divario presente considerando i soli costi di magazzino e di gestione. Mettendo in relazione questo costo con i costi dei part number PF e ASSY, vediamo che sebbene il DDMRP abbia costi di magazzino associati più alti, inserendo i costi associati ai ritardi di produzione otteniamo un vantaggio economico nell'utilizzo del DDMRP. Questo perché, come anche esplicitato dalla letteratura, obiettivo del DDMRP è anche avere un livello di servizio maggiore verso i clienti pur generando costi maggiori dovuti all'esistenza di buffer di disaccoppiamento.

Il secondo costo, ovvero quello di immagine, è più difficile da quantificare. tuttavia, in un mercato come quello in cui opera SFC Compositi è necessario identificarne, quantomeno qualitativamente, le possibili conseguenze e i costi da esse derivate. È stato verificato tramite

esperienza diretta come, nel mercato dei particolari in fibra di carbonio per i settori sportivo e lusso, l'affidabilità dei fornitori sia un criterio decisionale per i clienti tanto quanto il prezzo proposto in fase di offerta. È quindi fondamentale essere in grado di completare gli ordini emessi dal cliente con meno ritardi possibile, per evitare due conseguenze: la diminuzione della reputazione, che può portare a ricevere meno commesse dal cliente, ed una diminuzione del volume degli ordini. Quest'ultima è critica poiché porta ad avere, a parità di quantità totale ordinata, un impegno più lungo in termini temporali della commessa ma un minor fatturato settimanale dovuto ad una minor domanda per time bucket.

8 Elasticità dell'algoritmo

In questo paragrafo verrà discusso in dettaglio una delle più importanti caratteristiche che differenzia il DDMRP da altri algoritmi di gestione delle scorte, ovvero la possibilità di effettuare analisi di sensitività dell'algoritmo al variare dei dati in input. Sono state create più copie del tool Excel originale proprio a questo scopo, ovvero il poter cambiare a piacimento i dati in input per poterne analizzare i risultati. Di seguito verranno esposte alcune delle analisi dai risultati più interessanti effettuate.

8.1. Inserimento di un Zone Adjustment Factor per il particolare ASSY

Questa modifica all'algoritmo, sebbene poco convenzionale, come descritto nel capitolo precedente è stata ipotizzata per via della stabilità della curva di magazzino del particolare preso in considerazione. Questa stabilità è anche la condizione necessaria per poter implementare questa modifica: l'obiettivo è infatti ridurre la giacenza media senza però incorrere in episodi di stockout, e sarebbe impossibile realizzarlo se il componente avesse andamenti di magazzino caratterizzati da picchi e avvallamenti molto pronunciati.

Vediamo dai grafici di seguito riportati come, inserendo degli Zone Adjustment Factor (ZAF) dal valore di 0.6, si riduca la giacenza media di magazzino a valori comparabili a quelli di utilizzo del MRP, riducendo quindi i costi del 25% mantenendo però il livello di servizio derivato dall'introduzione del DDMRP costante. Questo poiché diminuendo la dimensione delle zone, è diminuita anche la soglia critica sotto la quale l'algoritmo emette un ordine di produzione per i part number a monte. Questa modifica genera inoltre, tuttavia, sporadici stockout di particolari a monte. Si rende necessario quindi un processo iterativo che vada a trovare un valore di Zone Adjustment factor tale da massimizzare i risparmi senza generare stockout. Questo valore si assesta su 0.8, generando risparmi di 40 (con costi che passano da 332 a 292) e non creando ulteriori stockout. Un ulteriore approccio potrebbe essere quello a cascata, ovvero, una volta minimizzati i costi di ASSY con un valore di ZAF=0.6, modificare uno per uno i parametri in input dei Part Number nei quali è generato lo stockout.

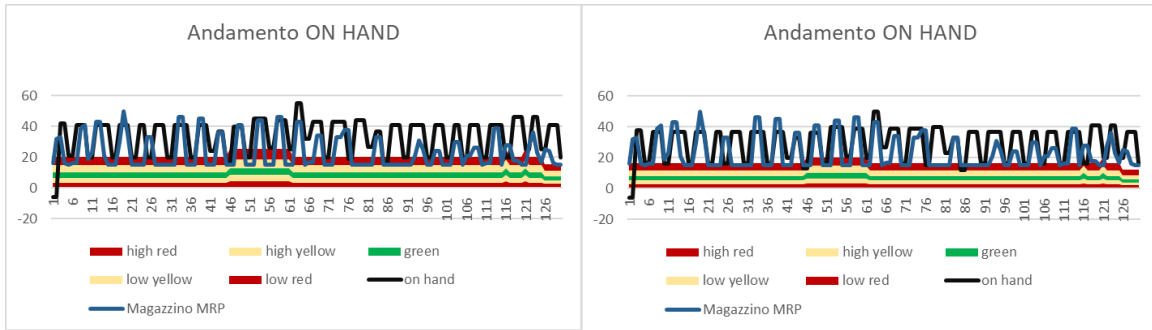


Figura 8.1: confronto di magazzini del particolare ASSY con ZAF=0.8 (a sx) e ZAF=1 (a dx)

8.2. Passaggio da 10 a 3 giorni del lead time del PF

In questo paragrafo viene simulata l'internalizzazione del processo produttivo di verniciatura del particolare PF che comporta, oltre alla diminuzione di lead time e una diminuzione del MOQ da 10 a 1 (senza fornitore esterno è ora possibile produrre un pezzo per volta e non fare ordini da minimo 10 pezzi). Di conseguenza verranno modificati anche il lead time factor e il variability factor nelle categorie Medium e Medium. Vedremo come una domanda maggiore (causata da bisogni maggiori indotti dagli scarti) caratterizzi il tradeoff con una dimensione e quindi costi minori associati al buffer di disaccoppiamento del particolare in questione, e quindi quale decisione sia la migliore.

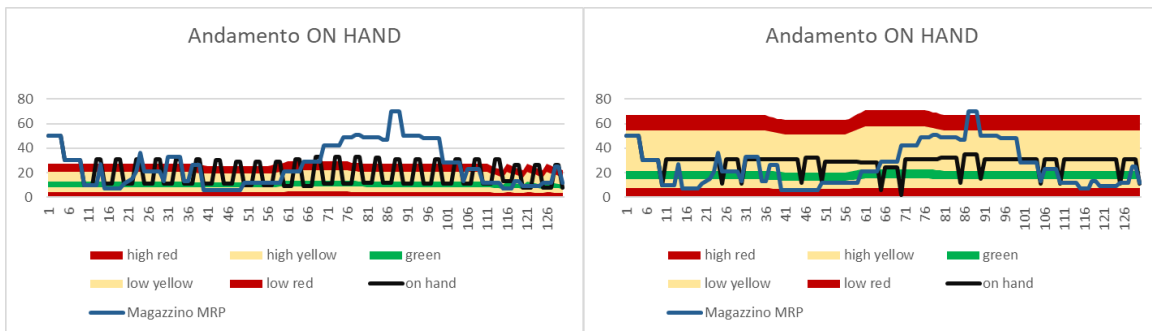


Figura 8.2: Confronto tra livelli di magazzino con Lead time di 3 giorni (a sx) e 10 giorni (a dx)

Vediamo dalla tabella riportata di seguito come, a confronto con la tabella equivalente riportata nel capitolo 7, sul singolo magazzino di PF si generi un risparmio di 141, mentre su

tutta la filiera logistica il risparmio è di 117. Questo perché il nuovo valore di lead time genera un effetto a cascata su tutta la filiera produttiva e logistica, portando ad un aumento della giacenza media del magazzino di FC. Nonostante questo aumento (comunque affrontabile in varie maniere, tra cui una modifica ad hoc dei parametri del deposito o una gestione MRP e non DDMRP) risulta evidente come convenga, se fattibile, internalizzare la produzione per generare meno costi di stoccaggio a parità di utilizzo del sistema DDMRP. Per consultazioni più approfondite si rimanda al file Excel “DDMRP-ANALISI PF” fornito in allegato al lavoro di tesi

8.3. Esternalizzazione della produzione dei particolari polimerizzati

In questo paragrafo viene simulata l'esternalizzazione della produzione dei due part number polimerizzati CP e OP, con un conseguente abbassamento del tasso di scarto e aumento del lead time da 3 a 10 giorni. Anche in questo caso sarà effettuata una analisi economica del tradeoff tra le due opzioni. È stato inserito un magazzino starting on hand di 70 pz per ognuno dei due part number per evitare che il modello accusasse i costi di un primo ordine enorme causato dalla maggiore dimensione delle zone verde, gialla e rossa causata dall'aumento del lead time. Come ci si può aspettare, a causa delle sopracitate maggiori dimensioni del magazzino disaccoppiamento, vengono generati maggiori costi di magazzino, in particolare di 63, che però vanno a generare nel complessivo della catena logistica ulteriori costi per un totale di 123. Lo scrap rate rimane uguale, in quanto è sì minore nel controllo in entrata a causa dei controlli fatti dal fornitore, ma la materia prima è comunque fornita da SFC Compositi al fornitore, quindi la percentuale scartata, sommando gli scarti generati durante il controllo in entrata di SFC e quello del fornitore in uscita, rimane uguale a quella della produzione interna. Sono di seguito riportate le curve della giacenza di magazzino per i due particolari presi in considerazione.

Per consultazioni più approfondite si rimanda al file Excel “DDMRP-ANALISI CP-OP” fornito in allegato al lavoro di tesi.

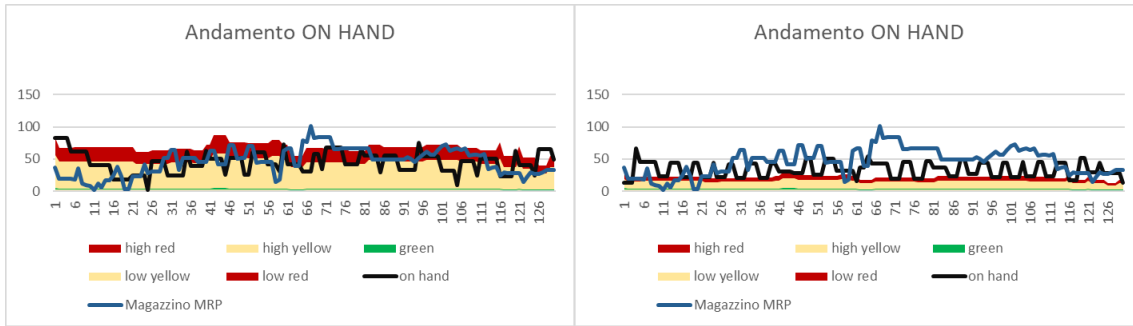


Figura 8.3: Confronto tra livelli di magazzino di CP con Lead time a 10 giorni (a sx) e a 3 giorni (a dx)

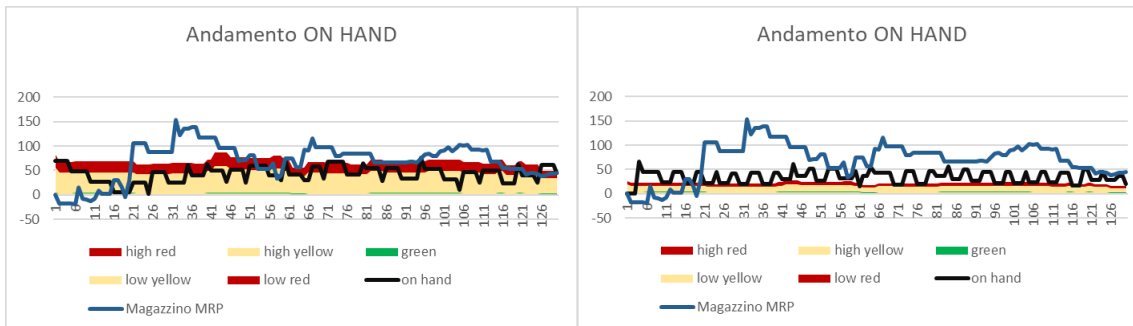


Figura 8.4: Confronto tra livelli di magazzino di OP con Lead time a 10 giorni (a sx) e a 3 giorni (a dx)

8.4. Acquisto del part number FC da un fornitore alternativo

In questo paragrafo si andrà a ipotizzare l'acquisto della materia prima FC da un fornitore dal lead time inferiore, ovvero di 15 giorni lavorativi, per verificare la differenza dei costi associati. Può sembrare lapalissiano il risultato di un confronto di questo genere senza introdurre effetti avversi, ma è necessario in quanto SFC Compositi si approvvigiona da fornitori aventi questo lead time per l'acquisto di materiali comparabili per la produzione di prodotti finiti diversi da quello preso in esame.

In questo modo sarà possibile, senza effettuare una simulazione completa dell’algoritmo DDMRP applicato a prodotti finiti differenti, ottenere risultati in ordine di grandezza simili a quelli che otterremmo effettuandolo.

Questa analisi è molto importante perché ci permette di avere dei risultati applicabili ad altri prodotti finiti di SFC Compositi per poter avere un quadro dell’applicabilità dell’algoritmo più ampio rispetto al solo part number PF preso in esame per il lavoro di tesi.

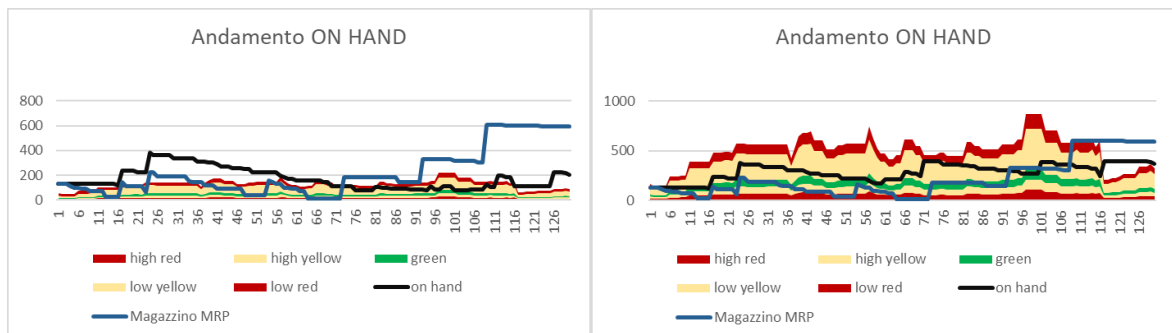


Figura 8.5: curve di magazzino di FC in caso di nuovo fornitore (a sx) e di fornitore attuale (a dx)

Vediamo come diminuendo il Lead Time diminuisca di molto la giacenza media del part number FC, andando a diminuire il costo associato del 40%, passando da 403 a 240. Anche andando a triplicare la MOQ passando da 20 a 60, il costo totale rimane competitivo a 256. Questa è una riconferma di come, nell’applicazione dell’algoritmo, sia molto impattante la differenza tra lead dime lunghi e brevi.

Per consultazioni più approfondite si rimanda al file Excel “DDMRP_ANALISI FC” fornito in allegato al lavoro di tesi.

8.5. Vantaggi per l'acquisto in bulk: aumentata MOQ per l'acquisto di colle e inserti

In questo paragrafo si andrà a considerare la possibilità di acquisto a MOQ maggiori di colle e fibra di carbonio, e si confronteranno i risultati con la simulazione fatta in precedenza. Il valore di MOQ impatta sul dimensionamento della green zone, che a sua volta impatta sulle dimensioni del buffer e del riordino minimo, aumentandole. Questa analisi può, come la precedente, essere d'aiuto per SFC Compositi valutare se implementare il sistema DDMRP per acquisti di materiali ausiliari di produzione a lunga scadenza. Verrà inoltre fatta una analisi qualitativa sul numero di ordini effettuati con e senza modifica alla MOQ per poi lasciare come open point le valutazioni economiche del caso, non avendo disponibilità i costi associati al trasporto in questo lavoro di tesi.

Nel caso dell'aumento della MOQ di fibra di carbonio (da 20 a 200) si genera un aumento immediato di costi di 60 (ovvero del 15%), a fronte di una diminuzione del numero di ordini effettuati, da 6 a 4. Le analisi successive sono lasciate, come detto, come open point a causa sia della già sopracitata mancanza di costi di trasporto, sia del fatto che il fornitore di questo part number non fornisce solamente per la produzione del prodotto finito selezionato per il lavoro di tesi. È quindi facile intuire come sia possibile accorpate le spedizioni di questo tipo di fibra di carbonio con altre in caso si scelga una MOQ inferiore, senza andare a dover pagare spedizioni create ad hoc per seguire gli ordini emessi dall'algoritmo DDMRP di seguito un confronto dei livelli di magazzino in caso di $MOQ=20$ e $MOQ=200$.

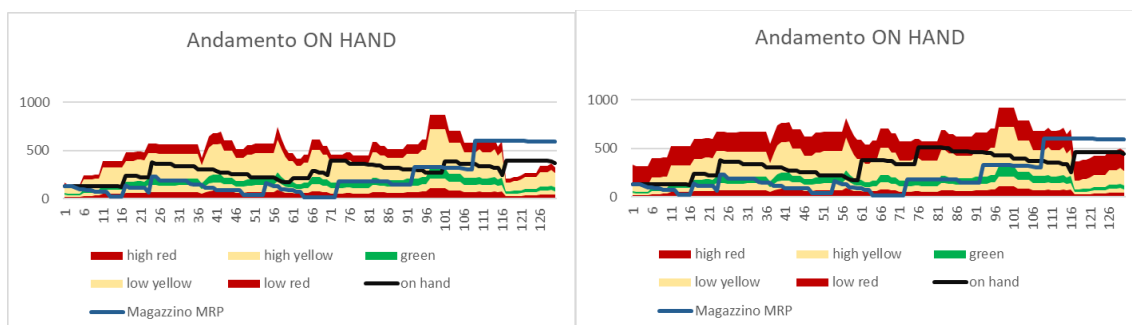


Figura 8.6: livelli di magazzino di FC in caso di $MOQ=20$ (a sx) e $MOQ=200$ (a dx)

Questo esempio, sebbene sicuramente importante per lo studio di queste casistiche, produce un risultato ammortizzato dalla presenza di un lungo lead time di riapprovvigionamento del part number. Vedremo quindi di seguito l'effetto che produce un aumento di MOQ su un particolare a basso lead time, ovvero COLLA 1.

Vediamo subito un aumento dei costi di 5.8, che può non sembrare molto finché non si osserva l'aumento in percentuale, che è del 74%. Ciò, come già detto, è causato dall'aumento del MOQ (da 10 a 80) che produce un aumento delle dimensioni dei buffer. Come al solito per analisi numeriche di dettaglio si rimanda al file Excel "DDMRP_ANALISI BULK". Di seguito sono riportati i grafici con i valori di magazzino del part number COLLA 1.

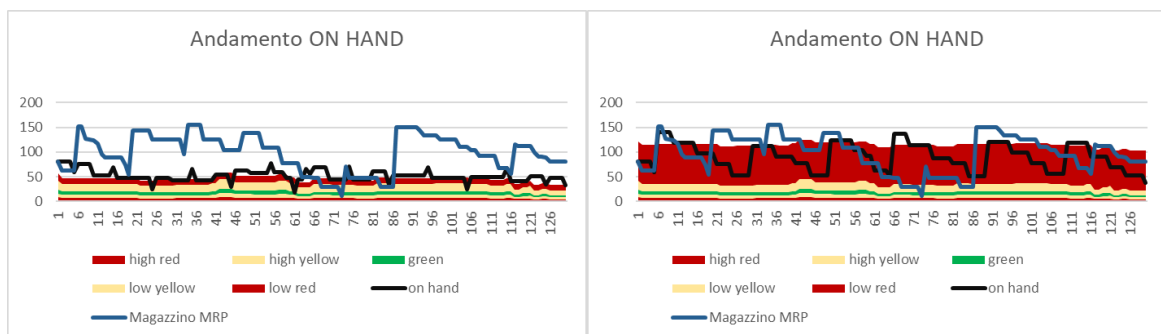


Figura 8.7: grafici di magazzino di COLLA 1 con MOQ=10 (a sx) e MOQ=80 (a dx)

8.6. Inserimento di spike di domanda, come le assorbe l'algoritmo?

Verrà infine, all'interno di questo paragrafo, analizzata l'eventualità di due picchi di domanda, nel primo caso applicata al part number PF per simulare un picco di domanda del cliente, nel secondo caso al part number semilavorato CP, per simulare una anomalia nel processo produttivo che genera una percentuale di scarti anormali. Verrà introdotto un ulteriore ordine in settimana 10 di 20 part number ciascuno, 4 per giorno, per simulare rispettivamente un picco di domanda e un lotto di produzione fallato per i part number PF e CP. Verrà discusso come l'algoritmo reagisce in entrambi i casi per verificarne la adattabilità.

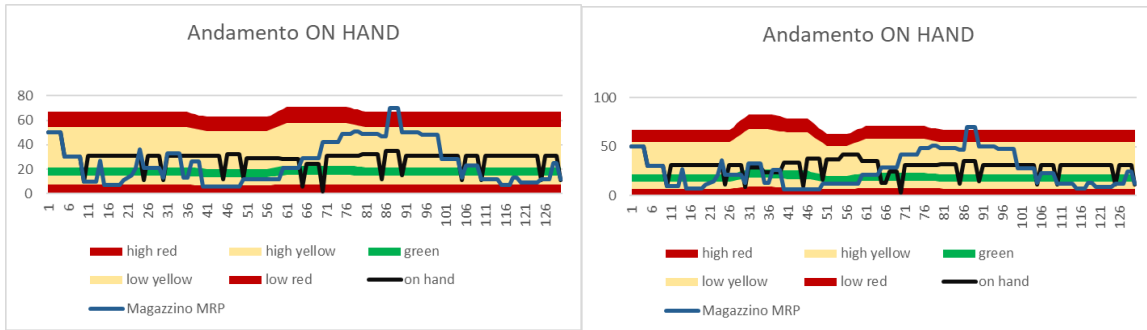


Figura 8.8: valori di magazzino del particolare PF senza (a sx) e con (a dx) picco di domanda in settimana 10

vediamo dai dati riportati nel foglio di lavoro Excel come il picco di domanda crei un aumento di costi di magazzino per tutti i part number, aumentando complessivamente il costo dell'utilizzo dell'algoritmo DDMRP di 240 (ovvero del 16%), ma è necessario individuare i benefici portati, sia economici che non. In primo luogo, la vendita di ulteriori 20 pezzi porta un guadagno netto di 400, che sommati ai 240 di costi producono comunque un positivo di 160. È inoltre importante sottolineare come in questo mercato la reputazione tra clienti e fornitori sia molto importante, e soddisfare una variazione del 100% della domanda serve sicuramente a migliorare l'opinione del cliente.

Di seguito, invece, sono riportati i grafici del particolare CP simulando un lotto fallato in produzione, che deve essere recuperato in settimana 10.

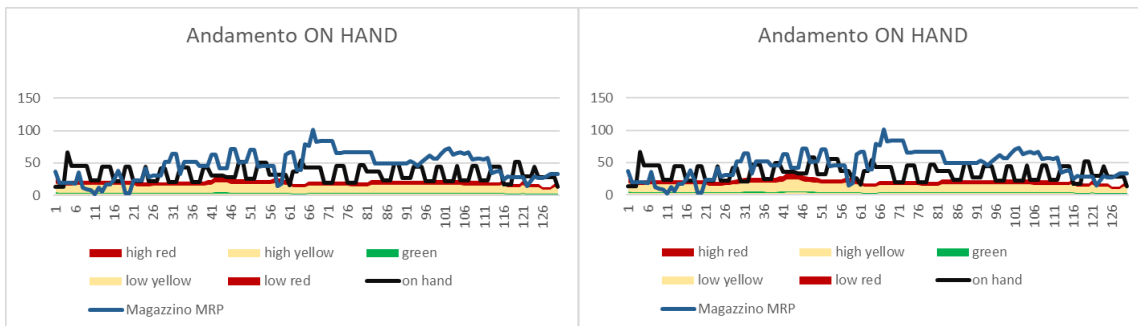


Figura 8.9: livelli di magazzino di CP senza (a sx) e con (a dx) picco di produzione causato da lotto fallato

È facile notare come la differenza sia irrisoria, producendo all'atto pratico una differenza di costi del 2% (in valori assoluti di 3) e addirittura i costi generati totali vengono ridotti di 4 a causa del maggiore consumo di materie prime associato al picco di produzione. È possibile dunque verificare la bontà dell'utilizzo del DDMRP nell'ambito di picchi inattesi di

produzione, avendo verificato che non produce costi aggiuntivi e permette all'azienda che lo utilizza di guadagnare in termini di abbattimento della variabilità generata da cambi repentini di domanda e aumento del livello di servizio al cliente. Come al solito, per analisi numeriche di dettaglio si rimanda al file Excel in allegato denominato "DDMRP_ANALISI PICCHI"

Abbiamo dunque affrontato, all'interno di questo capitolo, le principali tipologie di modifiche che possono accadere durante l'utilizzo di un algoritmo DDMRP applicate al caso di studio SFC Compositi per poi analizzarne i risultati.

Si è visto come il comportamento dell'algoritmo rispecchi i risultati attesi e sia un metodo efficace nell'ammortizzare le variazioni nella catena logistica e produttiva di un prodotto. Abbiamo inoltre individuato come generi dei dati economici di valore in caso sia necessario prendere delle decisioni, ad esempio, di make or buy o di selezione del fornitore.

9. Conclusioni ed open points

In questo capitolo verranno trattate brevemente le conclusioni del lavoro di tesi, includendo gli sviluppi potenziali dell'algoritmo che non sono stati coperti durante lo svolgimento della stessa.

9.1. Pro e contro del DDMRP, analisi a posteriori

Lo sviluppo del modello DDMRP ha permesso di individuare, come evidenziato nel capitolo 7, una serie di vantaggi e svantaggi nella sua implementazione. Se indubbiamente porta a risparmi di costi di magazzino e maggiore uniformità nei livelli dello stesso, ciò non si può dire vero per tutti i part number presi in considerazione. Grazie, inoltre, alla parametrizzazione dei suoi input, l'algoritmo può essere migliorato e affinato nel tempo e diversificato in base al contesto aziendale. Qui risiede la più grande forza e debolezza del DDMRP, ovvero che non è un algoritmo che può essere applicato a tutta la filiera logistica, ma per ottenerne il meglio devono essere effettuate delle analisi e degli aggiustamenti nel tempo ai parametri. Proprio questo è stato il focus del capitolo 8, dove si sono esplorate le casistiche più probabili di ricalibrazione dei parametri in input sia in caso di miglioramento proposto all'interno, sia nel caso di modifiche al processo produttivo.

Si sono raggiunte, grazie al lavoro di tesi, tre conclusioni:

- L'algoritmo risulta conveniente, cambiando le condizioni al contorno, fintanto che i nuovi parametri in input rispettano le condizioni di basso lead time e bassa MOQ.
- È possibile, e incoraggiato, modificare i parametri in input dopo una prima iterazione dell'algoritmo. È possibile in questo modo ridurre ulteriormente i costi di magazzino e adattare l'algoritmo alla propria realtà aziendale.
- L'algoritmo è robusto in risposta a picchi di domanda, sia da parte del cliente sia di semilavorati, causati per esempio da una quantità anormale di scarti, come analizzato nel capitolo 8.

È stato appurato che il DDMRP sia particolarmente efficace, nel caso di studio, nell'applicazione su part number di tipo “manufactured” dal basso lead time, alto valore intrinseco e alta variabilità produttiva.

Al contrario, come atteso nella revisione della letteratura, part number dall'alto lead time non hanno beneficiato del passaggio all'algoritmo DDMRP a causa delle dimensioni rilevanti dei buffer di disaccoppiamento.

9.2. Open points

Durante il lavoro di tesi non è stato possibile, per ovvie ragioni, coprire tutte le possibilità di sviluppo e implementazione di un algoritmo di questo tipo in una azienda fisica, lasciando dei punti aperti ad analisi future:

- Non è stato completamente ottimizzata la parametrizzazione applicata al caso specifico SFC Compositi: come è stato per esempio evidenziato nel capitolo 7, dopo lo sviluppo e l'introduzione del DDMRP potrebbero e dovrebbero rendersi necessarie alcune modifiche sia ai parametri in input sia al numero di questi parametri affinché l'algoritmo rispecchi la realtà logistica e produttiva aziendale.
- Per il lavoro di tesi si è proceduto a sviluppare una simulazione riguardante un unico prodotto finito che, sebbene rappresentativo dei processi di approvvigionamento e produzione di SFC Compositi, non rispecchia la realtà aziendale in termini di diversificazione del prodotto. SFC Compositi tratta infatti decine di codici di prodotto finito che hanno in comune diverse materie prime, fatto per il quale avere un algoritmo di tipo DDMRP il cui obiettivo è ridurre la variabilità dei processi per la gestione della produzione potrebbe rivelarsi più interessante di quanto mostrino i risultati numerici di questa tesi.
- Si è parlato inoltre di come il tipo di produzione di SFC Compositi sia prevalentemente manuale, sono quindi necessarie analisi future per rilevare eventuali differenze nell'applicazione dell'algoritmo rispetto alle assunzioni fatte durante il lavoro di tesi.
- Non si è confrontato il numero di ordini generati dal DDMRP con quello generato dal MRP, questo sia per via della non reperibilità dei costi di trasporto, sia per via della vasta

varietà di materie prime che vengono acquistate da ogni fornitore. Se infatti per esempio il costo minore generato dal DDMRP genera 10 ordini in più, non necessariamente saranno pagati costi di trasporto per 10 ordini, ma verranno aggregati ad altri già presenti per l'approvvigionamento di altre materie prime dallo stesso fornitore.

Il lavoro di tesi è stato concepito sulla base dell'obiettivo di SFC Compositi di migliorare la gestione di magazzini, filiera logistica e livello di servizio del cliente. Questi risultati identificano il DDMRP come una delle potenziali soluzioni a questi problemi, è in futuro potrebbe essere applicata anche grazie all'acquisizione di SFC da parte di Proma Group, che sta al momento della scrittura della tesi imponendo il passaggio al software ERP Mago4 di Zucchetti per uniformare SFC alle altre società facenti parte del gruppo. Mago 4 supporta un modulo, "CyberPlan DDMRP", che ha ottenuto la certificazione di DDMRP Software Compliance da parte del Demand Driven Institute, fatto che apre alla possibilità concreta di introduzione del software senza dover necessariamente modificare nuovamente sistema ERP.

È stato quindi effettuata, sulla base del lavoro di tesi svolto, una panoramica sull'utilizzo dell'algoritmo DDMRP per la gestione della logistica e della produzione aziendale concludendo che, pur non essendo una diretta evoluzione del MRP classico, ha indubbiamente numerosi vantaggi rispetto a quest'ultimo in termini di personalizzazione, riduzione della variabilità del processo produttivo e aumento dei livelli di servizio verso il cliente finale.

Bibliografia

- [1] SFC Compositi <<sfccompositi.it>> [online] available at: <http://www.sfccompositi.it/index.php/it/>
- [2] Proma group <<promagroup.com>> [online] available at: <https://promagroup.com>
- [3] Bilancio di esercizio 2017-18 di SFC Compositi, SFC Compositi, 2019
- [4] Bilancio di esercizio 2019-20 di SFC Compositi, SFC Compositi, 2021
- [5] Bilancio di esercizio 2017-18 di Dallara Compositi, Dallara Compositi, 2019
- [6] Bilancio di esercizio 2017-18 di Dallara Compositi, Dallara Compositi, 2021
- [7] Bilancio di esercizio 2017-18 di Proma Group, Proma Group, 2019
- [8] Bilancio di esercizio 2017-18 di Proma Group, Proma Group, 2021
- [9] Bilancio di esercizio 2017 di CBS SRL, CBS SRL, 2018
- [10] Bilancio di esercizio 2018-19 di CBS SRL, CBS SRL, 2020
- [11] C. Ptak e C. Smith, Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP), South Norwalk: Industrial Press, 2018.