

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

**Modelli innovativi di gestione delle scorte
nella filiera logistica: applicazione del
metodo DDMRP nel settore automotive**



Relatore

Prof. Carlo Rafele

Candidato

Fabio Provenzano

Dicembre 2019

Indice

1. Contesto aziendale	1
1.1 Overview Automotive Lighting	1
1.2 Panoramica sul settore automotive	2
1.3 Prodotti e processo produttivo	5
1.4 Politica di pianificazione della produzione ed emissioni degli ordini	6
1.5 Limiti dell'MRP	9
1.6 MRP vs Lean	16
2. DDMRP	19
2.1 Nascita del DDMRP	19
2.2 Buffer di disaccoppiamento	20
2.3 Posizionamento strategico dei buffer di disaccoppiamento	24
2.4 Dimensionamento dei buffer di disaccoppiamento	26
2.4.1 Part Type	27
2.4.2 Lead Time	28
2.4.3 Variabilità	29
2.4.4 Average Daily Usage	30
2.4.5 Green Zone, Yellow Zone e Red Zone	32
2.5 Demand Driven Planning	35
2.5.1 Net Flow Position	35
2.5.2 Qualified Demand	36
2.5.3 Generazione degli ordini	37
2.5.4 Decoupled Explosion	38
2.6 Demand Driven Execution	39
3. Caso di studio applicativo	43
3.1 Assunzioni del caso di studio	44
3.2 Selezione dei prodotti	46
3.3 Filiera logistica dei prodotti	49
3.4 Orizzonte temporale e scelta del time bucket	51

3.5	Posizionamento dei buffer di disaccoppiamento	52
3.6	Input	56
3.6.1	Matrici della domanda cliente	56
3.6.2	Part Type	59
3.6.3	Location	60
3.6.4	Lead Time e Decoupled Lead Time (DLT)	60
3.6.5	Imposed or Desired Order Cycle (IOC/DOC)	63
3.6.6	Minimum Order Quantity (MOQ)	64
3.6.7	Lead Time Category e Lead Time Factor	65
3.6.8	Variability Category e Variability Factor	67
3.6.9	Buffer Profile	70
3.6.10	ADU Past Horizon	71
3.6.11	ADU Future Horizon	72
3.6.12	Spike Horizon	72
3.6.13	Order Spike Threshold	73
3.6.14	Starting On-Hand	75
3.6.15	Starting On-Order	76
3.6.16	Cycle Time	78
3.6.17	Scrap Rate	78
3.6.18	Pieces/pallet (pieces/box)	79
3.6.19	Occupied Space by One Pallet/box	79
3.6.20	Boxes/pallet	80
3.6.21	Unitary Cost	80
3.6.22	Demand Adjustment Factor (DAF)	80
3.6.23	Red Zone Adjustment Factor (RZAF)	81
3.6.24	Storico degli stock	81
3.6.25	Costi di magazzino	82
3.7	Tool Excel	83
3.7.1	Matrici delle domande clienti	83
3.7.2	Foglio "Inputs"	83
3.7.3	Foglio "ADUs"	83
3.7.4	Foglio "Qualified Demand"	84
3.7.5	Foglio "Consumption"	85
3.7.6	Fogli "DAF" e "RZAF"	86
3.7.7	Foglio "Product Links"	86
3.7.8	Foglio "StocksHistory"	87

3.7.9	Foglio “Simulation”	88
3.7.10	Foglio “Stock Analysis”	100
3.7.11	Foglio “Buffer Graphs”	103
3.8	Output della simulazione	104
3.8.1	Grafici	104
3.8.2	Analisi comparativa dei livelli di stock	116
3.8.3	Analisi comparativa dei costi di magazzino	119
4.	Implementazione del DDMRP	123
4.1	Takeaways del caso di studio	123
4.2	DDMRP Institute	127
4.3	Testimonianze sull’efficacia del DDMRP	128
4.4	Criticità nel processo di implementazione del DDMRP	130
5.	Conclusioni	133
	Referenze	136
	Indice delle figure	139
	Indice delle tabelle	141

Introduzione

Il contesto applicativo odierno è caratterizzato da una crescente complessità strutturale della filiera logistica e architettuale del prodotto, da un progressivo ampliamento dell'eterogeneità dell'offerta e, più in generale, da un incremento della variabilità del mercato. Sotto queste condizioni, sta diventando sempre più critico effettuare un'efficiente pianificazione degli ordini di fornitura e produzione nel breve e medio periodo; infatti, le imprevedibili fluttuazioni della domanda cliente e la scarsa accuratezza delle previsioni mettono a dura prova i metodi tradizionalmente adoperati.

Con queste premesse, nel 2011 Chad Smith e Carol Ptak, nella terza edizione del libro *Orlicky's Material Requirements Planning*, introducono il Demand Driven MRP, un metodo innovativo per la modellazione, pianificazione, gestione ed esecuzione della filiera logistica multilivello, il cui obiettivo principale è quello di impedire alla variabilità della domanda cliente di propagarsi liberamente lungo la supply chain.

Con il presente lavoro di tesi in azienda, effettuato presso Automotive Lighting, la business unit di Magneti Marelli operante nel settore dell'illuminazione per autoveicoli, si intendono analizzare i principi e il funzionamento del DDMRP, al fine di verificarne l'efficacia nella gestione dei livelli di scorte.

Dopo una breve panoramica su Automotive Lighting e sul settore di appartenenza, si passano in rassegna i tradizionali metodi adoperati comunemente nelle realtà aziendali per la pianificazione degli ordini di produzione e di fornitura: MRP e Lean Production. Si è a tal fine operato un confronto fra le due logiche, mettendone in risalto le criticità metodologiche ed applicative all'interno di un contesto sempre più complesso e variabile come quello odierno. Successivamente si sono approfonditi i meccanismi di funzionamento del DDMRP il quale, ostacolando la propagazione della variabilità della domanda cliente lungo la filiera logistica, sembra essere strutturalmente più indicato per operare in condizioni di mercato poco prevedibili.

Al fine di verificare l'efficacia del metodo, si è effettuata una simulazione dell'applicazione delle logiche DDMRP, mediante un tool Excel opportunamente progettato, sulla filiera logistica di alcuni prodotti finiti di Automotive Lighting, su un orizzonte temporale passato di 23 settimane e a partire dalla sola domanda cliente. L'obiettivo è stato quello di confrontare i livelli di scorte così ottenuti con quelli osservati a seguito dell'applicazione dalle tradizionali logiche

MRP aziendali adottate. Dopo aver osservato e analizzato attentamente gli andamenti dei livelli di stock dei buffer della filiera logistica considerata generati dal DDMRP, si procede con un'analisi comparativa economica dei costi di magazzino associati alle due metodologie in esame.

L'ultimo capitolo dell'elaborato contiene considerazioni riguardanti le criticità emerse durante lo sviluppo del caso di studio, passando in rassegna i punti di forza e di debolezza della logica DDMRP. Infine, sarà fornita una panoramica generale delle difficoltà che una realtà aziendale è costretta a fronteggiare durante la fase di implementazione dell'innovativo metodo di pianificazione.

1. Contesto aziendale

Nel presente capitolo si procede inizialmente con la descrizione dell'azienda nella quale si è effettuata la tesi e del settore di appartenenza, al fine di contestualizzare il lavoro di ricerca svolto. Successivamente, si prosegue con l'approfondimento delle politiche aziendali di pianificazione ed emissioni degli ordini, analizzandone criticamente i limiti applicativi ad esse attribuibili.

1.1 Overview Automotive Lighting

Automotive Lighting è una delle sette divisioni di Magneti Marelli [1] (insieme a Powertrain, Electronic Systems, Suspension Systems, Exhaust Systems, After Market Parts & Services, Motorsport), multinazionale italiana specializzata nella fornitura di prodotti per l'industria automobilistica, facente parte del gruppo Fiat-Chrysler Automotive (FCA) fino al 2019, dopo il quale è stata ceduta alla società giapponese Calsonic Kansei. Precisamente, Automotive Lighting GmbH [2] nasce nel 1999 a seguito della joint venture fra Magneti Marelli SpA e Bosch GmbH; poco dopo, nel 2003, Magneti Marelli acquista la totale partecipazione del socio Bosch, confermandosi di fatto unico proprietario dell'azienda. Tuttavia, l'esperienza di Magneti Marelli nell'industria dell'illuminazione automobilistica risale al 1988, con l'acquisizione della storica Carello SpA, operante nel settore sin dagli inizi del '900.

Automotive Lighting GmbH, con sede a Reutlingen, Germania, si occupa della progettazione, sviluppo, produzione e vendita di prodotti d'illuminazione nel settore automotive, confermandosi un importante fornitore delle principali compagnie automobilistiche internazionali (FCA, PSA, BMW). Nel particolare la gamma di prodotti offerta comprende fari anteriori e posteriori, fendinebbia e luci d'arresto. Gli articoli sono forniti dall'azienda in tre differenti tecnologie: LED, Xenon e Alogeno; quella dominante e più comune è sicuramente quella alogena, ma si sta assistendo progressivamente al passaggio alle versioni LED per i veicoli di fascia più elevata, per merito di una migliore resa in termini di durata della batteria, lucentezza e dimensioni del fanale.

Con un fatturato di circa 3,5 miliardi nel 2018 (oltre il 40% del fatturato dell'intera Magneti Marelli) e circa 20.000 dipendenti, Automotive Lighting si conferma un'azienda leader nel settore dell'illuminazione automobilistica, seconda solo ad HELLA GmbH & Co. KGaA. Oltre a questo player, i principali competitor sono Koito Manufacturing Co. Ltd, Stanley Electric Co.

Ltd e Valeo S.p.a; si sta assistendo negli ultimi anni alla crescita del settore nell'Asia Pacifica, a causa della presenza di numerosi produttori chiave in Cina, Giappone e Corea del Sud. Inoltre, la crescita della domanda del settore automotive in queste aree ha determinato la delocalizzazione degli impianti produttivi, al fine di ridurre i costi di trasporto (vedi Sezione 1.2).

Automotive Lighting conta ad oggi 30 location, distribuite in 16 paesi su 4 continenti. Nel particolare le location sono così raggruppate all'interno di 4 regioni:

- APAC (Asia Pacific): Bawal (IN), Changchun (CN), Foshan (CN), Manesar/New Delhi (IN), Penang (MY), Pune (IN), Shanghai (CN), Wuhu (CN), Xiaogan (CN), Yokohama (JP);
- EMEA (Europe, Middle East, and Africa): Barberà del Vallès (ES), Barcelona (ES), Brotterode (DE), Bursa (TR), Cluj-Napoca (RO), Jihlava (CZ), Paris (FR), Reutlingen (DE), Ryazan (RU), Sosnowiec (PL), St. Julien (FR), Tolmezzo (ITA), Venaria (ITA);
- LATAM (Latin America): Contagem (BR);
- NAFTA (North America Free Trade Agreement): Clarkston (US), Detroit (US), Juarez (MX), Pulaski (US), Tepotzotlan, (MX), Toluca (MX).

Nel 2017 [3] il mercato globale dell'illuminazione automobilistica vale 30 miliardi di dollari e si prospetta che cresca con un CAGR superiore al 5% dal 2018 al 2024, trainato da un forte incremento della domanda di vetture di alta gamma e dai conseguenti avanzamenti tecnologici che queste comportano. Infatti, i sistemi automatici di assistenza alla guida sono supportati dall'adattamento intelligente del comparto d'illuminazione del veicolo grazie alle innovative tecnologie LED, per cui nel report si prospetta una crescita con CAGR superiore al 7% dal 2018 al 2024.

1.2 Panoramica sul settore automotive

L'offerta di Automotive Lighting è completamente indirizzata al mercato dell'automotive, rendendo di fatto la compagnia totalmente dipendente dall'andamento del settore. Al fine di contestualizzare il lavoro di tesi, si procede dunque con un breve riquadro dei principali trend e le più significative caratteristiche proprie dell'industry di riferimento, con particolare focus sulle tematiche logistiche.

Il settore automotive sta col tempo assistendo ad un progressivo rallentamento della crescita annuale del mercato, con un +3,8% nel 2017, +3,6% nel 2018 e un prospettato +3,3% nel 2019 [4]. I Paesi nei quali si è osservato negli ultimi anni un progressivo aumento della domanda sono gli attuali sostenitori principali del mercato, verso i quali si sta conseguentemente spostando la produzione. La delocalizzazione degli impianti produttivi è la diretta conseguenza della volontà delle principali case automobilistiche di inseguire la domanda di mercato, così da ridurre i costi di trasporto, e la manodopera a basso costo [5]. I Paesi a più alta potenzialità sono Brasile, Cina e in generale tutto il Sud-Est asiatico (Thailandia, Indonesia, Vietnam); a seguire sono presenti Messico e Russia. La spinta innovativa del settore e la capacità di riuscire a trarne dei benefici potrebbe però riportare in cima alla classifica i tradizionali Paesi produttori del settore automotive, quali Nord-America, Germania e Francia.

Il rallentamento in termini di crescita del mercato è sicuramente influenzato dal fatto che il settore sta attraversando una fase di elevata instabilità, dovuta in prima linea all'impossibilità di prevedere con certezza il panorama futuro in termini di prodotto e paradigma dominante. Vi sarà un radicale passaggio all'autovetture elettriche? Quale sarà la composizione in termini di componenti meccaniche ed elettriche? Quale sarà il grado di autonomia del veicolo? Si assisterà ad una progressiva riduzione del concetto di proprietà della vettura in favore di uno schema di loro condivisione reciproca?

Quello che appare chiaro è che a prescindere dallo scenario, il settore dell'automotive sarà oggetto nei prossimi anni di un'intensa fase di trasformazione, che rivoluzionerà l'assetto dei player del mercato: al fine di gestire efficacemente le sfide della nuova era della mobilità, si assisterà presumibilmente ad un'ondata di M&A fra le grandi case automobilistiche (si veda ad esempio il fallito tentativo della fusione FCA-Renault e l'accordo fra FCA e PSA attualmente in fase di valutazione). L'unione strategica di competenze, capacità, risorse e presenza su differenti mercati consente di beneficiare di sinergie fra le grandi società in termini di investimenti su larga scala, comparti produttivi e di ricerca.

In questa fase di estrema transizione e instabilità, il comparto R&D è quello verso cui è indirizzata la principale attenzione. Il lasso di tempo che intercorre fra l'inizio della fase di ricerca e sviluppo di un prodotto e l'avvio della produzione potrebbe ridursi nei prossimi anni da un range di 3-5 anni a meno di 2 anni [5]. Da questo punto di vista, una corretta aggregazione di competenze in ambito della ricerca, a seguito di M&A con altre case automobilistiche o collaborazioni con attori terzi (secondo i nuovi paradigmi della Open Innovation), è assolutamente vitale. Al fine di accelerare le funzioni di R&D, si potrebbe assistere ad un

progressivo affidamento della capacità decisionale all'intelligenza artificiale, così da smaltire l'attenzione rivolta ad azioni di routine.

Da un punto di vista più produttivo, gli impianti saranno principalmente di due categorie [5]: uno di tipo "plug and play", altamente automatizzato per la produzione di grandi volumi con variazioni minime fra le vetture, l'altro produrrà veicoli altamente customizzati e differenti (mercato dei veicoli elettrici, a guida autonoma e dei motori a combustione). Per quanto riguarda i primi, al fine di velocizzare i tempi di produzione, la fornitura si concentrerà sempre più verso moduli preassemblati così da automatizzare il più possibile la produzione, spostando dunque la complessità e il valore generato sulla filiera logistica.

Logisticamente, la delocalizzazione degli impianti produttivi rende la gestione della supply chain più critica, anche in ragione dell'incremento della complessità del prodotto (destinata ad aumentare, dato il sempre crescente apporto dell'elettronica all'interno delle vetture e del grado di personalizzazione consentito). Il numero sempre crescente di componenti elettroniche della vettura rende ancora più complesso lo scenario, dal momento che i lead time di fornitura di questi è in genere molto elevato, così come il potere contrattuale dei fornitori.

La riduzione dei tempi di ricerca e sviluppo del prodotto, del conseguente time to market e del ciclo di vita del prodotto sono i segnali della decisiva spinta innovativa del settore ma anche di una più rapida mutazione delle preferenze del consumatore. Egli è sempre più esigente in termini di personalizzazione del prodotto (o di un servizio) e tempi di tolleranza della consegna, anche in relazione alla riduzione asimmetria informativa che il propagarsi delle nuove tecnologie hanno comportato. Conseguentemente, per soddisfare le esigenze del cliente ed emergere in un mercato altamente competitivo, l'offerta dei prodotti è sempre più estesa ed eterogenea. Tali considerazioni sono sicuramente caratteristiche del settore automotive, ma più in generale valevoli in qualunque contesto: ci si riferisce infatti al paradigma del New Normal, trattato più approfonditamente nella Sezione 1.5.

Per queste ragioni, il settore automotive è caratterizzato da una domanda estremamente variabile ed imprevedibile, influenzata dal cambio delle abitudini del consumatore e dai trend innovativi del settore. Se dunque si combina la crescente complessità strutturale della supply chain (a causa della delocalizzazione degli impianti produttivi), quella architettonica del prodotto e la scarsa accuratezza dei forecast della domanda cliente, si riesce a comprendere la difficoltà nella pianificazione degli ordini di produzione e di fornitura nel medio e lungo periodo.

1.3 Prodotti e processo produttivo

L'offerta di Automotive Lighting comprende fari anteriori e posteriori, fendinebbia e luci d'arresto; parte di queste soluzioni sono fornite secondo differenti versioni tecnologiche (LED, Xenon, Alogeno). L'azienda produce internamente i prodotti che vende, fabbricati nei diversi plant produttivi a partire dai componenti elettronici e materiali plastici acquistati da fornitori esterni. Il processo di produzione è concettualmente diviso in due fasi:

1. Fase di preproduzione: in questa fase sono stampate ad iniezione le cornici, i riflettori e le lenti a partire dal materiale plastico (acquistato in forma granulare) e dal BMC (Bulk Moulding Compounds), un materiale rinforzato con fibra di vetro o di carbonio, che fa sì che il faro sia estremamente resistente agli sbalzi termici. Le lenti sono inserite all'interno di un forno per circa 20 minuti per alleviare lo stress che il materiale plastico ha subito nella fase di stampaggio; su queste è spruzzato un rivestimento per proteggerle da graffi ed esposizioni a raggi ultravioletti. I riflettori sono invece in resina poliestere rinforzata con fibra di vetro: inizialmente sono lavate per rimuovere residui di poliestere, poi inseriti in un forno e dunque nella Galileo Vacuum Machine per renderle riflettenti. I componenti procedono dunque verso la fase di verniciatura, al termine della quale sono inviati alla fase di assemblaggio.
2. Fase di assemblaggio: in questa fase sono assemblati tutti i componenti del prodotto finito, in linee dedicate al prodotto. Il riflettore è inserito all'interno del corpo del faro e al tutto è dunque incollata la lente. All'interno del faro è precedentemente inserito e fissato il modulo di controllo, un pezzo collegato alla batteria della vettura e contenente il componente elettronico del prodotto (ECU), e le differenti lampadine. Ovviamente la configurazione del faro cambia a seconda della tecnologia che lo caratterizza (LED, Xenon, Alogeno).

I prodotti finiti sono destinati a tre differenti canali di distribuzione:

1. Primo impianto: il prodotto finito è venduto alla casa automobilistica che lo ha richiesto, al fine di essere montato sulle autovetture.
2. Ricambi: il prodotto finito è venduto alla casa automobilistica che lo ha richiesto, al fine di essere eventualmente utilizzato come pezzo di ricambio.

3. Aftermarket: il prodotto finito è venduto a distributori terzi (concessionari ed officine), al fine di essere rivenduto come pezzo di ricambio.

Ogni cliente che acquista da Automotive Lighting invia periodicamente all'azienda la domanda di prodotto, la cui entità può essere modificata in relazione alle proprie esigenze. Sono previste tuttavia nei contratti tra le parti delle clausole tali per cui per la domanda cliente più prossima, entro un preciso e predefinito orizzonte temporale (si fa riferimento a qualche settimana), è stabilito un range di fluttuazione percentuale ammissibile (generalmente compreso fra il 20% e il 30%). L'entità di questo range è ovviamente dipendente dal potere contrattuale del cliente in questione.

Sulla base della domanda cliente sono pianificati i piani di produzione e gli ordini di fornitura da effettuare, secondo le logiche descritte nella Sezione 1.4.

1.4 Politica di pianificazione della produzione ed emissioni degli ordini

Il processo di pianificazione ed emissione degli ordini di Automotive Lighting è strutturato secondo la metodologia tradizionalmente adottata dalle medie e grandi società manifatturiere: il Material Requirements Planning (MRP). Al fine di descrivere nel dettaglio le politiche aziendali, si procede con un breve excursus storico e una descrizione teorica del metodo.

L'MRP risale al 1950 e secondo la definizione fornita dall'APICS Dictionary [6, p. 103]:

“MRP is a set of techniques that uses bill of material data, inventory data, and the master production schedule to calculate requirements for materials; it makes recommendations to release replenishment orders for material. Further, because it is time-phased, it makes recommendations to reschedule open orders when due dates and need dates are not in phase”.

Il Master Production Schedule (MPS) è il documento di pianificazione della produzione, che sulla base della domanda cliente (confermata e predetta), contiene le informazioni riguardanti le quantità di prodotto finito da produrre. L'orizzonte temporale di pianificazione è mensile (generalmente di 2 o 3 mesi), discretizzato secondo time bucket settimanali. Le quantità da produrre in ogni settimana sono i dati di input dell'MRP, che sulla base di altre informazioni, quali la Bill of Materials (BOM), le scorte a magazzino presenti di ogni componente e i lead time di produzione e di approvvigionamento (e tante altre descritte successivamente all'interno del capitolo), calcola le quantità di materie prime e semilavorati necessarie per soddisfare la

domanda cliente. Sulla base di tali quantità, in relazione alle politiche di lot sizing definite per ogni prodotto, sono eventualmente emessi gli ordini, di produzione o di approvvigionamento, di ognuno di questi. Tale calcolo è effettuato giornalmente, secondo una politica rolling horizon; l'MRP determina un nuovo piano di produzione ogni giorno sulla base di: variazioni delle previsioni della domanda, differenti esigenze, eventuali imprevisti e, più in generale, nuova visibilità sulla domanda cliente dei prodotti finiti che il passaggio del tempo comporta. Nel 1974 fu pubblicato il libro di colui che è considerato uno dei massimi esperti dell'MRP sin dalla metà degli anni '60, Joe Orlicky, chiamato *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management* [7]. In esso si distingue fra domanda indipendente di un prodotto, derivante dal mercato, e quella dipendente, che esprime il fabbisogno di materie prime e semilavorati necessari a soddisfare la prima. Nel particolare la prima deve essere predetta, la seconda derivata a partire dalla prima. Questo tema introduce quelle che sono le assunzioni sulla quale è basata la logica MRP [8]:

- L'MRP non considera la variabilità della domanda cliente: gli ordini del cliente e il forecast della domanda, inserito manualmente all'interno del database, sono di fatto considerati allo stesso modo, come se la previsione della domanda non fosse affetta da alcun tipo di errore. Sulla base di entrambi i tipi di domanda avviene incondizionatamente l'esplosione dei fabbisogni su tutta la BOM.
- I lead time di produzione e di approvvigionamento sono considerati non affetti da alcun tipo di variabilità.
- La capacità delle risorse è considerata infinita. Sulla base delle quantità di prodotti finiti da produrre, l'MRP calcola gli ordini di produzione dei componenti necessari per soddisfarle senza tenere conto dei vincoli di capacità produttiva. Questa assunzione è inoltre direttamente collegata alla precedente: dal momento che i lead time non sono affetti da variabilità, è sempre calcolato il fabbisogno netto di un materiale a partire da questi senza considerare che di fatto il lead time che si verifica potrebbe essere superiore a quello preventivato. Se questo inconveniente si realizza, dopo il ricalcolo giornaliero dell'MRP la nuova quantità da produrre potrebbe essere superiore alla capacità produttiva necessaria per rispettare l'ordine nei tempi richiesti. Questo aspetto non è tuttavia preso in considerazione dall'MRP.

Tali assunzioni rendono di fatto le sole logiche MRP non particolarmente efficienti se applicate ad un mondo dominato dalla variabilità, ma soprattutto non applicabili senza la supervisione di un soggetto che confronta gli ordini con la capacità disponibile. Sulla base di questa premessa, anche grazie all'incremento graduale della capacità computazionale dei computer, nei primi anni '80 nacque il Manufacturing Resource Planning (MRP II), principalmente al fine di risolvere il problema della capacità infinita. L'MRP II, anch'esso operante sulla base dell'MPS che ne costituisce un modulo, tiene conto dei vincoli di capacità, in termini di disponibilità delle macchine e manodopera, e dei cicli di lavorazione. Le logiche di funzionamento dell'MRP sono le stesse, ma sull'output del calcolo è effettuata l'analisi CRP (*Capacity Requirements Planning*); in caso di violazione dei vincoli di capacità, il CRP fa in modo che l'MPS sia ricalcolata od eventualmente ottimizza il carico assegnato alle risorse servendosi di modelli di Programmazione Matematica [9]. Con l'ulteriore integrazione di informazioni derivanti da differenti funzioni aziendali (quali vendite, gestione del magazzino, contabilità, finanza, ecc.) all'interno dell'MRP II, si è nei primi anni '90 passati ad una metodologia per la gestione di tutta l'organizzazione aziendale, chiamata *Enterprise Resource Planning* (ERP). Si noti che, nonostante negli anni siano stati aggiunti all'MRP tradizionale dei moduli che ne hanno consentito una più efficiente applicabilità, vista l'integrazione e il supporto di una maggiore quantità di informazioni coinvolte nel processo (quali quelle riguardanti i vincoli di capacità), la logica di funzionamento iniziale e precedentemente descritta è rimasta invariata.

Ad oggi il software ERP più diffuso al mondo è SAP, fornito dalla SAP SE, società multinazionale europea per la produzione di software gestionali e più in generale di soluzioni informatiche per le imprese [10].

La pianificazione della produzione di Automotive Lighting non è basata su un sistema centralizzato aziendale, ma è effettuata autonomamente da ogni stabilimento produttivo con la supervisione del relativo Production Planner. In ogni plant è utilizzato il software gestionale SAP e il metodo con cui si pianifica la produzione segue ovunque le logiche MRP tradizionali. Generalmente una volta alla settimana è effettuata l'MPS, sulla base della domanda cliente dei prodotti finiti di ogni stabilimento, ed è dunque generato dal software un piano di produzione settimanale. Dipendentemente dal plant in questione, la schedulazione dei cicli di lavorazione è effettuata direttamente da SAP o dal relativo Production Planner, che la realizza su un foglio elettronico parallelo e la carica manualmente sul sistema gestionale. Fa parte di questa fase il livellamento della produzione sulla base della capacità produttiva e l'ottimizzazione del carico di lavoro su tutte le risorse disponibili. Sulla base dell'MPS e delle logiche MRP tradizionali,

una volta al giorno (generalmente la notte) il software SAP effettua l'esplosione delle quantità richieste sulla Bill of Materials, calcolando gli ordini di produzione ed approvvigionamento. Per ogni part number, ovvero il codice identificativo di ogni prodotto (materia prima, semilavorato, assemblato o prodotto finito), è possibile tramite SAP definire dei parametri MRP, che influenzano l'entità degli ordini emessi. I principali parametri impostabili per ogni part number sono i seguenti:

- Regola di lot sizing: si può impostare una regola "lot for lot" (si ordina esattamente quanto necessario) o con periodo di copertura (si ordina la quantità necessaria per coprire un orizzonte temporale definito);
- Minimum lot size: è la quantità minima da ordinare;
- Maximum lot size: è l'entità massima del singolo ordine;
- Rounding Value: è il multiplo secondo il quale bisogna arrotondare l'ordine;
- Planning Calendar: è un parametro che si imposta dipendentemente se si voglia produrre quel part number solo in determinati giorni;
- Lead time di approvvigionamento: per prodotti acquistati da terzi;
- Safety Stock: quantità previste per la scorta di sicurezza;
- Coverage Profile: numero di giorni per i quali si vuole garantire la copertura della domanda cliente futura, immagazzinando la relativa quantità come scorta di sicurezza.

1.5 Limiti dell'MRP

Ad oggi quasi la totalità delle realtà manifatturiere, che sia mediante un software gestionale efficiente e completo come SAP o uno meno performante ma più economico, applicano il tradizionale metodo MRP per la pianificazione della produzione ed emissione degli ordini. Inevitabile è domandarsi: da un punto di vista operativo, la logica MRP è efficiente? Sono ancora considerabili accettabili e realistiche le assunzioni su cui esso si basa?

Lo stesso Joe Orlicky [7, p. 4], uno dei padri fondatori dell'MRP, afferma:

"[...] approaches and techniques suffered from imperfections. They simply represented the best that could be done under the circumstances. They acted as a crutch and incorporated summary, shortcut and approximation methods, often based on tenuous or quite unrealistic assumptions, sometimes force-fitting concepts to reality so as to permit the use of a technique".

Egli stesso spiega come solitamente l'applicabilità pratica delle soluzioni algoritmiche ad un problema è limitata dalle assunzioni sulla base del quale queste sono state originariamente strutturate. Spesso, al variare delle condizioni al contorno, la volontà di continuare ad utilizzare in maniera miope una tecnica performante spinge a trascurare la validità delle assunzioni sulla quale essa si basa all'interno di un contesto applicativo.

Parte dell'inadeguatezza delle logiche MRP è sicuramente dimostrata dalla frequenza con cui il personale aziendale lavora giornalmente al fine di supportarne l'effettiva operatività; il lavoro solitamente coinvolge la presenza di fogli di calcolo elettronici paralleli ai software gestionali. I dati sono solitamente estratti dai database, manipolati su pesanti file Excel col fine di essere reinseriti nel sistema gestionale di pianificazione. Se le organizzazioni aziendali si sentono in dovere di supportare attivamente e frequentemente le logiche MRP, ciò significa che tendenzialmente non vi è piena fiducia nella pianificazione autonoma del metodo. Gli aspetti negativi a riguardo sono principalmente i seguenti:

- Uno stesso task è di fatto compiuto due volte, sia dal sistema gestionale che dalle risorse aziendali, con un costo sia in termini di ritorno dell'investimento effettivo sul software acquistato, sia in termini di costo del lavoro del personale;
- I fogli di calcolo sono statisticamente affetti da un gran numero di errori, inevitabilmente e fisiologicamente dovuto all'apporto umano. Jeremy Olshan nell'articolo del 2013 "Market Watch" del *Wall Street Journal* [11] asserisce che circa il 90% dei fogli di calcolo contiene errori e, anche dopo un'accurata progettazione, sono presenti errori in almeno l'1% delle celle. Si pensi ad esempio che uno spazio di troppo in una cella contenente un valore numerico, converte questo in una stringa e dunque non compatibile con la maggior parte delle funzioni.

Le circostanze sotto le quali Orlicky nel 1964 perfezionò le regole dall'MRP risalenti già dai primi anni '50, sono oggi drasticamente cambiate. Rispetto a ormai sessanta anni fa, le condizioni al contorno sono differenti, generalmente e logisticamente; Chad e Debra Smith [12] elencano i tratti caratteristici di quello che è definito dagli autori New Normal:

- La crescita demografica ha fisiologicamente fatto incrementare i volumi di materiale richiesti e dunque movimentati;

- La complessità delle supply chain è aumentata: si è passati da strutture principalmente lineari e verticalmente integrate a strutture ramificate e disgregate;
- L'eterogeneità e la complessità (meccanica ed elettronica) dei prodotti offerti, in qualunque settore, sono sensibilmente incrementate;
- L'avanzamento tecnologico e il conseguente radicale cambiamento dei vettori pubblicitari, soprattutto negli ultimi anni, hanno fatto sì che le preferenze dei consumatori mutino rapidamente, riducendo i cicli di vita dei prodotti;
- L'aumento dei player all'interno dei mercati in fase di stagnazione ha condotto ad un fisiologico incremento della concorrenza (principalmente sul prezzo). Combinato questo aspetto con la riduzione dell'asimmetria informativa fra azienda e consumatore dovuta alla diffusione di Internet, si è assistito ad una riduzione dei tempi di tolleranza del cliente. Il consumatore può oggi trovare quello che vuole e al prezzo inferiore possibile, esigendo ridotti tempi d'attesa;
- La domanda cliente, in relazione a quanto scritto nei tre precedenti punti, è molto più variabile, rendendone la previsione sensibilmente meno accurata;
- La pressione per la minimizzazione delle scorte a magazzino è sensibilmente aumentata, visto l'aumento della variabilità della domanda e la riduzione del ciclo di vita del prodotto.

Il punto più critico, conseguenza dei tre precedenti, è sicuramente il penultimo: la domanda dei mercati, in qualunque settore, è oggi terribilmente variabile. Sono presenti clausole contrattuali fra fornitore e cliente che vietano al cliente di effettuare variazioni della domanda di qualunque entità e in qualunque orizzonte temporale, ma entro certi vincoli (generalmente sono ammesse fluttuazioni del 20% o 30%, da una settimana all'altra) ciò è di fatto quello che succede. Tali fenomeni sono ovviamente più o meno accentuati in relazione al potere contrattuale delle parti coinvolte, aggravando la situazione dei piccoli distributori. In ottica dell'MRP questo rappresenta un vero e proprio disastro: si è più volte sottolineato nella Sezione 1.4 che nell'MRP non ci sia spazio per la variabilità, sia per i lead time sia per la domanda cliente. L'esplosione della BOM è effettuata con le stesse modalità sia sulla domanda confermata, sia su quella predetta: se la previsione sulla domanda cliente non è affidabile (come succede nella realtà), gli ordini calcolati dall'MRP sono inevitabilmente inaccurati. Inoltre, se la domanda può fluttuare nel breve periodo, il calcolo giornaliero dell'entità degli ordini prodotto dall'MRP è inconsistente e l'esito del giorno successivo, valutato sulla base delle nuove domande cliente,

potrebbe essere sensibilmente diverso. Riprendendo quanto detto precedentemente, ecco perché il personale aziendale fa affidamento al parallelo utilizzo dei fogli di calcolo: se essi si attenessero a quello che l'MRP calcola, potrebbero dover rifare o modificare quanto fatto il giorno precedente, dal momento che l'MRP stesso giornalmente altera l'esito della pianificazione. Il fenomeno appena descritto è denominato "nervousness" dell'MRP.

Un'altra diretta conseguenza dell'incertezza e fluttuazione della domanda cliente è il verificarsi del fenomeno chiamato "bullwhip effect". Secondo l'APICS Dictionary [6, p. 19], il bullwhip effect è definito come:

"An extreme change in the supply position upstream in a supply chain generated by a small change in demand downstream in the supply chain [...] The bullwhip can be eliminated by synchronizing the supply chain".

Una variazione ridotta nella domanda cliente può essere cruciale per la fornitura dei componenti a monte, in quanto progressivamente amplificata. In una supply chain generica, se si osserva un picco di domanda di entità x del prodotto finito:

- Secondo le logiche MRP è generato un ordine x al retailer tale da soddisfare la domanda;
- Il retailer ordina una quantità $y = x + a$ al distributore per prevenire future situazioni di stockout;
- Il distributore ordina una quantità $z = y + b$ al produttore un quantitativo maggiore al produttore, generalmente in virtù della presenza di economie di scala, sconti sulla quantità e batch minimi.

Sono state dunque prodotte z quantità per soddisfare un ordine x , comportando di fatto overstock lungo tutta la generica filiera logistica considerata. L'effetto bullwhip si propaga a causa di disorganizzazione e mancanza di comunicazione (se il retailer dell'esempio avesse saputo che fosse stato un picco di domanda sporadico, non avrebbe ordinato anche la quantità a), per la presenza di lotti minimi d'ordine, sconti sulle quantità generate dalle economie di scala. Questo è l'effetto bullwhip di tipo informativo, in quando un'informazione non accurata nel primo livello della filiera ha gravi ripercussioni sui livelli inferiori. Vi è poi il bullwhip effect basato sul flusso dei materiali, che invece si propaga dai livelli inferiori a quelli superiori: uno stockout di una materia prima a monte della filiera, può generare stockout su differenti

prodotti finiti. In generale, più lunga è la supply chain e più gravi saranno i danni provocati dall'effetto. Una rappresentazione grafica della duplice natura dell'effetto bullwhip è riportata nella Figura 1.1 [13, p. 19].

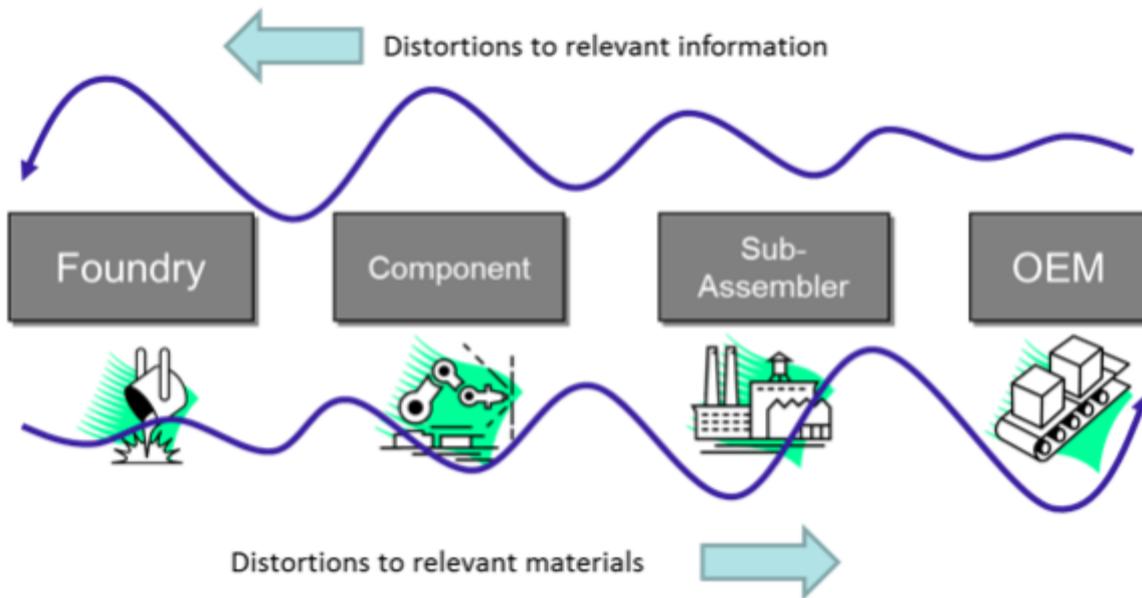


Figura 1.1: Propagazione bidirezionale dell'effetto bullwhip.

L'effetto bullwhip è fisiologicamente presente nelle filiere logistiche, tuttavia il metodo con cui sono generati gli ordini può in parte contribuire a contenerne gli effetti. L'MRP non sembra essere adatto a tal fine, dal momento che prevede una dipendenza algoritmica e totale fra gli ordini generati lungo tutta la filiera. Visto che l'MRP è ricalcolato ogni giorno sulla base di una domanda cliente fluttuante e poco affidabile, l'esplosione sulla BOM che il metodo prevede e la presenza del bullwhip effect fanno sì che siano generati ordini tanto più oscillanti quanto è più basso il livello della supply chain. La Figura 1.2 aiuta graficamente a visualizzare il problema in questione, riferendosi in parte all'esempio generico citato: una domanda cliente più bassa e costante fa sì che l'effetto bullwhip si propaghi in maniera più contenuta.

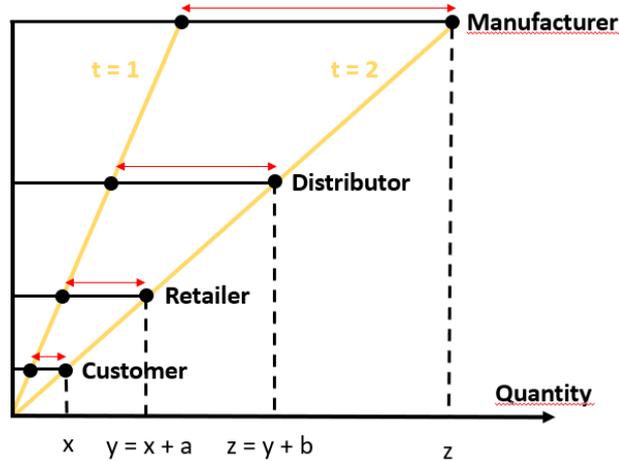


Figura 1.2: Impatto del bullwhip effect sui differenti livelli della filiera logistica.

Qual è la conseguenza di questo fenomeno sui livelli di scorta generati? Le fluttuazioni della domanda cliente generano oscillazioni degli ordini calcolati dall'esplosione della BOM, di maggiori entità ai livelli a monte della filiera, conseguentemente responsabili di quella che è comunemente chiamata distribuzione bimodale delle scorte. I livelli di inventario oscillano fra situazioni di overstock a situazioni a rischio stockout; la distribuzione bimodale delle scorte [13, p. 11]:

“It can be very simply described as ‘too much of the wrong and too little of the right’ at any point of time and ‘too much in total’ over time”.

È stato osservato da un sondaggio effettuato dal Demand Driven Institute dal 2011 al 2014 che, su un campione di 500 aziende distribuite su differenti parti del mondo, l'88% conferma di aver riscontrato un andamento bimodale dei propri livelli di scorte [13]. La Figura 1.3 [13, p. 11] rappresenta graficamente il concetto.

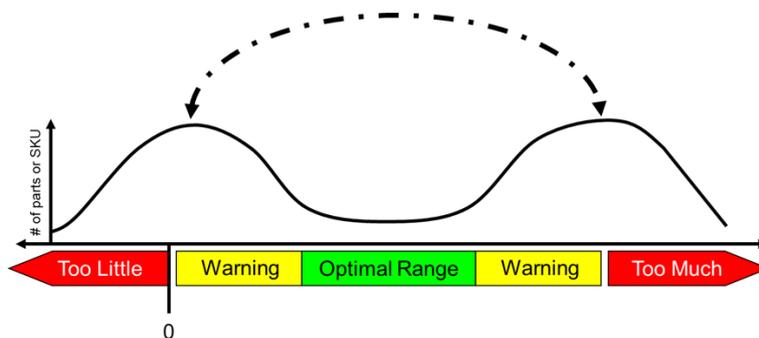


Figura 1.3: Distribuzione bimodale delle scorte.

Il livello di scorta si trova raramente nella zona ottimale, ovvero quella in cui si minimizzano i costi di magazzino senza però rischiare di incorrere in situazioni di stockout. Tale situazione è ovviamente non economicamente conveniente, in quanto un eccessivo livello di scorta significa:

- Maggiore quantità di capitale immobilizzato, tanto maggiore quanto è il valore unitario del prodotto in questione;
- Maggiori costi assicurativi delle scorte, tanto maggiore quanto è il valore unitario del prodotto in questione;
- Maggiore spazio richiesto per lo stoccaggio dei prodotti;
- Margini di guadagno inferiori visti gli sconti sulla quantità che solitamente si concedono per lo smaltimento delle quantità a magazzino.

D'altra parte, un livello troppo ridotto di scorte aumenta:

- Il rischio stockout, specialmente nei settori che prevedono numerose operazioni di assemblaggio in cui è richiesta una sincronizzata disponibilità di componenti;
- La probabilità di incorrere in penali;
- La frequenza con cui si ricorre a trasporti speciali per rispettare i tempi di consegna, che sono sì caratterizzati da lead time inferiori ma ad un prezzo decisamente superiore.

Una domanda sorge spontanea: in virtù dell'impatto disastroso che la variabilità della domanda cliente comporta, perché per effettuare l'esplosione della BOM il metodo MRP prende in considerazione anche le previsioni sulla domanda, decisamente meno affidabili? Perché soprattutto in presenza di lead time elevati, si è obbligati a farlo: se si considerasse solo la domanda cliente, potrebbe essere matematicamente impossibile reagire ad un suo cambiamento. Se l'orizzonte della visibilità sulla domanda è minore dei lead time che caratterizzano la filiera, non sarebbe possibile rifornirsi per tempo al fine di soddisfarla.

Esempio. Se si conosce la domanda cliente di un prodotto finito per i prossimi tre giorni e il lead time per l'approvvigionamento di un componente utilizzato per produrlo è di 4 giorni, si sarà sistematicamente in ritardo di 1 giorno nell'effettuare l'ordine. Se è tenuta in

considerazione anche la previsione della domanda cliente per il giorno 4, questo problema non si verifica.

L'essere obbligati a tenere in considerazione la previsione della domanda, inevitabilmente meno accurata, non fa altro che alimentare i fenomeni di nervousness e della propagazione dell'effetto bullwhip di cui si è discusso.

1.6 MRP vs Lean

Si procede con un breve e conciso richiamo alla famosa Lean Production, per poi analizzare come questa può superare alcune criticità del tradizionale MRP.

La Lean Production [14], o produzione snella, è una modalità di concepire la produzione, basata sui criteri adottati in Giappone dal Toyota Production System negli anni '50 e affermata globalmente nei primi anni '80. Consiste in un insieme di tecniche da adattare e modulare in riferimento al contesto applicativo, al fine di ottimizzare il sistema e minimizzare gli sprechi (chiamati *muda*), senza però compromettere la produttività. Sono stati individuati in tutto sette tipi di sprechi, il cui comune denominatore è quello di minare la generazione di valore offerto al cliente e dunque la profittabilità aziendale:

1. Overproduction: non si produce più di quanto è richiesto;
2. Waiting: si vuole un processo a flusso continuo e lineare, senza interruzioni;
3. Inventory: minimizzazione delle scorte a magazzino;
4. Transportation: trasporto efficiente dei materiali;
5. Over-processing: non si processa lo stesso prodotto più volte inutilmente;
6. Motion: movimentazione dei materiali agile fra i differenti centri di lavoro;
7. Defects: minimizzazione dei difetti di produzione.

L'approccio seguito è di tipo pull ed è basato sulla logica dei kanban: ogni risorsa produce solo in relazione al kanban di produzione proveniente da quella successiva. La Lean Production è pensata per preservare il flusso continuo, sia quello dei materiali che quello delle informazioni, all'interno di un sistema; la catena del valore generata dal processo produttivo non deve presentare interruzioni.

Le implementazioni delle logiche Lean all'interno delle realtà aziendali nascono con lo scopo di superare il metodo di pianificazione formale adottato dall'MRP, ritenuto inappropriato al

contesto odierno. Tuttavia, dal personale di pianificazione l'approccio Lean è considerato troppo semplicistico ai fini della sincronizzazione di un contesto dinamico e complesso come quello odierno, in quanto fornisce visibilità limitata ad ogni buffer [13].

Nonostante siano profondamente differenti, MRP e Lean perseguono il medesimo obiettivo: preservare il flusso del sistema. Tuttavia, le strade intraprese per farlo differiscono profondamente per tre motivi:

1. Dipendenza/Indipendenza: se l'MRP rende totalmente dipendente e sincronizzata tutta la filiera logistica, la logica Lean, mediante l'utilizzo dei kanban, fa sì che ogni risorsa sia legata solo al consumo di quella successiva. Le criticità sono generate da un lato dal continuo ricalcolo dell'entità degli ordini a causa della sola variazione della domanda cliente, dall'altro dalla totale assenza di sincronizzazione fra le risorse.
2. Generazione degli ordini: nell'MRP gli ordini sono generati prima dei consumi, nella Lean al contrario solo seguentemente visto che si vuole imporre al processo di pianificazione la velocità della domanda cliente.
3. Reattività alle variazioni della domanda: si è detto come l'efficacia di entrambe le modalità di pianificazione risenta della presenza di rilevanti shock esogeni della domanda cliente. Tuttavia, tramite il ricalcolo giornaliero degli ordini dell'intera filiera, l'MRP risulta essere più indicato nel reagire per tempo a queste variazioni, visto l'orizzonte temporale di pianificazione di medio periodo che lo caratterizza. Nella logica Lean invece, ogni risorsa ha visibilità solo su quella seguente: una variazione della domanda cliente, cioè a valle della filiera, è percepita da ogni nodo solamente nel momento in cui vi giunge tramite la catena degli ordini di produzione.

2. DDMRP

Nel presente capitolo è descritto dettagliatamente il metodo DDMRP, introdotto per la prima volta in una pubblicazione del 2011, esplorando nel dettaglio i principi su cui si fonda. Successivamente si procede con la descrizione delle logiche del metodo, distinguendone la fase di pianificazione, in cui sono dimensionati i buffer e generati gli ordini, e di esecuzione, coincidente con la fase di monitoraggio e controllo del piano.

2.1 *Nascita del DDMRP*

Nella terza edizione di *Orlicky's Material Requirements Planning* di Carol Ptak e Chad Smith pubblicata nel 2011, i due autori introducono il progetto iniziale del DDMRP, un metodo per la progettazione e pianificazione della supply chain generato ibridamente a partire dalle logiche MRP e Lean. Si riporta di seguito un passo tratto dal libro degli stessi autori dedicato all'argomento [13, p. 50] collocato a valle del confronto fra le logiche MRP e Lean (approfondito nella Sezione 1.6):

“What if there is a way to define a solution (rules and tools) that is not overly complex or overly simple? What if there is a way to take key and relevant aspects of both points of view and create an elegant blueprint that will work for and enhance both sides objectives? This solution must include a level of sophistication that can provide more visibility and synchronization from a planning and execution perspective while at the same time pace to actual demand and promote simple, clear, and highly visible signals across the enterprise. This solution is called Demand Driven Requirements Planning (DDMRP)”.

Si allude ad un metodo che offra visibilità e sincronizzazione al processo di pianificazione, che però sappia imporre al flusso di materiali, dettato da segnali chiari e semplici scambiati fra i nodi contigui del sistema, una velocità in linea con quella della domanda. Nello stesso libro [13, p. 52], il DDMRP è definito dagli autori, nonché creatori, come:

“a formal multi-echelon planning and execution method to protect and promote the flow of relevant information and materials through the establishment and management of strategically place decoupling point stock buffer”.

Tratto fondamentale del DDMRP è la presenza dei buffer di disaccoppiamento (descritti nel dettaglio nella Sezione 2.2), che consentono di creare parziale indipendenza fra i nodi della filiera logistica, così da non consentire la propagazione completa della variabilità.

2.2 *Buffer di disaccoppiamento*

Si è discusso sul fatto che il principale problema dei sistemi di pianificazione sia la distorsione della domanda cliente, presente indipendentemente dalle politiche di generazione degli ordini impiegate. La variabilità fa parte del mondo in cui viviamo e non può essere eliminata o ridotta a monte, in quanto contributo esogeno delle realtà aziendali. Ciò che può essere fatto è servirsi di 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. L'MRP, e la totale dipendenza fra i nodi della supply chain che esso comporta, da questo punto di vista non sembra essere efficace, vista la "nervousness" e l'impatto disastroso che l'effetto bullwhip ha su di esso.

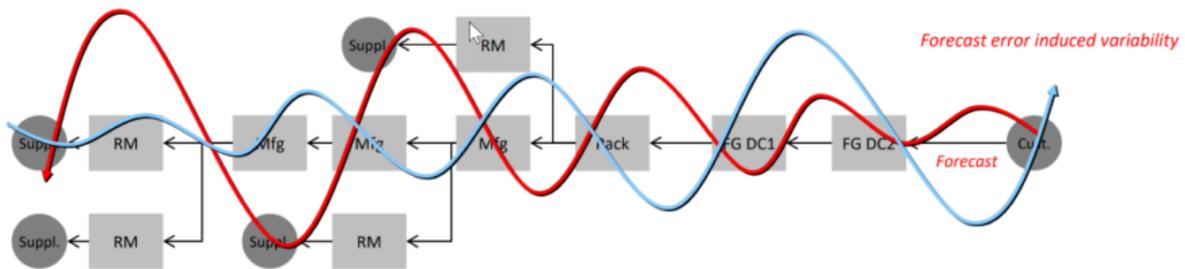
C'è bisogno di creare parziale indipendenza fra i nodi della supply chain, obiettivo perseguibile tramite il posizionamento di punti di disaccoppiamento. Essi rappresentano di fatto dei nodi in cui si sconnettono gli eventi che si verificano da un lato della filiera logistica da quelli che si verificano dall'altro. Il posizionamento di tali punti rientra sicuramente nella categoria delle decisioni strategiche, che condiziona sensibilmente il funzionamento e l'efficacia del sistema. In ambito logistico i punti di disaccoppiamento sono rappresentati da buffer, chiamati appunto buffer di disaccoppiamento, definiti dall'APICS Dictionary [6, p. 43] come:

"An amount of inventory kept between entities in a manufacturing or distribution network to create independence between process or entities".

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 bullwhip, sia di quello di tipo informativo sia di quello relativo al flusso dei materiali (Figura 2.1 [15]).

Bullwhip effect without decoupling buffers



Bullwhip effect with decoupling buffers

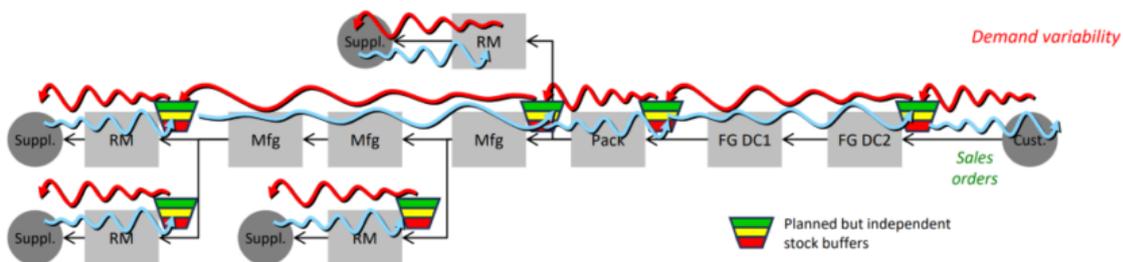


Figura 2.1: Propagazione del bullwhip effect con e senza buffer di disaccoppiamento.

Il posizionamento di buffer di disaccoppiamento è responsabile di un notevole cambiamento in termini di lead time: se la fabbricazione dei prodotti finiti a partire dai componenti è disaccoppiata dai lunghi lead time di fornitura di questi, il tempo di soddisfacimento della domanda cliente è di fatto inferiore e indipendente dai fornitori. Questo vuol dire che con un posizionamento strategico dei buffer, potrebbe non essere più obbligatorio prendere in considerazione il forecast della domanda cliente come nel tradizionale MRP, ma è possibile servirsi esclusivamente degli ordini veri e propri per generare gli ordini. Nonostante la domanda cliente sia comunque soggetta a fluttuazioni, questo è sicuramente un buon passo in avanti nel cercare di controllare la variabilità del mercato. È proprio dalla volontà di servirsi solo della domanda cliente che proviene il nome “Demand Driven” MRP.

Da un lato l'MRP prevede una dipendenza diretta di tutta la filiera dalla domanda cliente ed eventualmente dal forecast di questa, mentre la logica Lean rende indipendente ogni risorsa dall'intero sistema, come se fossero di fatto inseriti ovunque dei buffer di disaccoppiamento. Il DDMRP invece posiziona questi tipi di buffer in precisi punti della filiera, al fine di ottimizzarne l'intero funzionamento. Il risultato è che gli ordini sono generati dai soli buffer di

disaccoppiamento a quelli precedenti ed i buffer eventualmente interposti fra questi conservano le logiche pull tradizionali.

Esempio. Si immaginino tre buffer: materia prima, semilavorato e prodotto finito. Il primo e il terzo sono buffer di disaccoppiamento, il secondo è un buffer tradizionale. Quando necessario, il buffer del prodotto finito emette un ordine a quello delle materie prime. Prontamente sono prodotti i semilavorati, che dunque sono stoccati temporaneamente nel buffer tradizionale dedicato. Non appena è terminata la produzione dell'ordine, i semilavorati sono subito processati al fine di ottenere il prodotto finito e le unità prodotte sono stocate nel buffer di disaccoppiamento dedicato. Il buffer tradizionale centrale dunque non è diretto responsabile dell'emissione di alcun ordine, ma prende parte al processo solamente in relazione a quelli di disaccoppiamento contigui.

Nella Figura 2.2 [13, p. 249], una rappresentazione grafica delle tre logiche analizzate: MRP, Lean e DDMRP, ideato sulla base delle due precedenti.

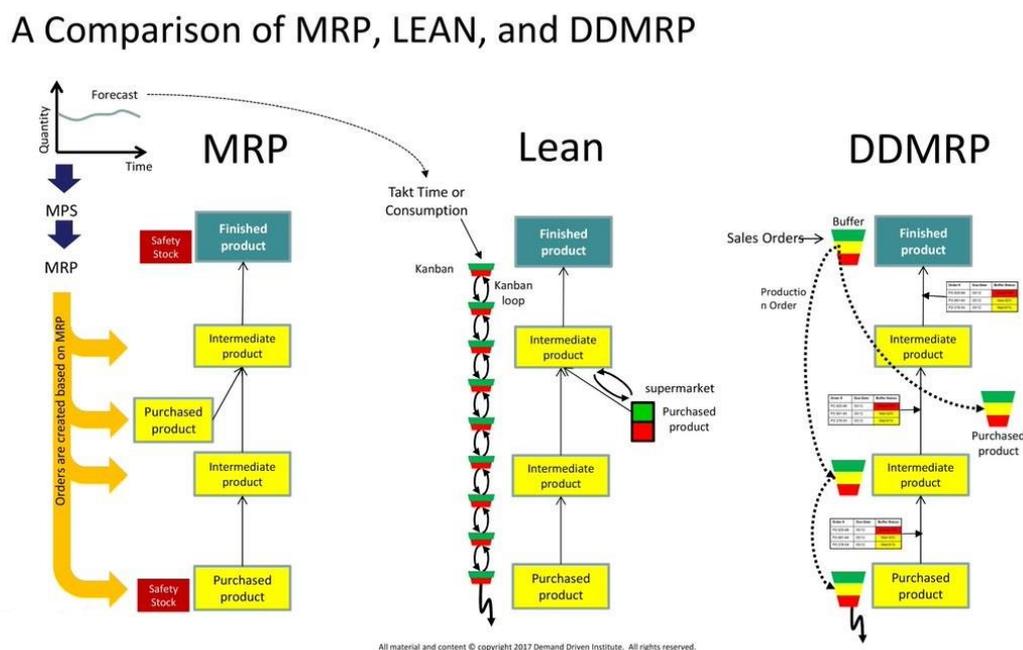


Figura 2.2: Confronto logiche MRP, Lean e DDMRP.

Il periodo che intercorre da quando il buffer di disaccoppiamento a valle emette l'ordine a quando questo è soddisfatto e le quantità richieste giungono a destinazione è chiamato

Decoupled Lead Time (DLT), ovvero lead time di disaccoppiamento. Chad Smith e Carol Ptak [13, p. 69] è definito come:

“The longest cumulative coupled lead time chain in a manufactured item’s product structure. It is a form of cumulative lead time but is limited and defined by the placement of decoupling points within a product structure”.

Si parla di lead time cumulativo, perché il DLT è calcolato come la somma dei lead time, di produzione e approvvigionamento, interposti fra un buffer di disaccoppiamento e quello più distante da esso presente nei livelli inferiori della filiera. Si fa riferimento al “più distante” perché bisogna osservare la Bill of Materials di un prodotto nella sua interezza, confrontando i differenti cammini.

Esempio. Si osservi l’esempio nella Figura 2.3. È rappresentata la BOM del prodotto finito AB, in cui sono presenti alcuni buffer di disaccoppiamento. I numeri scritti nei quadrati di ogni buffer rappresentano i lead time, di produzione o di approvvigionamento. Il DLT del prodotto AB è dato dal cammino più lungo fino al prossimo buffer di disaccoppiamento. In questo caso dunque $DLT_{AB} = 1 + 3 + 4 = 8$ e non $DLT_{AB} = 1 + 6$. Infatti, nel momento in cui il buffer di AB emette un ordine, bisogna aspettare che sia prodotto il componente B per procedere con l’assemblaggio.

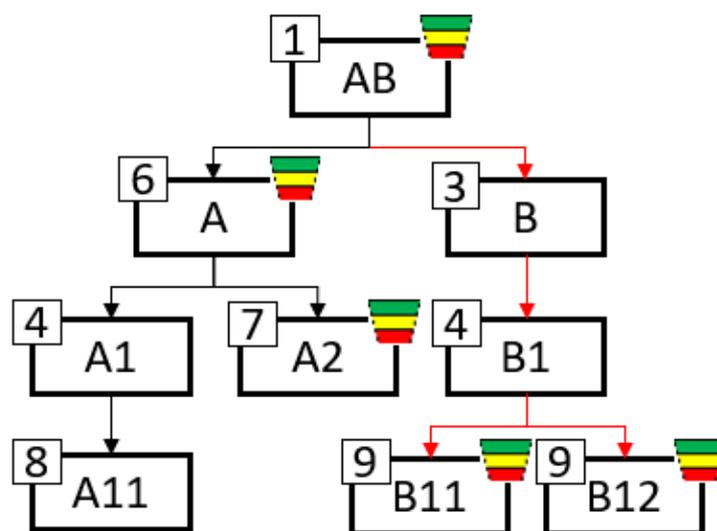


Figura 2.3: Esempio del calcolo del DLT.

2.3 *Posizionamento strategico dei buffer di disaccoppiamento*

Nella presente sezione si esploreranno i principali fattori che influenzano il posizionamento dei buffer di disaccoppiamento all'interno della filiera logistica. Come si è detto, questa scelta rientra sicuramente nella categoria delle decisioni strategiche, perché impatta sulle performance della gestione della supply chain: livello di servizio offerto, ammontare del capitale circolante, capitale immobilizzato, costi di trasporto, flussi di cassa e ROI.

In quanto decisione strategica, non vi sono regole algoritmicamente definite o applicabili ad un generico contesto applicativo, ma piuttosto linee guida da tenere in considerazione nel processo decisionale. Di seguito sono riportati i sei fattori che giocano un ruolo fondamentale nella scelta del posizionamento [13]:

- **Tempo di tolleranza del cliente:** è il tempo che il cliente è disposto ad aspettare 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 semi lavorato) 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. Se questo tempo di tolleranza è nullo, vuol dire che il buffer di disaccoppiamento va necessariamente inserito sul prodotto finito, così che il cliente possa immediatamente ritirarlo nel momento in cui lo richiede.
- **Lead time del potenziale di mercato:** se a valle della filiera si è più reattivi nel fornire il prodotto al variare delle condizioni del mercato, è possibile che questo consenta di poter alzare i prezzi e dunque incrementare la profittabilità del prodotto. Si pensi per esempio ad un prodotto in fase di lancio in cui si prospettano nell'immediato futuro la realizzazione di campagne pubblicitarie: essere reattivi nel riuscire a fornire grandi quantità del prodotto e fare fronte ad eventuali picchi di domanda nel momento di euforia, vuol dire riuscire a cavalcare l'onda dei prezzi elevati che questa comporta.
- **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 MAD (Mean Absolute Deviation). Se la domanda cliente è molto variabile, è altamente consigliato posizionare dei buffer di disaccoppiamento a valle della filiera così da non consentire la propagazione e l'amplificazione di tale variabilità tramite l'effetto bullwhip.

- Variabilità della fornitura: dipende dall'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. 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 della produzione, in relazione alla struttura della BOM, inserire un buffer di disaccoppiamento in corrispondenza di determinati prodotti consente di garantire flessibilità all'intera filiera. Rientrano in questa categoria quelli comuni alla BOM 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. In maniera più accentuata da un punto di vista più distributivo, prevedere un buffer di disaccoppiamento in corrispondenza di tali nodi consente di aggregare la domanda dei nodi a valle e di eliderne così in parte la variabilità. 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). 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 buffer di disaccoppiamento: tali prodotti 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 BOM aziendale.

- 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,

2.4 Dimensionamento dei buffer di disaccoppiamento

I buffer di disaccoppiamento sono il cuore del metodo DDMRP e come si è detto hanno la funzione di:

- Assorbire la variabilità esterna, sia dal lato fornitura che dal lato domanda;
- Non consentire a questa variabilità di propagarsi e amplificarsi su tutta la filiera;
- Spezzettare gli orizzonti di pianificazione ed esecuzione della filiera logistica;
- Comprimerne i lead time della filiera (disaccoppiando i buffer dei prodotti di fornitura, generalmente i più lunghi);
- Emettere gli ordini ai buffer di disaccoppiamento precedenti sulla base delle grandezze che ne dimensionano la capienza e della situazione attuale in termini di quantità a magazzino, quantità in transito e domanda futura.

Proprio riguardo a quest'ultimo punto, il buffer di disaccoppiamento è dimensionato sulla base di tre differenti zone che lo compongono, ognuna con una precisa funzione.

- **Green Zone:** è la zona responsabile dell'entità dell'ordine generato e della frequenza media di emissione.
- **Yellow Zone:** è la zona che ha il compito di garantire la copertura di stock nel periodo in cui le quantità ordinate sono in transito. Essa è infatti dimensionata esclusivamente sulla base del DLT del buffer e del relativo consumo medio.
- **Red Zone:** è la zona che, nonostante la sostanziale differenza nel principio di funzionamento, consegue il fine della scorta di sicurezza tradizionalmente conosciuta. Essa infatti ha il compito di assorbire picchi di domanda inattesi: maggiore è la variabilità associata al prodotto in questione, più estesa sarà la Red Zone.

Il dimensionamento quantitativo e una più precisa descrizione del funzionamento delle tre zone sono contenuti nelle sezioni seguenti. Una volta calcolata l'entità delle tre zone, la somma di queste tre determina la dimensione dell'intero buffer, come mostrato nella Figura 2.4.

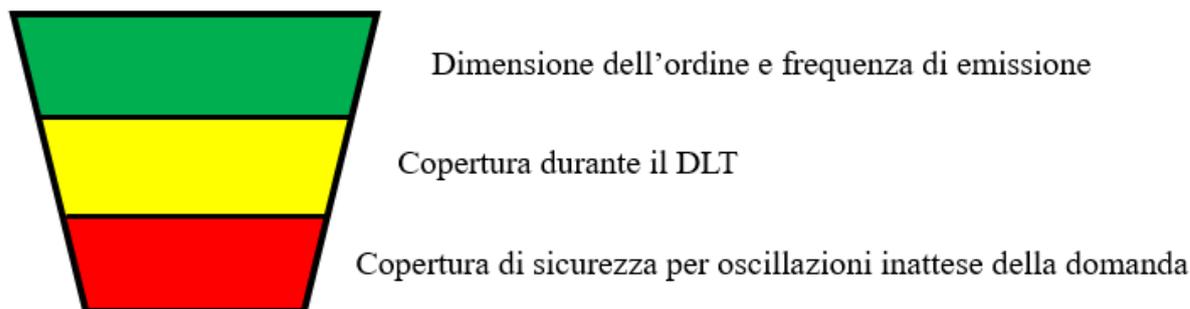


Figura 2.4: Funzione svolta da ogni zona del buffer di disaccoppiamento.

Per il dimensionamento corretto di ogni buffer di disaccoppiamento bisogna effettuare inizialmente una suddivisione in gruppi dei prodotti, al fine di definire delle regole, fattori correttivi e procedure comuni all'interno della stessa famiglia. Non bisogna confondere questo tipo di raggruppamento, effettuato al fine dell'applicazione delle logiche DDMRP, con le tradizionali nozioni di famiglia di prodotti, raggruppati per caratteristiche fisiche o per segmento di mercato di appartenenza. I profili di buffer individuati si differenziano sulla base di tre differenti fattori: tipo del prodotto, lead time e variabilità.

A seguire si tratterà come è effettuato il calcolo delle tre zone, passando in rassegna tutte le componenti necessarie a tal fine.

2.4.1 Part Type

È la tipologia di prodotto considerato, che può essere: prodotto dall'azienda a partire da altri componenti (Manufactured), acquistato da terzi (Purchased) o spedito da un luogo ad un altro all'interno dell'azienda (Distributed).

Tale classificazione è effettuata al fine di:

- Catalogare la natura del prodotto;
- Attribuire differenti Lead Time Factor e Variability Factor (analizzati nelle sezioni seguenti);
- Definire le responsabilità delle differenti risorse dell'organizzazione coinvolte nel processo (trasporti, acquisti, produzione).

Vi è da precisare che questa classificazione non è da considerarsi generalmente valida e corretta. In ogni contesto applicativo potrebbe essere opportuno aggiungere o eliminare delle categorie, al fine di realizzare un piano operativo più efficiente.

2.4.2 Lead Time

La Lead Time Category è la categoria fra tre possibili (Short, Medium, Long), su scala nominale, a cui è assegnato ogni prodotto sulla base della lunghezza del lead time. L'assegnazione di ogni prodotto ad una delle tre categorie dipende dal tipo di prodotto: infatti il concetto di lead time di breve, media e lunga durata deve essere commisurato al fatto che il prodotto sia fabbricato dall'azienda o acquistato da terzi.

La 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]. Prendendo spunto dalla suddivisione proposta dai creatori del DDMRP, nella Tabella 2.1 [13, p. 100] è contenuta la ripartizione in categorie dipendentemente dall'entità del lead time e del tipo di prodotto considerato; nella terza colonna sono inoltre riportati i range dei lead time factor assegnati alle differenti categorie.

Tabella 2.1: Lead Time Category e Lead Time Factor in relazione al tipo di prodotto e all'entità del lead time.

Part Type	Lead Time Category	Lead Time Range [giorni]	Lead Time Factor Range
Purchased & Distributed	Short	0 – 10	61% - 100%
	Medium	11 – 25	41% - 60%
	Long	26 +	20% - 40%
Manufactured	Short	0 – 4	61% - 100%
	Medium	5 – 9	41% - 60%
	Long	10 +	20% - 40%

Si noti che il Lead Time Factor decresce al crescere dell'entità del lead time. Questo è un fattore moltiplicativo direttamente responsabile del dimensionamento della:

- Green Zone: dal momento che questa zona determina l'entità dell'ordine e la frequenza media di riordino, un minore Lead Time Factor è responsabile di ordini più contenuti e

frequenti. Tale ragionamento è perfettamente in linea con l'obiettivo principale che si propone di perseguire il DDMRP, ovvero preservare la continuità del flusso dei materiali. Un prodotto con un lead time elevato sarà dunque caratterizzato da ordini ridotti ma molto frequenti, al fine di prevenire le principali problematiche legate a lunghi periodi di attesa, affetti dunque da una maggiore variabilità.

- Red Zone: questa zona è tanto minore quanto minore è il Lead Time Factor. Prodotti con lead time elevati sono quindi caratterizzati da una copertura di sicurezza minore, in linea col fatto che sono ordinati più frequentemente.

2.4.3 Variabilità

La Variability Category è la categoria fra tre possibili (Low, Medium, High), su scala nominale, a cui è assegnato ogni prodotto sulla base della variabilità che lo caratterizza. Nel particolare, in relazione al tipo di prodotto 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, valutata confrontando gli storici delle date di consegna degli ordini a preventivo e a consuntivo. Bisogna tenere conto nel processo di assegnazione ad una categoria di variabilità anche le eventuali fonti alternative di fornitura dello stesso prodotto: quanto più numerose sono queste, tanto minore sarà la variabilità di fornitura del prodotto. Euristicamente la variabilità di un prodotto di fornitura può essere determinata assegnando alle categorie:
 - Alta variabilità di fornitura (High): prodotti con distorsioni di fornitura frequenti;
 - Media variabilità di fornitura (Medium): prodotti con distorsioni di fornitura occasionali;
 - Bassa variabilità di fornitura (Low): vi sono multipli fonti di fornitura alternative e dunque raramente non si ottiene la consegna dell'ordine del prodotto nei tempi previsti.
- Nel caso di beni venduti direttamente al cliente, la variabilità deve essere rapportata alla quantità di picchi di domanda che il buffer di un prodotto deve essere in grado di soddisfare e la frequenza con cui essi sono individuati. Euristicamente la variabilità di un prodotto è in questo caso:
 - Alta variabilità della domanda (High): picchi di domanda frequenti;
 - Media variabilità della domanda (Medium): picchi di domanda occasionali;
 - Bassa variabilità della domanda (Low): domanda relativamente stabile nel tempo;

- Nel caso di prodotti intermedi (prodotti o assemblati e trasportati internamente all'azienda) bisogna considerare gli effetti generati da entrambi i lati della variabilità, specialmente se il contesto di riferimento è basato sul Assembly-to-Order (ATO) e Make-to-Order (MTO).

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]. Prendendo spunto dalla suddivisione proposta dai creatori del DDMRP, nella Tabella 2.2 [13, p. 104] è contenuta l'assegnazione del fattore ad ognuna delle tre categorie considerate.

Tabella 2.2: Variability Category e Variability Factor.

Variability Category	Variability Factor Range
High Variability	61% - 100%
Medium Variability	41% - 60%
Low Variability	0 – 40%

Si noti che il Variability Factor cresce al crescere della variabilità associata al prodotto. Questo è un fattore moltiplicativo direttamente responsabile del dimensionamento della Red Zone: maggiore è la variabilità associata al prodotto, più estesa è la zona responsabile della copertura di sicurezza, maggiore è la capacità del buffer di assorbire improvvisi ordini di grande entità e/o far fronte alla variabilità sulla fornitura senza incorrere in situazioni di stockout

2.4.4 Average Daily Usage

L'Average Daily Usage, comunemente indicato con l'acronimo ADU, è il consumo medio di un prodotto, calcolato su un orizzonte temporale definito. Il calcolo è effettuato in ogni istante di tempo e sulla base di questo, per ogni time bucket, è dimensionato l'intero buffer di disaccoppiamento: l'ADU è responsabile diretto dell'entità della Green Zone, Yellow Zone e Red Zone.

Per valutare l'ADU di ogni prodotto a cui è associato un buffer di disaccoppiamento, per ogni time bucket, bisogna preliminarmente decidere le modalità di calcolo considerando:

- La frequenza di ricalcolo: per preservare la continuità del flusso, è bene che l'ADU sia valutato frequentemente. Se così non fosse, l'entità dell'ADU risulterebbe discontinua

e gli ordini generati sulla base di questo di natura oscillatoria. Coerentemente con le dinamiche aziendali, solitamente il ricalcolo avviene giornalmente. Se nell'MRP tradizionale il ricalcolo frequente degli ordini incrementa la nervosità del sistema, nel DDMRP lo stabilizza rendendo più accurata la pianificazione.

- Lunghezza dell'orizzonte temporale: l'ADU è calcolato come la media dei volumi di prodotto che, per ogni time bucket (generalmente giornaliero) si sono consumati o che si prospetta di consumare (se lo si calcola in un orizzonte temporale futuro). Bisogna dunque stabilire sulla base di quanti dati si effettua tale media. Se il calcolo è effettuato su un orizzonte temporale corto, l'ADU è più reattivo alle variazioni delle quantità; al contrario, se l'orizzonte temporale è esteso, l'ADU è meno influenzato e dunque più stabile. Bisogna dimensionare l'orizzonte temporale sulla base della natura del contesto applicativo, prediligendo uno più o meno esteso conseguentemente alla volontà di rendere il ricalcolo giornaliero dell'ADU meno o più sensibile al rumore della domanda.
- Natura dell'orizzonte temporale: bisogna decidere se, per ogni time bucket, l'ADU è calcolato sulla base degli storici dei volumi di prodotto consumati, sulla base della domanda di consumi futura o su un orizzonte temporale a cavallo fra i precedenti.

Generalmente si opta per la prima soluzione in contesti caratterizzati da domanda relativamente stabile, in quanto le entità dei volumi a consuntivo sono più affidabili di quelli a preventivo (affetti da fluttuazioni).

La seconda opzione è invece preferita in contesti in cui la domanda è più variabile (e dunque non è detto che in futuro sia seguito lo stesso trend passato) o in generale in momenti di transizione che caratterizzano il ciclo di vita del prodotto: in fase di lancio per esempio, è sempre difficile prospettare le quantità domandate future in maniera accurata, pertanto è consigliato dare facoltà all'ADU di aggiornarsi sulla base delle richieste prossime dei clienti. È consigliato inoltre questo approccio in mercati affetti da stagionalità poco governabile della domanda, in cui un calcolo dell'ADU con orizzonte temporale sufficientemente esteso e rivolto al futuro può permettere al buffer disaccoppiamento di dimensionarsi per tempo e autonomamente.

La scelta della terza opzione è un ibrido delle due precedenti: l'orizzonte temporale dipende dal peso che si vuole dare ai volumi passati e futuri in ragione del contesto applicativo.

Si noti che tramite il calcolo dell'ADU con visibilità sulla domanda futura, in caso di orizzonte temporale sufficientemente esteso, potrebbero essere prese in considerazione i forecast della domanda. Tuttavia, le previsioni non intervengono direttamente nell'emissione degli ordini come avviene nell'MRP, ma sono solo delle componenti del calcolo dell'ADU, responsabile del dimensionamento del buffer di disaccoppiamento.

Il DDMRP consente inoltre la facoltà di applicare, per ogni time bucket, dei fattori moltiplicativi all'ADU. Tali fattori sono chiamati Demand Adjustment Factors (DAF) e sono utilizzati specialmente in mercati caratterizzati da considerevoli fattori di stagionalità della domanda. Osservando gli storici delle quantità di prodotto finito vendute, si possono calcolare dei fattori di stagionalità positivi al fine di dimensionare per tempo l'ADU e garantire una gestione più efficiente del magazzino (evitando overstock in periodi di stagnamento del mercato o di stockout in quelli di particolare vivacità). I DAF possono essere inoltre utilizzati in modo da dimensionare l'ADU nelle fasi di lancio o ritiro di un prodotto, se sono disponibili delle accurate previsioni della domanda.

In relazione ai dati a disposizione e allora loro accuratezza, si può dunque decidere di calcolare l'ADU sulla base di un orizzonte passato e dimensionare i periodi di stagionalità e transizione grazie ai DAF oppure calcolare l'ADU sulla base di una visibilità futura della domanda. La prima alternativa è preferita nel caso in cui il trend della domanda cliente sia ben conosciuto, esplicito e vi sia una maturità aziendale tale da prevederne accuratamente l'esito; è questo il caso di mercati come quelli dei cibi stagionali o dei vestiti invernali. La seconda alternativa è invece preferibile in contesti dinamici ed imprevedibili, in cui sono presenti effetti intrecciati di variabili esogene (andamento del mercato e benessere economico collettivo) ed endogene (come campagne pubblicitarie).

2.4.5 Green Zone, Yellow Zone e Red Zone

Green Zone.

La Green Zone è responsabile dell'entità degli ordini generati e della frequenza con cui sono emessi. Il calcolo della zona è dipendente, per ogni time bucket, dal calcolo della Green Zone seguendo tre differenti opzioni.

1. Imposed or Desired Order Cycle (IOC/DOC) Green Zone: la zona è calcolata sulla base del numero di giorni che si desiderano o è necessario far trascorrere fra l'emissione di due ordini. La Green Zone è calcolata come:

$$Green\ Zone_{IOC}(t) = ADU(t) * IOC \quad (2.1)$$

Oppure

$$Green\ Zone_{DOC}(t) = ADU(t) * DOC \quad (2.2)$$

2. Lead Time Factor Green Zone: la zona è calcolata in relazione al fattore numerico moltiplicativo basato sulla lunghezza del lead time, secondo le considerazioni e dinamiche esplorate nella Sezione 2.4.2. La Green Zone è calcolata come:

$$Green\ Zone_{LT}(t) = Lead\ Time\ Factor * ADU(t) * DLT \quad (2.3)$$

3. Minimum Order Quantity (MOQ): la Green Zone equivale alla quantità minima ordinabile.

La Green Zone di ogni time bucket è dunque calcolata come:

$$Green\ Zone(t) = Max \{Green\ Zone_{IOC}(t), Green\ Zone_{LT}(t), MOQ\} \quad (2.4)$$

Yellow Zone.

La Yellow Zone è responsabile della copertura durante il periodo di DLT, cioè per il periodo che intercorre da quando è emesso l'ordine al buffer di disaccoppiamento precedente a quando questo giunge a destinazione. Pertanto, il valore della Yellow Zone per ogni time bucket è sempre calcolato come:

$$Yellow\ Zone(t) = DLT * ADU(t) \quad (2.5)$$

Red Zone.

La Red Zone è la copertura di sicurezza del buffer necessaria a garantire il livello di servizio anche a fronte di eventi inaspettati quali picchi di domanda e variabilità nei lead time di fornitura. La Red Zone è calcolata a partire da due contributi:

1. Red Base: è il contributo della Red Zone calcolato sulla base del Lead Time Factor. Tale contributo è tanto maggiore quanto minore è il DLT del buffer di disaccoppiamento considerato. La Red Base è calcolata per ogni time bucket come:

$$Red\ Base(t) = ADU(t) * DLT * Lead\ Time\ Factor \quad (2.6)$$

2. Red Safety: è il contributo della Red Zone calcolato sulla base Variability Factor. Tale contributo è tanto maggiore quanto maggiore è la variabilità associata al buffer di disaccoppiamento considerato. La Red Safety è calcolata per ogni time bucket come:

$$Red\ Safety(t) = Red\ Base(t) * Variability\ Factor \quad (2.7)$$

La Red Zone è dunque ottenuta come la somma dei due contributi:

$$Red\ Zone(t) = Red\ Base(t) + Red\ Safety(t) \quad (2.8)$$

Sono di seguito definite le tre grandezze che delimitano le tre differenti zone del buffer:

- Top of Green (TOG): è l'estremo superiore del buffer ed è calcolato, per ogni time bucket come:

$$TOG(t) = Red\ Zone(t) + Yellow\ Zone(t) + Green\ Zone(t) \quad (2.9)$$

- Top of Yellow (TOY): è il livello del buffer che separa la Green Zone dalla Yellow Zone ed è calcolato per ogni time bucket come:

$$TOY(t) = Red\ Zone(t) + Yellow\ Zone(t) \quad (2.10)$$

- Top of Red (TOR): è il livello del buffer che separa la Yellow Zone dalla Red Zone ed è calcolato per ogni time bucket come:

$$TOR(t) = Red\ Zone(t) \quad (2.11)$$

In maniera concettualmente analoga ai Demand Adjustment Factors, è possibile applicare a fini diversi fattori moltiplicativi, time bucket per time bucket, ad ognuna delle tre zone. Il DDMRP prevede dunque eventualmente la possibilità di utilizzare:

- Green Zone Adjustment Factors (GZAF): mediante questo fattore si può espandere o limitare la Green Zone in ogni time bucket, al fine di aumentare l'entità degli ordini e ridurre la frequenza o viceversa. Questa operazione può essere effettuata per esempio in presenza di particolari vincoli di capacità, così da permettere una più efficiente ripartizione delle risorse produttive aziendali.
- Yellow Zone Adjustment Factors (YZAF): mediante questo fattore è possibile dimensionare la Yellow Zone in ogni time bucket, al fine di considerare eventuali variazioni (riduzione o aumento) dei lead time di fornitura o di produzione. Se per esempio un canale distributivo ha subito imprevisto, aumentare la Yellow Zone può tenere conto del momentaneo aumento del DLT associato al buffer.
- Red Zone Adjustment Factors (RZAF): mediante questo fattore è possibile dimensionare la Red Zone in ogni time bucket, così da incorrere in situazioni di stockout in periodi particolarmente caratterizzati da variabilità della domanda e/o di fornitura.

2.5 Demand Driven Planning

In questo capitolo è contenuto nel dettaglio il processo di pianificazione del DDMRP. Precisamente si descrive la logica di generazione degli ordini dei buffer di disaccoppiamento dei prodotti finiti sulla base della sola domanda cliente e come questa si propaga per l'intera filiera.

2.5.1 Net Flow Position

I buffer di disaccoppiamento sono responsabili dell'emissione degli ordini ai buffer di precedenti sulla base delle grandezze che ne dimensionano la capienza (uguale alla somma di Green Zone, Yellow Zone e Red Zone) e della situazione attuale in termini di quantità a

magazzino, quantità in transito e domanda futura. Lo stato presente del buffer è espresso dalla Net Flow Position, calcolata per ogni time bucket come:

$$Net\ Flow\ Position\ (t) = On-Hand\ (t) + On-Order\ (t) - Qualified\ Demand\ (t) \quad (2.12)$$

Essa è dunque l'equazione che esprime la situazione attuale delle scorte con una visione sulla situazione immediatamente futura del buffer. Infatti, la Net Flow Position è la somma delle quantità a magazzino, On-Hand (t), e quelle in transito verso lo stesso, On-Order(t), al netto della Qualified Demand (t). Quest'ultima componente (negativa) della Net Flow Position ha il compito di fare un prospetto del consumo futuro del buffer in questione, al fine di emettere in anticipo ordini atti al suo soddisfacimento. Essa è descritta approfonditamente all'interno della Sezione 2.5.2.

2.5.2 Qualified Demand

La Qualified Demand è definita come la somma della domanda del time bucket immediatamente successivo e la quantità di eventuali picchi di domanda, presenti in un orizzonte temporale futuro denominato Spike Horizon. Questo è sempre calcolato per ogni prodotto come:

$$Spike\ Horizon = DLT + 1 \quad (2.13)$$

La spiegazione è semplice: 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. Per quanto riguarda la definizione di "picco di domanda", è necessario definire quella che in letteratura è chiamata Order Spike Threshold. Questa 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. Vi sono tre diversi modi per valutare la Order Spike Threshold:

1. $OST_1(t) = Order\ Spike\ Threshold\ (t) = 0,5 * Red\ Zone\ (t) \quad (2.14)$

2. $OST_2(t) = Order\ Spike\ Threshold\ (t) = Red\ Base\ (t) \quad (2.15)$

3. $OST_3(t) = Order\ Spike\ Threshold\ (t) = ADU\ (t) * 3 \quad (2.16)$

Non è possibile fissare a priori una soglia ottimale per ogni part number, anche perché le proporzioni fra le differenti soglie variano al variare di altri parametri (per esempio la Red Zone dipende dal Variability Factor assegnato e dalla Red Base, che dipende a sua volta dal DLT e dal Lead Time Factor).

La prima domanda che potrebbe sorgere spontanea è: perché all'interno della Qualified Demand non è presa in considerazione tutta la domanda cliente disponibile? Il soddisfacimento di tale domanda è incluso nel dimensionamento del buffer grazie al calcolo dell'ADU. Se la domanda futura è dunque in linea con l'ADU non c'è alcun bisogno di sottrarla una seconda volta alla Net Flow Equation; gli unici ordini da tenere in considerazione sono gli eventuali picchi di domanda nell'orizzonte Spike Horizon. Infatti, se questi non fossero anticipati per tempo potrebbero verificarsi situazioni di stockout, nel tentativo di soddisfarli appena richiesto, o brusche variazioni della Net Flow Position, che come si capirà in seguito si riflettono in ordini di grandi dimensioni e talvolta non necessari.

2.5.3 Generazione degli ordini

Un ordine è generato da un buffer di disaccoppiamento nel momento in cui la Net Flow Position assume un valore inferiore al TOY del time bucket considerato. L'entità dell'ordine generato è tale da riportare il valore della Net Flow Position al TOG, ovvero all'estremo superiore del buffer di disaccoppiamento (Figura 2.5).

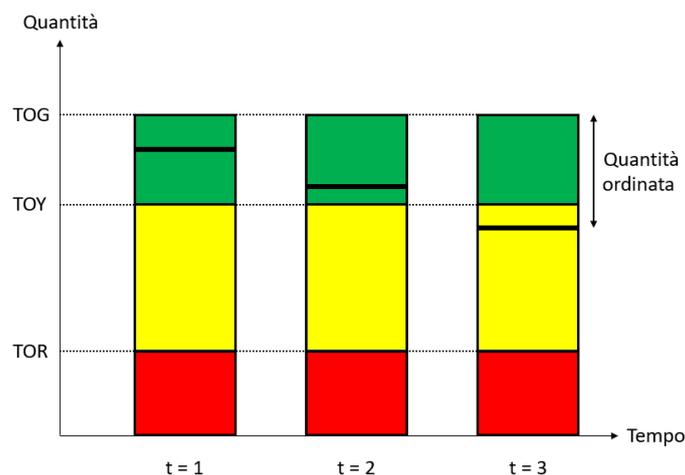


Figura 2.5: Principio alla base dell'emissione di un ordine nella logica DDMRP.

In t = 3 la Net Flow Position scende al di sotto del TOY e si trova così all'interno della Yellow Zone. Nel momento in cui questo si verifica è ordinata una quantità tale da fare tornare la Net

Flow position in cima alla Green Zone. Per motivi esplicativi nell'esempio riportato nella Figura 2.5 la dimensione del buffer di disaccoppiamento è sempre costante, come se l'ADU fosse costante nel tempo; questo nella realtà difficilmente si verifica, in quanto l'ADU è ricalcolato in ogni time bucket e talvolta è moltiplicato ai Demand Adjustment Factors, che fanno sì che sia incrementato o ridotto in relazione al time bucket.

Generalmente il display della fase di Planning del DDMRP si presenta, per ogni time bucket, come riportato in un esempio contenuto nella Tabella 2.3.

Tabella 2.3: Esempio di un tipico display della fase di Planning.

Time bucket = 1											
Part Number	Planning Priority	On-Hand	On-Order	Qualified Demand	Net Flow Position	Order	Request Date	TOR	TOY	TOG	DLT
A	59,23%	25	60	8	77	53	10 + 1	40	100	130	10

In ogni time bucket è calcolata la Planning Priority come il rapporto fra la Net Flow Position e il valore del TOG. Nei display questa percentuale è generalmente colorata dello stesso colore di una delle tre zone in cui si trova la Net Flow Position. Quando questa è colorata di giallo (come lo sarebbe nel nostro esempio) o di rosso è il segno che bisogna emettere un ordine tale da portare la Net Flow Position fino al TOG. La Planning Priority è un espediente che serve, grazie al colore, a capire immediatamente quali sono i buffer di disaccoppiamento che necessitano dell'emissione di un ordine, e tramite la percentuale per capire quali sono i buffer su cui è più urgente concentrarsi.

2.5.4 Decoupled Explosion

Nella logica del DDMRP gli ordini sono generati esclusivamente dai buffer di disaccoppiamento, sulla base del valore della Net Flow Position rispetto alle tre zone del buffer calcolate nello stesso time bucket. Gli ordini si propagano attraverso la filiera logistica tramite i buffer di disaccoppiamento che, quando necessario e con frequenza presumibilmente costante, richiedono a quelli precedenti di spedire o produrre le quantità necessarie. Per i buffer a valle della filiera logistica, il consumo del prodotto, responsabile della progressiva diminuzione della Net Flow Position, coincide con le quantità domandata dal cliente. Per tutti gli altri buffer, il consumo è invece determinato dalle quantità che il buffer di disaccoppiamento al livello superiore della filiera e collegato richiede.

Questo procedimento è denominato Decoupled Explosion; la terminologia è di per sé un ossimoro e sottintende la presenza di una “indipendenza dipendente”. Infatti, vi è indipendenza da un buffer di disaccoppiamento all’altro, dimensionati secondo parametri differenti (entità e frequenza degli ordini differenti), ma vi è dipendenza fra questi in quanto gli ordini di uno (al livello superiore) rappresentano i consumi dell’altro (al livello inferiore). I buffer interposti fra due di disaccoppiamento seguono le tradizionali logiche pull: essi infatti si riempiono esclusivamente in corrispondenza dell’emissione di un ordine del buffer di disaccoppiamento del livello superiore e si svuotano nel momento in cui l’ordine è processato (si veda il primo esempio della Sezione 2.2). È previsto per questi buffer una tradizionale scorta di sicurezza. Questa parziale indipendenza all’interno della filiera differenzia le logiche DDMRP da quelle dell’MRP, in cui nel processo di esplosione sulla BOM del prodotto è prevista una perfetta dipendenza fra tutta la filiera. La differenza è riportata nella Figura 2.6 [13, p. 183].

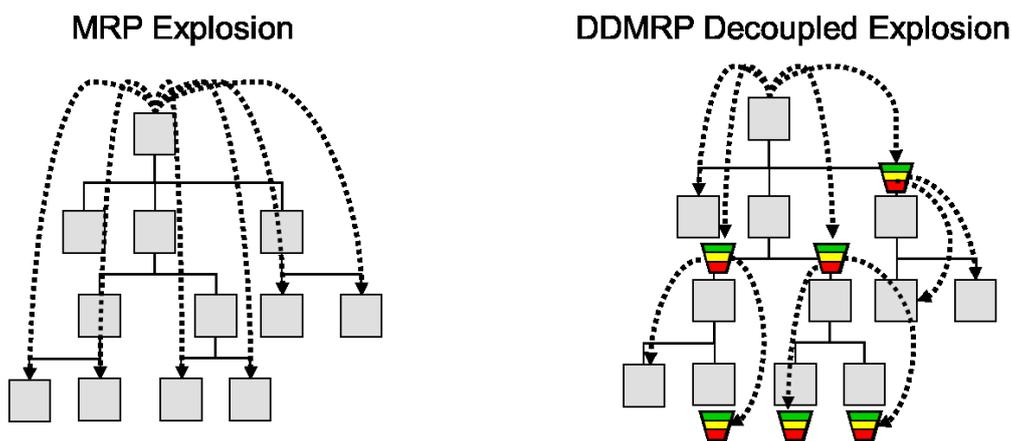


Figura 2.6: Differenza nella propagazione degli ordini tra le logiche MRP e DDMRP.

Dalla spiegazione della Decoupled Explosion si può comprendere pienamente il perché del nome “Demand Driven” MRP. Gli ordini si propagano lungo tutta la filiera logistica dipendentemente dalla sola domanda cliente che consuma i buffer di disaccoppiamento più a contatto con il cliente. Le richieste del cliente fanno sì che le Net Flow Position di questi buffer di disaccoppiamento si riducano e, una volta entrata nella Yellow Zone, che siano generati gli ordini ai buffer precedenti.

2.6 Demand Driven Execution

Nella fase di Execution del DDMRP sono monitorati e controllati i buffer di disaccoppiamento della filiera logistica. Se la fase di Planning prende in considerazione il valore della Net Flow

Position per la generazione e propagazione degli ordini, nella fase d'esecuzione si fa riferimento all'andamento nel tempo delle quantità a magazzino fisicamente presenti (On-Hand Position). Se la Net Flow Position della fase di Planning oscilla idealmente fra il TOG e il TOY, l'esempio seguente aiuta a comprendere il range di oscillazione della On-Hand Position.

Esempio. Si consideri un buffer di disaccoppiamento caratterizzato da $ADU = 10$ unità al giorno costante, $DLT = 18$ giorni, Green Zone = 60 unità, Yellow Zone = 180 unità, Red Zone = 100 unità. La Net Flow Position oscilla dunque fra $TOG = 340$ unità e $TOY = 280$ unità.

Se sono consumate 10 unità al giorno e la Green Zone è di 60, vuol dire che ogni 6 giorni è emesso un ordine di 60 unità. Questo vuol dire che la Yellow Zone, responsabile della copertura del periodo di DLT, è basata sulla copertura di 3 ordini, dal momento che un ordine è emesso ogni 6 giorni e il $DLT = 18$ giorni. In condizioni ideali la Red Zone non è mai utilizzata in quanto non vi è necessità di fare ricorso alle quantità adibite a situazione di emergenza, pertanto il TOR sarà l'estremo inferiore del range di oscillazione delle quantità a magazzino. Pertanto, quando un ordine di 60 unità entra in magazzino, vuol dire che in un mondo ideale a domanda e consumo costante le scorte coincidevano con il $TOR = 100$ unità. Immediatamente dopo le scorte sono dunque pari a $TOR + Green\ Zone = (100 + 60)$ unità. Il consumo di 10 quantità al giorno, fa sì che progressivamente in 6 giorni si torni a $TOR = 100$ unità e così via. La Figura 2.7 aiuta a visualizzare quanto spiegato: in $t = 3$ l'On-Hand coincide con il TOR, ma subito entra in magazzino un ordine di 60 unità.

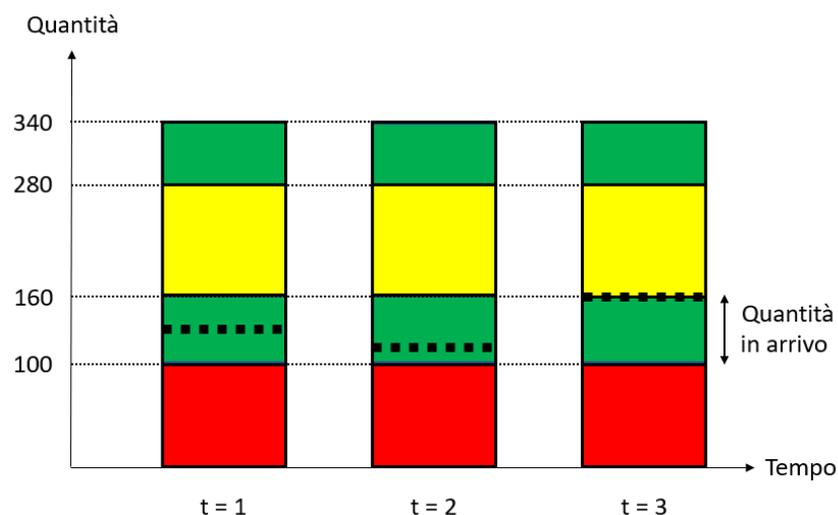


Figura 2.7: Esempio dell'andamento delle scorte nella logica DDMRP.

Pertanto, la quantità a magazzino di un buffer di disaccoppiamento (On-Hand Position) oscilla all'interno dell'intervallo delineato dagli estremi TOR e TOR + Green Zone. Questo è il range ottimale del livello delle scorte di magazzino, chiamato Optimal Zone, entro il quale questo in condizioni ideali (lead time costanti, consumo lineare nel tempo, assenza di variabilità sulla domanda cliente) si trova.

Nella realtà l'ADU non è costante e il consumo non perfettamente lineare, quindi è assolutamente possibile che il livello di On-Hand esca al di fuori del range ottimale. In particolare:

- Se il livello di On-Hand è al di sopra del range ottimale vuol dire che si è in presenza di una situazione di overstock, tanto più rilevante tanto maggiore è la quantità di prodotto a magazzino. Osservando la Figura 2.7, si può convenzionalmente affermare che nella parte rimanente della Yellow Zone (zona denominata nella fase di esecuzione High Yellow), compresa fra $TOY - (TOR + Green\ Zone)$ e TOY, si è in presenza di un lieve overstock; nella Green Zone vera e propria del buffer di disaccoppiamento (di colore rosso nelle zone del buffer della fase di Execution e denominata High Red) si è in presenza di una grave situazione di overstock.
- Se il livello di On-Hand è al di sotto del range ottimale vuol dire che si è in presenza di una situazione di understock, tanto più rilevante quanto minore è la quantità di prodotto a magazzino. Per distinguere la gravità della circostanza, nella teoria del DDMRP si afferma che è possibile dividere la Red Zone in due parti, seguendo lo stesso ragionamento del punto precedente: la metà più vicino alla Optimal Zone di colore giallo (denominata nella fase d'esecuzione Low Yellow), per le situazioni di lieve understock, e quella più lontana di colore rosso (denominata Low Red), per le più gravi situazioni di understock che potenzialmente potrebbero condurre a stockout.

Nella Figura 2.8 è raffigurata la suddivisione appena spiegata, dimensionata sulla base dell'esempio precedente.

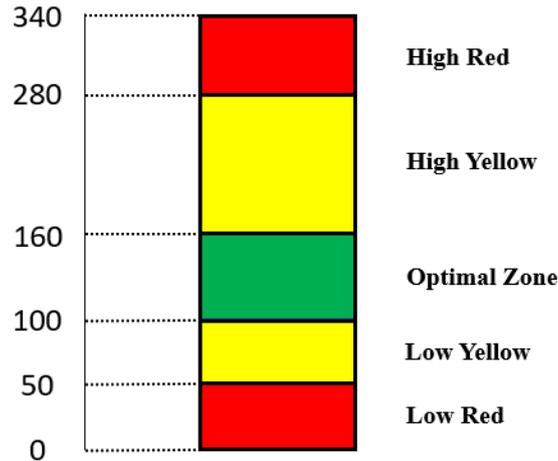


Figura 2.8: Zone del buffer di disaccoppiamento nella fase di Execution.

Alla stregua del calcolo del Planning Priority della fase di Planning, nella fase di Execution è calcolato per ogni time bucket lo Status del buffer, ottenuto come il rapporto fra l'On-Hand (t) e il TOR (t). Nei display della fase di Execution, questa percentuale è generalmente colorata dello stesso colore della zona in cui si trova l'On-Hand. Lo Status è un espediente che serve, grazie al colore, a capire immediatamente qual è la situazione dei buffer (verde per una situazione ottimale, gialla per lievi understock o overstock, rossa per gravi understock o overstock), e tramite la percentuale per capire quali sono i buffer su cui è più urgente concentrarsi ed eventualmente agire. Assegnare una dimensione quantitativa alla priorità di rifornimento di un prodotto significa avere la facoltà di ordinare numericamente i casi di emergenza di differenti prodotti. Nei casi di understock, tanto più basso è il valore dello Status tanto più velocemente è necessario intervenire, per esempio emettendo prontamente degli ordini straordinari atti a far fronte a situazioni di emergenza. Se è il caso di prodotti di fornitura si può pensare di effettuare trasporti più veloci (tramite aereo e non nave per esempio); se è il caso di prodotti da fabbricare, dare priorità al ciclo di lavorazione.

Generalmente appena la On-Hand Position entra a fare parte della zona Low Red, è prevista dal sistema informativo gestionale la generazione di un alert con il compito di segnalare al personale del reparto logistica una possibile situazione critica.

3. Caso di studio applicativo

Al fine di verificare l'efficacia del metodo DDMRP sulla modellazione, pianificazione e gestione della supply chain, con particolare focus sui livelli di scorte che questo comporta, si procede con la descrizione di un caso di studio applicativo. In generale, l'obiettivo è quello di confrontare i livelli di scorte generati dalle logiche di riordino del DDMRP, ottenuti mediante una simulazione, con quelli derivanti dall'applicazione delle politiche attualmente adoperate presso Automotive Lighting. Per effettuare la simulazione, si vuole imporre lo stesso flusso in uscita dei prodotti finiti considerati, in un preciso orizzonte temporale (ovvero rispettare la stessa domanda cliente), ponendosi nelle stesse condizioni di visibilità e variabilità della domanda cliente (in ogni istante di tempo considerato si hanno le stesse informazioni riguardanti la domanda cliente di cui si disponeva). A partire dai consumi dei buffer dei prodotti finiti, sarà effettuata la propagazione degli ordini all'interno della filiera considerata, imponendo che gli ordini emessi dai buffer di disaccoppiamento al livello superiore coincidano con i consumi di quelli al livello inferiore. La simulazione è dunque effettuata a partire dalla sola domanda cliente dei prodotti finiti considerati per il caso di studio, applicando appunto la logica "Demand Driven". L'output di tale simulazione sono i livelli di stock, per ogni part number e nell'orizzonte temporale considerato, generati dall'applicazione delle logiche DDMRP, in seguito confrontati con quelli verificatisi nello stesso periodo frutto dell'applicazione delle logiche MRP aziendali adottate. A questo fine, il procedimento con cui si è deciso di procedere è strutturato come segue:

1. Selezione di un insieme di prodotti finiti dell'azienda e delle corrispettive Bill of Materials;
2. Analisi della filiera logistica dei prodotti selezionati;
3. Definizione di un orizzonte temporale nel quale operare il confronto e scelta del time bucket;
4. Posizionamento strategico dei buffer di disaccoppiamento all'interno della filiera logistica presa in considerazione;
5. Raccolta dei dati aziendali necessari (volumi spediti nell'orizzonte temporale considerato, domanda cliente, quantità minime di riordino, lead time, ecc.) relativi ad ogni prodotto (e loro eventuale adattamento al caso di studio) e decisione dei parametri

di input del DDMRP (fattori di lead time e di variabilità, orizzonte temporale utilizzato per il calcolo dell'ADU, Spike Horizon, ecc.);

6. Costruzione di un tool Excel utilizzato per effettuare la simulazione dell'utilizzo delle logiche DDMRP nell'orizzonte temporale considerato;
7. Analisi dell'output ottenuto dalla simulazione: considerazioni riguardo l'andamento della Net Flow Position e On-Hand Position di ogni buffer di disaccoppiamento, confronto fra i livelli di scorte ottenuti dalla simulazione adoperando il metodo DDMRP e quelli osservati nello stesso orizzonte temporale con le politiche di riordino aziendali, analisi economica comparativa dei costi di magazzino generati dalle due logiche.

Nelle seguenti sezioni sono descritti nel dettaglio, punto per punto, tutti i passaggi sopra elencati.

3.1 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.

- **Invarianza dei trasporti:** 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. A questo proposito si è in ogni caso, al termine della simulazione, verificato che il periodo medio intercorso fra l'emissione di due ordini fosse sostenibile in un contesto reale, al fine di non compromettere la veridicità dell'intero caso di studio applicativo. Si è pertanto effettuato un confronto economico delle due logiche considerando solamente i costi generati dalle scorte a magazzino, ipotizzando i costi di trasporto invarianti fra le due metodologie di pianificazione.

Non si sono altresì prese in considerazione le dinamiche relative alla composizione di materiali differenti all'interno dello stesso mezzo di trasporto: nella simulazione ogniqualvolta è stato necessario trasportare delle quantità di un prodotto queste sono

state prontamente inviate a prescindere dal numero, supponendo verosimilmente la presenza di altri prodotti aziendali pronti per essere trasportati tramite lo stesso mezzo. Tale supposizione è assolutamente veritiera, se si considera l'eterogeneità e l'estensione dell'offerta di Automotive Lighting, colosso distributivo del settore automotive.

- Lead time costanti: effettuare una simulazione su un orizzonte temporale passato significa idealmente riprodurre le stesse condizioni al contorno verificatesi. Tuttavia, per ovvie ragioni non è stato 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. Come sarà descritto nella Sezione 3.6.4, gran 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 plant 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 svincolata: nella simulazione si è deciso di dare la facoltà ai buffer di disaccoppiamento di emettere ordini qualsiasi entità, dipendente dai parametri che dimensionano il buffer, così da supportare un'applicazione minuziosa delle logiche del DDMRP. Nella realtà 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, a fronte di una decisione presa di comune accordo fra plant coinvolti, 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 i prodotti considerati nel caso di studio per l'orizzonte temporale considerato, si è dunque scelto di non limitare l'entità degli ordini. Si noti che, dal momento che come si vedrà sono stati considerati i vincoli di capacità produttiva del plant, 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 corposa entità, al fine di preservare il flusso continuo dei materiali, le quantità sono spedite in più *tranche* 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 contenenti 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.

3.2 Selezione dei prodotti

Per effettuare la simulazione si sono presi in considerazione differenti versioni di quattro fari anteriori a LED utilizzati per la produzione delle corrispettive versioni di quattro autovetture della stessa nota casa automobilistica europea. Le differenti versioni dello stesso prodotto dipendono dal fatto che i fanali anteriori differiscono in relazione agli standard ECE internazionali e quelli SAE americani (in relazione all'intensità di illuminazione installabile, al fine di preservare la percezione dei guidatori giungenti dall'opposto senso di marcia) e dalla distinzione fra RHT (Right-Hand Traffic) e LHT (Left-Hand Traffic), ovvero se indirizzati al mercato di paesi in cui si guida a destra (come in Italia) o a sinistra (come in Inghilterra).

Di ogni faro anteriore si è deciso di non considerare l'intera BOM, in quanto più arduo computazionalmente e di dubbia utilità al fine dell'obiettivo della simulazione. In particolare:

- Di tutti i componenti necessari per l'assemblaggio del prodotto finito, si è preso in considerazione solo il modulo di controllo di ogni faro, ovvero il componente elettronico che di fatto rappresenta anche più di metà del valore dell'intero prodotto. Considerare tutti gli altri componenti (bulloni, lampadine, rinforzi in plastica, ecc..) sarebbe risultato confusionario e poco esplicativo, visto anche il fatto che è richiesto un'unità di quasi ognuno di questi per produrre il prodotto finito.

- Di tutti i componenti necessari per l'assemblaggio del modulo di controllo, si è preso in considerazione il solo componente elettronico all'interno (ECU), quello più critico in termini di fornitura. Come si vede dalla Figura 3.1 il modulo è infatti composto da differenti componenti e quello colorato in verde è l'ECU.

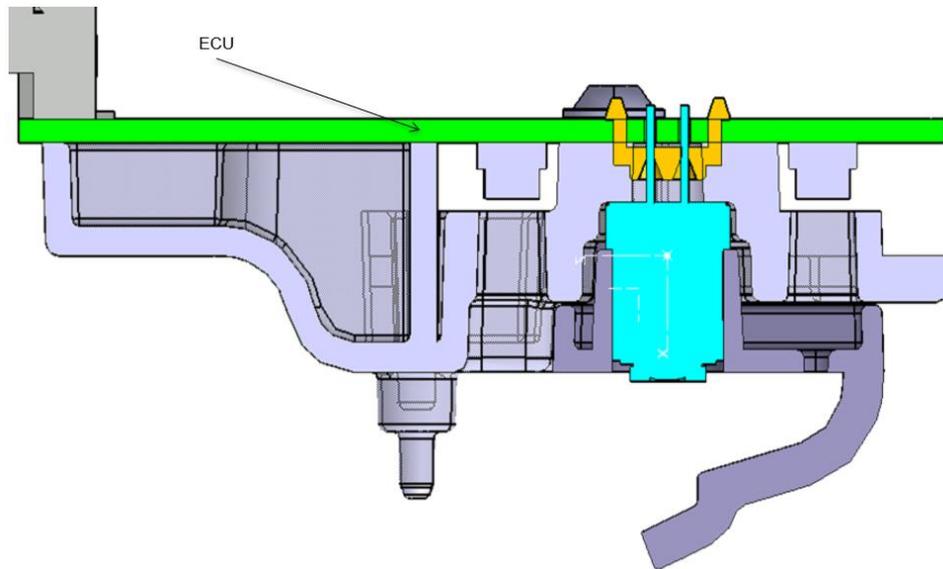


Figura 3.1: Componenti del modulo del faro.

- Con il termine “ECU” si intende nel caso di studio il componente elettronico montato all'interno del modulo, che è prodotto a partire dal puro e grezzo componente elettronico ordinato da terzi.

Quest'ultimo non è stato preso in considerazione principalmente in ragione del fatto che il lead time di fornitura dei componenti elettronici grezzi è in genere più elevato dell'orizzonte temporale della simulazione effettuata (che sarà spiegato essere di 23 settimane). Come sarà trattato in seguito, il caso di studio si propone di simulare un'applicazione a regime delle dinamiche DDMRP e pertanto è necessario inizializzare con criterio le quantità in transito verso i buffer della filiera (Sezione 3.6.15). Dato che il lead time di fornitura è superiore dell'orizzonte temporale considerato, se venisse emesso un ordine all'inizio della simulazione questo non giungerebbe mai a destinazione. Se si fosse considerato dunque il buffer di disaccoppiamento dei componenti elettronici grezzi, sarebbe stato necessario inizializzare le quantità in arrivo per tutto l'arco temporale della simulazione, operazione che non risulta troppo sensata al fine di valutare l'efficacia dell'emissione degli ordini del metodo DDMRP.

Come è notevole, nella selezione dei prodotti e componenti su cui effettuare la simulazione si è sempre preferito optare per scelte che permettessero di valutare l'efficacia verticale del DDMRP (su livelli differenti della filiera logistica), piuttosto che quella orizzontale. Le motivazioni sono principalmente due:

1. Specialmente in questo caso di studio in cui le relazioni fra componenti della BOM sono perlopiù 1 a 1, la simulazione delle scorte di componenti allo stesso livello della filiera sarebbe risultata simile, non aggiungendo particolare valore al caso di studio. Di tutti i componenti dello stesso livello della filiera, si è scelto di simulare i livelli di scorte di quelli col più alto valore economico (si veda il caso del modulo di controllo per il faro anteriore), quelli più critici e quelli in comune a più prodotti finiti (gli stessi moduli di controllo sono utilizzati per la produzione di più versioni di fari anteriori).
2. Prediligendo una dimensione verticale della simulazione, risultano più eterogenei i lead time: si vedrà nella Sezione 3.3 che all'interno della filiera vi sono lead time di produzione e di fornitura dalle entità molto differenti. Dal momento che i lead time dimensionano la capienza dei buffer, più eterogenei sono i lead time, più variegata è la natura dei buffer e dunque maggiore è il campo di prova del DDMRP.

Ad ogni prodotto è associato un codice identificativo univoco, chiamato generalmente part number. Per chiare ragioni di tipo divulgativo, si sono assegnati differenti part number ad ogni prodotto; di seguito sono elencati i part number di ogni prodotto considerato nella simulazione, con alcune annesse considerazioni.

- JI11 → JI16: sono i fari anteriori del primo progetto, venduti presso lo stabilimento di Jihlava. Sono presenti tre versioni differenti del progetto, dal momento che ci sono 6 part number in totale, 3 per fari anteriori sinistri 3 per quelli destri (JI11 e JI12 sono sinistra e destra della stessa versione, così JI13 e JI14, JI15 e JI16). Sono prodotti in Jihlava a partire dai corrispettivi moduli da JIM11 a JIM16.

- JI21 → JI26: sono i fari anteriori del secondo progetto, venduti presso lo stabilimento di Jihlava. Sono presenti tre versioni differenti del progetto, dal momento che ci sono 6 part number in totale, 3 per fari anteriori sinistri 3 per quelli destri (JI21 e JI22 sono sinistra e destra della stessa versione, così JI23 e JI24, JI25 e JI26). Sono prodotti in Jihlava a partire dai corrispettivi moduli da JIM21 a JIM26.

- JU11 → JU14: sono i fari anteriori sinistri del terzo progetto, venduti presso lo stabilimento di Juarez. Sono presenti quattro versioni differenti del progetto. Sono prodotti in Juarez a partire dal modulo JURAW1SX, spedito da Jihlava, (dove è prodotto) in cui il part number identificativo è JIM1SX.
- JU21 → JU24: sono i fari anteriori destri del terzo progetto, venduti presso lo stabilimento di Juarez. Sono presenti quattro versioni differenti del progetto. Sono prodotti in Juarez a partire dal modulo JURAW1DX, spedito da Jihlava, (dove è prodotto) in cui il part number identificativo è JIM1DX.
- JU31 → JU34: sono i fari anteriori sinistri del quarto progetto, venduti presso lo stabilimento di Juarez. Sono presenti quattro versioni differenti del progetto. Sono prodotti in Juarez a partire dal modulo JURAW2SX, spedito da Jihlava, (dove è prodotto) in cui il part number identificativo è JIM2SX.
- JU41 → JU44: sono i fari anteriori destri del quarto progetto, venduti presso lo stabilimento di Juarez. Sono presenti quattro versioni differenti del progetto. Sono prodotti in Juarez a partire dal modulo JURAW2DX, spedito da Jihlava, (dove è prodotto) in cui il part number identificativo è JIM2DX.
- JIRAW: è il part number identificativo dell'ECU in Jihlava, a partire dal quale sono prodotti nello stabilimento tutti i moduli considerati.
- BARAW: è il part number identificativo dell'ECU nello stabilimento di Barberà, in cui è prodotto a partire del componente elettronico grezzo acquistato esternamente e dunque spedito a Jihlava.

3.3 Filiera logistica dei prodotti

Al fine di illustrare nel dettaglio la filiera logistica dei prodotti selezionati per il caso di studio, è riportata di seguito la Figura 3.2 che ne illustra la struttura, i collegamenti fra i differenti part number e i lead time di trasporto e produzione (di cui sarà ampiamente discusso nella Sezione 3.6.4), espressi in giorni lavorativi.

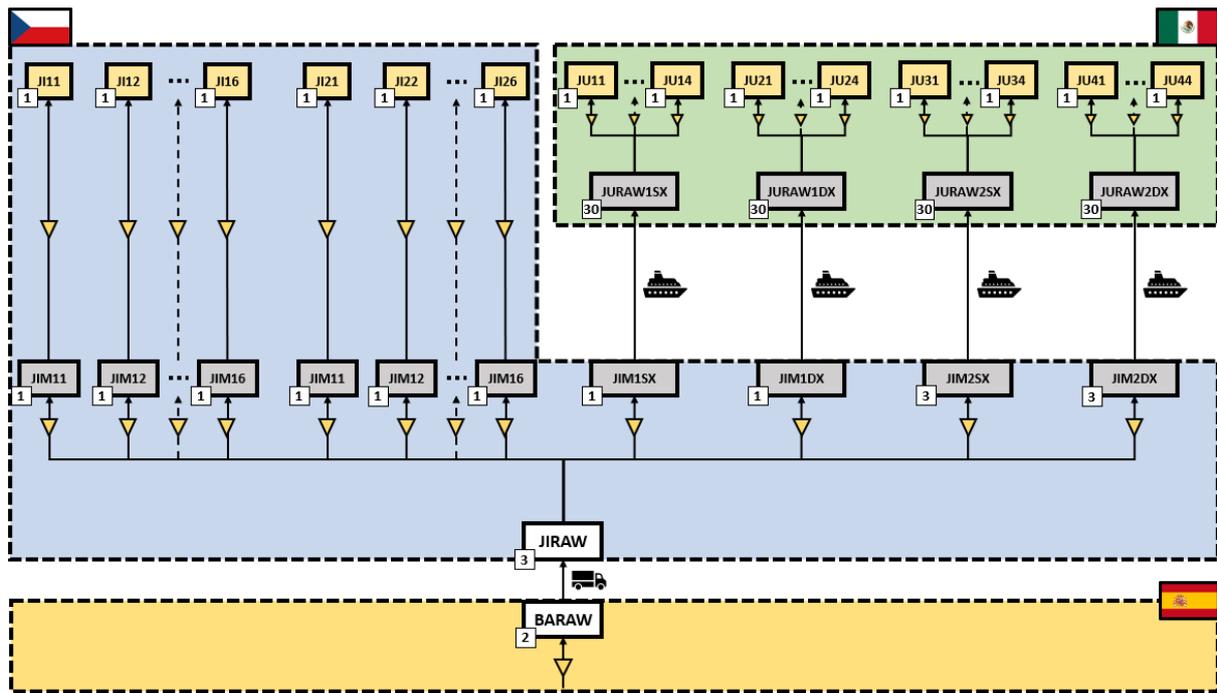


Figura 3.2: Supply chain del caso di studio.

Nello stabilimento di Barberà del Vallès è prodotto il componente elettronico (BARAW) comune a tutti fanali anteriori presi in considerazione nel caso di studio. Il cycle time di tale componente è di alcune volte inferiore rispetto a quello dei moduli o al tempo impiegato per l'assemblaggio del prodotto finito; inoltre, per i componenti elettronici, il tempo di setup è particolarmente ridotto (non è possibile esplicitare numericamente questi dati, data la sensibilità della loro natura). Una volta che l'ordine del componente è emesso e, trascorso il tempo di produzione della quantità richiesta, interamente processato, questo è prontamente spedito via terra allo stabilimento di Jihlava in 3 giorni lavorativi.

Lo stabilimento di Jihlava è caratterizzato dalla presenza di due magazzini, posti ad una distanza trascurabile, uno per i prodotti finiti e uno per le materie prime e semilavorati. I componenti elettronici trasportati da Barberà del Vallès sono dunque stoccati (con codice identificativo JIRAW) in questo secondo magazzino e opportunamente prelevati all'occorrenza. Nello stabilimento produttivo sono dunque prodotti, a partire dagli ECU, i moduli che compongono i fanali anteriori secondo i lead time di produzione rappresentati in Figura 3.2.

Parte dei moduli (da JIM11 a JIM16 e da JIM21 a JIM26) sono assemblati, insieme a tutti i relativi componenti, in linee dedicate a Jihlava così da ottenere i rispettivi prodotti finiti (da JI11 a JI16 e da JI21 a JI26).

I rimanenti moduli (JIM1SX, JIMIDX, JIM2SX, JIM2DX) sono invece spediti al magazzino di Juarez via nave, in partenza ogni lunedì della settimana, in 6 settimane (30 giorni lavorativi), e catalogati con i rispettivi part number (JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX). All'occorrenza, i moduli e tutti gli altri componenti sono prelevati dal magazzino, collocato a 30 km di distanza dallo stabilimento produttivo, e trasportati fino alle linee dedicate, nelle quali sono assemblati nei rispettivi prodotti finiti. Il tempo che occorre per il trasporto dei moduli e degli altri componenti dal magazzino allo stabilimento produttivo è stato considerato come tempo di setup e dunque come componente del lead time dei prodotti finiti.

La consegna e il trasporto dei prodotti finiti considerati, di Jihlava e Juarez, sono completamente a carico del cliente (clausola contrattuale Ex-Works), che bisettimanalmente (si sono presi in considerazione martedì e venerdì) si reca presso lo stabilimento e ritira la quantità domandata. Contrattualmente è inoltre concesso al cliente di apportare delle variazioni alle quantità domandate, ammettendo una fluttuazione di settimana in settimana compresa fra il 20% e il 30% di quanto precedentemente richiesto.

3.4 Orizzonte temporale e scelta del time bucket

L'orizzonte temporale scelto per effettuare la simulazione è quello compreso dalla settimana 45 del 2018 alla settimana 15 del 2019. La scelta è riconducibile alla totale disponibilità di dati necessari per effettuare la simulazione nell'intervallo di tempo considerato. Interessante è inoltre analizzare il comportamento delle logiche DDMRP in un periodo di piena stagionalità come quello natalizio (settimane 51 e 52 del 2018 e settimana 1 del 2019), di fisiologico stagnamento del mercato a causa delle chiusure aziendali.

Il time bucket con la quale si vuole operare la simulazione è quello giornaliero, nonostante la domanda cliente e lo storico degli stock siano stati forniti dall'azienda su base settimanale. Essendo stati presi in considerazione soltanto i giorni lavorativi, ogni settimana è composta da 5 giorni, dal lunedì al venerdì. Le ragioni della scelta di un time bucket giornaliero sono principalmente le seguenti:

- Non è stato possibile operare con un time bucket settimanale in quanto la maggior parte dei lead time considerati è inferiore a 5 giorni, facendo sì che talvolta l'inizio e la fine di un avvenimento fossero contenuti all'interno dello stesso time bucket.

- A livello aziendale l'MRP è aggiornato ogni notte, pertanto da giorno a giorno può variare l'emissione degli ordini, dunque la stessa logica deve essere riproducibile dalla politica DDMRP.
- L'ADU del DDMRP, così come da acronimo, è il consumo giornaliero ed è consigliato sia caratterizzato da una frequenza di ricalcolo giornaliera.

Ogni time bucket è indicato con le prime tre lettere del giorno della settimana, seguito dal numero della settimana stesso (per esempio lun50 è il lunedì della settimana 50 del 2018, mar02 è il martedì della settimana 2 del 2019). Dal momento che l'orizzonte temporale non comprende delle settimane con lo stesso numero ma in diversi anni, non è stato necessario inserire l'anno all'interno del nome del time bucket.

La simulazione comprende un totale di 115 time bucket, dal momento che sono considerate 23 settimane con 5 giorni lavorativi ciascuna.

3.5 Posizionamento dei buffer di disaccoppiamento

Prima di procedere con la descrizione dei criteri e delle motivazioni che hanno guidato il posizionamento dei buffer di disaccoppiamento all'interno della filiera logistica è bene fare una premessa. Il posizionamento dei buffer di disaccoppiamento all'interno di una filiera logistica rientra sicuramente nella sfera delle decisioni strategiche che, in quanto tali, possono alterare sensibilmente la struttura della supply chain. Buffer di disaccoppiamento possono essere inseriti anche laddove non sono attualmente presenti dei buffer, al fine per esempio di limitare ulteriormente i danni causati dall'effetto bullwhip in presenza di lead time considerevoli. Tuttavia, in vista del confronto dei livelli di stock generati dalle logiche di riordino del DDMRP o dell'MRP, si è preferito non considerare quest'ultima alternativa; si valuterà se collocare eventualmente buffer di disaccoppiamento solo dove sono attualmente presenti i buffer tradizionali aziendali.

Di seguito è riportato, per ogni part number, il motivo per cui si è deciso di collocare o meno un buffer di disaccoppiamento.

- Prodotti finiti (JI11 → JI16, JI21 → JI26, JU11 → JU14, JU21 → JU24, JU31 → JU34, JU41 → JU44): per questi part number si è deciso di prevedere un buffer di disaccoppiamento. Le ragioni sono principalmente le seguenti:

- Se si osservano le matrici contenenti, time bucket per time bucket, la domanda cliente dei prodotti finiti si può notare che essa è particolarmente variabile (con oscillazioni, come consentite a livello contrattuale, dal 20% al 30%), anche all'interno della stessa settimana (la domanda osservabile il lunedì per la settimana corrente è per la maggior parte delle volte differente dai volumi spediti a consuntivo di quella stessa settimana). Al fine di controllare la variabilità della domanda e non permetterne la propagazione all'interno della filiera, i buffer di disaccoppiamento risultano essere più adeguati.
- Il customer lead time (il tempo che trascorre da quando il cliente emette l'ordine a quando si aspetta di ritirare quanto richiesto) può essere considerato di fatto nullo, in quanto il cliente, essendo una nota casa automobilistica europea, ha un forte potere contrattuale. Pertanto, se il cliente varia la quantità richiesta da un giorno all'altro (nei limiti delle fluttuazioni contrattuali pattuite), è bene avere pronta disponibilità in magazzino di eventuali unità aggiuntive invece che ordinarne la produzione.

- Moduli JIM11 → JIM16, JIM21 → JIM26: per questi part number non è stato necessario prevedere un buffer di disaccoppiamento. Visto che la somma del lead time di produzione dei moduli a partire dalle ECU e quello per la produzione dei rispettivi prodotti finiti a partire dai moduli ammonta ad un totale di solo 2 giorni, lo stoccaggio di tali part number secondo le logiche DDMRP non è stato ritenuto necessario. Nel momento in cui è emesso un ordine dai buffer di disaccoppiamento dei prodotti finiti di Jihlava, è prontamente avviata la produzione dei corrispettivi moduli necessari a soddisfarlo; non c'è alcun bisogno di stoccare a magazzino ulteriori unità dei part number in questione, utilizzati di fatto solo per la produzione dell'unico corrispettivo prodotto finito.

- Moduli JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX: per tali part number è previsto un buffer di disaccoppiamento. La ragioni di tale scelta sono principalmente le seguenti:

- Il lead time di trasporto di tali componenti è di 30 giorni lavorativi, pertanto un buffer di disaccoppiamento, se adeguatamente parametrizzato, è utile al fine di stabilire la frequenza e le quantità di riordino. Impensabile inoltre, data la natura e l'entità del lead time, far dipendere il flusso di tali part number dai soli ordini generati dai corrispettivi prodotti finiti (alla stregua dei moduli del punto precedente).

- Ognuno di questi moduli è utilizzato per la produzione di quattro differenti prodotti finiti; sarebbe assurdo pensare di ordinare delle unità da Jihlava, data la natura e l'entità del lead time, ogniqualvolta è generato un ordine dei corrispettivi prodotti finiti.
- Se non si fossero disaccoppiati questi buffer, il lead time di trasporto di 30 giorni sarebbe stato una componente del DLT dei prodotti finiti di Juarez, il che avrebbe fatto sensibilmente incrementare i loro livelli di stock. Ciò è ovviamente non efficiente, dal momento che i prodotti finiti sono quelli a maggior valore unitario e dunque generano sconsiderati costi di capitale immobilizzato se stoccati in grande quantità.
- Il buffer di disaccoppiamento in questo caso, data l'entità del lead time di trasporto in nave e l'alta variabilità della domanda cliente di cui si è discusso, è un vero e proprio scudo per la propagazione della variabilità della domanda cliente su tutta la filiera logistica, non permettendo così al temuto bullwhip effect di comprometterne l'efficienza.

- Moduli JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX: a questi part number non è stato assegnato un buffer disaccoppiamento. Questi prodotti sono gli stessi stoccati a Juarez e dunque, se fosse assegnato loro un buffer di disaccoppiamento, questo sarebbe dimensionato sulla base dello stesso ADU dei corrispettivi part number. I buffer di Juarez generano ordini non regolari (dipendentemente dalla domanda variabile dei corrispettivi prodotti finiti) e probabilmente di elevata entità, dato il lead time di trasporto di 30 giorni, a cui un buffer di disaccoppiamento assegnato ai part number in questione non sarebbe in grado di far fronte. Si ricorda che i buffer del DDMRP sono stati pensati per soddisfare ordini frequenti e relativamente ridotti e non, come in questo caso accadrebbe, estremamente corposi se considerati in relazione alla capienza del buffer. Questi ultimi genererebbero oscillazioni drastiche della Net Flow Position, che possono provocare situazioni di stockout (nel caso l'ordine sia troppo elevato) o di overstock (se la Net Flow Position diminuisce bruscamente il buffer di disaccoppiamento emette di riflesso un ordine tale da riportarla al Top of Green, a prescindere dal suo valore). Pertanto, nel momento in cui è emesso un ordine dai buffer di disaccoppiamento dei moduli di Juarez, è prontamente avviata la produzione dei corrispettivi moduli di Jihlava necessari a soddisfarlo a partire dal part number JIRAW; le quantità prodotte sono dunque spedite a Juarez.

- JIRAW: per questo part number è stato previsto un buffer di disaccoppiamento. Essendo la colonna portante della filiera logistica presa in considerazione, in esso confluiscono

indirettamente tutte le domande di prodotti finiti. Il consumo del buffer è sicuramente eterogeneo, in quanto generato sia dai buffer dei moduli di Juarez, sia dai prodotti finiti di Jihlava, ma indubbiamente frequente. Pertanto, è consigliato un buffer di disaccoppiamento, che dovrà essere minuziosamente parametrizzato per funzionare correttamente e abbia la facoltà di soddisfare prontamente ordini caratterizzati da particolare variabilità. Quest'ultima per altro, dal momento che si tratta di punto di convergenza, è in parte contenuta dal principio di sovrapposizione della variabilità, noto nell'ambito della gestione delle scorte con il nome di risk pooling.

- BARAW: per questo part number non è stato previsto un buffer di disaccoppiamento. La motivazione è simile a quella discussa per i moduli prodotti a Jihlava e spediti a Juarez: se fosse assegnato un buffer di disaccoppiamento, questo sarebbe dimensionato sulla base dello stesso ADU del buffer di JIRAW, trattandosi di fatto dello stesso prodotto. Tuttavia, se il buffer di JIRAW come si è detto deve fare fronte a ordini frequenti proveniente da 10 buffer differenti, un eventuale buffer di disaccoppiamento associato al part number BARAW dovrebbe invece provvedere a quelli generati da uno solo, per altro tendenzialmente consistenti dal momento che sono dimensionati sulla base di tutto il consumo della filiera. Pertanto, nel momento in cui è emesso un ordine dai buffer di disaccoppiamento di JIRAW, è prontamente avviata la produzione di ECU nello stabilimento di Barberà del Vallès della stessa quantità, subito spedita a Jihlava una volta terminata. Ad avvantaggiare una logica di questo tipo è il fatto che, come si è accennato, il tempo di setup della linea di produzione dei componenti elettronici è ridotto.

I buffer di disaccoppiamento posizionati seguiranno i principi del DDMRP. Per tutti gli altri, la logica di funzionamento seguita è vicina concettualmente a quella di tipo pull: questi accumulano quantità del part number di riferimento nel periodo in cui è in fase di produzione e, una volta che l'ordine di produzione è totalmente terminato, il lotto è prontamente inviato al buffer del livello superiore della supply chain che lo ha ordinato. Per quest'ultimi tipi di buffer prevede inoltre una scorta di sicurezza, come nei sistemi di gestione tradizionale delle scorte, il cui dimensionamento è discusso nella Sezione 3.6.14.

Nella Figura 3.3 è rappresentata la filiera logistica considerata, con i buffer di disaccoppiamento eventualmente inseriti.

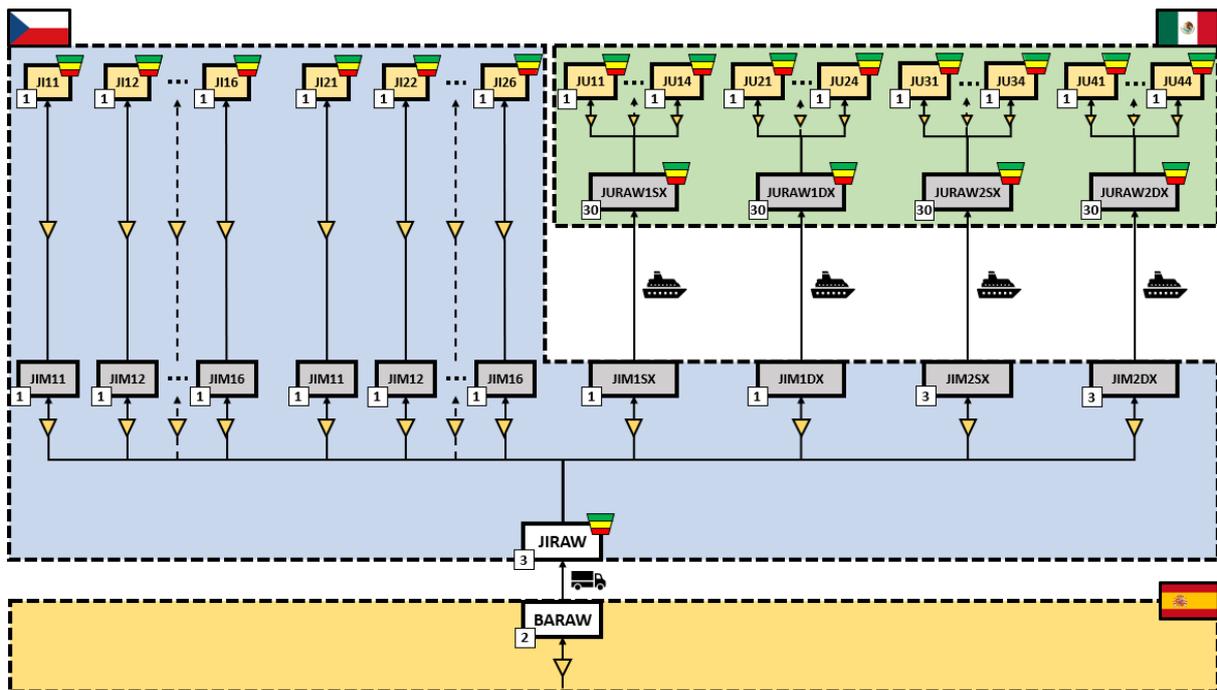


Figura 3.3: Supply chain del caso di studio con i buffer di disaccoppiamento.

3.6 Input

Nella presente sezione sono elencate tutte le informazioni, per ogni part number, necessarie per effettuare la simulazione. Sono considerati input:

- I dati forniti dall'azienda (lead time, storico dei volumi spediti e della domanda cliente, quantità minime di riordino, informazioni riguardati lo spazio occupato dai prodotti, costi unitari, storico delle quantità a magazzino, costi di magazzino);
- I parametri DDMRP impostati (orizzonte temporale utilizzato per il calcolo dell'ADU, fattori di lead time e variabilità, parametri per il calcolo della Qualified Demand e per la determinazione delle quantità iniziali a magazzino e in transito).

Per i primi sarà fornito un commento riguardante la natura e di come eventualmente è stato necessario adattarli ai fini della simulazione, per i secondi il ragionamento e le motivazioni seguite nello stabilirli.

3.6.1 Matrici della domanda cliente

L'intera logica DDMRP è basata sulla domanda cliente dei 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 fra loro. 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 state fornite dall'azienda delle matrici, una per ogni prodotto finito, nelle quali è contenuto lo storico delle quantità in uscita e, 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 un anno, dalla settimana 35 del 2018 alla settimana 34 del 2019; per alcuni part number tuttavia sono presenti dati solo fino alla settimana 15 del 2019, ragione per cui si è deciso di effettuare la simulazione fino a questo istante di tempo. Uno schema della struttura della matrice è riportato nella Tabella 3.1, al fine di spiegarne nel dettaglio le componenti e commentarla.

Tabella 3.1: Matrice della domanda cliente con time bucket settimanali.

As On Week	Shipped	201835	201836	201837	...	201901	...	201933	201935	201835
201835	Shipped ₃₄	D _{35,1}	D _{35,2}	D _{35,3}	...	...	...	...	...	...
201836	Shipped ₃₅		D _{36,1}	D _{36,2}	...	...	...	...	...	...
201837	Shipped ₃₆			D _{37,1}	...	...	...	...	...	...
...
201901	Shipped ₅₂					D _{01,1}	...	...	...	...
...
201933	Shipped ₃₂							D _{33,1}	D _{33,2}	D _{33,3}
201934	Shipped ₃₃								D _{34,1}	D _{34,2}

Nella colonna Shipped è presente lo storico delle quantità in uscita; si faccia attenzione al fatto che le quantità spedite in una settimana, sono contenute nelle righe della settimana successiva (per esempio, le quantità spedite nella settimana 36, Shipped₃₆, sono nella colonna Shipped e nella riga 201837). La motivazione è relativa al fatto che il prospetto delle quantità spedite è effettuato ad inizio settimana, quindi nella settimana presente sono inserite le quantità spedite in quella precedente.

Nelle altre colonne sono contenute le domande future $D_{i,j}$, ovvero la domanda attesa che si conosce nella settimana i , per la settimana posta a j settimane di distanza. Per esempio, $D_{35,1}$ sono le quantità che all'inizio della settimana 35, mi aspetto di spedire entro il termine della stessa settimana; $D_{35,2}$ sono le quantità che all'inizio della settimana 35, mi aspetto di spedire nella settimana 36.

Ai fini di effettuare la simulazione, è stato necessario riadattare le matrici ad un time bucket giornaliero: se si fosse utilizzato un time bucket settimanale, gran parte dei lead time considerati sarebbero stati minori del time bucket stesso, rendendo di fatto impossibile effettuare l'intera simulazione. Si è così creata, per ogni prodotto finito, una matrice su base giornaliera, ipotizzando di dividere ogni quantità di quella precedente in 5 giorni; un esempio è riportato nella Tabella 3.2.

Tabella 3.2: Matrice della domanda cliente con time bucket giornalieri.

As On Week	Shipped	Tue35	Wed35	Thu35	Fri35	Mon36	Tue36	...	Fri33	Mon34
Mon35	Shipped _{34/5}	D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,2/5}	D _{35,2/5}	...	...	...
Tue35	Shipped _{34/5}		D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,2/5}	D _{35,2/5}	...	...	...
Wed35	Shipped _{34/5}			D _{35,1/5}	D _{35,1/5}	D _{35,2/5}	D _{35,2/5}	...	...	...
Thu35	Shipped _{34/5}				D _{35,1/5}	D _{35,2/5}	D _{35,2/5}	...	...	...
Fri35	Shipped _{34/5}					D _{36,1/5}	D _{36,1/5}	...	...	...
Mon36	Shipped _{35/5}						D _{36,1/5}	...	...	...
...
Thu34	Shipped _{33/5}								D _{34,1/5}	D _{34,2/5}
Fri34	Shipped _{33/5}									D _{34,2/5}

Il consumo dei prodotti finiti in questa tabella è supposto lineare durante la settimana. Nella simulazione tuttavia, come già annunciato nella Sezione 3.3, è tenuto conto del fatto che in realtà il cliente preleva le quantità solo in due giorni della settimana: martedì i 2/5 e venerdì i 3/5 del consumo settimanale.

Come si è detto, queste matrici sono presenti solo per i prodotti finiti e sono quelle su cui sono calcolati ADU e Qualified Demand. Queste due ultime grandezze devono essere tuttavia calcolate anche per tutti gli altri part number a cui è associato un buffer di disaccoppiamento. Ciò è possibile mediante la creazione di matrici valutate a partire dalla struttura logica del caso di studio e dalle matrici dei prodotti finiti. La matrice di ogni part number è dunque calcolata semplicemente sommando, cella per cella, tutte le matrici dei part number poste al livello superiore della supply chain e direttamente collegate. Per esempio, la matrice del modulo JURAW1SX è la somma delle matrici di JU11, JU12, JU13, JU14. Nel caso delle matrici di prodotti non direttamente venduti al cliente non è presente la colonna "Shipped", ovvero le quantità spedite per ogni time bucket: queste quantità sono proprio quelle che la simulazione intende valutare, dal momento che sono le quantità in uscita di ogni flusso interaziendale.

3.6.2 Part Type

Il Part Type è il dato su scala nominale che assegna ogni part number ad una delle quattro differenti categorie:

- **Manufactured:** il part number è riferito ad un componente prodotto dall'azienda;
- **Sold:** il part number è riferito ad un bene prodotto dall'azienda e venduto al cliente finale;
- **Distributed:** il part number è riferito ad un prodotto trasportato da un plant ad un altro dell'azienda.
- **Transit:** il part number è riferito ad un prodotto che non è caratterizzato da un buffer di disaccoppiamento e pertanto non segue le logiche di funzionamento del DDMRP. Se fosse associato un buffer di disaccoppiamento a questo tipo di part number, esso apparirebbe in linea teorica alla categoria Manufactured, in quanto si tratta di un componente prodotto internamente all'azienda. Tuttavia, la logica che segue il buffer è più vicina a quella tradizionale: esso accumula quantità del part number di riferimento nel periodo in cui è in fase di produzione e, una volta che l'ordine di produzione è totalmente terminato, il lotto è prontamente spedito al buffer del livello superiore della supply chain che lo ha ordinato. Questo tipo di buffer prevede inoltre una scorta di sicurezza, come nei sistemi di gestione tradizionale delle scorte.

Ai part number di tipo Manufactured, Sold e Distributed sono invece associate buffer che seguono le logiche di funzionamento del DDMRP.

Tale classificazione è utilizzata per:

- Catalogare la natura dei part number;
- Assegnare ad ogni categoria differenti Lead Time Factor e Variability Factor;
- Definire le condizioni delle funzioni logiche del foglio di calcolo.

Nella Tabella 3.3 sono riportati i Part Type di ogni part number del caso di studio.

Tabella 3.3: Part Type dei part number del caso di studio.

Part Number	Part Type
BARAW	Transit
JIRAW	Distributed
JIM11 → JIM16	Transit
JIM21 → JIM26	Transit
J11 → J16	Sold
J21 → J26	Sold
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	Transit
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	Distributed
JU11 → JU14	Sold
JU21 → JU24	Sold
JU31 → JU34	Sold
JU41 → JU44	Sold

3.6.3 Location

La Location è la posizione geografica in cui è situato il buffer di ogni part number. Di seguito la Tabella 3.4 che mostra la Location di ogni part number.

Tabella 3.4: Location dei part number del caso di studio.

Part Number	Location
BARAW	Barberà del Vallès (ES)
JIRAW	Jihlava (CZ)
JIM11 → JIM16	Jihlava (CZ)
JIM21 → JIM26	Jihlava (CZ)
J11 → J16	Jihlava (CZ)
J21 → J26	Jihlava (CZ)
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	Jihlava (CZ)
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	Juarez (MX)
JU11 → JU14	Juarez (MX)
JU21 → JU24	Juarez (MX)
JU31 → JU34	Juarez (MX)
JU41 → JU44	Juarez (MX)

3.6.4 Lead Time e Decoupled Lead Time (DLT)

Nel caso di studio considerato sono presenti due tipi di lead time:

- Lead time di trasporto definito come il tempo che intercorre fra l'inoltro dell'ordine di acquisto e l'arrivo del carico a destinazione. Questo tipo di lead time è direttamente fornito dall'azienda: nel particolare, il trasporto da Barberà del Vallès a Jihlava è di 3 giorni lavorativi, quello da Jihlava a Juarez è di 6 settimane (considerati 30 giorni lavorativi).
- Lead time di produzione, definito come il tempo utilizzato per fabbricare un prodotto o un batch, dal momento in cui è emesso l'ordine al momento in cui è terminato. Questo lead time, nel momento in cui l'ordine comprende più unità di prodotto, è ovviamente dipendente dal tempo di processamento della singola unità, ovvero il cycle time e dall'eventuale tempo di setup e preparazione della linea.

Il DLT di un buffer di disaccoppiamento di un part number è definito come la somma dei lead time che si interpongono fra il buffer in questione e il buffer di disaccoppiamento che lo precede (situato ad un livello inferiore della supply chain).

In ottica della simulazione che si vuole effettuare, la determinazione dei DLT rappresenta una criticità, soprattutto se all'interno di questi sono compresi lead time di produzione. Ciò che verrebbe naturale pensare è dimensionare questi tipi di lead time sulla base della quantità dell'ordine emesso, data la dipendenza dal cycle time e tempi di setup. Tuttavia, si andrebbe incontro ad una contraddizione o, per meglio dire, ad un loop referenziale. Infatti, nella logica DDMRP, l'ordine emesso è funzione della Green Zone e della Yellow Zone, che sono a loro volta funzione del DLT. Pertanto, imporre un DLT sulla base dell'entità dell'ordine generato ad ogni time bucket non è possibile, in quanto tale quantità è appunto calcolata sulla base del DLT stesso, che dimensiona la Green Zone e la Yellow Zone di quel medesimo time bucket. Per ovviare a questo problema e procedere con una stima accurata di questi DLT si è dunque reputato opportuno seguire il seguente approccio iterativo:

1. Si assegnano ad ogni part number associati ad un buffer di disaccoppiamento dei DLT, ragionando su quello che potrebbe essere l'entità dell'ordine generato in relazione a tempi di setup e cycle time.
2. Si avvia la simulazione sulla base dei DLT inseriti al punto 1).
3. Si verifica se, il tempo impiegato per la produzione degli ordini medi generati dai buffer di disaccoppiamento di ogni part number, considerando il cycle time e tempo di setup,

coincide approssimativamente con il DLT impostato al punto 1). Più precisamente si verifica se, per ogni part number, vale la seguente relazione:

$$DLT = T_{setup} + cycle\ time * ordine\ medio \quad (3.1)$$

4. Se questa condizione non è verificata per ogni part number si riparte dal punto 1); altrimenti, si sono trovati i DLT corretti da utilizzare per la simulazione.

Non è possibile mostrare numericamente le iterazioni, in quanto i dati dei tempi di setup e dei cycle time sono sensibili e non liberamente divulgabili.

È bene sottolineare che questo tipo di approccio è stato utilizzato al fine di rendere l'output della simulazione più accurato e coerente ai dati di input possibile, dal punto di vista della capacità produttiva impiegata. Tale procedimento non ha alcuna influenza sull'esito della simulazione stessa, positivo o negativo che risulti, ma è semplicemente impiegato ai fini di allineare i lead time di produzione (e conseguentemente i DLT) di un ordine con il tempo impiegato per la sua produzione. Nella realtà un approccio iterativo non è ovviamente applicabile (la simulazione avviata al punto 2) implica la conoscenza delle quantità spedite e delle domande clienti future) ma nemmeno necessario. La determinazione dei DLT è supportata dall'esperienza delle risorse dei reparti logistici e produttivi, che conoscono l'entità media degli ordini generati, e più in generale dalla flessibilità che il contributo umano apporta su qualunque tipo di processo decisionale, di cui una simulazione totalmente automatizzata e frutto di meri algoritmi non può tenere conto.

Tenendo pertanto in considerazione quanto detto a proposito dei lead time di trasporto, di quelli di produzione e dell'approccio iterativo utilizzato, sono riportati nella Tabella 3.5 i lead time di ogni part number.

Tabella 3.5: Lead time dei part number del caso di studio.

Part Number	Tipo di lead time	Lead time[giorni]
BARAW	Produzione	2
JIRAW	Trasporto	3
JIM11 → JIM16	Produzione	1
JIM21 → JIM26	Produzione	1
J11 → J16	Produzione	1

JI21 → JI26	Produzione	1
JIM1SX, JIM1DX	Produzione	1
JIM2SX, JIM2DX	Produzione	3
JURAW1SX, JURAW1DX	Trasporto	30
JURAW2SX, JURAW2DX	Trasporto	30
JU11 → JU14	Produzione	1
JU21 → JU24	Produzione	1
JU31 → JU34	Produzione	1
JU41 → JU44	Produzione	1

È da sottolineare che al fine di non compromettere la veridicità della simulazione, numerosi LT di produzione ottenuti tramite l'approccio iterativo precedentemente descritto sono conservativamente approssimati per eccesso. Per esempio, i lead time di produzione dei lotti medi di produzione dei prodotti finiti sono spesso molto inferiori ad un giorno.

A partire da Tabella 3.5 e dal posizionamento dei buffer di disaccoppiamento, si sono definiti i DLT per ogni part number (non per quelli di tipo Transit), riportati nella Tabella 3.6.

Tabella 3.6: DLT dei buffer di disaccoppiamento del caso di studio.

Part Number	DLT [giorni]
JIRAW	2 + 3
JI11 → JI16	1 + 1
JI21 → JI26	1 + 1
JURAW1SX, JURAW1DX	1 + 30
JURAW2SX, JURAW2DX	3 + 30
JU11 → JU14	1
JU21 → JU24	1
JU31 → JU34	1
JU41 → JU44	1

3.6.5 Imposed or 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. Infatti, si ricorda che nelle logiche

del DDMRP il dimensionamento della Green Zone è calcolato come il massimo fra tre differenti valori:

$$Green\ Zone(t) = \max \{LT\ Factor * DLT * ADU(t); MOQ; DOC * ADU(t)\} \quad (3.2)$$

Nel caso di studio considerato si è deciso di non imporre alcun DOC, dal momento che non sono presenti vincoli relativi a questa tematica. Infatti, trattandosi di fanali anteriori, formati da componenti la cui qualità non deteriora nel breve periodo (come per esempio nel caso di prodotti chimici o alimentari), non è stato necessario porre vincoli sulla frequenza degli ordini. Si sarebbe potuto pensare di prevedere dei DOC per i buffer di disaccoppiamento dei prodotti finiti, tuttavia non è stato necessario dal momento che questi sono tutti fabbricati a partire da materiali presenti nelle vicinanze dello stesso stabilimento produttivo

3.6.6 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). Nel particolare, per ogni tipo di part number, la MOQ è individuata come segue.

- Manufactured, Transit, Sold: 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. Tale dato è stato fornito dall'azienda, calcolato sulla base delle unità prodotte in un ciclo di lavorazione nel caso di part number Manufactured e Transit e mezzo ciclo per i Sold, tenendo conto dei cycle time dei prodotti e tempi di setup.

Bisogna fare una precisazione per i prodotti finiti di Jihlava (JI11 → JI16, JI21 → JI26): in tal caso la MOQ corrisponde al massimo fra la MOQ associata a questi part number e quella relativa ai corrispettivi moduli (JIM11 → JIM16, JIM21 → JIM26), caratterizzati da un buffer di tipo Transit. Infatti, nel momento in cui è generato un ordine di produzione dei prodotti finiti, seguendo la logica di tipo pull, immediatamente è avviata la produzione della stessa quantità dei moduli, di almeno MOQ unità. Dal momento che nel caso di studio analizzato il cycle time dei moduli è maggiore di quello dei prodotti finiti, la MOQ associata a quest'ultimi risulta essere nella pratica quella dei corrispettivi moduli.

- Distributed: la MOQ è uguale alla quantità di prodotto trasportata su un pallet (o all'interno di una scatola nel caso dei componenti elettronici prodotti da Barberà del Vallès). In un contesto aziendale come quello di Automotive Lighting, il trasporto dei prodotti è effettuato caricando sul mezzo anche diverse decine di prodotti differenti, rendendo pertanto possibile il trasporto anche di ridotte quantità di un solo part number.

3.6.7 Lead Time Category e Lead Time Factor

La Lead Time Category è la categoria fra tre possibili (Short, Medium, Long), su scala nominale, a cui è assegnato ogni part number sulla base della lunghezza del Lead Time. Tale categoria di appartenenza è ciò che determina l'assegnazione ad ogni part number 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 estesa 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 entità 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 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. Nel particolare, si è tratto spunto dalla Tabella 3.7 [13, p. 116].

Tabella 3.7: Lead Time Category e Lead Time Factor di riferimento del caso di studio.

	Lead Time Category	Days	Lead Time Factor
Manufactured (M)	Long	9+ days	0,25
	Medium	3-8 days	0,4
	Short	1-2 days	0,7
Sold (S)	Long	9+ days	0,25
	Medium	3-8 days	0,4
	Short	1-2 days	0,7
Distributed (D)	Long	20+ days	0,3
	Medium	10-19 days	0,5
	Short	1-9 days	0,7

Non sono compresi in questa sezione i part number di tipo Transit, in quanto non sono dimensionati secondo le logiche del DDMRP.

Per assegnare ogni part number ad una Lead Time Category non resta che confrontare i DLT dei buffer di disaccoppiamento in questione con quelli riportati in Tabella 3.7 e associare ad ognuno di essi il corrispettivo Lead Time Factor; le informazioni così ottenute sono riportate nella Tabella 3.8.

Tabella 3.8: Lead Time Category e Lead Time Factor dei part number del caso di studio.

Part Number	Lead Time Category	Lead Time Factor
BARAW	/	/
JIRAW	Medium	0,4
JIM11 → JIM16	/	/
JIM21 → JIM26	/	/
JI11 → JI16	Short	0,7
JI21 → JI26	Short	0,7
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	/	/
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	Long	0,3
JU11 → JU14	Short	0,7
JU21 → JU24	Short	0,7
JU31 → JU34	Short	0,7
JU41 → JU44	Short	0,7

Vi sono da fare due considerazioni in merito.

1. Al buffer associato al part number JIRAW è stato assegnato un Lead Time Factor di 0,4 (fattore di un part number di tipo Manufactured, con LT appartenente alla categoria Medium secondo Tabella 3.7) invece che di 0,5 (fattore di un part number di tipo Manufactured, con LT appartenente alla categoria Medium secondo Tabella 3.7). Il motivo è da attribuire al fatto che il DLT del buffer in questione è la somma di due diversi LT, LT_{BARAW} (2 giorni lavorativi) e LT_{JIRAW} (3 giorni lavorativi), rispettivamente di produzione e di trasporto; il dubbio ricade dunque se, nella scelta dei Lead Time Factor, considerare il part number come Manufactured o Distributed. Si è scelto di considerarlo come Manufactured conservativamente: dato che uno dei principali obiettivi del DDMRP è quello di preservare il continuo flusso di materiali, optare fra i due per il Lead Time Factor minore, responsabile di una maggiore frequenza di riordino, è stata reputata la decisione più coerente. Infatti, un minore Lead Time Factor implica

una minore Green Zone, consentendo alla Net Flow Position del buffer di raggiungere più frequentemente il TOY e generare l'ordine.

2. Ai buffer associati ai part number JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX sono stati assegnati Lead Time Factor di 0,3 (fattore di un part number di tipo Distributed, con LT appartenente alla categoria Long secondo Tabella 3.7). Seguendo lo stesso ragionamento del punto precedente, la scelta poteva inoltre ricadere su 0,25 (fattore di un part number di tipo Manufactured, con LT appartenente alla categoria Long secondo Tabella 3.7). Tuttavia, a differenza del caso precedente, si è reputato più coerente trattare il part number come Distributed, dato il peso abbondantemente maggiore dei LT di trasporto fra Jihlava e Juarez (30 giorni lavorativi) rispetto a quello di produzione dei part number JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX e JIM2DX (da 1 a 3 giorni lavorativi).

3.6.8 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;
- 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. Si ricorda 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. Nel particolare, si è tratto spunto dalla Tabella 3.9 [13, p. 116].

Tabella 3.9: Variability Category e Variability Factor di riferimento del caso di studio.

	Variability Category	Variability Factor
Manufactured (M)	High	0,75
	Medium	0,5
	Low	0,25
Sold (S)	High	0,7
	Medium	0,5
	Low	0,2
Distributed (D)	High	0,75
	Medium	0,5
	Low	0,25

Non sono ovviamente compresi in questa sezione i part number di tipo Transit, in quanto non sono dimensionati secondo le logiche del DDMRP.

Si è dunque operata un'analisi qualitativa per assegnare ogni part number ad una Variability Category e, tramite la tabella e il Part Type, il corretto Variability Factor.

- Part number di tipo Sold: osservando le matrici della domanda cliente, si può notare come questa sia caratterizzata dalla presenza di picchi di domanda sporadici. Per part number di questo tipo l'Order Spike Threshold è fissato al valore di $ADU \times 3$ (con valore dell'ADU calcolato nel time bucket presente) e lo Spike Horizon è fissato ad un numero di giorni pari a $DLT+1$. Tuttavia, nonostante la frequenza con cui è individuato un picco di domanda sia ridotta, data la natura instabile e imprevedibile della domanda cliente, si è deciso di assegnare i part number di tipo Sold alla Variability Category Medium. La scelta è ulteriormente supportata dal

fatto che, dal momento che i part number di tipo Sold sono direttamente consegnati al cliente, è bene essere conservativi per ridurre la probabilità di incorrere in situazioni di stockout e offrire così un maggiore livello di servizio.

- JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX: si è deciso di assegnare tali part number alla Variability Category High, in quanto ognuno dei buffer associati deve soddisfare gli ordini generati da quattro differenti prodotti finiti, con differenti ADU (se gli ADU sono differenti, le Green Zone dei buffer sono differenti, dunque eterogenee saranno le quantità degli ordini generati dai quattro prodotti) e ognuno appartenente alla Variability Category Medium. Inoltre, dato che il DLT di tali part number è notevole (da 31 ai 33 giorni lavorativi), la probabilità che un evento non preventivato possa verificarsi è maggiore, aspetto che faccia sì che sia presente anche una variabilità sulla fornitura di tali prodotti. Dunque, si è cautamente ritenuto opportuno assegnare i part number ad una Variability Category che permettesse di incrementare la Red Safety.

- JIRAW: è il part number su cui poggia l'intera struttura della supply chain e pertanto è indubbiamente il più critico del caso di studio. Il buffer deve essere in grado di soddisfare ordini estremamente eterogenei: quelli generati dai prodotti finiti di Jihlava (con ADU differenti) e quelli generati dai moduli di Juarez (JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX), di ordini di grandezza differenti dai primi. La Order Spike Threshold è stata fissata in questo caso ad un valore volutamente minore (uguale al valore della Red Base del time bucket considerato) in grado di rendere possibile l'individuazione più frequente e di una quantità maggiore di picchi di domanda. Per queste motivazioni, non solo questo part number è stato assegnato alla Variability Category High, ma si è ritenuto opportuno assegnargli il più elevato Variability Factor possibile, ovvero 1.

Sono rinviate alla Sezione 3.6.12 e alla Sezione 3.6.13 le spiegazioni relative alle scelte, per ogni part number (eccetto quelli di tipo Transit), dei valori di Order Spike Threshold e Spike Horizon.

Combinando le considerazioni appena effettuate, con la Tabella 3.9, nella Tabella 3.10 sono riportati i Variability Factor per ogni part number.

Tabella 3.10: Variability Category e Variability Factor dei part number del caso di studio.

Part Number	Variability Category	Variability Factor
BARAW	/	/
JIRAW	High	1
JIM11 → JIM16	/	/
JIM21 → JIM26	/	/
JI11 → JI16	Medium	0,5
JI21 → JI26	Medium	0,5
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	/	/
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	High	0,75
JU11 → JU14	Medium	0,5
JU21 → JU24	Medium	0,5
JU31 → JU34	Medium	0,5
JU41 → JU44	Medium	0,5

3.6.9 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 (tranne quelli di tipo Transit), denominate Buffer Profile, riportate nella Tabella 3.11.

Tabella 3.11: Possibili configurazioni dei bufer di disaccoppiamento nel caso di studio.

		Part Type				
		Manufactured	Sold	Distributed		
Lead Time Category	Short	MSL	SSL	DSL	Low	Variability Category
		MSM	SSM	DSM	Medium	
		MSH	SSH	DSH	High	
	Medium	MML	SML	DML	Low	
		MMM	SMM	DMM	Medium	
		MMH	SMH	DMH	High	
	Long	MLL	SLL	DLL	Low	
		MLM	SLM	DLM	Medium	
		MLH	SLH	DLH	High	

Nella letteratura, a completamento del Buffer Profile, sono aggiunti i valori di Lead Time Factor e Variability Factor, tra parentesi rispettivamente della seconda e terza lettera. A titolo

d' esempio, il Buffer Profile del buffer di disaccoppiamento associato al part number JI11 è "S - S(0,7) - M(0,5)".

3.6.10 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. Tale scelta è da ricercarsi nella volontà di voler rendere sensibile il calcolo dell'ADU alle oscillazioni stagionali o, più in generale, a trend della domanda cliente prossima. A tale scopo è possibile seguire due differenti opzioni:

1. Moltiplicare l'ADU di ogni time bucket per fattori numerici, denominati comunemente in letteratura DAF (Demand Adjustment Factor), trattati nella Sezione 3.6.22, al fine di dimensionare il consumo medio di ogni periodo dell'anno in relazione ai trend della domanda cliente;
2. Adattare il calcolo dell'ADU in relazione alla sola domanda cliente futura.

Nel particolare, molti dei part number di tipo Sold del caso di studio, sono riferiti a prodotti in fase di lancio nell'orizzonte temporale della simulazione e dunque affetti da trend crescenti della domanda cliente. A maggior ragione, l'orizzonte temporale considerato per la simulazione comprende il periodo natalizio, nel quale sono previste chiusure aziendali e dunque un fisiologico periodo di fermo del mercato. Alla luce di queste considerazioni e di questo doppio effetto del trend della domanda, si è reputato più indicato adottare la seconda opzione, affidando il dimensionamento del consumo medio del buffer interamente alla domanda cliente futura (ponendo pertanto $ADU\ Past\ Horizon = 0$). Adottare la prima opzione avrebbe implicato l'utilizzo di coefficienti affidabili che dimensionassero ogni time bucket dell'orizzonte temporale della simulazione, considerando l'effetto incrociato agente sulla domanda dei prodotti di cui si è menzionato.

Le considerazioni appena esposte non sono da considerarsi valide esclusivamente per i part number di tipo Sold, in quanto direttamente dipendenti dalla domanda cliente, ma per tutti i part number. La ragione risiede nel fatto che la frequenza e l'entità degli ordini generati dai buffer al primo livello della supply chain trainano di fatto gli ordini generati dall'intera filiera.

Pertanto, se la domanda dei prodotti finiti aumenta o diminuisce in un orizzonte temporale, così succederà per ogni part number nello stesso periodo di tempo.

3.6.11 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.

3.6.12 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.

Con riferimento alla Tabella 3.6, sono riportate nella Tabella 3.12 le Spike Horizon per ogni part number (eccetto quelli di tipo Transit).

Tabella 3.12: Spike Horizon dei part number del caso di studio.

Part Number	Spike Horizon [giorni]
JIRAW	5 + 1
JI11 → JI16	2 + 1
JI21 → JI26	2 + 1
JURAW1SX, JURAW1DX	31 + 1
JURAW2SX, JURAW2DX	33 + 1
JU11 → JU14	1 + 1
JU21 → JU24	1 + 1
JU31 → JU34	1 + 1
JU41 → JU44	1 + 1

3.6.13 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:

1. $OST_1(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = 0,5 * \text{Red Zone}(t)$ (3.3)

2. $OST_2(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = \text{Red Base}(t)$ (3.4)

3. $OST_3(t) = \text{Order Spike Threshold}(t) = 3 * \text{ADU}(t)$ (3.5)

Non è possibile fissare a priori una soglia ottimale per ogni part number, anche perché le proporzioni fra le differenti soglie variano al variare di altri parametri (per esempio la Red Zone dipende dal Variability Factor assegnato e dalla Red Base, che dipende a sua volta dal DLT e dal Lead Time Factor).

Nel caso di studio le soglie sono state scelte, per ogni time bucket, a seguito delle seguenti considerazioni:

- Nel caso dei part number di tipo Sold, si è deciso di fissare la soglia maggiore fra le tre possibili. La ragione di questa scelta è principalmente quella di cercare di filtrare al meglio la scarsa accuratezza e validità dei dati della domanda cliente; porre una soglia minore avrebbe significato rischiare di considerare come picchi di domanda quantità

non rilevanti in questo senso, ma di poco maggiori a quelle realmente richieste a causa dell'errore di accuratezza che le caratterizza. Per i part number di tipo Sold si è dunque optato per la soglia OST_3 , in quanto, essendo il DLT di massimo 2 giorni, matematicamente sempre maggiore delle OST_1 e OST_2 .

- Nel caso dei part number più critici, ovvero quelli di tipo Distributed, si è deciso invece di fissare conservativamente la soglia minore fra le tre possibili. Così facendo, la probabilità di individuare un picco di domanda è maggiore e, data la capacità di far fronte alla natura oscillatoria e incostante degli ordini richiesta a questi buffer, risulta aumentata l'efficacia di reagire in anticipo al loro pronto soddisfacimento. Per queste ragioni, nel caso dei moduli di Juarez (JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX) si è scelta la soglia OST_3 , indubbiamente la minore delle tre per via dell'elevato DLT che caratterizza questi buffer (dai 31 ai 33 giorni). Nel caso del part number JIRAW la soglia minore è la OST_2 , che sarebbe uguale alla OST_1 (in quanto il Variability Factor associato è uguale a 1) se non fosse che a questo buffer si è applicato, per ogni time bucket, un RDAF (Red Zone Adjustment Factor) pari a 2. Quest'ultimo è un fattore numerico moltiplicativo applicato alla Red Zone, di cui sarà discusso in seguito nella Sezione 3.6.23.

Di seguito la Tabella 3.13 che riassume quanto appena spiegato.

Tabella 3.13: Order Spike Threshold dei part number del caso di studio.

Part Number	Order Spike Threshold
BARAW	/
JIRAW	OST_2 (Red Base)
JIM11 → JIM16	/
JIM21 → JIM26	/
JI11 → JI16	OST_3 (ADU x 3)
JI21 → JI26	OST_3 (ADU x 3)
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	/
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	OST_3 (ADU x 3)
JU11 → JU14	OST_3 (ADU x 3)
JU21 → JU24	OST_3 (ADU x 3)
JU31 → JU34	OST_3 (ADU x 3)
JU41 → JU44	OST_3 (ADU x 3)

3.6.14 Starting On-Hand

La Starting On-Hand è la quantità di prodotto 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 (secondo le logiche DDMRP responsabile di una Net Flow Position almeno al di sotto del TOY) 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. Questo è particolarmente vero nel caso di studio in questione: essendo il primo time bucket la settimana 45 dell'anno, effettuare un ordine sconsiderato e non veritiero nel primo periodo, causa overstock durante tutto il periodo natalizio, in cui i consumi sono ovviamente ridotti se non nulli. Lo stesso ragionamento vale nel caso opposto, ovvero nel caso in cui la Starting On-Hand sia eccessivamente elevata: uno sproorzionato livello di stock iniziale (secondo le logiche DDMRP responsabili di una Net Flow Position almeno al di sopra del TOG) e un successivo consumo non proporzionato genererebbe un considerevole periodo di overstock (almeno fino a dopo il periodo natalizio nel caso di studio).

Per la scelta della Starting On-Hand di ogni part number si sono analizzate due differenti strade.

1. Porre la Starting On-Hand (quindi il valore di stock iniziale nel primo time bucket della simulazione) al valore di stock storico della settimana 45. Questa alternativa tuttavia è discutibile: i dati di stock aziendale verificatisi sono stati generati sulla base delle logiche MRP di generazione ordini e gestione delle scorte, pertanto possono discostarsi considerevolmente dai valori a regime di stock secondo le logiche DDMRP. Inoltre, agire seguendo questa alternativa vorrebbe dire ipotizzare nella simulazione la presenza di un brusco passaggio dalle logiche aziendali vigenti e quelle caratteristiche del DDMRP.
2. Porre convenzionalmente la Starting On-Hand pari all'estremo superiore dell'intervallo in cui oscilla la giacenza di stock ideale secondo le logiche DDMRP (Sezione 2.6), utilizzando come dati di input quelli del primo time bucket:

$$\text{Starting On-Hand} = \text{Red Zone (1)} + \text{Green Zone (1)} \quad (3.6)$$

Così facendo si cerca il più possibile di ricreare delle condizioni iniziali che più approssimino una situazione a regime, immaginando che precedentemente al primo time bucket della simulazione si stessero già applicando le logiche DDMRP.

Si è reputato dunque corretto seguire questa seconda alternativa per i part number a cui è associato un buffer di disaccoppiamento. Per alcuni di questi (JU12, JU13, JU14, JU22, JU23, JU24) si è scelto di dimezzare il valore della Starting On-Hand: infatti, si è di fronte a configurazioni del prodotto finito in fase di lancio durante l'inizio dell'orizzonte temporale della simulazione. Dal momento che come si vedrà la MOQ per alcuni buffer di disaccoppiamento è elevata rispetto al consumo medio del prodotto, la Green Zone è particolarmente estesa rispetto alle altre zone. A maggior ragione, in fase preliminare di lancio il consumo è ancora più contenuto, pertanto prevedere uno Starting On-Hand calcolato sulla base di una Green Zone elevata avrebbe sovrastimato abbondantemente le condizioni di stock iniziali della simulazione (di molto superiori agli storici degli stock aziendali) falsando il confronto fra le due logiche. Per una comprensione grafica e approfondita della questione, si faccia riferimento al commento dell'output della simulazione di JU13 (Sezione 3.8.1).

Nel caso di part number di tipo Transit, la Starting On-Hand è stata impostata ad un valore coincidente con la scorta di sicurezza. Questa è stata dimensionata sulla base delle informazioni fornite dall'azienda, ovvero considerando due giorni di coverage per il dimensionamento. Pertanto, nel caso dei part number di tipo Transit:

$$\text{Starting On-Hand} = \text{ADU} (1) * 2 \quad (3.7)$$

3.6.15 Starting On-Order

La Starting On-Order è la quantità totale di prodotto in transito all'inizio della simulazione del part number considerato, ovvero il livello On-Order osservato all'inizio del primo time bucket fino all'arrivo dell'ordine a destinazione. È un dato assolutamente necessario da tenere in considerazione, in quanto il livello di On-Order è utilizzato per il calcolo della Net Flow Position, nella fase non a regime della simulazione. Le problematiche alla base di uno scorretto dimensionamento della Starting On-Order, o più in generale della scorretta individuazione delle quantità in transito di ogni part number e del time bucket in cui queste giungono a destinazione e incrementano il livello di stock, sono simili a quelle precedentemente discusse nella Sezione 3.6.14. Se tali quantità sono eccessivamente elevate, incrementano il valore della Net Flow

Position tale da fare tardare l'emissione di un ordine, aumentando sensibilmente il rischio di stockout, specialmente nel caso di part number con elevato Lead Time. Se invece la Starting On-Order è sottodimensionata, il valore della Net Flow Position è ridotto e vi è la possibilità di generare un ordine di una quantità troppo elevata e non necessaria; questo produrrebbe un periodo di overstock indesiderato, specialmente considerando il fatto che la simulazione ha inizio a ridosso del periodo natalizio, in cui le quantità non sono proporzionalmente smaltite. Dal momento che non è stato possibile reperire lo storico dei trasporti, ai fini di una corretta inizializzazione dei dati di input della simulazione, è stato necessario per ogni part number (eccetto quelli di tipo Transit):

- Generare il valore delle quantità totali in transito nel primo time bucket della simulazione, ovvero il valore della Starting On-Order;
- Valutare in quanti differenti trasporti il totale delle quantità in transito giungono al buffer;
- Definire il time bucket in cui ogni trasporto giunge a destinazione e incrementa così i livelli di stock.

Secondo le stesse considerazioni seguite per l'inizializzazione del valore dello Starting On-Hand, anche in questo caso si vogliono ricreare delle condizioni iniziali che più approssimino una situazione di regime dell'utilizzo delle logiche del DDMRP, piuttosto che un brusco passaggio da quelle precedenti. Facendo riferimento ai concetti teorici riguardo al DDMRP e andando con ordine, definiamo:

- Quantità dell'ordine in transito: in linea teorica, ovvero ipotizzando un consumo perfettamente lineare, l'entità dell'ordine generato è uguale alla Green Zone nello stesso time bucket, quindi

$$\text{Starting On-Order Inbound } (t) = \text{Green Zone } (t) \quad (3.8)$$

- Frequenza di arrivo dell'ordine in transito: secondo le logiche del DDMRP, il periodo che intercorre fra due ordini in un time bucket è definito come

$$\text{Periodo di riordino } (t) = \frac{\text{Green Zone } (t)}{\text{ADU } (t)} \quad (3.9)$$

Pertanto, ogniqualvolta il time bucket considerato è un multiplo intero del periodo di riordino, è generato un ordine di quantità alla Green Zone. Tali ordini sono generati fino al time bucket che coincide al DLT del part number in questione: infatti, dopo tale orizzonte temporale, iniziano a giungere a destinazione le quantità eventualmente ordinate nel primo time bucket della simulazione. Lo Starting On-Order è definito dunque, per ogni part number, come

$$\text{Starting On-Order} = \sum_{i=1}^{DLT} \text{Starting On-Order Inbound } (t) \quad (3.10)$$

3.6.16 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).

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

1. I tempi di produzione di ogni prodotto presente sono dell'ordine di grandezza dei minuti per unità;
2. I tempi di produzione dei differenti prodotti rispettano le disequazioni $T_{\text{Moduli}} > T_{\text{ProdottiFiniti}} > T_{\text{ECU}}$.

I cycle time, come precedentemente discusso nella Sezione 3.6.4, sono utilizzati sia per il calcolo del LT medi di produzione, sia per il calcolo della MOQ (Sezione 3.6.6).

3.6.17 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.

3.6.18 Pieces/pallet (pieces/box)

Pieces/pallet (o Pieces/box) indica il numero massimo di prodotti contenuti in un pallet e, nel caso di componenti elettronici (di dimensioni nettamente inferiori), il numero di prodotti contenuti all'interno della scatola utilizzata per il trasporto. Questo valore è preso in considerazione sia per la quantificazione degli ordini emessi, necessariamente multipli del dato in questione, sia per la determinazione del costo di magazzino legato allo spazio occupato.

Nella Tabella 3.14 sono riportati i valori per ogni part number del caso di studio.

Tabella 3.14: Pieces/pallet dei part number del caso di studio.

Part Number	Pieces/pallet (Pieces/box)
BARAW	119
JIRAW	119
JIM11 → JIM16	20
JIM21 → JIM26	20
JI11 → JI16	12
JI21 → JI26	12
JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX	20
JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX	20
JU11 → JU14	12
JU21 → JU24	12
JU31 → JU34	12
JU41 → JU44	12

3.6.19 Occupied Space by One Pallet/box

Per lo spazio occupato da un pallet, si sono prese in considerazione le misure dell'euro pallet (1200x800 mm); pertanto si è considerato che ogni pallet occupi 0,96 m².

Per lo spazio occupato da una scatola di componenti elettronici (part number JIRAW e BARAW), si è considerata una scatola di 300x500 mm, per un totale di 0,15 m² di spazio occupato.

3.6.20 Boxes/pallet

Dal momento che il calcolo della gestione del magazzino è dato dalla movimentazione del singolo pallet, per il calcolo del costo generato dagli ECU è necessario sapere qual è il numero di scatole di componenti elettronici contenuti in un pallet, dato appunto dal valore Boxes/pallet. Si è considerato che possono essere collocate 12 scatole di ECU per ogni pallet.

Per tutti gli altri part number al di fuori di BARAW e JIRAW, il numero Boxes/pallet è uguale al valore 1, in quanto i prodotti sono direttamente stoccati all'interno dei pallet.

3.6.21 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:

1. L'ordine di grandezza dei costi unitari spazia dalle decine di euro (per ECU), alle centinaia di euro (per moduli e prodotti finiti);
2. Naturalmente il costo unitario dei prodotti aumenta con ogni processo produttivo, dato il valore che ogni tipo di lavorazione genera, pertanto sono sempre rispettate le disequazioni $C_{\text{ProdottoFinito}} > C_{\text{Modulo}} > C_{\text{ECU}}$.

3.6.22 Demand Adjustment Factor (DAF)

Come già accennato nelle Sezioni 2.4.4 e 3.6.10, 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.

Nel caso di studio, come già ampiamente trattato nella Sezione 3.6.10, si è preferito tenere in considerazione i trend di mercato impostando, per ogni part number, un ADU Past Horizon pari a 0. Così facendo non è stato bisogno raccogliere dati riguardo alla stagionalità della domanda di ogni prodotto finito, dato non sempre disponibile e soprattutto accurato, o i fattori per la fase

di lancio dei prodotti (dato fornito solitamente dal dipartimento di Project Management di un'azienda). Il DAF è pertanto stato impostato ad 1, per ogni part number e in ogni time bucket.

3.6.23 Red Zone Adjustment Factor (RZAF)

Come già accennato nelle Sezioni 2.4.5 e 3.6.13, il Red Zone Adjustment Factor, indicato con RZAF (t) è un fattore numerico positivo moltiplicativo eventualmente applicato alla Red Zone in funzione del time bucket considerato, utilizzato al fine di sovradimensionare conservativamente la zona rossa dei buffer più critici. 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. Questa soluzione ha naturalmente un costo: incrementare la Red Zone vuol dire aumentare deliberatamente la giacenza media a magazzino del prodotto e dunque dei costi di mantenimento e capitale immobilizzato.

Nel caso di studio si è deciso di applicare un $RZAF(t) = 2$, per ogni time bucket, al buffer di JIRAW. Si è già infatti discusso nella Sezione 3.6.8 di quanto questo buffer sia il più critico della struttura logistica analizzata, in quanto soggetto al soddisfacimento di ordini estremamente irregolari. Essendo JIRAW un prodotto appartenente ai livelli bassi della supply chain, è caratterizzato da un basso costo unitario ed inoltre, essendo un ECU, occupa uno spazio di gran lunga ridotto. Risulta pertanto conveniente sostenere ulteriori costi di capitale immobilizzato e di mantenimento a magazzino, a fronte della diminuzione della probabilità di incorrere in uno stockout del prodotto su cui poggia l'intera filiera logistica presa in considerazione.

3.6.24 Storico degli stock

Per ognuno dei part number, è fornito lo storico dei livelli di stock dalla settimana 45 del 2018 alla settimana 15 del 2019, generati dunque in ragione delle politiche di riordino e gestione delle scorte aziendali vigenti. Questi livelli sono, al termine della simulazione, confrontati con quelli generati dalle logiche DDMRP applicate. Il confronto fra i livelli di magazzino, da cui segue l'intera analisi comparativa economica dei costi di stock, è effettuato ogni venerdì dell'arco temporale utilizzato in cui avviene la simulazione, in quanto l'estrazione dei livelli di stock aziendali è riferita al venerdì di ogni settimana.

3.6.25 Costi di magazzino

Per effettuare l'analisi comparativa economica fra le logiche aziendali e quelle DDMRP, si confrontano gli storici dei livelli di stock, per ogni settimana e per ogni part number, con quelli generati dalla simulazione. Per fornire anche una dimensione economica del confronto, è stato necessario raccogliere i dati relativi ai costi di magazzino.

Nel caso di studio, per snellire il processo di raccolta dei dati, sono stati considerati due macrocategorie dei 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 generalmente 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 opportunamente considerata su base settimanale.
- 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 . C_m può essere espresso in diverse forme, ma per il caso di studio è stato fornito dall'azienda come costo di movimentazione del singolo pallet (l'unità di misura corrispondente è dunque €/pallet). In tale costo sono compresi i costi di movimentazione del pallet (inbound e outbound), il costo dello spazio occupato, della luce, del riscaldamento, del sistema informativo gestionale che gestisce il magazzino e del costo del personale. Il modo corretto di valutare il costo di gestione e mantenimento delle scorte all'interno della simulazione sarebbe dunque quello di moltiplicare C_m alla variazione, da un time bucket a quello successivo, del numero di pallet del part number considerato presenti a magazzino. Tuttavia, vista la natura puntuale degli storici delle quantità stoccate fornite dall'azienda (si conoscono solo le quantità presenti a magazzino di ogni venerdì), sarà necessario effettuare un'approssimazione (si vedano le Sezioni 3.7.9 e 3.7.10).

L'entità di tali costi, in quanto dati sensibili, non è esplicitamente divulgabile.

3.7 *Tool Excel*

Nel presente sottocapitolo è descritto il principio di funzionamento alla base del tool Excel progettato per effettuare la simulazione delle logiche di riordino del DDMRP, così da esplorarne nel dettaglio la struttura e le formule che ne fanno parte. Il tool è organizzato su più fogli di calcolo tra i quali sono presenti riferimenti intrecciati; si procederà con la descrizione ordinata di ognuno di questi.

3.7.1 Matrici delle domande clienti

Nel tool è presente un foglio per ogni prodotto della filiera logistica contenente la matrice della domanda cliente del part number in questione, di cui è stata descritta nel dettaglio la struttura all'interno della Sezione 3.6.1. In generale, nella quasi totalità dei casi è presente la matrice della domanda cliente e dei volumi spediti su base settimanale e la corrispondente su base giornaliera, nell'orizzonte temporale compreso fra la settimana 35 del 2018 e la settimana 34 del 2019. Ogni foglio è denominato con il nome del part number considerato.

3.7.2 Foglio "Inputs"

Nel foglio "Inputs" è presente per ogni part number la maggior parte dei dati forniti dall'azienda (eccetto la matrice delle domande clienti, DAF, RZAF e storico degli stock) e tutti i parametri, di cui si è trattato nella Sezione 3.6. Questo foglio è come se fosse il centro di comando della simulazione, a cui fa riferimento l'intera struttura del tool. Sulla base delle informazioni contenenti in "Inputs" è calcolata l'intera simulazione, il cui esito cambia dinamicamente al variare dei parametri inseriti.

3.7.3 Foglio "ADUs"

Nel foglio "ADUs" sono calcolati, per ogni part number e per ogni time bucket, gli ADU a partire dal solo ADU Future Horizon, ovvero la media della domanda futura per un periodo di ADU Future Horizon giorni a partire dall'istante in cui è calcolata. Nella Figura 3.4 un esempio.

Part Number		JI11	JI12	JI13
ADU Future Horizon [day]		25	25	25
Week	Day	ADU	ADU	ADU
201835	Mon35	4,4	11,7	0,2
201835	Tue35	4,3	13,0	0,2
201835	Wed35	4,2	14,3	0,2
201835	Thu35	4,1	15,6	0,1
201835	Fri35	4,0	16,8	0,1

Figura 3.4: Foglio "ADUs".

La formula contenuta nella cella evidenziata nell'esempio seleziona il foglio contenente la matrice della domanda cliente del part number JI12, denominato "JI12", e, in corrispondenza della riga "Thu35", calcola la media delle domande dei prossimi 25 giorni, cioè da "Fri35" a "Thu40". Il valore dell'ADU Future Horizon è riferito a quello inserito nel foglio "Inputs" in corrispondenza del part number considerato.

Dal momento che nel caso di studio gli ADU Past Horizon sono uguali a 0 per ogni part number, i valori calcolati su questo foglio di calcolo coincidono di fatto con il reale ADU. Nel tool è ovviamente possibile calcolare l'ADU anche basato sull'ADU Past Horizon, tuttavia non è possibile effettuare tale calcolo secondo le logiche di questo foglio. Calcolare l'ADU anche sui volumi spediti vuol dire conoscere le quantità in uscita di ogni prodotto. Nel caso dei part number di tipo Sold le quantità spedite della simulazione DDMRP coincidono con quelle in colonna "Shipped" di ogni matrice (poiché si vuole simulare lo stesso flusso in uscita di prodotti finiti), ma negli altri casi, come si è discusso nella Sezione 3.6.1, non è così. Le quantità spedite dei prodotti non finiti sono generate dalla simulazione in quanto frutto dell'applicazione delle logiche DDMRP, pertanto un eventuale calcolo dell'ADU basato anche sulle quantità spedite sarà possibile calcolarlo sul foglio "Simulation".

3.7.4 Foglio "Qualified Demand"

Nel foglio "Qualified Demand" è calcolata, per ogni part number e per ogni time bucket, la Qualified Demand a partire dallo Spike Horizon e dall'Order Spike Threshold. Nella Figura 3.5 un esempio.

Part Number		J121	J122	J123
Spike Horizon [day]		3	3	3
Order Spike Threosold		OST3 (ADUx4) [pieces]	OST3 (ADUx4) [pieces]	OST3 (ADUx4) [pieces]
Week	Day			
201835	Mon35	12,8	12,6	9,2
201835	Tue35	12,8	12,6	9,2
201835	Wed35	12,8	12,6	9,2
201835	Thu35	12,8	12,6	9,2
201835	Fri35	20	20	8,2
201836	Mon36	12,8	11,2	11
201836	Tue36	12,8	11,2	11

Figura 3.5: Foglio "Qualified Demand".

La formula contenuta nella cella evidenziata nell'esempio seleziona il foglio contenente la matrice della domanda cliente del part number J122, denominato "J122", e in corrispondenza della riga "Fri35" considera le domande dei 3 giorni lavorativi seguenti (Mon36, Tue36 e Wed36). La formula somma la domanda del giorno seguente (Mon36) ed eventualmente le domande degli altri giorni considerati se al di sopra della Order Spike Threshold assegnata a quel part number (in questo caso la $OST_3 = ADU \times 3$). Il valore Spike Horizon e il tipo Order Spike Threshold considerato fanno riferimento alle informazioni presenti nel foglio "Inputs". Il valore numerico della soglia è dipendente dal time bucket: tale valore è preso dinamicamente dal foglio "Simulation" dal buffer del part number considerato e nel time bucket considerato, in cui sono calcolati per ogni time bucket l'ADU, la Red Base, la Red Zone e, partire da questi, tutti e tre i tipi di soglia.

I valori decimali della Figura 3.5 sono dovuti al fatto che le quantità domandate fornite dall'azienda sono su base settimanale e sono state divise linearmente sui 5 giorni lavorativi.

3.7.5 Foglio "Consumption"

Nel foglio "Consumption" sono contenuti i consumi settimanali dei prodotti finiti, ovvero le quantità della colonna "Shipped" delle rispettive matrici delle domande clienti. Tuttavia, per comodità, le quantità spedite in una settimana sono state spostate nella riga della settimana stessa e non in corrispondenza della riga della settimana seguente come nelle matrici delle domande. Con riferimento alla Tabella 3.1 per esempio, Shipped₃₅ sono le quantità spedite nella settimana 35 e si trovano in corrispondenza della settimana 35, non della settimana 36 come in precedenza). Nella Figura 3.6 un esempio.

Part Number	J11	J12
Week		
201835	34	42
201836	65	30
201837	36	36
201838	12	37

Figura 3.6: Foglio "Consumption".

La formula contenuta nella cella evidenziata nell'esempio seleziona il foglio contenente la matrice della domanda cliente del part number J11, denominato "J11", e fa riferimento alla quantità spedita (colonna "Shipped") contenuto nella cella in corrispondenza della settimana successiva della matrice su base settimanale. 36 è la quantità che spedita in settimana 37.

Sono presenti in questo foglio anche le colonne dei prodotti non finiti, date dalla somma delle colonne "Shipped" dei prodotti del livello superiore della supply chain collegati. Si potrebbero usare questi consumi per inizializzare l'ADU dei prodotti non finiti, nel caso in cui si volesse eventualmente porre un ADU Past Horizon diverso da 0 (a differenza del caso di studio in questione).

3.7.6 Fogli "DAF" e "RZAF"

Nei fogli "DAF" e "RZAF" sono contenuti rispettivamente i Demand Adjustment Factor e i Red Zone Adjustment Factor, per ogni part number e per ogni time bucket. Tali valori sono richiamati dal foglio "Simulation", così da moltiplicare rispettivamente l'ADU e la Red Zone di ogni time bucket con i valori presenti su questi due fogli.

3.7.7 Foglio "Product Links"

Nel foglio "Product Links" sono presenti due tabelle, che contengono le informazioni riguardo i collegamenti fra i buffer riferiti ad ogni part number.

La prima tabella (Tabella 3.15) contiene i collegamenti fra i buffer di disaccoppiamento presenti all'interno della filiera logistica. In particolare, in corrispondenza della colonna di ogni part number sono inseriti i buffer da cui questo riceve gli ordini.

Tabella 3.15: Collegamenti fra i buffer di disaccoppiamento del caso di studio.

Products	JIRAW	JURAW1SX	JURAW1DX	JURAW2SX	JURAW2DX
Decoupled parent(s)	J111	JU11	JU21	JU31	JU41
	J112	JU12	JU22	JU32	JU42
	J113	JU13	JU23	JU33	JU43
	J114	JU14	JU24	JU34	JU44
	J115				
	J116				
	J121				
	J122				
	J123				
	J124				
	J125				
	J126				
	JURAW1SX				
	JURAW1DX				
	JURAW2SX				
	JURAW2DX				

La seconda tabella (Tabella 3.16) contiene i collegamenti fra i buffer tradizionali presenti all'interno della filiera logistica e i buffer di disaccoppiamento del livello superiore a cui sono collegati. In particolare, in corrispondenza della colonna di ogni part number è inserito il buffer di disaccoppiamento a cui è collegato, ovvero il buffer a cui è spedito la quantità ordinata una volta terminata la produzione.

Tabella 3.16: Collegamenti fra buffer tradizionali e buffer di disaccoppiamento del caso di studio.

Products	BARAW	JIM11	JIM12	JIM13	JIM14	JIM15	JIM16	JIM21	JIM22	JIM23	JIM24	JIM25	JIM26	JIM1SX	JIM1DX	JIM2SX	JIM2DX
Parent(s)	JIRAW	J111	J112	J113	J114	J115	J116	J121	J122	J123	J124	J125	J126	JURAW1SX	JURAW1DX	JURAW2SX	JURAW2DX

3.7.8 Foglio "StocksHistory"

Il foglio "StocksHistory" contiene lo storico delle scorte a magazzino osservate durante l'orizzonte temporale della simulazione, frutto dell'applicazione delle logiche MRP, per ogni part number della filiera logistica considerata. Come si è annunciato, è stato possibile reperire le quantità di stock presenti a magazzino il venerdì di ogni settimana.

3.7.9 Foglio “Simulation”

Il foglio “Simulation” è il foglio più importante di tutto il tool, ovvero quello in cui avviene l’intera simulazione. In esso è contenuto l’andamento nel tempo dei 50 buffer totali considerati nel caso di studio, ovvero quello che in base alla domanda cliente dei prodotti finiti e ai parametri scelti, sulla base dei principi di funzionamento del DDMRP, calcola gli ordini generati da ogni buffer e dunque il livello di stock nell’orizzonte temporale considerato.

Ognuno dei 50 buffer è strutturato su quattro sezioni.

1) **Sezione degli Input:** è la sezione in cui sono contenuti i dati e parametri relativi ad ogni part number e si presenta come nella Figura 3.7, in cui è preso in considerazione a titolo d’esempio il part number JIRAW.

Part Number	JIRAW	Parent Products
Part Type	Distributed	J111
Location	Jihlava (CZ)	J112
Decoupled Lead Time (DLT) [day]	5	J113
Imposed or Desired Order Cycle (DOC) [day]	0	J114
Minimum Order Quantity (MOQ)	119	J115
Lead Time Category	Medium	J116
Lead Time Factor	0,4	J121
Variability Category	High	J122
Variability Factor	1	J123
Buffer Profile	D - M(0,4) - H(1)	J124
ADU Past Horizon [day]	0	J125
ADU Future Horizon [day]	25	J126
Spike Horizon [day]	6	JURAW1SX
Order Spike Threshold	OST2 (Red Base) [pieces]	JURAW1DX
OST ₃ Multiplicative Factor	3	JURAW2SX
Starting On-Hand [pieces]	7401,12	JURAW2DX
Starting On-Order [pieces]	3206,464	
Production Cycle Time [min/piece]		
Scrap Rate		
Pieces/pallet (pieces/box)	119	
Boxes/pallet	12	
Occupied Space by One Pallet/Box [m2/pallet]	0,16	
Unitary Cost [€/piece]		

Figura 3.7: Sezione degli input.

Tutti i dati e parametri di input fanno riferimento a quelli contenuti nel foglio “Inputs” sulla base del nome del part number scritto sulla prima riga della tabella (le celle mancanti contengono dati che sono stati rimossi in quanto informazioni sensibili e non divulgabili). Sulla base di queste informazioni è calcolata tutta la simulazione per il buffer in questione (ogni altra sezione del foglio fa riferimento a questa sezione), il cui esito varia dunque e al variare dei dati contenuti nel foglio “Inputs”. A destra è presente la tabella con la lista dei part number da cui il buffer in questione (in questo caso JIRAW) riceve gli ordini; tale lista è riferita alla Tabella 3.15, presente nel foglio “Product Links”.

2) **Sezione Planning:** è il cuore del foglio “Simulation”, in cui sono calcolati per ogni time bucket gli ordini generati e i livelli di stock, a partire da tutti i valori necessari per valutarli. Questa sezione è di fatto una grande tabella in due dimensioni, in cui per ogni riga, ovvero per ogni time bucket, sono calcolate tutte le grandezze, una per ogni colonna. Si procede dunque con l’elenco di tutte le grandezze calcolate. Alcune di queste sono frutto della mera applicazione delle formule riportate nella Sezione 2.4 e sono di seguito solo elencate; ci si soffermerà invece sulle rimanenti, riguardo alle quali sarà fornita un’ulteriore e dettagliata spiegazione. Si ricorda che qualunque dato o parametro contenuto nelle equazioni di seguito e presente nella Sezione degli Input è un riferimento alla sezione stessa.

- **ADU (t):** si fa riferimento al valore del foglio “ADUs” del time bucket t per il time bucket considerato (presente nella Sezione degli Input), che si ricorda essere l’ADU solo valutato con i valori di domanda futuri. Nel caso si volesse porre un ADU Past Horizon diverso da 0, la formula è la seguente:

$$ADU(t) = \frac{ADU\ Past\ Horizon * ADUPast(t) + ADU\ Future\ Horizon * ADUFuture(t)}{ADU\ Past\ Horizon + ADU\ Future\ Horizon} \quad (3.11)$$

dove

$$ADUPast(t) = \sum_{i=1}^{ADU\ Past\ Horizon} Shipped(t - i) \quad (3.12)$$

e ADUFuture (t) quello riferito ai valori calcolati nel foglio “ADUs”. Shipped (t) è la quantità spedita nel time bucket t ed è di seguito descritta. All’ADU (t) è eventualmente moltiplicato il DAF (t).

- DAF (t): è il riferimento del time bucket t per il part number considerato (presente nella Sezione degli Input) al foglio “DAF”.
- Lead Time Factor Green Zone (t).
- MOQ (Minimum Order Quantity): definita per ogni part number nella Sezione 3.6.6.
- Order Cycle Green Zone (t).
- Green Zone (t): il massimo delle tre precedenti.
- Yellow Zone (t).
- Red Base (t).
- Red Safety (t).
- Red Zone (t): la somma delle due precedenti.
- RZAF (t): è il riferimento del time bucket t per il part number considerato (presente nella Sezione degli Input) al foglio “RZAF”.
- TOR (t) = Red Zone (t).
- TOY (t) = TOR (t) + Yellow Zone (t).
- TOG (t) = TOY (t) + Green Zone (t).
- $OST_1 (t) = 0.5 \times \text{Red Zone (t)}$.
- $OST_2 (t) = \text{Red Base (t)}$.
- $OST_3 (t) = \text{ADU (t)} \times 3$.
- Consumption (t): è il consumo giornaliero verificatosi nel time bucket t, che fa riferimento per ogni part number ai valori presente nel foglio “Consumption” (consumi settimanali) e divide le quantità spedite linearmente per i 5 giorni lavorativi.
- Shipped (t): sono le quantità in uscita dal buffer nel time bucket t.

Nel caso di part number di tipo Sold, al fine di rispettare il vincolo che il cliente ritira la quantità domandata il martedì e il venerdì, Shipped (t) assume i seguenti valori:

- Shipped (t) = 0, se il time bucket t è un lunedì, un mercoledì o un giovedì;

- $\text{Shipped (t)} = \frac{2}{5} * \text{Consumption (t)}$, se il time bucket t è un martedì;

- $\text{Shipped (t)} = \frac{3}{5} * \text{Consumption (t)}$, se il time bucket t è un venerdì.

Nel caso invece dei part number non di tipo Sold, Shipped (t) è uguale alla somma degli ordini generati nel time bucket t, ovvero i valori della colonna “Order with Scrap (t)”

(descritta di seguito), da tutti i buffer di disaccoppiamento presenti nella colonna dei Parent Products della Sezione degli Input. In questa maniera, si simula quella che in teoria è chiamata la Decoupled Explosion, ovvero il propagarsi degli ordini all'interno della filiera considerata, sulla base della sola domanda cliente di prodotti finiti. Le quantità richieste dai buffer di disaccoppiamento collegati e ai livelli superiori della supply chain è immediatamente spedito dai buffer a cui queste sono state ordinate.

- Inbound Materials (t) = Order (t - DLT). Corrisponde al flusso teorico in entrata del buffer, uguale a quanto è stato ordinato nel time bucket t – DLT.
- Virtual On-Hand (t): è la quantità presente a magazzino nel time bucket t nel caso in cui vi siano flussi di uscita costanti (e non bisettimanali). È una grandezza calcolata per agevolare la linearità degli ordini generati dai buffer di disaccoppiamento relativi ai part number di tipo Sold (il concetto è ben spiegato nel commento della grandezza Net Flow Position (t) presente successivamente). Assume differenti valori in relazione al time bucket t:

- Se t = 1 (ovvero il primo time bucket della simulazione),

$$Virtual\ On-Hand\ (1) = Starting\ On-Hand - Consumption\ (1) + Inbound\ After\ Scrap\ (1) \quad (3.13)$$

- Se t ≠ 1,

$$Virtual\ On-Hand\ (t) = Virtual\ On-Hand\ (t - 1) - Consumption\ (t) + Inbound\ After\ Scrap\ (t) \quad (3.14)$$

- On-Hand (t): è la quantità presente a magazzino nel time bucket t, ovvero la grandezza grazie alla quale è effettuata l'analisi comparativa con le logiche aziendali. Assume differenti valori in relazione al time bucket t:

- Se t = 1 (ovvero il primo time bucket della simulazione),

$$On-Hand\ (1) = Starting\ On-Hand - Shipped\ (1) + Inbound\ After\ Scrap\ (1) \quad (3.15)$$

- Se t ≠ 1,

$$On-Hand\ (t) = On-Hand\ (t - 1) - Shipped\ (t) + Inbound\ After\ Scrap\ (t) \quad (3.16)$$

- On-Order (t): è la quantità in transito verso il buffer di riferimento. Assume differenti valori in relazione al time bucket t:

- Se $t = 1$ (ovvero il primo time bucket della simulazione),

$$On-Order (1) = Starting\ On-Order \quad (3.17)$$

- Se $1 < t \leq DLT$,

$$On-Order (t) = \sum_{i=t}^{DLT} Starting\ On-Order\ Inbound (i) + \sum_{i=1}^{DLT-1} Order (t - i) \quad (3.18)$$

- Se $t > DLT$,

$$On-Order (t) = \sum_{i=1}^{DLT-1} Order (t - i) \quad (3.19)$$

Per le spiegazioni delle grandezze Starting On-Order Inbound (t) e Starting On-Order si faccia riferimento alla Sezione 3.6.15.

- Qualified Demand (t): la somma della domanda del time bucket t+1 e di eventuali domande clienti, nell'orizzonte temporale di Spike Horizon giorni, superiori all'OST₁ (t), OST₂ (t) o OST₃ (t), dipendentemente da quale è stato scelto per il part number considerato. Tali valori sono presi dal foglio "Qualified Demand", dipendentemente dal time bucket t e dal part number.
- Net Flow Position (t): è la grandezza responsabile dell'emissioni degli ordini. Essa è calcolata in differente modo in relazione al tipo di part number:
 - Se il part number è di tipo Sold,

$$Net\ Flow\ Position (t) = Virtual\ On-Hand (t) + On-Order (t) - Qualified\ Demand (t) \quad (3.20)$$

- Se il part number non è di tipo Sold,

$$Net\ Flow\ Position (t) = On-Hand (t) + On-Order (t) - Qualified\ Demand (t) \quad (3.21)$$

Si è scelto di calcolare la Net Flow Position (t) dei prodotti finiti considerando un consumo lineare e giornaliero, in modo da generare in maniera più lineare gli ordini. Infatti, se anche per i part number di tipo Sold la Net Flow Position (t) fosse stata calcolata con la quantità realmente a magazzino On-Hand (t), dal momento che l'intera domanda settimanale è prelevata solo il martedì e il venerdì, avrebbe seguito un andamento incostante e oltremodo oscillatorio. La grandezza avrebbe subito delle brusche variazioni negative i giorni di martedì e venerdì; nel DDMRP variazioni di tale natura sono sempre da evitare, dal momento che la logica predilige un flow continuo dei materiali. Brusche discese della Net Flow Position possono causare di tutta risposta la generazione di ingenti ed irregolari ordini (poiché si ordina sempre fino al Top of Green), responsabili di periodi di overstock (a maggior ragione nel caso di studio considerato, visto che nei giorni di lunedì, mercoledì e giovedì non vi sono prelievi dal magazzino). Si pensi inoltre al quadro generale: se la Net Flow Position di ogni prodotto di tipo Sold diminuisse bruscamente ogni martedì e venerdì, vorrebbe dire che gli ordini di tutti i prodotti finiti verrebbero generati in questi due giorni. Ciò causerebbe un consumo sporadico e drastico dei buffer di disaccoppiamento a cui tali ordini sono rivolti, propagando di fatto il problema su tutta la filiera logistica.

Simulazione a parte, la realtà dei fatti consente di implementare la logica di cui si è appena trattato in un contesto con le stesse condizioni al contorno (ritiro bisettimanale da parte del cliente). La domanda cliente è sì variabile anche all'interno della settimana, ma non può variare drasticamente nell'arco di due giorni, pertanto si conosce sempre l'entità del prossimo ordine ed è dunque possibile dividerla numericamente per i giorni che si desidera. Se una variazione drastica si verifica, al cliente è generalmente consegnata la quantità precedentemente pattuita e, solo alla prossima consegna, la quantità rimanente (chiamata comunemente backlog), a meno di un accordo verbale fra le parti.

Da questo punto di vista la simulazione effettuata, data la natura settimanale della domanda cliente, sottostà a condizioni decise conservativamente: visto che, come si è detto, un ordine non può variare nell'arco di due giorni, il primo contributo della Qualified Demand (il consumo del time bucket successivo) non è nella pratica affetto da errore. Tuttavia, dal momento che non si conoscono le informazioni sulla domanda cliente all'interno della stessa settimana (quindi giorno per giorno), si è deciso di

considerare il primo contributo come 1/5 del valore della domanda cliente osservata per la settimana prossima (si veda Sezione 3.6.1), affetto dunque da errore.

- $\text{Planning Priority (t)} = \text{Net Flow Position (t)} / \text{TOG (t)}$.
- NFP to TOG (t) : è l'eventuale quantità ideale da ordinare per riportare la Net Flow Position al valore del Top of Green. Per tutti i part number escludendo i moduli di Juarez (commentati immediatamente di seguito) assume dunque due possibili valori:
 - Se $\text{Net Flow Position (t)} > \text{TOY (t)}$, $\text{NFP to TOG (t)} = 0$;
 - Se $\text{Net Flow Position (t)} \leq \text{TOY (t)}$, $\text{NFP to TOG (t)} = \text{TOG(t)} - \text{Net Flow Position(t)}$.Per i moduli di Juarez (JURAW1SX, JURAW2SX, JURAW1DX, JURAW2DX) si è dovuto tenere conto del fatto che la nave che li trasporta da Jihlava parte ogni lunedì della settimana. Per sottostare a tale vincolo si è data la facoltà di ordinare, se necessario, delle quantità da Jihlava ogni settimana, supponendo plausibilmente (come da assunzione del caso di studio) che in ogni caso la compagnia effettui trasporti su questa tratta ogni settimana, soprattutto se si considera che i due stabilimenti siano tra i più rilevanti di tutta la realtà aziendale. Dal momento che l'emissione di un ordine di questi buffer di disaccoppiamento implica anche la produzione dei moduli a partire dal componente elettronico JIRAW, si è dovuto tenere conto dei lead time di produzione al fine di fare combaciare la partenza dallo stabilimento di lunedì. Per JURAW1SX e JURAW1DX il lead time di produzione è di 1 giorno, dunque ogni venerdì c'è la possibilità di emettere un ordine, così che questo sia spedito il lunedì da Jihlava; per JURAW2SX e JURAW2DX il lead time di produzione è di 1 giorno, dunque ogni mercoledì c'è la possibilità di emettere un ordine, così che questo sia spedito il lunedì da Jihlava. Pertanto:
 - Se $\text{Net Flow Position (t)} \geq \text{TOG}$ e se il time bucket è un venerdì (per JURAW1SX e JURAW1DX) o mercoledì (per JURAW2SX e JURAW2DX), $\text{NFP to TOG(t)} = 0$;
 - Se $\text{Net Flow Position (t)} < \text{TOG}$ e se il time bucket è un venerdì (per JURAW1SX e JURAW1DX) o mercoledì (per JURAW2SX e JURAW2DX), $\text{NFP to TOG (t)} = \text{TOG (t)} - \text{Net Flow Position (t)}$.

Si noti che le logiche DDMRP nonostante si sottostia al vincolo sul trasporto sono state ugualmente in parte rispettate: è vero che gli ordini non sono generati nel momento in cui la Net Flow Position tocca la Yellow Zone e si susseguono invece con frequenza prestabilita, ma la quantità domandata è in ogni caso tale da far raggiungere la Net Flow Position al TOG.

Nel caso delle dinamiche di emissione degli ordini di Juarez si è cercato di attenersi il più possibile alla situazione reale al fine allineare i giorni di partenza della nave. Tuttavia, non è rilevante ai fini del risultato della simulazione decidere minuziosamente il giorno in cui è possibile emettere l'ordine, quanto piuttosto rispettare il vincolo che è possibile farlo un solo giorno alla settimana.

- Order (t): è la quantità effettiva dell'eventuale ordine emesso nel time bucket t. Essa corrisponde al multiplo del "pieces/pallet" del part number considerato più prossimo al valore di NFP to TOG (t). Per vincoli di trasporto infatti, si è imposto che possono essere spedito solo un numero di quantità di materiale multiplo di quelle contenute in un pallet (o nelle scatole nel caso degli ECU).
- Order with Scrap (t): ogni part number genera l'ordine Order (t) nel rispettivo time bucket. Tuttavia, le quantità in uscita dal buffer di disaccoppiamento precedente devono tenere conto della percentuale di scarti generati dal processo produttivo; dunque:
 - Se il part number è di tipo Sold,

$$Order\ with\ Scrap\ (t) = Order\ (t) * Scrap\ Rate\ (3.22)$$

- Se il part number non è di tipo Sold,

$$Order\ with\ Scrap\ (t) = Order\ (t)\ (3.23)$$

- Request date (t): è la data in cui è previsto l'arrivo dell'eventuale ordine emesso Order (t).

Nel caso di part number di tipo Transit, dal momento che questi non seguono le logiche DDMRP, la Sezione di Planning non è significativa e dunque non presa in considerazione. Sulla base di alcune di queste colonne saranno in seguito costruiti i grafici, per ogni part number, riguardo l'andamento della Net Flow Position rispetto alla Green Zone, Yellow Zone e Red Zone.

3) **Sezione Execution:** è la sezione in cui, nella pratica, si monitora l'andamento delle scorte di ogni buffer. Anche questa sezione è di fatto una grande matrice in due dimensioni, in cui per

ogni riga, ovvero per ogni time bucket, sono calcolate tutte le grandezze di seguito elencate, una per ogni colonna.

- On-Hand (t): è la quantità a magazzino nel time bucket t, corrispondente a quella calcolata nella Sezione Planning.
- Low Red (t) = Red Zone (t) * 0,5.
- Low Yellow (t) = Red Zone (t).
- Optimal Zone (t) = Low Yellow (t) + Green Zone (t).
- High Yellow (t) = TOY (t).
- High Red (t) = TOG (t).

Sulla base di queste colonne saranno in seguito costruiti i grafici, per ogni part number, relativi all'andamento del livello di magazzino rispetto alle zone, di cui si è discusso nella Sezione 2.6, sulla base del quale questo è monitorato.

4) **Sezione Stock Analysis:** è la sezione dedicata al fine ultimo dell'intero caso di studio, ovvero quella che confronta le quantità di stock generate dalle logiche MRP e DDMRP. Anche questa sezione è di fatto una grande matrice in due dimensioni, in cui per ogni riga, ovvero per ogni time bucket, sono calcolate tutte le grandezze di seguito elencate, una per ogni colonna.

- DDMRP Stock (t): è lo stock generato, per ogni part number presente nella filiera logistica considerata, con l'applicazione delle logiche applicate all'interno del caso di studio. La grandezza assume diversi valori in relazione al tipo di part number considerato:
 - Se il part number è di tipo Transit, il buffer accumula quantità del part number di riferimento nel periodo in cui è in fase di produzione e, una volta che l'ordine di produzione è totalmente terminato, il lotto è prontamente spedito al buffer del livello superiore della supply chain che lo ha ordinato. Questo tipo di buffer prevede inoltre una scorta di sicurezza, come nei sistemi di gestione tradizionale delle scorte, dimensionata secondo le logiche descritte nella Sezione 3.6.14. Nel dimensionare la quantità prodotta è tenuta in considerazione la percentuale di scarto del processo di produzione considerato. Di seguito un esempio numerico che mostra nella pratica quanto descritto.

Esempio. Si prendano in considerazione i part number JIRAW, JIM11 e JI11. Tenendo in considerazione lo schema mostrato in Figura 3.3 e secondo quanto spiegato nella Sezione 3.5, momento in cui è emesso un ordine dai buffer di disaccoppiamento di JI11, è prontamente avviata la produzione JIM11 necessaria a soddisfarlo. Supponiamo che sia emesso un ordine di x unità nel time bucket 5 dal buffer di JI11, ovvero $\text{Order}_{\text{JI11}}(5) = x$, al buffer di JIRAW. Dal momento che il $\text{DLT}_{\text{JI11}} = 2$, vuol dire tale ordine arriverà a magazzino nel time bucket 7, ovvero $\text{Inbound Materials}_{\text{JI11}}(7) = x$. Dunque, le unità ordinate sono prelevate nel time bucket 5 dal magazzino di JIRAW, maggiorate del fatto che una percentuale sarà scartata e l'ordine totalmente soddisfatto, dunque $\text{Order with Scrap}_{\text{JI11}}(5) = x / (1 - \text{Scrap Rate}_{\text{JI11}})$ e a partire da queste la quantità di moduli JIM11 è prodotta. Dal time bucket 5 al time bucket 6 le quantità di JIM11 occorrenti sono prodotte e dunque presenti in magazzino, ovvero $\text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(6) = x + \text{safety}_{\text{JIM11}}$. Dal time bucket 6 al 7 le unità di JI11 sono prodotte a partire da JIM11 e dunque presenti nel magazzino al termine ($\text{Inbound Materials}_{\text{JI11}}(7) = x$). Nel buffer di JIM11 è dunque contenuta della quantità di materiale, oltre a quella di safety sempre presente, solamente nel momento in cui JI11 genera un ordine. Infatti, nei time bucket 5 e 7, $\text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(5) = \text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(7) = \text{safety}_{\text{JIM11}}$. Ipotizzando che il DLT_{JI11} fosse stato di 3 giorni, 2 giorni da JIRAW a JIM11 e 1 giorno da JIM11 a JI11, se l'ordine emesso è sempre $\text{Order}_{\text{JI11}}(5) = x$, $\text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(6) = \frac{x}{2} + \text{safety}_{\text{JIM11}}$, $\text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(7) = x + \text{safety}_{\text{JIM11}}$, $\text{DDMRP Stock}_{\text{JIM11}}(8) = \text{safety}_{\text{JIM11}}$ e $\text{Inbound Materials}_{\text{JI11}}(8) = x$.

- Se il part number non è di tipo Transit e dunque il suo funzionamento segue le logiche DDMRP, il DDMRP Stock (t) è uguale all'On-Hand (t) presente nella Sezione Planning e nella Sezione Execution.

- MRP Stock (t): sono le quantità a magazzino generate dalla gestione aziendale delle scorte e dell'emissioni degli ordini e osservate in ogni venerdì dell'orizzonte temporale preso in considerazione per il caso di studio. Tali valori sono presi, per ogni part number, dal foglio "StocksHistory". Essendo gli storici a magazzino riferiti ad ogni venerdì, MRP Stock (t) non è calcolato per gli altri giorni della settimana.
- DDMRP Stock (t) – MRP Stock (t): è la differenza di stock osservata, in ogni venerdì, fra le quantità presenti a magazzino simulate con l'applicazione delle logiche DDMRP

e quelle invece osservate, nello stesso periodo di tempo, a seguito dell'applicazione aziendale delle logiche MRP. Si noti che:

- DDMRP Stock (t) – MRP Stock (t) > 0, se le logiche DDMRP hanno generato maggiore stock nel venerdì considerato;
- DDMRP Stock (t) – MRP Stock (t) < 0, se le logiche DDMRP hanno generato minore stock nel venerdì considerato.

- Percentage Deviation (t): è l'aumento/riduzione percentuale che l'applicazione delle logiche DDMRP, per ogni venerdì e per ogni part number, ha generato.
- Capital Cost Difference (t): è l'aumento/riduzione del costo del capitale immobilizzato che l'applicazione delle logiche DDMRP, per ogni venerdì e per ogni part number, ha generato. Con riferimento alla Sezione 3.6.25, questa grandezza è calcolata come:

$$\begin{aligned} & \text{Capital Cost Difference (t)} \\ & = (\text{DDMRP Stock (t)} - \text{MRP Stock (t)}) * \text{Unitary Cost} * \frac{C_c}{52} \quad (3.24) \end{aligned}$$

Cioè la differenza del costo del capitale immobilizzato generata è pari alla differenza di stock osservata, moltiplicata per il valore economico del prodotto considerato, moltiplicato per il costo percentuale del capitale su base annuale C_c considerato su base settimanale (dal momento che il confronto fra livelli di stock avviene ogni venerdì, quindi a distanza di 7 giorni).

- Space Cost Difference (t): è l'aumento/riduzione del costo della gestione del magazzino che l'applicazione delle logiche DDMRP, per ogni venerdì e per ogni part number, ha generato. Con riferimento alla Sezione 3.6.25, questa grandezza è calcolata come

$$\text{Space Cost Difference (t)} = \frac{(\text{DDMRP Stock (t)} - \text{MRP Stock (t)})}{\text{Pieces/pallet}} * C_m \quad (3.25)$$

per tutti i prodotti della filiera trasportati in pallet (moduli e prodotti finiti) e come

$$\begin{aligned} & \text{Space Cost Difference (t)} \\ & = \left(\frac{(\text{DDMRP Stock (t)} - \text{MRP Stock (t)})}{\text{Pieces/box}} / \frac{\text{boxes}}{\text{pallet}} \right) * C_m \quad (3.26) \end{aligned}$$

per tutti i prodotti della filiera trasportati nelle scatole (componenti elettronici).

Dal momento che non sono presenti gli storici dei livelli di stock per ogni giorno della settimana, e dunque non è possibile calcolare giorno per giorno il numero di pallet movimentati, si è deciso di calcolare la differenza del costo settimanale sulla gestione del magazzino come la differenza del costo generato per movimentare le quantità secondo DDMRP e secondo MRP. Al fine di valutare un aumento/riduzione percentuale dei costi e con la natura dei dati in possesso, si è valutata questa essere la migliore soluzione.

- Total Cost Difference (t) = Capital Cost Difference (t) + Space Cost Difference (t).
Corrisponde all'aumento/riduzione totale dei costi di magazzino generati dall'applicazione delle logiche DDMRP, valutato per ogni venerdì e per ogni prodotto della filiera logistica.

Nella pratica quello che è stato fatto è creare nel foglio "Simulation" ognuna della quattro sezioni descritte, posizionate orizzontalmente fra loro. All'estrema sinistra vi è la Sezione degli Input, contenente i dati e parametri necessari al calcolo delle altre tre sezioni; come si è detto, questa fa riferimento alle informazioni presenti nel foglio "Inputs" sulla base del nome del part number inserito, unica cella riempita manualmente nell'intero foglio "Simulation". A destra della Sezione degli Input vi è la Sezione Planning, poi la Sezione Execution e infine la Sezione Stock Analysis. Così facendo, si è dunque creato l'andamento del primo buffer, con tutte le grandezze necessarie.

Una volta terminata la struttura del primo buffer, comprensivo delle quattro sezioni, si è programmata una macro con la funzione di clonarlo. Premendo un bottone presente nella parte alta del foglio "Simulation", la macro si attiva, crea una copia del primo buffer del foglio e la posiziona verticalmente di seguito all'ultimo buffer presente. Premendo la macro 50 volte si ottengono dunque 50 buffer, ognuno composto orizzontalmente dalle quattro sezioni, disposti verticalmente lungo il foglio "Simulation"; ogni buffer è dipendente dal corrispettivo part number presente nella propria Sezione degli Input, visto che da esso ne dipende il contenuto.

Una seconda macro, attivata dopo aver clonato 50 buffer, è attivata al fine di scrivere automaticamente in tutte le Sezione degli Input di ogni buffer, il nome di tutti i differenti part number. In Figura 3.8 è presente una rappresentazione grafica di quanto spiegato.

A valle di questo processo di clonazione, sono dunque presenti i 50 buffer della filiera in un solo foglio, con tutte le grandezze valutate per ogni time bucket, che dipendono esclusivamente

dalle informazioni inserite nel foglio "Inputs"; variando queste informazioni, cambia dinamicamente tutto l'esito della simulazione.

Vi è da sottolineare che il processo di clonazione conduce inevitabilmente alla creazione delle sezioni Planning e quella Execution, totalmente strutturate secondo le logiche DDMRP, anche per i part number di tipo Transit; in questi casi tali sezioni sono prive di significato e dunque da non tenere in considerazione.

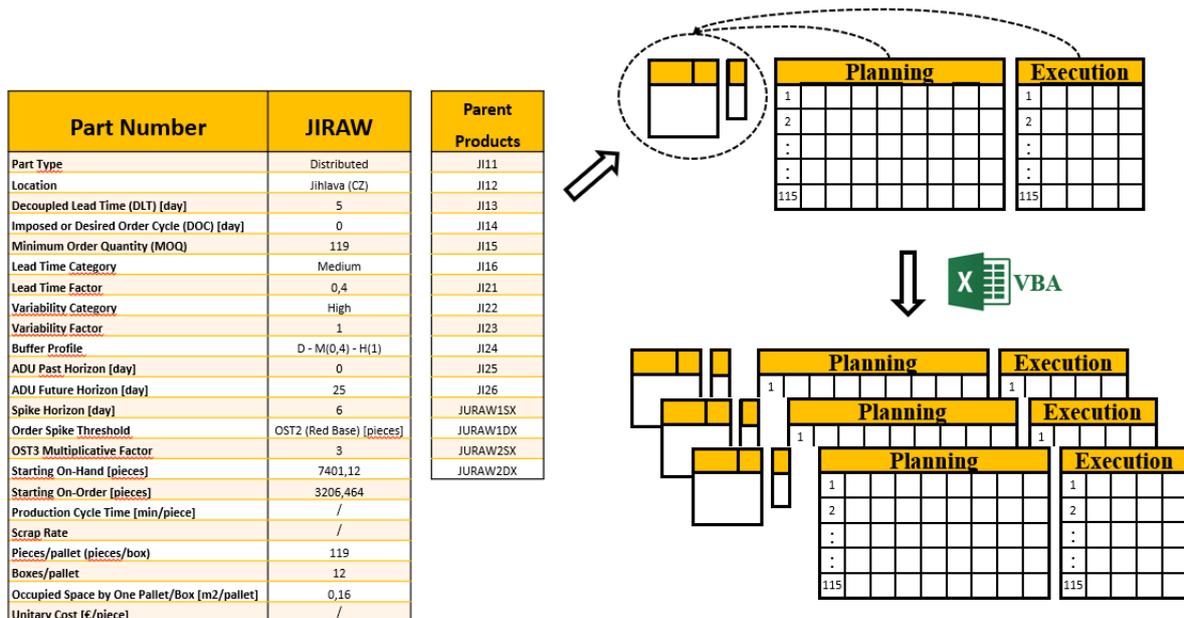


Figura 3.8: Foglio "Simulation".

3.7.10 Foglio "Stock Analysis"

Nel foglio "Stock Analysis" sono contenute tutte le informazioni relative alle analisi sull'andamento delle scorte generato dalla simulazione.

Inizialmente sono stati calcolati degli indici sulle base delle quantità a magazzino generate dalla simulazione delle logiche del DDMRP; non è stato purtroppo possibile operare un confronto con quelli calcolati nello stesso orizzonte temporale frutto dalle logiche aziendali basate sul MRP, data la natura puntuale dei dati di storico delle quantità a magazzino a disposizione. Alcuni degli indici di seguito elencati sono stati calcolati per ogni part number presente nella simulazione, altri solo per quelli non di tipo Transit.

- Average Order Quantity: è l'entità media degli ordini generati dal buffer del part number considerato; non è stato calcolato per part number di tipo Transit in quanto questi non

sono responsabili in maniera diretta dell'emissione di ordini. La quantità è calcolata come

$$\text{Average Order Quantity} = \frac{\sum_{i=1}^{115} \text{Order} (i)}{115} \quad (3.27)$$

(115 sono i time bucket totali della simulazione, dal momento che vi sono 23 settimane considerate e 5 giorni lavorativi per settimana).

- Average On-Hand: è la giacenza media presente a magazzino ed è stata calcolata per ogni buffer come

$$\text{Average On-Hand} = \frac{\sum_{i=1}^{115} \text{DDMRP Stock} (i)}{115} \quad (3.28)$$

- Order Period: è il numero di giorni medi che intercorrono fra l'emissione di un ordine e l'altro. Per la stessa ragione dell'Average Order Quantity, la quantità non è stata calcolata per part number non di tipo Transit; essa è uguale a

$$\text{Order Period} = \frac{\text{Numero di ordini emessi}}{115} \quad (3.29)$$

- Number of Stockouts: è il numero di stockout verificatisi durante la simulazione, ovvero il numero delle volte in cui il livello di magazzino è passato da un livello di scorte positivo ad uno negativo (di fatto non riuscendo a far fronte alle quantità a lui richieste). Si noti che in una simulazione come quella in questione è gli ordini sono stati emessi tutti in maniera completamente automatica da un algoritmo, con l'assenza di una fase di monitoraggio e controllo della pianificazione, dunque non sarebbe da escludersi il verificarsi di situazioni di stockout.
- Days in Stockout: è il numero di time bucket in cui i livelli di magazzino generati dal DDMRP, DDMRP Stock (t), hanno assunto un valore negativo.

Sono inoltre presenti in questa sezione i dati relativi all'analisi della comparazione economica fra i livelli di stock generati con DDMRP e con MRP. Per ogni part number sono state calcolate le grandezze seguenti.

- **Percentage Quantity Deviation:** è l'aumento/riduzione percentuale totale delle quantità presenti a magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP lungo tutto l'orizzonte temporale della simulazione. Considerando solo i venerdì della simulazione, per ogni part number, questa grandezza è stata calcolata come

$$\text{Percentage Quantity Deviation} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \text{DDMRP Stock } (i) - \text{MRP Stock } (i)}{\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock } (i)} \quad (3.30)$$

- **Percentage Capital Cost Deviation:** è l'aumento/riduzione percentuale totale del costo del capitale immobilizzato generato dall'applicazione delle logiche DDMRP lungo tutto l'orizzonte temporale della simulazione. Considerando solo i venerdì della simulazione, per ogni part number, questa grandezza è stata calcolata come

$$\text{Percentage Capital Cost Deviation} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \text{Capital Cost Difference } (i)}{(\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock } (i)) * \text{Unitary Cost} * \frac{C_c}{52}} \quad (3.31)$$

- **Percentage Space Cost Deviation:** è l'aumento/riduzione percentuale totale del costo della gestione e mantenimento delle scorte a magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP lungo tutto l'orizzonte temporale della simulazione. Considerando solo i venerdì della simulazione, per ogni part number, questa grandezza è stata calcolata come

$$\text{Percentage Space Cost Deviation} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \text{Space Cost Difference } (i)}{(\sum_{i=1}^{23} \frac{\text{MRP Stock } (i)}{\text{Pieces/pallet}}) * C_m} \quad (3.32)$$

- **Percentage Total Cost Deviation:** è l'aumento/riduzione percentuale totale del costo di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP lungo tutto l'orizzonte temporale della simulazione. Considerando solo i venerdì della simulazione, per ogni part number, questa grandezza è stata calcolata come

$$\begin{aligned} & \text{Percentage Total Cost Deviation} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{23} \text{Total Cost Difference } (i)}{(\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock } (i)) * \text{Unitary Cost} * \frac{C_c}{52} + (\sum_{i=1}^{23} \frac{\text{MRP Stock } (i)}{\text{pieces/pallet}}) * C_m} \quad (3.33) \end{aligned}$$

Infine, si sono calcolate le grandezze che sintetizzano l'impatto economico che l'applicazione delle logiche DDMRP ha avuto su tutta la filiera logistica considerata. Nella pratica si sono sommate le grandezze calcolate per ogni part number, così da ottenere l'aumento/riduzione globale percentuale dei costi di magazzino. Considerando i l'indice dei time bucket (prendendo in considerazione solo i venerdì della simulazione) e j l'indice di part number:

- Global Percentage Capital Cost Deviation: è l'aumento/riduzione percentuale del costo di capitale immobilizzato riferito a tutta la supply chain del caso di studio, generato dall'applicazione delle logiche DDMRP; è calcolato come:

$$\begin{aligned} & \text{Global Percentage Capital Cost Deviation} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{50} \sum_{i=1}^{23} \text{Capital Cost Difference}_j(i)}{\sum_{j=1}^{50} (\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock}_j(i)) * \text{Unitary Cost}_j * \frac{C_c}{52}} \quad (3.34) \end{aligned}$$

- Global Percentage Space Cost Deviation: è l'aumento/riduzione percentuale del costo di gestione e mantenimento del magazzino riferito a tutta la supply chain del caso di studio, generato dall'applicazione delle logiche DDMRP; è calcolato come:

$$\text{Global Percentage Space Cost Deviation} = \frac{\sum_{j=1}^{50} \sum_{i=1}^{23} \text{Space Cost Difference}_j(i)}{\sum_{j=1}^{50} \left(\frac{\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock}_j(i)}{\text{pieces/pallet}_j} \right) * C_m} \quad (3.35)$$

- Global Percentage Total Cost Deviation: è l'aumento/riduzione percentuale del costo di totale di magazzino di tutta la supply chain del caso di studio, generato dall'applicazione delle logiche DDMRP; è calcolato come:

$$\begin{aligned} & \text{Global Percentage Total Deviation} \\ &= \frac{\sum_{j=1}^{50} \sum_{i=1}^{23} \text{Total Cost Difference}_j(i)}{\sum_{j=1}^{50} \left(\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock}_j(i) * \text{Unitary Cost}_j * \frac{C_c}{52} + \frac{\sum_{i=1}^{23} \text{MRP Stock}_j(i)}{\text{pieces/pallet}_j} * C_m \right)} \quad (3.36) \end{aligned}$$

3.7.11 Foglio "Buffer Graphs"

Nel foglio "Buffer Graphs" sono contenuti, per ogni part number, i grafici utilizzati per visualizzare graficamente l'esito della simulazione. Tecnicamente è il foglio in cui è presente

il grafico pivot della simulazione, che tramite un filtro a bottoni sui part number, consente di visualizzare i grafici di ogni prodotto. I grafici presenti per ogni part number sono due:

- Il grafico, ricavato dalla Sezione Planning, dell'andamento della Net Flow Position rispetto alla Red Zone, Yellow Zone e Green Zone; sulle ascisse vi sono i time bucket della simulazione e sulle ordinate le quantità.
- Il grafico, ricavato dalla Sezione Execution, dell'andamento della quantità a magazzino (DDMRP Stock) rispetto alle zone delimitate da: Low Red, Low Yellow, Optimal Zone, High Yellow, High Red. In questo grafico, per ogni venerdì, sono inoltre presenti gli storici aziendali dei livelli di stock, in maniera tale da visualizzare graficamente il confronto fra le due logiche.

3.8 Output della simulazione

A partire da tutti i dati di input e i parametri DDMRP descritti nella Sezione 3.6 e dalla struttura del tool progettata e descritta nel dettaglio nella Sezione 3.7, si è effettuata la simulazione dei livelli di scorte per ogni part number considerato.

3.8.1 Grafici

Di seguito sono riportati i grafici presenti nel foglio Buffer Graphs, ovvero l'andamento della Net Flow Position e delle scorte per l'orizzonte temporale considerato ottenuto dalla simulazione. Al fine di non creare confusione e fraintendimenti, si è deciso di cambiare i colori delle zone delineate dalla fase di Execution del DDMRP: il rosso è stato sostituito con il colore marrone, il giallo con il colore oro e il verde è stato inscurito. Non sono presenti i grafici di tutti i part number, in quanto:

- Molti part number sono raggruppati a coppie (componente destro e sinistro) e dunque presentano un andamento pressoché uguale (visto che i parametri impostati sono identici e la domanda cliente molto simile).
- Versioni differenti dello stesso prodotto hanno andamenti molto simili, eventualmente su scale di volumi differenti (dipendentemente dalla richiesta di mercato del mercato della versione di prodotto considerata).

Si sono dunque selezionati i grafici più significativi, dalla natura più eterogenea e i cui andamenti offrono maggiori spunti di riflessione in fase di analisi. Dei part number di tipo

Transit, per il quale è stato previsto un buffer tradizionale e non di disaccoppiamento, non è riportato il grafico dell'andamento della Net Flow Position in quanto privo di significato. Si è comunque deciso di tracciare gli andamenti di quella che sarebbe stata la suddivisione delle zone nella fase di Execution, in modo da ottenere un confronto grafico.

- JI11: gli andamenti del buffer (Figura 3.9) mostrano che le logiche DDMRP sono state ampiamente più efficienti di quelle tradizionali, dal momento nella quasi totalità degli stock confrontati il venerdì il DDMRP presenta meno quantità a magazzino. L'andamento della Net Flow Position prevede un consumo lineare dal momento che è calcolato sulla base del Virtual On-Hand, mentre l'andamento del magazzino presenta delle brusche diminuzioni di stock ogni martedì e venerdì (situazione che si verifica per ogni prodotto finito), giorni in cui il cliente ritira la merce presso lo stabilimento.

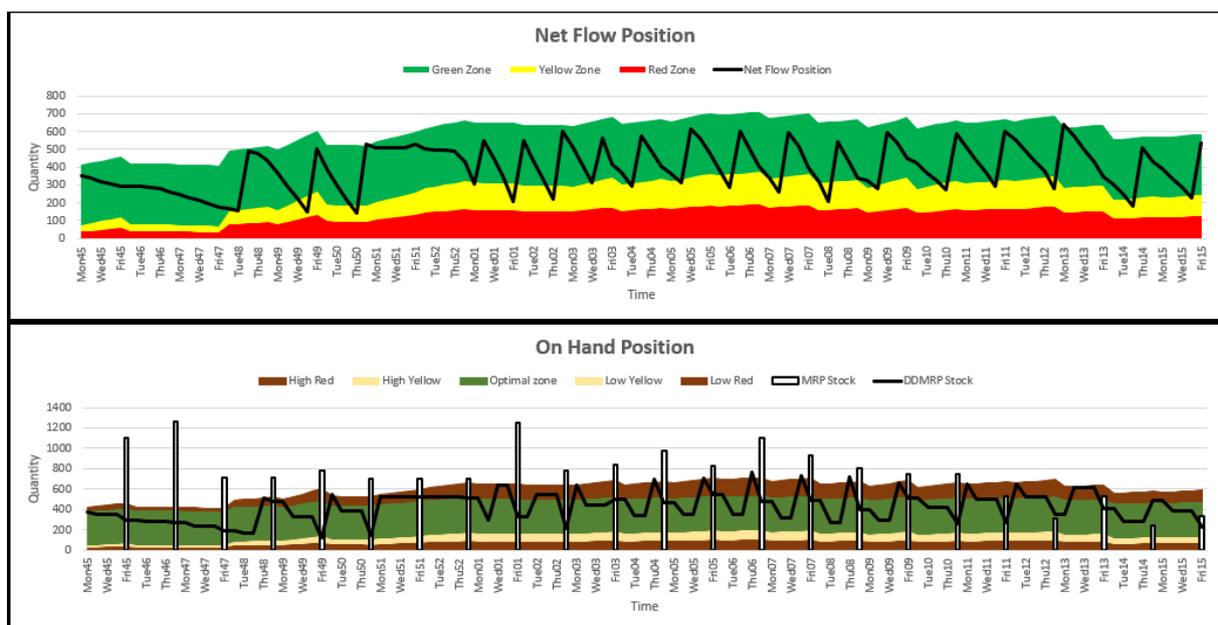


Figura 3.9: Grafici di JI11.

- JIM11: l'andamento del magazzino (Figura 3.10) mostra come questo si riempia solo in corrispondenza della produzione del modulo in questione, ovvero nel momento in cui il corrispondente buffer di disaccoppiamento JI11 emette un ordine. Il DDMRP risulta dunque essere più efficiente nella gestione delle scorte, dal momento che si utilizza una logica pull, in linea con i principi su cui si basa la Lean Production.

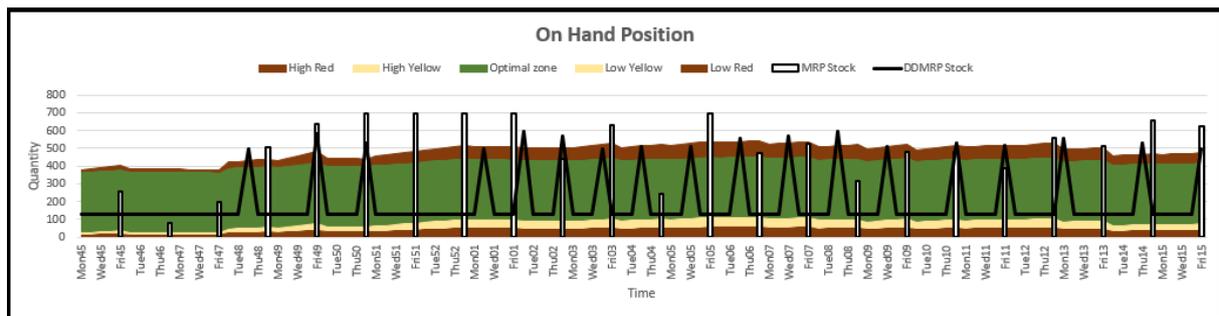


Figura 3.10: Grafico di JIM11.

- JI14: gli andamenti del buffer (Figura 3.11), molto simili alla maggior parte dei prodotti finiti di Jihlava, mostrano come la MOQ sia elevata rispetto alle quantità movimentate e conseguentemente la Green Zone sia più di gran lunga più estesa rispetto alla Yellow Zone e la Red Zone. Questo aspetto fa sì che la frequenza di riordino sia ridotta e che l'andamento del magazzino sia molto simile a quello associato all'utilizzo di una classica politica di riordino di tipo (Q,R). Infatti, ogniqualvolta la Net Flow Position assume un valore inferiore al TOY è emesso un ordine di entità eccessivamente elevata, se considerata in proporzione alla capienza totale del buffer di disaccoppiamento (nel primo time bucket la Green Zone è quasi il 90% della capienza). Nel caso in questione il consumo del prodotto, con conseguente diminuzione progressiva della Net Flow Position, si verifica con un tasso giornaliero tale da generare l'emissione di un ordine (come si vedrà nella Sezione 3.8.2) ogni 19,17 giorni in media. Se la Green Zone fosse più ridotta, a seguito di vincoli meno stringenti sulla quantità minima di produzione da richiedere alla linea ogniqualvolta vi è la volontà di emettere un ordine, la frequenza di riordino sarebbe più elevata e il numero di quantità richieste in ogni ordine più ridotto. A gionarne sarebbe sicuramente la giacenza media del buffer, inevitabilmente inferiore, così come i costi legati al mantenimento delle scorte. Nel contesto del caso di studio, la riduzione della MOQ non rappresenta in linea teorica una criticità, data la disponibilità dei componenti necessari alla fabbricazione del prodotto finito in prossimità dello stabilimento produttivo e la presenza di linee dedicate all'assemblaggio. Per di più, queste condizioni permettono di fare fronte ad ordini del cliente di natura straordinaria, senza incorrere in situazioni di stockout; una riduzione della capienza del buffer non metterebbe dunque a repentaglio il livello di servizio offerto.

Il confronto fra gli storici aziendali delle quantità a magazzino con i livelli di stock generati dalla simulazione risulta in ogni caso a favore delle logiche DDMRP. Il divario potrebbe essere più sostanzioso in ragione degli accorgimenti di cui si è discusso precedentemente. In ogni caso,

l'andamento della Net Flow Position suggerisce che il DDMRP risulta meno efficiente in un contesto non strutturato al fine di perseguire il fine primario della logica: preservare il continuo flusso di materiali e informazioni prediligendo l'emissione di ordini esigui ma frequenti. Per quanto riguarda il modulo corrispondente al part number, l'andamento del magazzino del corrispondente modulo JI14 è simile a quello del part number JI11 ma con picchi meno frequenti.

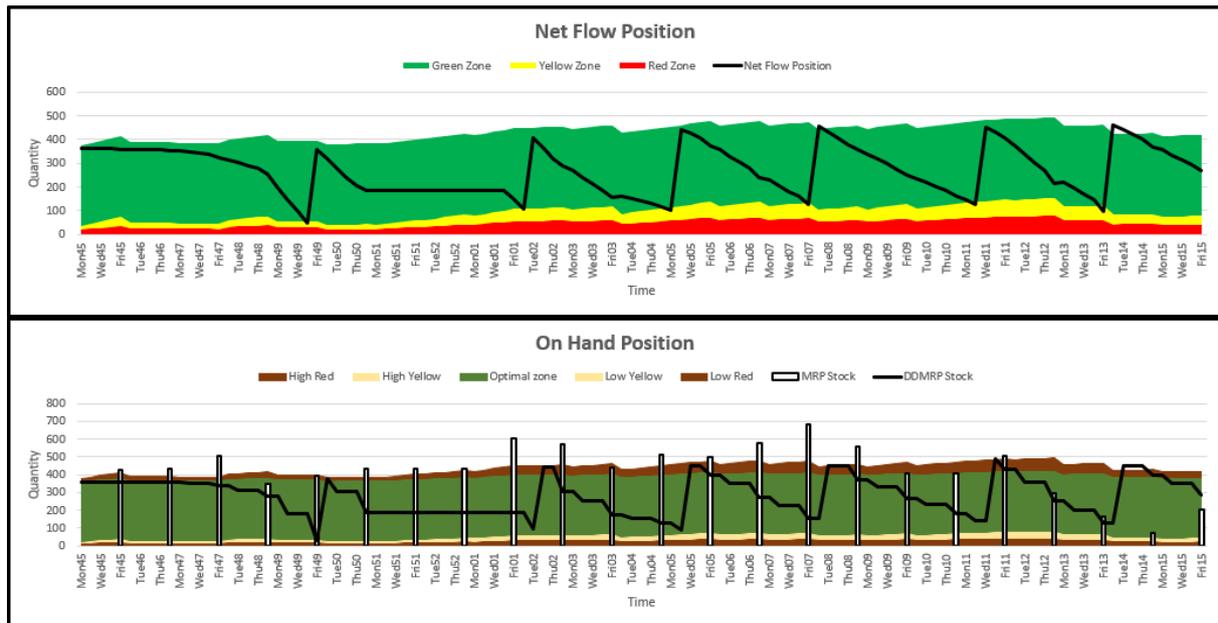


Figura 3.11: Grafici di JI14.

- JI23: gli andamenti del buffer (Figura 3.12) mostrano come per il part number in questione (e dunque anche per il corrispettivo JI24, per cui valgono le considerazioni presenti nel commento di JU22), l'effetto descritto per JI14 è ancora più amplificato. Infatti, la natura sproporzionata della MOQ rispetto alla domanda cliente fa sì che siano effettuati solo tre ordini nell'arco delle 23 settimane di simulazione, situazione che inevitabilmente comporta un ingente overstock, riscontrato per altro anche a seguito dell'applicazione del tradizionale MRP aziendale. Confrontando gli storici degli stock aziendali con la MOQ si nota come quest'ultima sia ben superiore ad ogni livello di scorta osservato, aspetto indubbiamente ambiguo e che potrebbe suscitare perplessità rispetto alla veridicità del dato di input per il part number in questione. Non essendo possibile tuttavia reperire informazioni aggiuntive riguardo l'entità della MOQ del part number in questione, si è deciso convenzionalmente di utilizzare quello preso in considerazione per qualunque altro part number.

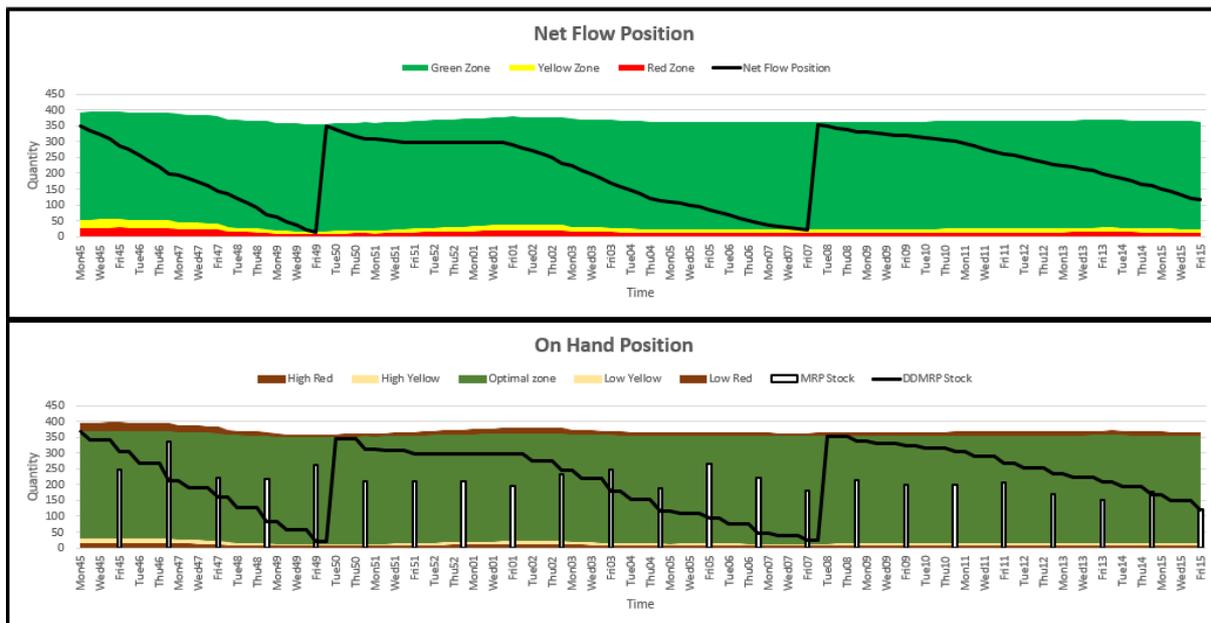


Figura 3.12: Grafici di JI23.

- JURAW1SX: gli andamenti del buffer (Figura 3.13) mostrano come le logiche DDMRP siano state correttamente implementate, dal momento che la On-Hand Position è spesso confinata all'interno della Optimal Zone. Confrontando i livelli delle scorte del DDMRP con gli storici delle scorte aziendali, non si notano per questo part number sostanziali differenze.

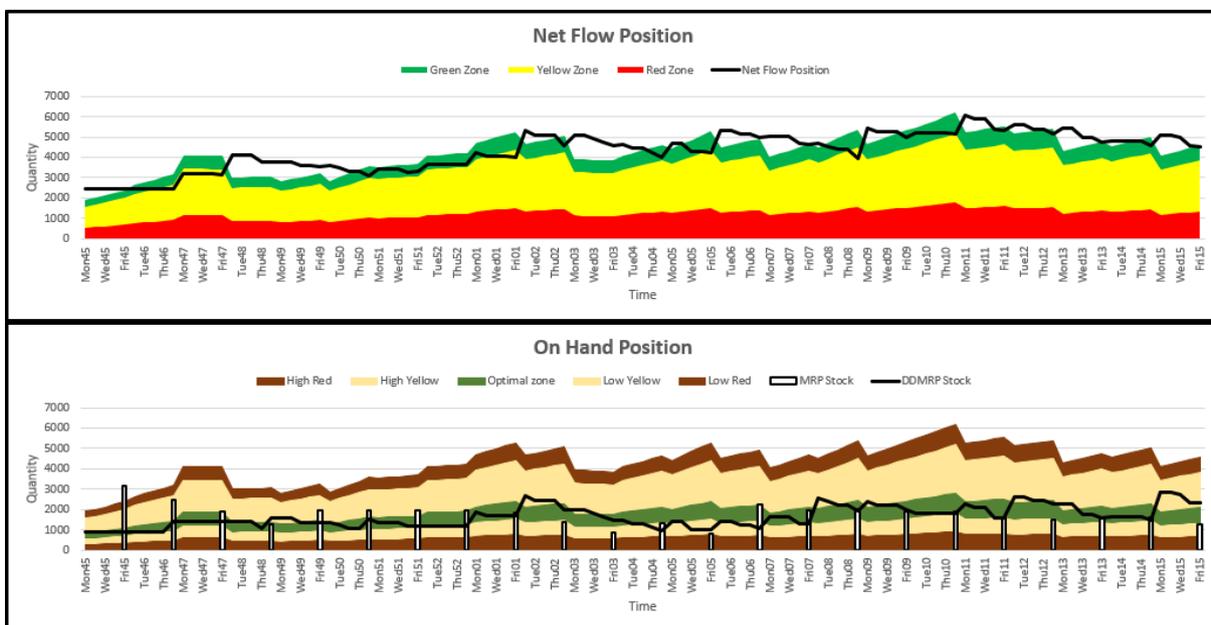


Figura 3.13: Grafici di JURAW1SX.

- JIM1SX: è il modulo (Figura 3.14) è prodotto a partire da JIRAW a seguito dell'emissione di un ordine del buffer di disaccoppiamento del corrispondente JURAW1SX. Il tempo di produzione del pezzo in Jihlava è di 1 giorno, al termine del quale il modulo è prontamente spedito a Juarez, con un lead time di trasporto di 30 giorni.

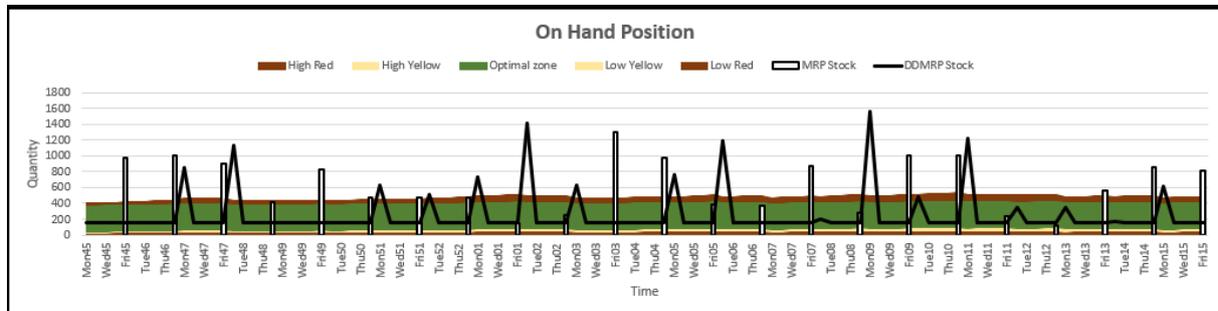


Figura 3.14: Grafico di JIM1SX.

- JURAW2SX: alla stregua del part number JURAW1SX (Figura 3.15), l'andamento della On-Hand Position mostra come la logica DDMRP sia stata correttamente implementata. Tuttavia, in questo caso le logiche aziendali sono molto più efficienti del DDMRP, dal momento che in ogni confronto dei livelli di scorte quelli generati da quest'ultima logica sono superiori. La motivazione risiede in parte nella maggiore quantità di domanda richiesta rispetto a JURAW1SX, di quasi tre volte superiore, che rende strutturalmente più elevata la capienza del buffer in questione.

L'aspetto più rilevante che emerge dal confronto fra i livelli di stock è che l'efficienza del DDMRP sembra risentire pesantemente della presenza di lunghi periodi di lead time presenti nei livelli intermedi della filiera. Essendo infatti i buffer di disaccoppiamento dei moduli di Juarez dimensionati sulla base del lead time di trasporto in nave, essi sono estremamente capienti e, anche in un'ottica di ideale fase di implementazione ed esecuzione del DDMRP, in cui l'andamento dell'On-Hand Position è sempre confinato nell'Optimal Zone come si nota dal grafico, risultano meno efficienti dei livelli di stock generati dalle logiche MRP.

Tali considerazioni sono da ritenersi valide anche per i part number JURAW1DX e JURAW2DX, che presentano degli andamenti della Net Flow Position e della On-Hand Position molti simili a quelli del part number in questione.

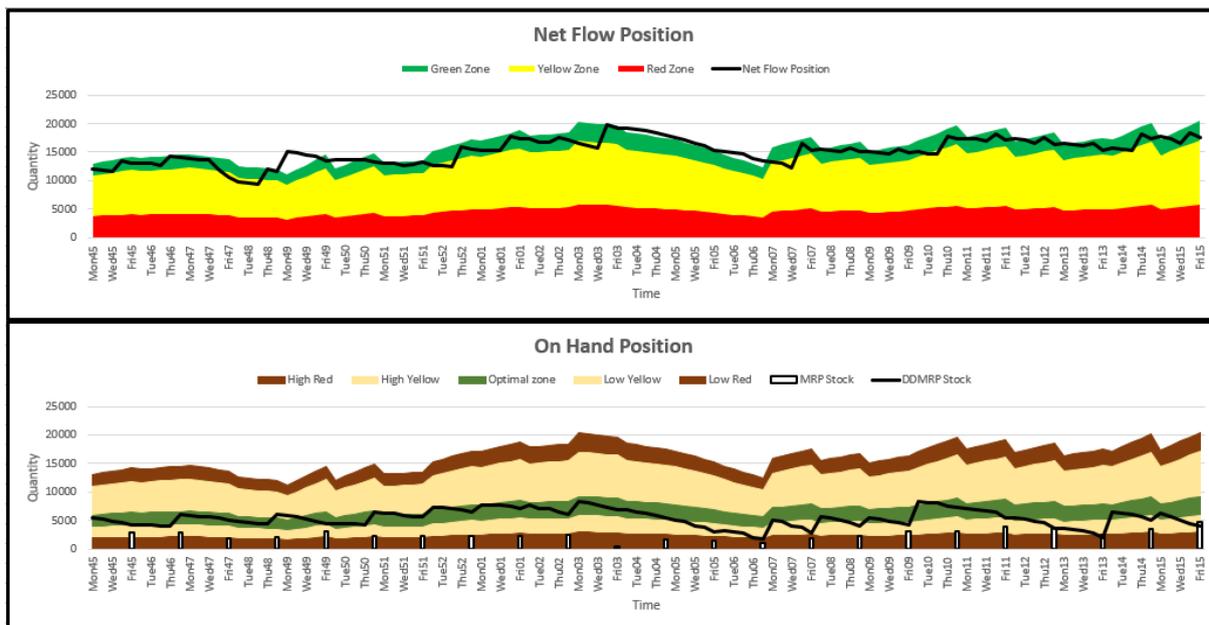


Figura 3.15: Grafici di JURAW2SX.

- JIM2SX: l'andamento del magazzino (Figura 3.16) è del tutto simile a quello del part number JIM1SX, tuttavia in questo caso gli ordini di produzione sono distribuiti su tre giorni invece che uno come nel caso precedente, dal momento che la quantità di domanda da soddisfare è superiore e così gli ordini emessi da JURAW2SX. Dunque, gli ordini emessi dal buffer di disaccoppiamento di quest'ultimo part number sono prodotti in tre giorni a partire da JIRAW e dunque spediti a Juarez.

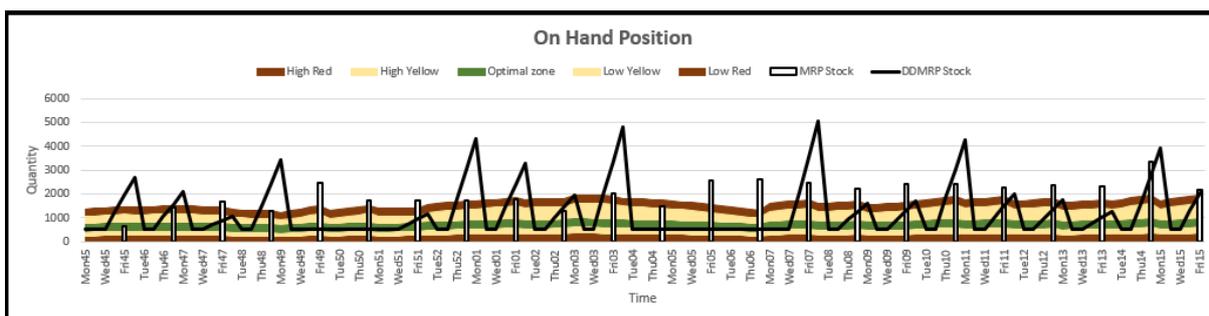


Figura 3.16: Grafico di JIM2SX.

- JU11: l'andamento marcatamente oscillatorio della Net Flow Position (Figura 3.17) mostra che la domanda per questo part number è altamente instabile; inoltre, una brusca diminuzione di questa (che le fa assumere in questo caso anche un valore negativo nel venerdì della seconda settimana del 2019) comporta di riflesso l'emissione di un ordine di entità tale da riportarla al TOG. Per questo motivo, il grafico dell'On-Hand position è conseguentemente caratterizzato

da diverse situazioni di overstock e, in generale, non descrive un andamento promettente. Nonostante ciò si può notare che i livelli di scorte generati dal DDMRP sono nettamente inferiori agli storici dei livelli di scorte conseguenti all'applicazione delle politiche aziendali. La natura oscillatoria delle quantità a magazzino determinate dalle logiche MRP dimostra l'inefficacia del metodo in un contesto altamente variabile: l'esplosione nella BOM ricalcolata giornalmente sulla base di una domanda cliente instabile e inaffidabile rende di fatto complessa la pianificazione degli ordini a causa della nervosità dell'MRP. Pertanto, si può asserire che il DDMRP sembra essere molto più indicato per un contesto caratterizzato da alta variabilità, nonostante la sua efficacia ne risenta, come d'altronde quella di qualunque logica di pianificazione nelle stesse condizioni.

Le stesse considerazioni sono valide per la maggior parte dei prodotti finiti di Juarez.

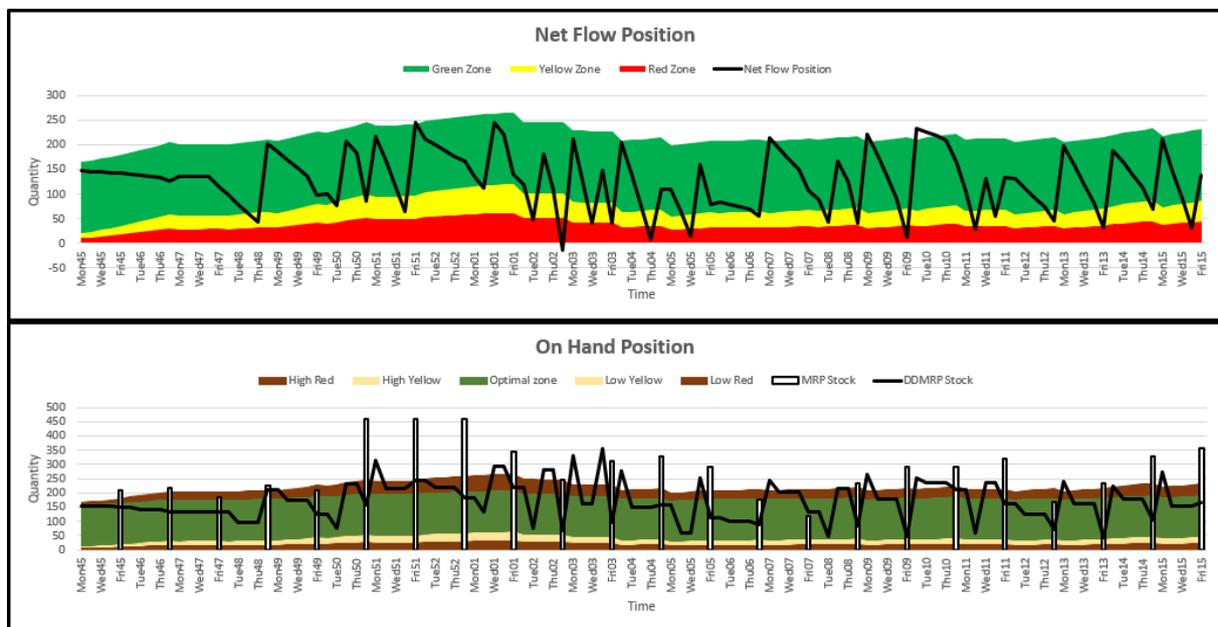


Figura 3.17: Grafici di JU11.

- JU13: gli andamenti del buffer (Figura 3.18) rispecchiano quanto detto in merito al part number JU11 solo per la seconda metà dell'orizzonte della simulazione. Nel caso in questione (e nei casi di JU12, JU14, JU22, JU23, JU24), da come si può notare anche dagli storici delle scorte della prima metà della simulazione, si fa riferimento ad un prodotto finito in fase di lancio. Risulta essere dunque molto più chiaro dal grafico dell'On-Hand, del perché si è deciso di inizializzare convenzionalmente le quantità a magazzino, ovvero lo Starting On-Hand, come la metà della Green Zone del primo time bucket (Sezione 3.6.14). Si nota infatti dai livelli di scorte generati dalle due politiche, come anche a fronte di questo accorgimento il metodo

DDMRP sia stato penalizzato nel confronto durante la prima metà della simulazione. L'apparente superiorità iniziale delle logiche MRP non è infatti da attribuire ad una migliore efficienza del metodo, ma semplicemente ai limiti imposti dall'assenza di informazioni riguardanti quel periodo sulla fase di lancio e dunque dall'impossibilità di operare un equo confronto.

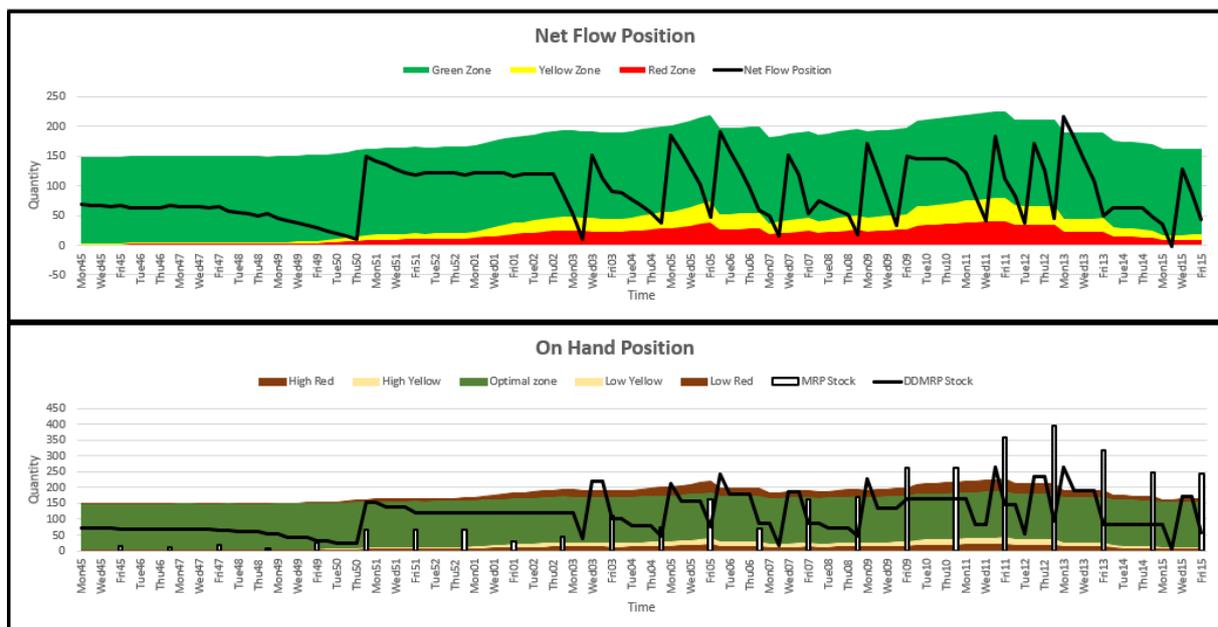


Figura 3.18: Grafici di JU13.

- JU22: gli andamenti del buffer (Figura 3.19) mostrano come nel caso in questione (e conseguentemente anche nel caso di JU12) il confronto tra i livelli di scorte è nettamente in favore delle logiche MRP; tuttavia, il grafico della On-Hand Position fa sorgere indubbiamente delle perplessità. Si può notare che alla stregua del part number JI23 la MOQ che determina l'estensione della Green Zone è assolutamente non commisurata al consumo medio del buffer. Oltretutto, eccetto per la parte finale della simulazione, nemmeno gli storici aziendali dei livelli di scorta sono in linea con la MOQ.

Si sarebbe potuto pensare di inizializzare le quantità a magazzino (Starting On-Hand) ad un livello inferiore rispetto alla metà della Green Zone del primo time bucket, tuttavia non si sarebbe risolto il problema. Infatti, non appena la Net Flow Position avesse assunto un valore inferiore al TOY si sarebbe comunque generato un ordine fino al TOG e dunque in questo caso fuori misura.

Non avendo tuttavia a disposizione informazioni più dettagliate riguardanti le MOQ del part number in questione, si è deciso convenzionalmente di tenere quelle utilizzate per tutti i prodotti

finiti. Così facendo tuttavia, il confronto fra i livelli delle quantità a magazzino generati dalle due logiche risulta poco significativo, in quanto non è stato possibile effettuarlo sotto le stesse condizioni al contorno.

Lo stesso ragionamento è applicabile al caso del part number JI24, i cui andamenti descritti dal buffer sono molto simili a quelli di JU22.

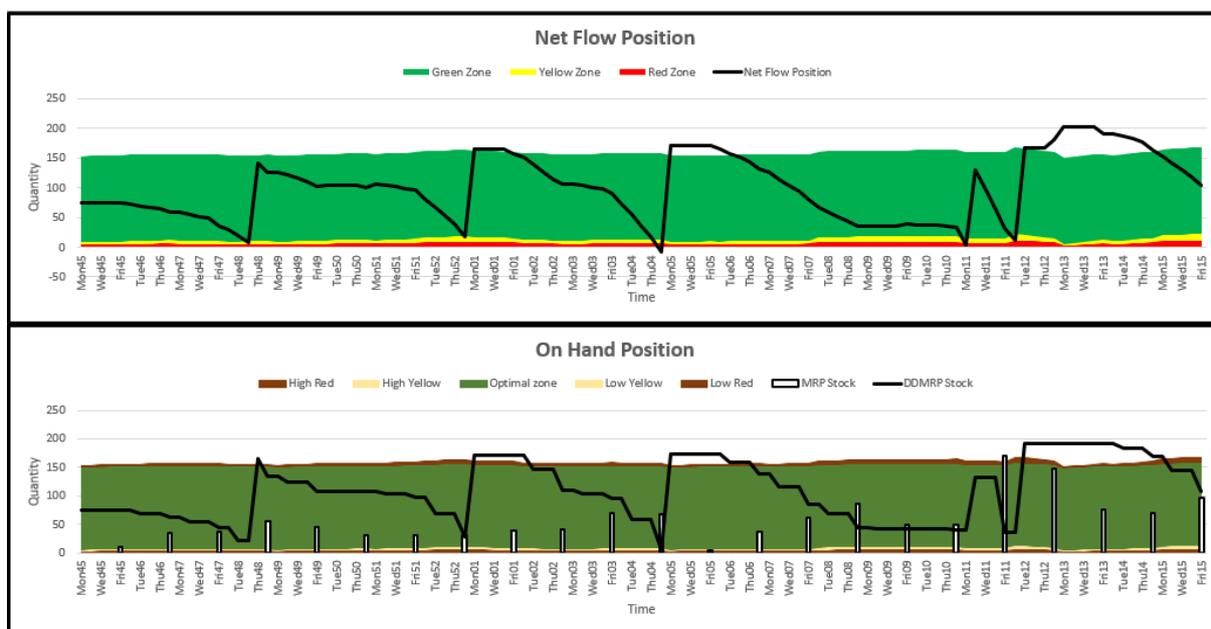


Figura 3.19: Grafici di JU22.

- JU34: l'andamento dell'On-Hand Position (Figura 3.20) mostra che per questo part number in particolare (e dunque anche per il JU44) la quantità di periodi di overstock sia particolarmente elevata. Questo è dovuto, oltre alle considerazioni già effettuate per JU11 ugualmente valide, al fatto che la Net Flow Position in questo caso oscilla molto di più nella zona della Yellow Zone e dunque è emessa una maggiore quantità di ordini (uno ogni 1,8 giorni in media, come si vedrà nella Sezione 3.8.2). Si potrebbe pensare di risolvere parzialmente il problema tramite l'uso del GZAF: allargare la Green Zone causerebbe sì l'ampliamento dell'Optimal Zone del grafico dell'On-Hand, di fatto aumentano in teoria la giacenza media, ma si ridurrebbe la frequenza di emissione degli ordini. L'effetto sarebbe dunque quello di estendere l'Optimal Zone, ma in linea teorica traslare verso il basso l'andamento delle scorte a magazzino, migliorando auspicabilmente la giacenza media del buffer.

Si noti in ogni caso che quello descritto potrebbe essere in questa circostanza un possibile e ulteriore miglioramento dell'efficacia del DDMRP, metodo che come si nota dal confronto dei livelli di scorta risulta già ampiamente più efficace dell'MRP.

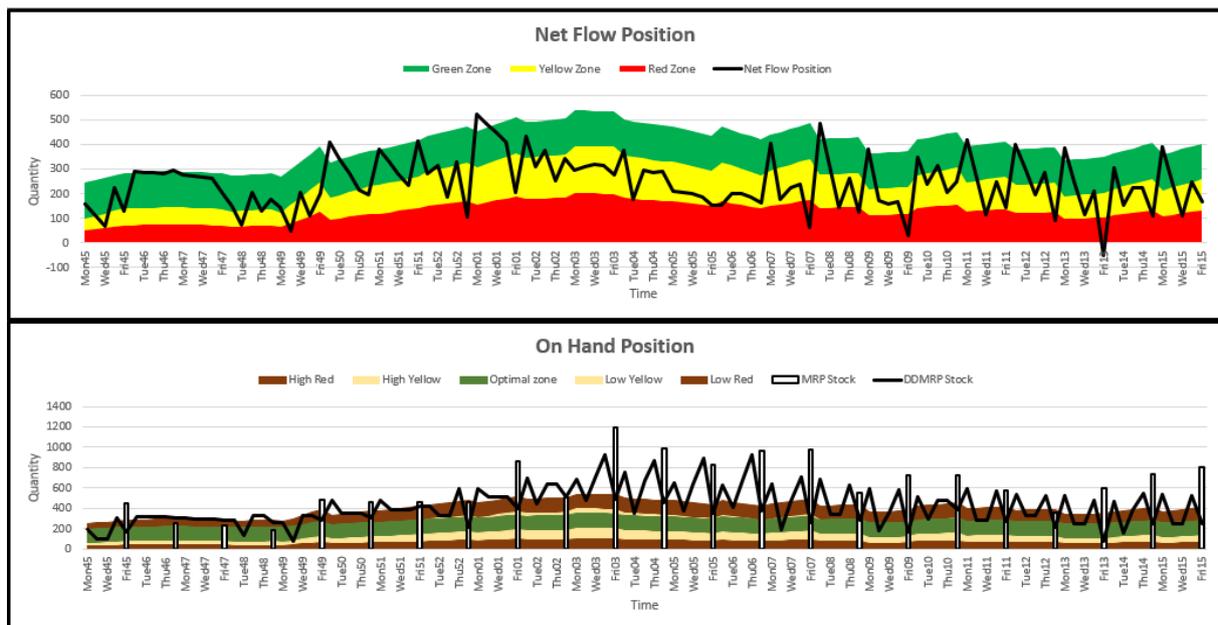


Figura 3.20: Grafici di JU34.

- JIRAW: gli andamenti del buffer (Figura 3.21) mostrano come in questo caso, osservando il confronto di livelli di stock, la pianificazione degli ordini mediante DDMRP non sia stata più efficiente di quella generata dall'MRP. Se infatti il confronto sui livelli di stock è leggermente a favore del DDMRP per la prima metà della simulazione, nella seconda gli storici aziendali delle quantità a magazzino sono sensibilmente minori di quelli generati dalla simulazione. Al di là dell'andamento del grafico della On-Hand Position, prettamente collegato al caso di studio e di cui si discuterà immediatamente di seguito, si nota che nella seconda metà della simulazione è l'Optimal Zone stessa al di sopra degli storici delle scorte, segno che anche in condizioni ideali il DDMRP sarebbe risultato meno efficiente.

Per quanto riguarda l'andamento della On-Hand Position, si nota che la curva oscilla attorno all'Optimal Zone, occupando principalmente le zone oro. Questo effetto è dovuto alle brusche diminuzioni della Net Flow Position osservabili, che coincidono con il soddisfacimento degli ordini provenienti dai buffer JURAW1SX, JURAW1DX, JURAW2SX, JURAW2DX: dal momento che la capienza di tali buffer di disaccoppiamento è elevata, perché commisurata con i relativi DLT che comprendono i tempi di trasporto in nave di 30 giorni, gli ordini generati sono conseguentemente di grande entità se confrontati con quelli generati dai prodotti finiti di Jihlava. Se questi rapidi decrementi della Net Flow Position, responsabili di una proporzionale diminuzione della On-Hand Position al di sotto della Optimal Zone, sono tali da ridurne il valore fino alle Red Zone (come succede per cinque volte) di riflesso è generata l'emissione di ordini corposi tali da riportarla al TOG. Conseguentemente, dato che gli ordini emessi in questi casi

sono superiori a quelli idealmente previsti dal DDMRP (di entità pari al valore della Green Zone), una volta giunti al buffer causano periodi di overstock, in cui la On-Hand Position occupa la zona oro al di sopra della Optimal Zone.

Si ricorda che per questo buffer è stato previsto, per ogni time bucket, un $RZAF = 2$, che ha raddoppiato di fatto la Red Zone. Risulta adesso più chiara la motivazione di tale scelta, da ricercarsi nella volontà di contenere le brusche diminuzioni delle quantità a magazzino di cui si è trattato, senza incorrere in situazioni di stockout. Si noti per esempio che in venerdì della settimana 52 la On-Hand Position si trova nella zona Low Red a seguito del pronto soddisfacimento di due rilevanti ordini; se non si fosse raddoppiata la Red Zone, non sarebbe stato possibile evitare una situazione di stockout, a meno naturalmente dell'intervento esterno di una risorsa aziendale responsabile della pianificazione. Il personale del reparto logistica sarebbe in ogni caso potuto intervenire già il mercoledì della settimana 52, giorno in cui la On-Hand Position entra nella zona Low Red, emettendo se necessario un ordine straordinario.

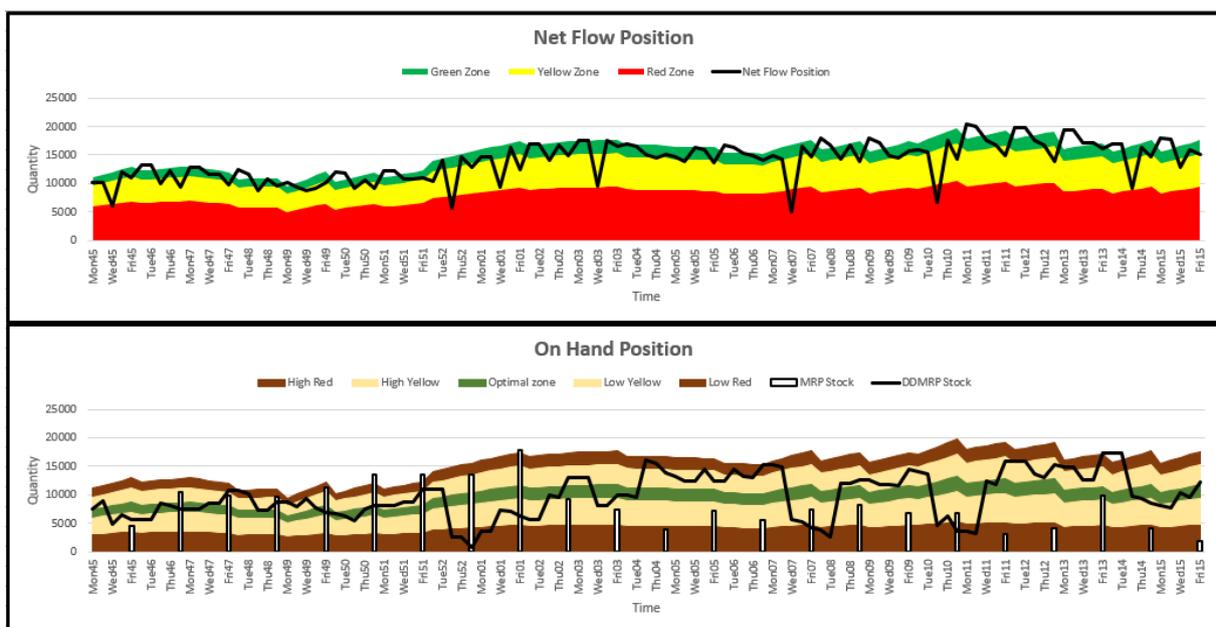


Figura 3.21: Grafici di JIRAW.

- BARAW: alla stregua di tutti i buffer di tipo Transit, l'andamento delle scorte (Figura 3.22) mostra come il magazzino si riempia solo in corrispondenza della produzione dei componenti e si svuoti conseguentemente alla spedizione delle quantità verso Jihlava. Si noti in questo caso come quando in corrispondenza delle quantità di produzione le quantità a magazzino siano sensibilmente superiori al livello medio degli storici dei livelli generati con le logiche aziendali. Il motivo è da ricercarsi nel fatto che BARAW è un componente comune a tutti i prodotti finiti

considerati nel caso di studio e dunque la sua domanda è di fatto la somma della domanda cliente della filiera considerata. Gli ordini che ne determinano la produzione sono emessi dal buffer di disaccoppiamento di JIRAW (anch'esso dimensionato sulla base della domanda cliente di tutti i prodotti finiti) e, proporzionalmente alla capienza, sono di elevata entità. Pertanto, dal momento che una delle assunzioni del caso di studio prevede che tutte le quantità dell'ordine siano prodotte prima di essere spedite, si comprende la presenza dell'andamento della On-Hand Position. Nella realtà, specialmente se gli ordini sono di corposa entità, al fine di preservare il flusso continuo dei materiali, le quantità sono spedite in più *tranche* (specialmente se il trasporto è via terra come quello da Barberà a Jihlava) anche se non è completata la produzione dell'intero ordine, così da smaltirne l'accumulo. Per questa ragione e a fronte dell'assunzione del caso di studio, il confronto delle quantità a magazzino con la logica DDMRP e quella MRP, per questo part number, non risulta particolarmente significativo. Sorge spontaneo domandarsi se un eventuale buffer di disaccoppiamento del componente elettronico grezzo acquistato da terzi riesca a soddisfare le quantità necessarie alla produzione di BARAW. La risposta è sicuramente positiva: visto che, come si è detto nella Sezione 3.2, il lead time di fornitura dei componenti elettronici è molto elevato, un eventuale buffer di disaccoppiamento dimensionato sulla base di questo sarebbe sensibilmente più capiente e dunque sicuramente adatto al soddisfacimento di grandi ordini emessi dal buffer di disaccoppiamento JIRAW.

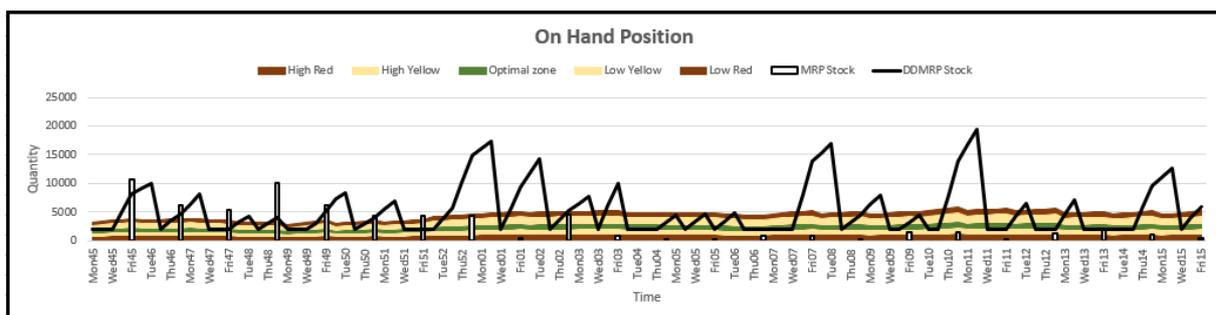


Figura 3.22: Grafico di BARAW.

3.8.2 Analisi comparativa dei livelli di stock

Nella Tabella 3.17 è riportato il risultato della comparazione dei livelli di stock generati dalle logiche DDMRP e dall'MRP aziendale; di seguito è analizzata ogni colonna della tabella.

- Nella prima colonna è calcolata per ogni part number la deviazione percentuale delle quantità a magazzino, ovvero la Percentage Quantity Deviation: se questa è negativa, e dunque colorata in verde, significa che il DDMRP ha ridotto i livelli di scorte della percentuale indicata nell'arco temporale in cui è stata effettuata la simulazione.

Si nota che per quasi tutti i prodotti finiti l'applicazione delle logiche DDMRP ha ridotto significativamente i livelli di scorta, con una media del -29,18%. Ad abbassare la media sono i part number JI24 (si veda la parte relativa di JI23 della Sezione 3.8.1), JU12 e il corrispettivo JU22, per le ragioni precedentemente discusse (si veda il commento di JU22 della Sezione 3.8.1). Non conteggiando all'interno della media questi ultimi part number, sul quale non è stato possibile operare un equo confronto, la media della deviazione percentuale è -40,01%. Questo è un risultato incredibilmente notevole, dal momento che i prodotti finiti sono quelli con il più alto valore economico.

Anche per tutti i moduli di Jihlava la simulazione ha prodotto risultati molto convincenti, con una media delle Percentage Quantity Deviation di -58,69%.

Sono da effettuare delle considerazioni opposte per quanto riguarda i moduli presenti in Juarez, per cui la media delle Percentage Quantity Deviation è di +51,99%, e per i buffer dei componenti elettronici di Jihlava e Barberà, per cui la media è di +62,05%. Questo sembra dunque suggerire che il DDMRP risulta meno efficiente nei nodi di divergenza della filiera logistica: essi sono dimensionati sulla base del consumo medio di tutti i prodotti del livello superiore a loro collegati e, al fine di garantire una pronta disponibilità del prodotto, hanno una giacenza media ideale superiore a quella generata con le logiche tradizionali MRP (si veda il commento di JIRAW contenuto nella Sezione 3.8.1).

Si vedrà quantitativamente, nell'analisi economica comparativa dei costi di magazzino, se l'aumento delle scorte dei punti di divergenza responsabile della diminuzione delle quantità a magazzino dei prodotti collegati è economicamente conveniente. Preliminarmente bisogna qualitativamente riflettere sul fatto che ai punti di divergenza, dal momento che sono posizionati in un livello inferiore della filiera, sono associati prodotti dal minore valore economico, con minori costi di magazzino.

- L'Average Order Quantity nei casi in cui i vincoli della MOQ sono troppo stringenti rispetto al consumo medio del buffer (ovvero nel caso di numerosi prodotti finiti) è addirittura maggiore della giacenza media (Average On-Hand). Questo non è

Tabella 3.17: Analisi comparativa dei livelli di stock e indici dei buffer di ogni part number del caso di studio.

Part Number	Percentage Quantity Deviation	Average Order Quantity [pieces]	Average On Hand [pieces]	Order Period [days]	Number of Stockouts	Days in Stockout
BARAW	100,39%	/	5198	/	0	0
JIRAW	23,70%	4134	9728	3,29	0	0
JIM11	-52,48%	/	194	/	0	0
JIM12	-55,26%	/	192	/	0	0
JIM13	-75,43%	/	66	/	0	0
JIM14	-76,22%	/	66	/	0	0
JIM15	-72,68%	/	72	/	0	0
JIM16	-73,98%	/	71	/	0	0
JIM21	-35,88%	/	70	/	0	0
JIM22	-71,58%	/	70	/	0	0
JIM23	-78,00%	/	20	/	0	0
JIM24	-78,92%	/	20	/	0	0
JIM25	-39,08%	/	69	/	0	0
JIM26	-56,08%	/	70	/	0	0
JI11	-51,96%	387	423	6,39	0	0
JI12	-55,28%	383	415	6,39	0	0
JI13	-36,75%	352	271	19,17	0	0
JI14	-40,98%	352	280	19,17	0	0
JI15	-50,75%	365	274	16,43	0	0
JI16	-46,55%	363	263	16,43	0	0
JI21	-56,46%	360	262	14,38	0	0
JI22	-51,55%	365	266	16,43	0	0
JI23	-4,53%	342	219	57,50	0	0
JI24	66,09%	348	223	57,50	0	0
JI25	-15,35%	353	252	16,43	0	0
JI26	-34,99%	363	251	16,43	0	0
JIM1SX	-75,87%	/	245	/	0	0
JIM1DX	-77,68%	/	247	/	0	0
JIM2SX	-16,69%	/	1203	/	0	0
JIM2DX	-3,13%	/	1222	/	0	0
JURAW1SX	-18,53%	614	1569	6,76	0	0
JURAW1DX	21,32%	569	1751	6,39	0	0
JURAW2SX	96,37%	2179	5410	6,39	0	0
JURAW2DX	108,80%	2024	4980	5,75	0	0
JU11	-51,87%	181	171	5,48	0	0
JU12	49,31%	151	92	23,00	0	0
JU13	-32,54%	170	112	10,45	0	0
JU14	-22,55%	163	122	11,50	0	0
JU21	-47,80%	185	170	5,48	0	0
JU22	67,97%	154	109	23,00	0	0
JU23	-13,89%	164	128	9,58	0	0
JU24	-7,39%	160	123	11,50	0	0
JU31	-50,45%	188	279	3,19	0	0
JU32	-13,90%	160	118	11,50	0	0
JU33	-62,40%	217	267	2,61	0	0
JU34	-51,40%	238	415	1,80	0	0
JU41	-57,45%	197	256	3,19	0	0
JU42	-26,22%	161	115	10,45	0	0
JU43	-65,36%	224	271	2,56	0	0
JU44	-51,97%	240	426	1,80	0	0

assolutamente in linea con i propositi del DDMRP, che predilige una logica di riordino di ridotta entità ma frequente.

- Il tempo che intercorre mediamente fra due ordini, Order Period è molto variabile fra i differenti part number, specialmente se si confrontano prodotti appartenenti allo stesso livello della supply chain come nel caso dei prodotti finiti. Questo risulta infatti nettamente troppo elevato nei casi in cui la MOQ è sproporzionata rispetto al consumo medio, aspetto responsabile di un sovradimensionamento della Green Zone e dunque di una frequenza di riordino molto ridotta. Per tale motivo, alla stregua del punto precedente, questo aspetto non è in linea con i propositi del DDMRP.
- Nonostante non sia stata adottata durante la simulazione alcuna modifica manuale, che avrebbe riprodotto di fatto delle azioni tipiche della fase di monitoraggio e controllo della pianificazione, l'output non è caratterizzato da alcun caso di stockout. Tale aspetto è enormemente significativo e del tutto non banale, dal momento che il personale aziendale monitora costantemente il processo di pianificazione degli ordini effettuato dal gestionale mediante foglio elettronici paralleli, al fine di emettere eventualmente ordini di emergenza. Questo non solo dimostra che algoritmicamente e metodologicamente il DDMRP sia valido e necessita di minore controllo umano, ma minimizza gli errori che l'influenza di questo comporta.

3.8.3 Analisi comparativa dei costi di magazzino

Dal momento che per calcolare i costi di magazzino si sono sempre applicati fattori moltiplicativi (Unitary Cost, costo percentuale del capitale immobilizzato C_c , Pieces/pallet, costo di movimentazione C_m , boxes/pallet) alle quantità di stock, il Percentage Capital Cost Deviation, Percentage Space Cost Deviation e il Percentage Total Cost Deviation assumono lo stesso valore del Percentage Quantity Deviation (Tabella 3.17) per ogni part number. Per valutare la deviazione percentuale di costo dell'intera filiera bisogna tuttavia tenere in considerazione che:

- I costi unitari dei prodotti della simulazione sono molto eterogenei e sono fisiologicamente crescenti al crescere della vicinanza al cliente finale. Conseguentemente, il beneficio (o lo svantaggio) generato dal costo del capitale immobilizzato delle quantità a magazzino è tanto maggiore quanto superiore è il livello della supply chain in cui è posizionato il buffer.

- I prodotti hanno dimensioni differenti (si ricorda che il Pieces/pallet è 12 per i prodotti finiti, 20 per i moduli e 119 per i componenti elettronici) e il costo di movimentazione (rapportato al numero di pallet) della singola unità è tanto minore quanto più ridotte sono le dimensioni del prodotto considerato.

Si è sono pertanto valutate a livello globale le deviazioni percentuali del costo del capitale, del costo della movimentazione e del costo totale di tutta la filiera (rispettivamente Global Percentage Capital Cost Deviation, Global Percentage Space Cost Deviation e il Global Percentage Total Cost Deviation) riportate nella Tabella 3.18, secondo quanto descritto nella Sezione 3.7.10,

Tabella 3.18: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP su tutta la filiera del caso di studio.

Percentage Stock Cost Saving	Capital Cost	-20,73%	-18,89%
	Space Cost	-17,89%	

L'applicazione del metodo DDMRP alla filiera logistica considerata ha dunque determinato un risparmio del 18,89% sui costi di magazzino considerati; in particolare si è risparmiato il 20,73% sui costi del capitale immobilizzato e 17,89% sui costi di movimentazione dei pallet. Se nel calcolo della Percentage Total Cost Deviation si escludono i part number per i quali non è stato possibile effettuare un equo confronto a causa della dubbia veridicità del valore della MOQ (JI24, JU12, JU22), il risultato della simulazione è quello presente nella Tabella 3.19.

Tabella 3.19: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP su tutta la filiera del caso di studio, escludendo i buffer per cui non è stato possibile operare un equo confronto.

Percentage Stock Cost Saving	Capital Cost	-22,08%	-20,03%
	Space Cost	-18,92%	

L'applicazione del metodo DDMRP alla filiera logistica considerata ha in questo caso determinato un risparmio del 20,03% sui costi di magazzino considerati; in particolare si è

risparmiato il 22,08% sui costi del capitale immobilizzato e 18,92% sui costi di movimentazione dei pallet.

Per ottenere un prospetto della riduzione dei costi di magazzino dei soli part number per i quali il DDMRP ha determinato una riduzione delle scorte nell'orizzonte temporale considerato, si è calcolata la Percentage Total Cost Deviation escludendo i prodotti con Percentage Quantity Deviation positiva (e dunque rossa nella tabella sopra); il risultato ottenuto è contenuto nella Tabella 3.20.

Tabella 3.20: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP sui soli buffer in cui queste hanno determinato una riduzione dei livelli di scorte.

Percentage Stock Cost Saving	Capital Cost	-44,16%	-43,41%
	Space Cost	-42,99%	

Per i part number in cui il DDMRP ha avuto un impatto positivo sulla gestione delle scorte, l'applicazione del metodo ha determinato un risparmio del 43,41% sui costi di magazzino considerati; in particolare si è risparmiato il 44,16% sui costi del capitale immobilizzato e 42,99% sui costi di movimentazione dei pallet.

Considerando invece solamente i part number in cui il DDMRP ha avuto un impatto negativo sulla gestione delle scorte, ma senza conteggiare i contributi di JI24, JU12, JU22 per i quali il confronto è in parte falsato, il risultato della simulazione è quello riportato nella Tabella 3.21.

Tabella 3.21: Aumento dei costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP sui soli buffer in cui queste hanno avuto un impatto negativo sui livelli di scorte.

Percentage Stock Cost Deviation	Capital Cost	79,46%	81,81%
	Space Cost	83,00%	

Per i part number in cui il DDMRP ha avuto un impatto negativo sulla gestione delle scorte, l'applicazione del metodo ha determinato un aumento del 81,81% sui costi di magazzino considerati; in particolare è aumentato del 79,46% il costo del capitale immobilizzato e 83,00% il costo di movimentazione dei pallet.

Si noti che il risparmio del costo di capitale è stato maggiore di quello sul costo di movimentazione dal momento che, eccetto per i buffer di JI23, JI24 e JU22 per i motivi

precedentemente descritti, i livelli di scorte di tutti i prodotti finiti, a più elevato valore economico della filiera, sono sensibilmente diminuiti in seguito all'applicazione delle logiche DDMRP. Il risparmio percentuale sui costi di movimentazione è più ridotto in quanto le quantità in stock di buffer molto capienti quali quelli dei moduli di Juarez, per via del lungo DLT associato, e dei componenti elettronici, perché fornitore di tutta la filiera considerata, sono sensibilmente aumentate.

Il costo di magazzino di tutta la filiera ha sicuramente beneficiato del trade-off annunciato nella Sezione 3.8.2: l'aumento delle scorte dei punti di divergenza (moduli di Juarez, JIRAW e conseguentemente BARAW) ha consentito una netta diminuzione della quantità di tutti i nodi posizionati ad un livello superiore della filiera e direttamente collegati. Il beneficio ottenuto è tanto maggiore quanto minore è la dimensione e il valore economico del prodotto associato al buffer presente nel punto di divergenza.

Il risparmio sui costi di magazzino di tutti i nodi uscenti dal buffer di JIRAW è di circa 50 volte l'incremento dei costi di magazzino osservati sui buffer di JIRAW e BARAW. Questo perché il componente elettronico ha un valore economico e dimensioni molto più ridotti dei moduli.

Per quanto riguarda i moduli presenti in Juarez, si nota che il modulo JURAW1SX, essendo la deviazione percentuale negativa, ha sicuramente beneficiato del metodo DDMRP, così come tre su quattro dei nodi collegati (JU11, JU13, JU14). Per gli altri moduli di Juarez il trade-off non ha condotto ad un risultato positivo: l'aumento dei costi di magazzino generati da un più elevato livello di scorte dei moduli, non è bilanciato dalla diminuzione dei costi dei prodotti finiti connessi. L'aumento è del 1,18 volte la riduzione per JURAW1DX, 1,42 per JURAW2SX, 1,24 per JURAW2DX.

Nel caso dei moduli di Juarez, il trade-off è fortemente influenzato dal fatto che i buffer di disaccoppiamento posizionati sui punti di divergenza siano dimensionati sulla base di un DLT molto elevato a causa dell'esteso lead time di trasporto in nave. Si può osservare per esempio dai grafici dell'andamento dell'On-Hand Position del buffer JURAW2SX e JIRAW (Figura 3.15 e Figura 3.21), che l'Optimal Zone, ovvero la zona ideale della giacenza ideale delle scorte di magazzino, è ben al di sopra degli storici degli stock aziendali. Una pianificazione di tipo push come quella aziendalemente operata risulta pertanto più efficiente in questo caso, dal momento che si tengono a magazzino le quantità di prodotto necessarie al soddisfacimento degli ordini dei nodi al livello superiore della filiera (in linea teorica) e non uno stock dimensionato sulla base di un lead time (come invece indica il DDMRP).

4. Implementazione del DDMRP

Nel presente capitolo sono inizialmente elencate le più rilevanti considerazioni qualitative di carattere generale emerse dal caso di studio applicativo riguardo l'efficacia del metodo DDMRP. Si proseguirà successivamente con la descrizione delle principali criticità a cui una generica realtà aziendale deve fare fronte durante il processo di implementazione dell'innovativa logica di pianificazione ordini.

4.1 *Takeaways del caso di studio*

Le principali considerazioni che il caso di studio ha messo in luce riguardo l'efficacia del DDMRP sono le seguenti:

- Il DDMRP è indubbiamente più efficiente nella gestione di un contesto altamente variabile; a dimostrarlo sono i sorprendenti risultati ottenuti dal confronto delle quantità presenti a magazzino dei prodotti finiti generati dalla simulazione e i livelli di scorte aziendali verificatisi. Il posizionamento dei buffer di disaccoppiamento sui prodotti finiti consente sicuramente di non permettere all'alta variabilità della domanda di propagarsi lungo tutta la supply chain. Infatti, l'andamento estremamente oscillante della Net Flow Position è osservabile solo nel caso dei prodotti finiti, che assorbono queste oscillazioni ed emettono ordini verso livelli inferiori della supply chain con frequenza più regolare. Le logiche MRP tradizionali invece, non ostacolando il propagarsi di tali oscillazioni all'interno della filiera, sono come si è detto responsabili, a causa del ricalcolo giornaliero degli ordini, di una distribuzione bimodale delle scorte. Se si fa caso ai grafici precedentemente riportati (specialmente quelli dei part number JI11, JIM11, JURAW1SX, JIM1SX, JU11) si può notare che le quantità a magazzino osservate aziendaliamente ogni fine settimana difficilmente disegnano un andamento costante, in quanto si alternano periodi di apparente overstock a periodi di ridotti livelli di magazzino. Questo aspetto è sicuramente riconducibile alla presenza di un fenomeno di distribuzione bimodale delle scorte che, come da teoria, l'applicazione della logica del tradizionale MRP comporta.

Inoltre, si è osservato in corrispondenza dei buffer associati a prodotti finiti (a più alto valore economico) una riduzione media dei livelli di stock del 40,01%, segno che il

posizionamento di tali punti di disaccoppiamento non solo ha ostacolato la propagazione dell'elevata variabilità della domanda cliente sull'intera filiera, ma ha migliorato sensibilmente la gestione delle scorte.

Questo primo aspetto emerso dal caso di studio è indubbiamente quello più importante, dal momento che la logistica aziendale è costretta a fronteggiare un contesto sempre più variabile, imprevedibile ed esigente a causa: dell'ampliamento ed eterogeneità dell'offerta conseguente al crescente livello di personalizzazione richiesto, della ridotta tolleranza del cliente sui tempi di consegna e della crescente complessità strutturale delle supply chain (specialmente nel settore automotive) e architetture del prodotto. È essenziale, al fine di ottimizzare la gestione della filiera, di non permettere a questa variabilità di compromettere l'efficienza dell'intera supply chain.

- Un metodo di pianificazione strutturato come quello dell'MRP non può apparentemente competere se non con una meticolosa e costante fase di monitoraggio da parte del personale, dal momento che si fida ciecamente di una previsione della domanda cliente ormai poco affidabile. Durante la simulazione, completamente algoritmica e priva di alcuna forma di monitoraggio e controllo, (presumibilmente operata aziendaliamente nello stesso orizzonte temporale) non si è osservata alcuna rottura di stock. Dunque, non solo il DDMRP ha ridotto globalmente i livelli di stock della filiera considerata, ma non avrebbe teoricamente avuto bisogno di alcuna azione correttiva per farlo.

È auspicabile ipotizzare che in un contesto reale, il risultato dell'applicazione delle metodologie DDMRP al caso di studio in questione avrebbe condotto a risultati ancora più soddisfacenti, per merito di azioni di monitoraggio e controllo del piano esecutivo, non prese in considerazione all'interno della simulazione. Si sarebbe potuto osservare giorno per giorno l'andamento della On-Hand Position dei buffer di disaccoppiamento e, sulla base della zona occupata da questa (Optimal Zone, High o Low Yellow Zone, High o Low Red Zone) e di informazioni aggiuntive sulla domanda cliente in possesso del personale del Customer Service, effettuare eventualmente azioni correttive.

- Per effettuare la simulazione non è stata necessaria alcuna previsione della domanda, in quanto è stata effettuata sulla base della sola domanda cliente. Su questa in un contesto reale e non prettamente algoritmico come quello della simulazione, grazie alla vicinanza e il dialogo del Customer Service con il cliente, può essere garantita una maggiore e più accurata visibilità. La previsione della domanda al contrario non è argomento di discussione con il cliente e inoltre, a prescindere dall'efficacia dell'algoritmo e del

contesto applicativo, è in ogni caso meno accurata. Fare meno affidamento sul forecast vuol dire non dedicarsi meticolosamente alla definizione di algoritmi e metodologie al fine di migliorarlo, in quanto le previsioni sulla domanda sono eventualmente utilizzate dal DDMRP in maniera indiretta al solo fine di calcolare l'ADU. Non solo dunque gli input della metodologia di pianificazione Demand Driven risultano più accurati, ma consentono di allocare in maniera più efficiente il personale verso azioni di monitoraggio e controllo del piano esecutivo.

- Il DDMRP risente pesantemente dell'influenza di MOQ (Minimum Order Quantity) sproporzionate rispetto al consumo del prodotto considerato. Infatti, dal momento che la MOQ è diretta responsabile del dimensionamento della Green Zone, un valore elevato di questa combinato ad un consumo non proporzionato del buffer è responsabile di una entità degli ordini più elevata e di una più ridotta frequenza di emissioni degli ordini. Di conseguenza, maggiore è la Green Zone e più elevata sarà la giacenza media del buffer di disaccoppiamento così come i costi di magazzino associati (si faccia riferimento per esempio a quanto spiegato nel commento del grafico di JI14 nella Sezione 3.8.1). Il ragionamento purtroppo prescinde da un'efficiente parametrizzazione preliminare dei buffer di disaccoppiamento, che in alcun modo può risolvere il problema. Infatti, la MOQ è confrontata con gli altri due metodi di calcolo della Green Zone (tramite Lead Time Factor o Imposed Order Cycle) e se maggiore è scelta per il dimensionamento a prescindere dai parametri di input.

Tale considerazione è sicuramente in linea con il principale obiettivo perseguito dal DDMRP: preservare il flusso continuo di materiali e informativo. Sono infatti sempre preferiti dalla logica ordini frequenti e di ridotta entità, specialmente se i lead time coinvolti sono estesi (Sezione 2.4.2).

- L'efficienza del DDMRP sembra risentire della presenza di lunghi periodi di lead time presenti nei livelli intermedi della filiera, oltre a quelli di fornitura fisiologicamente presenti nei livelli più bassi. Ne sono la dimostrazione i buffer di disaccoppiamento dei moduli di Juarez: essendo dimensionati sulla base del lead time di trasporto in nave sono estremamente capienti e, anche in un'ottica di ideale fase di esecuzione del DDMRP in cui l'andamento dell'On-Hand Position è sempre confinato nell'Optimal Zone, meno efficienti dei livelli di stock generati dalle logiche push tipiche dell'MRP. Inoltre, l'elevata capienza della Green Zone (conseguentemente al fatto che è anch'essa dimensionata sulla base del DLT) è responsabile dell'emissione di ordini di grande

entità, che rendono inefficiente la gestione delle scorte del buffer di JIRAW (come descritto nel commento di JIRAW e JURAW2SX all'interno della Sezione 3.8.1). La scelta di prevedere buffer tradizionali per i moduli di Jihlava utilizzati per i prodotti finiti di Juarez (JIM1SX, JIM1DX, JIM2SX, JIM2DX) è stata effettuata proprio per questo motivo: buffer di disaccoppiamento dimensionati con lo stesso consumo medio ma sulla base di un DLT di 1 o 3 giorni (invece che 30 giorni come i buffer dei moduli di Juarez) non sarebbero mai stati in grado di soddisfare gli ordini dei buffer di disaccoppiamento di Juarez.

- Come descritto approfonditamente al termine della Sezione 3.8.3, i risultati della simulazione hanno messo in luce il fatto che il DDMRP sembra penalizzare la gestione delle scorte dei nodi di divergenza (si pensi ai moduli di Juarez, JIRAW e conseguentemente BARAW) a fronte di una netta riduzione della quantità a magazzino di tutti i buffer posizionati ad un livello superiore della filiera e direttamente collegati. Infatti, visto che i buffer di disaccoppiamento dei nodi di divergenza sono dimensionati sulla base della somma dei consumi medi dei buffer ad essi collegati al livello superiore della filiera, questi hanno strutturalmente una giacenza media elevata. Dunque, anche a seguito di un'implementazione ideale del DDMRP, che fa sì che l'On-Hand Position sia esclusivamente confinata all'interno della Optimal Zone, i livelli di scorte risultano in genere superiori a quelli generati dalle logiche push dell'MRP (si vedano gli andamenti dei buffer di JURAW2SX e JIRAW, in Figura 3.15 e Figura 3.21). In generale, bisogna considerare che l'esito del trade-off è economicamente più positivo quanto minore è la dimensione e il valore economico del prodotto associato al buffer presente nel nodo di divergenza, poiché conseguentemente sono minori i costi di magazzino a questo associati.
- Il metodo DDMRP è tanto più efficiente quanto continuo è il flusso informativo e di materiali nella filiera, pertanto ogni accorgimento orientato al raggiungimento di tale obiettivo è vitale. Sviare da questa direzione significa compromettere efficacia e robustezza dell'intero metodo: il consumo di ogni buffer avviene in tempo reale, pertanto ordini di grande entità mettono gravemente a repentaglio la gestione del magazzino dell'intera filiera logistica. È di estrema importanza condividere informazioni riguardo eventi straordinari o situazioni critiche, così da poter reagire per tempo (per esempio parametrizzando opportunamente buffer di disaccoppiamento).

Per esempio, un'assunzione del caso di studio prevede la produzione completa di un ordine prima della spedizione della quantità richiesta, a prescindere dall'entità. Se fosse stato possibile prevedere una spedizione in più *tranche* dell'ordine, prima del totale completamento della produzione dell'intera quantità di prodotto, sicuramente il risultato della simulazione delle logiche DDMRP ne avrebbe giovato. Analizzando a titolo esemplificativo buffer di JIRAW e BARAW: gli ordini generati dal primo verso il secondo, comprendono la produzione dell'ECU, a partire dai componenti elettronici grezzi, e dunque la spedizione verso Jihlava. Una spedizione in più *tranche* avrebbe fatto sì che metà dell'ordine giungesse a destinazione dopo 4 giorni e metà dopo 5 giorni, invece che un ordine completo dopo 5 giorni. Si sarebbe così ridotta la quantità in transito e sarebbe aumentata la frequenza di ricevimento, riducendo in linea teorica la giacenza media del buffer e la possibilità che si verifichi uno stockout (visto che metà dell'ordine emesso sarebbe arrivato 1 giorno prima).

4.2 DDMRP Institute

Il DDMRP Institute è un istituto fondato nel 2011 da Carol Ptak e Chad Smith, gli autori del libro cardine del metodo DDMRP, ovvero *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*. La mission dell'istituto, presente sul sito [16], è:

“Advance and proliferate Demand Driven strategies and practices in the global industry community”.

Tramite società affiliate esperte nel settore (la maggior parte delle quali specializzate nell'erogazione di servizi di logistica o società di consulenza), partnership con software house specializzate in ambito operations (come per esempio SAP) e rinomati istruttori, il DDMRP Institute si occupa di affiancare le piccole e grandi realtà aziendali nel processo di transizione verso un nuovo modo di pianificare e operare.

In quanto autorità portavoce delle metodologie DDMRP, l'istituto si occupa di emettere certificazioni in materia, così da attestare la conoscenza, comprensione, padronanza, capacità applicativa e di analisi del metodo delle figure professionali in possesso. Ognuna di queste competenze è verificata da certificazioni differenti, che sono in tutto cinque:

1. Adaptive Systemic Thinking Professional (ASTP): certificazione che attesta la comprensione del metodo.
2. Demand Driven Planner Professional (DDPP): certificazione che attesta la facoltà di applicare i concetti del DDMRP e di come questo può essere applicato ad un contesto applicativo analizzato.
3. Demand Driven Leader Professional (DDPP): certificazione che attesta la capacità individuale di applicazione del Demand Driven Operating Model.
4. Adaptive Enterprise Foundations Professional (AEFP): certificazione che attesta la comprensione individuale delle differenze concettuali fra le filiere logistiche che utilizzano le tradizionali logiche dell'MPS e MRP e quelle che invece attuano il DDMRP.
5. Demand Driven Supply Chain Professional (DDSCP): certificazione che non richiede il superamento di un test, ma è attribuita in seguito della valutazione dell'istituto in merito ai traguardi professionali ed esperienze del candidato.

4.3 Testimonianze sull'efficacia del DDMRP

Sul sito del DDMRP Institute [16] sono raccolte le testimonianze delle aziende che hanno rivoluzionato il modo di pianificare implementando il DDMRP. Le realtà aziendali oggetto dei casi di studio spaziano tra un range esteso di settori: aerospaziale, automotive, Bio-Tech & Pharma, elettronico, petrolchimico, consumer goods, petrolifero e tanti altri. Di seguito sono presenti le testimonianze delle aziende più conosciute, elencando per ognuna di queste i benefici che l'implementazione del DDMRP ha generato.

- Coca Cola Beverages Africa: produttore di bottiglia della Coca Cola, l'azienda è presente maggiormente nella regione a Sud ed Est dell'Africa, responsabile del 40% della produzione di tutto il continente. Barry Anderson, Demand & Supply Planning Specialist, dichiara che l'affidabilità dei forecast ad un livello di SKU era del 60% e dunque non soddisfacente; dopo l'implementazione sono stati riscontrati riduzioni del numero di stockout, con un miglioramento della percentuale di consegne effettuate nei tempi prestabiliti dal 70% ad oltre l'80%. Anderson dichiara inoltre che l'implementazione ha permesso di dare minore peso ad una ricerca assidua del miglioramento dell'accuratezza del forecast e ha comportato una riduzione del 29% del capitale circolante.

- Protea Chemicals: è una delle più grandi società al mondo di produzione e distribuzione di sostanze chimiche appartenente all'Omnia Group. Ruben Lawrenz, Planning Manager, dichiara che l'implementazione del DDMRP qualitativamente ha permesso una migliore visibilità aziendale del processo, facilitando un utilizzo più integrato e organizzato dei dati. Quantitativamente, è stato riscontrato una riduzione del 30% sui livelli di scorte in 12 mesi di implementazione.
- NLMK: la compagnia russa è nazionalmente la più grande produttrice di acciaio a livello nazionale e la sedicesima nel mondo, con circa 12 miliardi di fatturato nel 2018. Sergey Likharev, Vice President Logistics & Board Member, dichiara di aver assistito ad una riduzione compresa fra il 29% e il 43% dei livelli di stock, dipendentemente dal prodotto e stabilimento in questione, con un conseguente risparmio di 70 milioni di dollari in un anno.
- Shell Lubricants: a fronte della più grossa implementazione del DDMRP sino ad ora registrata, il leader globale nel settore dei lubrificanti, con un programma di trasformazione durato tre anni e mezzo, è passato da un tradizionale approccio di pianificazione basato sui forecast ad una supply chain Demand Driven. Nick Lynch, Global Planning Excellence Manager, dichiara che le supply chain stanno diventando sempre più articolate a causa della: complessità ed eterogeneità dei prodotti, variabilità del mercato e difficoltà nell'effettuare previsioni della domanda cliente. A seguito dell'implementazione, il DDMRP ha migliorato sia l'efficienza del comparto produttivo che la logistica inbound della compagnia; è stata osservata inoltre una riduzione in capitale circolante e della spesa operativa (Opex).

Si sono prese in considerazione queste quattro testimonianze al fine spaziare eterogeneamente fra differenti settori; è possibile consultare sul sito del DDMRP Institute tanti altri casi di studio. Secondo la società di consulenza PwC, affiliata al DDMRP Institute che gestisce l'erogazione di corsi professionali in materia ed è attiva in prima linea nel processo di implementazione della metodologia della realtà aziendali che lo richiedono, il DDMRP comporta una riduzione dei livelli di scorte che spazia dal 15% al 30%, un miglioramento del livello di servizio e un minore costo di gestione dell'ordine [17].

4.4 Criticità nel processo di implementazione del DDMRP

Come discusso nella Sezione 4.3, la realtà dei fatti mostra che un passaggio dalle tradizionali logiche di pianificazione ad un approccio Demand Driven comporta una riduzione dei livelli di stock e conseguentemente dei costi di magazzino annessi. Tuttavia, l'implementazione del DDMRP è considerabile a tutti gli effetti un vero e proprio investimento: il beneficio economico che questo comporta deve essere rapportato all'impiego di tempo e risorse monetarie necessarie.

La completa implementazione del metodo DDMRP all'interno di un contesto aziendale, secondo PwC [17] richiede un tempo variabile fra 0,5 e 2 anni, dipendentemente dalla grandezza della compagnia considerata. Oltre naturalmente a valutare economicamente l'investimento dell'implementazione del DDMRP, bisogna tenere conto di due fattori molto rilevanti:

- L'implementazione del DDMRP comporta inevitabilmente una transizione ad un software gestionale configurato appositamente al fine di affiancare la pianificazione e l'esecuzione operativa del nuovo metodo. Ad oggi le soluzioni software più gettonate al supporto informatico delle logiche DDMRP sono Agilis, Odoo e l'introduzione di una funzionalità dedicata implementata su SAP S/HANA, la più recente versione di SAP introdotta nel 2015. Tutte e tre le soluzioni sono state analizzate dal DDMRP Institute e hanno ottenuto la certificazione di qualità e autorevolezza.

Il passaggio ad un nuovo software gestionale non solo comporta problemi in termini di gestione del dato e continuità del servizio, ma rappresenta uno scoglio non indifferente all'adattamento del personale ad una nuova soluzione tecnologica. Apprendere in maniera approfondita le funzionalità di un software gestionale (come per esempio SAP), data la complessità, è un processo che richiede del tempo. È corretto sottolineare tuttavia che si sta assistendo ad una fase di transizione delle interfacce dei software gestionali, sempre più user friendly ed intuitive.

- Rinnovare il metodo di pianificazione vuol dire necessariamente formare il personale riguardo ai principi e al funzionamento della nuova logica. Questo aspetto non è affatto banale, soprattutto se si considera che generalmente nelle realtà aziendali la pianificazione degli ordini e dei piani di produzione è affidata a risorse con un'ampia esperienza professionale in merito. Far sì che sia pienamente digerito il passaggio ad un metodo del tutto innovativo significa confrontarsi con inerzie operative ben

interiorizzate dal personale, che per anni ha fatto uso delle tradizionali logiche MRP (la cui origine risale addirittura al 1950) per la pianificazione degli ordini. Il passaggio al DDMRP è radicale e non permette vie di mezzo: non è possibile ad esempio cercare di ricondurre la scorta di sicurezza dell'MRP alla Red Zone del DDMRP, sebbene il concetto alla base sia simile.

Per queste ragioni la fase d'implementazione del DDMRP deve essere affiancata da strutturate sessioni di training del personale, che aiutino a comprendere: i motivi del passaggio ad una nuova logica di pianificazione, il metodo del DDMRP, le funzionalità del software con cui lo si implementa e le linee guida per una corretta fase di esecuzione, controllo e monitoraggio. Dal momento che il DDMRP si propone di preservare il flusso informativo, è fondamentale sensibilizzare il personale a servirsi del solo software gestionale dedicato che strutturalmente garantisce visibilità a tutta la filiera, limitando il più possibile la creazione di fogli elettronici paralleli.

Come è immaginabile, l'intero processo di implementazione del DDMRP in una realtà aziendale è esternalizzato e generalmente affidato ad una società di consulenza. Infatti, le conoscenze trasversali dei team di queste società consentono di fornire un servizio completo di: analisi del contesto aziendale e del settore di appartenenza, eventuale ridisegnamento della supply chain e posizionamento dei buffer di disaccoppiamento, parametrizzazione, training del personale e installazione del nuovo software gestionale.

5. Conclusioni

Il caso di studio applicativo e la simulazione condotta hanno messo in luce l'efficacia del metodo del DDMRP nel ridurre i costi delle scorte all'interno della filiera logistica, mediante una pianificazione degli ordini di produzione e di fornitura del tutto innovativa.

Con una riduzione media del 40,01% dei livelli di stock dei prodotti finiti considerati e del 20,03% dei costi del magazzino dell'intera filiera, il DDMRP è risultato essere più efficiente nella gestione di un contesto altamente variabile come quello del settore automotive. Infatti, il posizionamento dei buffer di disaccoppiamento associati ai prodotti finiti ha ostacolato con successo la propagazione dell'elevata variabilità caratterizzante la domanda cliente, stabilizzando il flusso dei materiali all'interno della filiera e regolarizzando la frequenza di riordino. Questo primo aspetto è sicuramente il più rilevante dal momento che la logistica, specialmente nel settore automotive, è chiamata a far fronte ad un contesto sempre più imprevedibile e critico a causa della crescente complessità strutturale della supply chain e architetture del prodotto, dell'incrementale livello di personalizzazione dell'offerta e della riduzione della tolleranza del cliente sui tempi di consegna.

Volendo analizzare più nel dettaglio i contributi che hanno condotto ad un risparmio del 20,03% sui costi di magazzino, si nota che il DDMRP, rispetto ai livelli di stock osservati relativi all'applicazione dell'MRP, tende strutturalmente ad incrementare i livelli di scorte dei nodi di divergenza della supply chain al fine di ridurre quelli relativi ai prodotti ad essi collegati e appartenenti al livello superiore della filiera. Bisogna pertanto valutare caso per caso se tale trade-off è economicamente conveniente, tenendo in considerazione che ai punti di divergenza, dal momento che sono posizionati in un livello inferiore della filiera, sono associati prodotti dal minore valore economico e con costi di magazzino conseguentemente inferiori. Il beneficio ottenuto è dunque tanto maggiore quanto minore è la dimensione e il valore economico del prodotto associato al buffer presente nel punto di divergenza.

Per effettuare la simulazione non è stato necessario effettuare alcuna previsione della domanda, ma si è fatto affidamento sui soli ordini di vendita del cliente. Questo è sicuramente un punto di forza del DDMRP rispetto al tradizionale MRP, dal momento che in un contesto incerto ed imprevedibile come quello odierno l'accuratezza dei forecast della domanda è inevitabilmente ridotta. Se infatti l'MRP si serve direttamente della previsione della domanda per effettuare

l'esplosione degli ordini sulla Bill of Materials, il DDMRP utilizza eventualmente la stessa in maniera indiretta al fine di dimensionare la capienza dei buffer di disaccoppiamento.

È emerso dal caso di studio che le logiche DDMRP risultano essere tanto più efficienti quanto più continuo è il flusso dei materiali nella filiera, in linea con i principi alla base del metodo. Lo dimostrano gli andamenti dei buffer di disaccoppiamento in cui il vincolo sulla minima quantità ordinabile è sproporzionato rispetto al consumo medio; questo aspetto fa sì che la frequenza di riordino sia ridotta e l'entità dell'ordine troppo elevata, con una conseguente gestione delle scorte meno efficace.

L'efficienza del DDMRP sembra risentire della presenza di lunghi periodi di lead time presenti nei livelli intermedi della filiera. Dal momento che il dimensionamento dei buffer di disaccoppiamento dipende dal DLT, anche in un'ottica di ideale fase di implementazione ed esecuzione del DDMRP in cui l'andamento delle scorte a magazzino è sempre confinato all'interno di una zona ottimale, le scorte generate dalle logiche DDMRP risultano in genere essere più elevate di quelle derivanti dall'applicazione dell'MRP tradizionale.

A valle di queste considerazioni, il riscontro dell'applicazione delle logiche DDMRP all'interno di una filiera logistica è risultato positivo. A provare l'efficacia del metodo, oltre al presente lavoro di tesi, vi sono le numerose testimonianze fornite da figure professionali esperte e appartenenti a settori eterogenei, che hanno preso parte in prima persona al processo di implementazione delle logiche DDMRP. Tali testimonianze sono presenti sul sito del DDMRP Institute [16], che si occupa di affiancare le piccole e grandi realtà aziendali nel processo di transizione verso un nuovo modo di pianificare e operare, con l'ausilio di società affiliate, istruttori certificati e partnership con software house operanti nell'ambito delle operations. Secondo queste testimonianze, l'implementazione del DDMRP comporta una riduzione del livello di scorte che varia 20% al 30% a seconda del settore, con una conseguente riduzione del capitale circolante operativo.

Il passaggio alle logiche di pianificazione del DDMRP è tuttavia da considerare come un vero e proprio investimento: il beneficio economico che questo comporta, dovuto alla riduzione dei costi di magazzino, deve essere rapportato all'impiego di risorse monetarie necessarie e al tempo richiesto per completare la transizione. Oltre alla naturale valutazione economica, bisogna considerare che l'implementazione del DDMRP implica inevitabilmente il passaggio ad un software gestionale configurato appositamente, o eventualmente l'aggiunta di un modulo a quello utilizzato, al fine di affiancare la pianificazione e l'esecuzione operativa del metodo. Questo non solo comporta problemi in termini di gestione del dato e continuità del servizio, ma

rappresenta uno scoglio non indifferente all'adattamento del personale ad una nuova soluzione tecnologica. Inoltre, rinnovare il metodo di pianificare vuol dire necessariamente formare il personale riguardo ai principi e al funzionamento della nuova logica. Far sì che sia pienamente interiorizzato il passaggio ad un metodo del tutto innovativo significa confrontarsi con inerzie operative ben radicate nel personale, che per anni ha fatto uso del tradizionale MRP per la pianificazione degli ordini. Per entrambe le ragioni la fase d'implementazione del DDMRP deve essere affiancata da strutturate sessioni di training del personale.

Referenze

- [1] Magneti Marelli, «magnetimarelli.com,» [Online]. Available: <https://www.magnetimarelli.com/it/azienda>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [2] Automotive Lighting, «al-lighting.com,» [Online]. Available: <https://www.al-lighting.com/company/history/>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [3] A. Bhutani e P. Bhardwaj, *Automotive Lighting Market Size By Technology (LED, Halogen, Xenon), By Vehicle Type (Passenger Cars, Commercial Vehicles, Two-wheelers), By Application (Interior Lighting, Side Lighting, Rear Lighting, Front Lighting/Headlamps), Industry Analysis Report,*, 2018.
- [4] M. Saglietto, «L'industria mondiale nel 2018 e trend 2019,» ANFIA, 2019.
- [5] F. Kuhnert, R. Parkin, S. Akshay, R. Wilk e A. Higashi, «Automotive Trends 2019,» PricewaterhouseCoopers, 2019.
- [6] APICS, *APICS Dictionary*, Chicago: APICS, 2013.
- [7] J. Orlicky, *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, New York: McGraw-Hill , 1975.
- [8] P. Durlinger, «durlinger.nl,» Marzo 2011. [Online]. Available: <http://www.durlinger.nl/files/artikelen/Sales-and-operations-planning-june-2016.pdf>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [9] W. Hopp e S. Mark, «Commissioned Paper To Pull or Not to Pull: What Is the Question?,» *Manufacturing & Service Operations Management*, 2004.
- [10] SAP, «sap.com,» [Online]. Available: <https://www.sap.com/corporate/en/company.html>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [11] J. Olshan, «Market Watch,» *Wall Street Journal*, 20 Aprile 2013.
- [12] C. Smith e D. Smith, *Demand Driven Performance: Using Smart Metrics*, New York: McGraw-Hill , 2013.
- [13] C. Ptak e C. Smith, *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)*, South Norwalk: Industrial Press, 2018.
- [14] J. Womack e D. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, New York: Simon & Shuster, 1996.

- [15] J. Kehler, «scmconnection.com,» [Online]. Available: <https://scmconnections.com/intro-ddmrp-sap-ibp-right/>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [16] DDMPR Institute, «demanddriveninstitute.com,» [Online]. Available: <https://www.demanddriveninstitute.com/about-us>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].
- [17] PricewaterhouseCoopers, «pwc.com,» [Online]. Available: <https://www.pwc.com/it/it/services/consulting/ddmrp.html>. [Consultato il giorno 28 Novembre 2019].

Indice delle figure

Figura 1.1: Propagazione bidirezionale dell'effetto bullwhip.	13
Figura 1.2: Impatto del bullwhip effect sui differenti livelli della filiera logistica.	14
Figura 1.3: Distribuzione bimodale delle scorte.	14
Figura 2.1: Propagazione del bullwhip effect con e senza buffer di disaccoppiamento.	21
Figura 2.2: Confronto logiche MRP, Lean e DDMRP.	22
Figura 2.3: Esempio del calcolo del DLT.	23
Figura 2.4: Funzione svolta da ogni zona del buffer di disaccoppiamento.	27
Figura 2.5: Principio alla base dell'emissione di un ordine nella logica DDMRP.	37
Figura 2.6: Differenza nella propagazione degli ordini tra le logiche MRP e DDMRP.	39
Figura 2.7: Esempio dell'andamento delle scorte nella logica DDMRP.	40
Figura 2.8: Zone del buffer di disaccoppiamento nella fase di Execution.	42
Figura 3.1: Componenti del modulo del faro.	47
Figura 3.2: Supply chain del caso di studio.	50
Figura 3.3: Supply chain del caso di studio con i buffer di disaccoppiamento.	56
Figura 3.4: Foglio "ADUs".	84
Figura 3.5: Foglio "Qualified Demand".	85
Figura 3.6: Foglio "Consumption".	86
Figura 3.7: Sezione degli input.	88
Figura 3.8: Foglio "Simulation".	100
Figura 3.9: Grafici di JI11.	105
Figura 3.10: Grafico di JIM11.	106
Figura 3.11: Grafici di JI14.	107
Figura 3.12: Grafici di JI23.	108
Figura 3.13: Grafici di JURAW1SX.	108
Figura 3.14: Grafico di JIM1SX.	109
Figura 3.15: Grafici di JURAW2SX.	110
Figura 3.16: Grafico di JIM2SX.	110
Figura 3.17: Grafici di JU11.	111
Figura 3.18: Grafici di JU13.	112
Figura 3.19: Grafici di JU22.	113
	139

Figura 3.20: Grafici di JU34.	114
Figura 3.21: Grafici di JIRAW.	115
Figura 3.22: Grafico di BARAW.	116

Indice delle tabelle

Tabella 2.1: Lead Time Category e Lead Time Factor in relazione al tipo di prodotto e all'entità del lead time.	28
Tabella 2.2: Variability Category e Variability Factor.	30
Tabella 2.3: Esempio di un tipico display della fase di Planning.	38
Tabella 3.1: Matrice della domanda cliente con time bucket settimanali.	57
Tabella 3.2: Matrice della domanda cliente con time bucket giornalieri.	58
Tabella 3.3: Part Type dei part number del caso di studio.	60
Tabella 3.4: Location dei part number del caso di studio.	60
Tabella 3.5: Lead time dei part number del caso di studio.	62
Tabella 3.6: DLT dei buffer di disaccoppiamento del caso di studio.	63
Tabella 3.7: Lead Time Category e Lead Time Factor di riferimento del caso di studio.	65
Tabella 3.8: Lead Time Category e Lead Time Factor dei part number del caso di studio.	66
Tabella 3.9: Variability Category e Variability Factor di riferimento del caso di studio.	68
Tabella 3.10: Variability Category e Variability Factor dei part number del caso di studio.	70
Tabella 3.11: Possibili configurazioni dei bufer di disaccoppiamento nel caso di studio.	70
Tabella 3.12: Spike Horizon dei part number del caso di studio.	73
Tabella 3.13: Order Spike Threshold dei part number del caso di studio.	74
Tabella 3.14: Pieces/pallet dei part number del caso di studio.	79
Tabella 3.15: Collegamenti fra i buffer di disaccoppiamento del caso di studio.	87
Tabella 3.16: Collegamenti fra buffer tradizionali e buffer di disaccoppiamento del caso di studio.	87
Tabella 3.17: Analisi comparativa dei livelli di stock e indici dei buffer di ogni part number del caso di studio.	118
Tabella 3.18: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP su tutta la filiera del caso di studio.	120
Tabella 3.19: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP su tutta la filiera del caso di studio, escludendo i buffer per cui non è stato possibile operare un equo confronto.	120
Tabella 3.20: Risparmio sui costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP sui soli buffer in cui queste hanno determinato una riduzione dei livelli di scorte.	121

Tabella 3.21: Aumento dei costi di magazzino generato dall'applicazione delle logiche DDMRP sui soli buffer in cui queste hanno avuto un impatto negativo sui livelli di scorte. 121