

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria dei Sistemi

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Gestionale



Confronto tramite simulazione di diverse politiche gestionali - information sharing e lean production - per controllare l'effetto bullwhip al variare della domanda in ingresso

Relatore: Prof. Alberto PORTIOLI STAUDACHER

Relatore: Prof. Maurizio SCHENONE

Correlatore: Ing. Marco TANTARDINI

Tesi di Laurea di

Francesco **PASINI**

Matr. 736772

Anno Accademico 2009-2010

Indice

Indice delle figure	6
Indice delle tabelle	7
Abstract	8

PARTE I: ANALISI DELLA LETTERATURA 11

CAPITOLO 1: Gestione della Supply Chain	12
1.1 Definizione di Supply Chain	13
1.1 Principali problemi nella gestione di una supply chain	14
1.2.1 Impatto dei metodi di previsione della domanda sull'effetto Bullwhip	26
CAPITOLO 2: L'effetto Bullwhip	17
2.1 Analisi della letteratura	20
2.2 Cause dell'effetto Bullwhip	23
2.3 Strumenti per attenuare l'effetto Bullwhip	27
2.4 Indicatori per misurare l'effetto Bullwhip	33
2.5 Variabili su cui impatta l'effetto Bullwhip	36
2.6 L'effetto Bullwhip nelle catene di servizio	36
2.7 Classificazione della letteratura	39
CAPITOLO 3: Applicazione dell'Information Sharing ad una Supply Chain	41
3.1 Variabili che caratterizzano lo scambio di informazioni	43
3.1.1 Tipologia di informazioni scambiate	43
3.1.2 Architettura e flussi informativi	43
3.2 Come vengono usate le informazioni condivise	45
3.2.1 Aree di impatto dell'IS	45
3.2.2 I drivers che influenzano maggiormente sulle prestazioni dell'IS	47
3.3 Modelli di confronto e valutazione di diverse politiche di IS	48
3.3.1 Review della letteratura	49
3.3.1.1 VMI, QR, cross docking, Periodic Flexibility (PF)	54
3.3.2 Quantificazione dei benefici	54
3.3.3 La distorsione delle informazioni (quale attore all'interno della SC beneficia maggiormente dello scambio informativo)	58
3.4 Come realizzare l'IS lungo la supply chain – Best practices	59

CAPITOLO 4: Strategie di gestione della Supply Chain: definizione dei termini	62
4.1 Strategie di gestione della Supply Chain: Lean vs. Agile	63
4.2 Quali sono le problematiche che emergono in una supply chain multi-azienda rispetto ad una supply chain dove luogo di produzione e azienda coincidono	68
CAPITOLO 5: Lean Supply Chain	70
5.1 Definizione di Lean Supply Chain	71
5.2 Metriche di quantificazione dei benefici	74
5.3 Strumenti operativi della lean	75
5.3.1 Il modello Kimura-Terada	75
5.4 Case study: visita allo stabilimento Bosch	77
CAPITOLO 6: Confronto tra i due modelli: lean ed information sharing	81
6.1 Confronto tra IS e Lean	82

PARTE II: OBIETTIVI DEL LAVORO E COSTRUZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

86

CAPITOLO 7: Obiettivi del lavoro di tesi	87
CAPITOLO 8: Struttura del lavoro di tesi	90
8.1 Riassunto della letteratura	91
8.2 Problematiche emerse dall'analisi della letteratura	93
8.2.1 Distinzione tra lean ed agile nella gestione di una Supply Chain	93
8.2.2 Lo scambio di informazioni in una Lean Supply Chain	93
8.2.3 Costruzione di un modello di Supply Chain	94
8.3 Struttura del lavoro	96
CAPITOLO 9: Modellizzazione della Supply Chain	97
9.1 Definizione della metodologia seguita: uso di simulazioni	98
9.1.1 Scelta del metodo di simulazione	98
9.1.2 Elementi fondamentali nella costruzione di una generica simulazione	99
9.2 Formulazione di un modello di simulazione per una supply chain	100
9.2.1 Politiche di gestione delle scorte	101
9.2.2 Politiche di gestione delle code e rilascio degli ordini	103
9.2.3 Funzione di domanda	103

9.3	Descrizione del sistema scelto	106
9.3.1	Algoritmi di gestione della supply chain	111
9.3.2	Indicatori di misura	113
9.3.3	Durata della simulazione e periodo di transitorio	114
CAPITOLO 10:	Piano delle simulazioni	116
10.1	Scenario base	118
10.1.1	Inventory Model	118
10.1.2	– Inventory Model (Aggiornamento)	119
10.1.3	Linkag e Model	119
10.1.4	Demand Model	119
10.2	Information Sharing	120
10.2.1	Inventory Model (Target Stock, Reorder Level)	120
10.2.2	Inventory Model (Aggiornamento)	122
10.3	Lean Supply Chain	122
10.4	Piano dettagliato delle simulazioni svolte	125
PARTE III:	SIMULAZIONI CON ARENA	126
<hr/>		
CAPITOLO 11:	Design Model with Arena 12.0	127
11.1	Descrizione generale del modello	128
11.2	Descrizione del modello di gestione della domanda esterna (sub-modello1)	130
11.3	Descrizione del modello di gestione dei materiali e prodotti finiti (sub-modello 2)	130
11.4	Descrizione del modello di gestione degli ordini (sub-modello 3)	132
11.5	Descrizione del modello di settaggio dei parametri in Input (sub-modello 4)	134
11.6	Descrizione del modello gestione dei trasporti (sub-modello 5)	134
11.7	Descrizione del modello di gestione dello slot di capacità condivisa nel caso Lean	135
11.8	Settaggio generale dell'ambiente di simulazione	136
11.9	Variabili di input al sistema	137
11.10	Settaggio iniziale del sistema	137
11.11	Descrizione del modulo STATISTICS	141
CAPITOLO 12:	Analisi dei risultati	142
12.1	Confronto: Caso Base – Information Sharing - Lean	143
12.1.1	Stato delle scorte	143
12.1.2	Evoluzione degli ordini lungo la supply chain	144
12.1.3	Saturazione delle risorse produttive	147
12.1.4	Valutazione del livello di servizio della supply chain	148

12.1.5 WIP del sistema	150
12.2 Relazione tra politica gestionale (Informazion Sharing e Lean) e variabilità della domanda finale	153
12.3 Analisi della relazione tra tipologia ed intensità degli interventi lean ed effetto bullwhip	156
12.3.1 Intensità degli interventi lean	158
12.3.1 Tipologia degli interventi lean	156
CAPITOLO 13: Conclusioni	160

APPENDICE 1

Guida al modello con Arena 12.0	163
A1.1 Ciclo logistico	164
A1.2 Ciclo di trasporto	169
A1.3 Ciclo di gestione della domanda finale	171
A1.4 Ciclo di gestione degli ordini	173
A1.5 Ciclo di controllo delle scorte	176
Bibliografia	177

Indice delle figure

Figura 1: Principali problemi nella gestione di una supply chain	18
Figura 2: The Bullwhip effect in a tradition retail supply chain – Towill and McCullen [61].....	22
Figura 3: Rappresentazione grafica effetto Bullwhip – immagine tratta da Jones [44]	23
Figura 4: Kimura, Terada. Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control – International Journal Production Research 1981, vol. 19 n. 3, pp. 241-253.....	81
Figura 5: Rappresentazione dei prodotti nella supply chain.....	111
Figura 6: Distinte base dei prodotti della supply chain.....	111
Figura 7: Flusso logico di gestione della supply chain	112
Figura 8: Struttura generale della supply chain modellizzata	113
Figura 9: Scomposizione della supply chain in moduli elementari.....	114
Figura 10: Scomposizione dell’Order Lead Time	115
Figura 11: Inventory Model.....	116
Figura 12: Production Model.....	117
Figura 13: Throughput time del prodotto Type 1.....	119
Figura 14: Inventory Model nello scenario base	122
Figura 15: Linkage Model nello scenario base	123
Figura 16: Demand Model nello scenario base	124
Figura 17: Inventory Model nello scenario con Information Sharing	125
Figura 18: Demand Model nello scenario con Information Sharing.....	125
Figura 19: Inventory Model nello scenario Lean	128
Figura 20: Struttura complessiva del modello con Arena 12.0	133
Figura 21: Modulo Arena di gestione della domanda esterna.....	134
Figura 22: Modulo Arena di gestione della Factory1.....	135
Figura 23: Modulo Arena di gestione degli ordini all’input buffer Factory2.....	136
Figura 24: Modulo Arena di gestione della domanda finale	137
Figura 25: Modulo Arena di gestione dei trasporti	138
Figura 26: Modulo Arena di gestione dello slot di capacità alla Factory	139
Figura 27: Modulo Schedule in Arena.....	140
Figura 28: Parametri di gestione della supply chain nel caso base e nell’Information Sharing	142
Figura 29: Parametri di gestione della supply chain nel caso lean	143
Figura 30: Modulo Statistics in Arena	145
Figura 31: Deviazione standard delle scorte nei magazzini della supply chain.....	148
Figura 32: Deviazione standard della dimensione dei lotti di riordino lungo la supply chain nel caso base e nell’IS.....	149
Figura 33: Media del tempo medio fra due arrivi in ogni stadio della supply chain	150
Figura 34: Saturazione delle risorse in percentuale sul tempo disponibile	151
Figura 35: Saturazione delle risorse in ore di tempo occupato.....	152
Figura 36: Frequenze di stock out nei tre scenari.....	153
Figura 37: Mean Conditional Tardiness nello stadio finale della supply chain	153

Figura 38: Distribuzione del WIP del sistema nei tre scenari	155
Figura 39: Funzioni di domanda del prodotto Type 1.....	157
Figura 40: Evoluzione della frequenza di stock-out.....	158
Figura 41: Mean Conditional Tardiness al variare della domanda	158
Figura 42: Tempo medio di evasione di un ordine lungo la supply chain	159
Figura 43: Valutazione effetto Bullwhip nello scenario con domanda D4 (indicatore usato: deviazione standard delle scorte nei magazzini)	159
Figura 44: Valore medio e deviazione standard negli scenari ottenuti dal break-down del lean	160
Figura 45: Deviazione standard delle scorte nei magazzini in caso base, lean e lean solo lotti.....	161
Figura 46: Deviazione standard delle scorte nei magazzini	162

Indice delle tabelle

Tabella 1: Indici effetto Bullwhip nell'industry americana	20
Tabella 2: Cliché Effetto Bullwhip presenti in letteratura	20
Tabella 3: Classificazione metodi per ridurre l'effetto Bullwhip	34
Tabella 4: Ipotesi alla base dei modelli per confrontare diversi scenari nella riduzione dell'effetto Bullwhip	36
Tabella 5: Cause e metodi di risoluzione dell'effetto Bullwhip nelle catene di servizi	41
Tabella 6: Classificazione letteratura Effetto Bullwhip	44
Tabella 7: Scenari di confronto per lo studio dell'Information Sharing	53
Tabella 8: Confronto tra modelli che usano l'Information Sharing nella gestione di una supply chain	56
Tabella 9: Confronto tra le ipotesi alla base dei principali modelli nello studio dell'IS	57
Tabella 10: Principali informazioni e struttura delle supply chain usate nei modelli di confronto dell'IS.....	61
Tabella 11: Indicatori di servizio per la valutazione della bontà di una politica di IS	62
Tabella 12: Distinzione tra prodotti funzionali e prodotti innovativi	67
Tabella 13: Classificazione Agile e Lean Supply Chain in funzione di Market Winners e Market Qualifiers....	69
Tabella 14: Elementi caratteristici di Lean ed Agile	69
Tabella 15: Ambiti di applicazione di Lean ed Agile.....	71
Tabella 16: Interrogativi di ricerca per implementare la Lean	78
Tabella 17: Metriche di valutazione di una Lean Supply Chain	79
Tabella 18: Cachon e Fisher – Confronto di due politiche per la gestione di una supply chain	86
Tabella 19: Cause e variabili rilevanti dell'effetto Bullwhip	95
Tabella 20: Informazioni condivise all'interno di una supply chain.....	96
Tabella 21: Funzione di domanda in input alla simulazione	109
Tabella 22: Ipotesi di costruzione della supply chain	110
Tabella 23: Valori medi della funzione di domanda presso il Retailer.....	115
Tabella 24: Piano delle simulazioni.....	129
Tabella 25: Lista delle variabili da settare all'inizio della simulazione.....	141
Tabella 26: Raggruppamento delle statistiche usate	145
Tabella 27: Valori medi delle scorte nei magazzini della supply chain	147
Tabella 28: Dimensione media degli ordini lungo la supply chain nei tre scenari.....	148
Tabella 29: Media e deviazione standard dei tempi di arrivo di due ordini successivi in ogni stadio della supply chain.....	150
Tabella 30: Frequenze di stock out nei tre scenari	152
Tabella 31: Tempo medio di evasione di un ordine lungo la supply chain	154
Tabella 32: WIP del sistema e sua scomposizione.....	155
Tabella 33: Funzioni di domanda.....	157
Tabella 34: Frequenza di stock out nei diversi scenari con domanda variabile	158
Tabella 35: Mean COnditional Tardiness al variare della domanda	158
Tabella 36: Tempo medio (in ore) di risposta ad un ordine (valutato su tutta la supply chain)	159
Tabella 37: Media e deviazione standard del WIP totale del sistema nei vari break-down del lean	160

Tabella 38: Deviazione standard delle code alle risorse produttive.....	161
Tabella 39: Scenari simulati nel confronto tra scenari con diverse intensità di lean	162
Tabella 40: Indici aggregati break-down lean	163

Abstract

La necessità di rispondere in modo sempre più veloce alle richieste del cliente con prodotti personalizzati, ha obbligato molte organizzazioni a dover interagire sempre più frequentemente con i propri fornitori. Si sono formate in questo modo più o meno lunghe supply chain che partono dal fornitore di materie prime e terminano dal cliente finale. In presenza di una domanda di prodotti costante, ogni attore della supply chain definisce in modo deterministico i parametri di gestione della produzione e dei magazzini. La realtà mostra, però, che anche in presenza di una piccola variabilità nella domanda finale, gli stadi a monte della supply chain ricevono degli ordini con una variabilità notevolmente amplificata. Questo fenomeno, riconosciuto per la prima volta da Forrester nel 1961, prende il nome di Effetto Bullwhip.

L'effetto Bullwhip si rende manifesto dalla presenza di scorte fortemente oscillanti, dalla presenza di periodi di stock-out e dalla forte alternanza di periodi di intensa produzione con periodi di assenza di ordini. Le cause principali di questo fenomeno sono da ricercarsi principalmente in quattro fattori: le tecniche di previsione di domanda utilizzate in ogni stadio della supply chain, la presenza di meccanismi di razionamento che spingono i vari attori ad ordinare una quantità maggiore di quella necessaria, la presenza di lottizzazioni di produzione e di trasporto, e la fluttuazione del costo dei materiali che può indurre un attore della supply chain a procurarsi ingenti quantità di scorte speculative.

La tecnica gestionale più utilizzata per ridurre l'effetto Bullwhip consiste nella condivisione dei dati della domanda finale, ed in secondo luogo, dello stato delle scorte e dei piani di produzione, a tutti gli attori della supply chain. La condivisione di informazioni permette, infatti, a tutti gli stadi (anche quelli più a monte) di definire i propri piani di produzione in funzione della domanda finale del cliente e non della domanda che essi vedono e che risulta distorta a causa dell'effetto Bullwhip.

È ampiamente riconosciuto che la condivisione di informazioni (information sharing) porta una riduzione tra il 4% ed il 15% dei costi totali di una supply chain, considerando i costi di mantenimento a scorta ed i costi associati alla presenza di stockout per tutti gli stadi della supply chain. La condivisione di informazioni richiede, però, un forte investimento iniziale al fine di standardizzare le informazioni all'interno di tutta la supply chain ed un impegno costante e

quotidiano per condividere tali dati. Risulta evidente che l'information sharing richiede la collaborazione di tutti gli stadi della supply chain e la loro disponibilità a condividere i propri piani di produzione e di vendita in modo che i rispettivi clienti si possano programmare in seguito a tali informazioni.

Il grande successo riscontrato negli ultimi anni dalle tecniche di Lean Production ha suggerito di implementare tali tecniche per ridurre l'effetto Bullwhip evitando la condivisione di informazioni tra i vari stadi della supply chain.

Nel presente elaborato si propone un modello di simulazione di una generica supply chain multi-stadio e multi-prodotto per confrontare una tradizionale politica di information sharing con una politica di tipo lean. Le tecniche lean implementate fanno capo a tre macro categorie: creazione di slot di capacità dedicata per gli stadi che condividono le risorse produttive con prodotti esterni alla supply chain in esame, possibilità di caricare su una stessa risorsa di trasporto prodotti diversi e garantire al cliente una frequenza di consegne maggiore, e una riduzione del 30% dei lotti di produzione con conseguente riduzione del 10% dei tempi di setup delle risorse produttive.

Attraverso l'analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni si è osservato in quale modo i diversi sistemi (lean ed information sharing) reagiscono all'aumentare della variabilità della domanda finale. Si forniscono quindi delle indicazioni riguardo all'entità ed alla tipologia degli interventi Lean da attuare al fine di abbattere l'effetto Bullwhip. Emerge una superiorità delle tecniche Lean che a parità di servizio finale per il cliente (misurato in frequenza di stock-out e Mean Conditional Tardiness) e con una quantità di WIP nel sistema inferiore del 20% rispetto all'utilizzo di Information Sharing, riducono in modo ingente l'effetto Bullwhip, misurato sia come varianza delle scorte nel tempo in tutti i magazzini della supply chain sia come varianza della quantità ordinata e del tempo intercorrente tra due ordini successivi in uno stesso stadio della supply chain.

L'aumento della variabilità della domanda finale mostra un lieve peggioramento delle performance nella supply chain gestita con Information Sharing, mentre comporta un forte peggioramento della supply chain gestita con tecniche lean.

L'uso di tecniche di tipo Lean risulta quindi migliore rispetto alla classica condivisione di informazioni, anche se un forte aumento della variabilità della domanda finale porta un sostanziale peggioramento di tali tecniche tanto da far preferire in queste condizioni l'uso di Information Sharing.

Abstract

Today, customers want to be served in real time without long waiting times and with personalized products. Organizations to be ready to this new challenge are forced to interact with their suppliers in order to avoid stock out periods in their input buffers.

Indeed, we observe in several industries the formation of long supply chains from the final customer to the raw material manufacturers. Each actor of the supply chain defines each own production plans in relation to the demand it sees from its customer. By observing data of the real world we found out that if the final demand has a small variability, actors close to the suppliers receive a demand with a bigger variability. This effect, studied by Forrester in 1961, is known in literature as bullwhip effect.

The bullwhip effect causes a great variability in the stocks of different actors present in the supply chain and it creates periods of over-production and period of stock-out. Principal causes of this phenomenon are: forecasting methods used by actors in the supply chain, shortage games that bring people to make an order bigger than requested, presence of lots, and fluctuations in the cost of materials.

The best technique used to reduce the bullwhip effect is the information sharing, that means that each state of the supply chain defines its production plans in relation to the demand of the final customer. The information sharing allows suppliers to see the real demand without distortions.

The information sharing brings economic advantages from 4% to 15% in the on-going costs of the supply chain (cost of stock out and cost of inventory), but it requires a big starting investment in order to standardize information and processes along the supply chain. It also forces different actors to share every data about inventory positions, production plans and marketing initiatives that can change the demand profile.

The huge success of lean techniques suggests us to use these tools to reduce the bullwhip effect by avoiding the use of the information sharing.

In this paper I elaborated a supply chain simulation model with Arena 12.0 to compare a traditional information sharing policy with a supply chain managed with lean tools. Different lean techniques used can be divided into three groups: the creation of a dedicated production slot in factories, the introduction of fixed sized lots and the possibility to use milk runs in the deliveries from one state to the next one.

I observed how different systems react to a different input demands. I also analysed which lean tool has the best effect on reducing the bullwhip effect.

Final data show that Lean techniques are better than information sharing regarding the bullwhip metrics. Lean tools are also able to serve the customers with a higher service level (measuring the Mean Conditional Tardiness and the Stock-out frequency for each state of the supply chain) with a lower level of the total WIP (less of about 20% than the Information Sharing).

At the end, I tested different scenarios with a higher variability of final demand and I showed that lean performance decrease in comparison to the information sharing model that is more stable and robust to demand variabilities.

PARTE I:
ANALISI DELLA LETTERATURA

CAPITOLO 1

Gestione della Supply Chain

La necessità di rispondere in modo sempre più veloce alle richieste del cliente con prodotti personalizzati, ha obbligato molte organizzazioni a dover interagire sempre più frequentemente con i propri fornitori. Si sono formate in questo modo più o meno lunghe supply chain che partono dal fornitore di materie prime e terminano dal cliente finale. In presenza di una domanda di prodotti costante, ogni attore della supply chain definisce in modo deterministico i parametri di gestione della produzione e dei magazzini. La realtà mostra, però, che anche in presenza di una piccola variabilità nella domanda finale, gli stadi a monte della supply chain ricevono degli ordini con una variabilità notevolmente amplificata. Questo fenomeno, riconosciuto per la prima volta da Forrester nel 1961, prende il nome di Effetto Bullwhip. La risoluzione di questo fenomeno non si attua attraverso una ottimizzazione locale dei diversi stadi che compongono la supply chain, ma richiede l'adozione di interventi e politiche globali.

1.1 Definizione di Supply Chain

Il Global Supply Chain Forum (GSCF) ha definito il Supply Chain Management come «the integration of key business processes from end user through original suppliers that provides products, services, and information that add value for customers and other stakeholders»[50].

Da questa definizione, come da altre equivalenti che si trovano in letteratura, possono essere estrapolati alcuni elementi caratterizzanti questa disciplina:

1. Il focus del supply chain management è l'ambiente esterno ad una singola organizzazione: vengono analizzati clienti, fornitori ed altri attori che interagiscono direttamente con l'organizzazione oggetto di analisi.
2. L'analisi non riguarda solo il flusso fisico relativo alla produzione ed alla logistica o il flusso informativo ma anche altre attività quali ricerca e sviluppo o marketing.
3. La creazione di una supply chain implica la creazione di rapporti di partnership con fornitori e clienti.

Segue pertanto che una supply chain è l'insieme di attori, processi e flussi che portano un prodotto o un servizio al cliente finale. Poichè molto spesso la supply chain è composta da organizzazioni diverse, i vari attori sono spinti a sviluppare delle partnership o accordi operativi per soddisfare meglio i bisogni del cliente finale. Nel complesso emerge quindi il fatto che la supply chain non deve essere vista come una pura lista di attori tra loro collegati da flussi di materiali e flussi informativi. La definizione di una supply chain richiede la definizione di strette relazioni tra gli attori coinvolti.

La condivisione di informazioni lungo la supply chain non è quindi un obiettivo, ma piuttosto un presupposto per il buon funzionamento delle relazioni che si instaurano. Oggi, quindi, con il termine "studiare una supply chain" non ci si riferisce ad uno studio di processi isolati (come avveniva qualche tempo fa), ma piuttosto ci si riferisce allo studio di processi che attraversano tutta la supply chain. L'adozione di una politica di Supply Chain Management significa quindi costruire una rete logistica tra vari attori che condividono gli stessi obiettivi e scambiano tra di loro in modo continuativo informazioni come la domanda, lo stato del processo, senza per questo perdere autonomia [83].

Nel presente lavoro, il termine supply chain assumerà un significato più vasto. Per **supply chain** si fa riferimento ad un **insieme di stadi fra loro disaccoppiati da scorte**. Con questa definizione sono considerati come due attori diversi di una supply chain sia due celle di produzione ubicate nello stesso stabilimento, sia due business units facenti capo a due organizzazioni giuridicamente separate.

1.1 Principali problemi nella gestione di una supply chain

L'ottimizzazione di una supply chain richiede lo studio di problemi diversi rispetto all'ottimizzazione di singole unità.

In un articolo apparso sulla rivista Business Week del 2007 [When to go lean – www.industryweek.com, May 2007], vengono riportati i principali **obiettivi** perseguiti dai managers nella conduzione di una supply chain:

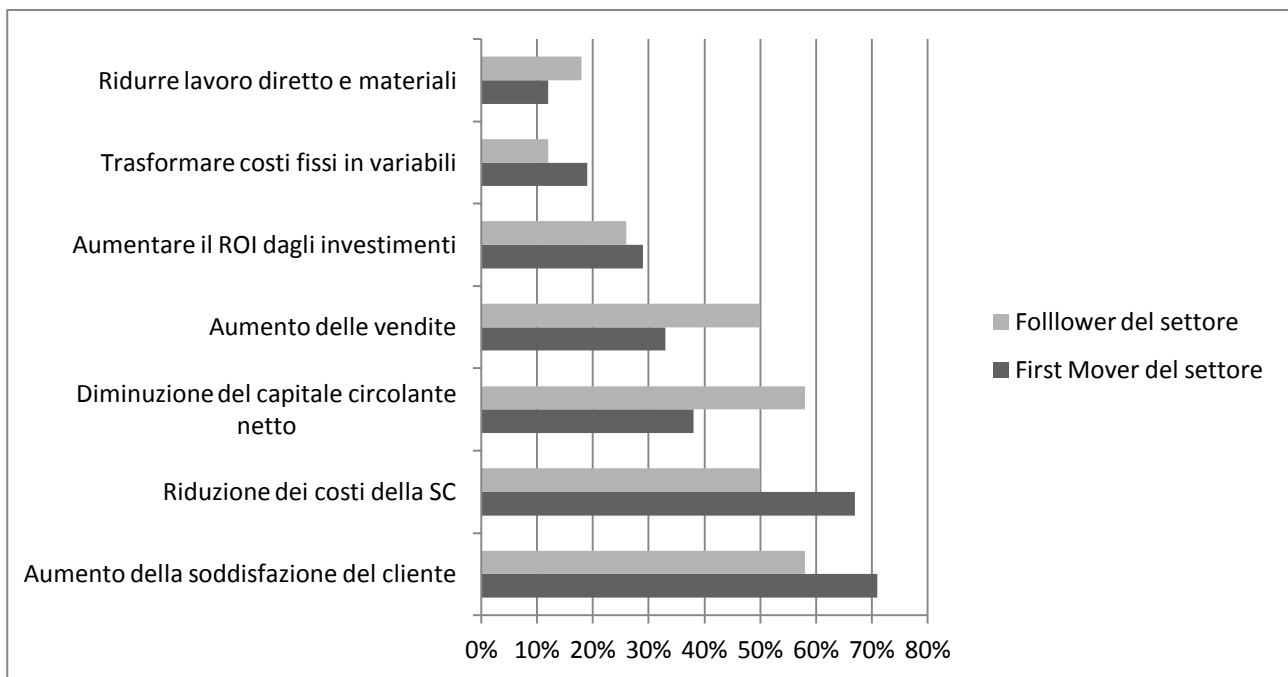


Figura 1: Principali problemi nella gestione di una supply chain

Croom, Romano, Giannakis in [23] elencano invece i **problemi** che si devono affrontare nella gestione di una supply chain:

controllo delle scorte, coordinazione di produzione e distribuzione, consolidamento degli ordini, layout design, selezione del supplier, decisioni di localizzazione, pianificazione della domanda, scelta tecnologie informatiche, definizione di alleanze strategiche e sviluppo congiunto di nuovi prodotti.

Tale analisi si limita però ad elencare una serie di problemi di tipo operativo, senza ricercare delle cause maggiormente a monte. E' possibile identificare una macro-categoria di problemi che può essere studiata congiuntamente?

“The bullwhip effect has been identified as one of the biggest causes of inefficiencies in a supply chain”.[59]

Fine in [32] ha sottolineato che **l'effetto Bullwhip è una delle due principali leggi che governano le dinamiche alla base della gestione della supply chain.**

Lee (2004) "The bullwhip effect is a standard industry term and reference to it in industry publications has become commonplace"

"The bullwhip effect has been viewed as one of the forces that paralyze supply chains." [54]

In generale, l'analisi della letteratura condotta mostra che c'è un generale consenso nel ritenere l'effetto Bullwhip una fra le principali cause di inefficienza che si riscontrano in una supply chain.

L'unico autore che non riconosce l'importanza dell'effetto Bullwhip nelle dinamiche di una supply chain è **Cachon** [9] che sostiene che l'effetto Bullwhip non sia diffuso in tutta l'economia statunitense e non possa essere considerato un luogo comune nel Supply Chain Management. L'autore, attraverso lo studio di aziende statunitensi, mostra come in alcuni casi non si abbia amplificazione della domanda andando verso monte. In molti casi i supplier adottano, infatti, delle politiche per appianare la produzione, abbattendo la variabilità trasmessa dal retailer.

Si riportano di seguito i valori rilevati da Cachon nella sua ricerca sull'industria americana. Dall'analisi del rapporto tra varianza degli ordini e varianza della domanda, si nota come i supplier non risentano di oscillazioni crescenti rispetto ai wholesalers.

Industry	$\frac{var(Ordini)}{var(d)}$
Retail Industries	
- Aggregate retail series	0,5
- Food and beverage	0,98
- Furniture, home furnishings, electronics	0,63
- General merchandise stores	0,29
- Motor vehicle and part dealers	1,95
Wholesale Industries	
- Aggregate wholesale series	1,14
- Beer, wine	0,57
- Chemicals	1,48
- Drugs	4,15
- Electrical and electronics goods	0,99
- Farm products	3,45
- Furniture	1,45
- Grocery	1,39
Manufacturing Industries	
- Aggregate manufacturing series	0,55
- Audio and video	0,86
- Automobile	0,9
- Beverage	3,04
- Construction	0,73
- Dairy product	0,85

- Electrical equipments	0,70
- Furniture	1,10

Tabella 1: Indici effetto Bullwhip nell'industry americana

Sembra però che tale osservazione pur supportata da dati empirici sull'industry americana sia limitata al caso in cui in una supply chain c'è a monte un attore rilevante che governa tutta la catena produttiva. La ricerca condotta quindi da questo autore non va a minare l'ipotesi di base su cui è costituito il presente lavoro, ossia l'asserzione che l'effetto Bullwhip è uno fra i principali problemi che si riscontrano nella gestione di una supply chain.

Infine, Towill e McCullen [61] elencano una serie di fattori culturali osservati nel mondo reale che mostrano l'indisponibilità da parte di molti manager a riconoscere l'effetto Bullwhip. La loro ricerca è riassunta nella seguente tabella:

Cliché	Spiegazione
Ignoranza	Bullwhip? Non esiste nel mondo reale
Arroganza	Bullwhip? È solo un'invenzione accademica
Negligenza	Bullwhip? Non mi costa nulla
Indifferenza	Bullwhip? Il consumatore può aspettare
Trasposizione del problema	Bullwhip? E allora? – è un problema dei supplier
Accettazione	Bullwhip? È come le tasse – bisogna accettarlo
Rassegnazione	Bullwhip? È un problema del sistema – non posso fare nulla per risolverlo
Intolleranza	Bullwhip? Le soluzioni giapponesi non funzionano qui
Desiderio di evitare	Bullwhip? Le soluzioni sono note, ma non si applicano al mio settore

Tabella 2: Cliché Effetto Bullwhip presenti in letteratura

La riduzione dell'effetto Bullwhip oggi riveste una sempre maggiore importanza per le mutate condizioni esterne:

- la sempre maggior attenzione verso il cliente, che richiede di evitare periodi di stockout
- la necessità a ridurre i costi della supply chain (senza peggiorare il livello di servizio)
- il sempre maggiore potere acquisito dai retailer [32] sposta sempre più i costi dovuti all'effetto Bullwhip a monte nella supply chain.

CAPITOLO 2

L'effetto Bullwhip

L'effetto Bullwhip, esemplificato per la prima volta da Forrester nel 1958, è stato analizzato da molti autori principalmente interessati a studiarne cause e dinamiche per fornire indicazioni strategiche ai manager.

Una definizione completa dell'effetto Bullwhip si trova in [53]: «**Phenomenon where orders to the suppliers tend to have larger variance than sales to the buyer (demand distortion), and the distortion propagates upstream in an amplified form (variance amplification)**».

In altre parole, il fenomeno Bullwhip può essere anche definito come l'aumento della variabilità della funzione di domanda andando verso monte.

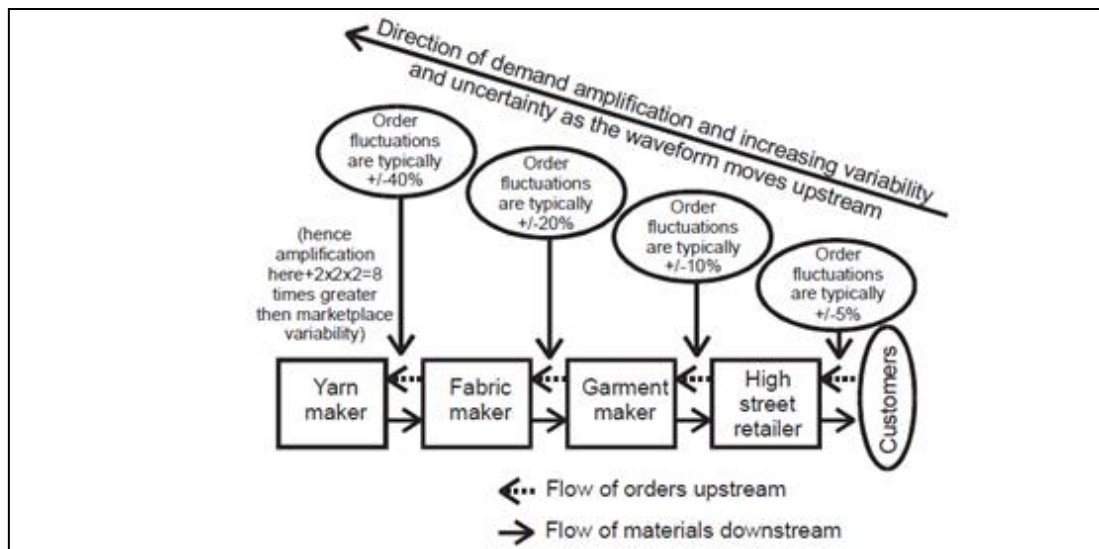


Figura 2: The Bullwhip effect in a tradition retail supply chain – Towill and McCullen [61]

La domanda di un generico prodotto in generale è composta da due componenti:

- (1) Componente strutturale di variabilità dovuta al cliente
- (2) Effetto amplificazione Bullwhip

Seppur le scelte del consumatore finale possano essere influenzate attraverso adeguate politiche di vendita e di marketing, non si può sopprimere in toto una componente di variabilità non controllabile da parte delle organizzazioni componenti la supply chain. Nonostante ciò, la grande variabilità che si riscontra nella domanda finale di molte supply chain è imputabile a scelte operate all'interno della supply chain stessa.

In generale le incertezze a livello della funzione di domanda sono causate da: rottura di macchine, tempi di trasporto fra gli stadi, fluttuazione degli ordini... Tali incertezze si propagano all'interno della supply chain amplificandosi andando verso monte e portando ad un aumento delle scorte di sicurezza, così come un incremento dei costi logistici ed un aumento delle inefficienze nell'uso delle risorse.

Data l'esistenza di questa incertezza nella funzione di domanda che ogni attore formula per il proprio cliente, ogni attore della catena ha la necessità di formulare delle previsioni sulle vendite della stazione a valle per definire i suoi piani di produzione, il livello delle scorte e formulare il MRP (approvvigionamento presso i fornitori). Ogni attore della supply chain si trova quindi a prendere delle decisioni sulla base di informazioni scarse (anche se ogni attore possedesse informazioni perfette circa il suo stadio, non sarebbe generalmente piena visibilità sugli altri stadi) e soprattutto le sue decisioni hanno l'obiettivo di ottimizzare solo un particolare stadio della supply chain (la somma delle decisioni ottime ai singoli stadi non coincide con la migliore soluzione per tutta la supply chain).

Molti autori hanno quindi cercato di modellizzare questo fenomeno, ricercandone le cause e proponendo delle strategie risolutive. Dall'analisi della letteratura condotta tutti gli strumenti identificati per ridurre la

variabilità della domanda possono essere ricondotti a due framework: da un lato un aumento della **visibilità informativa** tra i diversi stadi e dall'altro lato ad una **riduzione della lunghezza della pipeline** di realizzazione dei prodotti attraverso l'uso di tecniche lean nella gestione della supply chain.

In figura 3 è raffigurato graficamente l'effetto Bullwhip partendo da dati reali del settore reatili britannico [44]. Mentre le vendite del retailer subiscono delle oscillazioni massime del 25%, le quantità prodotte dal supplier oscillano fino al 50%: in altre parole, c'è un rapporto 2:1 nell'amplificazione della domanda per questi due attori.



Figura 3: Rappresentazione grafica effetto Bullwhip – immagine tratta da Jones [44]

Disney e Towill [28] sostengono che l'effetto bullwhip debba essere studiato attraverso l'osservazione di tre variabili:

- a. l'amplificazione, ossia la misura dell'ampiezza delle amplificazioni;
- b. il tempo, prima che l'effetto bullwhip si presenti è necessario aspettare un intervallo di tempo, è quindi lecito porre l'interrogativo: tra quanto tempo la mia organizzazione sarà toccata dall'effetto bullwhip?
- c. lo spazio, ossia la lunghezza della supply chain in esame.

2.1 Analisi della letteratura

Le ricerche sull'effetto Bullwhip possono essere classificate in tre filoni principali: (1) la dimostrazione dell'esistenza dell'effetto bullwhip, (2) l'identificazione delle cause alla base di questo fenomeno e (3) la quantificazione delle oscillazioni all'interno di una supply chain.

Forrester [1961] identifica nelle dinamiche infra-organizzative la principale causa dell'effetto Bullwhip. Secondo l'autore lo studio di tali dinamiche deve partire dall'analisi dei tre flussi presenti nelle organizzazioni (flusso delle informazioni, flusso dei materiali e flusso finanziario), della struttura di potere e delle attrezzature di produzione.

Forrester attraverso lo studio di semplici casi mostra le distorsioni che si possono avere a livello degli ordini inoltrati al fornitore e a livello delle scorte a tutti gli stadi della supply chain.

L'effetto Bullwhip sembra essere causato da un lato dalle operations stesse e dai modi di gestione della produzione e della distribuzione e dall'altro lato dalla generale mancanza di informazioni.

Sterman [75] nel 1989 elabora il celebre "Beer distribution game", in cui simula il comportamento dei vari attori all'interno di una supply chain. Dopo aver condotto parecchie simulazioni principalmente con i suoi studenti universitari, interpreta l'effetto amplificazione come una conseguenza del comportamento irrazionale degli attori della catena.

Le simulazioni effettuate del Beer Game mostrano:

- i. La causa principale dell'effetto Bullwhip è la lentezza nella diffusione delle informazioni e del trasferimento delle merci.
- ii. Gli attori all'interno della supply chain possono comportarsi in un continuum compreso tra due opposte strategie: safe harbour (accumulare scorte) e panic (finire tutte le scorte prima di riordinare)
- iii. In maniera qualitativa viene osservato come l'introduzione di information sharing all'interno della supply chain diminuisca il costo totale calcolato come costo di mantenimento delle scorte e costo di stock-out.

Tali osservazioni sono riprese da **Nienhaus, Ziegenbein e Schoensleben** in [66] attraverso simulazioni condotte con una versione web del beer distribution game. In aggiunta a Sterman, questi autori quantificano il vantaggio che si ottiene attraverso una condivisione delle informazioni (effettuata tramite l'utilizzo della chat tra i partecipanti al gioco) e concludono che se effettivamente tale vantaggio è riconosciuto, gli esseri umani, nella realtà, ostacolano tale flusso di informazioni. Nella pratica, infatti, andando verso monte le stazioni perdono interesse alla condivisione di informazioni poiché quest'ultime potrebbero avvantaggiare solo i rispettivi supplier. A margine di queste osservazioni gli autori concludono

quindi che il comportamento umano debba essere elencato tra le cause dell'effetto bullwhip, anche se la causa determinante di quest'ultimo sia il ritardo con cui vengono trasmesse le informazioni tra le varie stazioni della supply chain.

Lee, Padmanabhan, Whang [1997] in due celebri articoli [53] e [54] cercano di razionalizzare le cause alla base dell'effetto Bullwhip. La loro conclusione, di segno opposto rispetto a Sterman, è che l'effetto bullwhip derivi dall'applicazione di strategie razionali ed ottimizzanti da parte dei singoli attori della supply chain (da ciò consegue che per eliminare l'effetto bullwhip non si deve agire sul comportamento degli individui ma sulla struttura della supply chain).

A seguito di questi articoli, si trova in letteratura una serie di autori che affrontano il problema della riduzione dell'effetto Bullwhip tramite la condivisione di informazioni lungo la supply chain. **Chen** [14] argomenta la riduzione dell'amplificazione della domanda tramite la gestione centralizzata delle informazioni lungo una supply chain. **Crosby e Domohue** [24] mostrano come una condivisione delle informazioni relative ai Point of sales (POS) porti ad una riduzione dell'effetto Bullwhip in tutta la supply chain. **Dejonckheere** [27] mostra come la condivisione di informazioni porta ad una riduzione delle oscillazioni per tutti gli attori della supply chain e **Chatfield** [11] dimostra che tale osservazione è valida anche con lead time probabilistici all'interno della supply chain. **Ouyang** [67] mostra, invece, che l'utilizzo di informazioni condivise riduce, ma non elimina l'effetto bullwhip. **Gavirneni** [36] costruendo un modello di supply chain osserva che la condivisione di informazioni tra retailer e supplier porta a risparmi soprattutto al supplier. Osservazione questa formulata anche da **Smichi-Levi e Zhao** [73]. Al contrario, **Waller** [86] utilizzando dati della HP mostra che la condivisione giornaliera di dati sulla domanda porta ad un decremento delle scorte per tutta la supply chain.

Warburton [2007] in [89] propone una semplice modellizzazione analitica dell'effetto bullwhip.

Modello di Warburton

Le variabili utilizzate sono:

$I(t)$ = livello delle scorte

τ = tempo di replenishment (ordinazione + trasporto)

$D(t)$ = domanda all'istante t

$R(t)$ = replenishment (quantità ordinata all'istante t)

I_D = livello desiderato delle scorte

Le equazioni sono:

$I(0) = I_0$: esprime il fatto che le scorte all'istante $t = 0$ sono pari alle scorte iniziali

$\frac{dI}{dt} = R(t) - D(t)$: la variazione di scorte per ogni istante è data dalla differenza tra quantità arrivata dal supplier e quantità venduta al cliente

L'entità degli ordini inoltrati al supplier segue la funzione:

$$\begin{cases} O(t) = \frac{I_D - I(t)}{T} & \text{se } I_D - I(t) < 0 \\ O(t) = 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Il significato dell'espressione, di facile interpretazione, è il seguente: se a magazzino è presente un livello di scorte inferiore al livello voluto allora si ordina una quantità pari alla quantità mancante divisa per il numero di periodi in cui si vuole completare il riordino (la divisione per T ha funzione di non dover ordinare tutto in un solo periodo di tempo).

$R(t) = O(t - \tau)$: esprime la continuità esistente tra ordinato e quantità ricevuta dal fornitore opportunamente scalata di un intervallo temporale pari al LT di riordino.

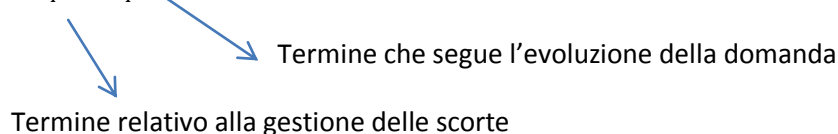
Dalle precedenti espressioni si possono facilmente dedurre le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} (1) \quad \frac{dI}{dt} - O(t - \tau) &= -D(t) \\ (2) \quad \frac{dI}{dt} - \left[\frac{I_D}{T} - \frac{I(t - \tau)}{T} \right] &= -D(t) \end{aligned}$$

Nel paper viene matematicamente dimostrato che per $t < \tau$ (e $D(t)=d$) si ha:

$$\frac{dI}{dt} = -d \quad \text{e quindi} \quad I(t) = I_0 - dt$$

$$O(t) = \frac{I_D - I_0 + dt}{T} = \frac{I_D - I_0}{T} + \frac{dt}{T}$$



 $\frac{dt}{T}$ → Termine che segue l'evoluzione della domanda
 $\frac{I_D - I_0}{T}$ → Termine relativo alla gestione delle scorte

Si può ottenere l'esatta formulazione della (2) anche per $t > \tau$

$$I(t) = I_D - dT + A \exp\left[\frac{Wt}{\tau}\right] \quad A = a + i\alpha \quad W = (\omega + 1\theta)\left(-\frac{\tau}{T}\right)$$

Il modello descrive in modo molto semplice la relazione esistente tra domanda, scorte ed ordinato. In particolare, si sottolinea il fatto che un aumento della domanda porta necessariamente ad un aumento delle scorte e quindi anche in assenza di altri fattori risalendo verso monte si ha una amplificazione della domanda.

In altre parole, ogni stadio definisce un livello ottimale di scorte da tenere in magazzino in funzione della media della domanda passata del cliente. In caso di variazione della domanda del cliente, lo stadio in essere deve capire se tale variazione è "inclusa" nella normale variabilità della vecchia funzione di domanda

oppure appartiene ad una nuova funzione di domanda (con media diversa dalla precedente). In funzione della politica di forecasting scelta può passare più o meno tempo perché lo stadio in questione vada a modificare i suoi parametri di gestione delle scorte in relazione alla mutata funzione di domanda. Non appena lo stadio in questione decide di modificare tale valore, esso dovrà inoltrare presso il suo fornitore un ordine di approvvigionamento che non consideri solo l'aumento della domanda, ma che vada anche ad integrare la diminuzione di scorte avutasì in conseguenza del prelievo per più periodi successivi di una domanda maggiore rispetto alla quantità media prevista in precedenza. Con questo semplice ragionamento, tradotto in termini analitici nell'equazione sopra, si spiega come avviene l'amplificazione della domanda fra due diversi stadi.

2.2 Cause dell'effetto Bullwhip

Forrester [33] afferma che le fluttuazioni degli ordini e delle scorte ai vari livelli di una supply chain sono principalmente causate da:

- (1) Struttura organizzativa: le pratiche di distribuzione e di produzione indipendentemente dagli altri fattori provocano una fluttuazione delle scorte e degli ordini
- (2) Ritardi nel prendere le decisioni e nell'agire: tempo per spedire un ordine di acquisto, tempo per controllare il livello delle scorte, tempi amministrativi, ..
- (3) Politiche di ordinazione e di gestione delle scorte: inoltrare di ordini(indipendenti dalla domanda) fatti per sistemare le scorte di sicurezza ad un nuovo livello.

Lee, Padmanabhan e Whang in [53] e [54] identificano quattro principali cause responsabili dell'effetto bullwhip:

a. Previsione della domanda

Il meccanismo di definizione della domanda presso il fornitore provoca l'effetto amplificazione. Se la domanda aumenta, al fornitore non si ordina solo l'incremento di domanda attuale, ma anche l'incremento necessario per far fronte alle vendite future e la relativa quota di scorte di sicurezza.

Le variabili in gioco sono:

- Lead time di riapprovvigionamento (se alto, cresce la distorsione della domanda)
- Scorte di sicurezza ($SS = k \sqrt{\sigma_d^2 * TR + \sigma_{TR}^2 * d^2}$, dove k esprime il livello di sicurezza in funzione del livello di servizio richiesto; TR è il lead time di consegna, d la domanda media, σ_d è la deviazione standard della domanda e σ_{TR} è la deviazione standard del lead time di

consegna. Dalla formula si nota chiaramente che il livello delle scorte di sicurezza varia al variare della domanda e della sua deviazione standard).

La definizione delle domanda futura provoca quindi due effetti:

- Si perde nella catena il vero aumento della domanda finale (poichè quindi c'è una mancanza strutturale di informazioni relativamente alla vera domanda, ogni attore della supply chain cerca razionalmente, in funzione delle informazioni che dispone, di stimare un valore della sua domanda).
- La domanda viene amplificata

b. Meccanismi di razionamento (shortage)

Nel caso la domanda sia maggiore dell'offerta, il manufacturer adotta un comportamento di razionamento della merce per soddisfare – anche se in modo parziale – tutti i clienti. In conseguenza di ciò, ogni retailer ordina una quantità maggiore di quella necessaria per potersi cautelare in presenza di razionamento della merce.

Se il totale degli ordini $Q = \sum_{n=1}^N z_n$ supera la produzione μ , allora il manufacturer alloca la produzione proporzionalmente agli ordini ricevuti: $z_n \frac{\mu}{Q}$. Il problema può essere formulato come la ricerca dell'equilibrio di Nash¹ in cui ogni retailer ordina la propria quantità ottima z^* in funzione delle scelte degli altri (assunte) e del costo totale atteso connesso all'ordinazione della quantità z^* . In presenza di questo tipo di comportamento, il manufacturer perde qualsiasi informazione circa il reale valore della domanda finale.

c. Lottizzazione

Dal punto di vista del manufacturer gli ordini possono:

- Essere distribuiti secondo una variabile casuale
- Essere concentrati nello stesso periodo temporale
- Essere uniformemente distribuiti nel tempo

Nella realtà si osserva che il 70% degli ordini arrivano l'ultima settimana del mese come conseguenza del lancio in questo periodo del MRP.

d. Costo di acquisto delle materie prime fluttuante nel tempo

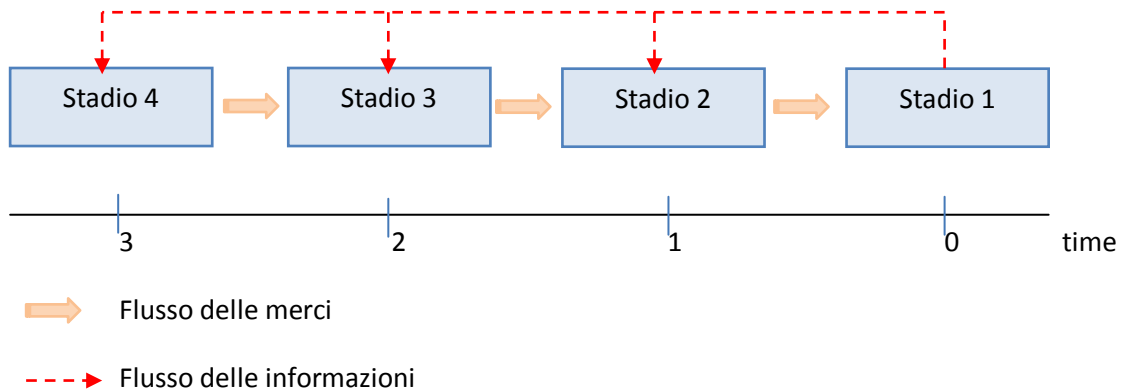
I retailer cercano di acquistare le merci andando a massimizzare la loro funzione d'utilità in cui le variabili sono i prezzi e le probabilità di accadimento di tali prezzi. Il risultato è che la domanda dei retailers non riflette i bisogni attuali.

A queste quattro cause vanno poi aggiunte:

e. Lead time di trasmissione delle informazioni e di trasferimento della merce

¹ Se un gioco ammette una soluzione di Nash, allora ogni agente non ha alcun interesse a cambiare la sua strategia data per giocata la strategia degli altri agenti.

Poichè le informazioni impiegano del tempo a trasmettersi tra gli attori di una supply chain, il produttore a monte continuerà a produrre la quantità Q fin tanto che l'informazione circa la riduzione della domanda finale non arriverà da lui all'istante di tempo $t+4$. La conseguenza di ciò è che per 4 periodi si produce più del previsto, producendo un notevole aumento delle scorte.



In assenza di condivisione di informazioni lungo la supply chain, una variazione della domanda allo stadio 1 verrà vista dallo stadio 4 solo dopo 3 periodi.

- f. Razionalità limitata degli individui [33]
- g. Aumento dei Lead time di produzione [14]. Strettamente connesso al punto (e), anche un aumento dei LT di produzione fa sì che gli stadi a monte vedano con maggiore ritardo una variazione della domanda.

Rimuovere una di queste ipotesi corrisponde ad inserire una delle cause di creazione dell'effetto Bullwhip.

Geary, Disney e Towill in [37] dopo aver concluso una serie di interviste a manager, identificano 10 fattori che se non condivisi dall'organizzazione portano l'insorgere dell'effetto Bullwhip:

1. Control system principle: necessità di selezionare il sistema di controllo appropriato con i target definiti
2. Time compression principle
3. Information transparency principle
4. Eliminazione degli stadi della filiera inutili
5. Sincronizzazione dei flussi
6. Previsione della domanda
7. Lottizzazione
8. Fluttuazioni di prezzo
9. Gaming principle

10. Multiplier principle: aumento degli ordini da uno stadio all'altro (esempio: rinnovo di capacità produttiva, piani di ampliamento)

1.2.1 Impatto dei metodi di previsione della domanda sull'effetto Bullwhip

Si propone di seguito una breve analisi tratta da [79] in cui si studia come l'utilizzo di diverse politiche di previsione della domanda amplificano in modo diverso una variazione del LT di riordino, a parità di altri fattori.

Impatto dei metodi di previsione della domanda

Variabili utilizzate:

$q_t =$ quantità ordinata al tempo t

$d_t =$ quantità domandata al periodo t

Ipotesi:

- Tutta la domanda insoddisfatta costituisce backlog
- Il LT di trasferimento della merce dal momento di inoltro dell'ordine di acquisto è costante e pari ad "L".

Si definiscono:

$H_t = \{d_t, d_{t-1}, d_{t-2}, \dots\}$ informazioni sulla domanda passata

$d_t = \mu + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t$ modello di stima della domanda,

dove ρ è il parametro di correlazione e $\mu \geq 0$

Se si stima la domanda con il metodo della media mobile semplice:

$$D_{t|H_t}^L = L \frac{\sum_{i=1}^p d_{t-i}}{p}$$

L'effetto Bullwhip è quantificato dal rapporto tra la varianza della quantità ordinata e la varianza della quantità domandata dal cliente:

$$\frac{Var(q_t)}{Var(D_t)} \geq 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - \rho^p)$$

Nel caso si stimi la domanda tramite il metodo dell'Exponential Smoothing, l'espressione risultante benchè più complessa rimane una funzione crescente rispetto a L.

$$\frac{Var(q_t)}{Var(D_t)} = 1 + (\alpha L) \frac{2(1-\rho)}{1-(1-\alpha)\rho} + (\alpha L)^2 \frac{2(1-\rho)}{(2-\alpha)[1-(1-\alpha)\rho]}$$

L'aumentare del LT di riordino L porta ad un aumento dell'effetto Bullwhip. Tale incremento è funzione del metodo di previsione della domanda scelto.

Cachon e Schmit in [9] da un'analisi condotta su un campione di industrie americane forniscono una serie di dati sulla varianza media degli ordini e della domanda e quindi danno una stima numerica dell'effetto Bullwhip. A margine della loro analisi concludono che l'effetto Bullwhip è influenzato dall'**effetto stagionalità**, in particolare un aumento della stagionalità porta ad un aumento dell'effetto Bullwhip.

2.3 Strumenti per attenuare l'effetto Bullwhip

In letteratura si possono individuare **due diversi framework utilizzabili per ottimizzare una supply chain**. Il più tradizionale filone di pensiero si articola intorno al concetto di **aumento della visibilità** all'interno della supply chain ([30], [27], [55], [71], [8], [56], [99], [97], [96], [35], [36], [67], [73]) . Questa corrente si pone come obiettivo la riduzione della variabilità della domanda cercando di evitare attraverso una condivisione delle informazioni i vari meccanismi di distorsione che si possono trovare negli stadi a valle della supply chain. La seconda corrente, invece, pone maggiormente l'attenzione sulla riduzione della lunghezza della pipeline di produzione del prodotto attraverso la gestione della supply chain tramite **metodologie di tipo lean** ([91], [94], [42], [80], [68], [58], [8]). Questa seconda corrente vuole aumentare la flessibilità della supply chain riducendo il tempo totale di attraversamento e, quindi, abbattendo il ritardo tra l'istante temporale in cui si manifesta la domanda ed il momento in cui l'ordine viene evaso.

La maggior parte degli autori che tratta il problema dell'effetto Bullwhip non pratica questa distinzione, ma si limita ad elencare quali possono essere le strategie operative per ridurre la variabilità della domanda.

Un'ulteriore classificazione possibile tra gli autori che propongono delle metodologie per risolvere l'effetto bullwhip è fondata sulla località o globalità della strategia seguita: strumenti che aumentano l'efficienza di singole unità della supply chain e strumenti che migliorano la struttura di tutta la supply chain.

Forrester [97], per esempio, propone le seguenti azioni:

- (1) Ridurre i tempi di processamento
- (2) Cambiare le procedure di ordinazione
- (3) Condividere le informazioni relative alla domanda finale a tutti gli stadi della supply chain

(4) Monitorare più frequentemente lo stato delle scorte ed aggiornare di conseguenza i piani di produzione

(5) Attuare politiche di promozione delle vendite in accordo con la disponibilità di capacità produttiva.

Tali strumenti possono essere facilmente ricondotti ad una due macro-categorie di analisi sopra identificate. Nel particolare l'azione (1) è il cuore dell'approccio lean, mentre le altre azioni sono tutte riconducibili all'aumento della visibilità informativa.

Anche **Lee, Padmanabhan e Whang** in [53] e [54] riconducono gli strumenti per eliminare le distorsioni a due categorie:

1. aumentare la condivisione di informazioni lungo la SC sia per quanto riguarda le scorte sia la previsione di vendita del singolo attore;
2. migliorare l'efficienza operativa.

In particolare, gli autori dei citati articoli identificano delle strategie diverse in funzione della causa che ha determinato l'insorgere dell'effetto Bullwhip:

(1) Previsione della domanda. Il problema si risolve dando **visibilità** a tutta la SC sulla domanda e sullo stato delle scorte di ogni attore (condividere informazioni relative a POS- point of sales - e stato delle scorte). L'introduzione di sistemi EDI per velocizzare la trasmissione delle informazioni e di VMI per responsabilizzare la gestione delle scorte ed evitare l'acquisto di scorte speculative sono alla base di tale strategia.

Si deve notare che anche se tutti gli attori della catena vedessero la stessa domanda, si verificherebbero comunque delle distorsioni al profilo della domanda stessa a causa dei diversi metodi usati per fare previsioni ed i diversi comportamento di acquisto che caratterizzano i buyer lungo la SC.

Un differente approccio per eliminare questo problema è il **ridurre la lunghezza del canale** di distribuzione (esempio: Dell); in altre parole vendere direttamente al cliente finale.

Ed infine, una **riduzione dei LT di produzione**.

(2) Meccanismi di razionamento. Le tre strategie da considerare per evitare questo effetto sono:

- a. In caso di shortage, allocare la merce disponibile non in funzione degli ordini attuali, ma degli acquisti passati fatti da ogni cliente
- b. La condivisione di informazioni quali il livello delle scorte ed i piani di produzione ha un effetto rassicurante sui clienti, che temono in misura minore la mancanza di materiale

- c. Infliggere delle penalità in caso di ordine cancellato (è strategia comune ordinare di più e poi eventualmente cancellare l'ordine)

(3) Lottizzazione. I costi da considerare sono: i costi amministrativi connessi all'emissione dell'ordine ed i costi di trasporto della merce. Relativamente ai costi relativi all'ordinazione, l'introduzione di sistemi EDI ha contribuito ad un loro forte abbattimento, circa invece i costi di trasporto sono possibili due strategie:

- a. "composite distribution": diversi prodotti sono caricati sullo stesso vettore
- b. Utilizzo di un vettore logistico esterno che può realizzare economie di scala caricando sul vettore merce destinata a più manufacturer fisicamente vicini.

Devono quindi essere rimosse le cause che spingono alla lottizzazione: sconti di volume, costi fissi di ordinazione ed inefficienza distributiva.

(4) Fluttuazione del costo di acquisto delle materie prime. La strategia da perseguire per ridurre le fluttuazioni di prezzo consiste nell'esplicitare attraverso un corretto sistema ABC² il costo delle scorte, il costo di stoccaggio e di handling; solo in questo modo si può infatti esplicitare il costo connesso all'acquisto speculativo di ingenti quantità di materiali.

McCullen e Towill in [61] forniscono invece uno studio più generale sulle strategie da attuare per ridurre l'effetto Bullwhip. Gli autori dell'articolo sostengono che il primo passo da compiere è la piena comprensione delle cause del fenomeno Bullwhip e successivamente adottare una particolare strategia, da scegliersi tra le seguenti:

- (1) Control system principle: sincronizzazione degli stadi evitando lottizzazioni
- (2) Time compression principle: riduzione del LT di processamento dei materiali e delle informazioni
- (3) Information transparency principle: tutta la supply chain deve avere a disposizione tutte le informazioni utili (considerare sia la quantità sia la qualità delle informazioni)
- (4) Echelon elimination principle: eliminazione degli stadi ridondanti nella supply chain

Di seguito si propone una classificazione degli strumenti identificati dagli autori secondo il criterio sopra introdotto (ossia quali problemi associati all'effetto Bullwhip ogni strumento è in grado di risolvere). Per ogni strumento è indicato anche su quale causa dell'effetto bullwhip esso incide.

² Activity Based Costing

Autori	Approccio Informazion Sharing	Approccio Lean
Forrester	1. Attuare politiche di previsione delle vendite in accordo con la funzione produzione (1) 2. Condividere le informazioni sulla domanda finale in tutti gli stadi della supply chain (1) (6) (2)	Ridurre i tempi di processamento (5)
Lee, Padmanabhan e Whang	Dare visibilità a tutta la supply chain (6) (1) (2)	1. Ridurre la lunghezza del canale (5) 2. Ridurre i LT di produzione (7) 3. Riduzione della grandezza dei lotti di ordinazione (3)
McCullen e Towill	Dare visibilità a tutta la supply chain di tutte le informazioni utili. (1) (2) (3) (6)	1. Sincronizzazione degli stadi (2) (1) (3) (6) (5) 2. Riduzione dei LT di processamento (5) 3. Eliminazione degli stadi ridondanti (5)
Johnson	1. Condivisione di informazioni circa i POS (1) 2. Sviluppo di canali informativi per il veloce scambio di informazioni (5)	1. Riduzione del LT di ordinazione (5)
Wikner	1. Migliore condivisione di informazioni lungo la SC (5)	1. Rimozione di alcuni centri di distribuzione lungo la supply chain.

Tabella 3: Classificazione metodi per ridurre l'effetto Bullwhip

Legenda:

- (1) previsione della domanda
- (2) meccanismi di razionamento
- (3) lottizzazione
- (4) fluttuazione costo acquisto materie prime
- (5) lead time di trasmissione delle informazioni e di trasferimento della merce
- (6) razionalità limitata degli individui
- (7) aumento dei LT di produzione

La seguente tabella propone invece un confronto più globale di articoli presenti in letteratura, indicando oltre allo strumento scelto per risolvere l'effetto bullwhip anche le caratteristiche della supply chain modellizzata e l'approccio scelto nel verificare lo strumento individuato.

Autori	Strumento	Caratteristiche della SC analizzata	Causa dell'effetto BW	Strumenti Lean	Strumenti di IS
Baganha e Cohen	Approccio analitico	1 prodotto, N retailers, 1 distributore	Processo di previsione della domanda		Centralizzazione in un unico stadio delle politiche di gestione della SC
Cachon	Approccio analitico	1 prodotto, 1 supplier, N retailers	Lottizzazione	Riduzione dei lotti di riordino Riduzione dell'intervallo di riordino	
Kelle e Milne	Approccio analitico	1 prodotto, 1 supplier, N retailers	Lottizzazione	Riduzione dei lotti e ordini più frequenti	
Gavirneni	Approccio analitico	1 prodotto, 1 supplier, 1 retailer	Processo di previsione della domanda		Condivisione delle informazioni lungo la SC
Cachon e Fisher	Approccio analitico	1 prodotto, 1 supplier, N retailers	Processo di previsione della domanda	Riduzione dei lotti e del LT tramite una maggiore velocità del flusso informativo	Utilizzo di EDI comporta una riduzione dei LT
Chen	Approccio analitico	1 prodotto, SC lineare con 4 stadi	Processo di previsione della domanda		Centralizzazione della gestione delle informazioni
Lee e al.	Approccio analitico	1 prodotto, 1 retailer, 1 supplier	Processo di previsione della domanda		Condivisione delle informazioni lungo la SC
Riddalls e Bennett	Approccio analitico	1 prodotto, 1 stadio	Lottizzazione	* BW è proporzionale al rapporto tra domanda media e dimensione del lotto * La dimensione dei lotti va fissata come un divisore della domanda media	
Disney e Towill	Control Theory	1 prodotto, 2 stadi	Processo di previsione della domanda		Aumentare il periodo passato usato per prevedere la domanda futura
Warburton	Approccio	1 prodotto, 1	Lottizzazione		

	analitico	supplier, 1 retailer			
Chatfield	Simulazione	1 prodotto, SC lineare	Processo di previsione della domanda		Qualità nelle informazioni condivise
Potter e Disney	Simulazione	1 prodotto, 2 stadi	Processo di previsione della domanda	La dimensione dei lotti deve essere un multiplo della domanda media	
Ouyang	Approccio analitico	SC lineare	Processo di previsione della domanda		Condivisione di informazioni

Tabella 4: Ipotesi alla base dei modelli per confrontare diversi scenari nella riduzione dell'effetto Bullwhip

2.4 Indicatori per misurare l'effetto Bullwhip

Utilizzando la simbologia già introdotta da Warburton [89], un indicatore dell'effetto BW che considera le variazioni degli ordini rispetto alla domanda potrebbe essere ragionevolmente espresso dal seguente rapporto:

$$BW^0 = \frac{\text{Ordini al fornitore}}{\text{Domanda finale}} = \frac{O(\tau)}{d} = \frac{I_D - I(\tau)}{Td}$$

Incrementando il valore di T l'effetto BW si riduce, ma al tempo stesso un aumento di T porta ad un incremento della probabilità di stock-out. Questa definizione dell'effetto Bullwhip si adatta bene alle prime fasi del processo, ma poi non tiene conto della politica di gestione delle scorte. Si propone allora un secondo indicatore che consideri la variazione delle scorte:

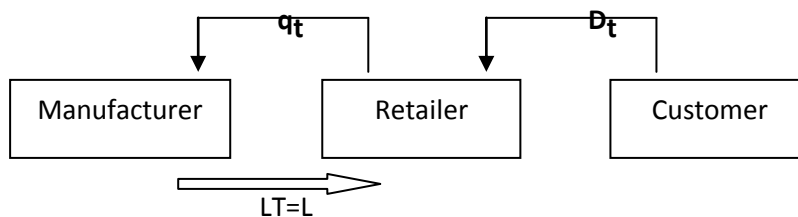
$$BW^I = \frac{I^* - I_D}{d\tau}$$

Dove I^* rappresenta il livello di scorte massimo.

I due indicatori devono essere usati in modo complementare nella valutazione dell'effetto BW. Mentre il primo indicatore tiene conto delle fluttuazioni negli ordini, il secondo si pone come obiettivo il mantenimento delle scorte al livello voluto I_D . È quindi evidente che è possibile la situazione di scorte nulle ($BW^I = 0$) ed alta fluttuazione degli ordini ($BW^0 \neq 0$).

Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi in [14] propongono un semplice modello per dare una stima quantitativa all'effetto bullwhip.

Gli autori propongono una semplice supply chain formata da due stadi, retailer e manufacturer, così modellizzata:



Sotto l'ipotesi che la domanda sia esprimibile tramite una funzione $D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t$ e lo stato della scorte dalla funzione $y_t = D_t^L + z\sigma_{et}^L$ allora la domanda stimata (con una media mobile a p termini) e la sua deviazione standard assumono la forma:

$$D_t^L = L \left(\frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p} \right) \quad \sigma_{et}^L = C_{Lp} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (\varepsilon_{t-i})^2}{p}}$$

La funzione di riordino assume la forma di:

$$q_t = y_t - y_{t-1} + D_{t-1}$$

Calcolando anche la varianza della funzione q_t , si ottiene l'espressione formale dell'effetto Bullwhip:

$$\frac{var(q)}{var(D)} = 1 + \left(\frac{2L}{p} + \frac{2L^2}{p^2} \right) (1 - \rho p)$$

Da cui si possono fare le seguenti osservazioni:

- Maggiore è il **numero di osservazioni** usate per calcolare la media mobile, maggiore è lo smorzamento dell'effetto BW
- Un aumentare del **lead time** di riordino, incrementa l'effetto BW
- Un aumento di L richiede un aumento più che proporzionale (fattore 2) del numero di osservazioni per mantenere la variabilità costante.
- **Coefficiente di correlazione** nell'espressione della funzione di domanda: una domanda correlata negativamente porta ad una distorsione della domanda maggiore rispetto ad una domanda correlata positivamente.

Mettters in [62] propone invece una quantificazione dell'effetto Bullwhip andando a valutare il suo impatto in termini monetari. Secondo l'autore, un aumento della variabilità della domanda porta maggiori costi connessi a:

- (1) aumento dei costi delle scorte (capitale circolante netto + costi di gestione delle scorte)
- (2) mancate vendite o costi necessari per produrre in outsourcing
- (3) sconti concessi in presenza di grandi quantità di stock da smaltire
- (4) costi connessi a periodi di sovra-produzione

Viene quindi proposta la seguente funzione di costo, di cui viene proposta solo una soluzione numerica attraverso la creazione di vari scenari.

$f(t) =$

$$\min \left\{ c(y - i) + \int_0^y [h(y - x) - vx] \phi(x) dx + \int_y^\infty [\pi(x - y) - vy] \phi(x) dx + \alpha \left[\int_y^\infty f(0) \phi(x) dx + \int_0^y f(y - x) \phi(x) dx \right] \right.$$

Dove

$\phi(x)$ rappresenta la funzione densità di probabilità della domanda al periodo t

c costo di produzione per unità

v ricavo per unità

h costo di mantenimento a scorta per unità

i scorte all'inizio del periodo t

y scorte dopo la produzione (= i + unità prodotte nel periodo t)

Dalle simulazioni effettuate, l'autore asserisce che l'eliminazione dell'effetto Bullwhip può portare ad un aumento della profittabilità pari al 10-30%.

Nel modello non vengono però considerati:

- costi di trasporto
- costi di setup di produzione
- costi di ordinazione

A questo punto della trattazione sorge immediato l'interrogativo: è possibile collegare la sovrastante funzione di minimizzazione dei costi per una supply chain con la minimizzazione dell'effetto Bullwhip? O in altre parole, se si diminuisce la funzione $f(t)$ diminuisce anche l'effetto Bullwhip del sistema? Poiché le scorte vengono utilizzate per smorzare le variazioni di domanda, la presenza di una grande quantità di scorte – e quindi anche un alto costo di mantenimento a scorta – indica la presenza di fluttuazioni nella domanda e quindi la presenza dell'effetto Bullwhip. Ne consegue che una riduzione della funzione esprime i costi della supply chain sia connessa ad una riduzione del costo di mantenimento a scorta – che a parità di altri parametri – si traduce direttamente in una riduzione delle scorte presenti nel sistema. Riduzione di scorte che a parità di servizio garantito al cliente possono essere interpretate come una riduzione delle fluttuazioni della funzione di domanda.

Per una trattazione più generale ed indipendente dal metodo di riordino e di previsione della domanda utilizzato, l'effetto Bullwhip può essere rappresentato come il **rapporto tra la varianza degli ordini e la varianza della domanda**³. Le metriche da utilizzarsi sono quindi:

$$BW_{orders} = \frac{\sigma_{SC}^2 / \mu_{SC}}{\sigma_C^2 / \mu_C} = \frac{\sigma_{SC}^2}{\sigma_C^2}$$

$$BW_{inventories} = \frac{\sigma_{inv}^2 / \mu_{inv}}{\sigma_C^2 / \mu_C} = \frac{\sigma_{inv}^2}{\sigma_C^2}$$

Dove la prima equazione esprime il rapporto tra la varianza degli ordini per tutta la supply chain e la varianza della domanda del consumatore finale, mentre la seconda equazione considera la varianza delle scorte presenti su tutta la supply chain. In entrambi i casi si ritiene che i valori medi siano uguali, e quindi si elidano a vicenda. (La formulazione qui proposta è ritrovabile in [26]).

³ Questa matrice è senza dubbio quella che si trova più frequentemente in letteratura.

2.5 Variabili su cui impatta l'effetto Bullwhip

Si riassumono ora brevemente le variabili principali su cui impatta l'effetto Bullwhip, inteso qui nel semplice significato di variazione del profilo della domanda.

(1) $\Delta D \rightarrow \Delta C_p$ Una variazione della domanda impatta immediatamente sulla richiesta di capacità produttiva

- *Se si dimensiona il sistema produttivo sulla base del picco di domanda: $C_p = \max D \rightarrow$ si creano dei periodi di insaturazione*
- *Se, invece, $C_p = \text{average } D \rightarrow$ nei periodi di picco si hanno strutturalmente dei problemi*

(2) $\Delta D \rightarrow \Delta SC$ Una variazione della domanda comporta una forte fluttuazione del livello delle scorte, che a sua volta può portare a due opposti problemi, da una parte un forte aumento del capitale circolante netto e dall'altro lato un aumento del rischio di stock-out

(3) $\sigma_D \rightarrow SS$ Un aumento della variabilità della domanda porta ad un aumento delle scorte di sicurezza.

Da queste semplici ed intuitive osservazioni si ha un'ulteriore conferma della relazione sopra proposta, ossia, la relazione diretta tra minimizzazione della funzione di costo e minimizzazione dell'effetto Bullwhip. Le relazioni (2) e (3) mostrano, infatti, che l'aumento del livello delle scorte è una diretta conseguenza dell'aumento delle fluttuazioni della domanda.

2.6 L'effetto Bullwhip nelle catene di servizio

L'effetto di amplificazione della domanda non si trova solo nel settore manufacturing, ma anche nel mondo dei servizi. Akkermans e Vos in [1] formulano a tal proposito delle rilevanti domande di ricerca:

1. Come si visualizza l'effetto amplificazione in una catena di servizi?
2. L'effetto Bullwhip dei servizi è causato dagli stessi fattori già identificati per il settore manufacturing?
3. Quali strumenti si possono utilizzare per ridurre la variabilità della domanda nei vari stadi di una service supply chain?

Gli autori concludono la loro analisi rilevando le seguenti conclusioni:

- Una service supply chain non è toccata da lottizzazioni in quanto per definizione i servizi non sono immagazzinabili. (A completamento dell'analisi si rileva che pur essendo vero che non possono sussistere delle lottizzazioni di servizi, esistono le lottizzazioni di tempo, che sono riconosciute a

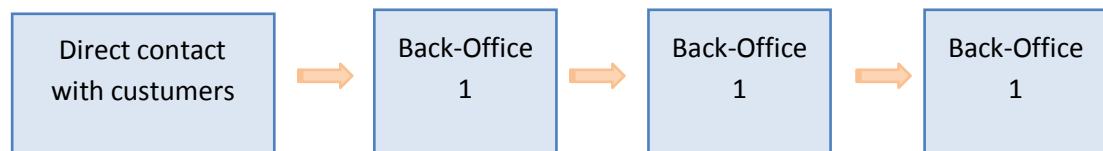
tutti gli effetti come una fra le cause che portano ad un'amplificazione della domanda).

- É identificata una nuova causa dell'effetto Bullwhip non presente nel settore manufacturing, ossia l'interazione di diversi carichi di lavoro e la riduzione della qualità del processo.
- Gli strumenti identificati nell'articolo per risolvere l'effetto Bullwhip possono essere riassunti nella seguente tabella:

Causa	Strumenti per risolvere	
Lottizzazione	---	I servizi non sono tangibili quindi non possono essere immagazzinati
Processo di trasmissione dei dati di domanda	Vendita diretta	Il problema è attenuato dal fatto che i servizi necessitano di un forte contatto front-office con il cliente. Nonostante ciò il problema persiste se non c'è collegamento tra front-office e back-office.
Fluttuazioni di prezzo	Yield management (discriminazioni di prezzo)	Le campagne di marketing provocano una forte fluttuazione degli ordini nei periodi immediatamente seguenti la campagna stessa.
Shortage	Capacità informativa condivisa	Non sussiste nelle Service Supply Chains
Interazione tra carichi di lavoro e riduzione della qualità del processo	Aumento della qualità	Se il carico di lavoro aumenta, oltre a provocare un aumento della coda, l'operatore è spinto a lavorare più velocemente per cercare di evadere il lavoro creatosi. Facendo così aumenta il rischio di errori e quindi il numero di rilavorazioni che vanno ulteriormente a rallentare il processo.

Tabella 5: Cause e metodi di risoluzione dell'effetto Bullwhip nelle catene di servizi

L'unico esempio presente in letteratura che studia il fenomeno dell'amplificazione nei servizi si trova in [4]. Anderson e Morrice modellizzano la seguente catena:



Misurando l'effetto Bullwhip attraverso il numero di backlog alla fine di ogni periodo per ogni stadio, i due autori concludono che una condivisione di informazioni sulla domanda lungo il processo contribuisce ad una diminuzione dell'effetto amplificazione.

Le strategie identificate dagli autori per risolvere l'amplificazione della domanda, tramite lo studio di compagnie di telecomunicazioni, si riassumono nelle seguenti tre categorie:

1. Incrementi di personale: è possibile solo un incremento del tempo totale attraverso l'uso di straordinari. Trattandosi di un servizio, non si può pensare di assumere manodopera dall'esterno solo in caso di necessità: i costi ed i tempi di training non sarebbero compatibili.
2. Riduzione dei LT di processo
3. Condivisione di informazioni: una semplice forma di coordinazione tra vendita e back-office può essere la seguente: evitare di concedere vacanze agli operatori se si prevede di lanciare una politica di marketing.

2.7 Classificazione della letteratura

La seguente tabella riassume la letteratura esistente sull'effetto Bullwhip proponendo la stessa classificazione usata nel presente capitolo.

Obiettivo del paper	Paper	Osservazioni
Prima concettualizzazione dell'effetto Bullwhip	Forrester (1961)	L'interazione di flusso informativo, flusso finanziario e flusso fisico tra gli attori all'interno della SC porta a ritardi, oscillazioni ed amplificazioni nei flussi di informazioni e dei prodotti.
Beer game	Sterman (1989) [75]	Decision makers e manager compiono errori sistematici nel percepire i cambiamenti del mondo in cui operano (cicli di feed-back, ritardi temporali,..)
Quantificazione dell'effetto BW (i paper studiano principalmente una SC formata da un unico retailer ed un unico supplier; non viene considerato il caso ci siano N retailers, "pooling effects")	Chen (2000) [14]	
	Chen (1999)	Quantifica l'effetto BW risultante dalla diversa politica di previsione della domanda: media mobile, exponential smoothing e altri metodi di previsione.
	Dejonckheere (2003)	
	Kahn (1987)	
	Lee (1997 a,b) [53][54]	
	Metters (1997)	
	Zhou and Disney (2006)	
Analisi ed identificazione delle cause dell'effetto BW	Geary (2006)	
	Cheung and Zhang (1999)	Studiano l'impatto di una politica di cancellazione degli ordini (shortage gaming)
	Chen (1999)	Pone il focus sulla previsione della domanda
	Graves (1999)	
	Cachon and Lariviere (1999)	Come la scelta del meccanismo di allocazione influenza le azioni del retailer e le performance della SC (shortage gaming)
	Lee (1997 a,b)	Identificate 4 cause principali: previsioni, lotti, fluttuazioni di prezzo, razionamento.
	Metters (1997)	
	Nienhaus (2006)	
Paper riportanti casi in cui si è manifestato l'effetto BW	Cachon (2005)	
	Lee (1997a)	
Paper in cui vengono illustrati metodi per ridurre l'effetto BW	Carlsson and Filler (2001)	Utilizzo di metodi di previsione che riducano la variabilità.
	Cachon and Fisher (2000)	Studiano il caso della SC nel caso di più retailers e dimostrano che la condivisione di informazioni è maggiormente utile per accelerare il flusso di materiali ed informazioni lungo la SC che per l'IS.
	Lee (1997 a)	Vengono proposti metodi manageriali come la concentrazione delle informazioni relative alla domanda in un unico punto all'interno della SC.

	Chen (1999)	
	Dejonckheere (2003)	
	Disney and Towill (2003)	
	Ingalls (2005)	
	Mason-Jones and Towill (2000)	
	Moyaux(2007)	
Lavori in cui si è simulato il comportamento del sistema	Disney and Towill (2003)	
	Ingalls (2005)	
	Makajic-Nikolic (2004)	
	Nienhaus (2006)	
	Wangphanich(2009) [88]	Costruzione di una simulazione per testare diverse politiche di IS in una supply chain multi-stadio.

Tabella 6: Classificazione letteratura Effetto Bullwhip

CAPITOLO 3

Applicazione dell'Information Sharing (IS) ad una Supply Chain

L'Information Sharing (IS), ossia la condivisione di informazioni fra i vari stadi della supply chain, è riconosciuta essere da molti autori il principale strumento utile a ridurre la variabilità della domanda all'interno di una supply chain.

In letteratura si trovano molti autori che dopo aver dimostrato che l'IS porta del valore, quantificato come un miglioramento di performance della supply chain stessa, hanno cercato di quantificare i suoi benefici attraverso la costruzione di modelli di confronto tra una situazione senza condivisione di informazioni ed una situazione in cui le informazioni sono condivise tra i vari attori.

Le direzioni di analisi si possono riassumere nei seguenti punti:

- a. quali sono le ipotesi alla base del modello di confronto e quali conseguenze ci sono se si varia un'ipotesi;
- b. quali sono le informazioni che vengono condivise tra i vari attori lungo la supply chain e per quale fine vengono utilizzate tali informazioni;
- c. come viene quantificato il beneficio derivante dall'introduzione di IS e quali variabili ne influenzano l'entità.

Nella larga maggioranza degli articoli analizzati ([80],[14],[98],[55],[8][56], [96], [73], [86], [36], [21], [100], [67], [27], [24], [88]) la condivisione di informazioni ha sempre un impatto positivo sulle performance della supply chain. Emerge in via generale che, a parità di altre variabili di confronto, l'utilizzo di IS porta ad una riduzione dell'effetto BW in qualunque configurazione di supply chain.

Dall'analisi effettuata emerge in modo chiaro che una supply chain per essere efficiente deve essere gestita o da un attore dominante che detta le regole per tutti gli stadi ed ha visibilità su tutte le informazioni oppure, in sua assenza (si tratta del caso più comune di supply chain decentralizzata), è necessaria una qualche forma di condivisione delle informazioni. La definizione di accordi di partnership è un ulteriore passo verso un'integrazione ancora maggiore che pone però le basi sempre sulla condivisione di informazioni.

3.1 Variabili che caratterizzano lo scambio di informazioni

3.1.1 Tipologia di informazioni scambiate

Nello sviluppo del modello di confronto tra diverse politiche di IS, permane in letteratura il problema di dare una classificazione e struttura allo scambio informativo tra i vari stadi.

Zhao, Xie e Zhang in [98] propongono di classificare l'IS in funzione della tempistica dello scambio (in quale momento temporale le informazioni sono condivise) e la tipologia di informazioni condivise.

Liu e Kumar in [59] enumerano le informazioni che si possono potenzialmente scambiare all'interno di una supply chain:

- stato delle scorte
- informazioni sulla produzione
- piani di produzione
- ordini
- informazioni sulla modalità di gestione della produzione

Lee e Whang in [53] elencano invece come possibili informazioni oggetto di scambio:

- stato delle scorte
- piani di produzione
- previsioni della domanda
- stato di avanzamento degli ordini

Per ogni fonte informativa, identificano poi anche la tipologia di flusso che la caratterizza: flusso bidirezionale per stato delle scorte e piani di produzione; flusso monodirezionale da valle a monte per previsioni di domanda e vendite ed infine flusso monodirezionale da monte a valle per stato di avanzamento degli ordini.

Zha e Ding in [97] allargano il range delle informazioni condivisibili, enumerando oltre alle già citate stato delle scorte, dati sulle vendite, previsioni sulle vendite ed informazioni sullo stato degli ordini, anche:

- knowhow sui prodotti o processi
- informazioni relative a nuovi prodotti che il manufacturer vuole lanciare

Tutti gli autori menzionati concordano nell'asserire che una condivisione di tutte le informazioni elaborate ad ogni stadio non sia efficace. Kaipia e Hartiala in [45] sottolineano che dietro ogni scambio di informazioni è presente un costo che non deve essere dimenticato: la condivisione di tutte le possibili informazioni può non aggiungere valore per gli altri stadi oppure può richiedere un investimento superiore al beneficio che se ne potrebbe ottenere.

3.1.2 Architettura e flussi informativi

Kaipia e Hartiala in [45] segnalano l'importanza dello studio dell'architettura dei flussi informativi nella

supply chain per quantificare in modo corretto i costi ad essa associati. In particolare, i due autori puntualizzano due variabili: di quanti stadi è composta la supply chain e a quanti attori per ogni stadio devono essere recapitate le informazioni condivise.

Nel già citato articolo [59], vengono proposti tre diversi modelli che descrivono la topologia dei flussi informativi: schema sequenziale se l'informazione si propaga in modo lineare tra i vari attori della supply chain, scambio reciproco se a due a due tutti gli attori scambiano con il partner le informazioni di propria competenza ed infine modello ad hub se nella supply chain è presente una sorta di controllore super partes (per esempio un attore importante, quale può essere la GDO) che si occupa di scambiare le informazioni lungo tutta la supply chain.

In aggiunta a questo criterio topologico, i flussi informativi si possono classificare anche in relazione a:

- direzione dello scambio (verso monte o verso valle)
- Sender e receiver coinvolti nello scambio
- Frequenza dello scambio di informazioni
- Scambio real time o lottizzato: le informazioni vengono scambiate una volta prodotte o con uno scambio si trasmettono più informazioni prodotte in momenti temporali diversi
- Livello di aggregazione delle informazioni trasmesse (livello di granularità delle informazioni trasmesse)

Altri autori propongono diversi parametri di valutazione dell'IS. Per esempio in [99] vengono proposti: il supporto di tecnologie per la condivisione di informazioni, la qualità dell'informazione trasmessa, la tipologia di informazioni che viene trasmessa verso monte e verso valle.

Un'ulteriore caratterizzazione dei flussi informativi è quella presentata da Zha e Ding in [97], dove vengono identificati tre modi per trasferire le informazioni:

- a. Trasferimento diretto delle informazioni
- b. Presenza di un terzo attore che cura gli aspetti legati alla condivisione
- c. Creazione di un'interfaccia web personalizzata che aiuti ogni attore nella condivisione.

Tale classificazione mette in luce un problema sottovalutato da molti autori: la standardizzazione delle informazioni condivise. Non va infatti dato per acquisito il fatto che retailer e manufacturer usino la stessa terminologia e le stesse regole nel descrivere i vari tipi di informazioni che essi detengono. Una stessa tipologia di merce, così come uno stesso parametro potrebbero essere modellizzati, da attori diversi, con una simbologia e con delle convenzioni diverse. Lo scambio informativo richiede quindi come prerequisito l'integrazione dei sistemi informativi aziendali tra i vari attori della catena.

Kim, Lee, Jung e Do in [47]⁴ asseriscono che un'ottima condivisione di informazioni richiede tre tipi di

⁴ Si veda l'articolo per approfondire la struttura di informazioni che deve essere creata per permettere la condivisione di informazioni lungo una supply chain.

integrazione tra i diversi partners:

- Integrazione dei dati
- Integrazione delle applicazioni che devono tra loro comunicare per lo scambio dei dati
- Integrazione tra i processi: ogni processo interno ad un'organizzazione deve interagire con i processi esterni di tutti gli attori presente nella supply chain.

Davenport in un celebre articolo dal titolo «Putting the enterprise into the enterprise system» [25] apparso sulla HBR esplicita in modo chiaro il problema dell'introduzione di un sistema informativo (Enterprise System) da parte di un'organizzazione. L'autore sostiene che le organizzazioni sono spinte ad introdurre un ES vedendo l'esempio dei loro competitors e seguendo la grande pubblicità condotta dai principali vendors quali SAP ed Oracle. L'introduzione di un ES (su modello SAP R/3) non porta però solo all'eliminazione di tutte le isole di dati con l'obiettivo di creare un unico database integrato ed accessibile da tutte le funzioni aziendali, ma comporta anche una riprogettazione dei principali processi gestionali ed organizzativi. Tale osservazione trova riscontro nel fatto che il successo nell'implementazione di un ES deve essere accompagnato da un forte commitment da parte del management nella revisione dei processi interni all'organizzazione. Nel complesso si vuole qui sottolineare come la condivisione di informazioni tra diverse business units sia un processo lungo e costoso, che debba essere intrapreso solo dopo aver valutato costi, tempi e l'impatto del progetto sui differenziali competitivi dell'azienda. Davenport sottolinea infatti che l'introduzione di un ES porta ad una standardizzazione dei processi coinvolti nel processo tra tutte le organizzazioni che implementano quel modulo: cosa succede se si standardizza un processo su cui un'organizzazione fonda un proprio vantaggio competitivo?

3.2 Come vengono usate le informazioni condivise

3.2.1 Aree di impatto dell'IS

La qualificazione delle aree in cui impatta l'introduzione di IS ha una rilevanza fondamentale per la successiva quantificazione dei vantaggi derivanti dallo scambio informativo.

La grande maggioranza degli articoli analizzati riporta come principale area di miglioramento il processo di pianificazione della produzione e di approvvigionamento dei materiali, tradizionalmente gestito dal Manufacturing Resource Planning (MRP). La quantificazione dei vantaggi legata al miglioramento dei piani di produzione è relativamente facile in quanto si può dimostrare analiticamente che se il manufacturer utilizza nel processo di previsione della domanda i dati relativi alla domanda del cliente finale, invece che gli ordini trasmessi dal retailer, si ha un risparmio dei costi associati al piano di produzione [55].

Altri autori hanno identificato ulteriori aree di miglioramento.

McCullen e Towill in [60] sostengono che dallo studio empirico da loro condotto l'IS porta dei cambiamenti

nelle seguenti direzioni:

- vengono evitati inutili spostamenti delle scorte
- gli ordini del cliente arrivano direttamente al magazzino portando ad una riduzione dei costi e dei tempi amministrativi di gestione dell'ordine
- la funzione logistica diventa responsabile delle scorte (attraverso l'introduzione di tecniche di VMI)
- la funzione logistica ha la possibilità di distinguere tra ordini dei consumatori, previsioni della domanda e scorte di sicurezza.

Nel complesso quindi, oltre alla funzione produzione, gli autori identificano dei miglioramenti anche nella funzione logistica e nei processi di supporto amministrativo.

Francalanci, Bracchi e Motta in [34] aggregano i benefici derivanti dall'introduzione di maggiori informazioni all'interno di un'organizzazione nelle seguenti tre categorie:

- riduzione delle scorte a magazzino conseguenti ad una migliore gestione del processo produttivo;
- riduzione dei fermi macchina grazie a più veloci cicli di pianificazione della produzione
- risparmio sui costi di trasporto per una migliore pianificazione aggregata della logistica.

A seguito di tale enumerazione si comincia ad intravedere la difficoltà nel quantificare alcuni benefici di evidente natura intangibile.

Da uno studio della letteratura è emerso inoltre che le organizzazioni che hanno accompagnato l'introduzione di un modulo di ES con una riprogettazione dei processi gestionali hanno ottenuto significativi vantaggi dall'intervento stesso. Vantaggi che vanno dalla riduzione di personale amministrativo per l'automazione delle procedure di data entry (prima svolte manualmente) all'apertura di nuovi segmenti di business (per esempio, l'introduzione di un sistema informativo accompagnato con la creazione di un Web Information System ha permesso a molte aziende di aprire il canale di vendita web). All'interno di una singola organizzazione la creazione di un database unico ed integrato ha permesso poi la forte riduzione dei lead time di processo e la possibilità da parte dei clienti di monitorare in ogni istante lo stato di evasione del proprio ordine. Tale trasformazione ha coinvolto anche le società erogatrici di servizi che hanno visto nella creazione di un unico database un modo per rispondere con maggior efficacia alle richieste dei clienti. In particolare, la tecnologia informatica ha abilitato la possibilità di fare marketing one to one e quindi di rispondere meglio alle richieste dei clienti. Oltre a ciò si aggiunge anche una riduzione dei tempi di processamento degli ordini per l'eliminazione di passaggi manuali di inserimento di dati.

È quindi inevitabile sostenere che l'introduzione di ES abbia impattato in tutte le aree all'interno di un'azienda.

In aggiunta a tali considerazioni, considerando l'obiettivo del presente lavoro (costruzione di un modello di

confronto tra approccio lean ed Information Sharing nella risoluzione dell'effetto Bullwhip), si pone un problema di carattere maggiormente pratico che non è stato analizzato in letteratura. Gli autori analizzati, infatti, pur illustrando quali sono le aree di impatto dell'Information Sharing (produzione, logistica, funzioni amministrative, ..), non forniscono una descrizione dettagliata su come vengono usate operativamente tali informazioni. In altre parole, le informazioni condivise come vengono utilizzate nella formulazione di un MRP? E, cosa accade concretamente: un'organizzazione compila il MRP per tutta la catena oppure ogni organizzazione produce il suo MRP con dati condivisi?

La causa della trascuratezza di tale interrogativo risiede nel fatto che la maggior parte dei modelli presenti in letteratura ipotizzano una supply chain formata da soli due stadi (retail + manufacturer). Non si pone quindi il problema di come si debba strutturare la supply chain e come le informazioni condivise vengano operativamente usate.

Anche se non trattato direttamente è possibile però svolgere comunque alcune considerazioni basandosi sull'analisi dei modelli formulati dagli autori analizzati. Tranne alcuni casi in cui viene identificato esplicitamente un autore della catena che "dirige" tutti gli altri attori, il caso più frequente è quello in cui ogni organizzazione all'interno della supply chain compila il proprio MRP.

3.2.2 I drivers che influenzano maggiormente sulle prestazioni dell'IS

Zhao, Xie e Zhang in [98] identificano nel livello di utilizzo della capacità produttiva del supplier l'entità del beneficio che si potrebbe avere in caso di condivisione di informazioni. Se la capacità produttiva è prossima al livello di saturazione il beneficio derivante da IS è inferiore rispetto al caso in cui sia presente capacità produttiva insatura. Ciò si spiega per il fatto che nel caso di capacità produttiva insatura il supplier avendo a disposizione maggiori informazioni è in grado di pianificare meglio la produzione. Nell'altro caso anche in presenza di IS, la capacità produttiva costituisce un vincolo maggiore.

Li, Yan, Wang e Xia dall'analisi di 12 diversi modelli di IS individuano come fattori influenzanti l'IS:

- la varianza della domanda
- la capacità del fornitore
- la grandezza del lotto di ordinazione
- l'entità dei costi della funzione di domanda
- i lead time del processo

Smaros [74] puntualizza invece che la condivisione di informazioni porta sì dei benefici, ma l'entità di tali benefici dipende da altri parametri quali la frequenza di riordino e la durata del ciclo di produzione.

A conclusione della presente discussione circa le variabili che hanno un impatto rilevante nella definizione

dei vantaggi dell'IS si riporta lo studio condotto da Raghunathan in [71], in cui viene esemplificato un caso in cui la presenza di un'ipotesi può annullare tutti i benefici derivanti dall'IS.

L'autore dimostra infatti per via analitica e tramite simulazioni che l'ipotesi formulata da Lee, Tand e So in [55 – ossia l'assunzione che in assenza di condivisione di informazioni il manufacturer usi per prevedere la domanda del retailer solo il dato relativo all'ordine dell'ultimo periodo temporale e non la serie storica di tutti gli ordini - porta alla conclusione che l'IS non porta alcun beneficio aggiuntivo rispetto alla situazione iniziale.

Se, infatti, si modella la funzione di previsione della domanda con l'espressione:

$$D_t = d + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t$$

(in cui i parametri assumono il solito significato: $-1 < \rho < 1$ e ε_t è una variabile distribuita come una normale con media nulla e varianza σ^2)

l'autore dimostra che attraverso lo studio della serie storica dei dati, il manufacturer è in grado di prevedere con certezza il prossimo ordine del retailer e quindi una condivisione di informazioni riguardante gli ordini del retailer risulta totalmente priva di vantaggi.

L'IS porterebbe dei benefici solo nel caso in cui i dati passati non contengano sufficienti informazioni per stimare i parametri di previsione del modello. Per esempio, la condivisione di informazioni risulterebbe utile se la funzione di domanda fosse la seguente:

$$D_t = d + \rho D_{t-1} + \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t$$

dove X rappresenta un'azione di promozione, sconto o pubblicità intrapresa dal retailer nel periodo in esame e che necessariamente influenza il livello di domanda (e che non può essere prevista dallo studio delle serie storiche).

3.3 Modelli di confronto e valutazione di diverse politiche di IS

In letteratura molti autori hanno proposto diversi modelli di confronto per cercare di quantificare i benefici dell'Information Sharing. Li, Yan, Wang e Xia in [56] propongono un confronto tra 12 modelli diversi di IS con il fine di individuare diversi modi di quantificazione dei benefici e quali variabili impattano sull'entità di tali benefici. Partendo da tale lavoro, nelle sezioni seguenti verranno confrontati più modelli di Information Sharing con i seguenti obiettivi:

- individuare le informazioni che vengono scambiate e come queste vengono utilizzate
- individuare la funzione obiettivo utilizzata per confrontare due strategie di gestione della supply chain

- identificare le principali ipotesi alla base di ogni modello

Sulla base di tali osservazioni nei prossimi capitoli verrà quindi proposto una supply chain con Information Sharing da utilizzare nel confronto con la supply chain gestita con la filosofia lean.

3.3.1 Review della letteratura

In letteratura sono presenti sia modelli di stima qualitativa, che si limitano a identificare le variabili su cui impatta l'IS, sia modelli maggiormente quantitativi che concludono il confronto tra due o più scenari di IS con un indicatore numerico.

Una semplice analisi qualitativa dei benefici dell'IS si trova in [96], dove gli autori analizzano tre diverse alternative di utilizzo dell'IS sulla base dei vantaggi portati al retailer e quelli invece portati al manufacturer.

I tre scenari identificati sono:

- Livello 1: le scorte ai diversi stadi della SC sono controllate in modo autonomo. Non c'è alcuna condivisione di informazioni. Tutti gli attori decidono i loro piani e livello delle scorte in funzione delle loro previsioni
- Livello 2: condivisione delle informazioni relative agli ordini del cliente finale
- Livello 3: "controllo centralizzato", condivisione delle informazioni relative allo stato delle scorte (utilizzo di pratiche come il VMI).

I risultati a cui giungono gli autori si possono riassumere nella seguente tabella:

Politica di condivisione delle informazioni	Informazione condivisa	Vantaggi per il retailer	Vantaggi per il manufacturer
1	NO	/	/
2	Domanda cliente	No benefits	Riduzione LT (VMI)
3	Stato delle scorte	Riduzione LT (riduce la variabilità)	Riduzione LT

Tabella 7: Scenari di confronto per lo studio dell'Information Sharing

La soluzione 3 viene identificata essere la soluzione Pareto efficiente del modello.

Altri articoli partono invece dallo studio della funzione utilizzata da ogni stadio della supply chain per prevedere la domanda del rispettivo cliente. Si confrontano quindi due o più scenari, di cui almeno uno corrispondente alla situazione in cui non c'è condivisione di informazione. In generale, è sempre interessante calcolare media e deviazione standard della domanda per gli stadi a monte. Per legare tali scenari alle performance della supply chain, molti autori procedono nel calcolo dei costi associati ad ogni politica, composti generalmente da costi stock-out, costi di immagazzinamento e lost sales. La valutazione dell'entità e della deviazione standard delle scorte rispetto ad un livello ottimo è un ulteriore indicatore

usato frequentemente nel processo di confronto.

Un modello interessante è presente in [30], dove gli autori confrontano una supply chain gestita tramite Vendor Managed Inventory (VMI⁵) ed una supply chain senza condivisione di informazioni.

Il metodo di confronto utilizzato è la simulazione e gli indicatori usati per confrontare i due scenari sono la varianza degli ordini e le performance dello stock (media e varianza rispetto ad una situazione ottimale). Viene verificato dai due autori, Disney e Towill, che l'introduzione del sistema di VMI ha due importanti conseguenze: elimina uno stadio del processo decisionale e riduce il ritardo nella trasmissione di informazioni.

Per completezza si cita anche l'articolo di Ganesh «The value of information sharing in a multi-product supply chain with product substitution» [35], dove gli autori considerano una supply chain composta da un retailer e da un supplier che si scambiano tra di loro N prodotti fra loro complementari. A differenza delle tradizionali catene monoprodotta, l'aggiunta di questa variante porta ad una diminuzione dell'importanza dell'information sharing in ragione della complementarietà esistente tra i prodotti. Questa caratteristica è dovuta al fatto che, poiché i prodotti sono fra loro complementari, diminuisce il costo del loro mantenimento a scorta così come il costo che si incorre in caso di stock-out. Diminuendo quindi il margine che si perde in caso di mancata vendita e l'ammontare del capitale circolante netto, diminuisce il vantaggio che si potrebbe ottenere da una condivisione delle informazioni lungo la catena.

Di seguito si propone una classificazione degli articoli analizzati in funzione delle modalità con cui vengono utilizzate le informazioni all'interno del modello di supply chain.

⁵ "VMI is a supply chain strategy where the vendor or supplier is given the responsibility of managing the customer's stock"

Modello		Logica del modello	Note
Schouten-Eijs-Heuts (1994)	Modello analitico		Uso del calcolo delle probabilità
Zipkin (1995)	Modello analitico	<p>Se il supplier ha la sua capacità produttiva allocata e arriva un nuovo ordine di produzione sono possibili due strade per definire il prossimo articolo da produrre: FCFS (First Come First Serve) e LQ (longest queue). Con la prima politica gli ordini vengono mandati in produzione nello stesso ordine in cui arrivano. Con una politica di tipo LQ invece il supplier produce il prodotto di cui il retailer detiene la minore quantità di scorte (quindi è necessaria la conoscenza dello stato delle scorte del retailer). La differenza dei costi generati tra queste due politiche può essere attribuita al vantaggio portato dall'IS.</p> <p>Le due politiche vengono confrontate rispettivamente al seguente indicatore: viene fatta la somma su tutti i prodotti delle deviazioni standard del numero di ordini di ciascun prodotto presenti in coda.</p>	
Bouland-Powell-Pyke (1996)	Modello analitico	<p>Viene dimostrato come il livello target delle scorte che deve tenere il supplier decresca in caso di condivisione delle informazioni.</p> <p>Nel caso di assenza di IS, il livello delle scorte è dato dalla formula: $S = uLT + k\sigma\sqrt{LT}$ dove il primo addendo rappresenta le scorte di ciclo ed il secondo addendo le scorte di sicurezza. Nel caso di condivisione di informazioni la formula assume l'espressione: $S = uLT + \Delta + k\sigma\sqrt{LT - y}$ dove Δ rappresenta la differenza tra la domanda attuale e la domanda media ed è osservabile dal supplier. Nella definizione delle scorte di sicurezza il supplier non considera il periodo y che ha osservato e quindi le scorte di sicurezza sono valutate nel periodo $LT-y$. Confrontando le due politiche emerge che le scorte sono inferiori in presenza di IS.</p>	
Lee-So-Tang (2000) [55]	Modello analitico	<p>Analisi della politica di riordino del retailer e del manufacturer e determinazione dei punti ottimali di riordino in due scenari (senza condivisione di informazioni e con condivisione). Ottenuti quindi i valori medi e relative deviazioni standard degli ordini inoltrati da supplier e retailer si valuta la riduzione delle scorte e riduzione dei costi totali nel caso di utilizzo di IS. La condivisione di informazioni serve per stimare il parametro ε presente nella funzione di domanda $D_t = d + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t$.</p> <p>Vengono poi fatti degli esempi numerici.</p> <p>Poiché la politica di IS avvantaggia principalmente il supplier viene proposto di ridurre i LT di consegna presso il retailer. Dalla riduzione dei LT risulta in termini di costi un beneficio maggiore per il retailer.</p>	<p>Ipotesi: nessun costi di inoltro dell'ordine. Vengono valutati i costi connessi al mantenimento delle scorte ed associati a stock-out.</p> <p>Se il manufacturer pratica uno studio dei dati storici di domanda del retailer allora il beneficio nell'uso di IS diminuisce [71]</p> <p>Una riduzione della grandezza dei lotti di ordinazione diminuisce i benefici dell'IS [</p>
Graves (1999) [38]	Simulazione	Il beneficio derivante dall'IS è limitato al caso in cui non sia possibile stimare il trend della domanda futura dall'analisi dei dati storici.	
Chen (1998)		Confronto tra due politiche di gestione delle scorte: in entrambe le politiche è fissata la quantità Q del lotto di riordino, ciò che varia è il livello di riordino. La prima politica prevede una gestione delle scorte con il metodo dell'Echelon Reorder Point (e quindi è necessaria una visibilità dello stato delle scorte di tutta la SC); la seconda politica è invece basata sull'Installation Reorder Points. La differenza di costi tra le sue SC è attribuita all'IS.	
Cachon-Fisher (2000) [8]	Simulazione		
Gavirneni-Kapuscinski-Tayur	Simulazione		

(1999)			
Gavirneni (2001)	Simulazione	Viene cercata la politica ottimale di gestione delle scorte in 3 scenari: (a) no IS; (b) condivisione del livello delle scorte; (c) possibile scambio di scorte tra i diversi retailer.	
Yu-Yan-Cheng (2001) [96]	Simulazione	Vengono prima definiti in modo analitico le politiche di riordino ottimali, poi tramite simulazioni vengono valutati i costi relativi alle scorte in 3 scenari: (1) no IS; (2) condivisione dei dati di domanda; (3) VMI. Non viene fornita un'analisi quantitativa dei 3 scenari.	SC formata da due membri (1 retailer ed 1 manufacturer).
Zhao, Xie, Zhang (2002) [98]	Simulazione	Viene costruito un modello di simulazione per modellare le decisioni di produzione del supplier e la politica di gestione delle scorte del retailer. Si fa variare la funzione di domanda e la disponibilità di capacità del supplier.	SC formata da 1 supplier e 4 retailer (1 prodotto). Altre ipotesi usate: media mobile per stimare la domanda futura, EOQ per il riordino, durata del ciclo di programmazione è 4 volte il ciclo di replenishment.
[11]	Simulazione	Si parte dalla constatazione che in letteratura la maggior parte dei modelli è costituita da una SC con due stadi ed i lead time sono deterministici. Si costruisce quindi una SC con 4 stadi e con LT distribuiti secondo una distribuzione gamma. Vengono poi testati vari scenari di condivisione delle informazioni: <ol style="list-style-type: none"> 1. Si conosce la distribuzione della domanda 2. Si conosce la distribuzione della domanda e dei lead time La condivisione delle informazioni va ad impattare sui livelli di riordino con la solita formula sulle scorte di sicurezza (dipendenza dalla varianza della domanda e dalla varianza dei LT). La conclusione è che la full IS porta ad una riduzione della varianza degli ordini lungo la SC del 50%.	
[14] Chen (2000)	Modello analitico	Obiettivo del paper è dimostrare come una politica centralizzata di IS porti ad una riduzione, ma non ad un'eliminazione dell'effetto BW. Ogni stadio della SC a partire dai dati storici elabora le sue previsioni. In caso di IS tutti gli stadi usano per prevedere gli stessi dati (domanda finale del cliente), la cui media e varianza non è però noto, ma stimata. Da qui la presenza di variabilità lungo la SC. L'applicazione dell'IS consiste in previsioni con dati "non amplificati".	SC a 2 stadi. Poi i risultati sono estesi ad una SC con N stadi
[27] Dejonckheere (2004)	Modello analitico (teoria sistemi di controllo) + simulazione	Confrontate diverse politiche di previsione della domanda: viene misurato il loro diverso effetto sull'amplificazione degli ordini. L'applicazione dell'IS consiste in previsioni con dati "non amplificati".	SC a 4 stadi

Tabella 8: Confronto tra modelli che usano l'Information Sharing nella gestione di una supply chain

Di seguito invece viene proposta una mappatura di diversi modelli in funzione della politica di gestione delle scorte, della funzione di domanda e dell'utilizzo dei lead time tra i diversi stadi che compongono la supply chain.

Modello	Politica di gestione delle scorte	Funzione di domanda	Lead Time
Schouten-Eijs-Heuts (1994)	Il retailer riordina in funzione del LT	Variabili indipendenti, distribuzione normale	LT per il retailer
Zipkin (1995)	Il riordino è effettuato sulla base di un livello di scorte target	Distribuzione di Poisson	LT per il retailer
Bouland-Powell-Pyke (1996)	Riordino su livello obiettivo, ma senza una specifica cadenza temporale	Indipendenti, distribuzione normale	LT per il retailer
Lee-So-Tang (2000) [55]	Riordino su livello obiettivo	Autoregressive process	LT per entrambi retailer e supplier
Graves (1999)	Riordino su livello obiettivo per ogni stazione della supply chain		LT per ogni stazione
Chen (1998)	Riordino su livello obiettivo	Distribuzione di Poisson	LT per ogni stazione
Cachon-Fisher (2000) [8]	Riordino su livello obiettivo	Indipendenti, distribuzione normale	LT per entrambi retailer e supplier
Moinzadeh (2002)	Riordino su livello obiettivo	Indipendenti, distribuzione di Poisson	Tempo random per il retailer, tempo fisso per il supplier
Gavirneni-Kapuscinski-Tayur (1999)	Riordino su livello obiettivo	Indipendenti con distribuzione nota	LT =0
Gavirneni (2001)	Riordino su livello obiettivo	Indipendenti, distribuzione normale	LT =0
Kulp (2000)	Riordino su livello obiettivo		LT =0
D'Amours-Montreuil-Lefrançois-Soumis (1999)			LT per ogni stazione

Tabella 9: Confronto tra le ipotesi alla base dei principali modelli nello studio dell'IS

3.3.1.1 VMI, QR, cross docking, Periodic Flexibility (PF)

Di seguito viene data la definizione delle principali politiche di Information Sharing reperibili in letteratura. Con il termine **Vendor Managed Inventory** si intende: «*A means of optimizing Supply Chain performance in which the manufacturer is responsible for maintaining the distributor's inventory levels. The manufacturer has access to the distributor's inventory data and is responsible for generating purchase orders*⁶».

Cross Docking, «*The term cross docking refers to moving product from a manufacturing plant and delivers it directly to the customer with little or no material handling in between. Cross docking not only reduces material handling, but also reduces the need to store the products in the warehouse*⁷».

Quick Response Manufacturing «*is a companywide strategy to cut lead times in all phases of manufacturing and office operations. It can bring your products to market more quickly and secure your business prospects by helping you compete in a rapidly changing manufacturing arena. It will increase profitability by reducing non-value-added time, cutting inventory and increasing return on investment*⁸».

Con il termine **Periodic Flexibility (PF)** ci si riferisce ad una modalità di gestione della supply chain in cui il retailer ha la possibilità di ordinare il quantitativo di merce che vuole solo durante un periodo del ciclo, mentre negli altri periodi è rifornito dal supplier con un ammontare fisso di merce. Tale pratica, riducendo il potere decisionale del retailer, permette al supplier di gestire in modo efficace le scorte ottenendo un beneficio in termini monetari. Tale approccio, come è intuibile, si applica specificatamente nel caso in cui i costi che deve sostenere il supplier (costi di mantenimento a scorta e costi di backlog) sono maggiori dei rispettivi costi sostenuti dal retailer. In [101], Zhu, Gavirneni e Kapuscinski, attraverso delle simulazioni, stimano che questa politica di gestione della supply chain può portare un risparmio in termini di costi complessivi della supply chain pari a circa l'11%.

3.3.2 Quantificazione dei benefici

La quantificazione dei benefici dell'IS si rende necessaria in ragione del fatto che in assenza di un attore dominante all'interno della supply chain, si deve dimostrare in modo il più possibile quantitativo quali sono i vantaggi che l'IS potrebbe avere sulle performance di un'organizzazione.

La condivisione di informazioni è stata introdotta all'interno delle supply chain con il fine di ridurre la variabilità della domanda. La valutazione dell'efficacia di una strategia di IS può quindi essere ragionevolmente valutata calcolando il valore di indicatori caratteristici dell'effetto Bullwhip (dal

⁶ Dalla definizione data sul sito web www.vendormanagedinventory.com

⁷ Da http://logistics.about.com/od/tacticalsupplychain/a/cross_dock.htm

⁸ Da <http://www.engr.wisc.edu/> (The College of Engineering)

tradizionale rapporto tra varianza degli ordini e varianza della domanda ad indicatori riguardanti lo stato delle scorte per ogni stadio della supply chain).

McCullen e Towill in [60] partendo dallo studio di un'organizzazione che ha effettuato un intervento di riprogettazione della supply chain volto ad aumentare la visibilità tra i vari stadi, concludono che l'IS ed il conseguente abbattimento dei lead time hanno portato ad un vantaggio di costo dell'ordine del 36% rispetto alla situazione iniziale. Di seguito si propone una dettagliata analisi dei vantaggi ottenibili tramite l'IS a partire dall'analisi delle simulazioni reperibili in letteratura. Per ogni modello è indicata anche la configurazione di supply chain usata, la tipologia di informazioni condivise, la funzione di domanda usata nel modello, la prospettiva di valutazione dei costi e le variabili che impattano sull'ammontare dei risparmi ottenibili.

Modello	Funzione Obiettivo	Configurazione supply chain	Informazione condivisa	Risparmio di costi	Prospettiva di valutazione dei benefici	Funzione di domanda	Variabili che impattano sull'entità dell'IS
Schouten-Eijs-Heuts (1994)	Minimizzazione dei costi di mantenimento a scorta del retailer	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, n retailer)	Stato della produzione del supplier			Variabili indipendenti, distribuzione normale	Varianza(-)
Zipkin (1995)	Minimizzazione dei costi relativi alle scorte del supplier	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, n retailer)	Livello delle scorte			Distribuzione di Poisson	
Bouland-Powell-Pyke (1996)	Minimizzazione della somma delle scorte di retailer e supplier	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, 1 retailer)	Domanda	Riduzione delle scorte per il supplier pari al 62%	Supplier	Indipendenti, distribuzione normale	Varianza(+)
Lee-So-Tang (2000) [55]	Minimizzazione delle scorte per il supplier	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, 1 retailer)	Domanda	Riduzione dei costi per il supplier per un valore del 23%	Supplier	Autoregressive process	Varianza(+) Lead Time (+) Correlazione domanda nel tempo (+)
Graves (1999)	Minimizzazione delle scorte per ogni stazione della supply chain	n stazioni, 1 prodotto	Domanda		Supplier		
Chen (1998)	Minimizzazione delle scorte su un orizzonte di lungo periodo	n stazioni, 1 prodotto	Domanda e livello delle scorte	Riduzione dei costi della SC con una media del 1,75% ed un massimo del 9%	SC	Distribuzione di Poisson	Varianza(-) Lead time (+)
Cachon-Fisher (2000) [8]	Minimizzazione delle scorte per tutta la supply chain	2 tipologie di stazioni (1 prodotto, 1 supplier, n retailer)	Domanda e livello delle scorte	Riduzione dei costi della SC dal 2,2 al 12,1%	SC	Indipendenti, distribuzione normale	
Moinzadeh (2002)	Minimizzazione delle scorte per tutta la supply chain	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, M retailer)	Domanda e livello delle scorte		SC	Indipendenti, distribuzione di Poisson	Lead time(+)
Gavirneni-Kapuscinski-Tayur (1999)	Minimizzazione delle scorte per il supplier	1 prodotto, 1 supplier, 1 retailer	Domanda	Riduzione dei costi per il supplier per un valore del 35%	Supplier	Indipendenti con distribuzione nota	Varianza(-) Capacità del supplier (+) Costi di backlog (penalty) (+)

							Differenza tra punto di riordino e livello target (-)
Gavirneni (2001)	Minimizzazione dei costi per il retailer	2 tipologie di stazioni (1 prodotto, 1 supplier, n retailer)	Livello delle scorte			Indipendenti, distribuzione normale	Varianza(+) Capacità del supplier (-)
Kulp (2000)	Massimizzazione del profitto per il supplier	2 stazioni (1 prodotto, 1 supplier, 1 retailer)	Domanda	Riduzione del livello delle scorte per il supplier tra il 16 ed il 12% e riduzione dei razionamenti del 12,5%.	Supplier		Varianza(+)
D'Amours-Montreuil-Lefrançois-Soumis (1999)	Minimizzazione del prezzo totale	Network (1 prodotto, aziende di trasporto e di stoccaggio)	Prezzo, tempo, capacità produttiva				
Aviv and Federgruen (1998)				Riduzione compresa tra lo 0 ed il 5%	SC		

Tabella 10: Principali informazioni e struttura delle supply chain usate nei modelli di confronto dell'IS

A queste classiche misure, in letteratura si trovano autori che hanno proposto indicatori diversi maggiormente volti a collegare l'IS con le performance della supply chain.

Zhao, Xie e Zhang in [98], costruendo un modello di supply chain formato da un supplier e molti retailers, propongono i seguenti indicatori.

Total Cost for Retailer (TCR)	costi di ordinazione (comprensivo di costo di trasporto) + costo mantenimento scorte + costo di backlog
Total Cost for Supplier (TCS)	costi di setup + costi di trasporto (per gli ordini in backlog), costo delle scorte + costo di backlog
Total Cost for the entire supply chain (TC)	TCR + TCS – costo backlog pagato dal supplier al retailer. (questo costo viene sottratto perchè si configura solo come un costo interno alla SC)
Service Level of the Supplier (SLS)	percentuale di ordini del retailer che vengono soddisfatti in tempo
Service Level of the Retailer (SLR)	percentuale di ordini del cliente che vengono soddisfatti in tempo dal retailer

Tabella 11: Indicatori di servizio per la valutazione della bontà di una politica di IS

Gli autori propongono quindi una netta separazione tra retailer e supplier nella quantificazione dei benefici e introducono alle classiche misure monetarie due indicatori di livello di servizio. La distinzione tra supplier e retailer porta ad intravedere un ulteriore sviluppo dei modelli di IS, ossia lo studio sulla possibile presenza di comportamenti opportunistici nel processo di scambio informativo e la conseguente proposta di incentivi per favorire lo scambio di informazioni veritiere. In riferimento agli indicatori sopra illustrati, nel paper [98] viene verificata la seguente proposizione: la presenza di IS nella supply chain diminuisce il costo totale TC ed aumenta il livello di servizio.

3.3.3 La distorsione delle informazioni (quale attore all'interno della SC beneficia maggiormente dello scambio informativo)

Zhao, Xie e Zhang nel già citato articolo [98], verificano attraverso lo studio di simulazioni che il vantaggio che si ottiene a seguito della condivisione di informazioni si distribuisce in modo impari tra supplier e retailer: mentre colui che dovrebbe condividere le informazioni è il retailer (che vede direttamente la domanda finale), colui che beneficerebbe maggiormente di tale condivisione sarebbe il supplier. La logica conclusione dello studio da loro condotto è quindi l'asserzione che sia necessario dare degli incentivi al retailer affinché questo sia propenso a condividere le informazioni sulla domanda finale del cliente.

Mishra, Raghunathan e Yue in [63] affrontano in modo esplicito il problema della distorsione delle informazioni lungo una supply chain. Partendo dall'ipotesi che le informazioni condivise servano principalmente ad aumentare la precisione delle previsioni di domanda futura, gli autori mostrano come manufacturer e retailer siano incentivati a distorcere le informazioni in due direzioni opposte con l'obiettivo di massimizzare i loro profitti. Mentre, infatti, il manufacturer beneficia sempre da una politica di

IS, il retailer vede dei vantaggi solo se il valore atteso della domanda prevista è maggiore rispetto al valore elaborato dal manufacturer. Supponiamo che il manufacturer preveda di poter vendere al retailer 100 unità, a seguito di tale assunzione egli elabora i suoi piani di produzione partendo da questa ipotesi. Supponiamo poi che il retailer (per ipotesi unico cliente del manufacturer) stimi invece di vendere 70 unità. In caso di assenza di condivisione di informazioni tra retailer e manufacturer, quest'ultimo (producendo una quantità maggiore) fisserebbe alle merci un prezzo minore rispetto al caso di condivisione di informazioni.

La conclusione a cui si perviene nel citato paper è quindi la necessità, onde evitare l'insorgere di comportamenti opportunistici, di definire preventivamente tra le parti dei contratti in cui viene già definito il prezzo ed il livello di servizio che si deve garantire lungo il successivo rapporto di scambio.

Da questa e da altre osservazioni sembra che sia sempre il retailer che debba condividere informazioni con il supplier, che invece ottiene maggiori vantaggi. L'articolo di Choi, Blocher, and Gavirneni [17] riassume invece alcuni esempi di supply chain presenti in letteratura in cui è il manufacturer che condivide informazioni con il retailer. Gli autori pervengono alla conclusione che tale condivisione di informazioni (da monte a valle) porta un vantaggio massimo quando la supply chain è gestita da un singolo supplier che si prende in carico della gestione delle scorte per tutti gli stadi e quando la domanda finale presenta una bassa variabilità mentre la domanda del supplier ha una rilevante varianza.

3.4 Come realizzare l'IS lungo la supply chain – Best practices

L'introduzione di tecnologie per lo scambio di informazioni viene spesso visto come la risposta e non lo strumento abilitante al miglioramento delle prestazioni di una supply chain [31]. Così come va ricordato che le informazioni non devono essere solo condivise, ma anche usate [45].

Nonostante ciò, la condivisione di informazioni lungo la supply chain sembra sia oggi diventato un imperativo a cui tutte le aziende devono adirire se vogliono rimanere competitive. In un recente White Paper [39] redatto da Hitachi Consulting la collaborazione multiazienda è classificata come uno dei maggiori trend che caratterizzano il mondo odierno. «As supply chains continue to develop and mature, a move toward more intense collaboration between customers and suppliers has occurred. The level of collaboration goes beyond linking information systems to fully integrating business processes and organization structures across companies that comprise the full value chain. The ultimate goal of collaboration is to increase visibility throughout the value chain in an effort to make better management decisions and to ultimately decrease value chain costs [...]». Questo è chiaramente solo un esempio, è sufficiente cercare sul web per convincersi che la condivisione di informazioni è diventata la nuova sfida per le organizzazioni di oggi.

Dall'analisi della letteratura condotta sono emerse alcune linee guida che dovrebbero guidare i managers nella formulazione di una strategia di IS [13⁹]:

- Condividere solo le informazioni che portano ad un aumento delle performance della supply chain
- Semplificare, sincronizzare e stabilizzare il processi di planning
- Usare una combinazione di diverse fonti di domanda per stabilizzare il processo
- Cercare di instaurare e sfruttare partnership con i clienti
- Capire quali sono i bisogni fondamentali di informazione da parte del supplier.

Riassumendo le osservazioni fatte ed analizzando le tabelle proposte nelle pagine precedenti possono essere condotte osservazioni in merito a tre punti:

- a. L'Information Sharing porta valore alla supply chain?
- b. Quanto vale in termini quantitativi tale valore?
- c. Quali sono i fattori influenzanti tale valore e come si spiega la varianza di valori tra modelli diversi?

Relativamente al primo punto, la quasi totalità degli articoli analizzati riconosce il valore della condivisione di informazioni lungo la supply chain. Tale valore può però generarsi anche da fonti diverse rispetto all'Information Sharing, come si evince da un confronto tra l'articolo di Lee-So-Tang [55 e l'articolo di Graves [38]. Nel primo articolo la condivisione di informazioni permette di rendere noto il termine ε_t esprimente l'errore nella funzione di domanda $D_t = d + \rho D_{t-1} + \varepsilon_t$. Nel secondo articolo, invece, tale termine è reso noto tramite l'applicazione della media mobile ai dati passati (e senza quindi usare informazioni condivise). Come si ricorderà tale osservazione era stata sollevata anche da Raghunathan in [71].

In merito al secondo punto riguardante la quantificazione in termini numerici dei vantaggi derivanti dall'information sharing, la forte variabilità nei risultati come presentati nelle tabelle di confronto riportate nelle pagine precedenti è spiegata dal fatto che alcuni modelli considerano solo i vantaggi del supplier (modelli con valori di risparmio maggiori), mentre altri modelli considerano tutta la supply chain. A tal proposito come fanno notare Cachon e Zipkin considerando solo il supplier non si valutano eventuali effetti negativi sul retailer derivanti da politiche opportunistiche del supplier stesso che potrebbe trasferire la pressione delle scorte sugli stadi a valle. Inoltre poiché le percentuali sono calcolate sui costi totali della supply chain analizzata, se si considera retailer + manufacturer l'ammontare in termini assoluti del costo della supply chain aumenta rispetto al caso di solo manufacturer e quindi una percentuale più bassa nel

⁹ L'articolo contiene anche un'importante analisi che verrà affrontata in seguito: l'inoltro di piccoli lotti sostituisce il bisogno di scambiarsi frequentemente delle informazioni.

primo caso non è indice di un peggioramento delle performance della supply chain per effetto di maggiori oneri sostenuti dal retailer.

Infine, circa i fattori che spiegano la varianza di valori sia all'interno di uno stesso modello sia tra due modelli diversi (depurati dall'errore illustrato al punto precedente) questi possono essere riassunti in: capacità utilizzata, costo delle scorte considerato, ipotesi sul LT, grandezza dei lotti e varianza della funzione di domanda.

Nel complesso la conclusione a cui pervengono Li, Yan, Wang, Xia [56] nel loro confronto di modelli di information sharing è che è senza significato un puro confronto dei valori numerici tra i diversi modelli in quanto tali valori sono strettamente collegati alle ipotesi, alle variabili ed ai metodi analitici scelti per la risoluzione del modello stesso. L'analisi condotta deve quindi servire più come un framework per aiutare i manager nella valutazione dell'information sharing, piuttosto che come un modo per individuare la configurazione di supply chain che porta maggiori benefici.

CAPITOLO 4

Strategie di gestione della supply chain: definizione dei termini

Identificato l'effetto Bullwhip come uno dei principali problemi all'interno di una Supply Chain, nel precedente capitolo è stato analizzato l'Information Sharing come principale strumento per la sua riduzione. Si pone ora la necessità di analizzare anche la metodologia lean come tecnica alternativa (e migliore) dell'Information Sharing nella riduzione della variabilità della domanda.

L'obiettivo del presente capitolo è quello di riportare un pò di ordine nella definizione del concetto di "lean". In letteratura, infatti, si trova una vasta corrente di autori che ha caratterizzato l'approccio lean partendo dalla contrapposizione lean – agile.

Si vuole qui dimostrare che non solo lean ed agile sono due concetti fra loro collegati, ma tale contrapposizione è valida solo se si definisce l'approccio lean con una definizione riduttiva, che non rispecchia l'originale definizione di **Womack e Jones**.

4.1 Strategie di gestione della Supply Chain: Lean vs. Agile

Fisher nell'articolo "What is the right supply chain for your product?" [32], sostiene che una generica supply chain può essere gestita solo mediante due tipologie di strategia fra loro esclusive. La prima opzione strategica, denominata **lean**, mira a costruire una supply chain fisicamente efficiente; la seconda strategia denominata **agile**, ha invece come obiettivo il costruire una supply chain reattiva alle richieste del mercato.

Fischer sostiene che la configurazione di supply chain da adottare è funzione del tipo di prodotto (durata del ciclo di vita, margine di contribuzione, costo di stock-out..). In particolare, l'autore distingue due categorie di prodotti:

- (1) **Prodotti funzionali** (con domanda stabile) che richiedono un focus dell'organizzazione sulla riduzione dei costi. Storicamente tale obiettivo è stato perseguito attraverso la sempre maggiore integrazione delle imprese all'interno della supply chain attraverso l'utilizzo di ICT, fatto questo che richiede però la condivisione di informazioni¹⁰ fra tutti gli attori della supply chain.
- (2) **Prodotti innovativi** sono caratterizzati da una domanda fortemente instabile e difficilmente prevedibile, da un alto margine unitario, da un basso ciclo di vita,.. . Le strategie adottate dalle aziende per affrontare questi prodotti si possono ricondurre a tre diverse opzioni:
 - a. riduzione dell'incertezza cercando di aumentare le informazioni per prevedere la domanda futura;
 - b. riduzione del LT ed aumento della flessibilità della supply chain;
 - c. creazione di buffers.

Nella tabella che segue è riportata una sintesi delle caratteristiche distintive di queste due categorie di prodotti:

	Functional products	Innovative products
Product Life Cycle	More than 2 years	3 months to 1 year
Contribution Margin	5% to 20%	20% to 60%
Average margin of error in forecasting	10%	40% to 100%
LT	6 months to 1 year	1 day to 2 weeks
Average stock-out rate	1% to 2%	10% to 40%

Tabella 12: Distinzione tra prodotti funzionali e prodotti innovativi

Tale divisione strategica rispecchia la visione di Fischer su quelli che devono essere i due principali compiti di una supply chain: trasferire fisicamente i prodotti e svolgere la funzione di "market mediation", ossia garantire che il prodotto soddisfi realmente le necessità del cliente.

¹⁰ Si pone qui nuovamente l'interrogativo già posto nel capitolo precedente: le organizzazioni vogliono veramente condividere informazioni con gli altri attori della supply chain?

Waddington, Childerhouse e Towill in [34], partendo dall'articolo di Fischer, propongono di inquadrare le diverse strategie di gestione della supply chain in una matrice i cui assi sono rappresentati rispettivamente dalla configurazione della supply chain stessa (ossia un continuum tra agile e lean) e dal grado di incertezza della domanda (da alto a basso). Ogni organizzazione dovrebbe posizionarsi all'interno della matrice.

Gli autori non si limitano a fornire questa parte descrittiva, ma propongono anche una parte normativa. Poichè alcuni quadranti della matrice sono privi di significato, si rende necessario da parte delle organizzazioni che si trovano in questi quadranti riconfigurare la loro supply chain. A tal proposito vengono presentati alcuni strumenti:

1. integrare la SC: coordinare i flussi di merci e di informazioni sia all'interno dell'organizzazione sia con i fornitori ed i clienti;
2. comprimere i LT: permette alle aziende di rispondere in modo più veloce ed efficiente alla domanda del cliente;
3. eliminare gli sprechi;
4. aumentare la flessibilità dei processi (aumentare la flessibilità diminuendo i tempi di setup);
5. pianificare la produzione in modo livellato in modo da facilitare l'efficiente uso delle linee di produzione;
6. ridisegnare i processi aziendali.

L'obiettivo dell'intervento di re-design è mirato secondo gli autori alla creazione di una supply chain **leanagile** che posseda al suo interno un punto di disaccoppiamento tra le due strategie: si produce lean fin tanto che si ha un livello di variazione della domanda bassa, dopo di che si produce agile. Tale convinzione si basa sul fatto che solitamente le varietà di prodotti esplodono solo verso la fine della supply chain. La filosofia lean è quindi usata a monte della supply chain quando esistono poche varietà di prodotto e dove le previsioni sono fatte su aggregati di codici la cui variabilità è bassa.

Christopher e Towill in [19] riprendono ulteriormente il concetto di **continuum tra lean ed agile**, anzi gli autori dell'articolo vedono il mix agile+lean la migliore configurazione di supply chain.

“The challenge to supply chain management (SCM) is to seek to develop lean strategies up to the decoupling point, but agile strategies beyond that point” [19].

Gli autori propongono poi una classificazione dei termini lean ed agile in funzione dei concetti di qualifier e market winner. Il livello di servizio viene visto come order winner di una supply chain agile, mentre il costo viene visto come un qualifier. In una supply chain lean, invece, è il costo che viene visto come un order winner ed il livello di servizio come un qualifier. Si capisce quindi come gli autori vedano agile e lean due facce complementari della stessa strategia.

Questa osservazione circa le differenze e le somiglianze fra lean ed agile è stata ripresa anche da Xuejun, Zhiyong che nell'articolo [40]propongono la seguente matrice:

	Market Qualifiers	Market Winners
Agile Supply Chain	1. Qualità 2. Costo 3. Lead Time	1. Livello di servizio
Lean Supply Chain	1. Qualità 2. Lead Time 3. Livello di servizio	2. Costo

Tabella 13: Classificazione Agile e Lean Supply Chain in funzione di Market Winners e Market Qualifiers

I due autori elaborano anche un semplice confronto tra le caratteristiche principali degli approcci lean ed agile, riassunti nella seguente tabella:

	Lean o Agile	
	Lean	Agile
Uso della conoscenza di mercato	●●●	●●●
Value stream	●●●	●●●
Compressione dei LT	●●●	●●●
Eliminazione dei muda	●●●	●●
Rapida riconfigurazione	●●	●●●
Robustezza	●	●●●
Livellamento della domanda	●●●	●

(il numero di pallini pieni caratterizza il grado di importanza di ogni fattore)

Tabella 14: Elementi caratteristici di Lean ed Agile

In aggiunta a questi fattori, **Christopher e Towill** nel già menzionato articolo [19] caratterizzano lean ed agile anche in funzione dell'uso dell'out-sourcing. In particolare, una supply chain lean cercando la minimizzazione dei costi comprende la soluzione di spostare la produzione in luoghi a costi più bassi, mentre in una configurazione agile, poiché si cerca il minimo tempo di risposta della supply chain alle richieste del cliente, l'out-sourcing non si configura come la strategia vincente (si aumenterebbero i LT).

Nel complesso la lean è vista come una condizione necessaria, ma non sufficiente, per la costruzione di un sistema agile. Lean ed agile adottano gli stessi strumenti, ma hanno due obiettivi strategici ben diversi: obiettivo della lean è ridurre gli sprechi per utilizzare in modo efficiente tutte le risorse, obiettivo dell'agile manufacturing è invece costruire una supply chain rapida alle richieste del mercato.

Sempre **Christopher** in un altro articolo [20] definisce il termine *agility*¹¹ come «the ability of an organization to respond rapidly to changes in demand, both in terms of volume and variety». L'approccio lean invece è definito come quella strategia da implementare nel caso in cui la varietà dei prodotti da realizzare sia bassa ed i volumi alti.

L'autore contraddistingue una supply chain agile attraverso le seguenti caratteristiche:

- (1) Market sensitive: la supply chain risponde a domande del cliente con un lead time breve
- (2) Virtual: vengono utilizzate tecnologie per lo scambio di informazioni tra i diversi stadi della SC.
- (3) Integrazione con i clienti e con i fornitori fino a formare una network. Collaborazione che secondo l'autore va oltre lo scambio di informazioni, ma diviene una vera e propria partnership con la creazione di team comuni per lo sviluppo di nuovi prodotti o l'intesa su comuni investimenti. Per ottenere una piena relazione di partnership l'organizzazione è poi costretta a ridurre il suo numero di fornitori.

Altre definizioni dei due termini che si trovano in letteratura sono:

White, Daniel, Mohdzain in [92] definiscono una supply chain agile “a business-wide capacity that embraces organizational structures, information systems, logistics processes and, in particular, mindsets”.

Lamming (1996), definisce invece la lean come “an arrangement [which] should provide a flow of goods, services and technology from supplier to customer (with associated flow of information and other communications in both directions) without waste”.

Il termine “agile manufacturing” è poi definito da **Gould** (1997) come: “the ability of an enterprise to thrive in an environment of rapid and unpredictable change”.

Stratton, Warburton in [76] vedono ancora una volta lean ed agile come pratiche che condividono gli stessi strumenti, ma nascono in risposta a due esigenze strategiche diverse: la lean production nasce per produrre al livello di costo minimo eliminando gli sprechi, l'agile manufacturing vuole invece accelerare la risposta alla domanda. Secondo gli autori, l'unica differenza sostanziale riguarda l'utilizzo degli stock. Per l'agile manufacturing la presenza di stock si fa necessaria se la domanda è variabile e se c'è la necessità di rispondere velocemente agli ordini dei clienti (in altre parole la presenza di scorte costituisce un trade-off tra il verificarsi di razionamenti e il rischio di obsolescenza dei prodotti), l'approccio lean invece si pone come obiettivo l'eliminazione delle scorte (considerate un muda).

¹¹ Il termine *agility* pone le sue origine nel sistema di produzione FMS (Flexible Manufacturing System).

Castelli, Sianesi e Spina analizzando la fashion supply chain definiscono i due termini con le seguenti definizioni:

«La strategia lean mira a generare la massima efficienza in termini di costo logistico totale attraverso l'eliminazione delle attività non a valore aggiunto, lo sfruttamento di economie di scala, il controllo degli stock, l'uso di tecniche di ottimizzazione per massimizzare l'utilizzo della capacità produttiva e distributiva, l'automazione degli scambi informatici tra clienti e fornitori».

«La strategia agile ha come elementi chiave le prestazioni di reattività e flessibilità rispetto ai fabbisogni di mercato. Questo si traduce spesso nella presenza di scorte o capacità produttiva in eccesso. Il termine agile si riferisce al fatto di fronteggiare una domanda mutevole, diversa ed imprevedibile, minimizzando i rischi di interruzione dell'offerta»¹².

Nella definizione sopra data, la novità che si riscontra riguarda il caratterizzare l'approccio lean come una minimizzazione del costo logistico totale in contrapposizione al tradizionale approccio di valutazione di parametri di costo interni alla business unit.

Rimane comunque il fatto che anche in questo articolo la filosofia lean è ridotta alla ricerca della minimizzazione dei costi, e non ingloba altri aspetti del lean thinking quali la gestione per flussi, la totale attenzione per il cliente (che viene vista attraverso il livello di servizio come l'obiettivo della strategia agile).

Riassumendo, tutti gli articoli qui analizzati concordano nel sostenere che "one size does not fit all" nella definizione della strategia per una supply chain. Partendo da questo assioma vengono quindi identificati due modelli contrapposti di gestione della supply chain: lean ed agile.

LEAN	AGILE
Bassa incertezza nella domanda(*)	Incetezza nella domanda
SC fisicamente efficiente (costo)	SC reattiva
<ul style="list-style-type: none"> - Eliminazione degli sprechi (mentre in una produzione agile posso avere dei surplus per far fronte alla domanda) - Programmazione livellata (che ha come ipotesi una domanda stabile) 	<ul style="list-style-type: none"> - SC integrata (condivisione di informazioni; coordinamento dei flussi di materiali) - Compressione LT - Flessibilità di processo - Rimappatura dei processi

Tabella 15: Ambiti di applicazione di Lean ed Agile

(*) I fattori che determinano il carattere della domanda sono:

- errore % medio di previsione della domanda
- numero di varianti di prodotto
- tempo di consegna medio richiesto dal cliente

¹² Durante la visita aziendale in Bosch era emerso lo stesso concetto: se la domanda cambia bruscamente – poichè è un must aziendale il soddisfare sempre le richieste del cliente – si deve abbandonare l'approccio lean e ritornare al tradizionale metodo di produzione.

- durata del ciclo di vita del prodotto

Sembra che l'utilizzo di una SC lean richieda la necessità di avere delle previsioni sicure in modo che la domanda sia stabile e quindi si vadano a ridurre gli sprechi ad un dato livello di produzione.

In modo più ingegneristico ciò equivale a dire:

- La domanda del mercato è stabile, si può quindi determinare in modo univoco la capacità produttiva necessaria
- Data la capacità produttiva che eguaglia la domanda (costante), si dimensionano gli impianti di produzione e la struttura organizzativa in modo da posizionarsi nel punto ottimo della curva tecnologica relativa a quel volume produttivo dato.
- L'approccio lean consiste nella diminuzione degli sprechi che si interpongono al raggiungimento del punto ottimo di produzione.

4.2 Quali sono le problematiche che emergono in una supply chain multi-azienda rispetto ad una supply chain dove luogo di produzione e azienda coincidono?

Lo scambio di informazioni deve essere valutato sia in modo verticale (caratterizzare le diverse tipologie di supply chain che si possono avere in termini di controllo e localizzazione geografica) sia in modo orizzontale (quante funzioni vengono coinvolte nello scambio di informazioni).

In via generale si possono configurare tre modelli di supply chain:

- (1) Stadi appartenenti alla stessa unità organizzativa e localizzati nello stesso luogo geografico. Si tratta per esempio di più celle produttive situate nello stesso stabilimento di un'unica azienda.
- (2) Stadi appartenenti alla stessa organizzazione, ma localizzati in luoghi geografici diversi. Si devono quindi considerare i costi ed i tempi di trasporto nel trasferimento dei vari flussi da uno stadio all'altro.
- (3) Stadi appartenenti ad organizzazioni diverse. Si tratta della definizione più generale di Supply Chain vista come una catena di più organizzazioni che coprono l'intera vita di un prodotto, dalla lavorazione delle materie prime alla vendita al consumatore finale.

Relativamente alla seconda classificazione, per ogni stadio della supply chain si deve valutare il numero di attori a cui le informazioni vanno trasmesse e per ogni attore quali informazioni sono richieste e quale uso ne viene fatto.

In letteratura, molti autori insistono sul tema della supply chain comprendete più organizzazioni giuridicamente distinte, sostenendo che con l'attuale livello di innovazione, con le richieste sempre più personalizzate ed esigenti del cliente finale la singola azienda non è in grado di competere singolarmente. In via generale si sostiene il fatto che la ricerca della politica di gestione ottima per una supply chain non coincide con la somma di politiche ottime dei singoli attori in essa contenuti. Da questa affermazione si articola quindi il problema di costruire una politica a livello di supply chain che faccia comprendere ai singoli attori (che presi singolarmente non la considerano la soluzione ottima) che si tratta della politica a cui è associato il ritorno complessivo maggiore. L'effetto Bullwhip stesso, come è già stato ampiamente argomentato in precedenza, nasce proprio dalla visione disaggregata della supply chain come un puro insieme di attori.

La metodologia generale da seguire nella gestione di un tale tipo di Supply Chain è stata riassunta da Narayana e Raman nei seguenti processi:

- Riconoscere l'esigenza di un disallineamento che costituisca un incentivo;
- Diagnosticare le cause del disallineamento;
- Incentivare il cambiamento;
- Rivedere periodicamente le decisioni prese.

I due autori mettono in evidenza il fatto che sono necessari degli incentivi per la creazione di rapporti di collaborazione tra i vari attori della supply chain ed, in primis, che va identificato un motivo per instaurare tali rapporti, motivo che può essere ragionevolmente identificato con la presenza di amplificazione della domanda. In altre parole, prima di intervenire si deve mostrare ai vari attori che la politica di gestione proposta risolve dei problemi e porta dei vantaggi quantificabili in termini economici (Nella sezione relativa alla quantificazione dell'effetto Bullwhip si è giustificata la relazione di equivalenza tra riduzione dell'amplificazione della domanda e riduzione dei costi totali della supply chain).

Nell'introduzione al capitolo relativo all'effetto Bullwhip si era detto che la variabilità della domanda può essere scomposta in due componenti, una componente dovuta al cliente ed una chiamata "componente amplificazione Bullwhip". Se la componente di incertezza dovuta al cliente contiene un fattore che non può essere controllato dall'organizzazione, la seconda componente è "creata" dalle politiche di previsione della domanda, gestione delle scorte, gestione della produzione e gestione logistica decise dall'organizzazione stessa. Tale argomentazione resta vera qualsiasi sia la tipologia di supply chain analizzata, con l'aggravante che nel caso di supply chain multi-organizzazione il grado di incertezza relativo ai tempi di riordino cresce.

Sia che si voglia risolvere il problema della variabilità della domanda in una supply chain multi attore con l'approccio lean o con l'approccio dell'information sharing si pone il problema di stabilire delle relazioni di partnership tra i diversi fornitori della catena.

CAPITOLO 5

Lean Supply Chain

Nel precedente capitolo si è fatto vedere come la distinzione tra lean ed agile sussista solo se si identificata con il termine “lean” un approccio di gestione della produzione unicamente orientato all’efficienza operativa tramite una continua riduzione dei costi.

Nel presente capitolo si propone una definizione completa di gestione della Supply Chain tramite la metodologia lean.

5.1 Definizione di Lean Supply Chain

Wee e Wu nell'articolo "Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on Ford Motor Company" [91] definiscono l'approccio lean con la definizione:

«The term "lean" means a series of activities or solutions to eliminate waste, reduce non-value added operations, and improve the value added».

Womack, Jones e Roos nel celebre libro "The machine that changed the World" [93] caratterizzano la lean production con le seguenti pratiche:

- Flusso di produzione unitario, piccolo lotti, gestione delle scorte in JIT;
- Politica di manutenzione preventiva per prevenire difetti;
- Produzione pull;
- Organizzazione fondata su team flessibili e multi-skills. Pochi lavoratori indiretti;
- Attiva partecipazione della forza lavoro nell'identificare i problemi;
- Sviluppo di partnerships lungo la supply chain per migliorare l'integrazione dei flussi

Sempre **Womack e Jones in "Lean thinking"** [94] elencano i 5 principi cardine che ogni manager dovrebbe utilizzare per portare la lean all'interno della sua organizzazione:

1. Comprendere i bisogni del cliente;
2. Riconoscere le attività a valore aggiunto (ossia le attività a cui il cliente riconosce un valore);
3. Gestire i processi secondo una logica a flusso e non a isole separate. La condizione ottima per ogni organizzazione sarebbe la definizione di un flusso di sole attività di valore che va dal prodotto grezzo al cliente;
4. Gestire i flussi secondo una logica pull; definire un tack-time (tempo a cui si deve produrre per seguire la domanda del cliente) in modo da evitare sovrapproduzioni ed accumulo di scorte.
5. Perseguire la perfezione. L'approccio lean non si esaurisce una volta applicati i precedenti principi, ma deve essere inteso come una filosofia volta al miglioramento continuo (in tutti gli esempi riportati nel libro è sempre presente l'idea che man mano si comincia ad applicare la logica lean e quindi a misurare i primi miglioramenti, si notano sempre più nuove aree di miglioramento – è indicativo a questo riguardo l'esempio della barca sugli scogli).

Portioli Staudacher e Bicheno in [6] sulla base della letteratura classica su JIT, Toyota Production System e Lean, propongono le seguenti 25 caratteristiche per specificare correttamente l'approccio lean:

1. **Cliente**, focus della lean è il cliente: un'attività si dice di valore solo se è richiesta dal cliente;
2. **Scopo**, per ogni attività che si analizza ci si dovrebbe sempre chiedere: "qual è l'obiettivo?"

3. **Semplicità**, tale caratteristica va intesa nel senso che tutte le attività devono essere gestite nel modo più semplice possibile: la progettazione di nuovi prodotti deve fondarsi sui principi della riduzione del numero di componenti e nell'utilizzo di sottoinsiemi comuni a più famiglie, la definizione delle politiche di rifornimento deve essere fondata sulla riduzione del numero di fornitori, in produzione vanno esclusi sistemi automatici complessi che potenzialmente possono fare molte lavorazioni, ma sono costosi e con lunghi tempi di setup.
4. **Sprechi** (muda), si tratta probabilmente della parola maggiormente utilizzata nella letteratura lean.
5. **Processo**, tutte le attività vanno organizzate in termini di processo e non in termini di funzione.
6. **Visibilità**. Il principio del controllo visivo è un must soprattutto nella gestione operativa dei processi, basti pensare alla tabelliera contenente i kanban che si trova in tutte le linee produttive. La visibilità è ritenuta il principale strumento con cui si possono individuare i muda all'interno dell'organizzazione.
7. **Regolarità**, tutti i processi devono essere gestiti in modo regolare
- 8. Flusso**
9. **Uniformità** o livellamento. Si tratta dell'aspetto più interessante ai fini del presente lavoro, in quanto è grazie al livellamento che si possono evitare picchi di sovra o sottoproduzione che innalzerebbero l'effetto Bullwhip
- 10. Pull**
11. **Postponement**, con tale termine si intende la pratica di ritardare il più possibile le attività in modo da ridurre eventuali buffer intermedi di WIP e personalizzare un prodotto solo quando si riceve l'ordine dal cliente.
12. **Prevenzione**, i problemi non vanno solamente risolti, ma vanno evitati attraverso una politica di prevenzione.
13. **Tempo**, utilizzare tutte le tecniche di gestione dei processi (parallelizzazione, riduzione dei lead time, ..)
- 14. Miglioramento**
15. **Partnership**, con questo termine si intende sia l'utilizzo di team interfunzionali al posto di singoli individui, sia la definizione di accordi con fornitori e clienti
16. **Network di valore**, con questa caratteristica si vuole rimarcare il fatto che una cooperazione lungo la supply chain porta complessivamente ad un ritorno maggiore (è qui esposto il concetto già più volte affrontato in questo lavoro secondo cui la somma degli ottimi delle singole stazioni è inferiore all'ottimo ottenibile da una visione integrata della supply chain).
17. **Gemba**, l'implementazione del metodo lean non deve essere fatta in ufficio, ma in fabbrica.
18. **Domandare (ed ascoltare)**, tutta la forza lavoro deve essere coinvolta attivamente nei processi di miglioramento.

19. **Riduzione della variabilità**

20. **Evitare sovraccarichi**

21. **Partecipazione**, gli operatori che si trovano di fronte ad un problema dovrebbero essere le prime persone ad identificare il problema e proporre la risoluzione

22. **Pensare in piccolo**, si critica in modo convinto l'acquisto di grandi macchine che possono raggiungere economie di scala, ma al tempo stesso rendono rigida la produzione.

23. **Fiducia**

24. **Conoscenza**, gli operatori devono essere informati delle azioni di miglioramento che si intraprendono a tutti i livelli dell'organizzazione

25. **Umiltà**, si esprime il concetto già visto, che solo cominciando ad adottare queste pratiche si rendono visibili ulteriori punti di miglioramento in un approccio dinamico nel tempo.

In generale, quindi, una supply chain è gestita in ottica lean se l'obiettivo principale delle politiche di gestione è ridurre la distanza tra cliente (domanda finale) e fornitori. Tale obiettivo si raggiunge attraverso l'attuazione di diversi strumenti, quali una gestione per flussi, una produzione pull, una maggiore responsabilizzazione della forza lavoro a tutti i livelli, ..

L'introduzione della lean in una supply chain richiede anche l'instaurarsi di rapporti di collaborazione con gli altri attori della catena. **Liker e Wu** in [42], dopo aver eseguito un'approfondita analisi dei fornitori di Toyota e di case automobilistiche americane (GM, Chrysler e Ford), affermano che la condizione indispensabile per costruire una lean supply chain è la presenza di investimenti comuni e lo sviluppo di partnership tra i vari attori della filiera produttiva. La pratica lean non può essere limitata ad un solo stadio della supply chain, ma deve essere usata da tutti gli attori.

I due autori identificano poi i seguenti requisiti per la creazione di una **lean supply chain** [42]:

- Privilegiare accordi di lunga durata (investire nella relazione con il fornitore ed avere un numero limitato di fornitori stessi)
- Mantenere bassi livelli di stock di prodotto finito; tale pratica consente, infatti:
 - o Una risposta veloce alla domanda del cliente
 - o La possibilità di identificare velocemente difetti nei prodotti
 - o Avere meno personale che deve muovere i componenti e prodotti finiti all'interno dello stabilimento (waste)
- Schedulazione livellata della produzione: permette di non distorcere la domanda al supplier (che quindi non è obbligato ad avere ingenti scorte di ogni componente)

- La lean manufacturing richiede una maggior frequenza, una riduzione dei lotti di trasporto ed una maggiore puntualità nelle consegne da parte dei suppliers (sviluppo di partnership con logistic companies per avere migliori prestazioni delle consegne; utilizzo di milk runs¹³).
- Ordinare solo i pezzi necessari e solo nell'istante di tempo in cui vengono richiesti.
- Fissare requisiti stringenti per le consegne in modo che il fornitore sia incentivato a migliorare le proprie prestazioni. Gli autori suggeriscono, per esempio, di fissare delle finestre temporali che delimitino l'intervallo di tempo consentito per la consegna.

Perez, de Castro, Simons, Gimenez in un Case Study [68] sull'applicazione dei concetti lean al settore suino della regione spagnola della Catalogna identificano per ogni principio lean degli interrogativi di ricerca che aiutino i manager a trovare una loro implementazione pratica:

Principio Lean	Dimensione	Interrogativi di ricerca
Pull	Gestione della domanda	Quali sono i metodi usati per prevedere la domanda? Modo di trasferire l'informazione lungo la supply chain
Value	Definizione di valore	Quali sono le caratteristiche del prodotto a cui il consumatore finale riconosce valore
Flow	Standardizzazione di prodotto e processo	Livello di standardizzazione dei processi Grado di personalizzazione dei prodotti
Flow	Efficienza della supply chain	Identificazione delle aree di spreco
Value streams	Definizione di partnership tra gli attori della catena	Numero di qualità di alleanze con altri attori della supply chain.
Perfection	Cambiamento culturale	Livello di coinvolgimento del personale

Tabella 16: Interrogativi di ricerca per implementare la Lean

Per ogni fattore, gli autori identificano una serie di domande per aiutare i manager nella loro identificazione.

5.2 Metriche di quantificazione dei benefici

Wee e Wu nel già citato articolo [91], identificano una serie di metriche che si potrebbero utilizzare per quantificare i benefici derivanti dall'introduzione della lean ad una supply chain:

FTT (first time through): la percentuale di unità che conclude il processo con standard qualitativi accettabili
BTS (build to schedule): questo indicatore mostra quanto bene vengono rispettati i piani in termini di mix produttivo e timeline
DTD (dock to dock time): tempo compreso tra l'arrivo delle materie prime e la produzione del prodotto finito

¹³ I milk runs sono delle figure equivalenti ai runners nel caso di supply chain interna ad una stessa organizzazione.

Tabella 17: Metriche di valutazione di una Lean Supply Chain

Come si nota dalla tabella sovrastante tutti gli indicatori riguardano la misura di tempi, si vuole, infatti, sottolineare nuovamente che tutto il processo di costruzione della value stream map e di identificazione degli sprechi è facilmente quantificabile con una riduzione del lead time complessivo di realizzazione di un prodotto (a parità di altre prestazioni).

Christensen et al. [18] attraverso una serie di interviste a manager di grandi organizzazioni hanno provato che una riduzione della varianza sui lead time impatta in modo maggiore sulle performance finanziarie dell'organizzazione rispetto ad una riduzione del valore medio dei lead time stessi.

5.3 Strumenti operativi della lean

Gli strumenti operativi della lean possono essere riassunti nei seguenti punti [57]:

- a. Macchine "right-size", ossia l'utilizzo di macchine delle dimensioni giuste rispetto alla domanda e flessibili nella produzione.
- b. Presenza di bassi (nulli) tempi di setup nel cambio produzione di un mix di prodotti e di conseguenza produzione per piccoli lotti.
- c. Detecting automatico da parte delle macchine di difettosità del processo.
- d. Presenza di controlli visivi, la filosofia lean suggerisce di evitare controlli elaborati, ma di rendere visibili i processi (utilizzo di kanban colorati, presenza di bacheche con la misura dell'output dei processi a bordo linea, delimitazione sul pavimento con strisce colorate degli slot disponibili dove assemblare scorte e prodotti finiti, ..) [58]
- e. Utilizzo della manutenzione preventiva per eliminare i fermi macchina per rotture.
- f. Equipaggiamenti di produzione progettati per facilitare il lavoro dell'operatore e ridurre al minimo gli sprechi.
- g. Focus sul cambiamento, all'interno di ogni organizzazione deve essere identificato un change agent.

5.3.1 Il modello Kimura-Terada

Si illustra ora il modello Kimura-Terada per mostrare come una variazione di alcuni parametri operativi quali la dimensione dei lotti di produzione ed i lead time di produzione incidono sul valore dell'effetto Bullwhip, qui misurato come amplificazione delle scorte ad ogni stadio della catena.

L'articolo di Kimura e Terada [48] costituisce uno dei classici della letteratura relativa al sistema Kanban. I due autori partendo dall'identificazione delle cause di insuccesso dei tradizionali sistemi push (creazione di eccessi di scorte, necessità di ingenti quantità di scorte di sicurezza, difficoltà a migliorare le prestazioni del sistema), identificano i tratti fondamentali di un sistema pull:

- Ad ogni stadio c'è un livello definito di scorte
- Ogni stazione trasmette alla rispettiva stazione precedente gli ordini di approvvigionamento in funzione dei suoi attuali consumi. Tale politica si fonda su alcune procedure:
 - Si stabilisce un livello di riordino e la dimensione dei lotti di riordino;
 - Si conosce la quantità di scorte presente in ogni stadio in ogni momento temporale;
 - Si attua un continuo controllo tra livello delle scorte presenti e livello di attivazione degli ordini di riapprovvigionamento.

Partendo da queste ipotesi, Kimura e Terada illustrano il funzionamento del sistema pull tramite utilizzo di Kanban.

Si riportano di seguito i principali risultati a cui i due autori pervengono:

1. Una diminuzione della dimensione dei singoli lotti di produzione e di approvvigionamento porta ad una riduzione delle fluttuazioni delle scorte lungo la supply chain;¹⁴
2. Nel caso di un sistema gestito con una politica push si verifica un aumento dell'amplificazione delle scorte sotto l'influenza della politica di previsione degli ordini.

¹⁴ Gli autori dimostrano, infatti, che la relazione che lega l'amplificazione delle scorte e i lead time di produzione e di trasmissione dell'ordine è $Amp(I^n) = L_1^n + L_2^n$. Dove L_1^n rappresenta il tempo di riordino, L_2^n rappresenta il tempo di produzione e I^n rappresenta invece la quantità di scorte presente allo stadio n.

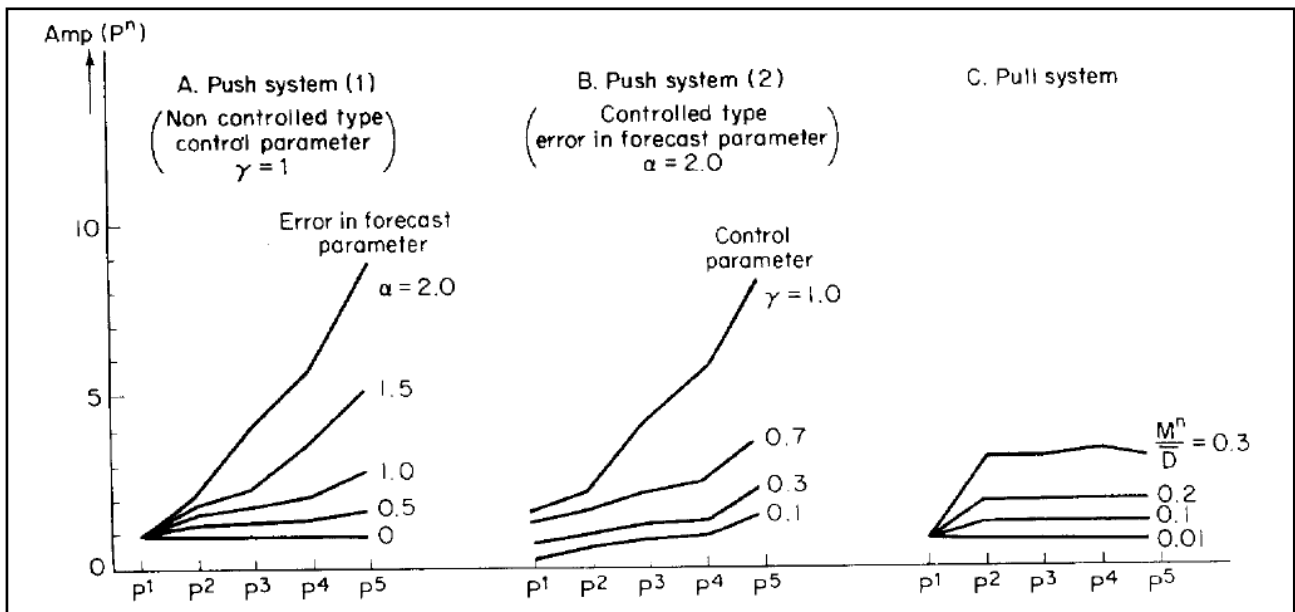


Figura 4: Kimura, Terada. Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control – *International Journal Production Research* 1981, vol. 19 n. 3, pp. 241-253

Nelle figure è visibilmente rappresentata la differenza in termini di amplificazione di quantità prodotta P tra un sistema gestito con logica push ed uno in cui si è implementata la tecnica pull. Oltre a ciò, osservando il grafico c si vede come un aumento del numero di lotti porti ad una crescente riduzione dell'effetto amplificazione.

5.4 Case study: visita allo stabilimento Bosch

Si riporta di seguito la descrizione del Bosch Production System come emerso dalla visita aziendale tenutasi il giorno 24 febbraio 2010 presso lo stabilimento Vacuum & Hydraulic Products Italy a Offalengo (CR). Nella presente relazione sono riportati in un caso reale gli strumenti lean sopra esposti in modo teorico.

Bosh Production System

A partire dal 2007, la VHIT Spa ha intrapreso una profonda riorganizzazione del proprio modo di operare in seguito all'applicazione del Bosch Production System (BPS): un nuovo modo di gestire la produzione attraverso i principi della lean production.

L'introduzione del Bosch Production System per la VHIT Spa ha significato:

- (1) Aumento della trasparenza: tutte le persone devono parlare la stessa lingua, devono capire com'è strutturata l'organizzazione, cosa vuole il cliente e chi sono i fornitori. La trasparenza deve

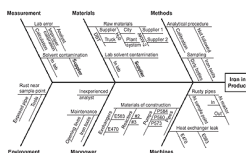
riguardare i flussi, le macchine, i processi e non per ultima la segnalazione di problemi ed errori in ogni fase produttiva.

- (2) Forte commitment del top management: la dirigenza deve essere convinta della necessità di cambiare per superare il tradizionale modo di pensare che spinge a non innovare, nella convinzione che anche nella situazione presente si riesca a soddisfare a pieno il cliente.
- (3) Profonda conoscenza degli strumenti lean: solo conoscendo la reale capacità di una macchina, e più in generale di un processo, è possibile ottimizzarne il flusso abbattendo gli sprechi.

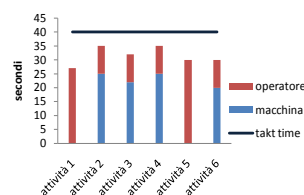
Analizziamo ora gli strumenti utilizzati dal gruppo per applicare correttamente il BPS:

6. FOLLOW UP

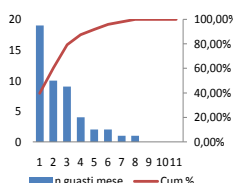
5. PROBLEM SOLVING



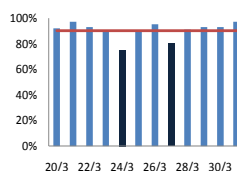
1. TARK TIME CHART



4. PARETO OF LOSSES



3. OEE TRACKING



2. HOURLY TRACKING



Per ogni linea di produzione viene in primo luogo definito il *takt time*: il ritmo della produzione necessario per soddisfare la domanda del cliente. Definito tale parametro, le attività che compongono il processo in esame vengono organizzate e ripartite sui diversi operatori, in modo tale da avere una distribuzione bilanciata dei carichi di lavoro sulle diverse attività. In questa fase è necessario mantenere un margine di sicurezza di qualche secondo per tenere in considerazione la maggior variabilità nei tempi di esecuzione delle attività compiute da un operatore rispetto a quelle compiute da una macchina.

Una volta pianificate le attività di una linea, viene effettuato un continuo follow up della produzione oraria tramite l'*hourly tracking* (si veda a tal proposito l'Allegato 1). Ad ogni ora sono indicate le unità obiettivo da processare a fianco delle quali l'operatore è chiamato a segnare le quantità effettivamente prodotte e, nel caso ci sia una differenza tra produzione schedulata e consuntivo, a indicarne le cause. L'utilizzo di

questo strumento è fondamentale per raccogliere in modo corretto le informazioni sui problemi che si riscontrano operativamente sulla linea; l'hourly tracking è la base dati per tutte le analisi future. Per questo è indispensabile che gli operatori di linea accettino ed interiorizzino l'utilizzo di questo strumento. Nel caso della VHIT Spa, ciò si è reso possibile facendo capire loro che spesso le responsabilità delle inefficienze produttive non sono da ricercare nelle attività degli operatori ma in un'errata pianificazione fatta dai livelli manageriali più elevati (si pensa all'assenza di un componente o la mancata qualità del materiale).

I dati raccolti nelle tabelle di produzione oraria sono quindi sintetizzati ed aggregati nell'*OEE tracking*, un grafico ad istogramma nel quale viene rappresentata, giorno dopo giorno, l'efficienza totale di un impianto. L'OEE (Overall Equipment Effectiveness) è quindi un parametro fondamentale dal punto di vista del controllo di produzione e nel sistema di produzione Bosch viene così calcolato:

$$OEE_t = \frac{\text{totale pezzi buoni prodotti il giorno } t}{\text{numero netto di pezzi producibili a turno} \times \text{numeri di turni fatti il giorno } t}$$

Nel caso in cui la produttività giornaliera scenda al di sotto di un parametro target (tipicamente il 90%) scatta un segnale di allarme: la colonna di riferimento viene evidenziata e viene esplicitata la causa della scarsa produttività. Le cause sono classificate in tre macro categorie (indicate da un codice e da un colore di riferimento per un corretto Visual Management):

- Scarsa qualità
- Guasto tecnico
- Problema organizzativo

Particolarmente interessate è stato il dato fornito dai responsabili di produzione che sottolineavano come, prima del lancio del progetto lean, la produttività dello stabilimento era attorno al 60%; il solo aver iniziato a monitorare questi valori ha portato ad un iniziale incremento della produttività del 20%, a cui si deve aggiungere un altro 15% di miglioramento legato allo sforzo di miglioramento continuo, cuore della filosofia della produzione snella.

I problemi emersi dallo studio della produttività vengono raccolti e studiati all'interno dei *diagrammi di Pareto*, grazie ai quali l'azienda riesce ad identificare i problemi più significativi da affrontare. Anche per la produttività vale infatti la legge secondo cui, sul totale dei fattori considerati, una piccola percentuale di essi genera ripercussioni per una elevata percentuale su variabili di interesse.

I problemi così prioritizzati vengono studiati in modo sistematico attraverso il *problem solving process* con il quale si vanno ad indagare le cause ultime che portano al manifestarsi di problemi in fase di produzione (si

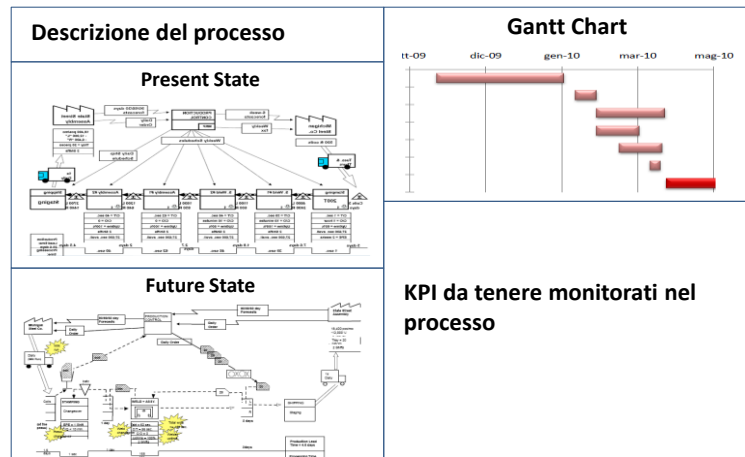
pensi a tal proposito all'utilizzo dei diagrammi causa-effetto di Ishikawa) . Capiti i problemi, si studiano piani d'azione correttivi e si monitorano nella fase di follow up i risultati ottenuti chiudendo così il ciclo del metodo scientifico del Plan-Do-Check-Act.

LA MAPPATURA DEI PROCESSI

In VHIT Spa la mappatura dei processi avviene attraverso lo strumento della Value Stream Map, ovvero della mappatura grafica di tutto quell'insieme di processi ed attività che concorrono alla realizzazione di un prodotto, partendo direttamente dal fornitore, passando per tutte le attività interne fino alla consegna del prodotto finito.

Definiti i processi a maggiore impatto sul valore percepito dal cliente, ne viene rappresentato il Current State per poi essere ripensato in un Future State snellito e linearizzato.

Tale studio viene condotto sugli *A3 Project Sheet*, qui di seguito rappresentati a titolo esemplificativo:



CAPITOLO 6

Confronto tra i due modelli: Lean ed Information Sharing

Vengono di seguito proposti due modelli che confrontano diverse politiche di gestione della supply chain. Il primo modello elaborato da **Cachon, Fisher** in [8] confronta due politiche di aumento della visibilità, una politica di riduzione dei lotti di produzione ed una politica di riduzione dei lead time. Il secondo articolo di **Agrawal, Nandan Sengupta, Shanker** [80] propone invece un confronto tra una politica di Information Sharing ed una strategia volta a ridurre i lead time di riapprovvigionamento tra i vari stadi di una supply chain.

6.1 Confronto tra IS e Lean

Cachon e Fisher costruiscono un modello formato da 1 supplier ed N retailers in cui la domanda finale del cliente è una funzione stazionaria stocastica nota. I diversi scenari sono confrontati in funzione dei costi generati dalle scorte ed i costi associati ai backlogs. Le 4 politiche di gestione della supply chain si possono riassumere nella seguente tabella:

Politica di gestione della SC	Risparmio in termini di costi
Traditional Information Sharing (ordini)	Limite inferiore 2,2% Limite superiore 12,1%
Full information sharing (stato delle scorte)	(nel caso di traditional IS si ha un 3,4% in meno)
Riduzione dei LT del 50%	In media 21%
Riduzione della grandezza dei lotti (e quindi consegne più frequenti)	In media 22%

Tabella 18: Cachon e Fisher – Confronto di due politiche per la gestione di una supply chain

Dallo studio condotto dai due autori risulta quindi che sia maggiormente efficiente lo scambiarsi informazioni per ridurre i tempi di processo, piuttosto che condividere informazioni per cercare di prevedere in modo più accurato la domanda. La corretta domanda da porsi non è quindi se l'IS migliora le prestazioni di una supply chain, ma in quale modo avviene tale miglioramento.

“Our results are surprising. Indeed, we undertook this research with the strong expectation that we would be able to demonstrate significant benefits to information sharing in these models.” [8]

Nel primo scenario – information sharing - gli autori costruiscono un modello di simulazione in cui le informazioni vengono utilizzate per (1) migliorare le decisioni in merito alla quantità da ordinare e (2) per migliorare le decisioni di allocazione della merce tra più retailer. Il secondo scenario – riduzione dei lead time – è invece costruito tramite dati raccolti presso la Campbell Soup Company. Dall'analisi di questi dati, gli autori concludono che se le informazioni vengono utilizzate per ridurre i LT (principalmente come conseguenza della riduzione del tempo di processamento dell'ordine) e per diminuire la grandezza dei lotti di riordino si hanno per il sistema dei risparmi rispettivamente del 21% e del 22%. La conclusione è quindi che l'utilizzo di tecnologie informative è maggiormente utile nel velocizzare il flusso dei prodotti rispetto che accelerare la trasmissione di informazioni tra i vari stadi.

Tale dato empirico trova una giustificazione teorica nella seguente argomentazione. Se il retailer detiene abbondanti scorte, allora non avendo necessità nel breve periodo, non ha informazioni di valore da condividere con il supplier. La condivisione di informazioni ha invece un valore maggiore quando le scorte del retailer sono scarse e quindi ci si aspetta a breve un ordine nuovo che può modificare le decisioni del supplier. Ma al tempo stesso proprio quando le informazioni diventano di maggior valore, allora il retailer è

vicino al momento di inoltro dell'ordine. In entrambi i casi quindi la condivisione di informazioni non porta molti vantaggi al supplier.

É quindi interessante studiare anche il momento temporale in cui vengono condivise le informazioni e se tale momento può essere spostato più a monte oppure, come si sostiene in questo articolo, il valore stesso delle informazioni nasce in un punto non distante dal momento in cui tali informazioni vengono rese pubbliche (ossia il momento in cui si manifesta l'ordine al supplier).

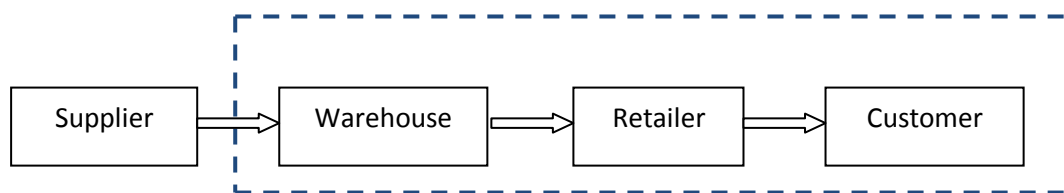
In questo senso quindi la condivisione di informazioni andrebbe ad agire soprattutto su ciò che riguarda il ritardo che solitamente si ha, principalmente a seguito dei processi di supporto di gestione degli ordini, nella trasmissione di un ordine dal retailer al supplier.

Ritorna quindi il concetto già trovato in **“Information Sharing in a Supply Chain: A note on its value when demand is nonstationary”**[71] dove viene chiaramente esemplificato dagli autori che la condivisione di informazioni ha un beneficio solo se il comportamento del retailer non è prevedibile dallo studio della serie storica degli ordini da lui inoltrati nel tempo al supplier (ossia in presenza di politiche di marketing, sconti ed altro..).

Il secondo articolo [80] propone invece un modello maggiormente quantitativo per la valutazione di due opposti scenari:

- (1) condivisione di informazioni lungo la supply chain
- (2) riduzione dei lead time necessari al riapprovvigionamento

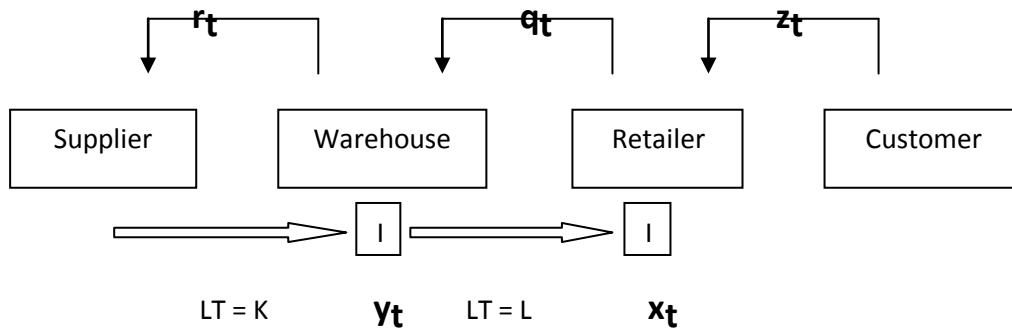
Il sistema modellizzato è limitato dai seguenti confini e dalle seguenti ipotesi:



Ipotesi alla base del modello:

- I. Funzione di domanda: la domanda finale del consumatore è modellizzabile come un autoregressive process del primo ordine AR(1).
- II. forecasting model: minimizzare l'errore quadratico medio
- III. replenishment policy: stesso tempo di riordino per tutti gli stadi (trascorso un intervallo di tempo T in funzione della domanda futura che prevedo e del livello delle scorte, si decide l'entità dell'ordine da trasmettere alla stazione a monte)

Modellizzazione:



Il processo avviene secondo la seguente sequenza di operazioni:

- (1) si osserva l'arrivo degli ordini (per il retailer rappresentati da r_t);
- (2) si determinano le quantità da ordinare (il retailer ordina q_t);
- (3) si ricevono gli ordini piazzati L (K per il manufacturer) periodi prima;

$$z_t = \phi z_{t-1} + \delta + u_t$$

$\delta > 0$ $|\phi| \leq 1$ garantisce il processo stazionario (ϕ è il coeff di correlazione)

$$u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$$

$$z_t = \phi z_{t-2} + \delta + u_{t-1}$$

$$z_t = \phi^2 z_{t-2} + \delta(1 + \phi) + u_t + \phi u_{t-1}$$

$$z_{t-2} = \phi z_{t-3} + \delta + u_{t-2}$$

$$z_t = \phi^3 z_{t-3} + \delta(1 + \phi + \phi^2) + \phi^2 u_{t-2} + \phi u_{t-1} + u_t$$

$\nearrow \sum_{i=0}^{\infty} \phi^i$

Previsione della domanda:

$$F_{t,t+1} = \phi z_t + \delta \quad \text{retailer}$$

$$F_{t,t+l} = \phi F_{t,t+l-1} + \delta \quad \text{manufacturer}$$

All'istante di tempo t la domanda z_t si realizza, il retailer controlla il livello delle scorte e piazza un ordine q_t .

$$q_t = z_t + (\sum_{i=1}^L F_{t,t+i} - \sum_{i=0}^{L-1} F_{t-1,t+i})$$

La quantità tra parentesi esprime la domanda che mi aspetto durante il LT di attesa (replenishment): tale quantità è data dalla differenza tra la domanda che mi aspetto nel futuro e la domanda che avevo previsto prima di vedere l'ordine z_t .

Gli autori modificano quindi nella formulazione matematica da loro proposta prima la lunghezza dei LT di trasporto tra uno stadio e l'altro, poi la grandezza dei lotti ed infine assumono che tutti gli stadi della catena possano vedere la domanda del cliente (e quindi tutte le previsioni sono fatte sulla base di questa domanda e non sugli ordini del rispettivo cliente a valle). La conclusione a cui pervengono è che la riduzione dei LT ha un beneficio maggiore rispetto alla condivisione di informazioni.

Di parere opposto, **Kaipia [46]** costruisce un modello in cui confronta due strategie: l'uso di tecniche JIT (aumento della frequenza delle consegne) e l'introduzione di un sistema di VMI. Confrontando le performance di una supply chain a cui viene applicata alternativamente una delle due strategie usando come metrica principale il tempo a disposizione del supplier per consegnare la merce al retailer risulta che un sistema di VMI, in cui il supplier ha la responsabilità e l'autorità nelle decisioni di riapprovvigionamento, è migliore rispetto ad una situazione in cui si aumenta la frequenza delle consegne, ma gli ordini sono gestiti dal retailer. Tale vantaggio si fonda sull'ipotesi che nel primo caso il supplier ha un tempo di pianificazione¹⁵ della produzione maggiore rispetto al secondo caso.

¹⁵ Nell'articolo si definisce Time benefit = $RT2 - RT1$; dove $RT2$ rappresenta il tempo tra l'istante in cui il supplier vede il livello delle scorte ed il tempo in cui si potrebbe verificare uno stock out; $RT1$ esprime, invece, il tempo che il supplier impiega per rispondere ad un ordine.

PARTE II:

**OBIETTIVI DEL LAVORO E COSTRUZIONE
DEL MODELLO DI CONFRONTO**

CAPITOLO 7

Obiettivo del lavoro di tesi

Negli ultimi anni si è osservato un processo che ha visto molte aziende trasformarsi da organizzazioni fondate sulle funzioni ad organizzazioni funzionanti per processi con l'introduzione di sistemi di tipo Enterprise Resource Planning (ERP); successivamente, un'ulteriore trasformazione ha portato molte organizzazioni a integrarsi in una sorta di rete logistica con clienti e fornitori, facendo nascere le cosiddette Supply Chain. Dall'analisi di letteratura condotta è emerso che uno dei principali problemi all'interno di una supply chain è il verificarsi dell'effetto Bullwhip (amplificazione della domanda andando verso monte). Tradizionalmente tale amplificazione, resa visibile da un forte aumento delle scorte, aumento del tempo di backlog e peggioramento del servizio al cliente, è stata ridotta introducendo nella Supply Chain un sistema informativo che grazie alla condivisione di informazioni portasse una riduzione dei tempi amministrativi di gestione degli ordini così come un miglioramento nei metodi di previsione della domanda per ogni stadio.

Posti questi presupposti, **l'obiettivo del lavoro di tesi è capire come un utilizzo delle pratiche lean possa ridurre l'effetto bullwhip all'interno di una supply chain senza necessariamente dotarsi di un sistema informativo integrato con gli altri anelli della supply chain stessa e senza, quindi, ricorrere ad un aumento dello scambio di informazioni.**

L'analisi di letteratura effettuata ha rilevato, infatti, la presenza di soli due lavori ([8] e [80]) in cui si confrontano in una stessa supply chain due politiche: una di information sharing ed una con qualche strumento di tipo lean. Tali lavori rimangono incompleti in quanto non rivelano alcuna relazione tra bontà delle politiche gestionali ed intensità di oscillazione della domanda finale, così come non danno indicazioni sull'entità degli interventi lean che è necessario intraprendere e come variano le performance finali in funzione di tali interventi.

Nel particolare, i tre **interrogativi di ricerca** a cui si è cercato di dare una risposta sono stati:

- (1) Quale politica gestionale, tra Information Sharing e Lean, abbatte in modo maggiore l'effetto bullwhip? Quali sono le ipotesi sottese in questo confronto?
- (2) Quale relazione esiste tra la variabilità della funzione di domanda finale e le performance (frequenza di stock-out, tempo medio di evasione di un ordine, livello del WIP, varianza del WIP, ..) di una supply chain gestita con diverse politiche gestionali?
- (3) Come variano le performance di una supply chain, relativamente agli indicatori dell'effetto bullwhip (varianza delle scorte e varianza degli ordini) al variare dell'intensità degli interventi lean intrapresi? Qual è l'intervento lean che porta maggiori benefici alla supply chain?

Per far ciò, si sono confrontate tramite simulazioni 3 diverse situazioni.

La prima, quella di una supply chain gestita in modo "tradizionale", dove la logica di gestione è a scorta con punto di riordino per ciascuno degli anelli della catena. La definizione della quantità da produrre è definita mediante una previsione con una media mobile a tre periodi sullo storico degli ordini ricevuti dal cliente dello stadio in esame.

La seconda situazione è quella di una supply chain gestita con visibilità, dove ogni stadio ha visibilità sulla domanda del cliente finale e definisce i propri livelli di scorte (e di conseguenza il proprio piano produttivo) facendo una previsione con una media mobile a tre periodi sullo storico della domanda passata del cliente finale.

La terza situazione è quella di una supply chain Lean, cioè con livellamento della produzione, riduzione dei lotti (sia di produzione che di trasporto), presenza di slot di capacità produttiva dedicata nel caso di condivisione delle risorse produttive con altre linee di prodotto e possibilità di effettuare con una stessa risorsa di trasporto una consegna contenente un mix di prodotti diversi. In questa situazione non esiste visibilità sulla domanda del cliente finale, ma ogni stadio ordina in lotti fissi in funzione del consumo del rispettivo stadio a valle.

Si sono valutati i miglioramenti in termini di riduzione delle scorte totali a pari livello di servizio al cliente. **La tesi è che tramite l'approccio Lean è possibile ottenere un livello di servizio migliore con minori scorte.**

L'approccio lean può, però, risultare inadeguato se la domanda è fortemente variabile. In questo caso, infatti, pur essendo la lean production veloce a riportare la situazione al livello di normalità, si può osservare un visibile peggioramento delle performance verso il cliente finale. L'analisi sull'intensità degli interventi lean da realizzare vuole, invece, essere un aiuto per capire fino a che punto si possono raggiungere risultati significativi e ragionevoli in funzione agli interventi lean intrapresi.

CAPITOLO 8

Struttura del lavoro di tesi

Nel presente capitolo, dopo aver brevemente riassunto l'analisi di letteratura condotta nella prima parte del lavoro e aver evidenziato i problemi emersi e subordinati agli interrogativi di ricerca esplicitati nel precedente capitolo, si fornisce un quadro della struttura complessiva dell'elaborato. Viene quindi illustrata la metodologia seguita per rispondere agli interrogativi posti.

8.1 Riassunto della letteratura

Tra i problemi di maggior interesse nella gestione di una generica supply chain si evidenzia la presenza di un aumento della variazione della domanda risalendo verso monte nella supply chain stessa. Questo fenomeno, conosciuto in letteratura sotto il nome di effetto Bullwhip o effetto Forerster, è visibile tramite un aumento dell'oscillazione delle scorte e la presenza di periodi di stock out.

In letteratura si trovano numerosi studi che hanno cercato di teorizzare il fenomeno cercandone le cause. Nella tabella qui riportata si riporta un riassunto dell'analisi condotta relativamente a cause, variabili rilevanti e politiche da adottare per abbattere l'effetto bullwhip.

CAUSA	VARIABILI DIPENDENTI	POLITICA DA ADOTTARE
Previsione della domanda	LT di riapprovvigionamento	Condivisione delle informazioni sulle scorte e sulla domanda (POS)
	Scorte (di ciclo + SS)	
	Metodo di previsione della domanda (maggiore è il numero di osservazioni usate per calcolare la media mobile minore è l'effetto BW)	
Politica di razionamento		La condivisione di informazioni ha effetti rassicuranti sui clienti
Lottizzazione	Costi amministrativi	Uso di sistemi informatizzati li abbassa
	Costi di trasporto della merce	Milk runs
Fluttuazione del costo di acquisto delle MP		Sistemi di VMI per responsabilizzare il fornitore. Sistemi di accountability ABC
LT di trasmissione delle informazioni		<ul style="list-style-type: none"> - Sistemi EDI per velocizzare il trasferimento di informazioni. - Riduzione della lunghezza del canale - Eliminazione degli stadi ridondanti - Riduzione del LT di processamento - adozione VMI (elimina uno stadio del processo decisionale [30])

Tabella 19: Cause e variabili rilevanti dell'effetto Bullwhip

Un'importante osservazione emersa dal confronto tra i diversi modelli è la presenza di una correlazione tra l'aumento del costo di gestione di una supply chain – inteso come somma di costo di immobilizzo delle scorte e costo per mancata evasione degli ordini – l'aumento delle metriche caratteristiche dell'effetto bullwhip (varianza delle scorte e degli ordini).

Dall'analisi condotta emerge un generale consenso di tutti gli autori analizzati sull'utilizzo di pratiche di Information Sharing per abbattere l'effetto Bullwhip. Numerosi modelli e simulazioni mostrano, infatti, che una condivisione della domanda finale a tutti gli stadi porta ad una sensibile riduzione della varianza di scorte e dimensione degli ordini risalendo verso monte.

L'applicazione di una politica di information sharing porta però anche dei problemi che spesso vengono sottovalutati: la necessità di condividere informazioni operative day-to-day ed il bisogno per attuare questa condivisione di sistemi informativi integrati. Altri paper mostrano invece che il vantaggio portato da una

politica di information sharing è asimetrico all'interno di una supply chain in quanto gli stadi a monte ne ricaverebbero i maggiori benefici, mentre gli stadi a valle – responsabili della condivisione – avrebbero dei benefici molto limitati.

Nella tabella sottostante si riportano i risultati dell'analisi di letteratura in merito alle informazioni scambiate ed all'uso che ne viene fatto all'interno di una supply chain.

<p align="center">Informazioni condivise</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Domanda del cliente finale b. Stato delle scorte c. Piani di produzione d. Ordini
<p align="center">Dove vengono usate le informazioni?</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Previsione della domanda <ul style="list-style-type: none"> - pianificazione della produzione (riduzione dei fermi macchina) - approvvigionamento dei materiali (gestione delle scorte) <ul style="list-style-type: none"> *quantità da ordinare *allocazione merci tra più retailers in caso di shortage b. Riduzione dei costi e dei tempi amministrativi nella gestione degli ordini c. Migliore pianificazione della logistica (risparmio nei tempi di trasporto)

Tabella 20: Informazioni condivise all'interno di una supply chain

I modelli analizzati sono tutti strutturati con lo stesso metodo di analisi: viene proposto uno scenario base al quale viene poi aggiunta una politica di information sharing. Si valuta quindi il vantaggio in termini di costo totale della supply chain o in termini di effetto bullwhip (varianza di scorte e ordini) con il fine di quantificare il vantaggio portato dall'information sharing rispetto alla situazione precedente. Come sottolineato da Li, Yan, Wang e Xia [56] la molteplicità di ipotesi alla base di questi modelli ne rende impossibile un loro confronto sistematico. Nonostante ciò, dall'analisi condotta si può affermare che l'introduzione di una politica di Information Sharing porta una riduzione dei costi totali della supply chain di un valore di circa il 10% rispetto ad uno scenario tradizionale senza condivisione di informazioni.

Tali difficoltà nell'utilizzo di politiche di information sharing hanno aperto la strada a nuovi metodi gestionali, tra cui la Lean production. Il termine Lean si trova in letteratura spesso usato come l'opposto di *Agile* nel definire la politica di gestione di una supply chain. Gli autori che usano questa contrapposizione ritengono la *lean* un sinonimo di efficienza operativa e l'*agile* come un sinonimo di flessibilità verso il cliente. Womack e Jones [94], tra i padri fondatori della Lean, teorizzano invece la Lean usando 5 principi: attenzione verso il cliente, identificazione delle attività a valore aggiunto, gestione a flusso, utilizzo di tecniche pull e tendenza verso la perfezione.

Dall'analisi di letteratura condotta solo due articoli mostrano un confronto tra lean ed information sharing

nella gestione di una supply chain. Cachon e Fisher [8] confrontano un modello di condivisione delle informazioni con una politica di riduzione dei lotti e dei lead time della supply chain stessa. Agawal, Nardan, Sengupta e Shanker [80] propongono invece un modello analitico in cui si confronta una politica di information sharing con una di riduzione dei tempi di riapprovvigionamento tra i diversi stadi della supply chain.

8.2 Problematiche emerse dall'analisi della letteratura

8.2.1 Distinzione tra lean ed agile nella gestione di una Supply Chain

Dalle definizioni riportate sembra che la lean sia un insieme di pratiche di buon senso che se applicate con continuità possano portare nel tempo a dei sostanziali vantaggi per le organizzazioni. Cox [22] critica la scuola lean per questo voler racchiudere in se tutte le best practices e quindi essere adattabile a tutti i tipi di supply chain. In risposta a questa critica si possono portare le seguenti argomentazioni:

- La lean racchiude in se una serie di strumenti che la differenziano rispetto ad altre tecniche e la rendono quindi originale (flow chart, value stream map, ..)
- La lean racchiude in se alcuni principi non presenti in altre strategie di gestione della supply chain (la grande importanza data al rendere tutto visibile all'interno della fabbrica, il nuovo ruolo di controllore di processo assunto dal personale a bordo linea, ..)
- Il processo di re-ingegnering di un processo deve seguire degli step ben codificati: individuazione del cliente, identificazione del value stream, eliminazione dei processi che non generano valore, costruzione della value stream map rappresentante la situazione to be ed infine focus sul cambiamento – miglioramento continuo.

Senza alcuna pretesa di voler qui risolvere il dibattito esistente in letteratura tra lean ed agile, si conclude solamente che nel presente lavoro il termine lean è utilizzato nella sua accezione originaria, come formulato da Womack e Jones.

8.2.2 Lo scambio di informazioni in una Lean Supply Chain

La filosofia lean vuole inserirsi in tutta la supply chain, la definizione di accordi di partnership con gli altri attori è quindi un fattore fondamentale [42]. Partendo da questa considerazione, ben giustificata in letteratura, si pone il problema, non irrilevante, di distinguere in che cosa consiste una partnership tra due attori all'interno di una lean supply chain e di conseguenza in cosa si differenzia rispetto al classico modello di condivisione di informazioni.

Per caratterizzare lo scambio informativo in una lean supply chain, partendo dalla teoria sull'Information Sharing [34] si sono utilizzate tre variabili: quantità di informazione scambiata (comprendendo sia il volume

sia la sua granularità), tipologia di informazione e obiettivo dello scambio informativo.

Dall'analisi della letteratura condotta, si è quindi formulata la seguente tabella:

	Quantità	Tipologia	Obiettivo
Information Sharing	Alta (scambio giornaliero)	Info operative	Coordinamento operativo (MRP)
Lean	Media (scambio una tantum)	Info strategiche (Knowhow)	Creazione lean supply chain

La quantità, intesa sia come frequenza sia come granularità, di informazioni scambiate è senz'altro superiore nel caso di Information Sharing, in cui si richiede uno scambio quotidiano di informazioni relative al livello delle scorte e della dimensione degli ordini del cliente. Circa la tipologia delle informazioni oggetto di scambio, in una catena lean, le informazioni scambiate sono relative alla knowledge della pratica lean. In un sistema gestito con Information Sharing, invece, si tendono a condividere le operazioni operative, tralasciando quelle di tipo strategico. A completamento del punto appena descritto, la lean mira a condividere le informazioni per costruire una lean supply chain che vada oltre i confini della singola organizzazione, ma che si estenda dal fornitore al cliente finale. L'Information Sharing invece si pone come obiettivo il coordinamento dei piani di produzione senza alcuna mira di tipo strategico.

8.2.3 Costruzione di un modello di Supply Chain

L'analisi di letteratura condotta ha portato all'identificazione di una vasta varietà di modelli presenti in letteratura. I modelli identificati differiscono, infatti, sia per numero totale di stadi modellizzati, sia per numero di prodotti, e sia per politica di gestione della supply chain, tanto che non è possibile definire un framework generale per la modellizzazione di una generica supply chain. Tale considerazione trova supporto anche nell'analisi condotta da Li, Yan, Wang, Xia [56] nel confronto di più modelli di Information Sharing. Per la vastità delle ipotesi usate e delle variabili prese in considerazione, concludono i quattro autori, non si possono confrontare in termini quantitativi i risultati a cui si perviene usando modelli diversi.

Qualche autore ha cercato di uniformare la modellizzazione di supply chain partendo dai principi SCOR [70]. Tale approccio suggerisce di mappare prima a livello macro gli stadi di una supply chain e poi scendere nel dettaglio utilizzando la mappatura di dettaglio di sub-modelli standard. Tale modalità di procedere ha il doppio vantaggio di strutturare meglio la supply chain ed al tempo stesso, per la sua scomponibilità in sotto modelli standard, di essere riutilizzabile per molteplici macro modelli di supply chain. Nonostante ciò questo framework è stato criticato per essere poco realistico, data la presenza di elementi standard.

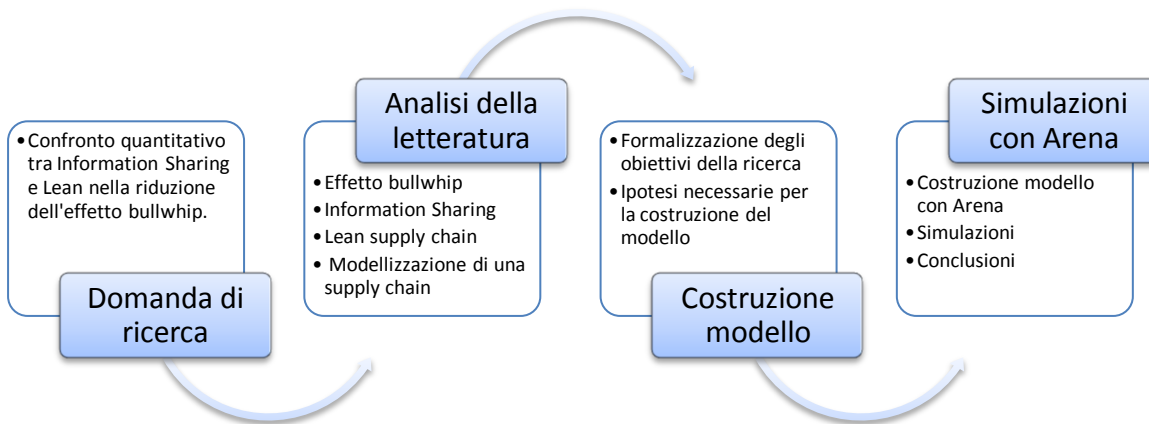
Nonostante queste diversità è possibile ritrovare in tutti gli articoli esaminati alcuni punti in comune:

- La presenza di almeno uno stadio, denominato wholesaler o retailer, che si comporta come un magazzino senza procedere ad alcuna trasformazione sui prodotti;

- La suddivisione di ciclo logistico e ciclo degli ordini in due o più sub-modelli diversi
- La presenza a monte della supply chain di un supplier con capacità illimitata

7.2 Struttura del lavoro

La struttura del presente lavoro può essere rappresentata dal seguente diagramma:



La domanda di ricerca che ha dato l'avvio al presente lavoro è stata lo studio dell'impatto delle tecniche lean sulla riduzione dell'effetto bullwhip, una sua quantificazione ed infine un confronto con l'analogo beneficio che si avrebbe potuto ottenere se invece delle tecniche lean si fosse usata una tradizionale politica di condivisione di informazioni tra gli stadi della supply chain. Partendo da tale obiettivo si è condotta un'analisi della letteratura che ha coinvolto vari aspetti: la concettualizzazione dell'effetto bullwhip, le modalità di utilizzo dell'information sharing all'interno di una supply chain e la definizione di una lean supply chain.

Il passo successivo è stato poi la costruzione di un modello in cui confrontare l'approccio lean con l'approccio tradizionale dell'information sharing. La definizione di tale modello ha richiesto una review della letteratura in merito alla modellizzazione e simulazione di supply chain e la formalizzazione delle ipotesi, delle variabili e degli input richiesti. Definito ciò si è passati alla costruzione del modello ipotizzato con il software Arena 12.0. Nella fase di simulazione, che è durata complessivamente circa 2 mesi, si sono svolte le seguenti attività:

- (1) Definizione di uno scenario base;
- (2) Definizione di un piano di simulazioni in cui a partire da uno scenario base si è andati di volta in volta a modificare una variabile e vedere il suo impatto su una serie di metriche.

CAPITOLO 9

Modellizzazione della supply chain

Viene di seguito riportata una breve analisi della letteratura in merito alla simulazione del comportamento di supply chain. Segue, quindi, la descrizione dettagliata del modello di supply chain scelta nel presente lavoro.

9.1 Definizione della metodologia seguita: uso di simulazioni

9.1.1 Scelta del metodo di simulazione

La necessità di un modello di simulazione è giustificata dalle seguenti argomentazioni:

- Il sistema che si modella è un sistema complesso, che comprende code, risorse con definite disponibilità, processi e decisioni da prendere. Il modello di simulazione consente di studiare come questi componenti interagiscono tra di loro;
- Non si vuole testare una soluzione, ma vedere l'impatto del cambiamento del valore di alcune variabili sui processi chiave di una supply chain (approccio what-if)[83]
- Presenza di variabilità nei dati in ingresso al sistema e nei processi che servono questa domanda;

Chang e Makatsoris in [10] sostengono che le simulazioni sono utili per tre motivi: «(1) enable companies to perform powerful what-if analysis leading them to better planning decisions; (2) permit the comparison of various operational alternatives without interrupting the real system and (3) permit time compression so that timely policy decisions can be made».

Vieira e César Júnior in [84], analizzando una serie di paper, riportano una serie di vantaggi nell'uso di simulazioni:

- a. Le simulazioni permettono una maggiore comprensione dei processi e delle caratteristiche della supply chain da modellare
- b. Simulando, si possono analizzare l'impatto di eventi inaspettati su prestazioni chiave.
- c. I managers possono testare molteplici alternative prima di passare alla fase esecutiva.
- d. Le simulazioni permettono di confrontare diverse configurazioni di relazioni tra gli attori della supply chain, usando come base del confronto indicatori chiave quali il costo totale, la flessibilità, il grado di servizio al cliente.

Queste argomentazioni, associate al fatto che il problema che si tenta di risolvere non ha a priori una soluzione unica, portano a scegliere il metodo della simulazione a scapito della formulazione e risoluzione analitica del problema.

All'interno del panorama delle simulazioni, si trovano diversi metodi.

Kleijnen e Smits e, successivamente, Kleijnen in [49] distinguono quattro possibili tipologie di metodi di simulazioni che possono essere usati per la modellizzazione di una supply chain:

- a. **Fogli excel**. Si tratta della più semplice forma di simulazione da utilizzare, nata per la costruzione dei MRP;
- b. **Sistemi dinamici**, modellizzano la supply chain con i suoi attori e flussi e permettono di analizzare come un cambiamento a livello della velocità di produzione o della quantità di ordini inseriti nel

sistema impatta sul livello delle scorte e sull'output del sistema stesso. Nella definizione delle politiche di produzione e di gestione delle scorte l'elemento caratterizzante che viene utilizzato è il ricorso al feedback, ossia nel caso di deviazione di un valore dal valore target si prendono in itinere delle decisioni correttive. Questa tipologia di simulazione è stata storicamente utilizzata per mostrare qualitativamente l'effetto Bullwhip.

- c. **Simulazioni ad eventi discreti.** Questa tipologia di simulazione presenta due caratteristiche distintive: (a) rappresenta eventi individuali e (b) incorpora incertezze (nella funzione di domanda, nel processo di produzione attraverso l'inclusione di una funzione che descrive l'accadimento di fermi macchina per guasti, ..)
- d. **Business games.** Questa tipologia di simulazione viene utilizzata quando si vuole modellizzare il comportamento umano. Si ricordi a titolo di esempio il Beer Game usato per la simulazione del comportamento dei managers a fronte di scostamenti della domanda.

La scelta del metodo di simulazione da utilizzare è funzione degli interrogativi a cui si vuole dare risposta. Il presente lavoro propone una modellizzazione della supply chain tramite il **software Arena 12.0** che appartiene alla tipologia degli strumenti di modellizzazione ad eventi discreti.

9.1.2 Elementi fondamentali nella costruzione di una generica simulazione

Indipendentemente dalla tipologia di simulazione scelta e dall'oggetto della modellizzazione, la costruzione di un modello di simulazione deve seguire una struttura ben precisa [85]:

- a. Formulazione concettuale del modello
- b. Raccolta dei dati di input
- c. Costruzione del modello (nel presente caso tramite il software Arena 12.0)
- d. Verifica e validazione del modello
- e. Simulazione
- f. Analisi degli output
- g. Raccomandazioni e conclusioni

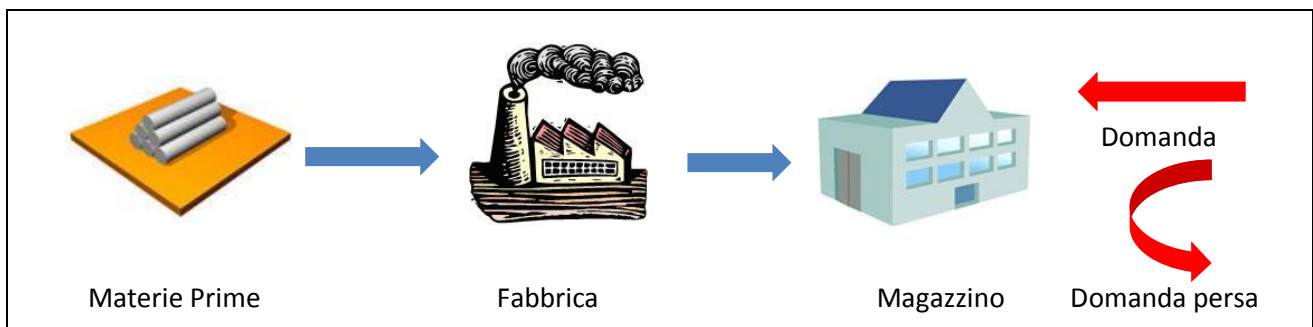
In aggiunta a questi passi, se l'obiettivo del lavoro mira a cercare una soluzione ottima vanno aggiunti anche [49]: (h) ottimizzazione della soluzione e (i) analisi di robustezza della soluzione a fronte di cambiamenti di variabili non controllabili dal management.

9.2 Formulazione di un modello di simulazione per una supply chain

Una Supply Chain è modellizzabile attraverso l'uso di due categorie di elementi: nodi ed archi. I nodi rappresentano il supplier, il manufacturer, il distributore, i punti vendita, i magazzini e qualsiasi altra stazione "fisica" dove i prodotti transitano o sono processati; gli archi, invece, rappresentano i trasporti (via camion, via aerea, ..) tra i diversi nodi. Due flussi attraversano trasversalmente la Supply Chain: un flusso che genericamente parte dal supplier e termina dal cliente finale che trasporta materie prime e poi prodotti finiti ed un flusso con verso opposto che trasporta informazioni (principalmente gli ordini di rifornimento), money ed eventualmente anche prodotti (processi di riparazione di prodotti o restituzione del prodotto al fornitore al termine della sua durata di vita).

Ogni stadio della Supply Chain a sua volta può essere composto da una sua propria Supply Chain, andando quindi a rendere maggiormente complesso il sistema complessivo. Indipendentemente dagli obiettivi del presente lavoro, le misure di performance che tradizionalmente vengono rilevate in una Supply Chain sono il livello di servizio dato al cliente, il livello delle scorte e la quantità (spesso espressa in termini monetari) di mancate vendite per il verificarsi di uno stock-out nel magazzino. Tali indicatori rilevano che è fondamentale valutare una qualsiasi Supply Chain da due diverse prospettive: il punto di vista del cliente finale che richiede che la sua domanda sia soddisfatta nel tempo richiesto ed il punto di vista degli attori della Supply Chain che, ovviamente, si pongono l'obiettivo di ridurre i costi complessivi del sistema.

Il modello più semplice di Supply Chain è raffigurato nella figura sottostante:



La stazione produttiva è rifornita da un magazzino di materie prime – che si assume avere capacità infinita – e produce un'unica tipologia di prodotto finito che una volta completato viene trasportato in un magazzino. Gli ordini dei clienti finali si realizzano presso il magazzino: se in esso è presente uno stock sufficiente di prodotto finito allora gli ordini vengono evasi, in caso contrario gli ordini sono persi (non si ha backlog).

Modelli più complessi presentano una delle seguenti aggiunte:

- Sistemi multi-prodotto;
- Presenza di un maggior numero di stazioni di produzione;

- Presenza di operazioni in parallelo: per esempio il caso di una fabbrica che utilizza due componenti provenienti da due supply chain completamente diverse.

Nonostante la semplicità del modello sopra proposto sono molteplici le decisioni da prendere per la sua gestione:

- a. Politiche di gestione delle scorte nel magazzino
- b. Politiche di gestione delle code e rilascio degli ordini
- c. Presenza o meno di backlog

Oltre a ciò si aggiunge la definizione di alcune variabili quali: il numero di risorse impiegate, l'orario lavorativo, il tempo di arrivo degli ordini, il tempo di processamento di un prodotto, il tempo di trasporto lungo gli archi della supply chain, il tasso di difettosità dei pezzi prodotti (se presente), il tasso di fermo delle macchine usate nel processo¹⁶,...

Di seguito vengono analizzate alcune variabili del modello.

9.2.1 Politiche di gestione delle scorte

La pianificazione dei fabbisogni costituisce una parte fondamentale del ciclo di ogni azienda manifatturiera. Formulato, infatti, il piano principale di produzione ogni azienda deve definire la tecnica per gestire i rifornimenti di materie prime. In letteratura esistono due categorie di metodi:

- a. **Tecniche PUSH o di gestione a fabbisogno.** Si tratta di tecniche di gestione dei fabbisogni che partendo dal piano principale di produzione e dalla distinta base dei prodotti da realizzare calcolano per tutti gli stadi della supply chain il fabbisogno di componenti. Il MRP è la principale tecnica di tipo push. L'adozione di una tecnica push tra le ipotesi di applicabilità richiede la presenza di un efficiente sistema informativo.
- b. **Tecniche PULL o di gestione a scorta.** Esistono molteplici varianti di tecniche pull, che si differenziano per: tipo di controllo (continuo o discontinuo), intervallo di emissione degli ordini (fisso o variabile), quantità riordinata (fissa o variabile) e tipo di riordino (a voci indipendenti o congiunte). Si ricorda la tecnica del lotto economico (EOQ) che si caratterizza per avere un controllo continuo, un intervallo di emissione degli ordini variabile ed una quantità riordinata fissa (calcolata come minimizzazione dei costi di mantenimento a scorta e costi di emissione degli ordini di

¹⁶ Il grande numero di variabili qui esposte giustifica nuovamente l'approccio scelto della modellizzazione a scalpito della formulazione analitica del problema.

riapprovvigionamento. E la tecnica IR, ad intervallo di riordino fisso, che rappresenta il duale dell'EOQ¹⁷.

In questo quadro le tecniche di gestione di tipo Lean si inseriscono all'interno delle tecniche di tipo PULL.

Relativamente al modello di supply chain proposto nel presente lavoro, si fornisce di seguito una breve trattazione della tecnica di riapprovvigionamento a lotto economico.

La logica seguita dall'EOQ (Q,R) è l'ordinazione di una quantità Q ogni qualvolta si scende al di sotto del livello di riordino R. Il livello di riordino R è a sua volta definito in funzione del livello di servizio (LS) che si vuole garantire al cliente, alla domanda media attesa (D) ed al lead time di riapprovvigionamento (TR). Nel caso di lead time di riapprovvigionamento noto deterministicamente il livello di riordino (R) è rappresentato dalla formula:

$$R = D * TR + SS^{18}$$

dove SS rappresentano le scorte di sicurezza, calcolabili con la formula:

$$SS = K\sigma TR$$

dove K è l'indice del livello di servizio ossia rappresenta il valore della normale N(0;1) a cui corrisponde un valore di probabilità cumulata pari a LS (per LS=98%, K=2,06) e σ rappresenta la deviazione standard della domanda attesa (che si suppone sia distribuita come una normale).

Se invece si considera un lead time di riapprovvigionamento (TR) stocastico il livello di riordino è rappresentato dalla stessa formula, ma le scorte di sicurezza sono composte anche da un termine che tiene conto della deviazione standard di TR σ_{TR} :

$$SS = K \sqrt{\sigma^2 TR + \sigma_{TR}^2 D^2}$$

Si nota quindi che a causa dell'incertezza sui lead time di riapprovvigionamento e sulla domanda le aziende detengono delle quantità di scorte di sicurezza. Una crescita quindi della domanda media porta ad una crescita delle scorte totali di un fattore superiore (cfr. la parte di analisi della letteratura, sez. 2.2).

Dall'analisi condotta in letteratura sono emersi vari modelli diverse varianti dei due macro modelli sopra illustrati: riordino con lotto variabile funzione della quantità passata [55], riordino a lotto variabile, ma multiplo di una quantità fissa Q [8], riordino tramite target stock [80] e [70].

¹⁷ Per una trattazione sulle ipotesi di applicabilità ed i limiti di queste tecniche si veda "Gestione della produzione industriale" di Brandolese, Pozzetti e Sianesi - HOEPLI 1991.

¹⁸ Nel caso anche la domanda fosse deterministica il livello di riordino sarebbe semplicemente composto da $R = D * TR$.

9.2.2 Politiche di gestione delle code e rilascio degli ordini

In un'azienda manifatturiera gli ordini di produzione prima di entrare nello shop-floor vengono generalmente accumulati e rifequenziati nel pre-shop pool. In letteratura esistono molteplici tecniche di sequenziamento e rilascio degli ordini di produzione volte a bilanciare il carico di lavoro nello shop-floor. Nel presente lavoro si ipotizza che non venga usata nessuna politica di sequenziamento degli ordini, ossia gli ordini entrano nel sistema produttivo (o nella generica stazione della supply chain) nello stesso ordine in cui arrivano dallo stadio precedente. Tale semplificazione è giustificata dal fatto che il presente lavoro non studia nel dettaglio la produzione di un singolo prodotto, ma vuole piuttosto analizzare la supply chain nel suo complesso¹⁹.

Inoltre, ogni ordine deve seguire il percorso modellato e visitare tutte le stazioni che compongono il sistema. Ogni stazione è separata dalle altre da un buffer senza limite superiore di capacità. La logica di gestione dei buffer è di tipo FIFO

9.2.3 Funzione di domanda

In questa sezione viene illustrata l'analisi condotta ad un significativo campione di articoli per comprendere qual è la funzione di domanda maggiormente usata in letteratura.

¹⁹ Motivazione questa che giustifica anche l'ipotesizzare che tutti i prodotti seguano lo stesso percorso all'interno della supply chain.

Riferimento bibliografico	FUNZIONE DI DOMANDA	Struttura della supply chain	Obiettivo dell'articolo (ed eventuali ulteriori osservazioni)
[90]	Dati da un caso reale dell'industria tessile	4 stadi Gli ordini sono inoltrati a monte dal cliente finale e poi in logica push scendono a valle	Obiettivo dello studio: riduzione dei LT <u>Variabili usate per formare gli scenari di confronto</u> : tipologia di produzione (MTS-MTO) e condivisione delle informazioni tra gli stadi <u>Risultato del paper</u> : il confronto tra le diverse strategie mostra che la mancanza di collaborazione tra le varie BU porta a LT maggiori e una crescita della loro varianza
[77]	Dati della domanda, tempo medio di processamento per ogni stadio e previsioni di vendita da ogni stadio provengono da dati reali sull'industria automobilistica	3 stadi	<u>Risultato del paper</u> : la condivisione istantanea di informazioni (tramite EDI) porta ad una riduzione del tempo di trasferimento delle informazioni da uno stadio all'altro.
[72]	Esponenziale		
[96]	Domanda costante: un ordine ogni periodo	2 stadi	
[8]	Uniforme [0;d]		
[2]	Poisson Uniforme su intervallo [a;b]		
[46]	Dati reali – Grocery industry	3 stadi	Quantificazione dei vantaggi dell'Information Sharing
[80] [55] [54] [98] [14]	AR(1): $D_t = c + \varphi D_{t-1} + \varepsilon_t$ dove il termine ε_t esprime un generico errore non prevedibile		
[70]	Uniforme - Poisson	4 supplier + 1 manufacturer + 4 warehouse + 2 retailer + 2 customers	Contiene line guida per costruire un modello di simulazione tramite il metodo SCOR
[36]	Uniforme, esponenziale, Erlang, Normale	2 stadi	Dimostrazione benefici IS
[87]	Esponenziale	6 stadi produttivi	
[11]	Normale	4 stadi	Confronto tra politiche di riduzione dei LT e condivisione delle informazioni. La riduzione della variazione della domanda tra gli stadi si riduce del 50% con l'IS.

[43]	Normale	2 stadi	<u>Obiettivo</u> : Stimare il numero ottimo di consegne (dimensione dei lotti) tra supplier e retailer massimizzando una funzione esprimente il livello di servizio
[69]	Normale	4 stadi	<u>Obiettivo</u> : confronto tra politiche di: riduzione dei LT e condivisione di informazioni

Tabella 21: Funzione di domanda in input alla simulazione

9.3 Descrizione del sistema scelto

Dall'analisi della letteratura svolta è emerso che il primo passo per la definizione di una supply chain sia quello di definire i seguenti parametri:

Numero di stadi	In letteratura la maggior parte dei modelli utilizza una supply chain a due stadi (retailer + supplier). Accogliendo la critica svolta da [87] verso modelli così semplificati si propone qui un modello a 5 stadi.
Numero di prodotti	La quasi totalità dei modelli utilizzati usa supply chain monoprodotta. Qui si modella una supply chain con 4 prodotti. ²⁰
Processo di produzione	Lead time deterministico e nessun guasto alle macchine (*). Tutti i pezzi prodotti seguono lo stesso percorso e quindi visitano tutti gli stadi della supply chain, ma hanno tempi di processamento diversi per ogni stadio
Domanda finale	Gli articoli analizzati comprendono svariate funzioni di domanda finale. In assenza di un modello condiviso si modella qui la domanda del cliente finale con una funzione 2-Erlang con l'intenzione di dare al processo abbastanza variabilità tanto da testare l'ipotesi del presente lavoro nel caso di moderata variazioni della domanda.
Tempi di trasporto	Tempi deterministici (*).

Tabella 22: Ipotesi di costruzione della supply chain

(*) In linea a quanto si trova in letteratura.

Il sistema modellizzato è quindi il seguente:

- un supplier con capacità illimitata;
- tre stadi produttivi;
- uno stadio di raccolta degli ordini verso i clienti (senza funzioni produttive).

Ogni stadio produttivo è rappresentato schematicamente da due magazzini, rispettivamente di input e di output, e da una sola macchina²¹ produttiva. I tempi di lavorazione sono deterministici e non si verificano guasti o altre cause non programmate di interruzione della produzione. Le uniche cause di ritardo di un ordine di produzione possono essere solo la mancanza di materiali nel magazzino di input o la non disponibilità della macchina produttiva perché già impegnata a processare un precedente ordine.

La materia prima proveniente dal supplier viene prima elaborata nel primo stadio produttivo, quindi viene differenziata in due codici al secondo stadio produttivo (differenziazione per *size*). I due codici così generati sono poi elaborati dal terzo stadio produttivo che genera quattro prodotti finiti diversi, che vengono richiesti dallo stadio denominato "retailer" che vede la domanda del cliente finale. Nella figura sottostante è rappresentato il modello della supply chain creata in cui viene messa in evidenza la struttura complessiva a 5 stadi e l'evoluzione della distinta base dei prodotti.

²⁰ Questa semplificazione che si trova in letteratura è giustificata da due diverse motivazioni: (1) molti modelli vengono risolti in modo analitico, ossia si determinano i livelli ottimi di riordino, target stock e viene poi valutato l'effetto Bullwhip partendo da queste espressioni (in altri termini non vengono fatte simulazioni); (2) manca in letteratura un confronto tra l'uso di information sharing e l'uso di tecniche lean per la gestione di una supply chain.

²¹ Tale semplificazione si allinea a quanto già fatto in letteratura. Si riassume in un solo modello di stazione produttiva il tempo complessivo di più stazioni produttive reali.

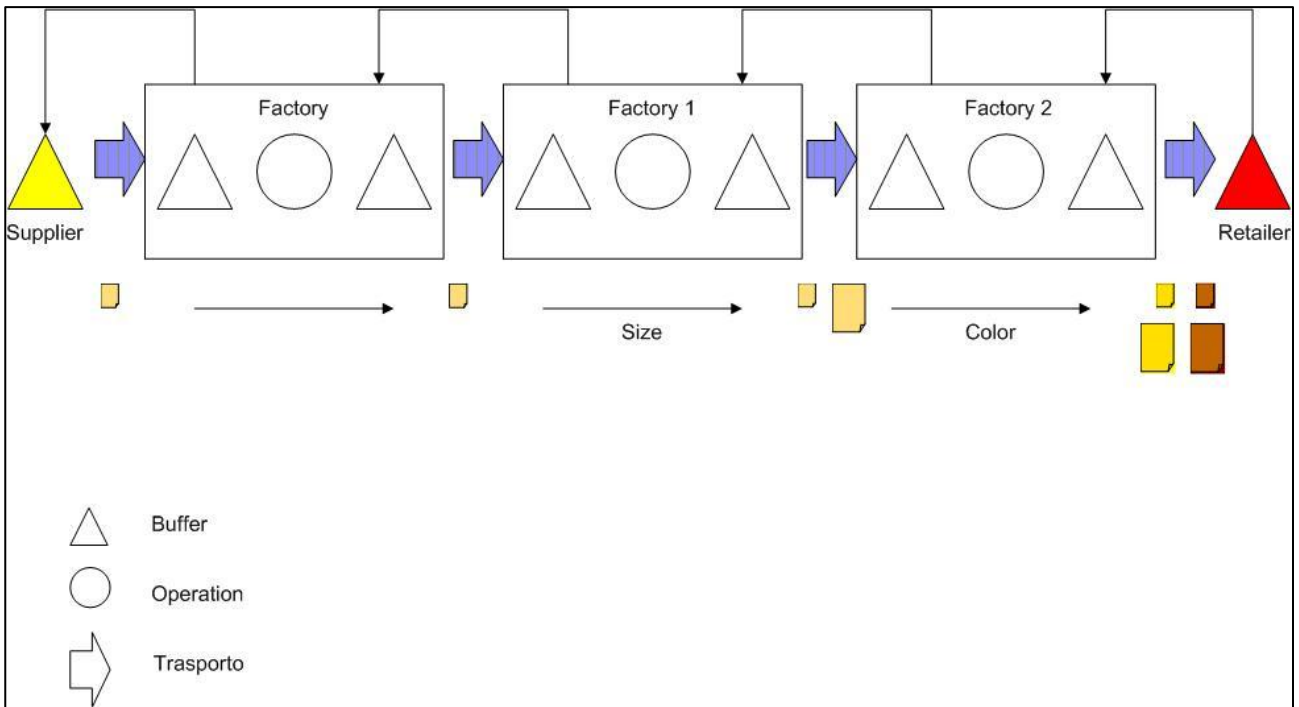


Figura 5: Rappresentazione dei prodotti nella supply chain

Si riportano di seguito le distinte base dei prodotti generati nella supply chain:

Type	1
Size	1
Color	1

Type	3
Size	2
Color	1

Type	2
Size	1
Color	2

Type	4
Size	2
Color	2

Figura 6: Distinte base dei prodotti della supply chain

Di seguito viene riportato il flusso logico delle attività svolte in ogni stadio produttivo.

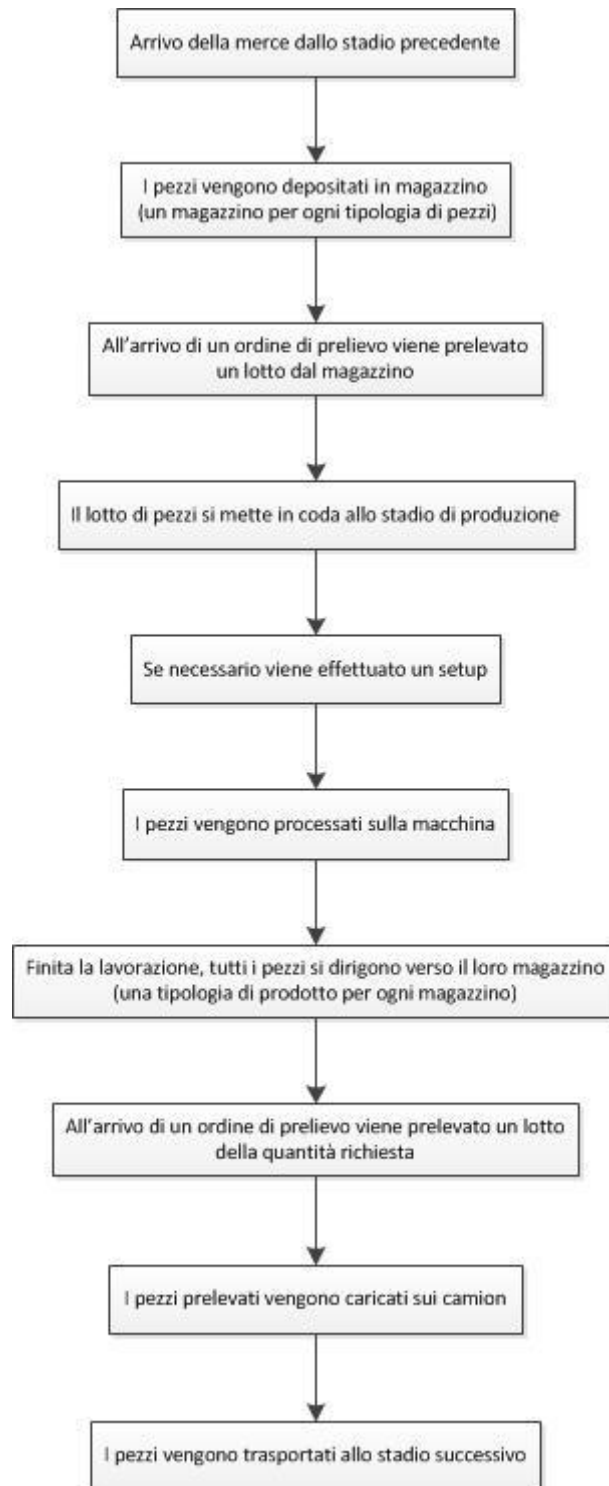


Figura 7: Flusso logico di gestione della supply chain

Una stazione produttiva non ha capacità completamente dedicata alla produzione in esame, ma produce anche per una famiglia di prodotti esterni. I due stadi produttivi che sono completamente dedicati alla famiglia di prodotti analizzati hanno logiche di lottizzazione diverse (il primo per “Size” ed il secondo per “Color”).

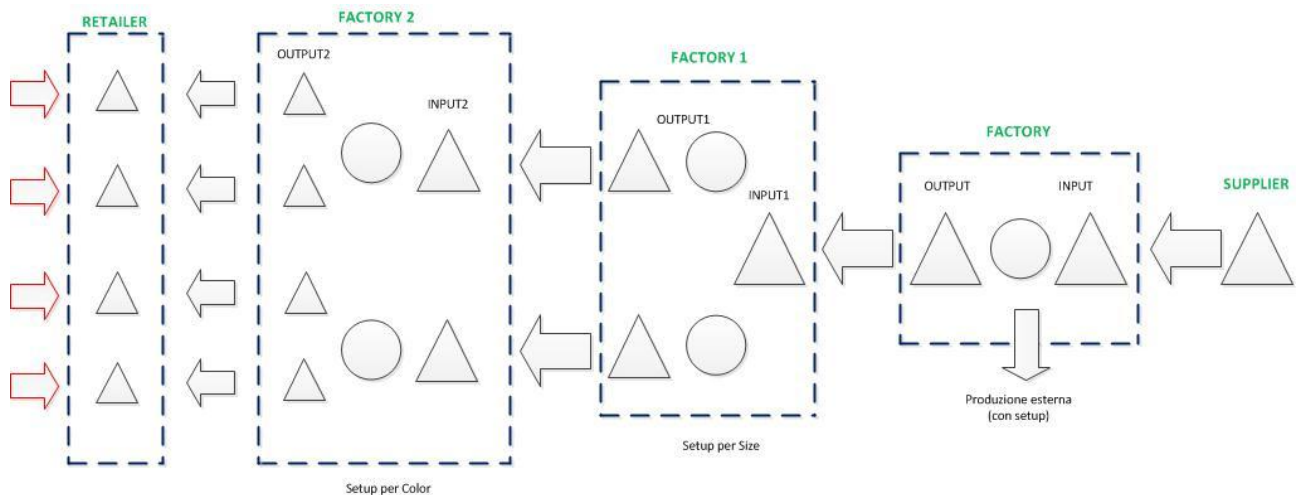


Figura 8: Struttura generale della supply chain modellizzata

Nella rappresentazione della supply chain sopra si sono utilizzati i classici simboli: triangolo per indicare la presenza di un magazzino, cerchio per indicare uno stadio produttivo e freccia piena per indicare i trasporti (ad eccezione delle frecce di colore rosso che rappresentano la domanda finale). Non viene indicato, invece, il flusso di informazioni tra i diversi stadi in quanto questo varia in funzione dello scenario esaminato.

Nella definizione del modello, trasversalmente agli scenari modellizzati, sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

- (1) Viene garantito un **backlog** per tutti gli stadi della supply chain. Se non ci sono sufficienti scorte a magazzino, l'ordine viene messo in attesa e verrà evaso non appena il magazzino sarà rifornito. Gli ordini in backlog sono evasi secondo una logica FIFO.
- (2) L'evasione dell'ordine finale è fatta solo ad **ordine completo**. Tale problema non si pone per il retailer dove la domanda in ingresso è unitaria e quindi si presentano solo due scenari: il prodotto è presente in magazzino oppure il magazzino è vuoto. Per tutti gli altri stadi tale regola è garantita dal controllo che viene fatto nel magazzino prima di lanciare un ordine di produzione o di prelievo dal magazzino prodotti finiti.
- (3) Sono presenti tre tipologie di **lottizzazione**: lotti di trasporto, lotti di produzione e lotti di riordino.
- (4) I **lead time** (deterministici) di produzione sono diversi sia da stadio a stadio sia da un prodotto ad un altro.
- (5) I tempi di **setup** non dipendono dalla sequenza di produzione. Viene effettuato un setup ogni volta che si lancia in produzione un lotto diverso dal precedente.
- (6) Gli ordini sono gestiti secondo una logica **FIFO**. Non sono presenti nel modello regole di job entry, job release e priority dispatching in quanto tutti i prodotti seguono lo stesso percorso nella supply

chain ed i tempi di processamento sono deterministici. A valle di ogni shop floor non si trova quindi una pre-shop pool, ma solamente una coda FIFO che contiene gli ordini già rilasciati.

- (7) La scelta di rendere deterministici i **tempi** di produzione e i tempi di trasporto è giustificata dalla volontà di non inserire nel modello delle fonti di incertezza che potrebbero rendere opinabili i risultati dell'analisi condotta sull'effetto bullwhip.
- (8) Si è considerata una **saturazione** degli impianti produttivi vicina alla completa saturazione (90-95%) in modo da testare il sistema nelle condizioni di massimo stress (a parità di altre variabili, nei punti vicini alla completa saturazione le code sono massime);
- (9) Il sistema viene studiato a **funzione di domanda** costante. Come fatto dalla totalità degli articoli esaminati la funzione di domanda in input, rappresentante l'arrivo degli ordini del cliente finale (o un suo aggregato) è in media costante. In altre parole, si vuole studiare la supply chain in condizione di regime. Non interessa in questo lavoro come le variabili monitorate si muovono durante il transitorio di variazione della funzione di domanda finale. Tale assunzione trova adeguato riscontro nella realtà, dove la media della domanda di una famiglia di prodotti non varia nel breve termine.
- (10) Tutti i **magazzini** sono gestiti tramite una coda di tipo FIFO.
- (11) La **giornata lavorativa** ha una durata di 8 ore (si produce su di un turno solo).

Si fornisce ora la descrizione della struttura logica della Supply Chain modellizzata tramite Arena 12.0. In particolare, si descrive il flusso decisionale tramite UML dei principali moduli che compongono la Supply Chain: il modulo di gestione delle scorte (Inventory Model), il modulo di gestione della produzione (Production Model), il modulo di gestione dei trasporti (Linkage Model), il modulo di gestione della domanda (Demand Arrival) ed il modulo di riordino (Re-order Model).

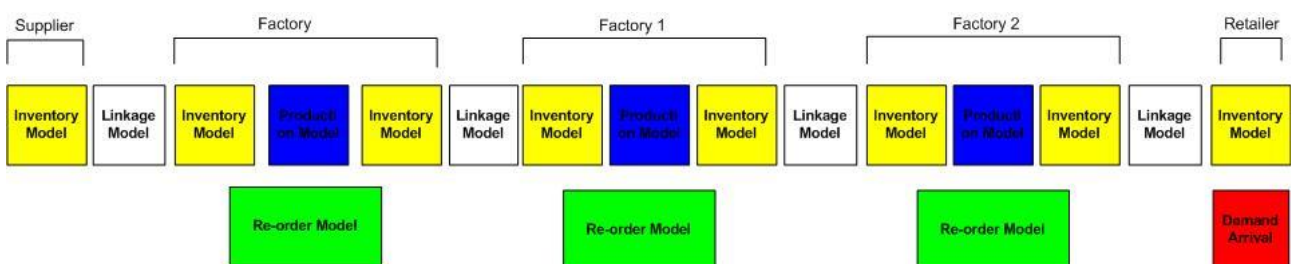


Figura 9: Scomposizione della supply chain in moduli elementari

Vengono prima descritti i moduli che hanno validità trasversale per tutti gli scenari modellizzati e poi scenario per scenario si procede alla definizione delle singole varianti nei moduli qui identificati.

9.3.1 Algoritmi di gestione della supply chain

Il **Linkage Model** rappresenta il flusso di merci ed informazioni che ci sono tra due diversi stadi della Supply Chain. Anche se nel modello costruito tale passaggio è modellizzato da un solo modulo di tipo *Process* in cui viene impegnata una risorsa per il trasporto con un tempo definito deterministicamente, in termini teorici il tempo necessario per l'approvvigionamento comprende sia il tempo fisico del trasporto da uno stadio all'altro sia il tempo amministrativo di inoltro dell'ordine presso il fornitore. Risulta, quindi, che al momento dell'applicazione al modello di una politica di Information Sharing è ragionevole diminuire il tempo di trasporto tra due stadi di una quantità rappresentate il tempo di gestione amministrativa dell'ordine, che in condizioni di perfetta trasmissione informativa viene annullato.

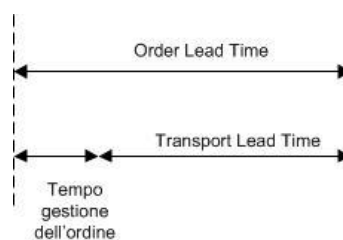


Figura 10: Scomposizione dell'Order Lead Time

Il modulo di gestione della domanda (**Demand Arrival Model**) comprende invece un numero di moduli *Create* quanti sono i prodotti finali (4 nel caso descritto).

Si considera una domanda finale del cliente presso il retailer con media pari ai seguenti valori, indipendentemente dalla singola distribuzione di domanda che si utilizzerà durante le simulazioni:

Valori medi della funzione di domanda presso il Retailer	
Prodotto 1	12 u/g
Prodotto 2	8 u/g
Prodotto 3	10 u/g
Prodotto 4	12 u/g

Tabella 23: Valori medi della funzione di domanda presso il Retailer

Nel presente lavoro si è deciso di simulare l'arrivo degli ordini da parte dei clienti finali mediante una funzione 2-Erlang con media data dai valori sopra riportati. Successivamente si sono testati i medesimi scenari (caso base, information sharing e lean) in condizioni di maggiore volatilità utilizzando una funzione Gamma.

La scelta di queste funzioni per simulare l'arrivo degli ordini è dovuta alla necessità di dare al sistema un discreto grado di variabilità. D'altra parte, la scelta, invece, di mantenere costante la media della funzione per tutte le simulazioni è giustificata dalla seguente osservazione pratica: nel presente lavoro si vuole studiare il comportamento di una supply chain a regime e soggetta solo ad una variabilità intrinseca e non a cambiamenti strutturali quale potrebbe essere la variazione del valor medio della domanda. Nella realtà,

infatti, quest'ultima situazione non si verifica day-to day e, quando accade, richiede una ridefinizione di tutti i parametri di controllo della supply chain. Interessa, invece, il grado di robustezza delle politiche gestionali proposte in normali condizioni operative.

Va qui rilevato che la variabilità della funzione di domanda è indispensabile per creare l'effetto bullwhip inter-stadio. Infatti, in presenza di domanda costante l'effetto bullwhip sarebbe dovuto solo a logiche interne agli stadi della supply chain, quali lottizzazioni di tempo e di quantità.

Inoltre, riprendendo le critiche all'Information sharing mosse da [71] e [55] l'assenza di variabilità annullerebbe tutti i benefici della condivisione di informazioni potendo definire a priori i parametri di controllo della supply chain. La variabilità può quindi essere pensata come la conseguenza di logiche di marketing e azioni dei singoli stadi indipendentemente dalla domanda naturale del cliente finale che può anche essere supposta costante.

L'Inventory Model è responsabile della gestione dei magazzini presenti nella supply chain.



Nella figura a lato è rappresentato lo schema generale di prelievo in un magazzino. Qualsiasi sia lo scenario simulato all'arrivo di un ordine viene sempre prima controllato il livello delle scorte a magazzino e viene verificato di essere in grado di soddisfare in modo completo l'ordine ricevuto. Una volta effettuato il prelievo dal magazzino vengono decrementate le variabili relative alla quantità di pezzi presente in magazzino (Inventory) ed alla disponibilità di quel magazzino (Inventory Position).

Figura 11: Inventory Model

Il **Production Model** gestisce le risorse produttive nei tre stadi denominati Factory

Il confronto tra il livello di riordino e la disponibilità delle scorte del magazzino di output di ogni stadio produttivo determina il generarsi di un ordine di produzione. Tale ordine può avere una grandezza fissa come nel caso dello scenario Lean oppure essere di dimensione variabile come nel caso base e nello scenario con information sharing. Tralasciando qui il calcolo della dimensione dell'ordine di produzione che viene proposto successivamente, si mette in evidenza cosa succede a livello della macchina produttiva.

Generato l'ordine di prelievo dal magazzino di input i pezzi da lavorare sono messi in coda allo stadio produttivo. Viene letto il codice del prodotto da realizzare e confrontando tale valore con quello dell'ultimo prodotto messo in produzione viene deciso se effettuare o meno un setup. Eseguito tale controllo il pezzo in coda viene processato dalla risorsa produttiva con un tempo di produzione deterministico ed uguale per tutti gli scenari proposti. Terminato il processo il pezzo viene indirizzato verso il magazzino di output. L'entrata in magazzino è contestuale all'aggiornamento della variabile Inventory del magazzino stesso.

Un'ulteriore aggiunta al modello potrebbe essere quella di aggiungere una percentuale di pezzi difettosi, così come la presenza di fermate non programmate (guasti) alle macchine che costringono a ritardare l'ingresso in produzione di un ordine. Seppur tale introduzione dal punto di vista modellistico non presenta particolari difficoltà, in accordo a quanto di trova in letteratura si è deciso di non introdurre questa fonte di variabilità.

Il **Modulo di gestione delle scorte**, infine, varia in funzione dello scenario simulato. La sua trattazione è quindi rimandata ai paragrafi seguenti.

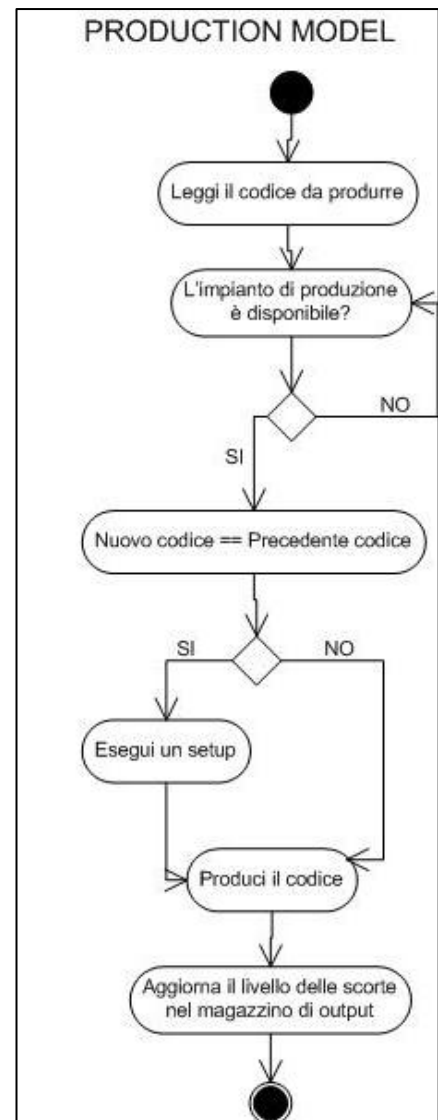


Figura 12: Production Model

9.3.2 Indicatori di misura

Coerentemente con gli obiettivi dichiarati nell'obiettivo del presente lavoro di tesi, le variabili misurate durante la simulazione sono:

- (a) Media e deviazione standard delle scorte presenti nei magazzini alla fine di ogni giornata di simulazione;
- (b) Media e deviazione standard del tempo di attraversamento della supply chain (valore aggregato e valori per ogni processo);
- (c) Mean conditional tardiness
- (d) Tempo medio di evasione degli ordini negli stadi della supply chain
- (e) Frequenza di stock out

- (f) Media e deviazione standard del WIP totale presente nel sistema (inteso come somma di scorte a magazzino + pezzi in attesa di essere trasportati + pezzi in coda alle risorse produttive + ordini già creati, ma non ancora realizzati per mancanza di pezzi nei magazzini)
- (g) Media e deviazione standard della dimensione media dei lotti di riordino
- (h) Media e deviazione standard del tempo compreso tra l'arrivo di due ordini successivi ad uno stesso stadio della supply chain.
- (i) Livello di saturazione delle risorse produttive e delle risorse di trasporto

In particolare, le metriche (c), (d), (e) sono utilizzate per monitorare il livello di servizio della supply chain creata; le metriche (a), (f), (g) e (h) per quanto riguarda l'analisi della deviazione standard servono per monitorare l'effetto bullwhip.

Le metriche (c), (d), (e), (i) sono state misurate tramite il modulo *Statistics* di Arena (utilizzando solo un valore aggregato), le rimanenti metriche sono invece state elaborate manualmente tramite Microsoft Excel.

9.3.3 Durata della simulazione e periodo di transitorio

Un sistema simulato è definito a regime quando campioni casuali delle sue variabili caratteristiche sono fra loro indipendenti e non correlate ([15], [52]). A tal fine Welch [64] propone il seguente metodo:

- (a) Si effettuano n repliche della simulazione di lunghezza m;
- (b) Si costruisce una successione X_1, X_2, \dots, X_m dove X rappresenta una variabile caratteristica del modello e si calcola $X_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n}$;
- (c) Si individua un valore di k sufficientemente grande ($k \leq \frac{m}{4}$) e si sostituisce a ciascun termine della successione con:

$$X_j(k) = \frac{\sum_{h=-k}^k Y_{j+k}}{2k+1} \text{ per } j = k+1, \dots, m-k$$

$$X_j(k) = \frac{\sum_{h=-(j-1)}^{j-1} Y_{j+k}}{2j+1}$$

- (d) Si sceglie il valore l oltre il quale la successione $\{X_j(k)\}$ appare convergere.

Si è svolta tale l'analisi su tre variabili del sistema: le scorte del retailer, la lunghezza della coda alla Factory 1 ed il Throughput time del sistema.

Nel grafico sottostante è rappresentato l'andamento del Throughput Time per ogni entità di prodotto finito Type 1. Si vede l'assenza di trend particolari così come l'assenza di un periodo di transitorio iniziale.

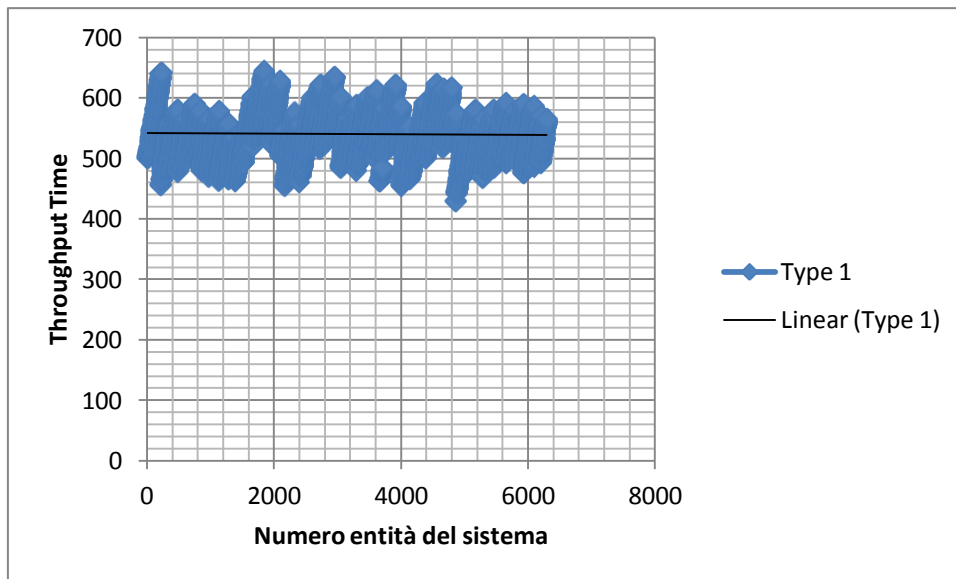


Figura 13: Throughput time del prodotto Type 1

L'assenza di un transitorio per questa come per le altre variabili del sistema è dovuto al fatto che il sistema è "rilasciato" in condizioni di funzionamento avendo pre-caricato in tutti gli stadi la quantità target di scorte. La conferma di questa affermazione si ha attraverso lo studio delle statistiche di Arena che non evidenziano la presenza di correlazione tra le variabili studiate.

La decisione, invece, sulla lunghezza del run è stata presa avendo come obiettivo un numero minimo di osservazioni indipendenti e non correlate per tutti gli stadi della supply chain. In particolare si è scelta una lunghezza pari a 810gg per garantire anche agli stadi a monte (che vedono un numero minore di variazioni alle proprie variabili caratteristiche) un campione della grandezza minima di 150 rilevazioni.

A scopo cautelativo, vista l'assenza di vincoli temporali sulla durata della simulazione, nell'analisi dei dati non si sono considerati i valori dei primi 700gg (valore corrispondente al tempo massimo di attraversamento come si evince dal grafico sovrastante) di simulazione in modo da iniziare ad analizzare solo entità che sono entrate nel sistema a simulazione iniziata.

CAPITOLO 10

Piano delle simulazioni

Il piano delle simulazioni comprende tutti gli scenari che si sono voluti testare nel presente lavoro. La definizione di tali scenari è stata il frutto di un lungo lavoro di analisi della letteratura e ricerca di risultati utili alla dimostrazione della tesi del presente lavoro.

Si è cominciato con la definizione di uno scenario base che presentasse una politica di riordino della supply chain di tipo tradizionale: ogni stadio riceve la domanda dallo stadio successivo e in funzione del livello del suo magazzino e dei tempi di produzione e trasporto decide quanto e quando produrre. Si sono volutamente scelti dei valori di reorder level e target stock che non tenessero conto della variabilità del processo. In altri termini, i valori di reorder level e target stock definiti nello scenario tradizionale sono basati sulla domanda media giornaliera e sull'assunzione (ragionevole data l'ipotesi di partenza di domanda media) che non ci fossero ritardi o code negli stadi produttivi e nei trasporti. Da questa considerazione risulta, quindi, evidente che lo scenario base ricevendo una domanda variabile non sia in grado di soddisfare tutti gli ordini in modo istantaneo.

Partendo da questo scenario facendo variare in modo controllato alcuni parametri si sono definiti i modelli di information sharing e lean.

In particolare, lo scenario denominato information sharing è uguale al caso base in tutto tranne che per la politica di riordino che ora non considera più gli ordini del cliente a valle, ma prende in esame gli ordini del cliente finale. In accordo con quanto trovato in letteratura, la condivisione di informazioni all'interno di una supply chain è attuata facendo vedere ad ogni stadio della supply chain stessa la domanda del cliente finale. Come già ampiamente discusso nei primi capitoli del presente lavoro tale cambiamento evita distorsioni della domanda dovute a lottizzazioni e decisioni prese dagli stadi a valle ed inoltre ha il vantaggio di passare a tutti gli attori della supply chain un'informazione in tempo reale. Tale variazione è stata modellizzata andando a cambiare la gestione della variabile denominata Inventory Position.

Lo scenario Lean riporta invece rispetto al caso base i seguenti interventi:

- (a) Politica di riordino a lotti fissi, dove la grandezza del lotto è stata definita riducendo del 30% la dimensione dei lotti medi risultanti dalla simulazione dello scenario base;
- (b) Riduzione dei tempi di setup delle risorse produttive del 10% rispetto allo scenario base;
- (c) Gestione della linea di prodotti esterni alla supply chain in esame mediante la creazione di uno slot di produzione dedicato alla produzione qui esaminata;
- (d) Diminuzione del tasso di saturazione minimo per autorizzare la partenza di una risorsa di trasporto dallo 0,8 del caso base al valore di 0,6
- (e) Possibilità di caricare su una stessa risorsa di trasporto prodotti diversi.

In funzione degli obiettivi di ricerca posti le simulazioni condotte sono state:

Interrogativo di ricerca	Simulazioni	Politica di riordino usata per IS e caso base
1	Confronto tra caso base, information sharing e lean	Target Stock – Reorder Level
2	Confronto tra information sharing e lean con modifica della funzione di domanda	Reorder Level – Quantità da riordinare stimata dallo storico
3	Confronto tra diverse politiche di lean	

Nei paragrafi successivi si fornisce una descrizione dettagliata dei flussi di controllo alla base dei moduli di gestione della supply chain definiti nel precedente capitolo.

10.1 Scenario base

10.1.1 Inventory Model – (Target Stock, Reorder Level)

La politica di gestione dei magazzini nello scenario base è rappresentabile con il seguente diagramma a blocchi. Ogni funzione usata nella descrizione sotto riportata può essere funzione di due variabili: il tempo di sistema (t) e lo stadio esaminato (n). La supply chain esaminata possiede $n = 7$, dove $n = 1$ è il magazzino del retailer ed n cresce andando verso monte.

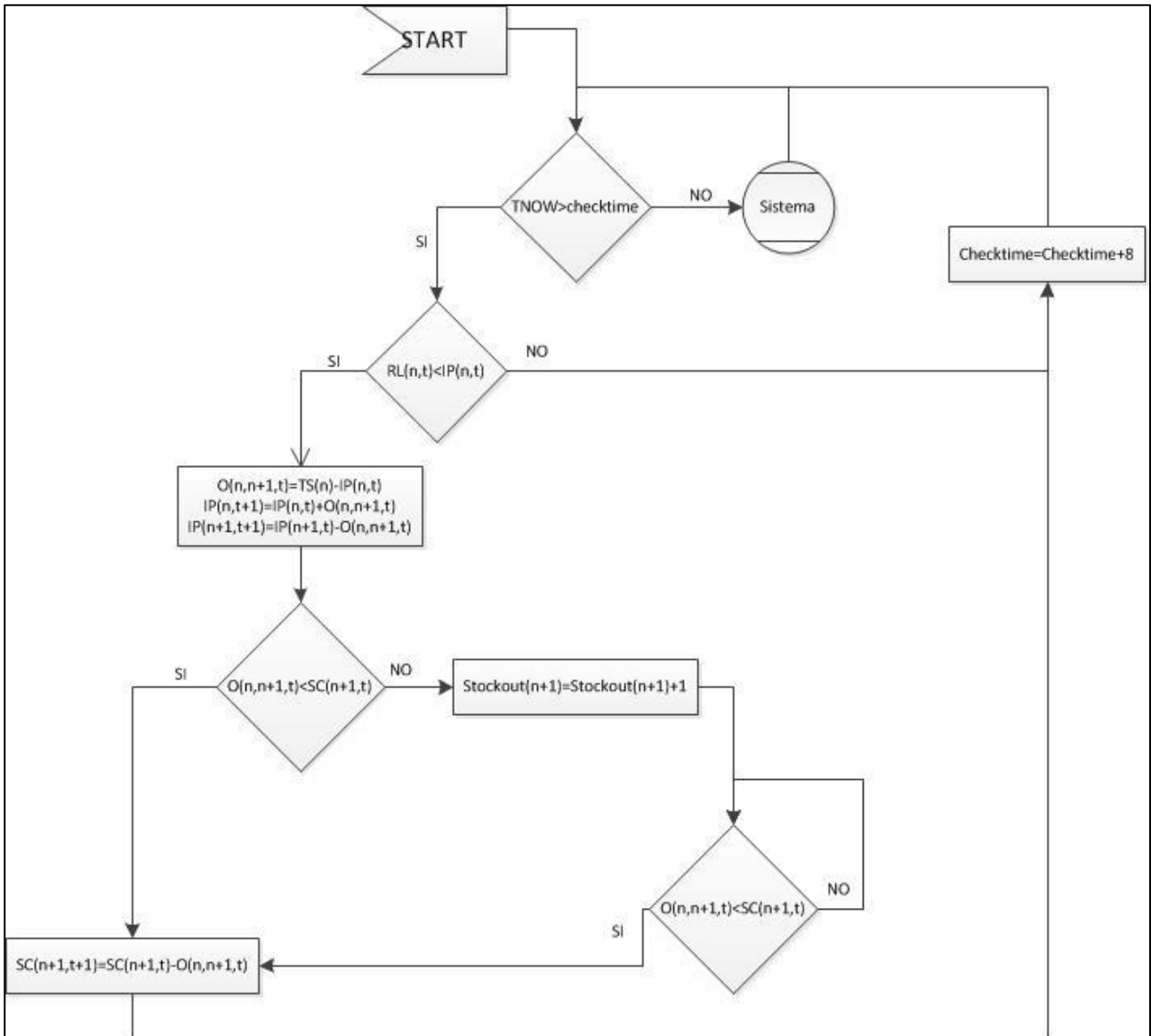


Figura 14: Inventory Model nello scenario base

In parole, ogni giorno viene effettuato un controllo ($TNOW^{22} > checktime$) della disponibilità dei prodotti presenti in ogni magazzino della supply chain. Se le disponibilità ($IP^{23} = \text{disponibilità} = \text{scorte fisiche (SC)} + \text{ordini in essere}$) è minore del livello del riordino allora si inoltra allo stadio a valle una domanda per una

²² TNOW è la variabile di sistema di Arena che indica l'istante di tempo della simulazione.

²³ IP sta per Inventory Position.

quantità (O) pari alla differenza tra il target stock (TS) ed il reorder level (RL) per quello stadio. Se, poi, il magazzino a monte ha una quantità sufficiente per evadere l'ordine questo viene subito evaso, in caso contrario, viene messo in una coda FIFO in attesa che il magazzino a monte sia sufficientemente rifornito.

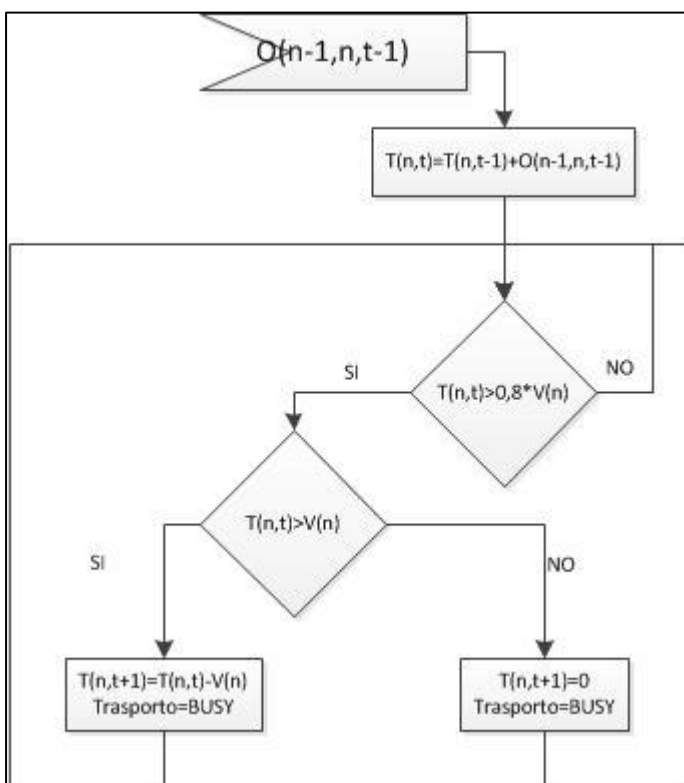
10.1.2 – Inventory Model (Aggiornamento)

A differenza del modulo appena descritto che definisce la quantità da ordinare come differenza tra Target Stock e Reorder Level, questo modulo definisce la dimensione dell'ordine valutando lo storico degli ordini emessi. L'obiettivo di questo modulo è quindi seguire meglio l'andamento della domanda.

Ogni volta l'Inventory Position scende sotto il Reorder Level viene inoltrato un ordine che è pari alla media mobile a tre periodi degli ultimi ordini inoltrati da questo stadio.

10.1.3 Linkage Model

Nello scenario base il modulo che gestisce i trasporti è ripetuto per ogni magazzino di prodotti finiti in quanto su una risorsa produttiva si può trasportare solo una tipologia di prodotti.



All'arrivo di un lotto di pezzi (O) prelevato dal magazzino di output (prelievo che viene gestito dal modulo di gestione delle scorte) viene aggiornata la quantità in attesa di essere trasportata (T). Se tale quantità è sufficiente a formare un lotto di trasporto ($T > 0,8 * \text{volume della risorsa produttiva dello stadio in questione}$) allora viene autorizzata la partenza di una risorsa produttiva. Il flusso creato comprende la possibilità di autorizzare la partenza di più risorse produttive per uno stesso ordine di prelievo dal magazzino.

Figura 15: Linkage Model nello scenario base

10.1.4 Demand Model

Il modulo di Demand Management è invece strutturato come segue.

Per ogni tipologia di prodotto è presente un modulo di gestione della domanda come raffigurato nello schema sottostante. La domanda – generata automaticamente dal modulo Create di Arena 12.0 – viene immediatamente scalata dalla disponibilità del Retailer. Successivamente viene controllato di avere scorte a sufficienza per evadere la domanda ricevuta. Se a magazzino è presente una quantità sufficiente di scorte la domanda viene immediatamente evasa, in caso contrario viene posta in backlog.

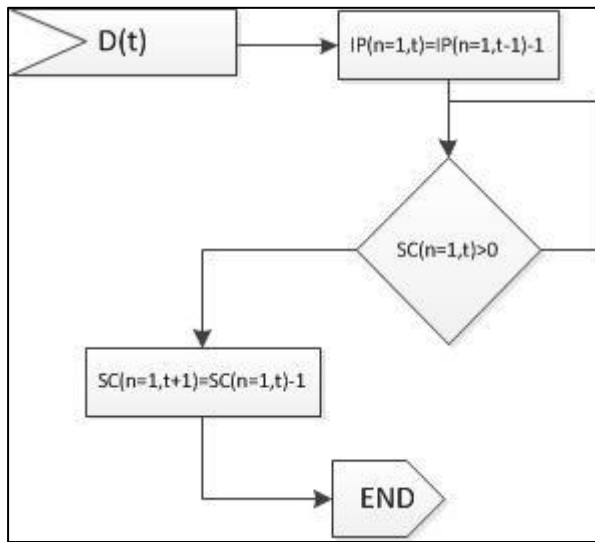


Figura 16: Demand Model nello scenario base

10.2 Information Sharing

10.2.1 Inventory Model (Target Stock, Reorder Level)

Nel secondo scenario l’aggregato della domanda giornaliera per ogni prodotto da parte del cliente finale viene visto da tutti gli stadi della supply chain che in questo modo possono definire i loro piani di produzione e la quantità delle scorte a magazzino senza dover aspettare che l’informazione si propaghi lungo la supply chain.

Tale cambiamento, rispetto allo scenario precedente, è operativamente compiuto andando a togliere alla fine di ogni giornata lavorativa dall’Inventory Position (disponibilità) di ogni stadio la domanda del cliente. I diagrammi a blocchi che seguono mostrano nel dettaglio tale variazione.

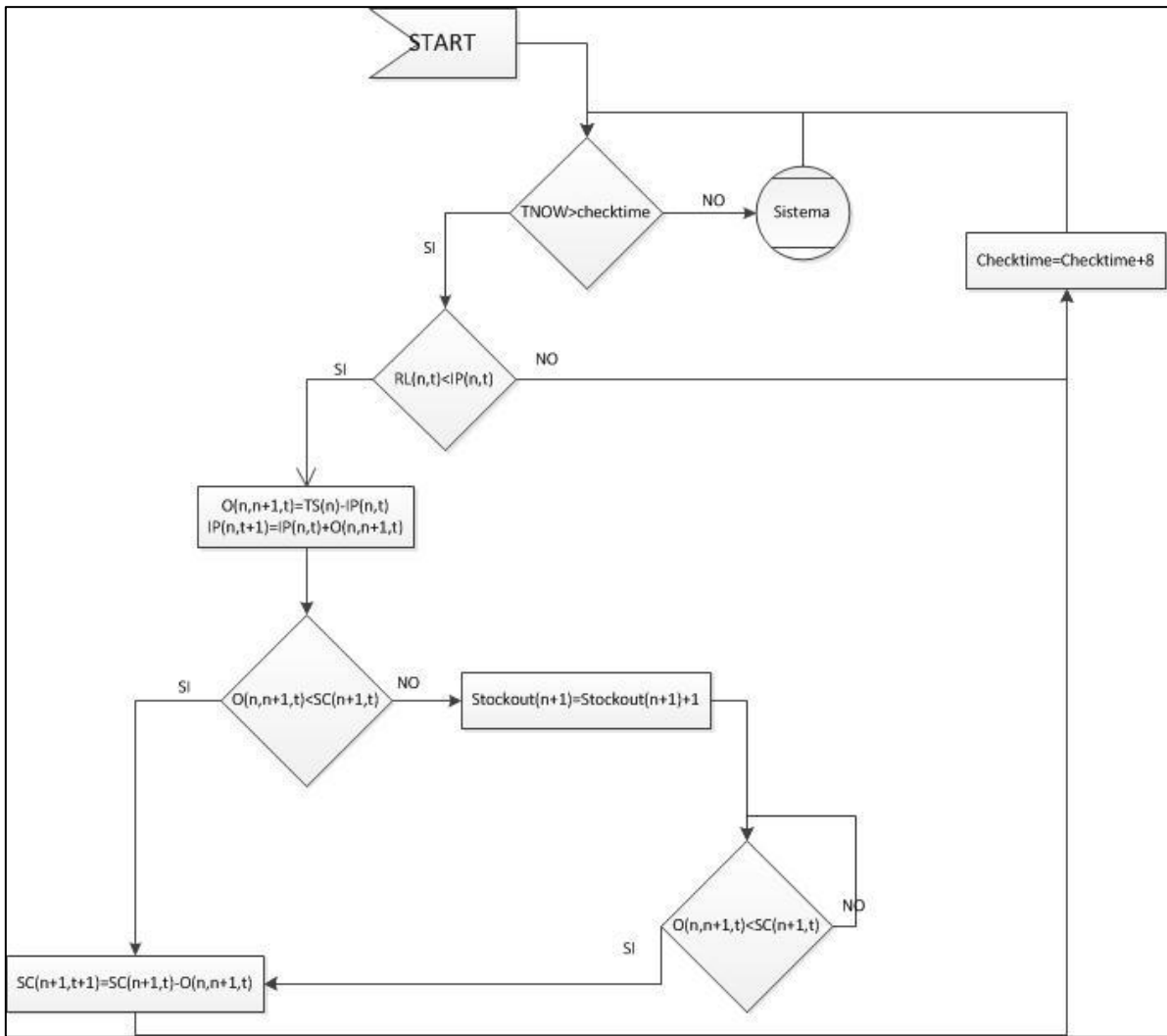


Figura 17: Inventory Model nello scenario con Information Sharing

Per quanto riguarda la condivisione della domanda finale, il diagramma decisionale è così strutturato:

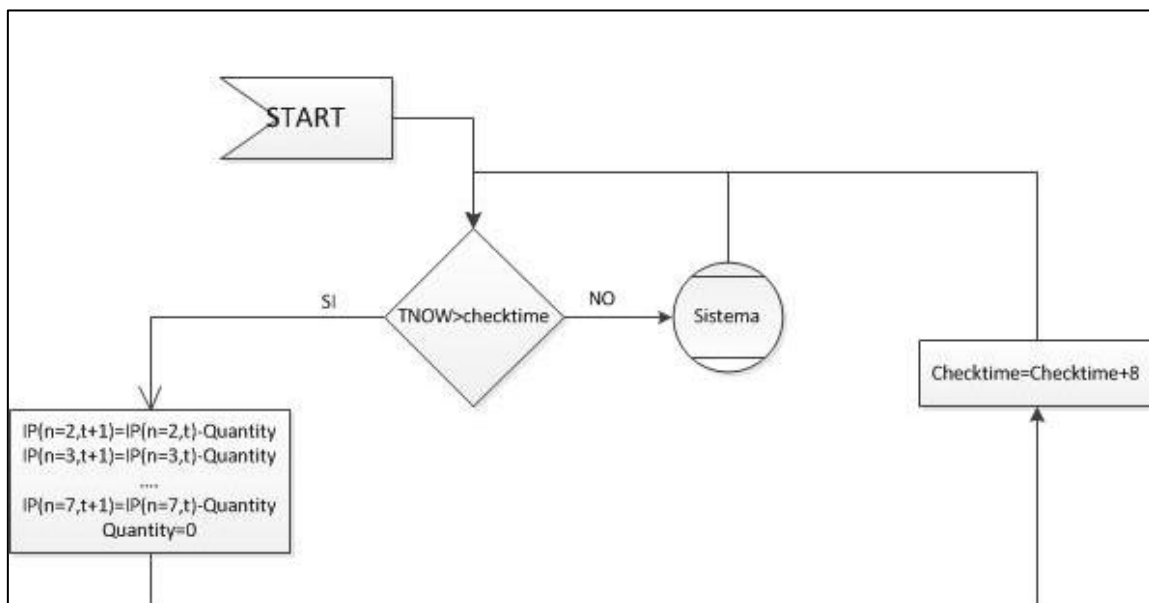


Figura 18: Demand Model nello scenario con Information Sharing

Al termine di ogni giornata lavorativa vengono trasmessi a tutti gli stadi della supply chain le quantità di prodotto richieste dal cliente finale. Presso i magazzini della supply chain la generazione di un ordine allo stadio precedente continua ad avvenire come nel caso base: al raggiungimento del livello di riordino (che non viene modificato rispetto al caso base) si genera un ordine di riapprovvigionamento di una quantità pari alla differenza tra target stock e reorder level.

10.2.2 Inventory Model (Aggiornamento)

Equivalentemente a quanto succede anche per il caso base, in questo modulo, la quantità da ordinare è definita sullo storico degli ordini passati. Al raggiungimento del Reorder Level viene riordinata una quantità pari ad un coefficiente K moltiplicato per gli ultimi tre ordini del cliente finale (media mobile a tre periodi sulla domanda finale). Il coefficiente K (necessario per tenere conto dei diversi lotti di produzione) è diverso da stadio a stadio ed è stato calcolato con il seguente metodo. In modo iterativo si è aumentato il valore di K del singolo stadio finchè, a parità di tutti gli altri parametri, non è risultato dalla formula una dimensione di lotto medio uguale al valore trovato nel caso base gestito con Target stock e Reorder Level.

10.3 Lean Supply Chain

Nella definizione dello scenario lean, rispetto al caso base, si introducono le seguenti modifiche al sistema:

- (a) Variazione del coefficiente di saturazione minimo per autorizzare la partenza dei camion (trasferimento) da uno stadio all'alto. L'obiettivo di questo intervento è, dove possibile, aumentare la frequenza delle consegne diminuendo la quantità minima richiesta per la partenza del carico;
- (b) Possibilità di caricare su uno stesso camion tipologie diverse di merce. Questa possibilità garantisce di ridurre i tempi di riapprovvigionamento in quanto a parità di volume totale trasportato dal camion si possono trasferire lotti di prodotti diversi durante uno stesso trasporto senza dover attendere la disponibilità del camion stesso. L'introduzione di questo intervento dovrebbe portare ad una forte riduzione delle scorte di ciclo detenute dal retailer (che è lo stadio della supply chain che ha il mix maggiore di varianti di prodotto da riapprovvigionare e quindi si avvantaggia maggiormente da questo intervento).
- (c) Lo stadio produttivo condiviso non segue più una politica di lancio in produzione degli ordini secondo l'istante temporale del loro arrivo. Viene invece allocato uno slot di capacità produttiva per la produzione della famiglia di prodotti in questione, che quindi all'interno di questo orizzonte temporale non trova la macchina occupata in altre produzioni.

- (d) I lotti di produzione e di riordino sono ridotti. La riduzione dei lotti di riordino da uno stadio all'altro è resa possibile dalla diminuzione del coefficiente di saturazione dei singoli viaggi; la riduzione dei lotti di produzione (con un conseguente abbassamento dell'EPE dello stadio produttivo) è consentita da una diminuzione dei tempi di setup delle macchine. La riduzione media dei tempi unitari di setup è dell'ordine del 10% (complessivamente il tempo totale dedicato al setup cresce portando un aumento della saturazione lorda delle macchine).
- (e) Gli ordini di riapprovvigionamento sono immediatamente inoltrati allo stadio a valle (anche più volte al giorno).

Gli interventi lean proposti, quindi, sono da considerarsi ragionevoli. Non si è applicata una politica a lotto singolo (obiettivo ultimo della lean production) per dimostrare che le conclusioni raggiunte sono conseguenza di interventi operativamente eseguibili e ragionevoli.

Relativamente al ciclo di gestione delle scorte, i due cambiamenti introdotti rispetto a caso base ed information sharing sono: l'eliminazione della lottizzazione di tempo e la definizione di un lotto fisso per il riordino. Il primo intervento autorizza la possibilità di inoltrare allo stadio a valle un ordine in qualsiasi momento della giornata così come la possibilità di trasmettere più ordini durante la stessa giornata lavorativa. Tale cambiamento è operativamente reso attivo tramite un controllo continuo delle scorte. Il secondo intervento – definizione di lotti fissi – è stato fatto partendo dall'analisi del caso base. I lotti dello scenario lean corrispondono ad una riduzione del 30% del lotto medio generato nello scenario base.

Si riporta di seguito il ciclo di controllo delle scorte (**Inventory Model**) per la Lean supply chain.

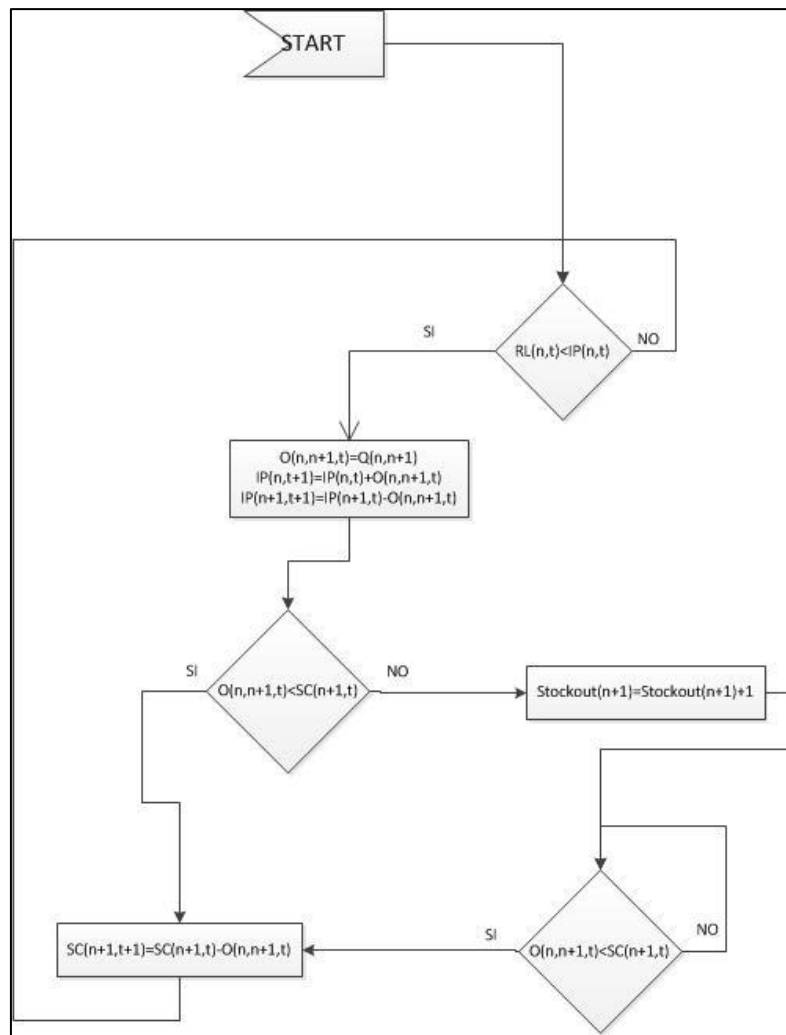


Figura 19: Inventory Model nello scenario Lean

Il **Linkage Model** presenta invece, sempre rispetto al modello equivalente illustrato nel caso base, la seguente modifica: abbassamento del tasso di saturazione minima della risorsa produttiva a 0,6 e gestione con un unico flusso di tutti i pezzi prodotti. Quest'ultima modifica rende possibile il carico su una stessa risorsa produttiva di tipologie diverse di prodotti.

Il **Demand Management Module** risulta invece uguale al caso base.

L'intervento ai tempi di setup (riduzione del 10% rispetto allo scenario base) non pone alcun problema dal punto di vista modellistico: si tratta semplicemente di cambiare dalla scheda *Variable* di Arena il valore relativo ai tempi di setup.

10.4 Piano dettagliato delle simulazioni svolte

Scenario	Funzione di domanda	Politica di riordino	Intervento lean: trasporti	Intervento lean: slot di capacità dedicata	Intervento Lean: riduzione dei lotti	Entità di riduzione dei lotti	Ipotesi da testare
BASE	2-ERLANG	Target Stock – Reorder Level					Quale politica riduce in modo più consistente l'effetto bullwhip?
IS	2-ERLANG	Target Stock – Reorder Level					
LEAN	2-ERLANG		SI	SI	SI	30%	
IS	GAMMA D1	Aggiornamento					Relazione tra aumento della variabilità finale e politica gestionale usata
LEAN	GAMMA D1		SI	SI	SI	30%	
IS	GAMMA D2	Aggiornamento					
LEAN	GAMMA D2		SI	SI	SI	30%	
IS	GAMMA D3	Aggiornamento					
LEAN	GAMMA D3		SI	SI	SI	30%	
IS	GAMMA D4	Aggiornamento					
LEAN	GAMMA D4		SI	SI	SI	30%	
LEAN	2-ERLANG		SI	NO	NO		Impatto tipologia ed entità intervento lean sull'effetto bullwhip e sulle performance della supply chain
LEAN	2-ERLANG		NO	SI	NO		
LEAN	2-ERLANG		NO	NO	SI		
LEAN	2-ERLANG		SI	SI	SI	20%	
LEAN	2-ERLANG		SI	SI	SI	40%	
LEAN	2-ERLANG		SI	SI	SI	45%	
LEAN	2-ERLANG		SI	SI	SI		

Tabella 24: Piano delle simulazioni

PARTE III: SIMULAZIONI CON ARENA

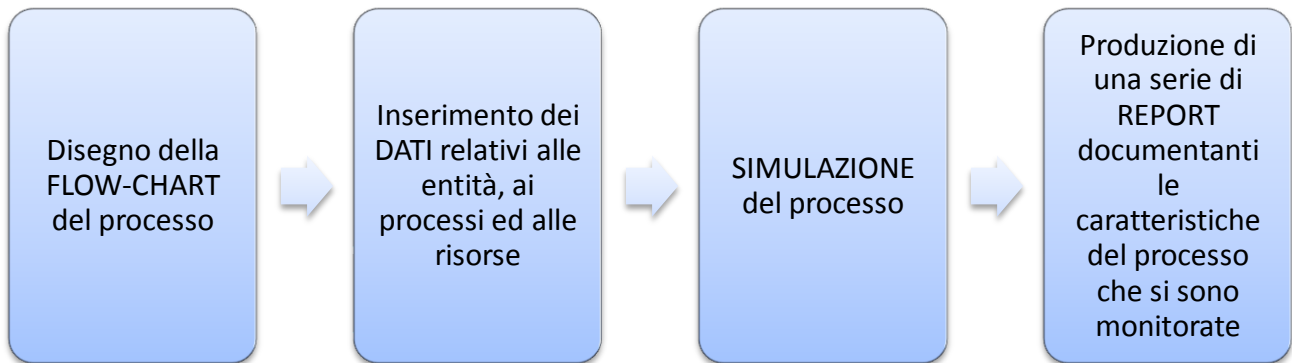
CAPITOLO 11

Design model with Arena 12.0

Vengono qui descritti nel dettaglio i diversi sub-modelli utilizzati per simulare la supply chain descritta nel capitolo precedente. In particolare si fornisce una illustrazione dei sub-modelli di gestione della domanda esterna, gestione dei materiali e dei prodotti finiti, gestione degli ordini, settaggio dei parametri di input, gestione dei trasporti, gestione dello slot con capacità dedicata. Si forniscono poi i dettagli per il settaggio generale dell'ambiente di simulazione, vengono illustrate le variabili usate da Arena e come viene impiegato il modulo Statistics per creare i report delle simulazioni.

11.1 Descrizione generale del modello

Il flusso logico usato da Arena per simulare un sistema è composto dai seguenti passi:



Partendo dai requisiti e dalle ipotesi definiti nel capitolo 10 e dai flussi descritti nel capitolo 11 si è elaborato il seguente modello con Arena 12.0. Nella costruzione del modello si è deciso di non utilizzare fogli excel come data entry di Arena 12.0 per cercare di velocizzare i tempi di simulazione. Al tempo stesso, la quasi totalità delle metriche usate nel presente lavoro sono state calcolate tramite il modulo STATISTICS di Arena. Tale scelta ha permesso, da un lato, di abbattere considerevolmente il tempo di analisi dei dati di output e, in secondo luogo, di ridurre gli errori nella fase di elaborazione dei dati tramite Ms Excel.

Di seguito viene riportata una raffigurazione del modello costruito con Arena 12.0 e viene data una spiegazione dei principali macro-blocchi che lo compongono, poi si analizzeranno le singole parti, si elencheranno quindi tutte le variabili e gli attributi utilizzati ed infine si illustreranno tutte le statistiche definite.

Il modello costruito con Arena si presenta nella seguente forma:

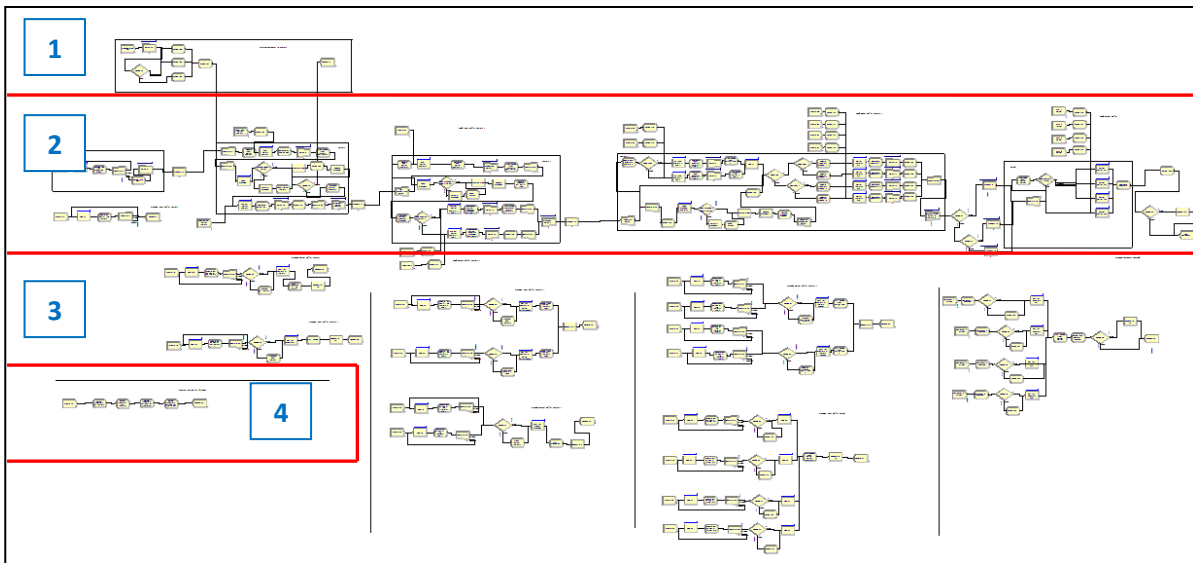


Figura 20: Struttura complessiva del modello con Arena 12.0

Facendo riferimento alla figura sopra:

- (1) Comprende la gestione di un cliente del primo stadio produttivo esterno al sistema in esame. La presenza di questo sub-modello è stato utilizzato per modellizzare la presenza di capacità produttiva non dedicata del primo stadio produttivo.
- (2) Comprende la supply chain esaminata. All'interno di questo sub modello si possono distinguere cinque diversi blocchi che rappresentano, partendo da sinistra, il supplier, il primo stadio produttivo (denominato da ora in avanti Factory), il secondo stadio produttivo (denominato Factory1), il terzo stadio produttivo (denominato Factory2) ed il retailer.
- (3) Comprende la parte di gestione dei magazzini e degli ordini di riordino di tutti gli stadi e la modellizzazione della funzione di domanda del cliente finale.
- (4) Serie di blocchi usata per configurare il sistema al suo stato iniziale (prima che partano i flussi gestiti dagli altri sub-modelli).
- (5) (non visibile nella figura per motivi di spazio) Gestione dei trasporti.

La modellizzazione sopra può essere anche vista pensando il sub-modello 2 come la modellizzazione del flusso fisico di materiali e prodotti dal supplier al cliente finale ed il sub-modello 3 come la modellizzazione del flusso degli ordini di riapprovvigionamento tra i diversi stadi che compongono la supply chain.

Si procederà ora alla descrizione dei singoli sub-modelli sopra identificati. Per una descrizione dei singoli blocchi di Arena si veda l'Appendice.

11.2 Descrizione del modello di gestione della domanda esterna (sub-modello1)

Il sub-modello 1 rappresenta la domanda di lavorazione di un prodotto esterno alla supply chain in esame da parte dello stadio produttivo Factory, che quindi rappresenta l'unico stadio della supply chain con capacità non completamente dedicata (il 40% della capacità di questo stadio è allocato al cliente esterno) alla produzione in questione.

I blocchi che compongono questo sub-modello sono i seguenti:

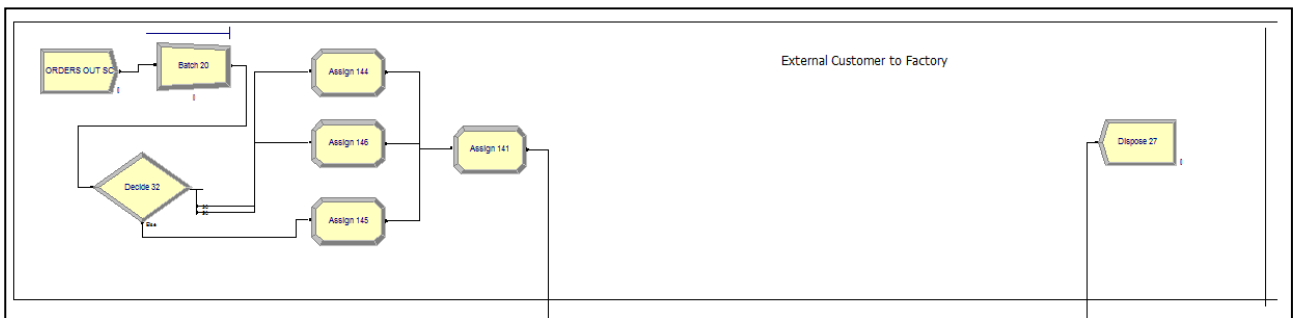


Figura 21: Modulo Arena di gestione della domanda esterna

Un modulo Create crea la domanda esterna con una funzione esponenziale, successivamente tali ordini possono avere tre diverse lottizzazioni (modulo Decide). I lotti, quindi, entrano nel sistema (sub-modello2) dove vengono lavorati nella Factory.

11.3 Descrizione del modello di gestione dei materiali e prodotti finiti (sub-modello 2)

A differenza di altri lavori presenti in letteratura, qui si è scelto di modellizzare il flusso fisico dei materiali all'interno della supply chain con un unico sub-modello. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di misurare oltre che il livello delle scorte, come fatto dalla maggior parte degli autori che trattano le tematiche dell'Information Sharing, anche il tempo totale di attraversamento di tutto il sistema.

Il sub-modello inizia quindi con la modellizzazione del supplier che è equiparato ad un magazzino con capacità infinita. Non appena arriva un ordine di riapprovvigionamento da parte dello stadio a valle (Factory), il supplier provvede all'immediata spedizione della quantità richiesta. A valle del Supplier è presente il primo stadio produttivo – Factory – che vede non solo la domanda della Factory1, ma anche la domanda di un cliente esterno alla supply chain (sub-modello 1). La Factory è composta da un'unica macchina (denominata Machine) che esegue un setup ogni volta che si passa dalla produzione del sub-modello2 alla produzione del sub-modello1. Segue, quindi, la Factory 1 che possiede una macchina completamente dedicata alla produzione in questione ed esegue un setup ogni volta che cambia la variante da produrre (le due varianti sono identificate con l'attributo Size1 e Size2). A valle della Factory1 è presente la Factory2 che ha anch'essa una macchina completamente dedicata alla produzione in questione e può

produrre quattro diverse varianti di prodotto a partire da due diversi materiali di input. Ne consegue, pertanto, che la logica di lottizzazione della Factory2 (Color) è diversa dal criterio seguito dalla Factory1 (Size). La supply chain termina quindi con la modellizzazione del Retailer che è equivalente ad un magazzino dove la merce viene prelevata ogni volta che si verifica un ordine da parte del cliente finale.

La modellizzazione dei blocchi Factory, Factory1 e Factory2 segue la stessa logica di costruzione. La loro differenza risiede solo nel fatto andando verso valle aumentano le varianti da produrre e cambiano i criteri di lottizzazione, ma, a parte ciò, la gestione dei magazzini e della produzione è la stessa per tutti gli stadi.

Si prosegue quindi con la descrizione della struttura della Factory1 (in modo equivalente si potrebbero descrivere anche Factory e Factory2).

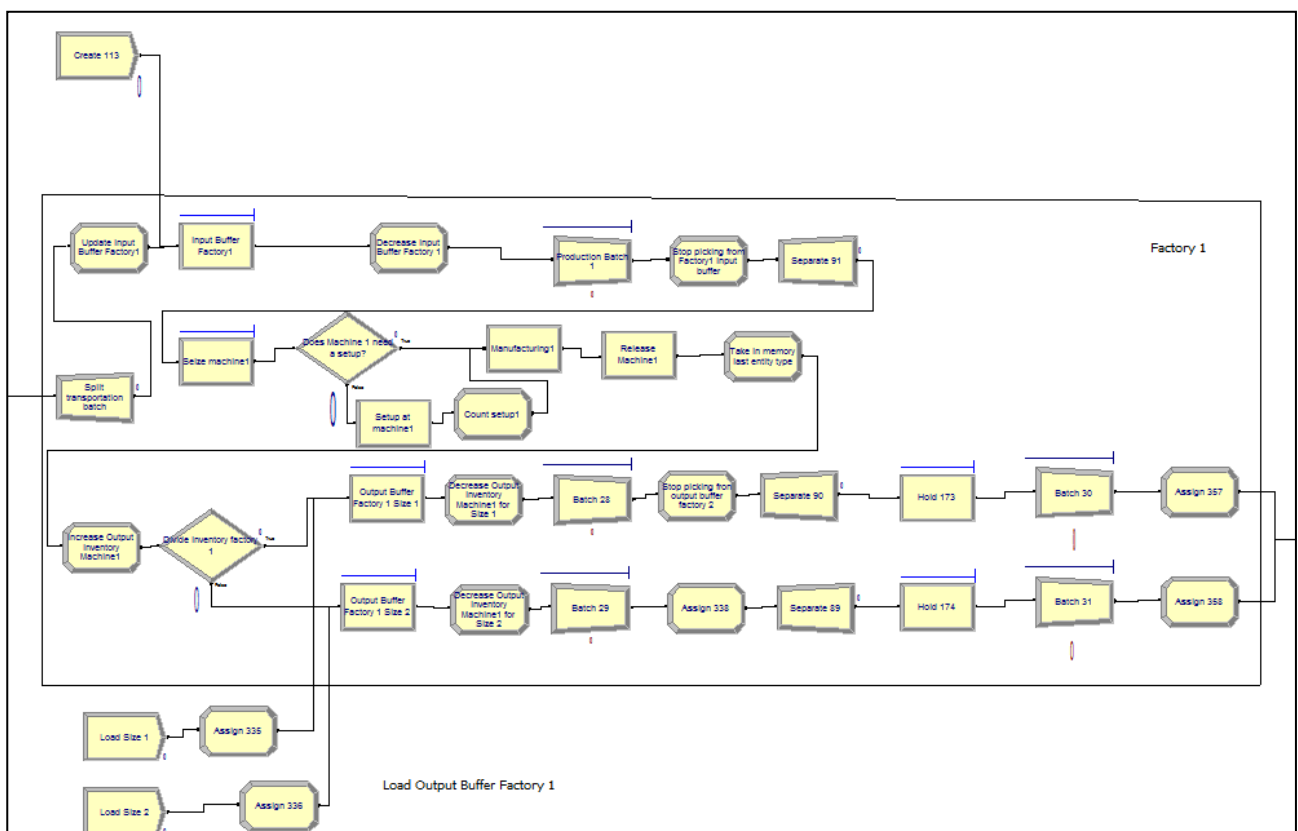


Figura 22: Modulo Arena di gestione della Factory1

La logica usata nella costruzione dello stadio è descrivibile con il seguente flusso logico:

- I materiali provenienti dalla Factory vengono depositati in un magazzino;
- Al giungere di un ordine di prelievo viene prelevata dal magazzino la quantità richiesta;
- I pezzi prelevati si dirigono verso lo stadio produttivo;
- Se si produce una tipologia di pezzo diversa da quella precedente si effettua un setup;
- I pezzi vengono singolarmente lavorati nello stadio produttivo;

- I pezzi lavorati vengono depositati nel rispettivo magazzino (ogni magazzino contiene una specifica varietà di prodotto);
- All'arrivo di un ordine di riapprovvigionamento da parte della Factory2 viene prelevata dal rispettivo magazzino la quantità desiderata;
- Il lotto di prodotti è imbarcato su un mezzo di trasporto e viene diretto verso la Factory2.

I moduli presenti al di fuori del riquadro Factory1 sono utilizzati per caricare il sistema all'inizio della simulazione.

11.4 Descrizione del modello di gestione degli ordini (sub-modello 3)

Il Sub-modello 3 comprende la gestione dei magazzini per ogni stadio e la gestione della domanda finale del cliente. Ogni magazzino è gestito da un sub-modello che opera con la seguente logica:

- Viene effettuato un controllo continuo del livello del magazzino;
- Non appena il livello delle scorte (al lordo di ordini già emessi e scorte già impegnate) oltrepassa il livello di riordino viene redatto un ordine di riapprovvigionamento di una quantità pari alla differenza tra il livello di scorte target ed il livello delle scorte lorde;
- L'ordine viene inoltrato al magazzino a monte;
- Se nel magazzino a monte è sufficiente una quantità pari alla quantità richiesta allora viene autorizzato il picking dal magazzino stesso, altrimenti l'ordine è messo in attesa;

La generica modellizzazione di questo flusso logico in Arena assume la seguente forma:

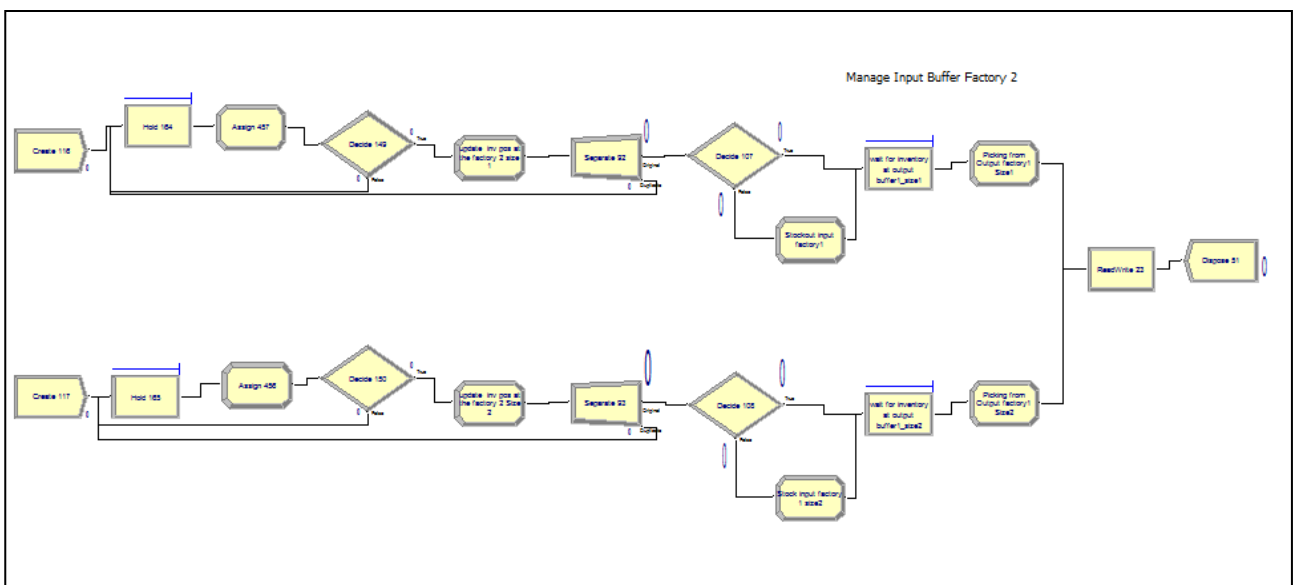


Figura 23: Modulo Arena di gestione degli ordini all'input buffer Factory2

Nella figura sovrastante si è riportato a titolo di esempio il flusso di gestione degli ordine dell'Input Buffer della Factory2.

Il sub-modello che gestisce la domanda finale è stato modellizzato in due diverse tipologie a seconda che la domanda in ingresso sia stagionale o meno. In caso di domanda non stagionale, il modello è composto dai seguenti blocchi:

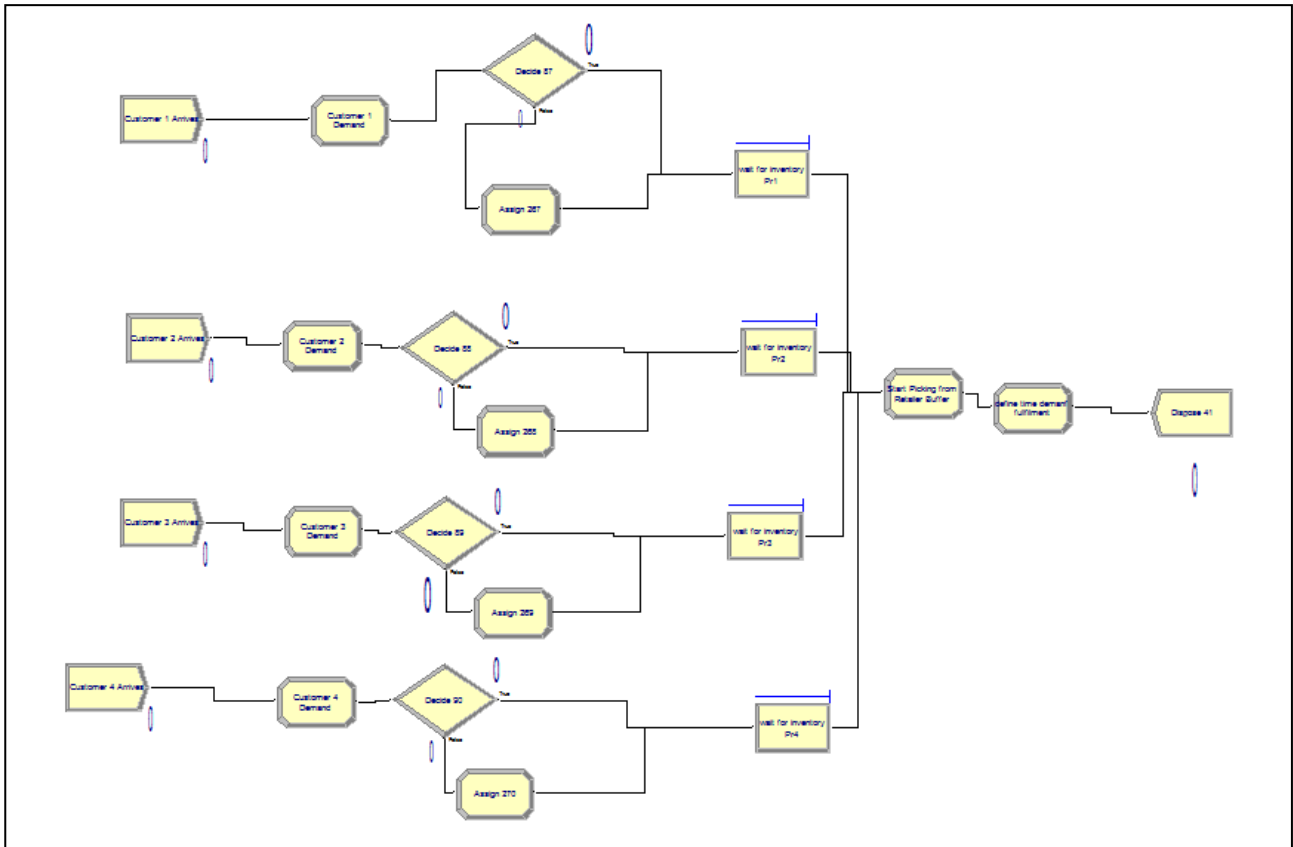


Figura 24: Modulo Arena di gestione della domanda finale

Dove i moduli CREATE mandano in input una funzione di domanda descritta come una 2-ERLANG. All'arrivo di ogni ordine viene subito controllato il livello del magazzino del Retailer. Se quest ultimo è vuoto allora la domanda viene messa in attesa in una coda FIFO, in caso contrario l'ordine è subito soddisfatto. Il soddisfacimento dell'ordine equivale al prelievo (passando quindi al sub-modello 2) di un prodotto dal rispettivo magazzino del retailer.

11.7 Descrizione del modello di gestione dello slot di capacità condivisa nel caso Lean

La modellizzazione dello slot di capacità dedicata nel caso di Lean supply chain è effettuata a livello di Arena con i seguenti interventi:

- Eliminazione del sub-modello 1
- Inserimento dei seguenti blocchi

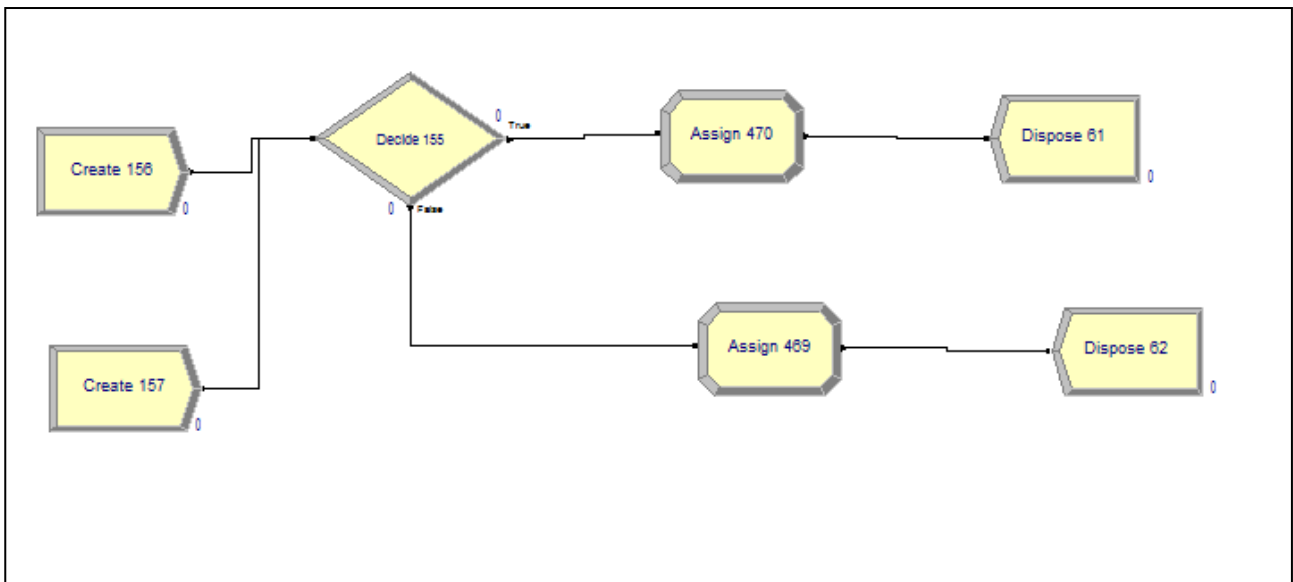


Figura 26: Modulo Arena di gestione dello slot di capacità alla Factory

I due moduli di Input inseriscono nel sistema un'entità ad intervalli complementari. In particolare, il modulo *Create 156* immette nel sistema un'entità nei primi 150 minuti di ogni giornata lavorativa. Tale entità passando nel successivo modulo *Decide* autorizza nel sub-modello 3 l'inoltro di un ordine alla risorsa produttiva. Il modulo *Create 157*, invece, quando attivo disabilita il prelievo dal magazzino. La complementarietà di funzionamento di questi due moduli *Create* è stata realizzata attraverso l'utilizzo del modulo *Schedule*, come dalla figura sottostante.

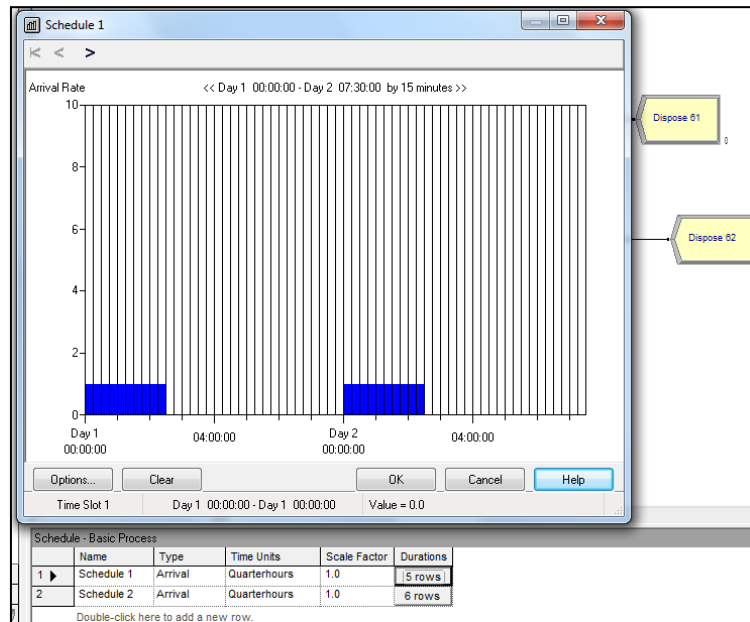


Figura 27: Modulo Schedule in Arena

11.8 Settaggio generale dell'ambiente di simulazione

Per l'utilizzo del modello qui elaborato è richiesto il settaggio della lunghezza della giornata lavorativa a 8 ore, tramite la scheda Replication Option nel menù Tools/Options. È poi necessario configurare le corrette directory per la stampa dei file di output.

11.9 Variabili di input al sistema

Si riporta di seguito la lista delle variabili da settare all'inizio della simulazione.

Variabile	Stadio di riferimento
Input Factory Reorder Level	Factory
Tempo di setup	
Tempo di produzione	
Input Factory1 Reorder Level	Factory1
Output Factory1 Size1 Reorder Level	
Output Factory1 Size2 Reorder Level	
Tempo di setup	
Tempo di produzione	Factory2
Input Factory2 Size 1 Reorder Level	
Input Factory2 Size 2 Reorder Level	
Output Factory2 Type1 Reorder Level	
Output Factory2 Type2 Reorder Level	
Output Factory2 Type3 Reorder Level	
Output Factory2 Type4 Reorder Level	
Tempo di setup	
Tempo di produzione	
Retailer Type 1 Reorder Level	
Retailer Type 2 Reorder Level	
Retailer Type 3 Reorder Level	
Retailer Type 4 Reorder Level	

Tabella 25: Lista delle variabili da settare all'inizio della simulazione

A cui vanno aggiunte le variabili relative ai livelli di *Target Stock* per gli scenari base ed information sharing e *lotto di riordino* per lo scenario lean.

11.10 Settaggio iniziale del sistema

Si propone di seguito una rappresentazione complessiva della supply chain analizzata in cui si sono messi in evidenza i valori attribuiti alle variabili sopra definite nei vari stadi. La prima figura è relativa al caso di scenario base ed information sharing, la seconda invece rappresenta la situazione della lean supply chain.

Supply chain del caso base e del caso con Information Sharing

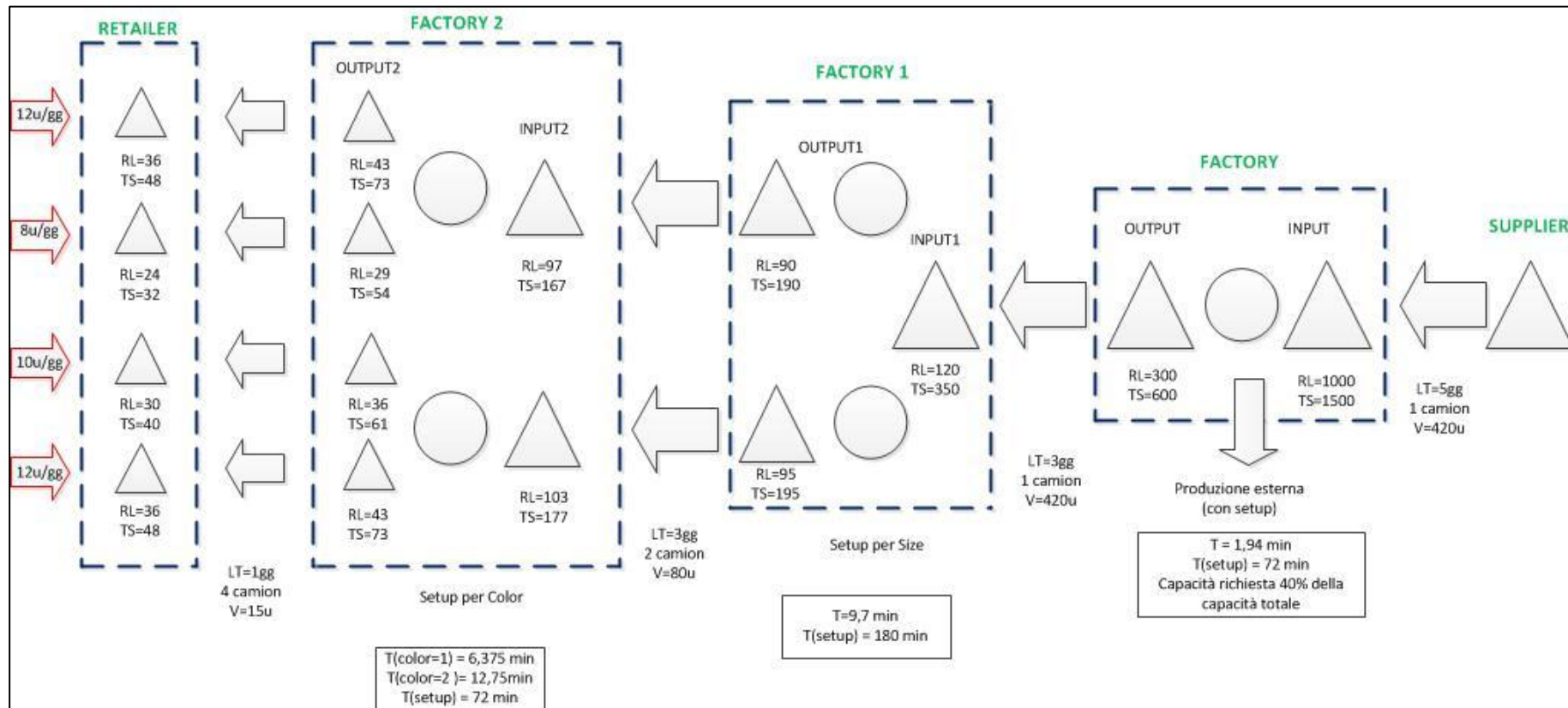


Figura 28: Parametri di gestione della supply chain nel caso base e nell'Information Sharing

Legenda:

RL = reorder Level

TS = target stock

LT = lead time di trasporto

V= volume del camion in numero di pezzi trasportabili

Supply chain del caso Lean

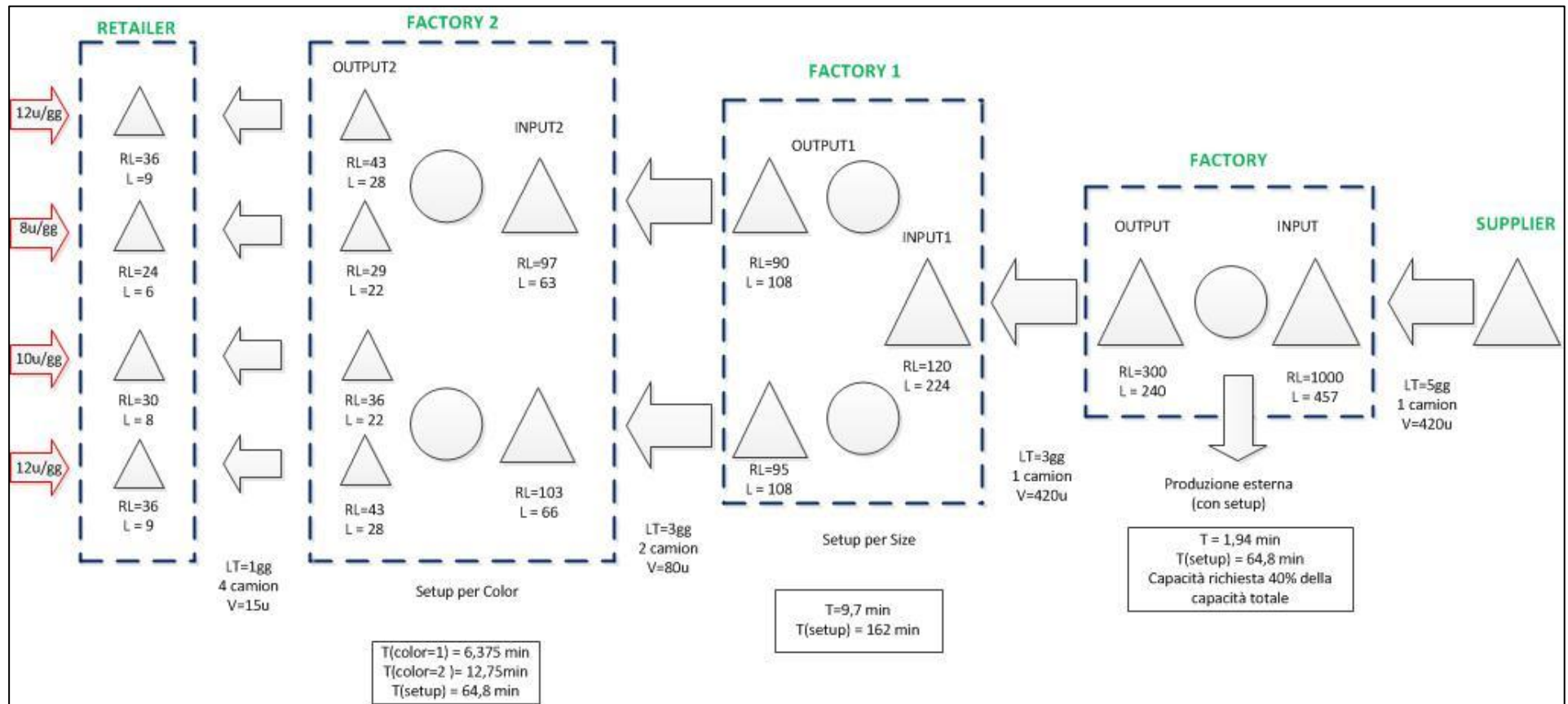


Figura 29: Parametri di gestione della supply chain nel caso lean

Legenda:

RL = reorder Level

L = grandezza del lotto di riordino

LT = lead time di trasporto

V= volume del camion in numero di pezzi trasportabili

La definizione dei tempi di processo nelle 3 stazioni produttive è stata eseguita con l'obiettivo di avere per ogni risorsa un valore di circa l'87,5% di saturazione netta ed una saturazione lorda superiore al 90%. Questa scelta è giustificata dalla volontà di testare il sistema creato in condizioni di stress: l'aumento di saturazione porta infatti ad assorbire meno la variabilità del processo e quindi a parità di altri parametri porta a code più lunghe.

11.11 Descrizione del modulo STATISTICS

Le statistiche definite vanno a monitorare i seguenti gruppi di variabili:

Tipo di statistica	Gruppo di variabili monitorate
Time Persistent	Stato delle scorte per tutti gli stadi
Time Persistent	Dimensione del lotto di riordino per tutti gli stadi
Frequency (State)	Utilizzo delle macchine
Frequency (State)	Utilizzo dei mezzi di trasporto
Output	Conteggio degli ordini totali per ogni magazzino
Output	Conteggio degli ordini in backlog per ogni stadio
Output	Conteggio del numero di setup per ogni stadio produttivo

Tabella 26: Raggruppamento delle statistiche usate

Il modulo Statistics assume quindi la forma:

Statistic - Advanced Process														
	Name	Type	Expression	Freque.	Resourc.	Collection Peri.	Start Time	Units	Duration	Units	Rep...	Report Label	Report Label	Categories
1	Stock on hand Retailer Pr1	Time-Persistent	InventoryRetailer(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Stock on hand Retailer Pr1	Stock on hand Retailer Pr1	0 rows
2	Stock on hand Retailer Pr2	Time-Persistent	InventoryRetailer(2)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Stock on hand Retailer Pr2	Stock on hand Retailer Pr2	0 rows
3	Stock on hand Retailer Pr3	Time-Persistent	InventoryRetailer(3)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Stock on hand Retailer Pr3	Stock on hand Retailer Pr3	0 rows
4	Stock on hand Retailer Pr4	Time-Persistent	InventoryRetailer(4)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Stock on hand Retailer Pr4	Stock on hand Retailer Pr4	0 rows
5	Process State Factory2	Frequency		State	Machin	User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Process State Factory2	Process State Factory2	0 rows
6	Process State Factory1	Frequency		State	Machin	User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Process State Factory1	Process State Factory1	0 rows
7	Process State Factory	Frequency		State	Machin	User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Process State Factory	Process State Factory	0 rows
8	InventoryInputFactory1	Time-Persistent	InventoryInput1	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	InventoryInputFactory1	InventoryInputFactory1	0 rows
9	Inventory Output Fact2 Pr1	Time-Persistent	InventoryOutput2(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact2 Pr1	Inventory Output Fact2 Pr1	0 rows
10	Inventory Output Fact2 Pr2	Time-Persistent	InventoryOutput2(2)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact2 Pr2	Inventory Output Fact2 Pr2	0 rows
11	Inventory Output Fact2 Pr3	Time-Persistent	InventoryOutput2(3)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact2 Pr3	Inventory Output Fact2 Pr3	0 rows
12	Inventory Output Fact2 Pr4	Time-Persistent	InventoryOutput2(4)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact2 Pr4	Inventory Output Fact2 Pr4	0 rows
13	Inventory Input Fact2 Size1	Time-Persistent	InventoryInput2(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Input Fact2 Size1	Inventory Input Fact2 Size1	0 rows
14	Inventory Input Fact2 Size2	Time-Persistent	InventoryInput2(2)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Input Fact2 Size2	Inventory Input Fact2 Size2	0 rows
15	Inventory Output Fact1 Size1	Time-Persistent	InventoryOutput1(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact1 Size1	Inventory Output Fact1 Size1	0 rows
16	Inventory Output Fact1 Size2	Time-Persistent	InventoryOutput1(2)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Fact1 Size2	Inventory Output Fact1 Size2	0 rows
17	Inventory Output Factory	Time-Persistent	InventoryOutput	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Output Factory	Inventory Output Factory	0 rows
18	Inventory Input Factory	Time-Persistent	InventoryInput	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Inventory Input Factory	Inventory Input Factory	0 rows
19	Batch to supplier	Time-Persistent	QuantityOrderSupplier	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to supplier	Batch to supplier	0 rows
20	Batch to input buffer factory	Time-Persistent	QuantityOrderOutputFactory	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to input buffer factory	Batch to input buffer factory	0 rows
21	Batch to output buffer factory	Time-Persistent	QuantityOrderInputFactory1	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to output buffer factory	Batch to output buffer factory	0 rows
22	Batch to input buffer factory 1	Time-Persistent	QuantityOrderOutput1	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to input buffer factory 1	Batch to input buffer factory 1	0 rows
23	Batch to output buffer factory1 Size	Time-Persistent	QuantityOrderInput2(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to output buffer	Batch to output buffer	0 rows
24	Batch to output factory1 Size 2	Time-Persistent	QuantityOrderInput2(2)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to output factory1 Size	Batch to output factory1 Size	0 rows
25	Batch to input factory2 Size 1	Time-Persistent	QuantityOrderOutput2(1)	Value		User Specified	1200	Hours	3800	Hours	<input type="checkbox"/>	Batch to input factory2 Size 1	Batch to input factory2 Size 1	0 rows

Figura 30: Modulo Statistics in Arena

CAPITOLO 12

Analisi dei risultati

Si descrivono ora i risultati ottenuti dalle simulazioni condotte nel modello descritto nei capitoli precedenti. La trattazione dei risultati segue l'ordine degli interrogativi di ricerca posti. Si parte quindi con l'analisi dello scenario base, dell'information sharing e del lean per rispondere al primo interrogativo (quale politica gestionale porta un abbattimento maggiore dell'effetto bullwhip); si procede, quindi, con l'analisi di information sharing e lean in presenza di variazione crescente della domanda finale per capire la robustezza di tali politiche gestionali al variare di quest'ultima (secondo interrogativo di ricerca). Si riporta, infine, l'analisi di diverse simulazioni in cui si sono fatti variare sia la tipologia sia l'intensità degli interventi lean per rispondere all'ultimo interrogativo di ricerca.

12.1 Confronto: Caso Base – Information Sharing - Lean

Vengono di seguito riportati i dati ottenuti dalle simulazioni.

L'effetto bullwhip della supply chain è stato misurato attraverso due indicatori: la deviazione standard delle scorte dei magazzini e la deviazione standard della dimensione degli ordini. Poiché nel caso di supply chain gestita con le tecniche lean, la varianza degli ordini è nulla (riordino per tutti gli stadi a lotto fisso), alle analisi precedentemente definite si è aggiunta anche l'analisi della deviazione standard del tempo che intercorre tra l'inoltro di due ordini successivi ad uno stesso stadio. Di seguito si riportano i dati ottenuti ed un loro confronto.

12.1.1 Stato delle scorte

Nella tabella seguente sono riportati i dati di media e deviazione standard delle scorte per ogni magazzino della supply chain. Nel grafico sottostante è invece proposto un confronto tra le deviazioni standard per i tre scenari.

	media			dev.st		
	BASE	IS	LEAN	BASE	IS	LEAN
Input Factory	986,4764	1022,678	882,9528	263,1188	183,0524	195,5938
Output Factory	432,6812	480,3659	394,5408	166,0459	115,0778	100,4634
Input Factory1	333,0996	230,9493	124,0508	137,205	88,34706	80,3188
Output Factory1 Size1	84,35507	126,3406	92,56624	45,0432	34,94839	37,09362
Output Factory1 Size2	42,36775	138,8351	86,10708	23,99366	35,59069	36,33517
Input Factory2 Size 1	90,56159	91,0942	40,83848	45,3697	37,52935	27,09474
Input Factory2 Size 2	26,68659	89,3587	38,10345	28,48761	40,35035	26,29487
Output Factory2 Type1	37,00725	55,25181	43,4882	18,7455	13,19847	10,65028
Output Factory2 Type2	5,407609	16,96739	31,73503	4,098888	8,388201	7,600875
Output Factory2 Type3	11,23913	45,1721	36,23049	11,42262	11,66849	9,17147
Output Factory2 Type4	9,601449	25,50906	42,97096	7,012863	11,00008	9,33727
Retailer Type 1	16,23913	16,93297	10,69691	8,292786	8,932345	4,877851
Retailer Type 2	1,253623	9,09058	7,392015	4,117268	6,644112	3,673325
Retailer Type 3	4,889493	13,92391	9,277677	7,217424	7,312422	4,559608
Retailer Type 4	2,701087	16,41848	10,78584	6,131008	8,657878	4,921701

Tabella 27: Valori medi delle scorte nei magazzini della supply chain

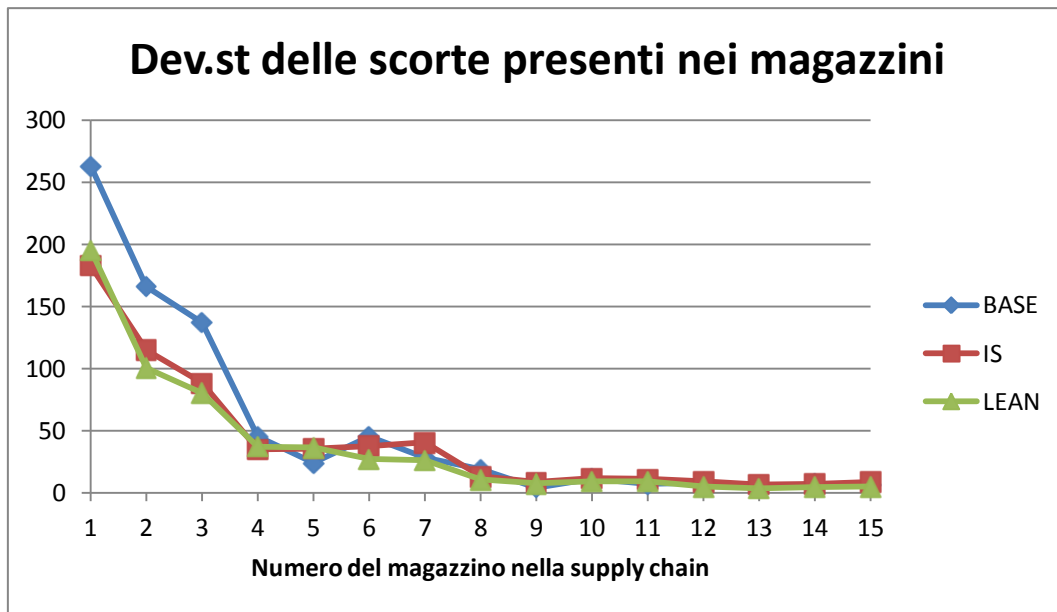


Figura 31: Deviazione standard delle scorte nei magazzini della supply chain

Si nota un visibile miglioramento della varianza delle scorte passando dallo scenario base ad Information Sharing e Lean. In particolare si ha un miglioramento della varianza tra scenario base ed information sharing del 50,06% ed un miglioramento tra scenario base e lean del 51,28%.

12.1.2 Evoluzione degli ordini lungo la supply chain

Vengono riportati di seguito i dati relativi alla dimensione media degli ordini ed alla loro deviazione standard nei tre scenari studiati. Si nota una forte riduzione della dimensione degli ordini passando dallo scenario base all'information sharing. Tale riduzione appare più evidente negli stadi lontani dal cliente dove il valore dell'informazione condivisa è maggiore.

	media			dev.st		
	BASE	IS	LEAN	BASE	IS	LEAN
Input Factory	444,7265	320,7531	240	126,3661	13,25903	0
Output Factory	325,2063	250,4519	224	51,56703	10,56462	0
Input Factory1	153,4897	110,129	108	35,97898	6,326755	0
Output Factory1 Size1	91,61993	79,51282	63	19,03621	5,327218	0
Output Factory1 Size2	95,78873	86,13249	66	18,24367	6,205458	0
Input Factory2 Size 1	35,11881	32,50393	25,2247	6,644986	4,785982	2,993089
Input Factory2 Size 2	35,84697	33,02177	24,89051	6,369537	4,553104	2,99937
Output Factory2 Type1	17,22569	17,22569	9	4,580864	4,583586	0
Output Factory2 Type2	11,44676	11,44676	6	3,013419	3,01321	0
Output Factory2 Type3	14,20833	14,21991	8	3,754891	3,761459	0
Output Factory2 Type4	17,28923	17,28438	9	4,537163	4,545454	0

Tabella 28: Dimensione media degli ordini lungo la supply chain nei tre scenari

La presenza di valori non nulli nel calcolo della deviazione standard nello scenario lean è dovuta al fatto che nei due magazzini di Input della Factory 2 giungono ordini da 4 magazzini diversi e quindi, pur essendo uguale la dimensione dell'ordine da parte di uno stesso magazzino, la dimensione media dell'ordine che vede il magazzino di input è variabile (anche se in modo deterministico, in quanto oscilla sempre tra due valori).

Di seguito si riporta il grafico del confronto delle deviazioni standard per caso base ed information sharing. Si nota che passando all'information sharing si ha una forte riduzione della deviazione standard della dimensione dei lotti di riordino.

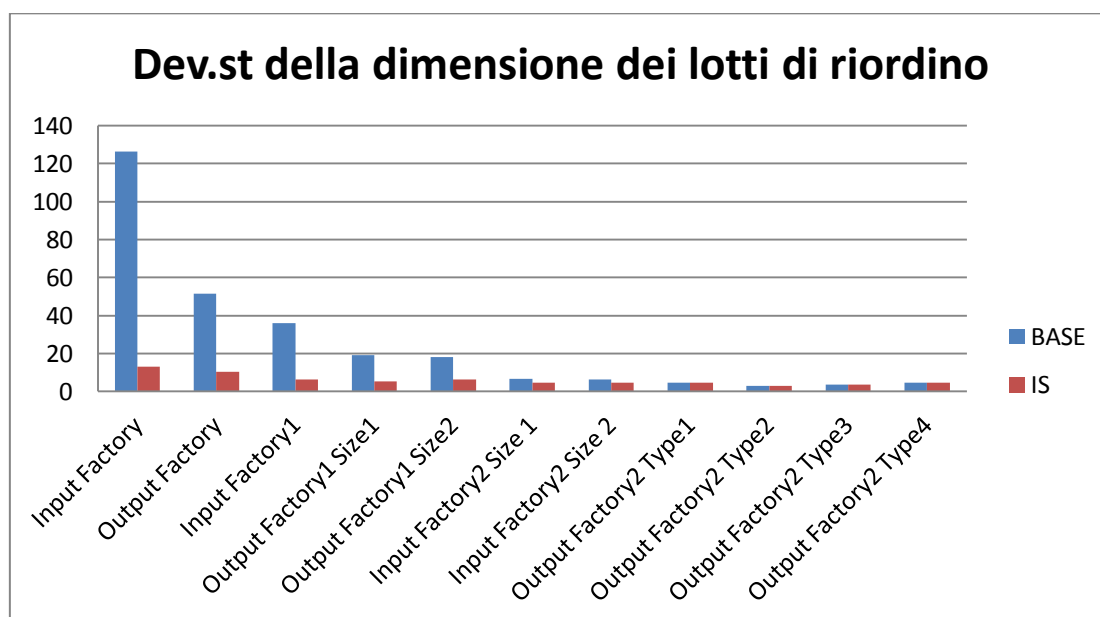


Figura 32: Deviazione standard della dimensione dei lotti di riordino lungo la supply chain nel caso base e nell'IS

Per comprendere anche le conseguenze dell'introduzione del lean sulla politica di riordino da stadio a stadio sono stati analizzati anche i tempi compresi tra l'arrivo di due ordini successivi nei vari stadi della supply chain. Tale analisi trova la giustificazione teorica nel fatto che gli ordini da uno stadio all'altro possono variare in dimensione (analisi già fatta) oppure può variare la frequenza del loro inoltro.

Si riportano di seguito i dati relativi ai tempi sopra menzionati nei tre scenari e il confronto della loro deviazione standard (nel grafico sottostante i numeri riportati sull'asse principale sono da leggersi mediante la prima colonna della tabella sotto riportata).

	Media			Dev.st		
	BASE	IS	LEAN	BASE	IS	LEAN
1 Input Factory	85,44828	61,46582	45,84755	27,01381	3,733299	17,19671
2 Output Factory	62,33962	47,96134	42,78603	14,40408	1,671703	13,45461
3 Input Factory1	29,41246	21,08474	20,64135	17,10319	12,34359	12,42832
4 Output Factory1 Size1	36,85926	31,97427	25,22342	8,865963	2,178882	7,28122
5 Output Factory1 Size2	35,053	31,49366	24,1548	8,371141	2,578903	6,420453
6 Input Factory2 Size 1	14,10765	13,06422	10,10408	9,066744	8,10046	5,990122
7 Input Factory2 Size 2	13,10436	12,06779	9,105602	8,1823	7,371413	5,315751
8 Output Factory2 Type1	11,55967	11,55967	6,039511	3,978106	3,97799	1,421126
9 Output Factory2 Type2	11,47624	11,47624	5,967841	3,968006	3,967923	1,694275
10 Output Factory2 Type3	11,365	11,37427	6,386621	3,951486	3,952993	1,555994
11 Output Factory2 Type4	11,65768	11,64994	6,079001	3,988001	3,98709	1,445579

Tabella 29: Media e deviazione standard dei tempi di arrivo di due ordini successivi in ogni stadio della supply chain

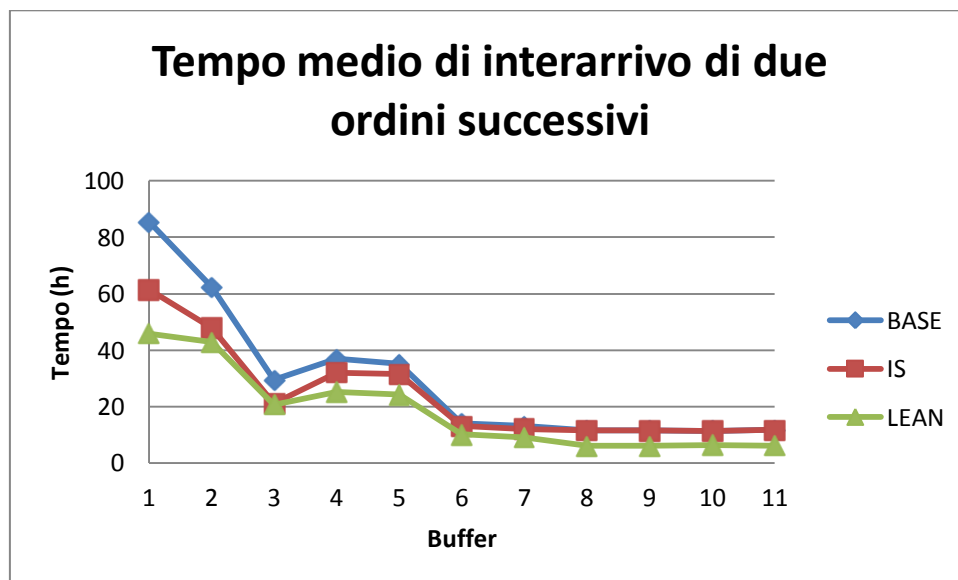


Figura 33: Media del tempo medio fra due arrivi in ogni stadio della supply chain

Dall'analisi condotta si vede una forte riduzione della deviazione standard del tempo tra l'arrivo di due ordini successivi passando dal caso base, all'information sharing al lean, che risulta avere le migliori performance.

A seguito di questa analisi si può concludere che lean ed information sharing portano ad una forte riduzione della variabilità sia delle scorte sia degli ordini all'interno della supply chain. Tale abbattimento è sostanzialmente uguale nelle scorte, risulta invece migliore per il lean nell'analisi dei tempi tra l'arrivo di due ordini successivi.

12.1.3 Saturazione delle risorse produttive

Si riportano ora i dati relativi all'utilizzo delle risorse produttive nel sistema. Tale analisi ha l'obiettivo di mostrare che l'aumento di saturazione delle risorse creato dalle tecniche lean non supera eccessivamente i valori ottenuti nel caso di utilizzo di information sharing.

Il grafico che segue riporta una media degli indici di saturazione per tutte le risorse del sistema, comprendendo quindi sia gli stadi produttivi sia le risorse per il trasporto. Si nota come l'incremento di saturazione causato dal lean sia solo il 6% superiore al caso dell'Information Sharing.

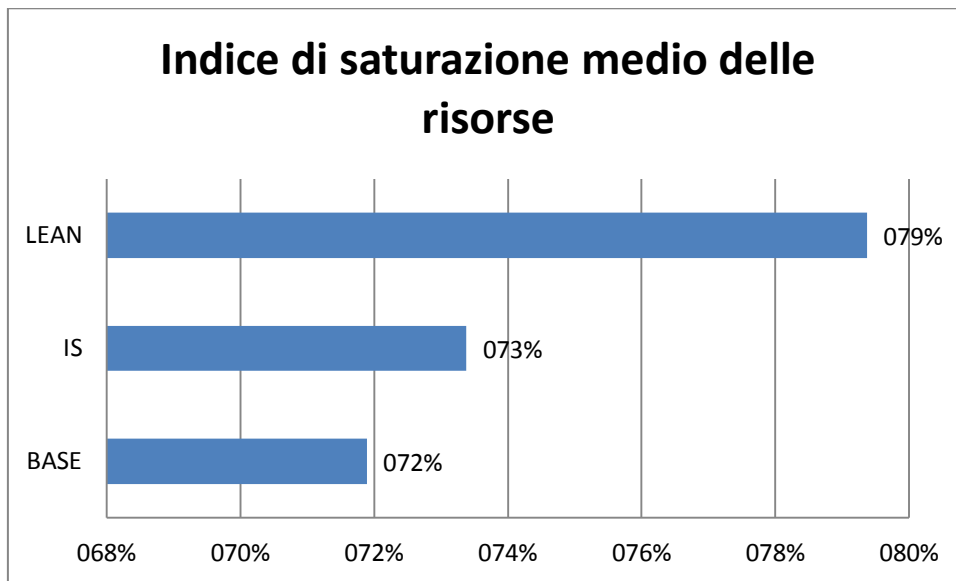


Figura 34: Saturazione delle risorse in percentuale sul tempo disponibile

Il grafico che segue, concettualmente uguale al precedente, mostra invece l'aumento di saturazione per le diverse risorse della supply chain. Si nota un aumento della saturazione nello scenario lean nelle risorse produttive e di trasporto maggiormente a valle. Tale osservazione è coerente con gli interventi lean fatti nella supply chain. La riduzione dei lotti di produzione e la possibilità di caricare sulle risorse di trasporto prodotti diversi mostra vantaggi maggiori dove la varietà di produzione è maggiore.

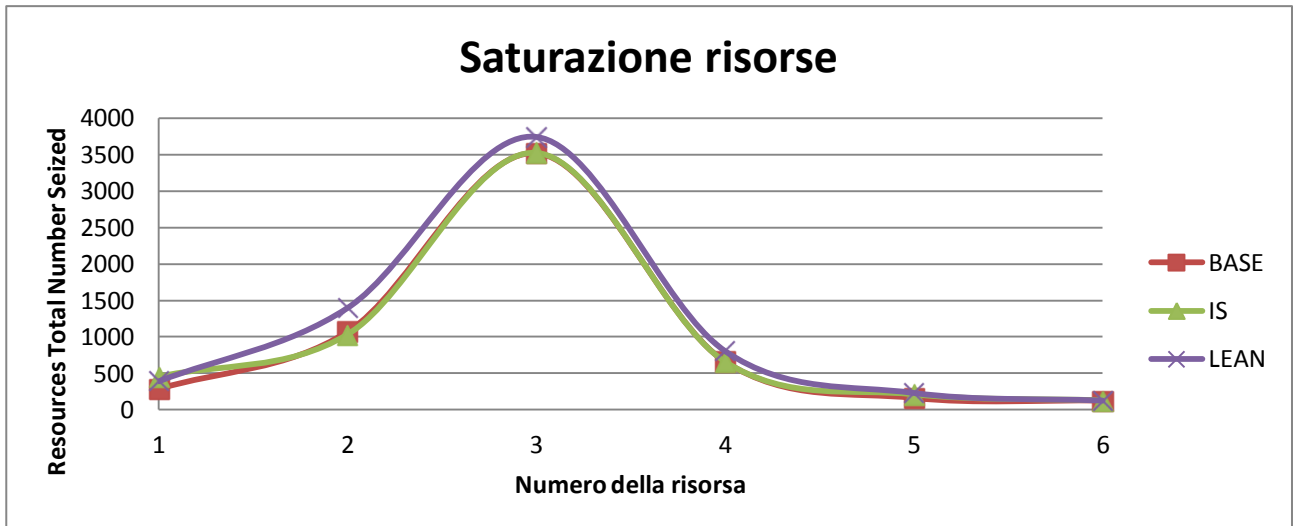


Figura 35: Saturazione delle risorse in ore di tempo occupato

Dove i numeri sull'asse principale vanno letti con la seguente corrispondenza:

- 1 Numero di setup alla Factory 1
- 2 Numero di setup alla Factory2
- 3 Numero di trasporti effettuati tra Factory 2 e Retailer
- 4 Numero di trasporti effettuati tra Factory 1 e Factory 2
- 5 Numero di trasporti effettuati tra Factory e Factory1
- 6 Numero di trasporti effettuati tra Supplier e Factory

12.1.4 Valutazione del livello di servizio della supply chain

La valutazione del livello di servizio nelle supply chain è stata condotta attraverso due indicatori: la frequenza di stock out e il tempo medio di attesa per l'evasione di un ordine.

La tabella seguente riporta la frequenza di stock out nei diversi magazzini della supply chain nei tre scenari studiati.

Magazzino	BASE	IS	LEAN
8 Output Factory2 Type1	9,72%	0,00%	0,00%
9 Output Factory2 Type2	78,10%	15,02%	0,00%
10 Output Factory2 Type3	42,61%	0,34%	0,00%
11 Output Factory2 Type4	55,59%	11,07%	0,00%
12 Retailer Type 1	5,95%	2,43%	1,64%
13 Retailer Type 2	83,04%	12,57%	3,88%
14 Retailer Type 3	36,24%	4,56%	3,05%
15 Retailer Type 4	48,72%	3,45%	1,98%
TOTALE	45,00%	6,18%	1,32%

Tabella 30: Frequenze di stock out nei tre scenari

Il confronto è reso maggiormente visibile dal seguente grafico. I numeri riportati sull'asse principale – come già fatto - fanno riferimento alla tabella sopra.

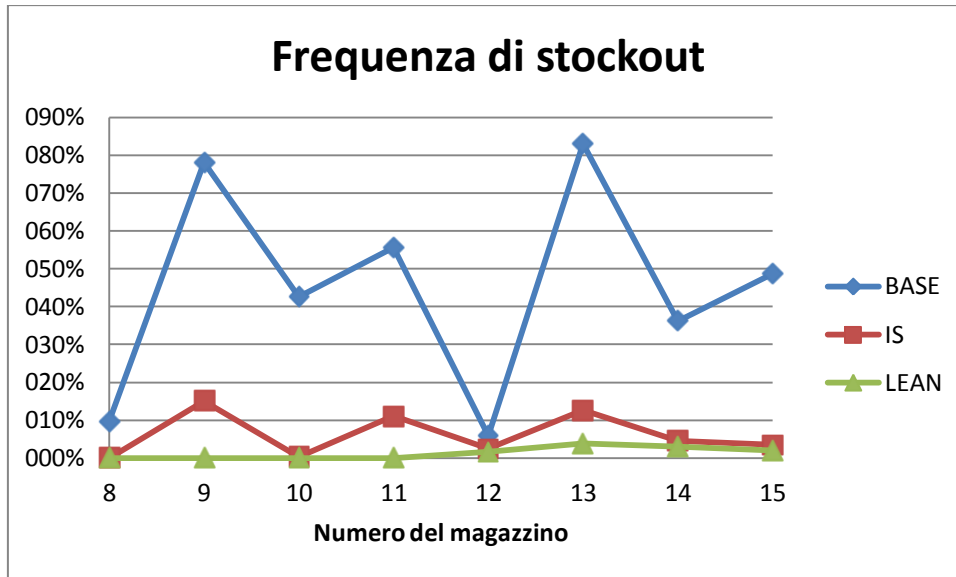


Figura 36: Frequenze di stock out nei tre scenari

Si nota una forte diminuzione del numero di stock out per lean ed information sharing rispetto al caso base.

L'analisi sul tempo medio di attesa di un ordine in ritardo (mean conditional tardiness) sono riportate nel seguente grafico.

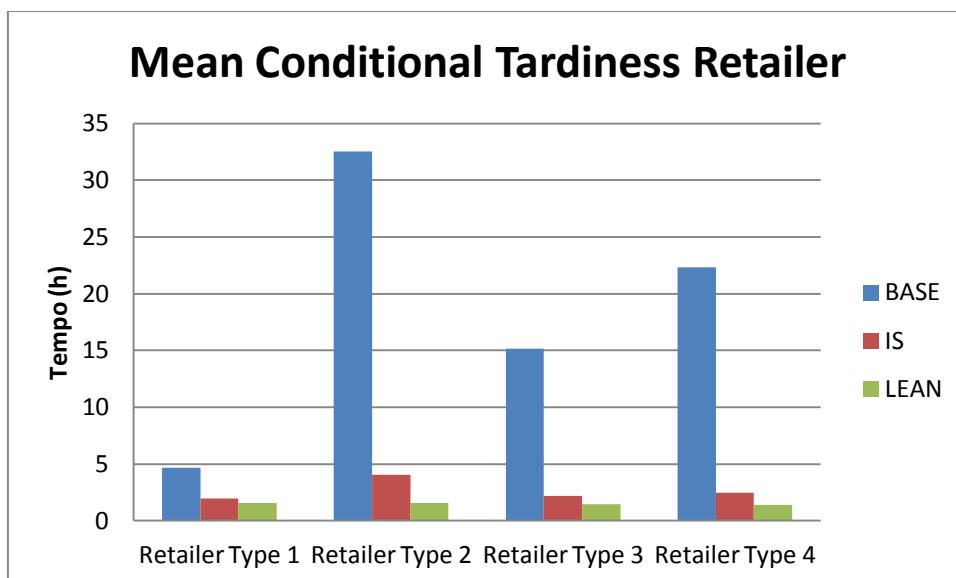


Figura 37: Mean Conditional Tardiness nello stadio finale della supply chain

Il tempo medio di evasione di un ordine lungo la supply chain è invece riportato nella seguente tabella (i dati sono espressi in ore):

(in h)	CB	IS	LEAN
Input Factory	0	0	2,0537
Output Factory	1,4	0	0
Input Factory1	3,71	0	3,13
Output Factory1	17,005	0	0,215
Input Factory 2	9,875	0,3103	1,125
Output Factory 2	15,72475	0,249625	0
Retailer	10,91225	0,1857	0,03902

Tabella 31: Tempo medio di evasione di un ordine lungo la supply chain

L'Information sharing riporta il tempo minimo di evasione degli ordini lungo tutta la supply chain. Tale dato va però interpretato con le seguenti osservazioni. Se lo stock out avviene all'input buffer non si tratta di un vero e proprio "costo" in quanto per l'azienda ciò significa semplicemente ritardare la produzione, ma nessun cliente si accorge di tale mancanza di materiali. Se si aumentano i livelli di riordino del caso lean, pur mantenendo una quantità di WIP totale di molto inferiore all'Information sharing, si abbattano velocemente i ritardi esistenti in questo scenario.

12.1.5 WIP del sistema

L'ultima analisi condotta riguarda il volume totale di WIP presente nel sistema nei tre scenari e la sua suddivisione in 4 diverse componenti:

- (1) Pezzi a magazzino
- (2) Pezzi in coda agli stadi produttivi (ma già prelevati dai magazzini di input)
- (3) Pezzi in coda al trasporto (che attendono il completarsi del lotto minimo di trasporto oppure attendono il liberarsi delle risorse di trasporto)
- (4) Pezzi ordinati, ma non ancora prelevati dai magazzini per presenza di uno stock out. Si ricorda a riguardo che tra le regole gestionali alla base del modello costruito vige la regola che gli ordini vanno soddisfatti in modo completo altrimenti si attende la loro evasione.

Il grafico seguente mostra i risultati di questa analisi:

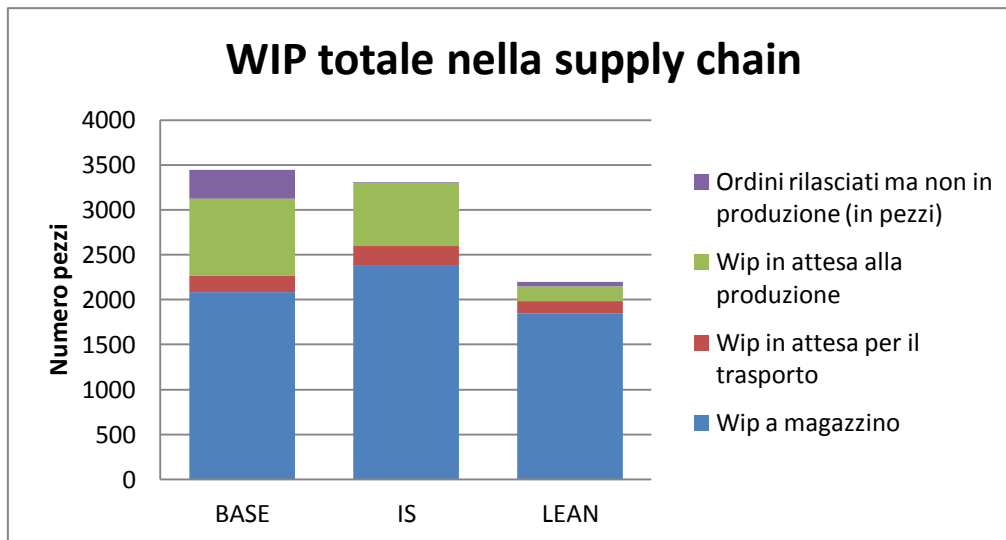


Figura 38: Distribuzione del WIP del sistema nei tre scenari

La tabella sottostante riporta i valori usati per la costruzione del grafico sopra riportato.

Componente	BASE	IS	LEAN
Wip a magazzino	2084,567	2378,888	1851,737
Wip in attesa per il trasporto	186,43	219,19	135,29
Wip in attesa alla produzione	852,78	706,99	163,91
Ordini rilasciati ma non in produzione (in pezzi)	324,1864	3,369341	47,24638
TOTALE WIP	3447,96	3308,444	2198,19

Tabella 32: WIP del sistema e sua scomposizione

L'osservazione principale che emerge dal commento di questi dati è la presenza di una riduzione di WIP totale passando dal caso base all'information sharing al lean. Il miglioramento delle performance della supply chain in esame espresse in termini di frequenza di stock out e di tempo di attesa per l'evasione degli ordini non sono ottenute tramite un aumento del WIP presente nel sistema.

Un'ulteriore interessante osservazione è il verificarsi di un aumento delle scorte a magazzino nel caso di information sharing, che però è compensato da una riduzione del WIP in attesa alla produzione e soprattutto dei pezzi in attesa di prelievo per il verificarsi di uno stock out al rispettivo magazzino di input. La giustificazione teorica dell'aumento delle scorte a magazzino nel caso di applicazione di information sharing poggia sull'osservazione che tale sistema, disponendo degli ordini del cliente finale, riordina in modo più veloce rispetto al caso base e quindi le scorte a magazzino scendono di una quantità inferiore sul livello di riordino rispetto allo scenario base. Tale osservazione è convalidata dalla forte riduzione di deviazione standard nelle scorte tra caso base ed information sharing.

A conclusione di questa prima analisi si possono trarre le seguenti conclusioni:

- a. Si conferma quanto si trova in letteratura in termini di vantaggi conseguiti dall'adozione di una pratica di information sharing. L'information sharing è, infatti, superiore al caso base su tutti gli indicatori analizzati.
- b. L'information sharing rispondendo più velocemente alla domanda porta ad una diminuzione della grandezza media dei lotti di riordino tra uno stadio e l'altro. Tale fatto porta di conseguenza ad un aumento della saturazione delle risorse rispetto al caso base.
- c. Lean ed Information sharing sono equiparabili in termini di varianza delle scorte nei magazzini, il lean risulta però con una performance superiore se si confrontano le deviazioni standard dei lotti di riordino. L'uso di tecniche lean porta quindi ad una produzione più costante (sia in termini di grandezza dei lotti – che sono fissi – sia in termini di frequenza di riordino).
- d. Il Lean porta ad un forte abbattimento del WIP totale del sistema rispetto al caso base: riduzione del 36% a fronte di un miglioramento del livello di servizio misurato sia in termini di frequenza di stock out sia in termini di tempo di evasione degli ordini.
- e. La saturazione delle risorse produttive dovute all'introduzione delle pratiche lean è di soli 6 punti percentuali maggiori rispetto al caso di information sharing²⁴.

²⁴ Va precisato che l'aumento di 6 punti percentuali ingloba già la riduzione del 10% dei tempi di setup attuata nell'introduzione del lean. Se non si computa tale riduzione la differenza tra Lean ed Information Sharing sarebbe maggiore.

12.2 Relazione tra politica gestionale (Informazion Sharing e Lean) e variabilità della domanda finale

Questo set di simulazioni ha avuto l'obiettivo di studiare l'evoluzione dei vari indicatori di controllo della supply chain in presenza di una domanda con una variabilità crescente.

Information sharing e Lean sono quindi stati sottoposti ad una domanda con le seguenti caratteristiche:

		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
D	media	11,91513	7,981585	10,0048	11,8727
	dev.st	2,518044	2,017268	2,280767	2,514821
D1	media	12,09848	8,071257	10,03683	12,08887
	dev.st	4,902976	3,902729	4,40428	4,882361
D2	media	12,06725	8,328263	10,35388	11,89271
	dev.st	6,991888	5,608731	6,494301	7,191053
D3	media	11,58046	7,807846	10,35709	12,29784
	dev.st	12,86375	9,996389	11,76468	13,46045

Tabella 33: Funzioni di domanda

La media della domanda è stata sempre mantenuta costante, mentre la varianza è stata aumentata da una simulazione all'altra. Il grafico sotto riporta in modo grafico i valori di domanda generati dal sistema nei diversi scenari proposti (relativamente al solo prodotto 1)²⁵:

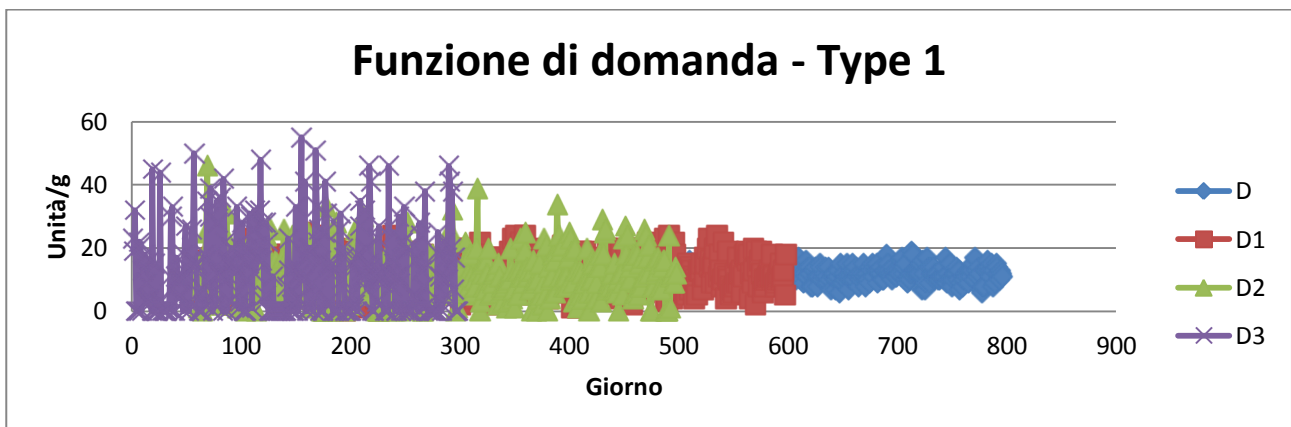


Figura 39: Funzioni di domanda del prodotto Type 1

I risultati ottenuti, in linea con le aspettative, sono stati i seguenti.

All'aumentare della varianza della funzione di domanda, **la frequenza di stockout** si comporta in modo decisamente opposto nelle due diverse politiche gestionali: l'IS mantiene quasi costante il grado di stock-out nelle diverse simulazioni, l'approccio lean porta, invece, ad un peggioramento di questo indice all'aumento della varianza della domanda, tanto da diventare peggiore dell'information sharing nell'ultima simulazione effettuata.

²⁵ Per rendere leggibile il grafico (ed evitare sovrapposizioni) le diverse funzioni sono state rappresentate con intervalli temporali decrescenti.

	D1	D2	D3	D4
IS	73,84%	76,10%	73,71%	75,21%
Lean	23,39%	48,50%	69,21%	83,50%

Tabella 34: Frequenza di stock out nei diversi scenari con domanda variabile

Il grafico che segue riporta gli stessi dati della tabella sovrastante. I numeri sull'asse delle scisse corrispondono ai diversi scenari di domanda testati.

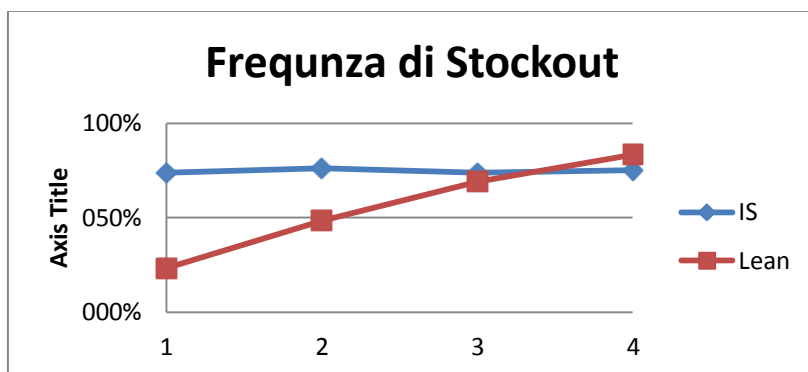


Figura 40: Evoluzione della frequenza di stock-out

La stessa osservazione può essere fatta analizzando la mean conditional tardiness. Il Lean peggiora notevolmente le sue performance tanto da avere un valore dell'indicatore analizzato peggiore di quello rilevato nell'information sharing.

	D1	D2	D3	D4
IS	167,8592	224,8672	241,0953	244,1923
Lean	28,95578	78,09658	130,5647	354,1451

Tabella 35: Mean COnditional Tardiness al variare della domanda

Il grafico con i valori in tabella mostra chiaramente l'andamento molto piatto dell'Information Sharing e il forte peggioramento che si verifica, invece, nel lean.

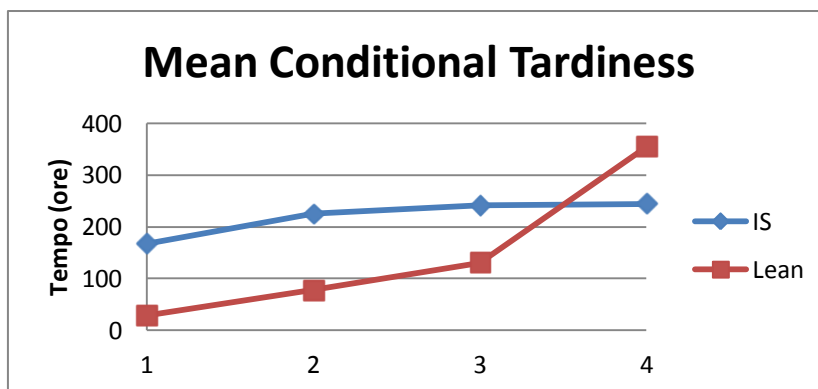


Figura 41: Mean Conditional Tardiness al variare della domanda

Anche l'analisi del tempo medio di risposta di un ordine conferma un peggioramento dell'approccio lean all'aumento della varianza della domanda.

	D1	D2	D3	D4
IS	76,2945	77,13	88,525	99,7625
Lean	14,7	38,4335	75,975	217,615

Tabella 36: Tempo medio (in ore) di risposta ad un ordine (valutato su tutta la supply chain)

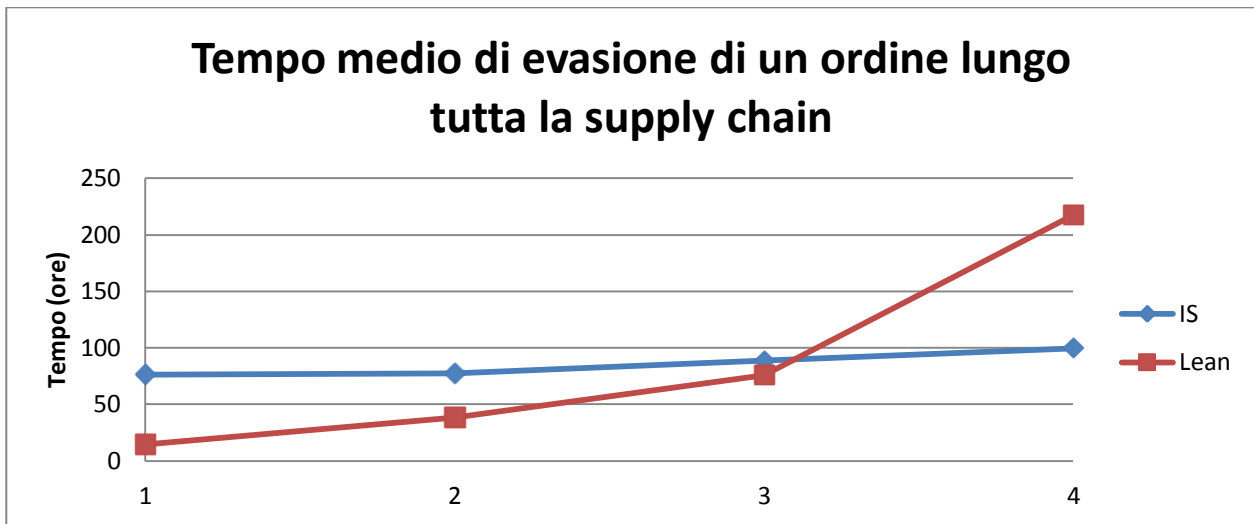


Figura 42: Tempo medio di evasione di un ordine lungo la supply chain

L'approccio lean rimane il migliore in termini di effetto bullwhip (misurato qui come deviazione standard delle scorte nei magazzini), ma offrendo un livello di servizio al cliente finale ben inferiore rispetto all'Information Sharing.



Figura 43: Valutazione effetto Bullwhip nello scenario con domanda D4 (indicatore usato: deviazione standard delle scorte nei magazzini)

12.3 Analisi della relazione tra tipologia ed intensità degli interventi lean ed effetto bullwhip

Questo gruppo di simulazione è divisibile a sua volta in due sottogruppi: nel primo set di simulazioni viene testata la relazione tra effetto bullwhip e tipologia di intervento lean alla supply chain, nel secondo set viene, invece, testata la relazione tra bullwhip ed intensità degli interventi lean effettuati.

12.3.1 Tipologia degli interventi lean

Il primo set di simulazioni ha l'obiettivo di capire qual è l'intervento lean che porta maggiori benefici alla supply chain. In particolare i tre interventi testati sono stati:

- (a) Solo trasporti: riduzione del coefficiente di saturazione dei camion (consegne più frequenti) e possibilità di caricare su una stessa risorsa di trasporto prodotti diversi;
- (b) Solo lotti: riduzione del 30% dei lotti di riordino rispetto ai lotti medi generati nello scenario base e conseguente riduzione dei tempi di setup alle risorse produttive;
- (c) Solo slot: creazione alla Factory di uno slot di capacità dedicata per la produzione dei prodotti in esame.

Si riporta di seguito l'analisi dei valori medi e della deviazione standard del WIP totale del sistema (inteso come somma di scorte nei magazzini, ordini non evasi, pezzi fermi per il trasporto e pezzi in attesa di essere messi in produzione) nei tre diversi scenari

	BASE	solo trasporti	solo lotti	solo slot	LEAN
media	3447,96	3197,26087	2641,475	3340,445	2197,621
dev.st	460,5196	417,5511107	366,9251	329,2845	227,4338

Tabella 37: Media e deviazione standard del WIP totale del sistema nei vari break-down del lean

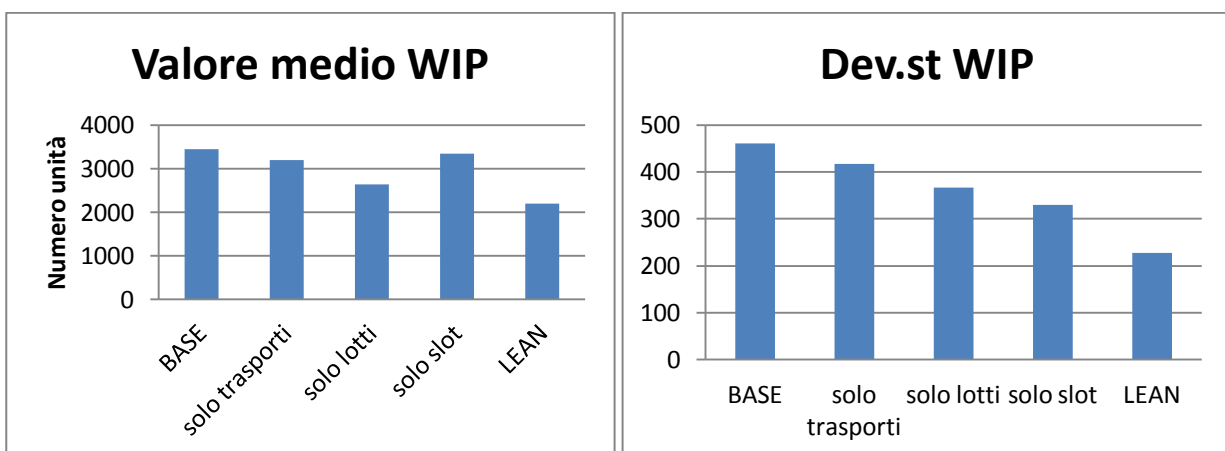


Figura 44: Valore medio e deviazione standard negli scenari ottenuti dal break-down del lean

Dai grafici riportati si nota come tutti gli interventi portano ad una riduzione del WIP totale del sistema. L'intervento relativo alla lottizzazione è quello che porta il beneficio maggiore. Riguardo, invece, la deviazione standard del WIP l'intervento che più abbassa tale valore è l'introduzione dello slot di capacità dedicata.

Vengono ora proposte delle singole analisi per capire nel dettaglio gli interventi attuati.

Dall'analisi della deviazione standard delle scorte nei magazzini è possibile concludere che la riduzione di quest'ultima presente nello scenario lean rispetto al caso base è dovuta principalmente all'intervento sui **lotti**. L'asse delle ascisse riporta il numero del magazzino considerato (come già fatto nei precedenti grafici).



Figura 45: Deviazione standard delle scorte nei magazzini in caso base, lean e lean solo lotti

L'introduzione dell'intervento relativo alla creazione di uno **slot di capacità** dedicata porta ad una riduzione della deviazione standard della coda dei pezzi alla Factory, anche se dall'analisi dei dati in tabella appare evidente che la combinazione di slot + lotti porta ad un risultato decisamente migliore dei singoli interventi.

	Dev.st			
	BASE	SLOT	LOTTI	LEAN
Coda alla Machine	326,0739	162,4762	280,459	45,4366
Coda alla Machine1	85,36597	80,03119	59,67373	56,62723
Coda alla Machine2	56,67871	52,12223	23,94307	23,52265

Tabella 38: Deviazione standard delle code alle risorse produttive

L'intervento sui **trasporti**, invece, porta ad una riduzione del tempo di attesa nei buffer di trasporto, ma in assenza dell'intervento sui lotti non si vedono sostanziali benefici rispetto al caso base come è possibile vedere dai due grafici sopra riportati relativi al valor medio ed alla deviazione standard del WIP del sistema (Figura 44).

In relazione alle performance del sistema verso il cliente finale nessuno degli interventi lean singoli si avvicina al valore ottenuto nel caso di applicazione completa del lean. Menter il lean completo conta solo l'1,32% di stock-out, i singoli interventi si attestano a quota 20-22% (contro però il 55% dello scenario base).

12.3.1 Intensità degli interventi lean

L'obiettivo di queste simulazioni è stato quello di testare di quale grandezza devono essere ridotti i lotti di riordino per ottenere una performance soddisfacente della supply chain. In altre parole, fino a che punto un manager deve spingersi nella riduzione dei lotti per ottenere un significativo miglioramento dell'effetto bullwhip?

Gli scenari simulati sono i seguenti:

LEAN R0	Riduzione dei lotti del 20%
LEAN	Riduzione dei lotti del 30%
LEAN R1	Riduzione dei lotti del 40%
LEAN R2	Riduzione dei lotti del 50%
LEAN R3	Riduzione dei lotti del 55%

Tabella 39: Scenari simulati nel confronto tra scenari con diverse intensità di lean

La deviazione standard delle scorte nei magazzini mostra un miglioramento al diminuire della dimensione dei lotti. Tuttavia, tale miglioramento è decrescente. Passando dal caso base allo scenario Lean R0 si ha un abbattimento medio del 14% della deviazione standard su tutti gli stadi; tale abbattimento diventa il 29% nel caso di Lean. Si attesta al 35% nel caso di Lean R1 e 43% nel caso di Lean R2.

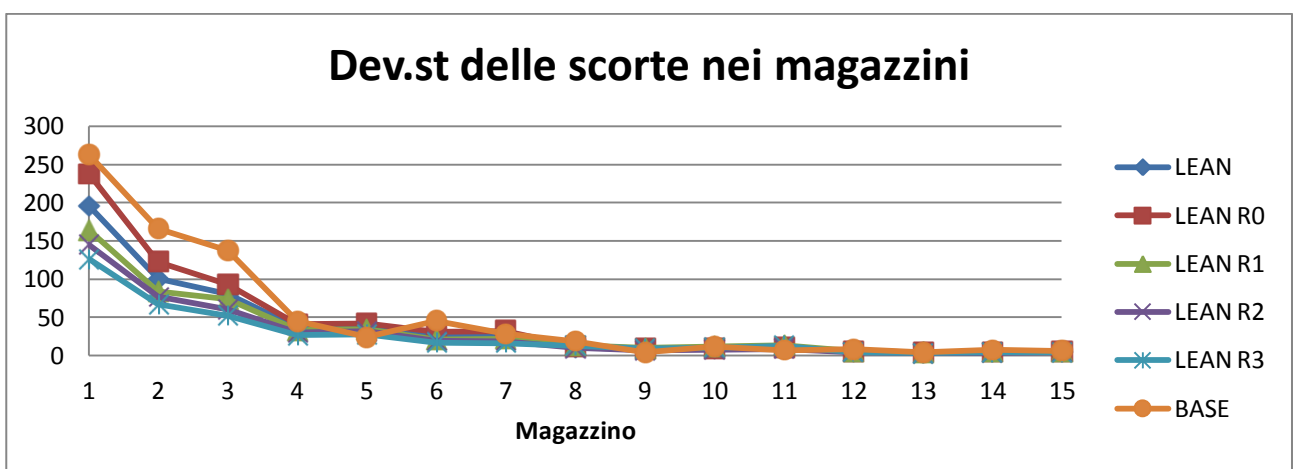


Figura 46: Deviazione standard delle scorte nei magazzini

Nella tabella sottostante sono riportati i valori aggregati degli indicatori caratteristici per ogni scenario. È evidente che si nota un miglioramento con l'aumentare di intensità dell'intervento sui lotti, ma il forte aumento del tempo totale di setup così come della saturazione delle risorse di trasporto devono obbligare ad una riflessione sulla convenienza di tale intervento.

Tempo totale per setup (*)	69076,8	77112	90460,8	104328	113659,2	132386,4
Tempo totale setup / Tempo disponibile	19,97%	22,17%	25,63%	29,32%	32,44%	37,00%
Saturazione trasporti	66,41%	71,55%	75,21%	72,75%	77,48%	78,24%
WIP totale	3447,08	2638,226	2198,19	2148,918	2053,406	2000,024
Mean Conditional Tardiness	74,67905	14,69359	5,895274	5,751727	4,87737	4,1648
Dev. St del WIP	460,52	300,5785	227,4338	187,4276	170,96	147,2011
Variazione del tempo di setup totale (**)		11,6%	31,0%	51,0%	64,5%	91,7%
Variazione saturazione dei trasporti (*)		11,0%	28,3%	46,8%	62,4%	85,2%
Variazione WIP totale		-23,5%	-36,2%	-37,7%	-40,4%	-42,0%
Variazione Mean Cond Tardiness		-80,3%	-92,1%	-92,3%	-93,5%	-94,4%

Tabella 40: Indici aggregati break-down lean

Note:

(*) Il tempo totale di setup è calcolato tenendo costante il tempo di setup unitario in modo da rendere confrontabili i dati nei tre scenari calcolati. Nella simulazione il tempo di setup reale totale è inferiore per effetto della riduzione dei tempi di setup unitari.

(**) Tutte le variazioni calcolate sono sempre riferite allo scenario base

Le **conclusioni** che si possono trarre a margine di questa analisi sono pertanto:

- (a) La progressiva diminuzione della grandezza dei lotti di riordino porta a benefici marginali (in termini di frequenza di stock out, mean conditional tardiness e tempo medio di evasione degli ordini) sempre minori.
- (b) La diminuzione dei lotti porta ad una riduzione continua della varianza delle scorte e più in generale della varianza del WIP di tutta la supply chain.

CAPITOLO 13

Conclusioni

Dalle simulazioni condotte si è confermata la bontà di una politica di Information Sharing nella gestione di una supply chain. La condivisione della domanda finale del cliente a tutti gli stadi della supply chain porta, infatti, ad una riduzione delle metriche caratteristiche dell'effetto Bullwhip (varianza delle scorte e varianza degli ordini) ed a un contestuale miglioramento del livello di servizio (misurato con la frequenza di stock out e con il tempo medio di evasione di un ordine) senza aumentare il WIP totale del sistema.

L'Information sharing come riscontrato nell'analisi della letteratura richiede, però, un forte investimento per integrare i dati dei vari stadi della supply chain: investimento che non può essere modellizzato tramite l'uso di simulazioni. Inoltre, l'adozione di una pratica di Information sharing porta ad una diminuzione della grandezza media dei lotti di riordino che a parità di altre variabili porta ad un conseguente aumento della saturazione delle risorse produttive. Tale risultato, non previsto a priori, risulta essere interessante nel confronto tra Information sharing e metodologia lean. Il Lean, infatti, viene criticato per la necessità che ha di ridurre i tempi di setup (in conseguenza alla riduzione dei lotti) negli stadi produttivi. Risulta quindi evidente che se anche l'Information Sharing porta ad una maggiore saturazione degli impianti produttivi, a livelli di saturazione confrontabili, è da preferire l'adozione di tecniche lean che portano anche ad una sensibile riduzione del WIP totale del sistema.

Tutte le metriche osservate non mostrano particolari differenze tra lean ed Information sharing ad eccezione del valore di media e deviazione standard del WIP totale del sistema, che mostra, invece, un netto vantaggio per il Lean.

Il Lean risulta, quindi, migliore rispetto all'Information Sharing nella gestione di una supply chain, portando ad una riduzione del 30% del WIP totale del sistema.

All'aumentare della variabilità della domanda del cliente finale si osserva un rapido peggioramento delle performance del sistema lean, a fronte di un sostanziale mantenimento delle performance originarie da parte dell'information sharing.

Infine, volendo rispondere alla domanda: quale intervento lean porta i maggiori vantaggi, l'analisi effettuata mostra chiaramente che tutti gli interventi sono necessari per ottenere la situazione ottima, anche se si possono fare alcune considerazioni sui singoli interventi:

- l'intervento sui trasporti non mostra particolari benefici per l'assenza di una vasta gamma di prodotti nella supply chain modellizzata;
- tutti gli scenari testati portano ad una riduzione del WIP totale del sistema rispetto al caso base;
- l'intervento sui lotti riduce in modo consistente la deviazione standard delle scorte dei magazzini nel sistema;
- l'intervento volto alla creazione dello slot di capacità dedicata porta ad una riduzione della varianza della coda alla factory, fatto questo che ha un impatto rilevante nella riduzione della deviazione standard del WIP totale del sistema.

Inoltre, la progressiva riduzione della grandezza dei lotti mostra benefici marginali decrescenti. Sarà quindi compito del singolo manager valutare, in funzione del costo di stock-out, costo per la riduzione dei setup ed costo di mantenimento a scorta se sia opportuna o meno una riduzione dei lotti superiore al 30%.

In conclusione, il presente lavoro ha dato un contributo alla letteratura del supply chain management nelle seguenti direzioni:

- (1) Classificazione della letteratura sull'Information Sharing mettendo in evidenza le informazioni scambiate e la modalità con cui tali informazioni vengono usate per la gestione di una supply chain;
- (2) Classificazione degli strumenti per risolvere l'effetto bullwhip identificati dalla letteratura classica in due macro-categorie: strumenti riconducibili ad una riduzione della variabilità attraverso l'uso

maggior di informazioni lungo la supply chain e strumenti volti a ridurre il tempo di risposta della supply chain stessa al manifestarsi dell'ordine del cliente (metodi lean);

- (3) Confronto di sistemi gestiti con diverse politiche gestionali tramite l'utilizzo di simulazioni;
- (4) Quantificazione degli indicatori bullwhip e delle performance di una supply chain a fronte di due diverse politiche di gestione: Information Sharing e Lean Production;
- (5) Definizione di una relazione tra adozione di una politica di Information Sharing e riduzione dei lotti di riordino;
- (6) Definizione di una relazione tra aumento della variabilità della domanda finale e performance delle due politiche gestionali testate, Information Sharing e Lean;
- (7) Definizione di una relazione tra tipologia ed intensità degli interventi lean e performance della supply chain;

Infine, si suggeriscono i seguenti spunti per proseguire la ricerca qui iniziata:

- (a) Aumentare il numero di prodotti gestiti dalla supply chain per testare in queste condizioni l'intervento sui trasporti.
- (b) Introdurre nella supply chain delle fonti di variabilità del processo (tempi di trasporto variabile, guasti agli stadi produttivi, ..) con l'obiettivo di testare la robustezza dei vari scenari in caso di aumento di variabilità interna alla supply chain e non solo in presenza di aumento della variabilità esterna.
- (c) Un forte limite di questo modello è l'impossibilità a definire un livello minimo di scorte che garantiscano il funzionamento del sistema. Nel presente lavoro si è deciso, infatti, come ipotesi di partenza di mantenere uguali i livelli di riordino dei diversi scenari testati, si suggerisce di creare un nuovo set di simulazioni che includano anche l'aggiornamento del livello di riordino in funzione della dimensione dei lotti di riordino. Information sharing e lean, infatti, portando ad una riduzione dei lotti di riordino, dovrebbero portare anche ad una diminuzione delle scorte di ciclo e quindi anche del livello di riordino.

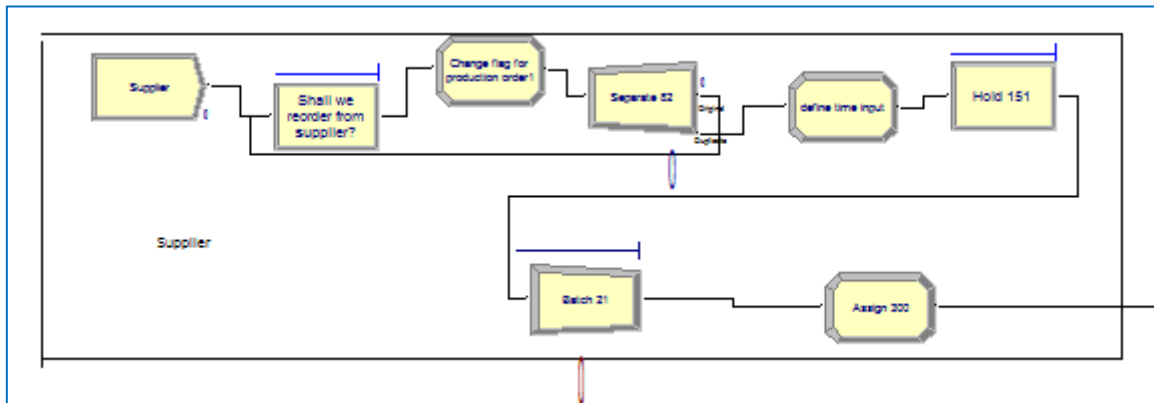
APPENDICE 1

Guida al modello con Arena 12.0

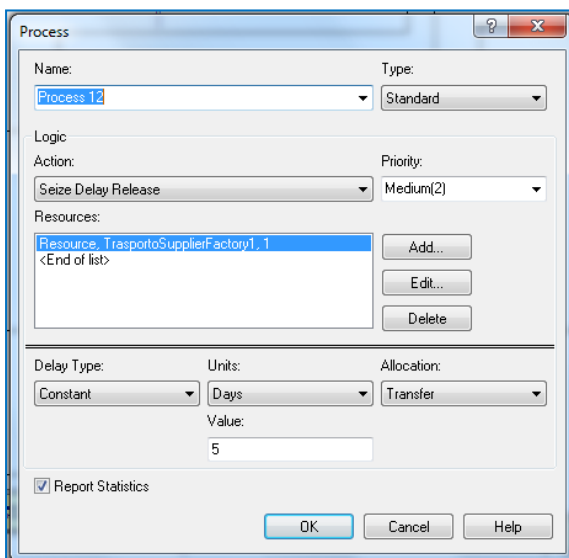
Nella presente appendice è illustrato nel dettaglio il funzionamento del modello di supply chain costruito con Arena 12.0. Salvo diversa indicazione, nelle pagine seguenti si è sempre preso come modello di riferimento il caso base.

A1.1 Ciclo logistico

Lo stadio denominato Supplier – caratterizzato da avere una capacità illimitata – è modellizzato attraverso i seguenti blocchi:



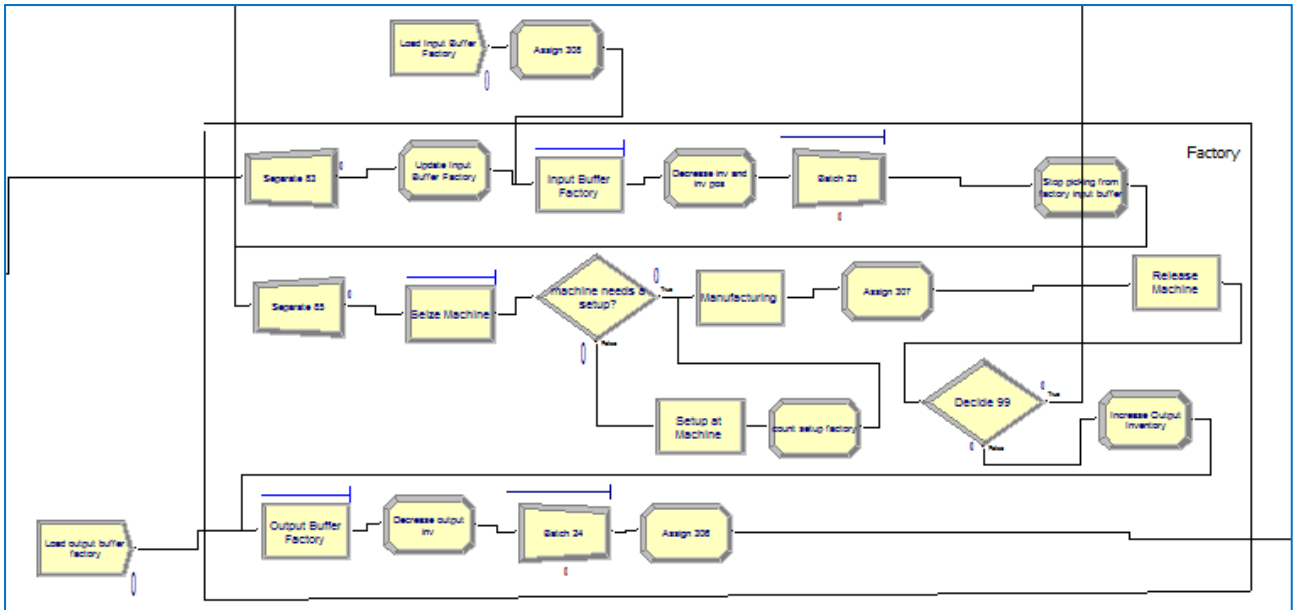
Un modulo *Create* crea all’inizio della simulazione un’entità che ha la funzione di attivare volta per volta la generazione del numero di entità richiesto. Il modulo Hold “Shall we reorder from supplier?”, trattiene l’entità appena create finchè non giunge al supplier un ordine dallo stadio successivo. L’attivazione dell’ordine è controllato dalla variabile *Order_Supplier*. Il modulo “*Separate 82*” crea il numero di entità richiesto.



Alle entità così create viene subito associato dal modulo *Assign* “*define time input*” l’attributo *Entry_time* che ha la funzione di tenere in memoria per ogni entità entrante nel sistema il momento temporale in cui viene generata. L’assegnazione che viene fatta è quindi: $Entry_time = TNOW$. Il modulo *Hold 151* ha la funzione di trattenere le unità appena create finchè queste non formano un lotto di dimensione sufficiente ad impiegare una risorsa di trasporto. Il successivo modulo *Batch 21* ha la funzione di creare il lotto di trasporto, che una volta generato viene indirizzato alla risorsa di trasporto, qui

simulata con l’impiego del modulo *Process 12*. I moduli *Assign 300* e *Change flag for production order1* sono necessari per riportare al valore nullo le variabili che controllano la gestione dei moduli Hold.

Il modulo *Process 12* riporta tra le risorse utilizzate in modalità *Seize Delay release* la risorsa di trasporto *TrasportoSupplierFactory1*. Il tempo di trasporto, simulato con un delay, è posto pari a 5 giorni.



Le entità arrivano quindi alla factory.

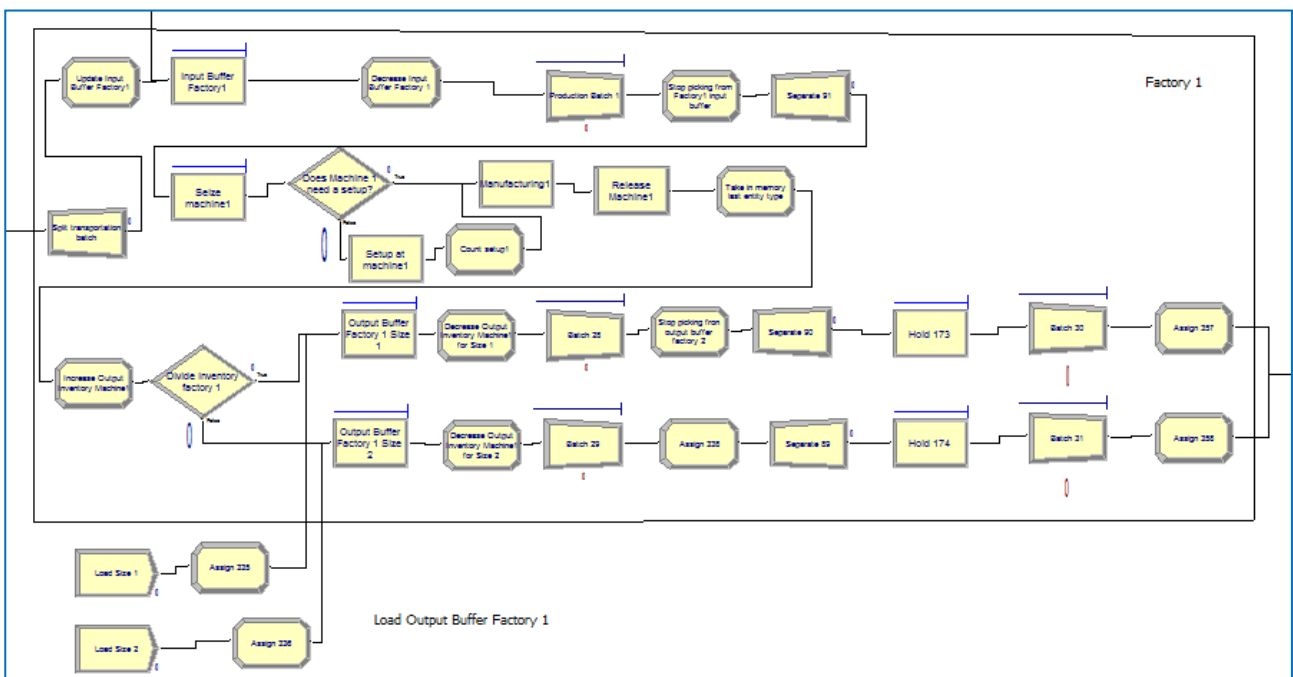
Il modulo *Separate 83* ha la funzione di rompere il lotto di trasporto creato dal modulo *Batch 21*. Le entità procedono quindi verso il magazzino di input di questo stadio produttivo, modellizzato tramite un modulo

Hold, e denominato *Input Buffer Factory*. Nel percorso verso questo modulo incontrano il modulo *Assign "Update Input Buffer Factory"* che ha la funzione di incrementare di uno il valore della variabile *InputFactory* al passaggio di ogni entità. Quando la variabile *Production* assume il valore di 1, il modulo *Hold* si apre e comincia a rilasciare delle unità finchè non si forma un lotto definito dal modulo *Batch 23*.

Formatosi il lotto di prelievo di dimensione pari a *QuantityOrderOutputFactory* il modulo *"Assign Stop picking from factory input buffer"* stoppa il prelievo dal magazzino di input riportando il valore della variabile *Production* a zero. Il modulo *Separate 85* rompe il lotto di prelievo creato da *Batch 23*. Le entità si mettono quindi in coda al modulo *Seize* denominato *"Seize Machine"*, che ha come unica risorsa la *Machine*. Le entità transitano quindi nel modulo *Decide "machine needs a setup"*, dove viene verificata la necessità o meno di effettuare un setup alla risorsa produttiva, qui modellizzato tramite il modulo *Delay "Setup at Machine"*. Il modulo *Assign "count setup factory"* ha solo la funzione di contare il numero di setup che vengono effettuati in questo stadio. Le entità entrano quindi nel modulo *Delay "manufacturing"* dove vengono ritardate del tempo *Time_Factory*, corrispondente al tempo necessario per il loro processamento. Il modulo *Release Machine* serve quindi per rilasciare la risorsa produttiva e permettere l'ingresso dal modulo *Seize* della successiva entità in coda. Il modulo *Decide 99* serve per far uscire dal sistema i pezzi

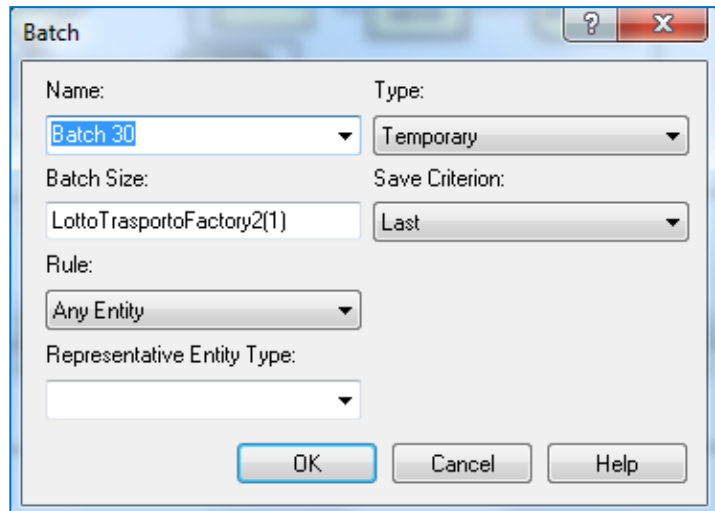
esterni e convogliare invece verso il magazzino di output i pezzi oggetto di analisi. Equivalentemente a quanto già illustrato per il magazzino di Input le entità arrivano qui al magazzino di output modellizzato tramite il modulo *Hold "Output Buffer Factory"* che si attiva tramite la variabile *Order*. Il modulo *Assign "Increase Output Inventory"* ha la funzione di incrementare la variabile *InventoryOutput* mentre il modulo *Assign "Decrease output inv"* va a decrementarne il valore in presenza di un prelievo di pezzi. Il modulo *Batch 24* va a formare il lotto di trasporto che una volta predisposto giunge al modulo *Process 16*. I moduli *Create "Load output buffer factory"* e *"Load Input Buffer Factory"* hanno la funzione di caricare il sistema all'inizio della simulazione e sono controllati rispettivamente dalle variabili *InventoryOutput* e *InventoryInput*. Una volta caricato il sistema questi moduli rimangono disattivati per tutta la lunghezza della simulazione.

Le entità arrivano quindi alla *Factory1*, modellizzata dai seguenti blocchi:

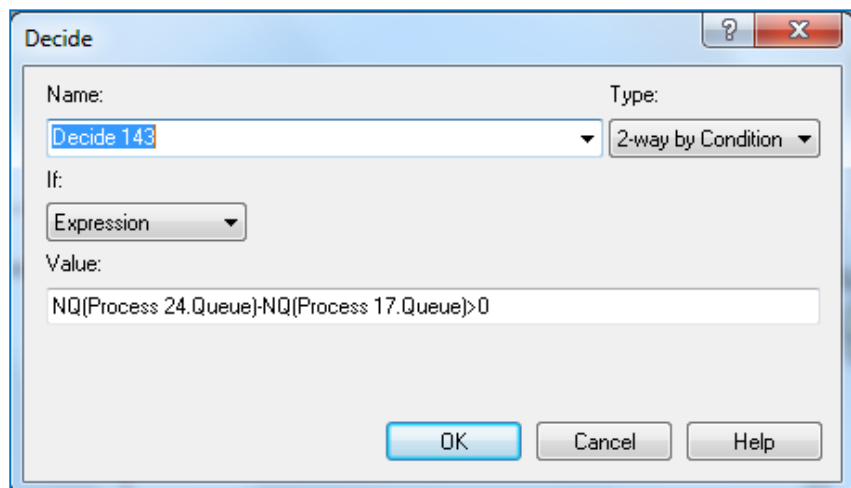


Le entità entrano nel modulo *Split transportation batch* dove viene rotto il lotto di trasporto. Viene, quindi, incrementato il valore della variabile *InventoryInput1* attraverso il modulo *Assign "Update Input Buffer Factory1"*. Il modulo *"Input Buffer Factory1"* modellizza il magazzino di input della *Factory2* ed è attivato dalla variabile *Production1*. Il modulo *Assign "Decrease Input Buffer Factory 1"* registra il numero di pezzi che vengono prelevati dal magazzino aggiornando di conseguenza la rispettiva variabile e aggiunge a tutte le entità transittanti il nuovo attributo *Size* con valore dettato dalla variabile di controllo *Flag_size*. Il modulo *"Production Batch 1"* definisce la grandezza del lotto di prelievo dal magazzino *"Input Buffer Factory1"*. Come già fatto per gli altri magazzini viene attivato il prelievo tramite l'attivazione della variabile di controllo *Production1* al valore di uno e poi, una volta completato il lotto di prelievo della dimensione voluta e pari a *QuantityOrderOutput1*, viene disattivato il prelievo riportando a zero la variabile

Production1, tramite il modulo *Assign* “*Stop picking from Factory1 input buffer*”. Equivalentemente a quanto già illustrato nella precedente stazione produttiva le entità entrano nella sequenza di blocchi *Seize – Delay – Release* ed infine vengono convogliate verso i magazzini di output. A differenza del caso precedente, monoprodotto, qui si è reso necessario creare due diversi magazzini per le due tipologie di pezzi prodotti, *Size1* e *Size2*. Tale necessità è giustificata dal fatto che se si fosse utilizzato un unico magazzino con il modulo *Hold* le unità sarebbero state messe in una coda FIFO che avrebbe reso impossibile il prelievo, a priori non deterministico, di una tipologia di entità rispetto all'altra. Il modulo *Decide* “*Divide inventory factory 1*” va quindi a separare le due tipologie di entità facendo un controllo sul valore assunto dall'attributo *Seize*. Le entità sono immagazzinate nei moduli *Hold* “*Output Buffer Factory 1 Size 1*” e “*Output Buffer Factory 1 Size 2*” che vengono attivati dalla variabile *Order1(Size)*. I moduli “*Batch 28*” e “*Batch 29*” formano il lotto di prelievo dal rispettivo magazzino di output. Le entità vengono quindi incanalate verso i moduli “*Hold 173*” e “*Hold 173*” che sono assimilabili a dei buffer con la funzione di trattenere i



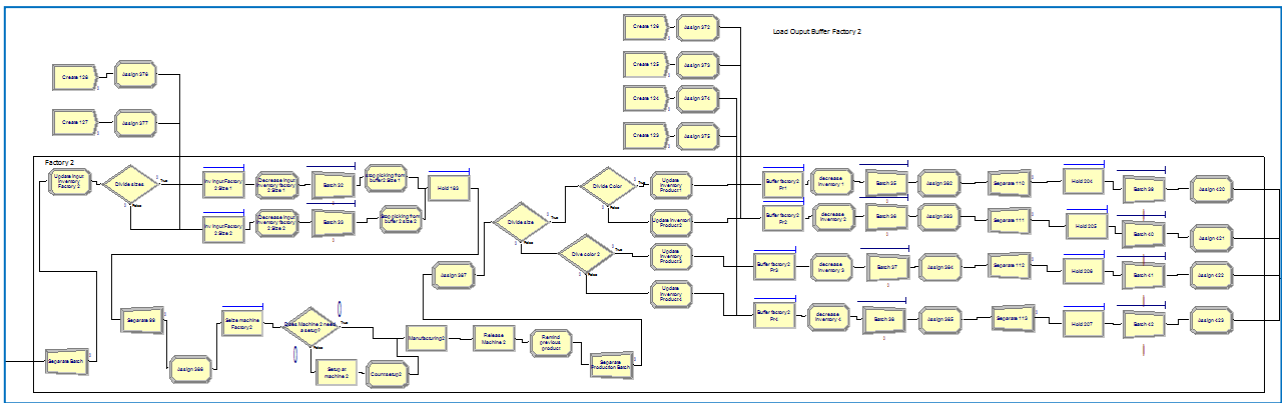
pezzi finchè non si libera la risorsa di trasporto e si raggiunge un numero minimo di pezzi per autorizzare il trasporto stesso. I moduli “*Batch 30*” e “*Batch 31*” formano i lotti di trasporto con dimensione dettata dalla variabile *LottoTrasportoFactory2(n)*. Formati i lotti di trasporto, le entità proseguono verso il modulo *Decide 143* dove vengono convogliate verso una risorsa di trasporto in funzione della lunghezza delle code dei moduli *Process17* e *Process24*. Le entità entrano quindi nel secondo stadio produttivo modellizzato dai seguenti blocchi:



Le entità entrano quindi nel secondo stadio produttivo modellizzato dai seguenti blocchi:

Formati i lotti di trasporto, le entità proseguono verso il modulo *Decide 143* dove vengono convogliate verso una risorsa di trasporto in funzione della lunghezza delle code dei moduli *Process17* e *Process24*.

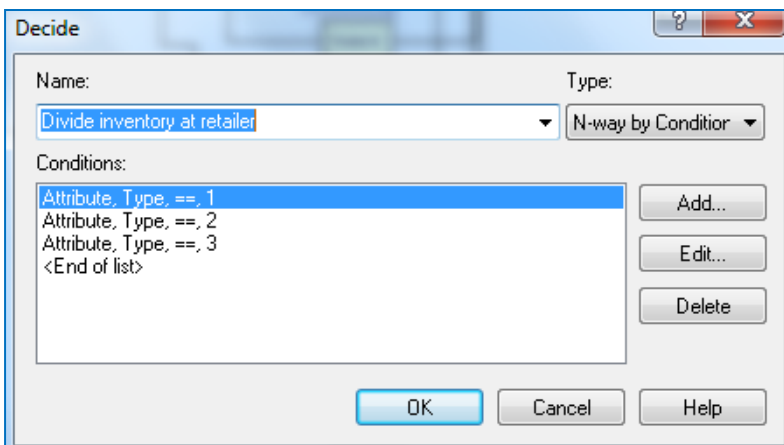
Le entità entrano quindi nel secondo stadio produttivo modellizzato dai seguenti blocchi:



L'apparente complessità di questo sb-model è dovuta alla presenza a questo punto della produzione di quattro varietà di prodotti finiti, ognuno richiedente un proprio magazzino ed un proprio buffer di trasporto per le argomentazioni svolte sopra.

La struttura dei blocchi è la stessa dei precendi stadi produttivi: due magazzini di input + ciclo *seize – delay – release* + eventuale delay per setup + 4 magazzini di output + 4 code per il trasporto.

Le entità giungono infine, dopo aver oltrepassato anche i trasporti modellizzati dai blocchi "Process21",



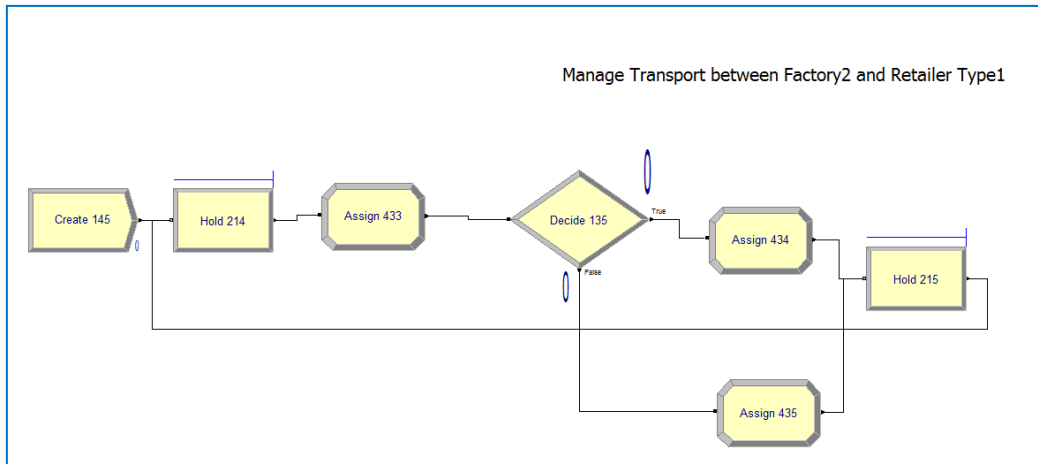
"Process22", "Process23" e "Process25", allo stadio denominato *Retailer*. Il modulo "Separate 109" rompe il lotto di trasporto ed indirizza le unità verso il modulo *Decide* "Divide inventory at retailer". Le entità sono quindi convogliate presso il proprio magazzino in funzione del valore assunto dall'attributo *Type*.

Il modulo **Assign** "Decrease inventory" decrementa il valore delle scorte dei magazzini e ferma il prelievo da un magazzino. Contrariamente a quanto avveniva per gli altri magazzini della supply chain, dove prima di fermare il prelievo si attendeva il completamento di un lotto tramite un modulo *Batch*, in questo caso il prelievo è unitario e quindi non si è resa necessaria la presenza di un modulo *Batch*.

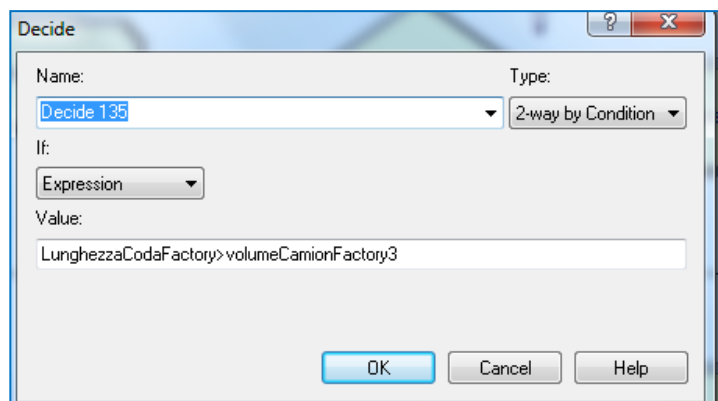
Terminato il prelievo le entità possono dirigersi verso il modulo *Dispose* "Final Customer".

A1.2 Ciclo di trasporto

Si illustra ora la sequenza di blocchi utilizzata per controllare l'utilizzo delle risorse di trasporto nel trasferimento delle entità da uno stadio all'altro della supply chain modellizzata.



Il modulo "Create 145" crea all'inizio della simulazione un'entità. Il modulo Hold 214 ha la funzione di trattenere l'entità creata fino a quando non si verifica la situazione: $NQ(Hold\ 204.Queue) > (0.8 * volumeCamionFactory3)$. Ossia fino a quando la lunghezza della coda allo stadio Hold 204, rappresentante la coda dei pezzi prelevati dal magazzino ed in attesa di trasporto, non raggiunge la dimensione minima dell'ottanta per cento del volume del camion presente tra i due stadi produttivi in esame. Il modulo Assign 433 definisce il valore dell'attributo *LunghezzaCodaFactory* pari alla lunghezza della coda di Hold204. La dichiarazione di questo attributo è indispensabile in quanto, una volta aperto il prelievo dal modulo Hold 204, la coda di quest'ultimo comincia a decrescere e quindi si perderebbe l'informazione sulla sua lunghezza originaria (indispensabile per definire la grandezza del lotto massimo di trasporto) se non si salvasse tale informazione in modo locale attraverso l'uso di un attributo. Il successivo modulo Decide 135 ha la funzione di definire la dimensione del lotto di trasporto in funzione al numero dei pezzi in attesa. Se il numero di tali pezzi è inferiore al volume del camion allora questo partirà con tutti i pezzi in coda, in caso contrario verrà autorizzato il prelievo dal buffer Hold 204 di un numero di pezzi uguale al numero massimo di pezzi trasportati dal camion stesso.

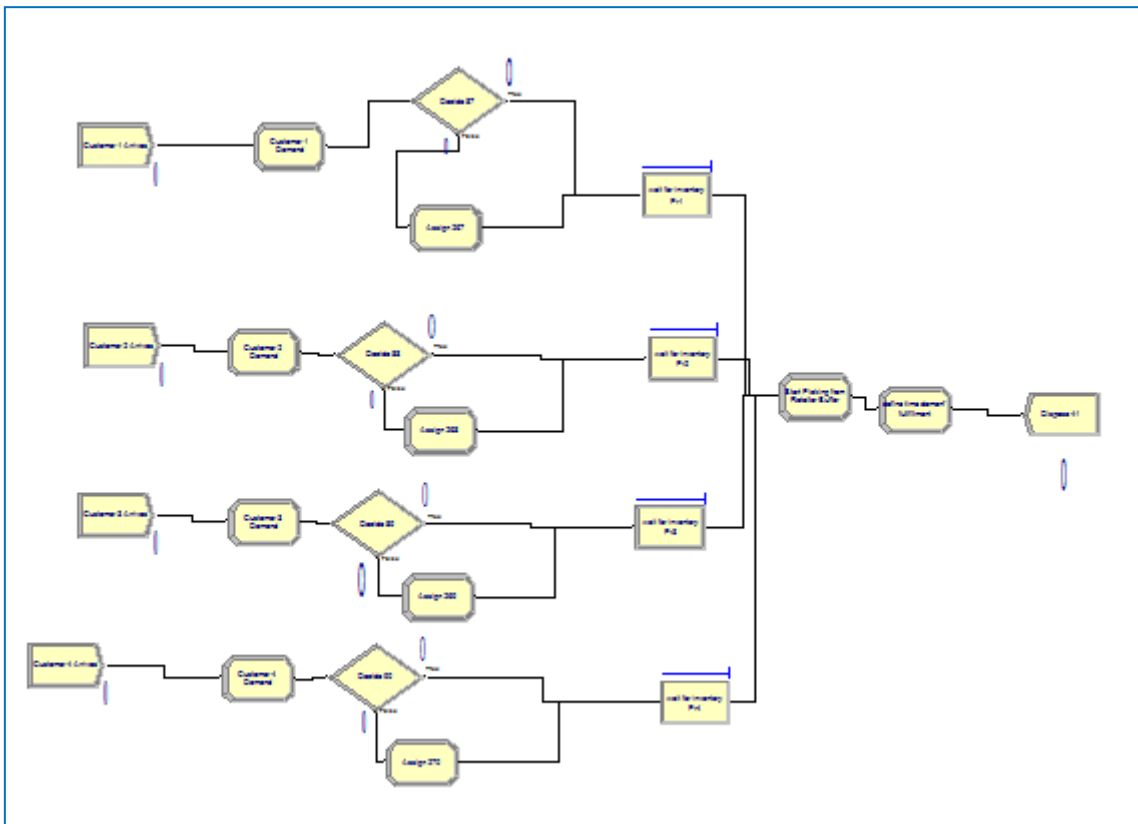


Il modulo Hold 205 ha invece la funzione di trattenere l'entità di controllo che circola in questi blocchi fino a che non si è concluso il prelievo dal magazzino di trasporto. In assenza di questo blocco l'entità in questione

verrebbe subito convogliata al modulo *Hold214*. A questo punto poiché il lotto di prelievo non è ancora concluso, il valore dell'espressione $NQ(\text{Hold } 204.\text{Queue}) > (0.8 * \text{volumeCamionFactory3})$ sarebbe ancora vero e quindi l'entità sarebbe libera di entrare nuovamente nei blocchi sopra illustrati modificandone i valori e rendendo errate le dimensioni dei lotti di prelievo.

A1.3 Ciclo di gestione della domanda finale

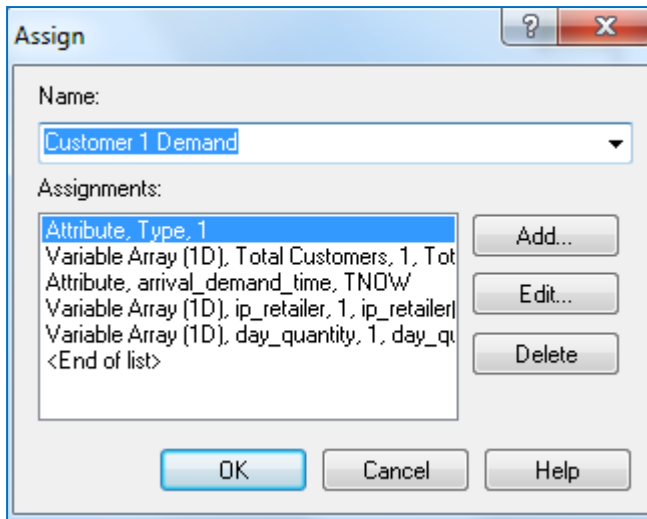
Il ciclo di gestione della domanda è portato a compimento dalla seguente sequenza di blocchi:



Quattro moduli *Create* inseriscono nel sistema gli ordini dei clienti finali secondo una distribuzione 2-Erlang con valori di media riportati nel capitolo 13. Le entità appena create transitano attraverso un modulo *Assign* che definisce i seguenti attributi e variabili:

- Attribute: *Type*.
- Variable: *ip_retailer*. Questa variabile serve a scalare dalla disponibilità dei magazzini del retailer la domanda appena generata.
- Variable: *Total Customer*. Conta il numero di ordini per ogni tipologia di prodotto
- Variable: *day quantity*. Variabile necessaria per il conteggio giornaliero degli ordini.
- Attribute: *Arrival_deman_time* per misurare l'istante temporale di arrivo della domanda da parte del cliente.

Le entità arrivano quindi ad un modulo *Decide* che verifica se sono presenti scorte a magazzino. Se tale condizione non è verificata l'entità è convogliata verso un modulo *Assign* che tiene traccia del numero di stock out. In entrambi i casi le entità arrivano ad un modulo *Hold* che lascia passare solo se è verificata la condizione: $(InventoryRetailer(Type) \geq 1) \&\& (Order_Retailer(2) == 0)$ che esprime due distinte condizioni. La prima condizione è la stessa riportata nel modulo *Decide*: la sufficienza di scorte nel magazzino del retailer.

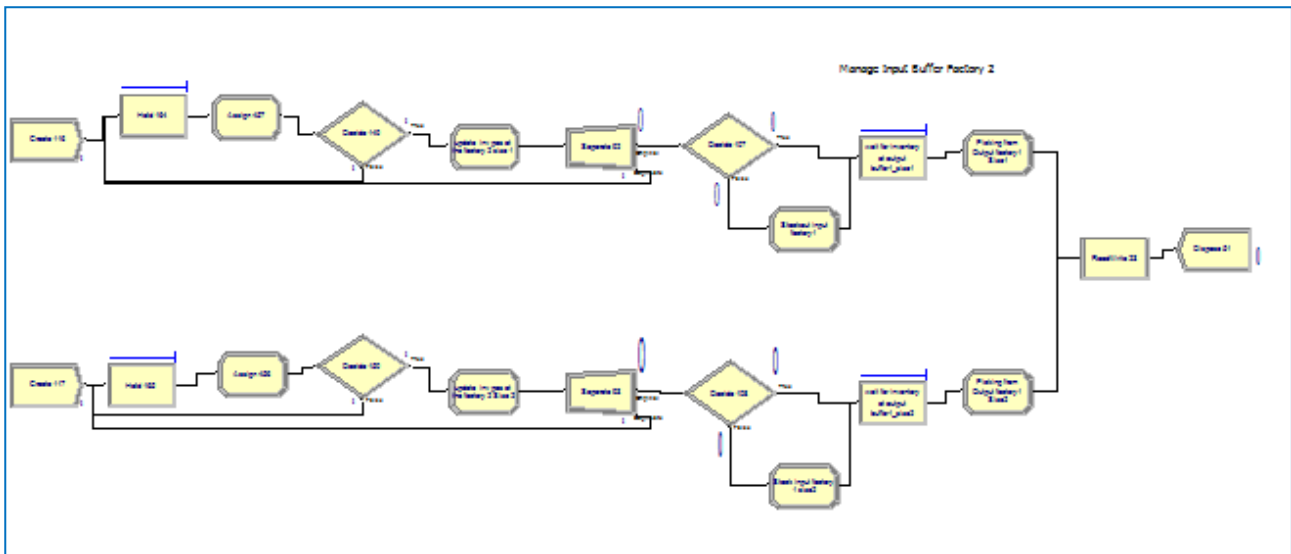


La seconda condizione, invece, è necessaria per impedire che arrivino al magazzino del Retailer due ordini di prelievo in contemporanea e che poi – per come è costruito il modello – un ordine non venga evaso. La correttezza di questa corrispondenza – tra ordini del cliente ed ordini evasi – è verificata dall’uguale valore che devono avere a termine della simulazione i contatori dei moduli Dispose “*Final Demand*” e “*Dispose41*”.

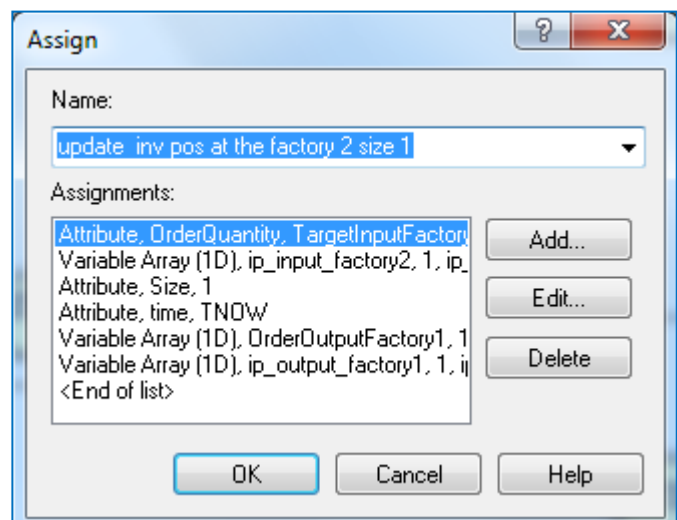
A1.4 Ciclo di gestione degli ordini

Il ciclo di gestione degli ordini segue la stessa logica per tutti i magazzini, ma all'aumentare del numero di prodotti, andando verso valle, cresce il numero di blocchi in quanto ogni tipologia di prodotto richiede una sua gestione separata dagli altri prodotti. Tale necessità è dovuta al fatto che se gli ordini di uno stadio multi prodotto fossero gestiti con lo stesso ciclo, essi verrebbero messi nei moduli Hold in code FIFO che porterebbero ad un ritardo nell'evasione di ordini coperti da scorte in presenza in testa della coda di un ordine non coperto.

Si illustra di seguito il ciclo di gestione degli ordini per il magazzino dedominato Input Buffer2.



Il modulo "Create116" genera all'inizio della simulazione un'entità. Il modulo "Hold 164" rilascia l'entità in attesa al verificarsi della condizione " $TNOW > tempo_riordino2(1)$ ", ossia, quando il tempo di sistema supera il valore della variabile $tempo_riordino2(1)$ l'entità viene rilasciata. Il successivo modulo Decide esegue un controllo sulle scorte, attraverso il test alla condizione: $ip_input_factory2(1) \leq input_factory2_reorder(1)$. Se la disponibilità del magazzino è inferiore al livello di riordino allora si rende necessario formulare un ordine di approvvigionamento e l'entità prosegue nei blocchi successivi, in caso contrario si rimanda l'entità nel blocco *Hold 164*. Il modulo Assign 457 ha la funzione di far andare avanti il contatore del tempo rappresentato dalla variabile $tempo_riordino2(1)$. Poiché si è deciso di fare questo controllo una volta al giorno si incrementa il valore di tale variabile della lunghezza in ore della giornata lavorativa (8h).



Il modulo *Assign* denominato “*update inv pos at the factory 2 size 1*” esegue le seguenti assegnazioni:

- $OrderQuantity = TargetInputFactory2(1) - ip_input_factory2(1)$
- $ip_input_factory2(1) = ip_input_factory2(1) + OrderQuantity$
- $Size = 1$
- $Time = TNOW$
- $OrderOutputFactory1(1) = OrderOutputFactory1(1) + 1$
- $ip_output_factory1(1) = ip_output_factory1(1) - OrderQuantity$

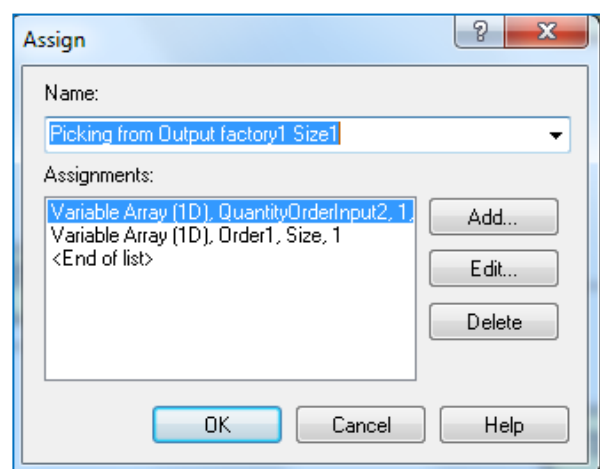
La prima assegnazione definisce la dimensione del lotto di riordino, calcolata come differenza tra il Target Level ed il reorder Level del buffer in esame. La seconda assegnazione incrementa il valore della disponibilità del magazzino che ha inoltrato l’ordine di riapprovvigionamento di un valore pari alla dimensione del lotto appena calcolato. L’attributo Size viene posto uguale a 1 per ricordare che l’ordine in questione richiederà un prelievo dal magazzino relativo a questa tipologia di prodotto. L’attributo time è posto al uguale al tempo di sistema per ricordare l’istante temporale in cui è prevenuto l’ordine e misurare quindi sia il tempo della sua evasione sia l’intertempo compreso tra due ordini successivi. L’assegnazione alla variabile *OrderOutputFactory(1)* serve semplicemente per ricordare quanti ordini sono stati inoltrati presso questo magazzino (e calcolare quindi poi la frequenza di ordini in stock out). Infine, la variabile *ip_output_factory1(1)* viene decrementata del valore pari al lotto di prelievo.

Il modulo *Separate 92* duplica l’entità transitante in modo che una copia prosegua e garantisca l’evasione dell’ordine e l’altra si metta in attesa di un nuovo ordine all’*Hold 164*. Il modulo *Decide 107* verifica la disponibilità a magazzino di sufficiente merce per evadere l’ordine arrivato. Se la condizione è vera l’ordine prosegue, in alternativa si incrementa la variabile *StockOutputFactory1* che tiene in memoria il numero di stock out che si verificano in questo magazzino. Il modulo *Hod “wait for inventory at output buffer1_size1”* rilascia l’ordine solo in concomitanza di due condizioni:

- (a) ci sono sufficienti pezzi a magazzino;
- (b) non c’è in corso un altro ordine di prelievo.

Non appena le due condizioni sopra sono contemporaneamente verificate l’entità in coda procede verso il modulo *Assign “Picking from Output factory1 Size1”* che esegue le seguenti due assegnazioni:

- $QuantityOrderInput2(1) = OrderQuantity$



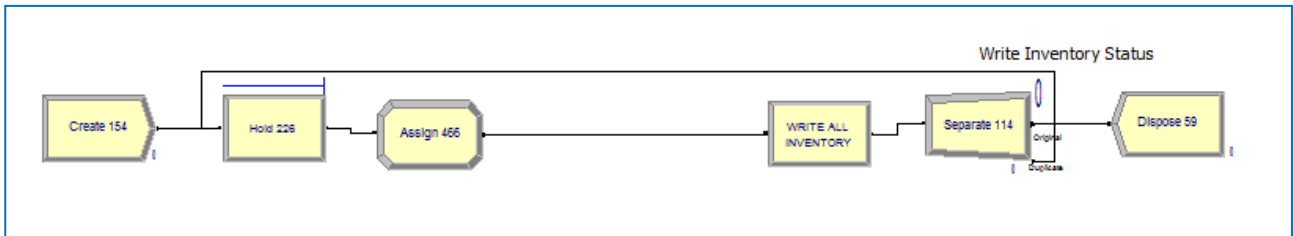
- Order1(Size)=1

La prima assegnazione serve per trasmettere attraverso una variabile globale al ciclo logistico il valore del lotto di prelievo dal magazzino. La seconda assegnazione serve per autorizzare il prelievo dal magazzino del ciclo logistico.

A conclusione del ciclo un modulo ReadWrite memorizza su un file txt per ogni entità la grandezza dell'ordine generato, il suo tempo di arrivo e di quale magazzino si tratta (size).

A1.5 Ciclo di controllo delle scorte

Si rindica sotto questo nome la sequenza di blocchi necessari per memorizzare in un file txt i valori delle scorte in tutti i magazzini della supply chain.



Viene generata all'inizio della simulazione un'entità. Il mdulo *Hold 226* è necessario per scandire il tempo del ciclo: l'entità in coda viene rilasciata una volta al giorno. Il modulo *ReadWrite* scrive nel file txt *scorte* i valori relativi a tutte le scorte, alle code per i trasporti ed alle code per l'ingresso alle stazioni produttive.

Bibliografia

- [1] Akkermans, Vos (2003) - Amplification in service supply chains: an exploration case study from the telecom industry - Production and Operation Management Vol.12 No. 2
- [2] Altiok, Melamed (2007) - Simulation Modeling and Analysis with Arena – Academic Press Elsevier
- [3] Aminnayeri, Sa. Shokuhyar, Si. Shokuhyar (2010) - Modeling and Optimization of Generic Pull Supply Chain – Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists VOL III
- [4] Anderson Jr. – Morrice (2000) - A simulation game for teaching service oriented supply chain management: does information sharing help managers with service capacity decisions? - Production and Operation Management Vol.9 No. 1
- [5] Angulo, Nachtmann, Waller (2004), Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership – Journal of Business Logistics, Vol. 25 No. 1, pp. 101-20
- [6] Bicheno, Portioli Staudacher. Metodologie e tecniche per la lean – Pitagora Editrice (2009)
- [7] Brandolese, Pozzetti, Sianesi (1991) – Gestione della produzione industriale – Hoepli Editore
- [8] Cachon, Fisher (2000), Supply Chain inventory management and the value of shared information - Management science Vol.46, August 2000 pp.1032-1048
- [9] Cachon, Schmit (2007) - In search of the BW effect - Manufacturing & Service operations Management Vol. 9 No. 4 pp. 457-479
- [10] Chang, Makatsoris (2001) - Supply Chain modeling using simulation – International Journal of Simulation
- [11] Chatfield, Kim, Harrison, Hayya (2004) – The bullwhip effect – impact of stochastic lead time, information quality, and information sharing: a simulation study – Production and Operations Management Vol. 13 No. 4, pp. 340-353
- [14] Chen, Drezner, Ryan, Simchi-Levi (2000) Quantifying the BW effect in a simple SC: the impact of forecasting, lead times and information - Management Science Vol.46 No.6 pp436-443
- [15] Chen, Kelton (2003) – Determining simulation run length with the runs test – Simulation Modelling Practice and Theory N.11, pp. 237-250
- [16] Cheung, Lee (2002) - The inventory benefit of Schipment Coordination and Stock Rebalancing in a Supply Chain – Management Science Vol. 48 No. 2 pp. 300-306
- [17] Choi, Blocher, and Gavirneni (2008) - Value of sharing production yield information in a serial supply chain – Production and Operations Management No.17 – pp. 614-625
- [18] Christensen, Germain, Birou (2007), Variance vs average: supply chain lead-time as a predictor of financial performance – International Journal of Supply Chain Management, Vol.12 No. 5, pp. 349-357

- [19] Christopher, Towill (2002) - Developing market specific supply chain strategies - International Journal of Logistics Management
- [20] Christopher (2000) - The Agile Supply Chain – Competing in Volatile Markets - Industrial Marketing Management 29, 37-44
- [21] Closs, Roath, Goldsby, Ecket, Swartz (1998), An empirical comparison of anticipatory and response-based supply chain strategies – International Journal of Logistics Management, Vol. 9 No. 2, pp21-34
- [22] Cox, Chicksand (2005) - The limits of lean Management thinking: multiple retailers and food and farming supply chains - European Management Journal Vol.23 No.6 pp.648 – 662
- [23] Croom, Romano, Giannakis (2000) - An analytical framework for critical literature review - European Journal of Purchasing & Supply Management 6 pp.67-83
- [24] Croson, Donohue (2003), Impact of POS data sharing on supply chain management: an experimental study – Production and Operations Management, Vol.12 No. 1, pp.1-11
- [25] Davenport (1998) - Putting the enterprise into the enterprise system – HBR July – August 1998 – pp. 121-131
- [26] De La Fuente, Lozano (2007) - Application of distributed intelligence to reduce the bullwhip effect – International Journal of Production Research Vol. 45 No. 8 pp. 1815-1833
- [27] Dejonckheere, Disney, Lambrecht, Towill (2004) - The impact of information enrichment on the Bullwhip effect in supply chains: a control engineering perspective - International Journal of Operational Research 153 pp. 727-750
- [28] Disney, Towill (2002) - A discrete transfer function model to determine the dynamic stability of a vendor managed inventory supply chain – International Journal of Production Research Vol. 40 No.1 pp. 179-204
- [29] Disney, Towill (2003) - On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy - Omega 31 pp 157-167
- [30] Disney, Towill (2003) The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains - International Journal of Production Economics 85 pp 199-21
- [31] Fawcett, Osterhaus, Magnam, Brau, McCarter (2007) - Information sharing and SC performance: the role of connectivity and willingness - International Journal of Supply Chain Management 12/5 pp.358-368
- [32] Fisher (1997) - What is the right supply chain for your product? - HBR – March-April 1997
- [33] Forrester (1958) - Industrial Dynamics: a major breakthrough for decision makers - HBR July-August 1958
- [34] Francalanci, Motta, Bracchi (2009) - Sistemi informativi per l'impresa digitale – Etas
- [35] Ganesh, Muthusamy, Scrinivasan and Rajendran, Chandrasekharan (2008) - The value of information sharing in a multi-product supply chain with product substitution – IIE Transactions, 40: 12 pp. 1124-1140

- [36] Gavirneni, Kapuscinski, Tayur (1999), Value of information sharing in capacitated supply chains – Management Science, Vol. 45 No. 1, pp.16-24
- [37] Geary, Disney, Towill (2006) - On bullwhip in supply chain - historical review, present practice and expected future impact - International Journal of Production Economics 101 pp.2-18
- [38] Graves (1999) - A single-item inventory model for a non stationary demand process – Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 1, No.2 pp. 50-61
- [39] Hitachi Consulting Corporation. Six key trends changing supply chain management today – www.hitachiconsulting.com (2009)
- [40] Jain. Supply Chain Management tradeoffs analysis – Proceeding of the 2004 Winter Simulation Conference in Ingalls, Rossetti, Smith, Peters.
- [41] James-Moore, Gibbons (1997) - Is lean manufacturing universally relevant? An investigative methodology - International Journal of Operations & Production Management Vol. 17 No. 9 pp. 899-911
- [42] Jeffrey K. Liker, Yen-Chun Wu. Japanese Automakers, U.S. Suppliers and Supply – Chain Superiority - Sloan Management Review
- [43] Jha, Shanker (2009) - Two-echelon supply chain inventory model with controllable lead time and service level constraint - Computer & Industrial Engineering 57 pp. 1096-1104
- [44] Jones, Hines, Rich (1997) - Lean Logistics – International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 27 No. 3/4 pp.153-163
- [45] Kaipia and Hartiala (2006) - Information sharing in SCs: five proposals on how to proceed - International Journal Logistics Management Vol. 17 No.8
- [46] Kaipia, Holmstrom and Tanskanen (2002) – VMI: What are you losing if you let your customer place orders? - Production Planning and Control, Vol. 13 No. 1, pp. 17-25
- [47] Kim, Lee, Jung, Do (2006) - A framework for sharing product information across enterprises – International Adv Manufacturing Technology 27, pp. 610- 618
- [48] Kimura, Terada (1981) Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control – International Journal Production Research, vol. 19 n. 3, pp. 241-253
- [49] Kleijnen (2003) - Supply Chain Simulation: a Survey – Discussion Paper Tilburg University No. 103
- [50] Lambert, Cooper (2000) - Issue in Supply Chain Management - Industrial Marketing Management 29, 65-83
- [51] Land, Gaalman (1998) – The performance of workload control concepts in job shops: improving the release method – International Journal of Production Economics 56-57 pp. 347-364
- [52] Law, Carson – A sequential Procedure for Determining the Length of a Steady-State Simulation – Operations Research, Vol.27, No. 5, pp. 1011-1025
- [53] Lee, Padmanabhan, Whang (1997a), Information distortion in a supply chain: the Bullwhip effect - Management Science, Vol. 43 No. 4, pp. 546-558

- [54] Lee, Padmanabhan, Whang (1997b), The Bullwhip effect in Supply chains - Sloan Management Review, Vol. 38 No. 3, pp. 93-102
- [55] Lee, So, Tang (2000), The value of Information sharing in a two-level Supply Chain - Management science Vol.46, No. 5, pp.626-643
- [56] Li, Yan, Wang, Xia (2005) - Comparative analysis on value of Information Sharing in Supply Chains - International Journal Supply Chain Management 10/1
- [57] Liker (1998) - "Lean" Manufacturing Engineering – Manufacturing Engineering, pp. 120
- [58] Liker (1997) - Learning to think lean: advanced planning systems as an enabler of lean manufacturing – SAE International in Manufacturing
- [59] Liu, Kumar (2003) - Leverage information sharing to increase supply chain configurability - 24th International Conference on Information Systems
- [60] McCullen, Towill (2001) Achieving lean supply chain through agile manufacturing - Integrating Manufacturing Systems 12/7 pp.524-533
- [61] McCullen, Towill (2002) - Diagnosis and reduction of bullwhip in supply chains - Supply Chain Management Vol.7 No3 pp.164-179
- [62] Metters (1997) - Quantifying the bullwhip effect in supply chains - Journal of Operations Management 15 pp. 89-100
- [63] Mishra, Raghunathan, Yue. Information sharing in supply chains: incentives for information distortion
- [64] Mosca (2007) – Dispense del corso di gestione degli impianti industriali - Università di Genova
- [65] Naylor, Naim, Berry (1999) - Leanagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain - International Journal of Production Economics 62 pp.107-118
- [66] Nienhaus, Ziegenbein, Schoensleden (2006) - How human behaviour amplifies the bullwhip effect. A study based on the beer distribution game on line – Production Planning & Control, Vol. 17 No. 6 pp.547-557
- [67] Ouyang (2007), The effect of information sharing on supply chain stability and the bullwhip effect, European Journal of Operational Research, Vol. 182 No. 3, pp. 1107-21
- [68] Perez, de Castro, Simons, Gimenez (2010) - Development of lean supplychains: a case study of the Catalan pork sector – International Journal of Supply Chain Management 15/1 pp. 55-68
- [69] Pujawan (2004) - The effect of lot sizing rules on order variability - European Journal of Operational Research 159 pp. 617-635
- [70] Pundoor, Herrmann. A hierarchical approach to supply chain simulation modeling using the Supply Chain Operations Reference model – <http://www.isr.umd.edu/~jwh2/jwh2.html>
- [71] Raghunathan (2001), Information Sharing in a Supply Chain: A note on its value when demand is nonstationary - Management science Vol.47, No. 4, pp.605-610

- [72] Rossetti, Miman, Varghese, Xiang. An object-oriented framework for simulating multi-echelon inventory system - Proceeding of the 2006 Winter Simulation Conference in Perrone, Wieland, Liu, Lawson, Nicol, Fujimoto
- [73] Simchi-Levi, Zhao (2003), The value of information sharing in a two-stage supply chain with production capacity constraints - Naval Research Logistics, Vol. 50 No. 8, pp.888-916
- [74] Smaros, Lehtonen, Appelqvist, Holmström (2003), The impact of increasing demand visibility on production and inventory control efficiency – International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol.33 No. 4, pp. 336-354
- [75] Serman (1984), Instructions for running the beer distribution game – Working Paper D-3679, MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, disponibile presso: www.solonline.org/prs/tool/instr.html
- [76] Stratton, Warburton (2003) - The strategic integration of agile and lean supply - International Journal of Production Economics 85 pp.183-198
- [77] Subramanya, Sharma (2008) - Simulation Modeling of Information Flow in a 3-stage efficient Supply Chain Network – International Journal of Computer Science and Network Security Vol.8 No.11
- [78] Sucky (2009) - The bullwhip effect in SCs: an overestimated problem? - International Journal Production Economics 118 pp. 311 -322
- [79] Sun, Ren (2005) - The impact of Forecasting Methods on Bullwhip Effect in Supply Chain Management – IEEE 0-7813-9139
- [80] Sunil Agrawal, Raghu Nandan Sengupta, Kripa Shanker (2009) - Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory - European Journal of Operational Research 192 pp.576 -593
- [82] Swaminathan (1998) - Modeling supply chain dynamics: A multi-agent approach – Decision Sciences 29 pp. 607-632
- [83] Terzi, Cavalieri (2004) - Simulation in the supply chain context: a survey – Computers in Industry pp.3-6
- [84] Vieira, César Júnior. A conceptual model for the creation of supply chain simulation models – Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference in Kuhl, Steiger, Armstrong, Joines.
- [85] Vieira. Ideas for modeling and simulation of supply chains with Arena - Proceeding of the 2004 Winter Simulation Conference in Ingalls, Rossetti, Smith, Peters.
- [86] Waller, Johnson, Davis (1999), Vendor-managed inventory in the retailer supply chain – Journal of Business Logistics, Vol. 20 No.1, pp. 183-203
- [87] Wangphanich (2008) – A Simulation Model for Quantifying and Reducing the Bullwhip Effect – Doctor Thesis, School of Mechanics and Manufacturing Engineering UNSW (Sydney)
- [88] Wangphanich, Kara, Kayis (2009) – Analysis of the bullwhip effect in multi-product, multi-stage supply chain systems, a simulation approach – International Journal of Production Research, Vol.15 No. 48, pp.4501-4517

- [89] Warburton (2004) - An analytical investigation of the Bullwhip effect - Production and Operations Management, Vol.13 No.2
- [90] Wasusri, Kritchamchai, Athikomrattanakul. Using simulation modeling to investigate the effect of uncertainties in OEM textile company's sport shirt supply chain – Proceedings of the Fifth Asia Pacific Industrial Engineering and Management System Conference 2004.
- [91] Wee, Wu (2009) - Lean supply chain and its effect on product cost and quality: a case study on Ford Motor Company - International Journal Supply Chain Management, 14/5 pp 335-341
- [92] White, Daniel, Mohdzain (2005) - The role of emergent information technologies and systems in enabling supply chain agility - International Journal of Information Management 25 pp.396-410
- [93] Womack, Jones, Roos (1990) - The machine that changed the World - Rawson Associates
- [94] Womack, Jones (2003) - Lean Thinking – Free Press
- [95] Yu, Ting, Chen (2010), Evaluating the cross-efficiency of information sharing in supply chains – Expert Systems with Applications No. 37, pp. 2891 – 2897
- [96] Yu, Yan, Cheng (2001) - Benefits of information sharing with supply chain partnerships - Industrial Management & Data Systems 101/3 pp.114-119
- [97] Zha and Ding (2005) - Study on Information Sharing in Supply Chain - ICEC'05, Xi'an, China
- [98] Zhao, Xie, Zhang (2002) - The impact of information sharing and ordering co-ordination on supply chain performance - International Journal of Supply Chain Management Vol.7 No1 pp24-40
- [99] Zhou and Benton Jr. (2007) - Supply chain practice and information sharing - Journal of Operations Management 25 pp.1348-1365
- [100] Zhou, Zhang, Wang (2008), The impact of information sharing strategies in multi-level supply chains – IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Vol. 2 No. 1, pp. 2045-50
- [101] Zhu, Gavirneni, Kapuscinski (2010) - Periodic flexibility, Information Sharing and Supply Chain Performances - IIE Transactions No. 42, pp. 173–187