

# **POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di ingegneria industriale e dell'informazione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



## **Analisi tramite un modello di simulazione dell'implementazione di un sistema kanban in una supply chain**

Relatore: Prof. Alberto Portioli Staudacher

Tesi di Laurea di:

Franzosi Antonio Matr. n. 801542

Rossini Matteo Matr. n. 801842

Anno Accademico 2013-2014

---

## Indice

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Abstract .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Analisi della letteratura e background teorico .....</b>	<b>13</b>
3.1 Supply chain management.....	13
3.1.1 Struttura del network .....	16
3.1.2 Supply Chain Business Process .....	21
3.1.3 Le componenti del management .....	27
3.2 Approccio lean e filosofia just-in-time .....	30
3.3 Il sistema Kanban.....	37
3.4 Simulazione.....	40
3.4.1 Modellazione di una Supply Chain tramite il software Arena.....	47
<b>4. Tesi e domanda di ricerca.....</b>	<b>50</b>
<b>5. Metodo di ricerca .....</b>	<b>51</b>
<b>6. Modello di ricerca .....</b>	<b>52</b>
6.1 La supply chain e il mercato.....	52
6.2 Descrizione dell'esperimento .....	56
6.3 Varianti del modello.....	57
6.3.1 Il lotto economico .....	57
6.3.2 Il modello kanban di riferimento .....	58
6.4 le regole di gestione dei Kanban nel Secondary Manufacturer .....	59
6.4.1 Modello Fifo con soglia 1.....	60
6.4.2 Modello Fifo con soglia 0,5.....	64
6.4.3 Modello Shortest Setup con soglia 1 .....	64
6.4.4 Modello Shortest Setup con soglia 0,5 .....	66
6.5 I parametri dell'esperimento .....	68
6.5.1 I parametri vincolo .....	68
6.5.2 I parametri registrati .....	68

---

<b>7. Descrizione dei risultati.....</b>	<b>70</b>
7.1 Modello Eoq .....	70
7.2 Modello Fifo>1.....	73
7.3 Modello Setup >1 .....	77
7.4 modello Fifo >0,5.....	80
7.5 Modello Setup > 0,5 .....	83
<b>8. Analisi dei risultati.....</b>	<b>87</b>
<b>9. Conclusioni .....</b>	<b>92</b>
<b>10. Sviluppi futuri.....</b>	<b>93</b>
<b>11. Bibliografia .....</b>	<b>94</b>
<b>Appendice A.....</b>	<b>99</b>
<b>Appendice B.....</b>	<b>110</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>123</b>

---

## Indice delle Figure

<b>Figura 1:</b> Catena del Valore di Porter .....	19
<b>Figura 2:</b> Struttura e flusso di prodotto nella filiera analizzata.....	53
<b>Figura 3:</b> Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Fifo > 1....	63
<b>Figura 4:</b> Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Fifo > 0,5.	64
<b>Figura 5:</b> Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Setup > 1	66
<b>Figura 6:</b> Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Setup>0,567	
<b>Figura 7:</b> Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Eoq.....	72
<b>Figura 8:</b> Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Eoq .....	72
<b>Figura 9:</b> Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Eoq.....	73
<b>Figura 10:</b> Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Fifo>1. ....	75
<b>Figura 11:</b> Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo>1.....	76
<b>Figura 12:</b> Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Fifo>1	76
<b>Figura 13:</b> Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Setup>1.....	79
<b>Figura 14:</b> Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup>1 .....	79
<b>Figura 15:</b> Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi,insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Setup>1.....	80
<b>Figura 16:</b> Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Fifo>0,5. ....	82

---

<b>Figura 17:</b> Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo>0,5.....	82
<b>Figura 18:</b> Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi, insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Fifo>0,5 .....	83
<b>Figura 19:</b> Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup.Modello Setup > 0,5.....	85
<b>Figura 20:</b> Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup 0,5 .....	86
<b>Figura 21:</b> Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup>0,5 .....	86
<b>Figura 22:</b> Confronto tra livelli di scorte tra Eoq e Kanban al variare della riduzione del tempo di setup .....	88
<b>Figura 23</b> Confronto tra livelli di scorte tra Eoq e Kanban al variare della riduzione del tempo di setup e della soglia minima per il Modello Kanban.....	89
<b>Figura 24:</b> Grafico rappresentante le soglie massime di accettazione del progetto.....	90
<b>Figura 25:</b> Livello medio delle scorte .....	99
<b>Figura 26:</b> Numero di setup .....	100
<b>Figura 27:</b> Tasso di saturazione.....	101
<b>Figura 28:</b> Trasporti totali PM-SM .....	102
<b>Figura 29:</b> Trasporti SM-Retailer.....	103
<b>Figura 30:</b> Trasporti totali della Supply Chain .....	104
<b>Figura 31:</b> Trasporti insaturi PM-SM .....	105
<b>Figura 32:</b> Carico medio dei trasporti insaturi .....	106
<b>Figura 33:</b> Percentuale dei trasporti insaturi .....	107
<b>Figura 34:</b> Percentuale dei pezzi trasportati tramite viaggi insaturi rispetto ai pezzi totali trasportati.....	108

---

<b>Figura 35:</b> Lotto medio di produzione .....	109
<b>Figura 36:</b> costo totale, esempio con valore della merce 100 .....	112
<b>Figura 37:</b> costo del trasporto, esempio con valore della merce 100.....	112
<b>Figura 38:</b> costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 100 .....	113
<b>Figura 39:</b> costo totale, esempio con valore della merce 200 .....	115
<b>Figura 40:</b> costo del trasporto, esempio con valore della merce 200.....	115
<b>Figura 41:</b> costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 200 .....	116
<b>Figura 42:</b> costo totale, esempio con valore della merce 500 .....	118
<b>Figura 43:</b> costo del trasporto, esempio con valore della merce 500.....	118
<b>Figura 44:</b> costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 500 .....	119
<b>Figura 45:</b> costo totale, esempio con valore della merce 1000 .....	121
<b>Figura 46:</b> costo del trasporto, esempio con valore della merce 1000...	121
<b>Figura 47:</b> costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 1000 .....	122

---

## Indice delle tabelle

<b>Tabella 1:</b> Classificazione dei sistemi Kanban (Adatt. da Muris L., Moachir G. 2010) .....	40
<b>Tabella 2:</b> Tempi di produzione per le 24 tipologie di prodotto. Primary Manufacturer e Secondary Manufacturer .....	54
<b>Tabella 3:</b> Struttura del sistema di trasporto.....	55
<b>Tabella 4:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Eoq .....	71
<b>Tabella 5:</b> Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Eoq.....	71
<b>Tabella 6:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Fifo>1.....	74
<b>Tabella 7:</b> Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Fifo >1 .....	75
<b>Tabella 8:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Setup>1 .....	78
<b>Tabella 9:</b> Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Setuo>1.....	78
<b>Tabella 10:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Fifo>0,5.....	81
<b>Tabella 11:</b> Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Fifo>0,5.....	81
<b>Tabella 12:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Setup>0,5 parte 1 .....	84
<b>Tabella 13:</b> Risultati fisici registrati per il Modello Setup>0,5 parte 2 .....	84
<b>Tabella 14:</b> Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Setup>0,5..	85
<b>Tabella 15:</b> Livello medio delle scorte .....	99
<b>Tabella 16:</b> Numero di setup .....	100
<b>Tabella 17:</b> Tasso di saturazione .....	100
<b>Tabella 18:</b> Trasporti totali PM-SM.....	101
<b>Tabella 19:</b> Tasporti SM-Retailer .....	102
<b>Tabella 20:</b> Trasporti totali della Supply Chain .....	103
<b>Tabella 21:</b> Trasporti insaturi PM-SM.....	104
<b>Tabella 22:</b> Carico medio dei trasporti insaturi .....	105
<b>Tabella 23:</b> Percentuale dei trasporti insaturi .....	106
<b>Tabella 24:</b> Percentuale dei pezzi trasportati tramite viaggi insaturi rispetto ai pezzi totali trasportati.....	107

---

<b>Tabella 25:</b> Lotto medio di produzione .....	108
<b>Tabella 26:</b> Sintesi, esempio con valore della merce 100 .....	111
<b>Tabella 27:</b> Sintesi, esempio con valore della merce 200 .....	114
<b>Tabella 28:</b> Sintesi, esempio con valore della merce 500 .....	117
<b>Tabella 29:</b> Sintesi, esempio con valore della merce 1000 .....	120

---

## 1. Introduzione

Questo studio si occupa dell'analisi delle performances di una supply chain, confrontando due diverse politiche di gestione della produzione, la gestione tramite la logica del lotto economico e la gestione tramite il sistema kanban. In particolare le prestazioni oggetto di studio sono l'impatto economico misurato sia in termini di costi di mantenimento a scorta, sia in termini di costi logistici. L'elaborato, inoltre, si pone l'obiettivo di confrontare diverse politiche di gestione del sistema kanban, individuandone per ognuna peculiarità e caratteristiche.

Il panorama del business moderno è caratterizzato da cambiamenti dinamici dell'ambiente e da una concorrenza sempre più agguerrita. (Wadhwa et al., 2010). Le principali caratteristiche di questa arena competitiva sono la rapida evoluzione del modello della domanda, il ciclo di vita del prodotto sempre più breve, una maggiore richiesta di personalizzazione da parte del cliente. Le moderne supply chain si presentano quindi come entità molto complesse, sottoposte ad eventi imprevedibili che potrebbero avere un impatto negativo sulla loro capacità di raggiungere i target di prestazione previsti (Datta e Christopher, 2011). E' proprio in un contesto di questo tipo che la filosofia lean ed il just in time trovano la loro collocazione.

Il JIT è uno strumento universale che permette un miglioramento radicale nella gestione della supply chain e incarna tutti i suoi obiettivi ossia: essere efficiente, profittevole, reattivo. Il concept del Just in Time è avere un flusso scorrevole, veloce, garantendo un efficace customer care (Dixon, 1997). Nella sua forma più elementare, produrre JIT significa garantire il soddisfacimento della domanda, producendo l'esatta quantità richiesta, con gli standard qualitativi adeguati e nell'esatto istante in cui sono necessari.

L'obiettivo reale di questa filosofia, contrariamente alla credenza popolare,

---

non è quello di ridurre le scorte, pur essendo questo un aspetto di indubbio beneficio. In realtà, il vero target è ottenere un processo continuo volto a eliminare gli sprechi e risolvere i problemi in tutta la catena di fornitura.

Il sistema kanban è uno dei tool tramite il quale la filosofia lean viene concretizzata all'interno della gestione dell'azienda e della supply chain stessa.

L'elaborato dimostrerà che attraverso l'introduzione del sistema kanban si può garantire un risparmio finanziario all'interno della supply chain, tenendo conto sia degli effetti sul costo degli inventory, sia considerando i costi di trasporto.

Per condurre questa analisi sono stati sviluppati dei modelli basati sulla simulazione ad eventi discreti (DES).

La simulazione è un metodo naturale per affrontare questo tipo di analisi in quanto: 1) cattura le regole e le interdipendenze tra le fasi del sistema supply chain (Mishra e Chan, 2012), 2) aiuta a valutare i processi e gli scenari "what-if" con diversi parametri operativi prima di applicarle al sistema e di dover interrompere il sistema reale (Mula et al, 2013;. Bekker e Guittet-Remaud, 2012) e 3) permette agli analisti di raggiungere un livello di conoscenza affidabile nella ricerca di nuove iniziative di creazione di valore senza l'impiego di investimenti ingenti (Santa-Eulalia et al. 2008). Inoltre, la complessità della catena di approvvigionamento ne ostacola una valutazione analitica (van der Zee e van der Vorst, 2005). Il Software di simulazione adottato per lo sviluppo dei modelli è il software Rockwell Automation Arena.

---

## **2. Abstract**

This study deals with the analysis of supply chain' performance, comparing two different production policies, EOQ logic and Kanban system. Focus of the work are the financial impact both in terms of costs of maintenance and in terms of logistics costs. The paper also aims to compare different policies of manage kanban system, identifying for each peculiarities and characteristics.

The landscape of modern business is indicated by dynamic changes of the environment alongside hasty competition (Wadhwa et al., 2010). Rapidly changing of demand pattern, short product lifecycle, higher demand for customisation are some characteristics of this landscape. Modern supply chains are therefore very complex, being subjected to unpredictable occurrences that might negatively impact its ability to attain performance targets (Datta e Christopher, 2011).

In this context lean philosophy and just in time find their place. Just-in-time is a universal concept that enables significant improvement in supply chain management and addresses all its goals: to be efficient, responsive, and cost effective (Jarrett, 2006). The concept of Just in Time is to have a smooth flow, faster, ensuring effective customer care (Dixon, 1997). In its most basic form, produce JIT means ensuring the fulfillment of the demand by producing the exact amount required, with the appropriate quality standards and at the exact moment they are needed. Decreasing the inventory is not the ultimate objective for just-in-time; it is to optimise customer service performance, eliminate waste, and solve problems throughout the supply chain. Inventory reduction happens as the desired consequence of implementing this concept.

Kanban system is one of the tool necessary for the implementation of lean philosophy in the company and in the supply chain itself. The paper will show that the introduction of kanban system can ensure

---

financial savings within the supply chain, taking into account both the effects of the cost of inventory, and the costs of transportation. Models based on discrete event simulation (DES) have been developed to conduct this analysis. Simulation is a natural approach to address this issue as it: 1) captures the rules and interdependencies among the stages of supply chain system (Mishra e Chan, 2012), 2) helps to evaluate operational processes and “what-if” scenarios with various operational parameters before applying them to the system and having to interrupt the real system (Mula et al., 2013; Bekker e Guittet-Remaud, 2012), and 3) allows analysts to learn reliable knowledge in finding new initiatives of creating values without large investments (Santa-eulalia et al., 2008). Furthermore, the complexity of supply chain obstructs analytical evaluation (van der Zee e van der Vorst, 2005). The simulation software adopted for the development of the models is Rockwell Automation Arena.

---

### **3. Analisi della letteratura e background teorico**

#### **3.1 Supply chain management**

Uno dei più significativi cambiamenti di paradigma della gestione aziendale moderna è che le singole imprese non competono più come entità esclusivamente autonome, ma piuttosto come catene di approvvigionamento.

Il business management è entrato nell'era della concorrenza tra network. La competizione stessa ha assunto dei diversi connotati. Ai nostri giorni non è più significativo parlare di brand contro brand o store contro store, è ora indispensabile parlare di supply chain contro supply chain. Il processo di soddisfacimento della domanda del cliente, infatti, non incorpora solo i produttori e i fornitori che sono direttamente coinvolti nella realizzazione del prodotto, ma comprende necessariamente anche altre organizzazioni, come i magazzini, i trasportatori, i distributori e anche i clienti stessi. Questi attori nel loro insieme formano una catena definita supply chain (Copra e Meindl, 2007).

Chan identifica la supply chain come un processo continuo, dalle materie prime ai prodotti finiti, con ogni funzione tradizionale distinta, come il forecasting, la gestione degli acquisti, la produzione, la distribuzione, le vendite e il marketing, in cui l'implementazione di un'integrazione tra diverse aziende permette al management di focalizzarsi sul core business delegando la gestione delle infrastrutture di supporto al fine di raggiungere benefici in termini di economie di scala (Chan, 2001). L'autore prosegue affermando che all'interno di una supply chain, la numerosità e la complessità delle relazioni tra le diverse aziende presenti faccia sì che le performances di un'organizzazione influenzino necessariamente le prestazioni degli altri agenti della filiera. Da queste definizioni si comprende che il focus della gestione di una supply chain sia da individuare nella

---

gestione del network tra i diversi attori (echelon), dei flussi di materiali e flussi informativi.

Smew, Young, and Geraghty (Smew et al., 2013) hanno proposto una classificazione delle supply chain in: push-based SC, push-pull SC e pull-based SC.

In una SC push-based, come ad esempio in una filiera che adotta il sistema di pianificazione dei fabbisogni di materiali (MRP), le decisioni inerenti alla gestione della produzione e alla distribuzione si basano sulla previsione della domanda a lungo termine. I prodotti sono spinti più rapidamente possibile attraverso il canale, da monte (lato produttivo) a valle (lato distributori e clienti) e, quindi, è necessario tenere sotto controllo il throughput e i livelli di WIP di volta in volta. Questa caratteristica, se da un lato può consentire al sistema di ridurre i tempi di consegna in quanto molti semi-prodotti finiti o prodotti finiti sono già disponibili presso i retailer, dall'altro porta ad essere molto vulnerabili.

In SC pull-based, come i sistemi Kanban, le decisioni di produzione e di distribuzione non vengono prese sulla base delle previsioni della domanda ma avvengono sulla base della domanda effettiva dei clienti. Gli attori della supply chain non tengono eventuali scorte in eccesso, in quanto l'obiettivo è produrre solo dopo l'arrivo di uno specifico ordine. La gestione della filiera produttiva con logica pull può portare a riduzioni significative dei livelli di stock dell'intero sistema e ad una migliore risposta ai cambiamenti nella domanda di mercato.

In una filiera push-pull, non tutti gli stadi della catena sono gestiti con la stessa logica, in particolare le fasi iniziali vengono gestite con una politica push-based, mentre gli stadi più a valle, quindi più a stretto contatto con la domanda finale del cliente, adottano una logica pull-oriented. Questa politica di gestione cerca di ottenere i vantaggi caratteristici di entrambi i modelli visti in precedenza.

---

A partire dagli ultimi anni del vecchio millennio la concorrenza tra aziende ha visto una forte crescita ed intensificazione, anche e soprattutto a causa della globalizzazione dei mercati. Ciò ha fatto sì che la sfida di un'organizzazione fosse quella di ottenere un prodotto/servizio al posto giusto, al momento giusto, al costo più basso possibile. Per raggiungere questi obiettivi le imprese hanno cominciato a rendersi conto che non è più sufficiente migliorare l'efficienza interna, ma tutta la catena di approvvigionamento deve essere resa competitiva. La comprensione e la pratica del supply chain management (SCM) è diventato un prerequisito essenziale per la sopravvivenza nell'arena competitiva globale e contemporaneamente per garantire una crescita dei profitti aziendali (Power et al, 2001;. Moberg et al., 2002).

In accordo con Christopher, con il termine supply chain management si vuole andare ad indicare la gestione delle relazioni a valle e a monte con i clienti ed i fornitori al fine di distribuire un valore al cliente superiore al costo dell'intera catena di supporto (Christopher, 2011).

Il Council of Logistics Management definisce SCM come "la coordinazione sistemica e strategica delle tradizionali funzioni e tattiche tra le diverse funzioni all'interno di una particolare organizzazione e tra i diversi business all'interno della supply chain stessa, con l'obiettivo di migliorare le performances di lungo periodo dell'organizzazione e di tutta la supply chain" (Council of Logistics Management, 2000).

Questa definizione enfatizza la natura strategica del coordinamento tra i diversi attori in gioco, e spiega l'obiettivo duale della SCM che è appunto migliorare le performances dell'azienda ma anche dell'intera filiera. Scopo intrinseco è quindi creare dei processi di make, source e delivery trasversali a tutta la supply chain da utilizzare come una vera e propria arma competitiva (Suhong Li et al., 2005).

---

Secondo Lambert è necessario procedere attraverso diversi step per avere un'idea completa della propria supply chain e ottenere quindi una gestione di successo della stessa (Lambert D., Cooper M., 2000).

Il framework di riferimento del SCM da egli indicato si compone di tre elementi strettamente interconnessi: la struttura del network, i processi di business, e le componenti di management. La struttura del network della supply chain è costituita dalle aziende associate e dai collegamenti tra queste imprese. I processi di business sono le attività che producono un determinato output di valore per il cliente. Le componenti di management sono le variabili gestionali con cui i processi di business sono integrati e gestiti attraverso la catena di fornitura. Di seguito una descrizione di ognuna di queste parti.

### ***3.1.1 Struttura del network***

Tutte le imprese fanno parte di una catena di approvvigionamento, dalle materie prime fino al consumatore finale. La quota parte di supply chain che deve essere direttamente gestita dipende da diversi fattori tra cui la complessità del prodotto, il numero dei fornitori disponibili, la disponibilità di materie prime. Per quanto concerne l'estensione della supply chain, le dimensioni da considerare includono la lunghezza della stessa e il numero di fornitori e clienti ad ogni livello. E' molto raro che un'impresa faccia parte di una sola catena di fornitura. Per la maggior parte delle aziende, infatti, la supply chain si presenta più come un albero sradicato, dove i rami e le radici sono la rete estesa di clienti e fornitori, piuttosto che una catena unica. La domanda è: come molti di questi rami e radici devono essere gestiti, infatti la forza delle relazioni differisce anche di molto tra i diversi nodi della SC. E' compito del management scegliere il livello di partnership appropriato per ogni punto della catena di approvvigionamento. Non tutti i collegamenti devono essere strettamente coordinati e integrati. La

---

relazione più appropriata è infatti quella che meglio si adatta alle circostanze. La determinazione di quali porzioni della catena di approvvigionamento meritano l'attenzione del management deve essere soppesata in base alle capacità e all'importanza dell'azienda. È importante avere una conoscenza e comprensione esplicita della struttura del network della SC. I tre aspetti principali che la identificano sono: i membri del filiera, le dimensioni strutturali della rete, e i diversi tipi di collegamenti all'interno della catena.

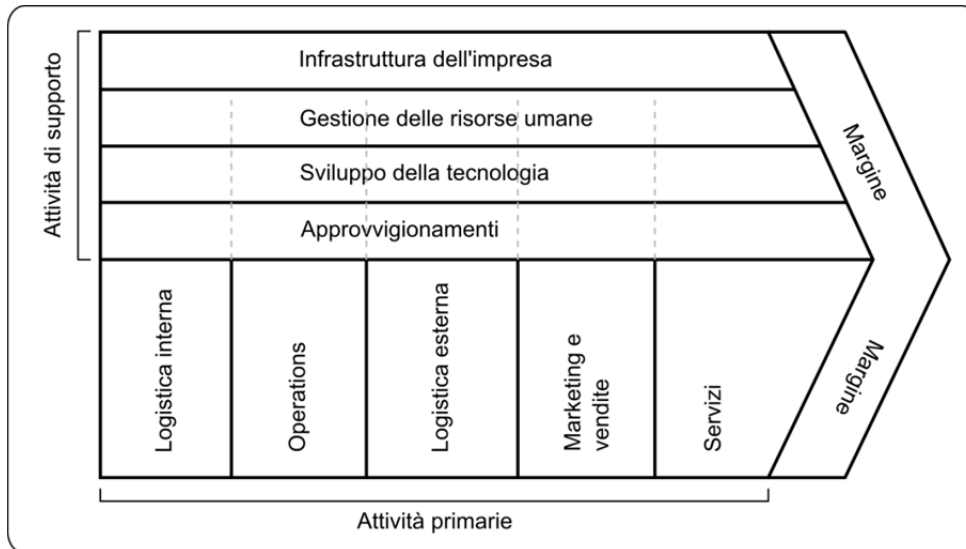
Ogni tematica viene ora affrontata.

Identificazione dei membri della catena: nel determinare la struttura della rete, è necessario individuare quali siano i membri della catena di fornitura ed in particolare quelli verso i quali porre l'attenzione. Includere tutte le tipologie di nodi può infatti portare ad un'elevata complessità del network nel suo insieme, in quanto può esplodere il numero di membri aggiunti ai diversi livelli. Integrare e gestire tutti i processi di collegamento con ogni membro della catena di fornitura sarebbe, nella maggior parte dei casi, controproducente, se non impossibile. La chiave è determinare alcuni elementi basilari tramite i quali determinare quali membri sono fondamentali e critici per il successo della catena di fornitura e, quindi, assegnare ad essi risorse e attenzioni manageriali. I membri di una catena di fornitura includono tutte le aziende/organizzazioni con cui l'impresa focale interagisce direttamente o indirettamente attraverso i suoi fornitori o clienti, dal punto di origine al punto di consumo. Tuttavia, per rendere un network molto complesso più gestibile, è opportuno distinguere tra attori primari e di supporto. Le definizioni dei membri primari e di supporto si basano sulla definizione di un processo di business da parte di Davenport (Davenport, 1993). Si definiscono membri principali di una catena di approvvigionamento tutte quelle aziende autonome o unità di business strategiche che svolgono attività a valore aggiunto (operativa e/o

---

manageriale) nei loro processi aziendali al fine di produrre un output specifico per un particolare cliente o mercato.

Al contrario, i membri di supporto sono aziende che semplicemente forniscono risorse, conoscenze, utilities o beni per i membri principali della catena di approvvigionamento. Esempi di attori di supporto comprendono le aziende che cedono in leasing i mezzi di trasporto, le banche che prestano denaro, il proprietario dell'edificio che fornisce il magazzino, aziende che forniscono apparecchiature di produzione. La stessa azienda può, in SC diverse, svolgere attività sia di tipo primario sia di supporto. Analogamente, la stessa impresa potrà compiere, all'interno della stessa SC, attività primarie correlate a un processo e attività di supporto legate ad un altro processo. Un esempio che chiarifica ciò è il caso di un produttore di OEM che compri da un fornitore un macchinario produttivo. Nel processo di sviluppo di un nuovo prodotto da parte dell'OEM, il produttore lavora a stretto contatto con il supplier per assicurarsi che l'attrezzatura giusta sia disponibile ed attrezzata per produrre il nuovo prodotto. In questo caso, il fornitore è un membro primario del processo di sviluppo del nuovo prodotto dell'OEM. Tuttavia, una volta che il macchinario è stato installato, il supplier assume il ruolo di membro di supporto nella gestione del processo manifatturiero. Questo perché fornire l'apparecchiatura di per sé non aggiunge valore all'output del processo, nonostante l'utilizzo del macchinario aggiunga valore al prodotto. E' necessario notare che la distinzione tra membro primario e membro di supporto della supply chain non è in tutti i casi di facile individuazione. Tuttavia, attraverso questa distinzione è possibile definire quali debbano essere considerati come membri chiave della catena di approvvigionamento. L'approccio per differenziare le tipologie di membri è in qualche misura simile al modo in cui Porter distingue tra attività primarie e di supporto attraverso la "catena del valore".



**Figura 1: Catena del Valore di Porter**

l'individuazione degli attori primari e di supporto permettere di definire il punto di origine e il punto di consumption della supply chain. Il punto di origine si verifica in quel nodo a monte del quale non son presenti fornitori primari. Tutti i fornitori fino al punto di origine sono esclusivamente membri di supporto. Il punto di consumption si ha in corrispondenza dell'ultima attività a valore aggiunto per il prodotto, oppure dove il prodotto e/o servizio viene consumato.

A seguito dell'identificazione dei membri che compongono la SC vengono individuate le tre dimensioni strutturali della rete che sono essenziali nel descrivere, analizzare e gestire la supply chain. Queste dimensioni sono la struttura orizzontale, la struttura verticale e la posizione orizzontale della società target, entro i nodi estremi della catena. La prima dimensione, la struttura orizzontale, si riferisce al numero totale di tier in tutta la filiera. Si possono individuare catena di approvvigionamento lunghe, con numerosi livelli, o corte, con pochi livelli.

---

La seconda dimensione, la struttura verticale, si riferisce al numero di fornitori e clienti presenti per ogni tier. Una SC può avere una struttura verticale stretta, con poche aziende per ogni livello, oppure una struttura verticale larga con molti fornitori e/o clienti per ogni tier.

La terza dimensione strutturale è la posizione orizzontale della società all'interno della catena di fornitura. Una società può essere posizionata molto a monte, vicino alla fonte di approvvigionamento, nei pressi del cliente finale o nel mezzo della filiera. L'aumento o la riduzione del numero di fornitori e/o clienti influenzano la struttura della catena. Ad esempio, quando la fornitura passa da una logica multiple source ad una logica single/dual source, la supply chain diventa più stretta. L'outsourcing della logistica, del marketing e dello sviluppo prodotto sono degli ulteriori esempi di processi decisionali che portano cambiamenti nella struttura della filiera. E' possibile aumentare la lunghezza e la larghezza della catena di approvvigionamento e, allo stesso modo, influenzare la posizione orizzontale della società focale all'interno del network della supply chain. In catene di approvvigionamento con strutture verticali molto estese le risorse devono essere gestite focalizzandosi nella gestione diretta delle relazioni esclusivamente con i tier più importanti.

Ogni società appartenente ad una supply chain ha una prospettiva diversa della SC stessa, in quanto vede la sua impresa come la società focale. Tuttavia, poiché ogni azienda è un membro della SC ed interagisce con le altre imprese, è importante per il management di ogni impresa comprendere la reale importanza che la propria organizzazione ha all'interno della filiera e le diverse prospettive. La ragione di ciò è che l'integrazione e la gestione dei processi di business oltre i confini aziendali e quindi per la SC saranno di successo solo se ha un senso per la prospettiva di ciascuna società .

---

### **3.1.2 Supply Chain Business Process**

Per ottenere un supply chain management di successo è necessario un cambiamento nella gestione individuale delle funzioni aziendali al fine di integrare le attività in processi chiave della filiera.

Tradizionalmente, sia monte sia a valle della catena di approvvigionamento, i diversi nodi della SC interagiscono come entità scollegate, ricevendo flussi sporadici di informazioni nel tempo. Il reparto acquisti emette gli ordini che sono necessari e il marketing, rispondendo alle domanda dei clienti, si interfaccia con vari distributori e rivenditori con l'obiettivo di rispondere a questa domanda. Gli ordini vengono periodicamente inviati ai supplier ed essi non hanno visibilità presso il punto di vendita. Soddisfare la domanda del cliente si traduce spesso in richieste di accelerazione delle operazioni lungo tutta la catena di approvvigionamento, dove tutte le aziende collegate devono reagire a variazioni inattese della domanda. Il funzionamento di una filiera integrata richiede continui flussi informativi, i quali a loro volta contribuiscono a creare flussi di prodotto più adatti. Il cliente rimane l'obiettivo primario del processo.

Il raggiungimento di un buon sistema customer-focused richiede informazioni sui processi che siano allo stesso tempo accurate e tempestive dato che sistemi di risposta reattivi richiedono frequenti cambiamenti in risposta alle fluttuazioni della domanda dei clienti.

Controllare l'incertezza nella domanda del cliente, i processi di produzione, e le prestazioni dei fornitori sono elementi fondamentali per un SCM efficace.

In molte grandi aziende, si è giunti alla conclusione che l'ottimizzazione del flusso di prodotto non può essere realizzata senza implementare un approccio strutturato al processo di business. Pertanto, i processi chiave,

---

identificati dai membri della GSCF (global supply chain forum) di una supply chain sono:

- Customer relationship management
- Customer service management
- La gestione della domanda
- L'evasione degli ordini
- La gestione dei flussi di produzione
- Procurement
- Lo sviluppo del prodotto e la commercializzazione
- La gestione dei resi.

Di seguito la descrizione di questi otto processi:

#### PROCESSO DI CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT

Il primo passo verso una SCM integrata è quello di individuare i clienti o gruppi di clienti chiave, cioè coloro i quali l'impresa ritiene di fondamentale importanza per il raggiungimento dei propri obiettivi di business. Gli accordi che specificano i livelli di prestazione per i prodotti e i servizi sono stabiliti con questi gruppi di clienti chiave. Il team di customer service lavora con i clienti per cercare di identificare e eliminare le fonti di variabilità della domanda. La valutazione delle performances vengono effettuate per analizzare i livelli di servizio fornite ai clienti e la redditività dei clienti.

#### PROCESSO DI GESTIONE DEL CUSTOMER SERVICE.

Il customer service identifica la fonte di informazioni sui clienti. Essa diventa il punto di contatto per l'amministrazione degli accordi di prodotto/servizio. L'assistenza clienti fornisce al cliente informazioni in tempo reale sul processo di spedizione e sulla disponibilità del prodotto tramite interfacce con i processi di produzione e distribuzione. Infine, il servizio clienti del gruppo deve essere in grado di assistere il cliente con le applicazioni del prodotto.

---

## PROCESSO DI GESTIONE DELLA DOMANDA

Le scorte lungo la filiera possono essere considerate essenziali o in alternativa variability-driven. Gli stock essenziali includono work-in-process nelle fabbriche e i prodotti in viaggio da stabilimento ad un altro della supply chain. La variabilità degli stock è presente a causa della varianza nei processi di fornitura, produzione e nella domanda. La domanda dei clienti è di gran lunga la principale fonte di variabilità e deriva dall'irregolarità nell'emissione degli ordini da parte dei clienti. Tenuto conto di questa variabilità nell'emissione ordini dei clienti, la gestione della domanda diventa un elemento chiave per un SCM efficace. Il processo di gestione della domanda deve bilanciare le esigenze del cliente con le capacità di approvvigionamento dell'impresa. Una parte della gestione della domanda comporta il tentativo di prevedere le quantità e il timing con cui i clienti acquisteranno. Un buon sistema di gestione della domanda utilizza punti di vendita e dati provenienti dai clienti chiave per ridurre l'incertezza e fornire flussi efficienti in tutta la catena di fornitura. Le richieste del marketing e i piani di produzione devono essere coordinati a livello aziendale. Vi è anche la possibilità, in applicazioni avanzate, che la domanda dei clienti e la produzione siano sincronizzati per ottimizzare la gestione del magazzino a livello globale.

## PROCESSO DI EVASIONE DELL'ORDINE DEL CLIENTE

La chiave per un efficace SCM consiste nell'adempiere i bisogni dei clienti. Una corretta esecuzione del processo di evasione degli ordini richiede una efficace integrazione tra i piani aziendali di produzione, di distribuzione e di trasporto. E' necessario stipulare alleanze con i membri chiave della catena di approvvigionamento e i carrier per soddisfare le esigenze dei clienti e ridurre il costo totale di consegna al cliente. L'obiettivo è di sviluppare un processo senza soluzione di continuità dal fornitore all'impresa e poi da lì ai diversi segmenti della sua clientela.

---

## GESTIONE DEL FLUSSO PRODUTTIVO.

Il processo di produzione, nelle aziende make-to-stock, tradizionalmente prevedeva una politica di gestione della produzione basata sulla previsione della domanda.

Gli articoli erano quindi prodotti con una logica push. Spesso la produzione operava con un mix sbagliato di prodotti, con conseguente eccedenza di scorte non necessarie ed eccessivi costi di mantenimento di queste scorte. Con il SCM, il prodotto viene tirato sulla base delle esigenze del cliente. I processi di manufacturing devono essere flessibili per rispondere ai cambiamenti del mercato. Questa flessibilità deve garantire dei bassi tempi di changeover al fine di raggiungere una mass customization.

Gli ordini vengono elaborati su una base di lotti minimi.

Le priorità di produzione sono guidate dalle date di consegna richieste. In alcuni casi la pianificazione della produzione può essere gestita dall'azienda insieme ai clienti con l'obiettivo di sviluppare strategie adatte per ogni segmento di clienti. I cambiamenti nel processo manifatturiero portano all'accorciamento dei tempi di ciclo, questo permette di essere più reattivi nei confronti dei customer.

## PROCUREMENT PROCESS

I piani strategici sono sviluppati con i fornitori con l'obiettivo di supportare il processo di gestione del flusso produttivo e lo sviluppo di nuovi prodotti. I fornitori sono classificati sulla base di varie dimensioni, come ad esempio il loro contributo e criticità per l'organizzazione. Nelle aziende in cui le operazioni si estendono in tutto il mondo, il procurement dovrebbe essere gestito su scala globale. Alleanze strategiche a lungo termine possono essere sviluppate con una quota parte ridotta e selezionata di fornitori chiave. Il risultato desiderato è un rapporto win-win, in cui entrambe le parti traggano vantaggio da questa relazione. In questo modo si passa dalla logica tradizionale del sistema bid-and-buy, al coinvolgimento di un

---

fornitore chiave già nelle prime fasi del ciclo di progettazione. Ciò può portare ad una drastica riduzione nei tempi di ciclo di sviluppo di un nuovo prodotto. Introdurre il fornitore già nei primi stadi, infatti, permette un coordinamento tra ingegnerizzazione, acquisto e il fornitore stesso anticipato rispetto alla progettazione finale. La funzione acquisti hanno sviluppato tools sempre più rapidi ed efficienti per lo scambio rapido dei dati (EDI e tecnologie Internet based). Questi strumenti di comunicazione rapidi forniscono un mezzo per ridurre i tempi e i costi di transazione del processo di acquisto. In questo modo i buyer possono concentrare i loro sforzi su attività a maggiore valore aggiunto, come la gestione dei fornitori anziché sulla gestione del ciclo dell'ordine.

#### SVILUPPO PRODOTTO E COMMERCIALIZZAZIONE.

I nuovi prodotti sono la linfa vitale di una società, per questo motivo il processo di sviluppo del prodotto assume un'importanza vitale all'interno delle aziende. Clienti e fornitori devono essere integrati nel processo di sviluppo del prodotto al fine di ridurre il time to market. Ai nostri giorni si assiste ad una riduzione sempre più spinta del ciclo di vita dei prodotti. Per questo motivo si rende necessario l'accorciamento dei tempi di sviluppo e lancio in produzione dei nuovi articoli, al fine di rimanere competitivi. I manager responsabili del processo di sviluppo nuovo prodotto e della commercializzazione devono:

- Coordinarsi con il customer relationship management per identificare i bisogni del cliente, siano essi espliciti o impliciti.
- Selezionare i materiali e i fornitori in collaborazione con il procurement.
- Sviluppare tecnologie di produzione adatte alla particolare combinazione prodotto mercato al fine di produrre e integrare il flusso produttivo della SC nel miglior modo possibile.

---

## GESTIONE DEI RESI

Gestire i resi come un processo di business offre la possibilità di raggiungere un vantaggio competitivo sostenibile. In molti paesi, la gestione dei resi può rappresentare una criticità a livello ambientale. Un'efficace gestione dei processi di reso consente inoltre l'identificazione di opportunità di miglioramento della produttività e di progetti innovativi. Si possono individuare diverse metriche nella gestione dei resi, ad esempio per i prodotti per cui al cliente viene immediatamente sostituito un articolo difettoso, una metrica utilizzata è il "return to available", che misura il tempo impiegato dall'azienda per far ritornare utilizzabile l'asset.

Come osservato in precedenza, l'integrazione e la gestione di tutti i processi di collegamento lungo tutta la catena di approvvigionamento è inappropriata e infattibile. Dal momento che i driver per l'integrazione possono essere diversi in base alla situazione di contesto, il livelli di integrazione dovrebbero variare da link a link, e anche in base al tempo. Alcuni collegamenti sono necessariamente più critici di altri. Di conseguenza, il compito di allocare risorse scarse tra i vari processi di collegamento lungo la supply chain assume un ruolo cruciale. E' possibile distinguere quattro diversi tipi di processi di collegamento tra i nodi di una supply chain, ovvero: collegamenti gestiti, collegamenti monitorati, collegamenti non gestiti e collegamenti con aziende che non sono membri della SC. I collegamenti gestiti avvengono tra la società focale e le aziende che essa ritiene importante integrare e gestire. La società focale integrerà e gestirà i collegamenti di processo con clienti e fornitori del primo livello. Nonostante ciò l'azienda è direttamente interessata anche nella gestione di altri collegamenti oltre a quelli coi membri del primo livello di fornitura (tier 1).

Tra i Processi di collegamento monitorati rientrano quei processi che non sono così critici per l'azienda focale. Tuttavia, è importante per l'impresa

---

target controllare e monitorare che essi siano gestiti in modo appropriato dalle altre aziende associate.

I processi non gestiti sono i link con cui la società focale non è direttamente coinvolta e non sono abbastanza critici da dover impiegare risorse per monitorarli. In altre parole, l'azienda focale affida completamente agli altri membri la gestione di questi processi di collegamento. Ad esempio, se un produttore ha un numero di potenziali fornitori di cartone, solitamente non è interessato nell'integrare e gestire i collegamenti al di là del fornitore di cartone fino alla coltivazione degli alberi. Il produttore vuole la certezza degli approvvigionamenti, ma potrebbe non essere necessario integrare e gestire i collegamenti al di là del fornitore di cartone.

Spesso è possibile che le aziende siano influenzate da decisioni prese in altre supply chain correlate. I collegamenti con i non-membri sono processi di collegamenti tra attori della supply chain e non membri della catena di fornitura.

### ***3.1.3 Le componenti del management***

Il livello di integrazione di un collegamento è funzione del numero e del livello delle componenti che sono aggiunte al link. Di conseguenza aggiungere o togliere componenti di management può incrementare o diminuire il livello di integrazione del collegamento.

Le nove componenti di management che hanno un impatto maggiore nella gestione di una supply chain sono: pianificazione e controllo, struttura di lavoro, struttura organizzativa, struttura del flusso di prodotto, struttura del flusso informativo, tipologie di management, tipologie di leadership, gestione del rischio, cultura.

Il processo di pianificazione e controllo è fondamentale per individuare la direzione nella quali l'azienda, e la supply chain stessa, intende dirigersi.

---

La pianificazione congiunta tra i membri della SC può avere effetti molto importanti sul successo della filiera. Durante le fasi di vita di una SC possono essere enfatizzate diverse componenti di management, ma il planning trascende queste fasi, restando sempre una componente fondamentale.

La struttura di lavoro indica come l'azienda agisce e gestisce le sue attività per raggiungere i suoi obiettivi.

La struttura organizzativa può fare riferimento sia all'impresa, sia alla filiera. Lo sviluppo di team cross-funzionali può essere considerato come un approccio di processo.

L'utilizzo di questi team inter-aziendali caratterizza una supply chain con un alto grado di integrazione.

La struttura del flusso di prodotto fa riferimento alla struttura del network che comprende sourcing, manufacturing e distributing lungo la SC.

Essendo un minimo livello di scorte indispensabile lungo una filiera, è conveniente che la maggior parte dello stock sia presente nei nodi più a monte, considerando il fatto che è meno costoso mantenere a scorta wip e semilavorati piuttosto che prodotti finiti.

La struttura del flusso informativo è una delle componenti chiave. Questo perché il tipo di informazioni e la frequenza con le quali esse passano all'interno dei canali di comunicazione e raggiungono i nodi della SC ha un impatto molto rilevante sull'efficienza e quindi sul successo della catena di fornitura. Questa componente dovrebbe essere una delle prime componenti integrate all'interno della supply chain.

I metodi di gestione comprendono la filosofia aziendale e le tecniche di management. E' molto difficile integrare una struttura di tipo top-down con una organizzazione di tipo bottom-up. Il livello di coinvolgimento nella gestione quotidiana delle operazioni può differire considerando i diversi membri.

---

La struttura di potere e di leadership lungo la filiera influenzerà la sua forma. Un'azienda leader all'interno della SC sceglierà la direzione da seguire per l'intero canale. L'esercizio del potere, o la sua assenza, può influenzare il livello di commitment degli altri membri del canale.

L'anticipazione della condivisione di rischi e benefici lungo tutta la catena favorisce il commitment a lungo termine tra i diversi membri della filiera.

La cultura aziendale è un aspetto molto importante e in modo tale va considerato.

La compatibilità tra le diverse culture aziendali tra i membri del canale non può essere sottovalutato. Gestire e allineare le diverse culture e atteggiamenti individuali richiede tempo, ma è necessario per fare in modo che il canale operi come una catena.

Le componenti del management viste finora possono essere suddivise in due sottogruppi. Il primo gruppo è il gruppo delle componenti più fisiche e tecniche, che comprende le componenti visibili, tangibili, misurabili e facili da cambiare.

Quando questo gruppo di componenti di gestione è l'unico target del management si rischia di avere dei risultati deludenti.

Il secondo gruppo comprende le componenti manageriali e comportamentali. Questi componenti sono meno tangibili e visibili e sono spesso difficili da valutare e modificare. Le componenti gestionali e comportamentali definiscono il comportamento organizzativo e influenzano l'implementazione delle componenti fisiche e tecniche.

Se queste componenti non risultano allineate e finalizzate a sostegno degli obiettivi della SC, risulterà molto difficile avere una filiera competitiva e profittevole.

Se una o più componenti del primo gruppo elencato sono cambiate, conseguentemente la gestione delle componenti del gruppo manageriale e comportamentale dovrà essere riadattato e riallineato. Le basi per il

---

successo di un SCM sono da riconoscere attraverso la comprensione di ognuna di queste componenti e della loro interdipendenza.

### **3.2 Approccio lean e filosofia just-in-time**

L'approccio lean e il just-in-time sono due paradigmi che appartengono alla filosofia di "total quality management" (TQM) sviluppatasi in campo industriale nel primo dopoguerra.

Il prodotto di TQM è un sistema di gestione aziendale che si pone come obiettivi la sopravvivenza e lo sviluppo dell'azienda stessa.

I punti cardine di questa filosofia manageriale si sviluppano attorno a tre principi base:

- il cliente come priorità per l'azienda. Questo principio si basa sull'assunto che, nel lungo termine, l'azienda più profittevole sarà quella che meglio delle altre saprà soddisfare i bisogni dei suoi clienti ponendoli come priorità assoluta.
- Il miglioramento continuo. La qualità diventa un concetto dinamico in quanto legato ai bisogni dell'uomo che sono, per definizione, in continua evoluzione. Pertanto il concetto di qualità porta con sé quello di miglioramento continuo.
- Il coinvolgimento delle risorse umane. Il presupposto per il miglioramento dei processi è costituito dal pieno, incondizionato e trasparente coinvolgimento delle risorse umane. In questo processo di crescita rivestono un ruolo vitale la formazione e l'addestramento quali attività continuative finalizzate alla crescita dell'azienda.

L'azienda con cui si identifica il concetto di TQM è Toyota, azienda in cui è nato il TPS (Toyota Production System), esempio per eccellenza di

---

fabbrica “lean”. Le origini del TPS risalgono al secondo dopoguerra. Nel 1950 il presidente Eiji Toyoda organizzò con i suoi manager una tournée di 12 settimane per visitare gli stabilimenti automobilistici statunitensi. Al suo rientro convocò il direttore di stabilimento Taiichi Ohno e gli diede il mandato di migliorare i processi prodotti Toyota fino a raggiungere la produttività di Ford. Ohno e il suo team superarono le aspettative del presidente, realizzando il TPS (Ohno 1988).

TPS e JIT (just-in-time) sono de facto sinonimi anche se TPS abbraccia l'intero sistema industriale, mentre JIT è un termine riferito più alla gestione della produzione e dei fornitori; nel seguito essi verranno utilizzati indifferentemente per indicare l'insieme di metodologie sviluppate in Toyota che, di fatto, hanno radicalmente cambiato la struttura produttiva di molti settori industriali.

Il TPS è basato sul concetto di “pensiero snello” o “lean thinking” (Womack, Jones, 1966), concetto che non è di per se nulla di innovativo, ma consiste nell'evoluzione di modelli organizzativi precedenti, come la qualità totale, a cui riesce a dare una convincente sistematizzazione ed integrazione. Il termine “lean”, infatti, esprime il fatto che il TPS riduce al minimo tutte le risorse necessarie per far funzionare l'azienda, dalle risorse umane al capitale investito, dallo spazio occupato al tempo necessario per portare a termine il processo.

Il cardine del pensiero snello è rappresentato dalla continua ricerca ed eliminazione di tre cause di inefficienza (sprechi, variabilità e sovraccarico di lavoro) allo scopo di produrre di più e con minore consumo di risorse.

Secondo questa metodologia l'eliminazione sistematica degli sprechi è possibile attraverso cinque azioni, definite “principi” (Womack, Jones, 1966) che costituiscono l'ossatura a cui fare riferimento nell'azione di ripensamento dei processi industriali:

- 
- Definire il valore: il punto di partenza della caccia allo spreco è l'identificazione di ciò che vale; ciò che vale produce valore, altrimenti è spreco. Bisogna cercare di definire con precisione il valore in termini di prodotti, specifiche, prezzi, attraverso il dialogo con i clienti. In altre parole, il valore viene definito dal cliente e assume significato attraverso un prodotto/servizio in grado di soddisfare le sue esigenze ad un dato prezzo e in un dato momento;
  - Identificare il flusso di valore: il flusso di valore per un dato prodotto consiste nell'intera gamma di attività necessarie per trasformare le materie prime in prodotto finito. L'analisi del flusso di valore mette sempre in evidenza la quantità di spreco attraverso la classificazione delle attività in tre categorie: attività che creano valore; attività che non creano valore ma necessarie; attività che non creano valore ma non necessarie (ossia eliminabili);
  - Far scorrere il flusso: definito con precisione il valore, identificato il flusso di valore per una famiglia di prodotti e ricostruito eliminando le attività inutili, bisogna fare in modo che le restanti attività creatrici di valore formino il flusso. Il pensiero snello rovescia il tradizionale approccio a lotti, poiché i compiti possono essere eseguiti in modo più efficace se i prodotti scorrono ininterrottamente dalla materia prima al prodotto finito. Il flusso continuo in produzione si raggiunge soprattutto attraverso interventi radicali atti a trasformare in breve tempo le attività produttive necessarie per fabbricare un prodotto a lotti in un flusso continuo;
  - Fare in modo che il flusso sia tirato dal cliente: quando l'azienda o più in generale l'organizzazione, ha definito il valore per il cliente ha eliminato gli ostacoli e quindi gli sprechi fa sì che il flusso continui senza interruzioni, allora è giunto il momento di permettere ai clienti

---

di tirare il processo che crea valore. Questo vuol dire acquisire la capacità di progettare, programmare e realizzare il prodotto o il servizio che il cliente vuole nel momento in cui lo vuole;

- Ricercare la perfezione: quest'ultimo punto potrebbe sembrare presuntuoso e va quindi interpretato nel senso di miglioramento continuo. Infatti, se si sono applicate correttamente le azioni precedenti, si creano sinergie che mettono in moto un processo continuo di riduzione dei tempi, degli spazi e dei costi. L'applicazione delle azioni lean deve essere sistematica e continua per giungere ai miglioramenti e mantenerli. In pratica deve essere mantenuta la tensione al miglioramento, cioè lo sprone per le altre azioni lean, facendo in modo che l'obiettivo raggiunto sia inteso come nuovo punto di partenza e ricominciare a far emergere nuovi sprechi ed eliminarli di conseguenza.

Il ripensamento dei processi aziendali con modalità organizzative snelle permette di ottenere risultati sorprendenti. Tuttavia, secondo alcuni autori (Liiker, Hoseus, 2007) la maggior parte delle aziende che cerca di implementare il pensiero snello lo fa nel modo sbagliato, in quanto l'obiettivo non è la soddisfazione del cliente ma una riduzione dei costi. Questo atteggiamento, a detta degli autori, è figlio del diverso orientamento tra la cultura occidentale e la cultura giapponese (Hofstede, 2005).

Il testo di riferimento che ha divulgato in modo chiaro i principi della filosofia lean è stato "The Toyota Way" (Liker, 2004). In questo testo sono state messe per iscritto le linee guida della filosofia snella, racchiudendole in quattordici principi suddivisi nelle seguenti quattro sezioni:

- 1) filosofia di lungo termine
- 2) il giusto processo produrrà i giusti risultati;
- 3) aggiungi valore all'organizzazione facendo crescere le tue persone e i tuoi partner;

---

4) la risoluzione dei problemi alla radice guida l'apprendimento dell'organizzazione.

Da una semplice lettura dei titoli delle quattro sezioni è immediato notare come il Toyota Way sia ben più di un insieme di tecniche e strumenti (tra cui sicuramente il più noto è il just-in-time) ma sia una vera e propria filosofia manageriale. Prima di introdurre le tecniche della lean risulta quindi interessante presentare, ancorché sinteticamente, l'intera filosofia Toyota. Per ulteriori dettagli si rimanda al testo (Liker, 2004) da cui sono ripresi i principi che sono esposti nel seguito.

- Orientamento al lungo termine: “fonda le sue decisioni manageriali su una filosofia di lungo termine anche a spese di obiettivi finanziari di breve termine”. Il primo principio del Toyota Way richiede che tutto l'operato del top management aziendale sia guidato da una filosofia di base che superi ogni logica decisionale orientata al breve termine. Il top management dovrebbe far crescere ed allineare l'intera organizzazione ad un fine comune che vada ben oltre il solo generare profitti.
- Organizzazione in flussi: “crea un flusso continuo di processo per portare i problemi alla superficie”. I processi produttivi vanno riprogettati in modo da ottenere flussi continui e ad elevato valore aggiunto. Nei reparti produttivi e logistici occorre sforzarsi per ridurre al minimo il tempo nel quale un qualsiasi job rimane fermo in attesa che qualcuno lo processi.
- Pull: “utilizza la logica pull per evitare sovrapproduzione”. Ogni fase del sistema produttivo dovrà produrre esattamente quello che viene richiesto dal cliente a valle, nel momento in cui questo viene richiesto e nel quantitativo che viene richiesto.
- “livella il carico di lavoro”. I manager di Toyota usano il termine muda e l'eliminazione del muda è focus principale della

---

maggioranza dei progetti di riorganizzazione lean. Il toyota way è finalizzato all'eliminazione delle tre "M", "muda" "muri" "mura", (sprechi, sovraccarico, variabilità).

- "Crea l'abitudine di fermare i processi per risolvere i problemi, per ottenere il risultato giusto al primo tentativo". "La casa della qualità" è fondata su due pilastri fondamentali, il JIT e il jidoka. Il jidoka è il principio secondo il quale ogni processo deve fermarsi all'occorrere di un'anomalia per risolverla prima di continuare la produzione.
- "compiti standardizzati sono la base per il miglioramento continuo e l'empowerment degli operatori". La definizione di procedure standard, da ripetere nello stesso modo, è fondamentale per ottenere un output regolabile e prevedibile dei processi.
- "utilizza il controllo visivo, cosicché nessun problema rimanga nascosto". In Toyota viene fatto ampio utilizzo di semplici indicatori visivi per aiutare il personale a capire a prima vista se il processo si trovi in condizioni normali o se piuttosto siano presenti delle anomalie.
- "usa tecnologie affidabili e perfettamente testate che supportino il personale ed i processi". In Toyota la tecnologia viene utilizzata per supportare il personale, non per sostituirlo. Spesso è addirittura preferibile impostare un processo in maniera totalmente manuale prima di introdurre la tecnologia per automatizzare il processo stesso.
- "fai crescere leader che comprendano completamente il lavoro e mettano in pratica la filosofia e la insegnino agli altri". Invece di assumere manager dall'esterno, in Toyota i leader spesso provengono da un percorso di crescita interna.
- "sviluppa persone e team eccezionali che seguano la filosofia della tua azienda". Il top management ha il compito di creare una cultura

---

aziendale forte e stabile nella quale i valori dell'azienda sono condivisi largamente e messi in pratica a tutti i livelli dell'organizzazione.

- “rispetta la tua rete esterna di partner e fornitori, sfidandoli e aiutandoli a migliorare”. Toyota rispetta i business partner e fornitori e li tratta come estensione della propria azienda.
- “Osserva personalmente per comprendere completamente la situazione”. I manager Toyota hanno imparato che per risolvere un problema è necessario recarsi dove il problema si è manifestato.
- “Prendi le decisioni lentamente attraverso il consenso e valutando tutte le opzioni possibili; implementa poi rapidamente tali decisioni”. In Toyota la discussione dei problemi e delle potenziali soluzioni viene affrontata coinvolgendo tutte le persone interessate dal problema così da poter raccogliere le idee e i contributi di tutti e ottenere il consenso sulle azioni da intraprendere.
- “diventa una learning organization attraverso la riflessione e il miglioramento continuo”. Una volta che seguendo i principi sovraesposti si è riusciti a realizzare un processo stabile ed esente da problemi evidenti, occorre comunque continuare ad utilizzare gli strumenti del miglioramento continuo per identificare le cause alla base delle inefficienze e degli sprechi ed implementare le misure efficaci.

---

### 3.3 Il sistema Kanban

Il modello Kanban è un sottosistema del Toyota Production System (TPS) che fu creato per controllare i livelli di inventory, la produzione e l'approvvigionamento dei componenti, e in alcuni casi le materie prime. In accordo con Graves (Graves et al., 1995), il kanban è definito un Material Flow Control Mechanism ed esso controlla la corretta quantità e le tempistiche della produzione dei prodotti necessari. Esso è stato utilizzato in tutto il mondo con il significato di cards poiché esso fa uso di cartellini per gestire la movimentazione e la produzione di parti, items, materie prime. In ogni caso, anche se l'interpretazione del sistema kanban è molto restrittiva, si può dire che la maggior parte delle organizzazioni che fa uso dei kanban utilizza un sistema come questo dal momento che i materiali dell'impianto sono controllati usando cartellini o elementi analoghi. In molte opere di letteratura il termine "kanban" è utilizzato indifferentemente con l'accezione di "cartellino" o "sistema" .

Come ogni altro sistema, il sistema kanban fu creato per adempiere ai bisogni specifici dell'azienda (Toyota), questo significa che venne concepito per operare sotto determinate condizioni di produzione e di mercato. Dal momento che queste condizioni non sono le stesse per ogni impresa, il sistema kanban prevede alcune restrizioni, riportate in letteratura (Ohno, 1982; Monden, 1984; Aggarwal, 1985; Grunwald et al., 1989; Sipper and Bulfin, 1997): esso non è adeguato in situazioni di forte instabilità della domanda, instabilità nei processing time, gamma molto ampia di articoli, incertezza nell'approvvigionamento delle materie prime.

Queste situazioni sono state richieste dalle aziende a causa delle recenti trasformazioni nell'ambiente competitivo attuale. Secondo Slipper e Bulfin (Slipper, Bulfin, 1997), la crescente sofisticazione della domanda da parte dei clienti è la più importante di queste trasformazioni. Ai nostri giorni i clienti ricercano puntualità, ampiezza della gamma, bassi costi e alta

---

qualità. Non ultima, la flessibilità è un obiettivo che l'azienda deve porsi per sopravvivere ed avere successo in questa arena competitiva. (Starr, 1988). Veen-Dirks (Veen-Dirks, 2005) individua quali sono i sistemi di controllo di management richiesti all'interno della "moderna" logica di produzione; l'autore conclude che velocità, economie di scopo e core competencies sono la base del nuovo ambiente competitivo.

A causa della difficoltà di implementazione del sistema kanban così come è stato concepito, in ogni particolare situazione, sono state approntate diverse variazioni sul sistema originale, al fine di adattarlo ad ogni specifica circostanza in cui l'impresa che ne intende fare uso si trova.

Muris (Muris L., Moachir G., 2010) ha individuato nella letteratura trentadue diverse tipologie di sistema kanban, derivate dal sistema originale.

In particolare il kanban utilizzato in Toyota (pure kanban system) presenta le seguenti caratteristiche:

- utilizzo di due tipologie di cartellini (dual card kanban system): in accordo con Slipper e Bulfin (Slipper , Bulfin 1997), il dual card kanban system utilizza segnali di produzione (i quali autorizzano il processo produttivo a produrre una quantità fissa del prodotto scelto) e cartellini di movimentazione (i quali autorizzano il trasporto di una quantità fissa di materiale verso lo stadio a valle). Nella tabella indicheremo questa caratteristica con la sigla "US".
- pulled production: la produzione è tirata sulla base della domanda proveniente dallo stadio a valle e in base ai livelli di stock. Questa caratteristica verrà rappresentata con il codice "PP".
- controllo decentralizzato: il controllo del flusso produttivo viene eseguito tramite controllo visuale direttamente dagli operatori di ogni stadio del processo produttivo. Questa caratteristica verrà rappresentata con la sigla "DC"

- WIP (work in process) limitato: il livello di stock è, in ogni stazione, limitato, ciò significa che esiste una capacità finita per ogni buffer che dipende direttamente dal numero di cartellini presenti nel sistema in quel determinato stadio produttivo. Il codice "LI" definisce questa caratteristica.

Nella tabella viene quindi riportato il numero di caratteristiche (da zero a tre) che il sistema modificato in questione ha mantenuto rispetto al sistema kanban originale e quali sono queste peculiarità mantenute.

Anno	Adattamento	Caratteristiche
-	E-kanban	3(PP, DC,LI)
-	Simultaneous kanban Control System (SKCS)	3(PP, DC,LI)
-	Independent kanban Control System (IKCS)	3(PP, DC,LI)
1985	Periodic Pull System (PPS)	3(DC, LI,US)
1987	Dynamically Adjusting kanban	3(PP, DC,LI)
1988	Regenerative Pull Control System (RPCS)	3(PP, LI,US)
1988	Job-Shop kanban	3(PP, DC,LI)
1988	Minimal Blocking	3(DC, LI,US)
1989	Generalized kanban Control System (GKCS)	3(PP, DC,LI)
1989	Modified kanban System (MKS)	3(DC, LI,US)
1990	Auto-Adaptive kanban	3(PP, DC,LI)
1993	Concurrent Ordering System	3(DC, LI,US)
1996	Modified Concurrent Ordering System	3(DC, LI,US)
1994	Generic kanban System (GKS)	3(PP, DC,LI)
1997	Flexible kanban System (FKS)	3(PP, DC,US)
1998	Push-Pull Approach (PPA)	3(DC, LI,US)
1998	Decentralized Reactive kanban (DRK)	3(PP, DC,US)
2000	Extended kanban Control System (EKCS)	3(PP, DC,LI)

2000	Simultaneous Extended kanban Control System (SEKCS)	3(PP, DC,LI)
2000	Independent Extended kanban Control System (IEKCS)	3(PP, DC,LI)
2001	Adaptive kanban	3(PP, DC,LI)
2003	Reconfigurable kanban System (RKS)	3(PP, DC,US)
2003	Inventory Based System	3(DC, LI,US)
1988	Fake Pull Control System (FPCS)	0
1991	Hybrid Push/Pull	2(PP, LI)
1997	Bar-Coding kanban	1(LI)
1998	CPM kanban System	1(PP)
1999	MRP/ sfx-Shop Floor Extension	1(LI)
2000	Virtual kanban (VK)	2(LI, US)
2001	Customized Type 5	2(DC, LI)
2001	Customized Type 10	2(DC, LI)
2002	Gated Max WIP	1(LI)

Tabella 1:Classificazione dei sistemi Kanban (Adatt. da Muris L., Moachir G. 2010)

### 3.4 Simulazione

La gestione della Supply Chain pone nuove sfide attraverso le sue dinamiche sempre più complesse ed articolate (Bekker, J. & Guittet-Remaud, S., 2012). Vi sono diversi strumenti per il supporto alle decisioni e per l'ottimizzazione delle stesse, quali la programmazione lineare, la programmazione mista intera, i network models. Mentre questi strumenti sono adeguati per decisioni di tipo operativo, lo studio della SC nel suo insieme necessita di strumenti che permettano di mantenere un'ottica di tipo globale. A questo riguardo la modellazione tramite simulazione si

---

presenta come uno degli strumenti più adatti, in quanto permette l'analisi di diversi scenari "what-if" con diverse variabili operative (Bekker e Guittet-Remaud, 2012).

La simulazione, intesa nel senso ampio del termine, è una tecnica in cui, attraverso la ricostruzione del modello di comportamento di un fenomeno (in questo caso una filiera produttiva), si giunge a prevedere il comportamento futuro di quel determinato fenomeno.

In questo senso è necessario lo sviluppo di un modello della realtà che consenta di valutare e prevedere su di un sistema alcune caratteristiche oppure una serie di eventi susseguenti all'imposizione di certe condizioni da parte dell'analista, intendendo con il termine sistema un insieme di entità (elementi o componenti) che interagiscono tra loro.

Le caratteristiche fondamentali sono quindi:

- Interazione tra più entità;
- Comportamento globale emergente dai comportamenti delle singole entità;
- Prestazioni del sistema come funzione di comportamenti ed interazione tra entità;

Se le relazioni che compongono il modello sono semplici è possibile utilizzare metodi matematici e/o statistici da cui si ottiene una funzione che lega il vettore d'ingresso e quello di uscita.

La maggior parte dei sistemi reali è molto complessa; lo sviluppo di metodi matematici o statistici risulterebbe estremamente onerosa o porterebbe a sistemi non risolvibili. Per questo motivo si ricorre all'utilizzo di modelli sperimentali o 'numerici', in particolare per mezzo dello strumento della simulazione.

Riprodurre il comportamento di un sistema implica la definizione e la costruzione di un modello del sistema stesso.

La simulazione è utilizzata in molti contesti:

- 
- Analisi di sistemi naturali (es. meteorologia)
  - Analisi meccanica, calcolo e verifica di sforzi, dinamica, etc. (es. FEM)
  - Modellazione, progettazione e analisi di sistemi produttivi.
  - Dimensionamento e valutazione di sistemi di trasporto.
  - Training (es. simulatori di volo)
  - Valutazione di dispositivi militari.
  - Progettazione di sistemi di telecomunicazione.
  - Progettazione e organizzazione di servizi (ospedali, banche, ecc.).
  - Analisi di sistemi economici e finanziari.

Una breve classificazione delle tipologie di simulazione:

- Simulazioni fisiche: fanno riferimento alle simulazioni nelle quali oggetti reali sono simulati tramite modelli in scala su cui effettuare i test richiesti. Un esempio sono i modelli di auto/aerei/ponti/strutture per verificarne la resistenza aerodinamica.
- Simulazioni interattive: sono un particolare tipo di simulazioni fisiche in cui è incluso l'operatore umano, ad esempio un simulatore di volo, ma anche simulazioni di role playing
- Simulazioni computer based: sono una modellazione di situazioni su un computer al fine di studiare come funziona il sistema e fare analisi sul come esso risponde a variazioni di alcuni parametri.

A loro volta le simulazioni computer based possono essere classificate secondo tre categorie:

- Statico – Dinamico

Un modello statico rappresenta un sistema in un determinato istante di tempo o, in generale, un sistema in cui la variabile temporale non ha influenza.

---

Un modello dinamico permette di rappresentare un sistema nella sua evoluzione nel tempo.

- Deterministico – Stocastico

E' definito deterministico un modello di simulazione che non contiene nessun "elemento probabilistico". In questo tipo di modello, assegnati i valori degli input, l'output è univocamente determinato.

I modelli di simulazione in cui i valori degli input o le probabilità di accadimento degli eventi non sono univocamente determinati, ma sono variabili secondo distribuzioni statistiche, sono definiti stocastici.

- Continuo – Discreto

Nei modelli di simulazione di tipo continuo viene rappresentata l'evoluzione di sistemi in cui la variazione di stato avviene con continuità rispetto alla variabile tempo. Un esempio di questa casistica è il passaggio di un corpo da una temperatura calda ad una temperatura fredda.

Nei modelli discreti viene rappresentata l'evoluzione di sistemi in cui la variazione di stato si suppone avvenga istantaneamente in particolari istanti di tempo. Un esempio di questa casistica è l'apertura/chiusura di un interruttore in un circuito elettrico.

Un'altra importante classificazione inerente alle simulazioni è la scelta dell'avanzamento del tempo.

In particolare si può distinguere tra:

- Intervalli fissi (unit-time) : Si incrementa il clock di una quantità fissa  $\Delta$  e si esamina il sistema per determinare gli eventi che devono aver luogo per i quali si effettuano le necessarie trasformazioni. Questa tipologia tratta tutti gli eventi con tempo di occorrenza  $t \in [t_1, t_1 + \Delta]$ . Un problema caratteristico di questa modellazione è la scelta

---

dell'incremento  $\Delta$ . In questa categoria eventi con diversi tempi di occorrenza possono essere trattati come eventi simultanei.

- Per eventi (event-driven): si incrementa il clock fino al tempo di occorrenza del prossimo (primo) evento. In questo modo si hanno incrementi irregolari; gli eventi sono simultanei solo se hanno lo stesso tempo di occorrenza. Si evitano tempi di inattività.
- Discrete-event simulation (DES): Questa categoria di modelli di simulazione è caratterizzata da modelli che “simulano” la vita del sistema reale in termini “discreti”, simulando la vita delle sue entità “dinamiche” e “statiche” ed i loro cambiamenti di stato nel tempo, con avanzamento ad eventi (next event time advance). Il sistema è rappresentato come una sequenza cronologica di eventi. Le variabili di stato cambiano solo in corrispondenza di eventi discreti, determinati a loro volta da attività e ritardi

Di seguito gli elementi che caratterizzano un modello di simulazione ad eventi discreti (DES), ovvero la tipologia di modello che è stato creato ed utilizzato per lo studio sottostante questo elaborato:

- Evento: per evento si intende un cambiamento nello stato del sistema che avviene al tempo simulato  $t$  (tempo di occorrenza dell'evento). Gli eventi possono essere caratterizzati secondo due categorie. Eventi interni (endogeni): riguardano variabili interne al modello, come ad esempio l'inizio di un servizio di un job in coda, il guasto di una macchina.  
Eventi esterni (esogeni): riguardano variabili esterne al modello, come ad esempio l'arrivo di un nuovo utente in coda, l'inizio di un turno.
- Entità: oggetti temporanei che attraversano il sistema; sono oggetti esplicitamente definiti nel modello. Si distinguono in entità Dinamiche (es. clienti) o statiche (es. server) Possono competere

---

per ottenere le risorse ed essere accodati nelle corrispondenti code di attesa.

- **Attributi:** sono informazioni relative ad un'entità o ad una risorsa, a titolo di esempio è possibile citare la capacità di un magazzino, il tempo di lavorazione di una macchina, lo stato di occupazione. Gli attributi servono per poter conoscere lo stato dell'entità (statiche o dinamiche) presente nel modello; è poi necessario registrare quando lo stato cambia all'accadere di un evento.
- **Risorse:** sono entità che forniscono servizi passivi o attivi ad entità dinamiche (che possono richiedere una o più unità della risorsa) Le risorse richieste, se occupate, possono determinare un'attesa in coda. Possono fornire servizi in parallelo (server parallelo)
- **Liste:** Sono strutture usate per implementare code. Possono essere mantenute ordinate secondo diverse discipline, come ad esempio: Fifo, Lifo, Shortest Request First (basata su attributo locale).
- **Attività:** Periodo di tempo di durata predeterminata caratterizzato da attività in corso, ovvero collezione di operazioni che trasforma lo stato di una componente. Nella simulazione a eventi discreti (DES) le attività fanno avanzare il tempo simulato  $t$ . La durata dell'attività può essere caratterizzata da una distribuzione statistica o da una distribuzione fissa.

In ambito produttivo la simulazione si pone come strumento di supporto a:

- progettazione di nuovi sistemi
- miglioramento di situazioni già esistenti
- verifica di prestazioni dinamiche
- analisi "what-if"
- approfondimento conoscitivo della realtà

In ambito produttivo si utilizza la simulazione ad eventi discreti (DES).

---

In questo caso, si definisce modello di simulazione: insieme di relazioni logiche e matematiche che descrivono i componenti del sistema e le loro relazioni.

I sistemi produttivi sono usualmente composti da una varietà di oggetti che interagiscono tra di loro, principalmente:

- Macchine
- Persone
- Trasportatori
- Ambiente

Di queste, singolarmente, si conoscono le prestazioni. La simulazione serve quindi a conoscere la prestazione del sistema nel suo complesso, ad avere una visione sistemica.

Tipicamente gli obiettivi progettuali di una simulazione possono essere:

- verifica del dimensionamento parco macchine
- verifica del dimensionamento del sistema di trasporto
- analisi di alternative impiantistiche
- dimensionamento buffer inter-operazionali
- dimensionamento magazzini di stazione
- verifica lay-out
- analisi dell'influenza di guasti in un impianto
- ottimizzazione delle dimensioni dei lotti

Gli Obiettivi gestionali:

- valutazione di tecniche di programmazione e gestione della produzione
- verifica dell'influenza dei disturbi dovuti a guasti di stazione o problemi di alimentazione componenti
- ottimizzazione politiche gestione materiali
- ottimizzazione politiche gestione manodopera

- 
- analisi prestazioni sistema al variare del mix

In conclusione, i vantaggi dell'utilizzo della simulazione si possono riassumere in questo modo:

- Consente di modellare realtà complesse in modo preciso.
- Permette di valutare il funzionamento sia a regime che nei transitori
- Consente di ottenere dati da utilizzarsi in altre attività, come ad esempio l'analisi di investimento.
- Permette di condurre esperimenti che, per motivi pratici e/o economici, non è possibile effettuare sul sistema reale o su modelli fisici.

Per contro, si possono individuare anche degli svantaggi:

- Il funzionamento del sistema, per quanto ben modellato, potrebbe differire da quello reale.
- Potrebbero esserci difficoltà nel considerare alcune condizioni al contorno.
- Il numero degli esperimenti che è possibile effettuare è limitato dal tempo a disposizione

### ***3.4.1 Modellazione di una SC tramite il software Arena***

La modellazione di una supply chain richiede la possibilità di utilizzare dei parametri globali quali: tempi di processamento per ogni stadio della SC e per ogni prodotto, tempi di set-up, tempi di apertura degli impianti, informazioni sulla gestione dei materiali e dei trasporti, ma anche caratteristiche tecniche della simulazione quali lunghezza dell'eventuale warm-up period, numero di repliche per ogni simulazione, lunghezza di ogni replica del processo di simulazione. I requisiti di modellazione di cui sopra servono come linee guida per la selezione di un appropriato strumento di modellazione.

---

Considerando la flessibilità di modellazione, la velocità di esecuzione e i bassi costi di programmazione, questi sono alcuni dei vantaggi dei linguaggi generici di codifica; tuttavia il loro uso è limitato nella modellazione a causa della difficile applicazione a specifici casi di simulazione. Inoltre, molti dei pacchetti software generici disponibili per la simulazione consentono la modellazione di soli processi di business semplici e poco articolati, limitando in tal modo la loro applicabilità (Law e Kelton, 2003). Queste considerazioni rendono necessario l'adozione di un dominio specifico di software di simulazione appropriato per lo sviluppo di una piattaforma di SCM. Sulla base di queste considerazioni, è stato selezionato il software Arena come piattaforma di modellazione, il quale si basa su SIMAN, linguaggio di simulazione general-purpose (Kelton et al., 2003).

Esso permette la costruzione di modelli process-oriented, modelli event-oriented, o una combinazione di entrambi. Possiede anche dei moduli building block che rappresentano i vari elementi utili alla modellazione di una SC come flow schedules, code, convogliatori, trasportatori, ecc. Esso impiega un'architettura gerarchica per la modellazione. In questo modo aiuta il modellatore a costruire moduli personalizzati con l'aiuto dei building block di base. Questo approccio offre molti benefici in quanto contribuisce a fornire flessibilità e modularità nella costruzione dei moduli. Esso ha la capacità di includere più istanze di qualsiasi modulo del sistema nel modello di simulazione. Inoltre permette di assegnare variabili globali nel modello che riflettono alcune proprietà del sistema, le quali possono essere cambiate come e quando alcune specifiche richieste si verificano nel sistema. La flessibilità di Modellazione, in Arena, è garantita e supportata dalla presenza all'interno del main program di Visual Basic for Application (VBA). Questo modulo permette di codificare logiche complesse non riscontrabili nei moduli standard di Arena.

---

I processi di supply chain come l'evasione degli ordini dai nodi, i flussi di materiali, il replenishment degli inventory, la produzione e il processo di assemblaggio vengono raffigurati in Arena generando delle entità. I parametri associati a queste entità, i processi e le risorse come ad esempio i tempi di lavorazione e le politiche di gestione della produzione (come MTO, ATO), i costi della SC, ecc, vengono assegnati attraverso fogli Excel. Modificando i parametri della SC nel foglio di calcolo, possono essere facilmente generati diversi scenari all'interno della piattaforma di simulazione.

Nel modello di SC oggetto dell'elaborato, gli ordini dei clienti vengono generati in corrispondenza del nodo finale della filiera, corrispondente al retailer. Essi vengono introdotti come entità, ognuna di esse rappresenta uno specifico prodotto richiesto dal mercato. La dimensione della domanda lungo l'intero periodo di tempo simulato e i livelli iniziali di stock per ogni buffer della filiera determinano quindi il numero di entità che il modello genererà lungo l'intera campagna di simulazione.

Ogni entità associata alla domanda, una volta generata presso il nodo del retailer, viene confrontata con la possibilità di essere evasa, valutando la presenza di quello stesso prodotto all'interno del buffer del distributore.

L'evasione dell'ordine porta alla trasmissione di un ordine di replenishment per il prodotto introdotto sul mercato il quale giungerà fino al primo livello della supply chain, tramite una logica pull di gestione. Questa logica è realizzata grazie al sistema Kanban.

Tramite Arena è infatti possibile accorpate più entità ed inoltre per ogni entità è possibile assegnare la natura della stessa. In particolare nel modello adottato nella trattazione sono presenti entità di tipo prodotto, di tipo Kanban ed entità di controllo.

---

## 4. Tesi e domanda di ricerca

L'obiettivo dell'elaborato è studiare il comportamento di una supply chain al variare delle regole che governano il processo produttivo.

In particolare si vuole valutare i benefici fisici ed economici dell'introduzione della filosofia lean nella gestione logistica e produttiva dell'azienda.

Si analizzeranno quindi gli impatti della riduzione del tempo di setup e l'adozione della metodologia kanban, dal punto di vista delle scorte e dei trasporti.

Le domande cui l'elaborato cerca di dare risposta sono:

- L'implementazione della filosofia lean migliora le performance di una filiera, rispetto alla gestione con il lotto economico?
- I benefici economici apportati nella riduzione del costo delle scorte compensano gli aggravii a livello logistico? Sotto quali condizioni?
- Che impatto presentano diverse regole di gestione delle sequenze produttive?

---

## **5. Metodo di ricerca**

La ricerca della soluzione ai quesiti sopracitati è stata eseguita attraverso simulazione.

Tramite il software di simulazione “Arena” è stato creato un modello che rispecchiasse una supply chain a tre livelli (dettagliata nei particolari nel capitolo successivo) e per cui fosse possibile misurare il livello servizio.

Il modello è stato validato tramite la comparazione dei risultati con il modello utilizzato da Staudacher e Bush (2014) per lo studio delle performance di una supply chain nel settore farmaceutico.

Dopo la validazione del modello sono iniziate le campagne di simulazione. Sono state lanciate campagne di simulazione per ogni variante di interesse di ricerca, ovvero settando diversi parametri del modello: il lotto economico o il sistema kanban, le regole di dispatching e la riduzione del tempo di setup.

Per ogni variante del modello si è ricercata la run che rispettasse le condizioni di livello di servizio del benchmark di riferimento (capitolo successivo): definite le caratteristiche della campagna si è modificato il parametro leva (numero di kanban se il modello adottava un sistema kanban, il valore delle scorte di sicurezza se il modello adottava il lotto economico) fino a quando il livello di servizio risultante rispettasse la soglia di benchmark.

---

## **6. Modello di ricerca**

### **6.1 La supply chain e il mercato**

Lo studio di questa tesi si concentra su una filiera produttiva.

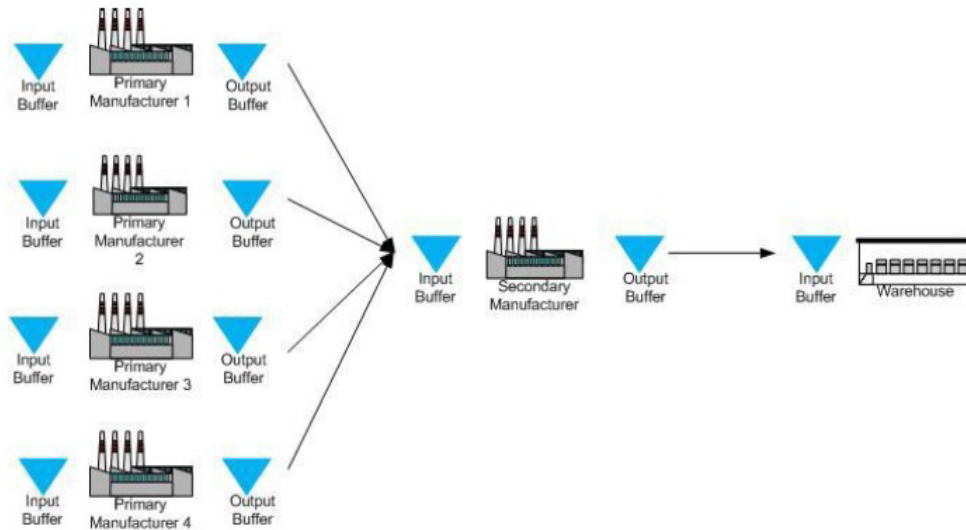
I confini di essa partono da uno stadio di manufacturing per arrivare ad un ultimo stadio che è l'interfacciamento con la domanda di mercato finale. In particolare si può individuare, partendo dallo stadio più a monte, tre diversi livelli, suddivisi nel seguente modo: quattro Primary manufacturer (PM) , un Secondary Manufacturer (SM), e un Distribution Centre.

La gamma di prodotti gestita dalla supply chain è composta da 24 diverse tipologie merce, suddivisibili in 4 famiglie (ognuna della quali raccoglie al suo interno 6 tipologie di prodotto).

L'ipotesi del modello è che un prodotto abbia la propria connotazione già allo stadio dei Primary Manufacturer, ovvero che sia già identificato come tale nel primo nodo della SC.

Ciascuno dei PM è responsabile per la produzione di una ed una sola famiglia di prodotto per la supply chain. Tuttavia, i PM non sono completamente dedicati a questa catena di approvvigionamento; essi dedicano parte della loro capacità produttiva anche ad altre filiere. A differenza dei PM, il Secondary Manufacturer è completamente dedicato alla fabbricazione dei 24 prodotti appartenenti a questa catena di fornitura. Infine, il Centro di Distribuzione riceve le richieste della domanda finale e può quindi essere considerato uno stadio di interfacciamento con il mercato stesso.

Ogni stadio di ogni livello della supply chain (ad esclusione del distribution centre) ha una coppia di buffer nel sistema: un input buffer che tiene a stock i prodotti ricevuti da monte, e un output buffer che immagazzina i prodotti lavorati dal processo produttivo. Il Centro di distribuzione, come detto in precedenza, ha un unico buffer (di input) dal quale è soddisfatta la domanda dei clienti finali.



**Figura 2 Struttura e flusso di prodotto nella filiera analizzata**

I tempi di lavorazione si differenziano a seconda del tipo di prodotto. Lo stesso dicasi per i tempi di set-up, con la differenza che tra i prodotti all'interno della stessa famiglia i change over sono più brevi rispetto ai set-up eseguiti per variare la produzione tra due prodotti appartenenti a famiglie differenti. I tempi di lavorazione e i tempi di setup variano in ogni stadio della catena di approvvigionamento. I diversi modelli adottati si differenziano principalmente per le diverse politiche di gestione della produzione. Queste regole verranno illustrate nel dettaglio in seguito.

---

	PM	SM
Prodotto1	0,5633	0,6832
Prodotto2	0,6093	0,7982
Prodotto3	0,7206	1,0766
Prodotto4	0,6270	0,8424
Prodotto5	0,7248	1,0870
Prodotto6	0,6629	0,9322
Prodotto7	0,6969	1,0171
Prodotto8	0,6772	0,9679
Prodotto9	0,5955	0,7637
Prodotto10	0,6926	1,0066
Prodotto11	0,7321	1,1052
Prodotto12	0,7378	1,1195
Prodotto13	0,6957	1,0143
Prodotto14	0,6427	0,8817
Prodotto15	0,7032	1,0330
Prodotto16	0,6631	0,9329
Prodotto17	0,6729	0,9573
Prodotto18	0,7062	1,0405
Prodotto19	0,5985	0,7712
Prodotto20	0,5818	0,7294
Prodotto21	0,6640	0,9350
Prodotto22	0,6766	0,9665
Prodotto23	0,6626	0,9316
Prodotto24	0,5955	0,7636

**Tabella 2: Tempi di produzione per le 24 tipologie di prodotto. Primary Manufacturer e Secondary Manufacturer**

Per semplicità, nell'elaborazione dei tempi di apertura dei diversi impianti, non sono stati considerati i tempi di fermo causati da errori di sistema, il ritardo o la mancanza di informazione, e di altre cause; praticamente i processi di produzione sia nei primary manufacturer sia nel secondary manufacturer sono considerati senza tempi di inattività e quindi sempre in up-time.

Per quanto concerne i trasferimenti dei prodotti lavorati tra i diversi stadi della catena di approvvigionamento, essi avvengono tramite automezzi con capacità limitata. Al fine di minimizzare i costi di trasporto, i camion sono regolati in maniera tale che la consegna parte quando il mezzo è saturo, in particolare quando sono disponibili alla partenza 150 prodotti, a prescindere dal fatto che siano dello stesso tipo o della stessa famiglia. Tuttavia, il sistema considera anche un tempo massimo di attesa; i prodotti saranno trasportati a dispetto del non raggiungimento del quantitativo di riempimento del mezzo se vi sono degli articoli in attesa per almeno 8 ore.

	<b>PM1</b>	<b>PM2</b>	<b>PM3</b>	<b>PM4</b>	<b>SM</b>
<b>Numero di automezzi</b>	6 veicoli	6 veicoli	6 veicoli	6 veicoli	24 veicoli
<b>Quantità Max per viaggio</b>	150 unità	150 unità	150 unità	150 unità	150 unità
<b>Tempo Max di attesa</b>	8 ore	8 ore	8 ore	8 ore	8 ore
<b>Tempo per raggiungere lo stadio a valle</b>	16 ore	16 ore	16 ore	16 ore	8 ore

**Tabella 3: Struttura del sistema di trasporto**

---

Per quanto riguarda la domanda dei consumatori finali, essa è stata generata attraverso dei numeri casuali che seguono la seguente regola:

$$D_t = k + \rho * D_{(t-1)} + \varepsilon$$

dove:

$D_t$  = domanda nel periodo  $t$

$k$  = costante non negativa

$\rho$  = parametro di correlazione, settato a 0,7 nella nostra tesi

$\varepsilon$  = rumore, variabile aleatoria di distribuzione normale con media 0 e varianza  $\sigma^2$ .

La stessa formula è utilizzata da Chen et al. (2000), Lee et al. (2000) e Staudacher e Bush (2014).

## **6.2 Descrizione dell'esperimento**

L'esperimento è stato impostato per analizzare l'impatto dell'approccio lean sulla supply chain adottando il Sistema Kanban e la riduzione del tempo di setup.

Il periodo di osservazione copre 2000 giorni lavorativi come nell'elaborato di Staudacher e Bush (Staudacher, Bush, 2014).

La simulazione parte con l'ipotesi che tutti i buffer siano saturati per il massimo della loro capacità e le risorse produttive ai vari stadi della filiera siano libere.

In particolare, per ovviare all'utilizzo di dati influenzati dal transitorio iniziale, l'inizio della raccolta di informazioni dalla simulazione inizia dopo un periodo di tempo sufficientemente lungo (50 giorni).

Al fine di dare rilevanza statistica all'esperimento per ogni modello di gestione della supply chain sono state eseguite 5 repliche del sistema con

---

input della domanda differenti. La tabella seguente riporta i valori medi e le deviazioni standard dei 5 profili di domanda utilizzati.

I risultati ottenuti sono stati trasposti su fogli di calcolo e analizzati utilizzando lo strumento di “Microsoft excel”.

### **6.3 Varianti del modello**

#### **6.3.1 Il lotto economico**

Nelle varianti del modello in cui lo stadio produttivo utilizza la politica del lotto economico, il reparto di lavorazione è vincolato alla produzione in lotti di una grandezza prefissata che non può variare nel corso della simulazione.

Tale grandezza è calcolata tramite la formula del lotto economico.

La politica originale del lotto economico prevede che quando il livello di scorte di un prodotto scende al di sotto una determinata soglia (reorder point) avvenga la richiesta di fornitura di un lotto allo stadio a monte.

Per semplicità costruttiva del software è stato implementato nel modello un controllo con la visione speculare a quella precedente: quando nello stadio a valle avviene un consumo di scorte pari al lotto economico, allora avviene la richiesta di fornitura allo stadio a monte.

Il modello che adotta la politica di lotto economico, senza riduzioni del tempo di setup, è il primo benchmark di confronto con cui il sistema kanban si andrà a confrontare.

Il lotto economico è calcolato tramite la seguente formula:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * a * D}{TAMS * cv}}$$

Dove:

$a$  = costo di emissione di un ordine (nel nostro caso è proporzionale al tempo speso per eseguire un setup)

---

$cv$  = valore economico del prodotto

$TAMS$  = tasso annuo di mantenimento a scorta

$D$  = domanda media annua

### **6.3.2 Il modello kanban di riferimento**

In questa ricerca il modello logico seguito dalla Supply chain è la logica del sistema kanban puro. Nessun prodotto può essere lavorato o trasferito senza che ad esso vi sia attaccato un kanban.

Esistono due tipologie di kanban nel sistema: i withdrawal kanban che autorizzano la movimentazione esterna alla fabbrica (il trasporto dall'output buffer di uno stadio all'input buffer dello stadio successivo) e quindi fanno risalire il consumo tra i vari stadi di lavorazione, modellizzando il quantitativo di merce da ritirare dall'output buffer del magazzino dello stadio a monte.

I production kanban che autorizzano la produzione nei centri lavorativi della filiera e ne gestiscono le quantità in gioco.

Il funzionamento del sistema kanban può essere riassunto in questi passaggi:

1) la situazione di partenza è che nel magazzino di input dello stadio a valle (stadio B) per ogni prodotto è assegnato un withdrawal kanban (WK), mentre nel magazzino di uscita dello stadio a monte (stadio A) ogni prodotto ha assegnato un production kanban (PK).

2) nello stadio B si verifica un consumo: i prodotti prelevati vengono separati dai propri WK e sono inseriti nella coda di lavorazione, mentre i cartellini WK vengono inviati allo stadio A per trasmettere il consumo nel deposito a monte.

3) una volta arrivati in tale deposito, per ogni WK trasmesso, vengono prelevati i prodotti stoccati, staccando da questi i cartellini PK e sostituendoli con i cartelli WK.

---

4) I prodotti ora associati ai WK sono pronti per la spedizione secondo le regole logistiche viste in precedenza, mentre i cartellini PK che sono stati separati vengono inseriti su una tabelliera (kanban board). In ogni stadio produttivo è presente una tabelliera, la quale è suddivisa per colonne, ciascuna corrispondente ad una tipologia di prodotto.

5) sulla tabelliera vanno così ad accumularsi nel tempo i cartellini PK; al momento di iniziare una campagna produttiva nel centro di lavorazione vengono prelevati dalla tabelliera tutti i PK relativi ad una tipologia di prodotto, svuotando quindi una colonna (le regole utilizzate relative alla scelta di quale colonna svuotare saranno dettagliate in seguito).

6) ogni cartellino PK prelevato dalla tabelliera viene associato ad un prodotto corrispondente presente nel magazzino di entrata dello stadio A: il numero di PK prelevati determina la grandezza del lotto di produzione della campagna e il consumo di materiale nel magazzino di entrata dello stadio a monte.

7) una volta lavorati, i prodotti, e i PK loro associati, vengono stoccati nell'output buffer.

Una sostanziale differenza tra PM e SM sta nel fatto che gli input buffer dei Primary Manufacturer sono considerati sempre pieni, ossia è come se fossero a capacità di stoccaggio infinita, questo per semplificare il modello. In questo modello di simulazione un kanban è associato ad un singolo prodotto.

#### **6.4 le regole di gestione dei Kanban nel Secondary Manufacturer**

Al fine di avere un utilizzo ottimale della risorsa, ci sono due trigger per lanciare il check alla Kanban Board che da seguito alla scelta della campagna produttiva successiva. Il primo trigger avviene ogni qualvolta la risorsa termina un batch (che sono formati da prodotti dello stesso tipo),

---

quindi alla fine di ogni lotto di produzione viene fatto partire un segnale di avvio check. Il secondo trigger avviene quando un cartellino viene aggiunto alla tabelliera.

Non tutti i check eseguiti portano al distacco dei Kanban dal kanban Board e al conseguente invio all'impianto produttivo, infatti se le macchine sono in fase produttiva, oppure se la risorsa non è al momento dedicata alla supply chain (come può essere nel PM), la scelta dei kanban da inserire in produzione viene automaticamente bloccata e rimandata ad un successivo check abilitante.

Ora si elencano le regole di dispatching per le diverse varianti del modello che adottano il sistema kanban:

#### **6.4.1 Modello Fifo con soglia 1**

la tipologia di prodotto che deve essere mandato in produzione viene scelta confrontando gli item per i quali:

- i Kanban presenti sulla tabelliera siano in quantità superiore ad una determinata soglia (soglia 1).
- la quantità di materiale disponibile nell'input buffer sia superiore al relativo numero di kanban presenti sulla tabelliera, sufficiente da permettere la produzione di tutti i prodotti richiesti.

La soglia è calcolata in relazione alla domanda media stimata per ogni prodotto, partendo dalla quantità di riferimento dell'Economic Order Quantity.

Il primo vincolo è esplicitato dalla seguente formula:

$$NQ(MEMBER(KB\_SM Set.Queue, x)) \geq ROQ\_OB\_SM(x)$$

---

Dove il primo membro rappresenta la funzione che ritorna il numero di kanban attaccati nella colonna del tipo “x”, mentre il secondo rappresenta la “soglia 1” per il tipo “x” citata in precedenza.

La soglia viene determinata tramite il seguente calcolo:

$$roq_{ob\_sm}(x) = c_x * \frac{\mu_x}{\bar{\mu}_x} * roq_x$$

dove:

$$c_x = \text{coefficiente del prodotto } x, c_x = (0.9 * \frac{\bar{\mu}_x}{\mu_x} + \frac{\max(\sigma_i)}{\sigma_x}) / 2$$

$\mu_x$  = domanda media del prodotto x nel periodo t

$\bar{\mu}_x$  = media della domanda media per tutti i prodotti nel periodo t

$\sigma_x$  = deviazione standard della domanda del prodotto x nel periodo t

$roq_x$  = lotto medio di produzione di riferimento (EOQ)

Nel caso in cui una tipologia di prodotto non rispetti questo vincolo, questa non sarà considerata nella scelta della successiva campagna produttiva.

Se nessun prodotto supera questa soglia, il check si arresta e nulla viene mandato in produzione.

La soglia di confronto è specifica per ogni prodotto, infatti è necessario tenere conto delle differenze che ci sono tra i vari prodotti in termini di media e deviazione standard della domanda; Se si considerasse solo il numero assoluto di cartellini presenti sulla Kanban Board si rischierebbe di tralasciare queste differenze e la conseguenza sarebbe creare uno sbilanciamento della scelta di tipologia produttiva a favore dei prodotti con una domanda maggiore.

Il secondo vincolo impone che un prodotto possa essere scelto per una campagna produttiva solamente se il materiale necessario per produrre tutti i pezzi richiesti sia disponibile nel buffer di entrata dello stadio in considerazione. Questo vincolo permette di evitare tempi di inattività nel

---

caso in cui si decida di fermare il macchinario finché il materiale mancante sia disponibile; evitare l'accavallarsi di segmenti di campagne produttive, e il conseguente aumento dei setup, nel caso in cui al verificarsi di una mancanza di materiale si inizi una nova campagna produttiva mentre quella corrente sia momentaneamente sospesa e ripresa a materiale disponibile.

Il vincolo viene modellizzato dal software di simulazione tramite la seguente formula:

$$NQ(MEMBER(KB_{SM}Set.Queue, k)) \leq NQ(MEMBER(IB_{SM}Set.queue, k))$$

Dove la funzione al primo membro esplicita il numero di kanban presenti sulla tabelliera nella colonna "k", mentre il secondo membro dell'equazione contiene la funzione che ritorna il numero di pezzi disponibili di tipo "k" al magazzino di entrata del centro di lavorazione.

La scelta di quale tipologia di articolo mandare in produzione avviene tra le categorie di prodotto che rispettano le due condizioni sopraelencate e tramite la ricerca della massima "urgenza di produzione": l'urgenza di produzione viene misurata dalla copertura giornaliera di kanban presenti sulla kanban board.

La copertura giornaliera per una tipologia di prodotto viene determinata dal rapporto tra il numero di kanban e la domanda media corrispondente: considerando che la copertura temporale massima è all'incirca la stessa per ogni tipologia di prodotto (vi sono delle variazioni per la considerazione della varianza), quanto maggiore è il quantitativo di kanban presente sulla tabelliera tanto minore sarà la copertura delle scorte nel magazzino di output e tanto maggiore sarà l'urgenza di produzione.

Questo significa che il prodotto scelto sarà quello che presenta il massimo valore della coda di Kanban sulla tabelliera divisa per la sua domanda media.

La formula che esemplifica questa relazione è la seguente:

$$\frac{NQ(\text{MEMBER}(\text{KB\_SM Set.Queue},k))}{e\_Mean\_D\_Product(k)} = \text{MAX}_i \left( \frac{NQ(\text{MEMBER}(\text{KB\_SM Set.Queue},i))}{e\_Mean\_D\_Product(i)} \right)$$

ogni ciclo di scelta si pone l'obiettivo di individuare l'articolo che presenta il massimo per questo coefficiente.

Il numero di kanban presenti sulla tabelliera in relazione alla corrispondente domanda media crea una unità di misura che permette di confrontare le diverse tipologie di prodotto con un metro di valutazione uniforme.

In caso contrario vengono, per quell'item, staccati tutti i Kanban dalla tabelliera ed inviati all'impianto produttivo.

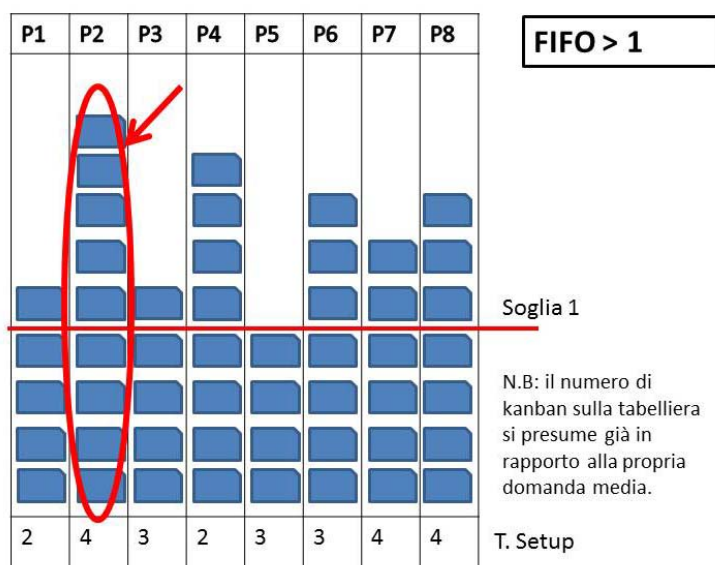


Figura 3: Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Fifo > 1

### 6.4.2 Modello Fifo con soglia 0,5

Il seguente modello presenta le stesse regole del modello sopra illustrato con la differenza che la soglia minima oltre la quale si confrontano le code di Kanban presenti sulla tabelliera non è più pari all'EOQ bensì è data da:  $EOQ/2$ .

Questa diversa condizione permette automaticamente al sistema di produrre lotti di dimensioni minore e la logica di gestione è più in linea con i principi lean (il sistema è più pull e più vicino al lotto ottimale "one piece flow") con tutti i vantaggi del caso (in seguito illustrati).

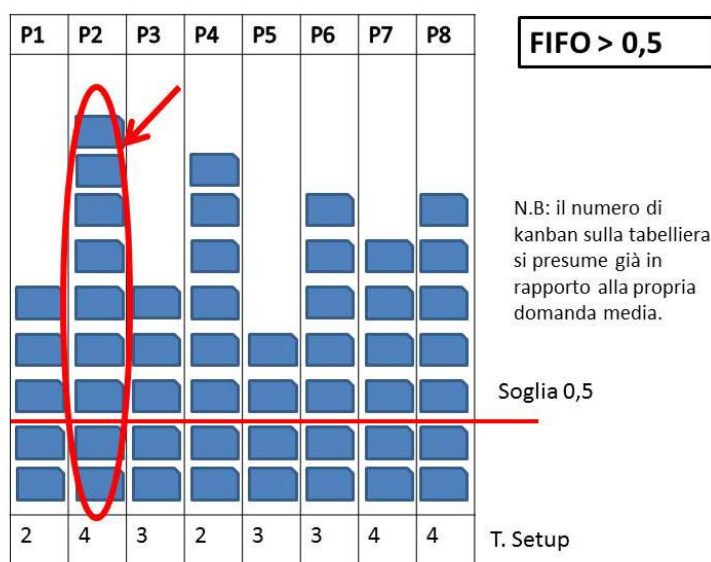


Figura 4: Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Fifo > 0,5

### 6.4.3 Modello Shortest Setup con soglia 1

in questo caso il primo passo per la scelta di che tipologia di prodotto mandare in produzione è il medesimo che per la logica FIFO, individuare e ammettere al ciclo di selezione le tipologie di prodotti che rispettano i due vincoli già menzionati:

---

il numero di kanban presente nella tabelliera deve essere superiore alla soglia prestabilita (roq\_ob\_sm) e deve esserci materiale sufficiente nel magazzino di input per lo svuotamento dell'intera colonna.

Se almeno un tipo prodotto rispetta le condizioni di partenza del check, il processo di selezione continua e individua, tra i tipi-prodotto che risultano idonei, quello che, se mandato in produzione, garantisce il tempo di setup minore (shortest setup time).

Il tempo di setup per una classe di prodotto non è costante ma varia a seconda del tipo prodotto della campagna produttiva precedente: se durante la campagna produttiva precedente sono stati lavorati prodotti diversi, può accadere che durante due processi di selezione differenti, ma in cui si presenta lo stesso gruppo di classi di prodotto idonee, vengano scelte due tipologie di prodotto differenti. Ciò crea una rotazione nella scelte che permette di non penalizzare alcune serie di prodotti.

Una volta selezionata una particolare tipologia di articolo, la colonna corrispondente viene svuotata e vengono mandati in produzione tutti i kanban presenti sulla tabelliera, propri del particolare prodotto.



Il procedimento segue questa logica:

- nel caso in cui ci sia almeno un tipo-prodotto che appartiene alla classe A, ricerca il tipo-prodotto con il minimo setup solamente tra quelli appartenenti alla classe A;
- nel caso in cui la classe A sia vuota, la selezione avviene tra i membri appartenenti alla classe B;
- nel caso in cui sia la classe A che la classe B risultino vuote non avviene alcuna scelta e non parte la campagna.

Questa divisione in classi è stata fatta affinché il modello scelga di minimizzare i tempi non a valore aggiunto (il tempo di setup), ma allo stesso tempo tenendo in considerazione anche la diversa quantità richiesta di una tipologia di prodotto.

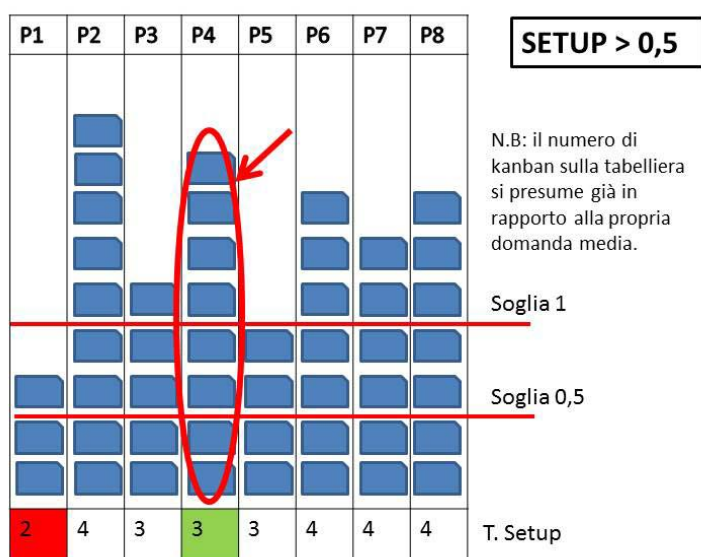


Figura 6: Kanban Board con soglia minima di scelta. Modello Setup>0,5

---

## **6.5 I parametri dell'esperimento**

Distinguiamo i parametri di simulazioni in due grandi macro categorie: i parametri vincolo e i parametri registrati.

### **6.5.1 I parametri vincolo**

L'unico parametro vincolo che viene considerato è il livello di servizio.

Il livello di servizio per una tipologia di prodotto viene calcolato come il rapporto tra il numero di giorni in cui si registra uno stockout del prodotto e la lunghezza del periodo di misurazione.

Il "livello di servizio di una run", o livello di servizio della supply chain, è la media dei livelli di servizio raggiunto nei quattro depositi di riferimento: input buffer del retailer, output e input buffer del secondary manufacturer, out put buffer del primary manufacturer (si è scelto di non considerare l'input buffer in quanto supposto di capacità infinita); a sua volta il livello di servizio di un deposito è la media dei livelli di servizio di tutte le 24 classi di prodotto.

Il parametro è definito vincolante perché è il parametro obiettivo nell'esecuzione delle run. Una run viene considerata utile per la raccolta dei dati per lo studio dell'elaborato se il livello di servizio della supply chain è al minimo uguale al livello raggiunto nel benchmark di riferimento. Nel caso studiato da questo elaborato il valore benchmark del livello di servizio è 96%.

### **6.5.2 I parametri registrati**

Il lavoro dell'elaborato si concentra sullo studio degli effetti sui costi di mantenimento a scorta e sui costi di trasporto.

Il costo di mantenimento a scorta è calcolato come:

$$CAMS = (\text{giacenza media}) * (\text{valore unitario}) * TAMS$$

Dove:

---

CAMS=costo annuo mantenimento a scorta

TAMS= tasso annuo di mantenimento a scorta che considera i costi di stoccaggio e di obsolescenza della merce in rapporto al valore della stessa.

La giacenza media viene misurata in automatico dal software.

Nei paragrafi successivi la “giacenza media”, o “total inventory”, si riferisce alla giacenza media presente sull’intera filiera produttiva.

Il costo logistico viene calcolato attraverso il contributo di due addendi: il costo di trasporti che viaggiano saturi e i trasporti che viaggiano senza saturare il mezzo di trasporto.

Il punto di vista è di un’azienda che ha esternalizzato il servizio di trasporto e ha un contratto nella forma “pay per use” con un provider logistico che viene pagato in base al numero dei pezzi trasportati e al tipo di trasporto utilizzato, una tariffa “full truck load” per i pezzi che saturano il vettore di trasporto o una tariffa più dispendiosa “less than truck load” applicata agli item per le spedizioni che non saturano il mezzo di trasporto.

---

## 7. Descrizione dei risultati

### 7.1 Modello Eoq

Il seguente modello è il modello che è stato preso a riferimento come benchmark di confronto tra le due logiche produttive EOQ rispetto a Kanban. Per quanto concerne i livelli di scorte, dalla simulazione si vede che, all'aumentare della riduzione dei tempi di setup e dei lotti, questi livelli diminuiscono, anche se in quantità sempre inferiore rispetto ai modelli che utilizzano il sistema kanban. Il numero di setup cresce al diminuire dei lotti e dei tempi di setup, con un trend meno marcato rispetto alla logica kanban. L'utilizzazione, invece, diminuisce in maniera molto più netta rispetto al caso kanban. Questo fenomeno si spiega considerando che le riduzioni dei lotti di produzione, coerentemente con la formula del lotto economico, seguono la radice quadrata della riduzione applicata ai tempi di setup. In questo modo la riduzione dei tempi di setup è maggiore rispetto a quella dei lotti e quindi, a parità di pezzi prodotti, questo porta ad un abbassamento della saturazione. La gamma di scelta della tipologia di prodotto da inviare al processo produttivo si mantiene in tutti i casi al di sopra delle sei unità, con un leggero incremento nei casi di maggiore riduzione di lotto e setup. Il lotto medio coincide con la soglia minima oltre la quale si decide di far partire il lotto di produzione. Le differenze che si riscontrano tra i due dati sono dovute al fatto che il livello di servizio imposto al 96%, permette di avere differenze tra le dimensioni dei batch effettivamente lavorati e la media totale teorica di dimensione dei lotti (che è uguale alla soglia minima).

	total inv.	n°setup	Utilizzazione	amp. di gamma	lotto medio
caso base	12098	4520	85,6%	6,2	172,4
-20%	11253	5055	84,5%	6,2	154,1
-40%	10231	5848	83,2%	6,4	133,6
-60%	9046	7158	81,6%	6,6	109,1

**Tabella 4: Risultati fisici registrati per il Modello Eoq**

Per quanto riguarda i trasporti totali, essi presentano un trend negativo considerando il caso base e le prime due riduzioni, positivo considerando l'ultima riduzione, pur mantenendosi al di sotto dei livelli di partenza. I viaggi insaturi presentano un trend di crescita per tutti i casi di riduzione.

Il carico medio dei trasporti con mezzi non saturi presenta un picco in corrispondenza della riduzione del 40%, in corrispondenza con il numero minimo di viaggi.

	viaggi totali	v. saturi	v. NON saturi	% viaggi NS	carico TNS	% sat. Carico
caso base	9427	4304	5123	54,3%	26,5	17,7%
-20%	9181	3775	5406	58,9%	39,6	26,4%
-40%	8867	2911	5957	67,2%	58,1	38,8%
-60%	9341	3120	6221	66,6%	50,6	33,7%

**Tabella 5: Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Eoq**

Di seguito sono riportati i grafici che mostrano l'andamento delle principali performances descritte.

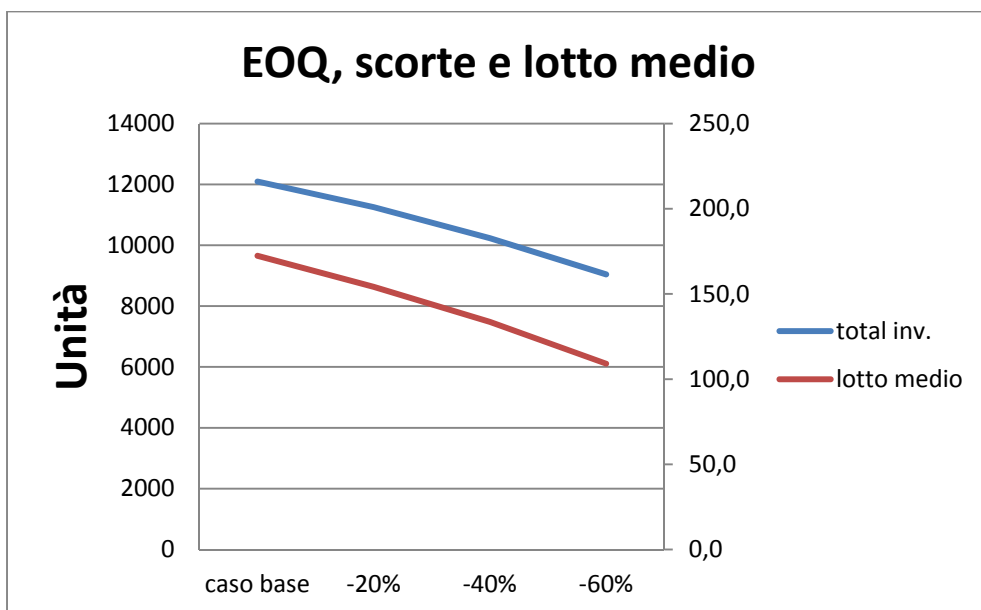


Figura 7: Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Eoq.

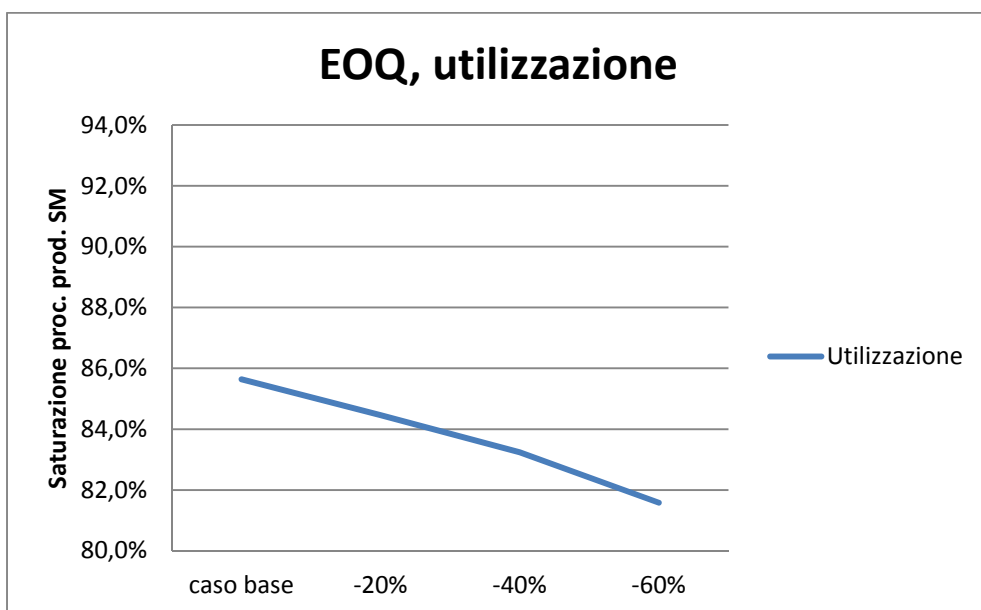


Figura 8: Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Eoq

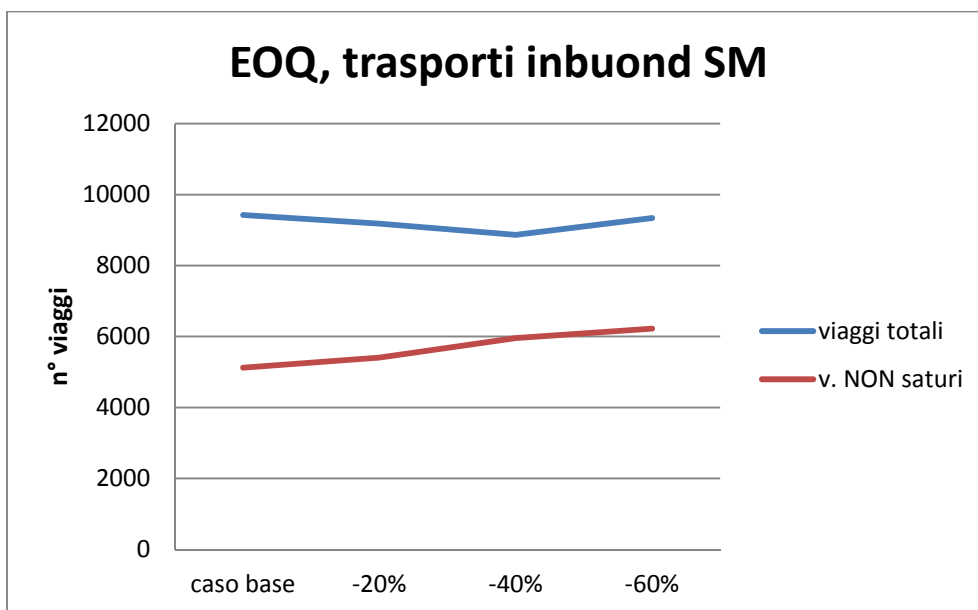


Figura 9: Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Eoq

## 7.2 Modello Fifo>1

Il modello fifo con lotto minimo di produzione maggiore del lotto economico di riferimento presenta un andamento del livello di scorte che, partendo da una condizione iniziale di poco inferiore al livello di partenza del modello del lotto economico, all'aumentare delle riduzioni dei tempi di setup presenta un decremento dello stock molto più marcato rispetto al benchmark eoq, garantendo quindi dei risparmi incrementali rispetto al riferimento.

All'aumentare delle riduzioni del tempo di change over e della soglia minima, il modello presenta un naturale aumento del numero di setup, conseguenza della diminuzione del lotto medio di produzione.

L'utilizzazione rimane costante, a garanzia del fatto che l'aumento del numero di setup è bilanciato dalla riduzione dei tempi di setup.

La gamma disponibile nel ciclo di scelta si mantiene sempre al di sopra delle cinque unità, questo significa che ad ogni ciclo di controllo, sulla

tabelliera dei kanban, vi sono sempre mediamente più di cinque tipologie di prodotti che hanno una coda superiore alla loro soglia minima di riferimento. Nel caso analizzato la dimensione media dei lotti produttivi è sempre superiore alla soglia minima almeno del 20%.

	<b>total inv.</b>	<b>n°setup</b>	<b>Utilizzazione</b>	<b>amp. di gamma</b>	<b>lotto medio</b>	<b>soglia media</b>
<b>caso base</b>	11226	3795	83,8%	5,4	205,4	170
<b>-20%</b>	9530	4716	83,8%	5,5	165,3	136
<b>-40%</b>	7860	6226	83,9%	5,6	125,6	102
<b>-60%</b>	6201	9043	83,7%	6,7	86,6	68

**Tabella 6: Risultati fisici registrati per il Modello Fifo>1**

I trasporti tra primary manufacturer e secondary manufacturer presentano una crescita costante, che si accentua nel caso di riduzione del 60%.

I trasporti tra secondary manufacturer e retailer si mantengono quasi costanti. Questo fa sì che i trasporti totali seguano l'andamento dei trasporti tra PM e SM.

Per quanto riguarda queste ultime tipologie di trasporto, esse si distribuiscono tra viaggi saturi e viaggi insaturi. Dalle simulazioni si evince che i viaggi insaturi aumentano all'aumentare delle riduzioni. Contemporaneamente aumenta la percentuale di saturazione dei mezzi, come si evince dalla tabella.

	viaggi totali	v. saturi	v. NON saturi	% viaggi NS	carico TNS	% sat. Carico
caso base	8601	3978	4623	53,7%	39,8	26,5%
-20%	8858	3674	5183	58,5%	44,7	29,8%
-40%	9111	3105	6006	65,9%	52,9	35,3%
-60%	9660	2814	6847	70,9%	52,9	35,3%

Tabella 7: Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Fifo >1

Di seguito vengono elencati i principali grafici che illustrano quanto detto.

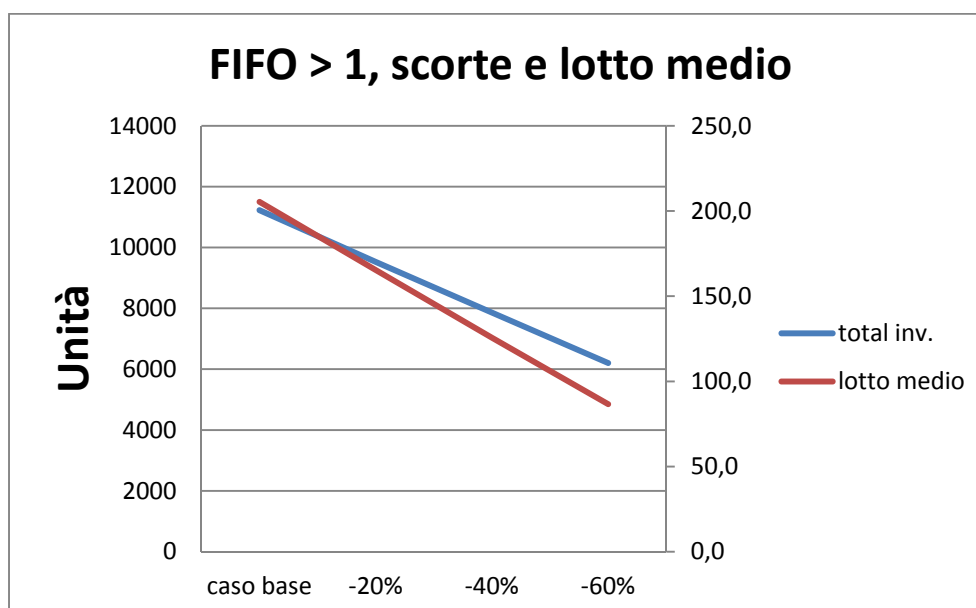


Figura 10: Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo >1.

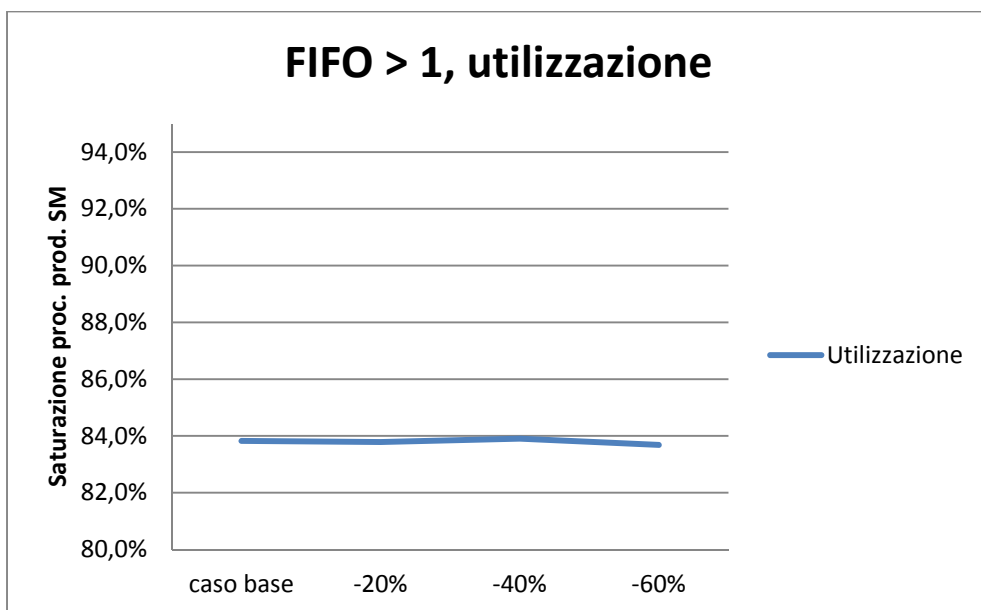


Figura 11: Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo>1

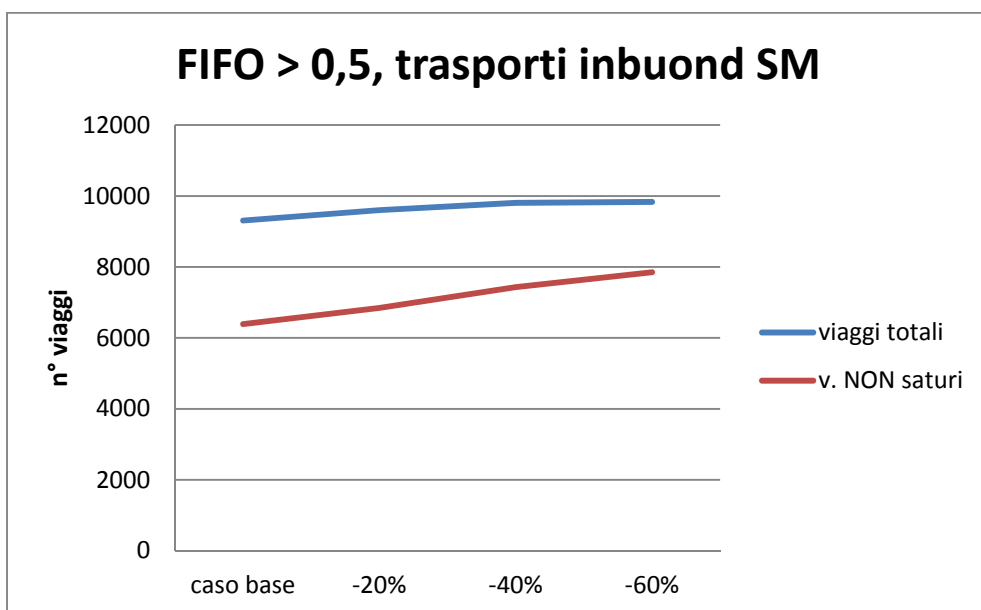


Figura 12: Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo>1

---

### 7.3 Modello Setup >1

Il modello setup con lotto minimo di produzione maggiore del lotto di riferimento presenta un andamento delle scorte decrescente con una pendenza leggermente inferiore al trend delle giacenze medie del caso eoq. Inoltre si può notare che il lotto medio di produzione sia minore rispetto al lotto medio del modello eoq corrispondente, a parte per il caso base.

Questo avviene per come è stato impostato il modello: il costo di avviamento di una campagna produttiva è ipotizzato proporzionale al tempo di setup necessario; risulta pertanto che la grandezza del lotto di riferimento per l'eoq sia proporzionale non al tempo di setup ma alla sua radice. Il modello kanban "setup > 1" (vale lo stesso per gli altri modelli kanban) sono meno rigidi sulla grandezza del lotto produttivo.

In particolare, per questo modello il lotto produttivo minimo corrisponde con il lotto medio di riferimento ridotto della stessa percentuale della riduzione del tempo di setup:

$$\text{lotto minimo}(k, \%rid_{T_{setup}}) = (\text{lotto di riferimento}(k)) * (1 - \%rid_{T_{setup}})$$

Si nota come il lotto medio si assesti su valori superiori almeno del 10% alla soglia minima. La diminuzione della grandezza del lotto medio di produzione è relativamente maggiore di quella delle giacenza media di item nei buffer di riferimento: il lotto passa da 202 item a 86, con una diminuzione del 57% circa, mentre la giacenza media decresce da 11650 item a 8566, solamente il 26,5%.

All'aumentare della riduzione del tempo di setup, cresce anche l'ampiezza di gamma tra cui poter scegliere la tipologia di prodotto per la campagna successiva. Ciò significa che aumentano tipologie di prodotti con una richiesta sufficiente per la produzione e quindi la possibilità di trovare una tipologia di prodotto che permetta di risparmiare più tempo nella scelta di setup.

	<b>total inv.</b>	<b>n°setup</b>	<b>Utilizzazione</b>	<b>amp. di gamma</b>	<b>lotto medio</b>	<b>soglia media</b>
<b>caso base</b>	11650	3864	83,3%	5,3	202,2	170
<b>-20%</b>	10298	5127	83,9%	5,5	152,8	136
<b>-40%</b>	9552	6498	83,5%	5,9	120,6	102
<b>-60%</b>	8536	9110	82,8%	6,2	86,0	68

**Tabella 8: Risultati fisici registrati per il Modello Setup>1**

“Per quanto concerne i trasporti, nel modello “setup > 1” notiamo una crescita lineare nel numero di trasporti da PM ad SM e una crescita lineare, ma di entità maggiore, dei trasporti con il carico insaturo. Dalla tabella si evince come l’incidenza di questi ultimi sia in continuo aumento. Poiché il numero totale di pezzi trasportati resta lo stesso tra le simulazioni, la conseguenza di quanto detto prima è che una parte dei trasporti saturi presenti nel caso base sia sostituita da trasporti con mezzo insaturo. Questo porta anche ad un aumento della saturazione del carico dei trasporti insaturi.

	<b>viaggi totali</b>	<b>v. saturi</b>	<b>v. NON saturi</b>	<b>% viaggi NS</b>	<b>carico TNS</b>	<b>% sat. Carico</b>
<b>caso base</b>	8574	3967	4607	53,7%	41,2	27,5%
<b>-20%</b>	8833	3476	5357	60,7%	49,6	33,0%
<b>-40%</b>	9129	3246	5883	64,4%	51,1	34,1%
<b>-60%</b>	9383	2777	6607	70,4%	56,2	37,5%

**Tabella 9: Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Setuo>1**

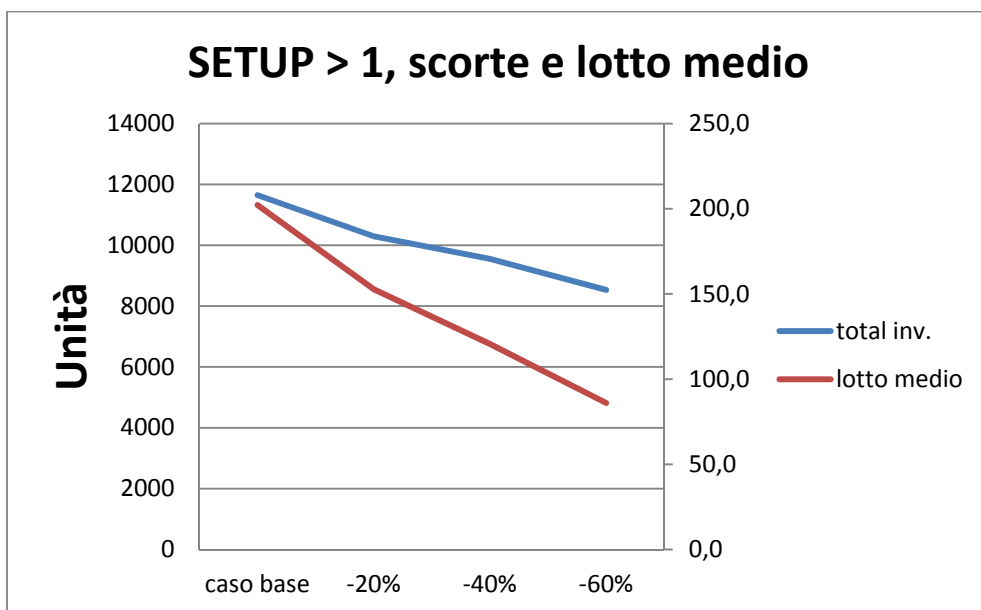


Figura 13: Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup>1.

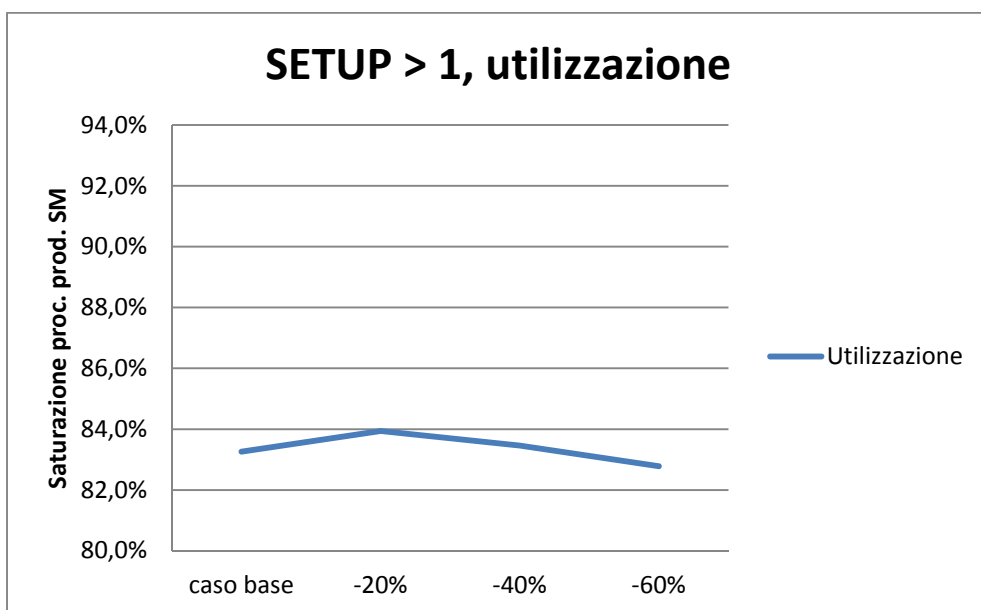


Figura 14: Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup>1

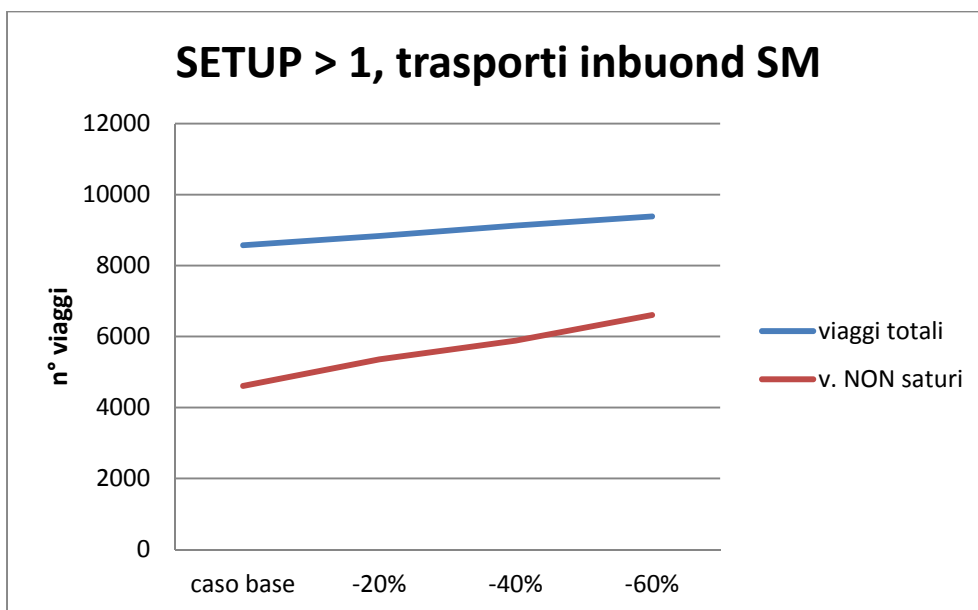


Figura 15: Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup>1

#### 7.4 modello Fifo >0,5

Analizzando i dati riguardanti i livelli di scorte di questo modello, si può vedere che essi presentano una decrescita relativa inferiore rispetto agli altri modelli. Dalla figura 16 si può notare infatti come la diminuzione del lotto medio abbia una pendenza molto più marcata rispetto alla diminuzione del livello di stock. Questo fenomeno è da riscontrarsi nel fatto che in questo modello una riduzione così importante del lotto medio di produzione, rispetto al lotto di riferimento, porta benefici incrementali meno rilevanti all'aumentare delle riduzioni del tempo di changeover. Il numero di setup presenta una crescita molto forte, fenomeno direttamente connesso alla marcata riduzione dei lotti medi, all'aumentare delle riduzioni dei tempi di setup e delle soglie di riferimento. Anche la gamma di scelta delle tipologie di prodotti presenta un forte incremento all'aumentare delle riduzioni, questo significa che sempre più tipologie di articoli sono

disponibili per la produzione. Il tasso di utilizzazione presenta un leggero trend decrescente.

	<b>total inv.</b>	<b>n°setup</b>	<b>Utilizzazione</b>	<b>amp. di gamma</b>	<b>lotto medio</b>	<b>soglia media</b>
<b>caso base</b>	6788	7148	92,4%	6,4	109,3	170
<b>-20%</b>	5977	8702	92,3%	7,1	90,0	136
<b>-40%</b>	5265	10835	91,3%	8,6	72,7	102
<b>-60%</b>	5085	12894	88,0%	10,9	61,0	68

**Tabella 10: Risultati fisici registrati per il Modello Fifo>0,5**

Analizzando i dati sui trasporti tra PM e SM, si nota un trend crescente, all'aumentare delle riduzioni, meno marcato rispetto agli altri modelli kanban, anche se il numero totale degli stessi si mantiene superiore a tutti gli altri modelli analizzati. Anche i trasporti non saturi aumentano, così come aumenta la saturazione media di questa categoria di viaggi.

	<b>viaggi totali</b>	<b>v. saturi</b>	<b>v. NON saturi</b>	<b>% viaggi NS</b>	<b>carico TNS</b>	<b>% sat. Carico</b>
<b>caso base</b>	9308	2919	6389	68,6%	53,8	35,9%
<b>-20%</b>	9601	2755	6845	71,3%	55,6	37,1%
<b>-40%</b>	9803	2369	7434	75,8%	58,1	38,8%
<b>-60%</b>	9832	1980	7852	79,9%	62,9	41,9%

**Tabella 11: Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Fifo>0,5**

Nel seguito sono riportati i grafici che evidenziano quanto sopra esposto.

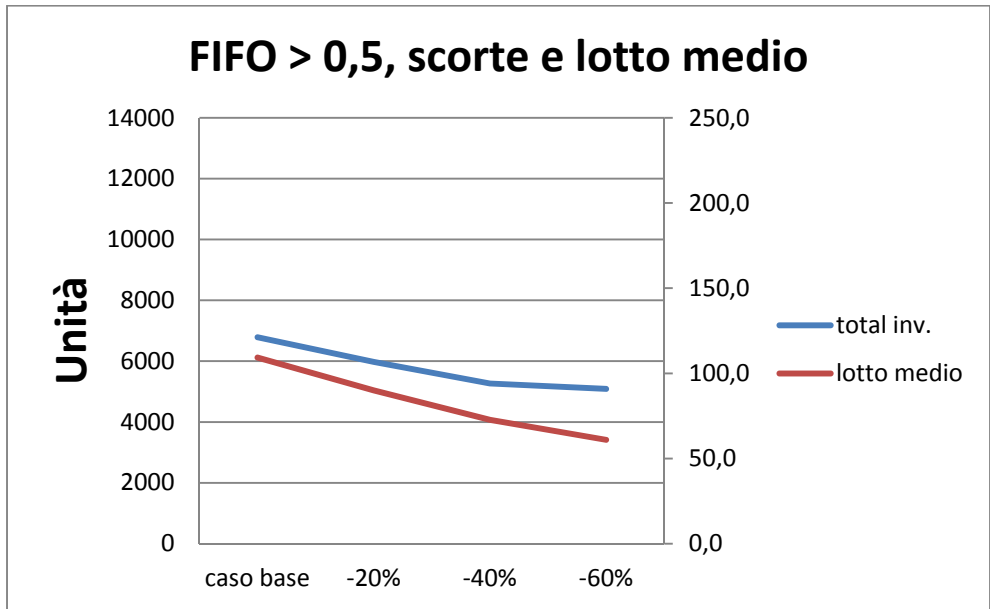


Figura 16: Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo > 0,5.

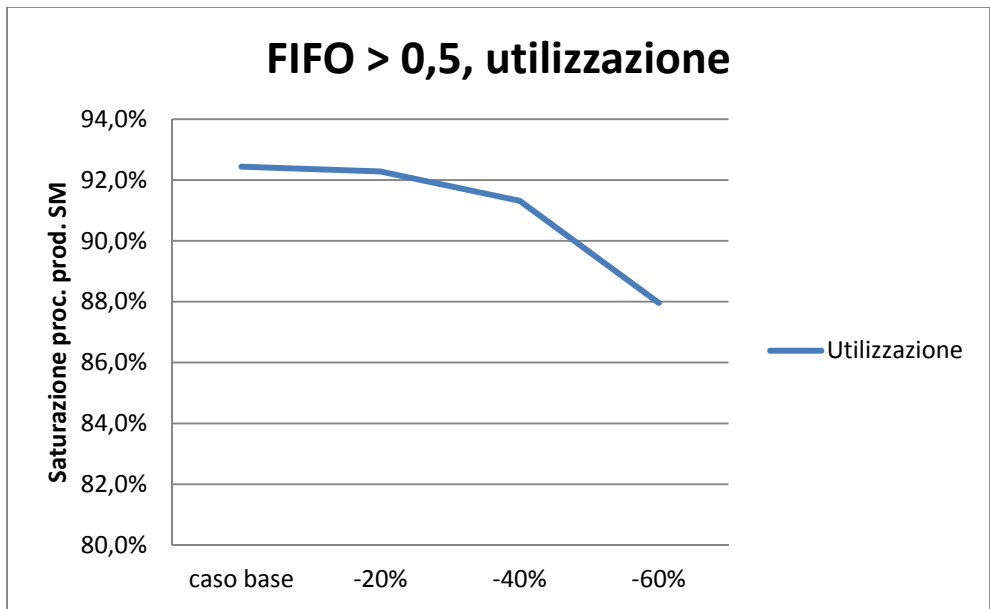


Figura 17: Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo > 0,5

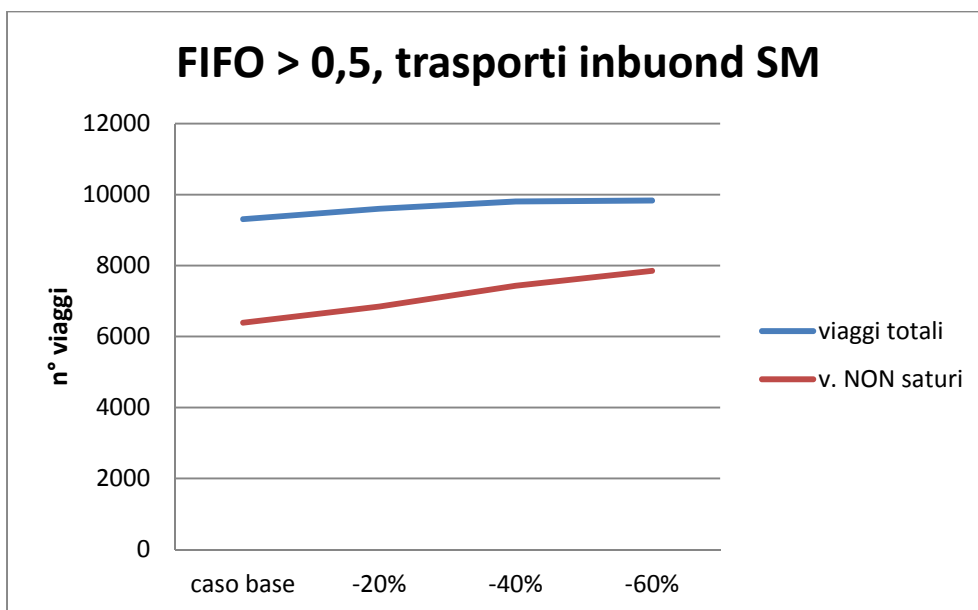


Figura 18: Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Fifo > 0,5

### 7.5 Modello Setup > 0,5

Il modello setup con lotto minimo di produzione maggiore della metà del lotto di riferimento, per quanto riguarda le giacenze medie, presenta prestazioni migliori rispetto al modello EOQ corrispondente anche se, relativamente parlando, i miglioramenti con la diminuzione del tempo di setup risultano inferiori rispetto la logica EOQ. Come per la logica "setup > 1" la riduzione del lotto medio di produzione (che arriva fino a punte del 60% non viene corrisposta da una simile riduzione delle giacenze medie che, partendo da un valore di 9289 unità nel caso base, si abbassano fino a 7750 nel caso di riduzione massima del tempo di setup, ovvero una discesa del 16,5%.

La numerosità delle tipologie di prodotto papabili per la scelta della nuova campagna produttiva sono in crescita a partire dalla riduzione del 20% del tempo di setup. Il trend opposto avviene invece per la saturazione della risorsa manifatturiera dello stadio SM che al crescere della riduzione del

tempo di setup, non corrispondendo una eguale diminuzione nel lotto produttivo , abbassa il tasso di utilizzo.

	total inv.	lotto m. down	soglia m. down	lotto m. up	soglia m. up
<b>caso base</b>	9345	113,2	85	176,7	170
<b>-20%</b>	8807	88,9	68	155,3	136
<b>-40%</b>	8360	68,2	51	126,8	102
<b>-60%</b>	7791	47,3	34	94,5	68

**Tabella 12: Risultati fisici registrati per il Modello Setup>0,5 parte 1**

	n°setup	Utiliz.	amp. di gamma
<b>caso base</b>	5928	88,0%	6,7
<b>-20%</b>	7452	88,1%	5,6
<b>-40%</b>	9402	87,2%	5,7
<b>-60%</b>	13016	86,3%	5,8

**Tabella 13: Risultati fisici registrati per il Modello Setup>0,5 parte 2**

Il numero totale dei trasporti segue un trend crescente con la riduzione del tempo di setup. Come per gli altri modelli che adottano il sistema kanban cresce l'incidenza dei trasporti a carico insaturo e allo stesso modo cresce la saturazione dei mezzi che viaggiano a carico insaturo: l'incidenza dei viaggi con mezzi non saturi passa dal 61 % del caso base al 78% del caso di massima riduzione del tempo di setup (-60%); la saturazione dei mezzi cresce da 48 unità alle 62 unità trasportate mediamente su un carico insaturo che corrispondono al 41,1% della portata massima del mezzo.

	viaggi totali	v. saturi	v. NON saturi	% viaggi NS	carico TNS	% sat. Carico
caso base	9074	3508	5566	61,3%	46,5	31,0%
-20%	9341	3175	6165	66,0%	50,4	33,6%
-40%	9355	2635	6720	71,8%	58,0	38,7%
-60%	9617	2126	7491	77,9%	62,6	41,7%

Tabella 14: Informazioni riguardanti i trasporti per il Modello Setup > 0,5

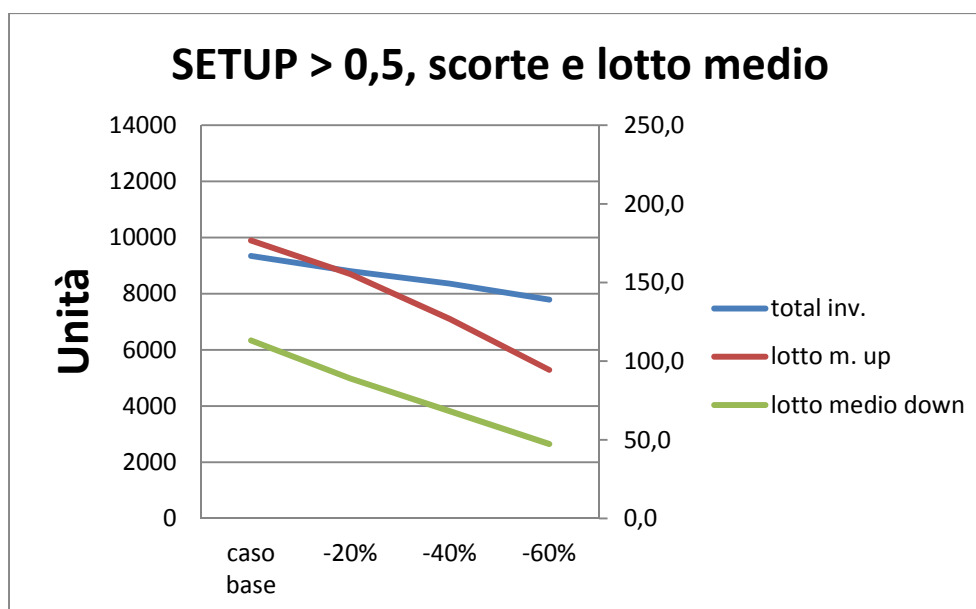


Figura 19: Grafico rappresentante l'andamento delle scorte e il lotto medio al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup > 0,5

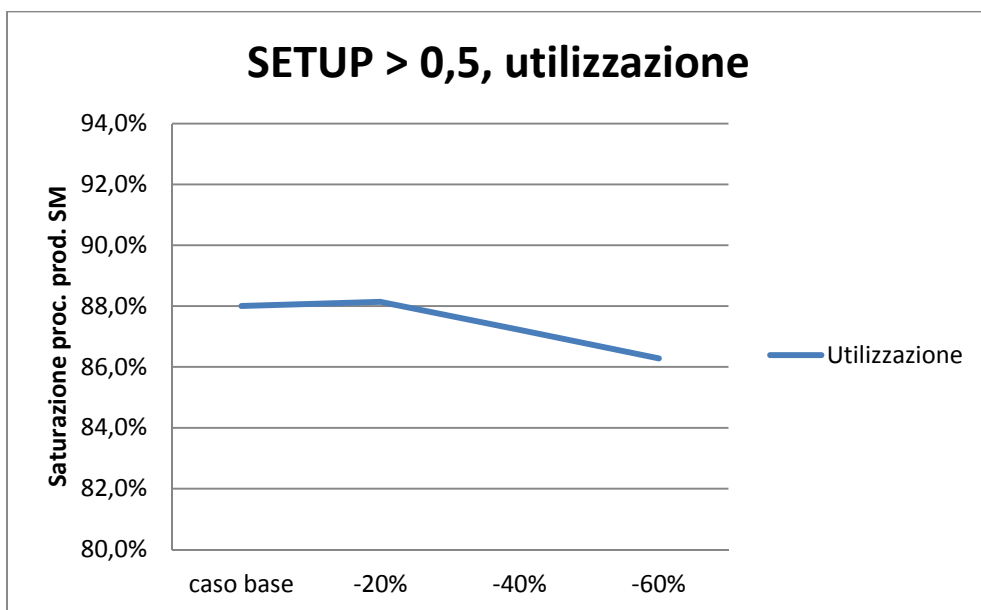


Figura 20: Grafico rappresentante l'utilizzazione al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup 0,5

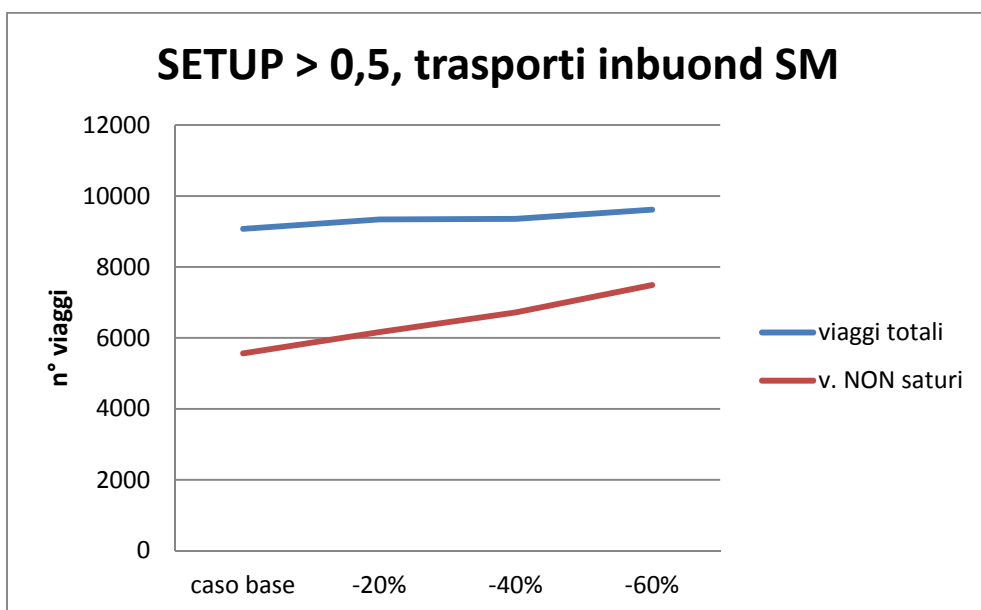


Figura 21: Grafico rappresentante l'andamento dei trasporti saturi e insaturi al variare della riduzione dei tempi di setup. Modello Setup > 0,5

---

## 8. Analisi dei risultati

- L'implementazione della logica kanban migliora le performances di una filiera, rispetto ad una gestione con il lotto economico?

Si, a livello qualitativo è possibile affermare che la logica kanban apporta dei miglioramenti in quanto garantisce una maggiore semplicità ed un maggior controllo dei processi lungo la supply chain: permette di fissare la quantità massima di work in process ad ogni stadio (il numero di cartellini identifica inequivocabilmente la quantità massima di wip); permette una maggiore semplicità nel monitoraggio della produzione, con un conseguente possibile decentramento di questo processo; permette di avere una SC direttamente tirata dalla domanda del cliente.

A livello quantitativo si ha una diminuzione del capitale circolante dovuto a semilavorati e prodotti finiti stoccati. I dati estrapolati dimostrano che il livello medio di scorte presenti lungo la filiera è minore adottando il sistema kanban piuttosto che la politica del lotto economico.

---

In particolare è possibile evidenziare due tendenze:

- La riduzione dei tempi di setup apporta un incremento dei benefici maggiore nella logica kanban rispetto alla logica del lotto economico.

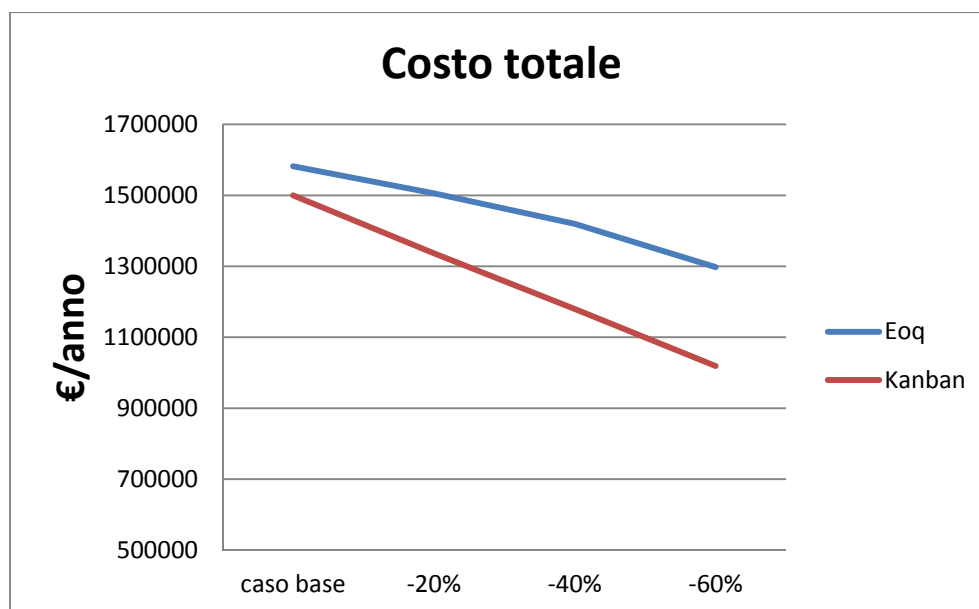


Figura 22: Confronto tra livelli di scorte tra Eoq e Kanban al variare della riduzione del tempo di setup

- Il rilascio graduale del vincolo di lotto minimo accresce i benefici assoluti ma l'incremento di questi benefici, apportato dalla riduzione dei tempi di setup, decresce.

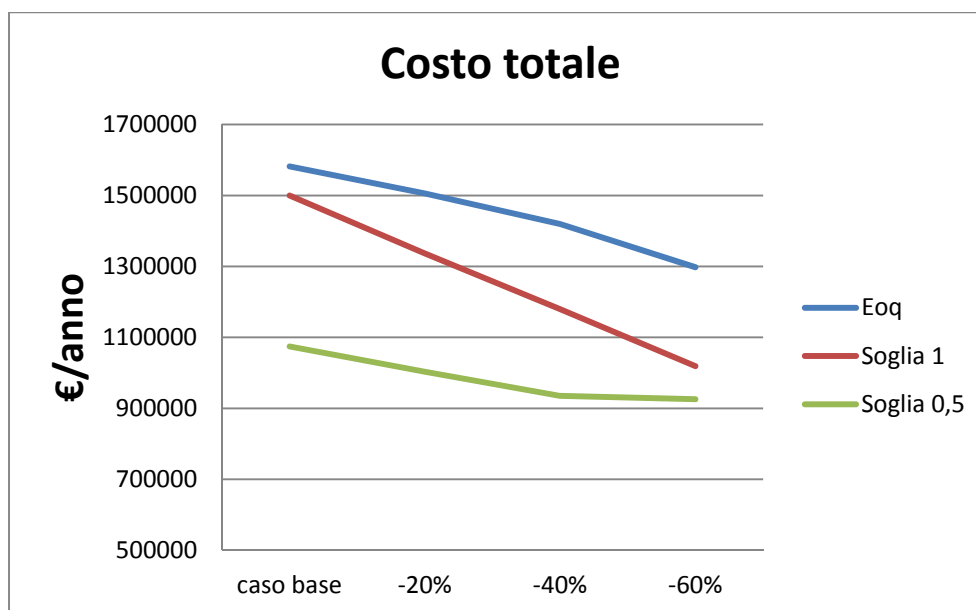


Figura 23 Confronto tra livelli di scorte tra Eoq e Kanban al variare della riduzione del tempo di setup e della soglia minima per il Modello Kanban

- I benefici economici apportati nella riduzione del costo delle scorte, compensano gli aggravii a livello logistico? Sotto quali condizioni?

Adottando il sistema kanban si manifesta un aggravio a livello logistico attraverso l'aumento del numero di viaggi necessari al trasporto dei materiali tra i nodi della supply chain. Questo aggravio è compensato dai benefici ottenuti nella gestione delle scorte. Tuttavia, il margine di manovra nell'adozione del sistema kanban risulta dipendente dall'incidenza del costo di trasporto in rapporto al valore del prodotto trasportato. In particolare si ha che una maggiore riduzione del tempo di setup permette un maggiore margine per l'implementazione del sistema kanban fino alla soglia di riduzione del 40%, dopodiché l'aggravio dei costi logistici diventa

meno sostenibile dal risparmio derivante dalla gestione delle scorte. Il grafico seguente evidenzia questo andamento, mostrando l'incidenza massima del costo logistico che rende profittevole il progetto kanban rispetto il lotto economico. Il valore percentuale riportato nella figura indica il costo di trasporto massimo accettabile rispetto al valore della merce.

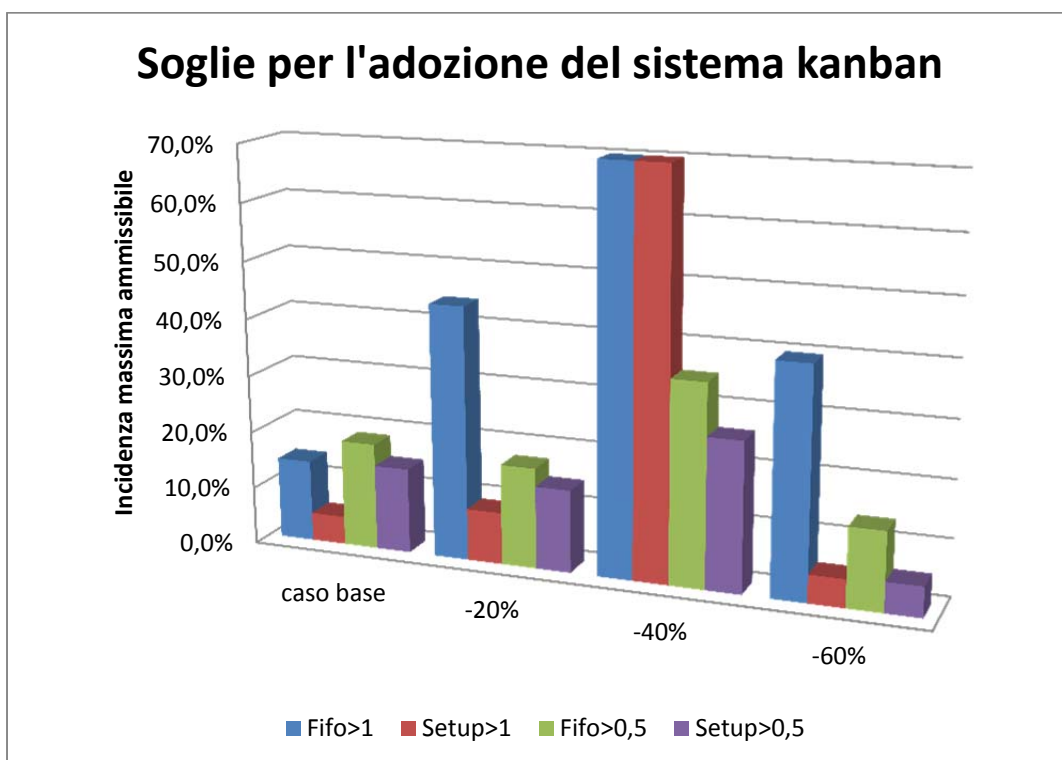


Figura 24: Grafico rappresentante le soglie massime di accettazione del progetto.

- 
- Che impatto presentano le diverse regole di gestione delle sequenze produttive?

L'elaborato ha messo a confronto due regole di dispatching:

la regola shortest setup e la regola fifo. A parità di condizioni la regola fifo risulta dominante rispetto alla regola shortest setup. Le aspettative a priori dei risultati della simulazione prevedevano che il modello shortest setup avesse delle performance migliori nei casi di assenza e di bassa riduzione del tempo di setup, mentre il modello con logica fifo dovesse essere preferito nei casi con una maggiore riduzione del tempo di setup. Questo non avviene perché il risparmio di tempo ottenuto tramite la regola shortest setup non è sufficiente ad ottenere dei benefici rispetto alla regola fifo, tuttavia questo potrebbe essere dovuto al fatto che la differenza tra changeover tra articoli della stessa famiglia rispetto a changeover tra prodotti appartenenti a famiglie differenti è, nei modelli analizzati, esigua.

---

## 9. Conclusioni

Attraverso questo lavoro è stato sviluppato un modello di simulazione che permette di replicare il comportamento di una supply chain gestita nei vari stadi tramite logiche eq o kanban-based.

Lo studio eseguito in questo elaborato sul modello prodotto ci porta a concludere che tutte le tesi proposte sono risultate corrette.

Il sistema kanban porta sia dei benefici sia degli aggravii rispetto ad un sistema gestito con il lotto economico, ma questi ultimi sono minori rispetto ai primi, quindi esso risulta meglio performante .

In ottica imprenditoriale, questo studio può essere di supporto nella proposta di implementazione del sistema kanban nell'azienda: evidenzia i benefici economici e i limiti raggiungibili da un progetto di questo tipo. Oltretutto, queste considerazioni di tipo quantitativo vanno affiancate alle valutazioni più qualitative dell'implementazione del sistema kanban: la limitazione del WIP lungo la filiera, la maggiore semplicità nel controllo della produzione, la gestione pull-oriented della domanda a valle.

La valutazione d'insieme che ne consegue è che l'implementazione del sistema kanban e più in generale della filosofia lean possono portare l'azienda ad essere più competitiva sul mercato migliorandone le performances interne.

---

## 10. Sviluppi futuri

Dal momento che questa tesi è stata impostata sullo studio di uno specifico contesto, ulteriori approfondimenti potrebbe essere sviluppati sfruttando la versatilità che il modello presenta:

- un approfondimento potrebbe essere testare la validità della predominanza della regola di dispatching FIFO rispetto alla regola shortest setup modificando i valori di tempo di setup, in particolare, riducendo il tempo di setup medio per prodotti all'interno della stessa famiglia in modo da marcare la differenza del tempo di setup medio occorrente nelle due regole di sequenziamento;
- Un ulteriore approfondimento potrebbe invece basarsi sulla diversa struttura logistica del modello: valutare le performance della supply chain al variare dei due parametri principali che regolano la gestione dei trasporti, tempo massimo di attesa di un prodotto e massimo carico trasportabile per un mezzo di trasporto, ed osservare le modifiche di configurazione della supply chain conseguenti;

le due precedenti linee di ricerca permetterebbero di avere una visione più completa delle possibili casistiche in cui implementare la filosofia lean. Le proposte che seguono invece sono più focalizzate sullo studio delle varianti interne al sistema kanban:

- Studiare la formazione delle code dei kanban sulla tabelliera usando diversi sistemi kanban oltre a quelli utilizzati nello studio di questo elaborato;
- Valutare la supply chain quantificando gli impatti che il sistema kanban ha sui processi aziendali amministrativi e di collegamento tra gli stadi della filiera.

---

## 11. Bibliografia

Aggarwal, S.C., 1985. MRP, JIT, OPT, FMS? Harvard Business Review 63 (5), 8–16.

Bekker, J. & Guittet-Remaud, S., 2012. Simulation in Supply Chains: An Arena basis. The South African Journal of Industrial Engineering, 11(2). Available at: <http://sajie.journals.ac.za/pub/article/view/360>.

Chen ,F. et al.. (2000). Quantifyng the Bullwhip effect in a Simple Supply Chain: the impact of Forecasting, Lead Times and Information. Management Science, Vol. 46(3), 436-44.

Christopher, M., 2005. Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding Networks. Prentice Hall,2-10.

Council of Logistics Management (CLM), 2000. What It's All About. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

Datta, P.P. & Christopher, M.G., 2011. Information sharing and coordination mechanisms for managing uncertainty in supply chains: a simulation study. International Journal of Production Research, 49(3), pp.765–803. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540903460216>

Davenport, T. H.: Process Innovation–Reengineering Work through Information Technology. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1993

---

Dixon, L. (1997), "When to think about JIT II", *Purchasing*, October 23, p. 25

Graves, R., Konopka, J.M., Milne, R.J., 1995. Literature review of material flow control mechanisms. *Production Planning and Control* 6 (5), 395–403.

Grunwald, H., Striekwold, P.E.T., Weeda, P.J., 1989. A framework for qualitative comparison of production control concepts. *International Journal of Production Research* 27(2), 281–292.

Jarrett, P.G., 2006. An analysis of international health care logistics: The benefits and implications of implementing just-in-time systems in the health care industry. *Leadership in Health Services*, 19(1), pp.1–10. Available at: <http://www.emeraldinsight.com/10.1108/13660750610643813>

Kelton, W.D., Sadowaski, R.P., and Sturrock, D.T., 2003. *Simulation with Arena*. 3e. Singapore: McGraw-Hill (Asia).

Lambert, D.M., Cooper, M.C., 2000. *Issues in Supply Chain Management*. Elsevier Science Inc.

Law, A.M. and Kelton, W.D., 2003. *Simulation modelling and analysis*. New York, Tata McGraw-Hill, 264–291.

Lee, H. et al., 2000. The Value of Information Sharing in a Two Level Supply Chain. *Management Science*, Vol. 46(5), 626–643.

---

Liker, J.K., 2004. *The Toyota Way: 14 Management Principles From the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, New York.

Liker J.K., Hoseus M., 2007. *Toyota Culture: The Heart and Soul of the Toyota Way*. McGraw-Hill, New York.

Moberg, C.R., Cutler, B.D., Gross, A., Speh, T.W., 2002. Identifying antecedents of information exchange within supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 32 (9), 755–770.

Monden, Y., 1984. *Toyota Production System*. Engineering & Management Press.

Muris Lage Junior, Moacir Godinho Filho, 2010. Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics* 125 (2010) 13–21

Ohno, T., 1982. The origin of Toyota production system and kanban system. In: *Proceedings of the International Conference on Productivity and Quality Improvement*, Tokyo.

Ohno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. Portland (OR).

Power, D.J., Sohal, A., Rahman, S.U., 2001. Critical success factors in agile supply chain management: an empirical study. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 31 (4), 247–265

---

Santa-eulalia, et al., 2008. Essay on Conceptual Modeling , Analysis and Illustration of Agent-Based Simulations for Distributed Supply Chain Planning., 46(2), pp.97–116.

Sianesi A., 2011, La gestione del sistema di produzione, ETAS, prima edizione, 552-562

Sipper, D., Bulfin Jr., R.L., 1997. Production: Planning, Control, and Integration. Mcgraw-Hill, New York.

Starr, M.K., 1988. Global Competitiveness: Getting the US Back on Track. W.W. Norton, New York.

Staudacher, A.P. and Bush, A., 2014. Analyzing the Impact of Lean Approach in Pharmaceutical Supply Chain, Springer Proceedings in Mathematics and Statistics, 61, pp.253-263

Suhong Li, S. Subba Rao, T.S. Ragu-Nathan , Bhanu Ragu-Nathan, 2005. Development and validation of a measurement instrument for studying supply chain management practices. Journal of Operations Management 23 (2005) 618–641.

Veen-Dirks, P.V., 2005. Management control and the production environment: a review. International Journal of Production Economics 93–94 (1), 263–272.

---

Wadhwa, S. et al., 2010. Effects of information transparency and cooperation on supply chain performance: a simulation study. *International Journal of Production Research*, 48(1), pp.145–166. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540802251617>

Womack J.P., Jones D.T., 1996. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Welth in Your Corporation*, Simon & Shuster, New York.

## Appendice A

Di seguito vengono riportati i dati risultanti dalla simulazione, in ottica di confronto tra tutte le varianti analizzate, sotto forma di tabelle e grafici corrispondenti.

<b>Giacenza Media</b>					
	<b>Eoq</b>	<b>Fifo&gt;1</b>	<b>Setup&gt;1</b>	<b>Fifo&gt;0,5</b>	<b>Setup&gt;0,5</b>
caso base	12098,2	11226,4	11649,6	6788,4	9345,2
-20%	11253,2	9529,6	10297,8	5976,6	8806,8
-40%	10231,4	7860,2	9552,2	5264,8	8360
-60%	9046,4	6201,2	8536,4	5085	7791,4

Tabella 15: Livello medio delle scorte

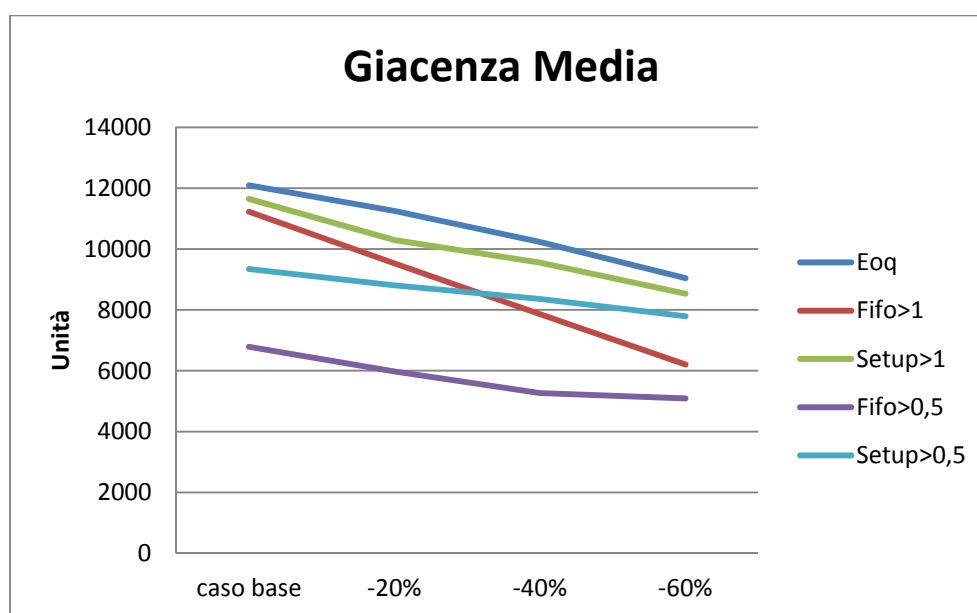
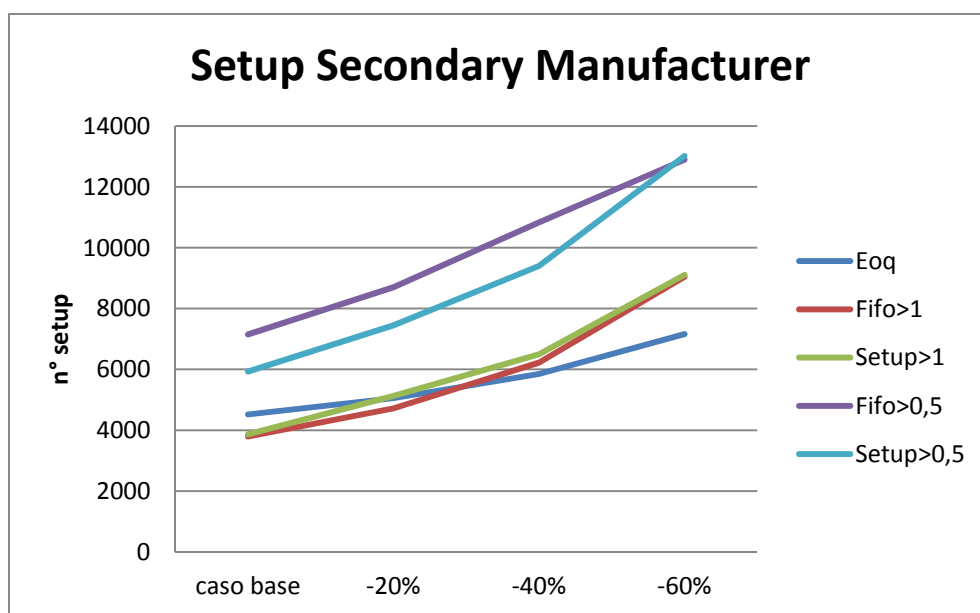


Figura 25: Livello medio delle scorte

<b>Numero di Setup</b>					
	<b>Eoq</b>	<b>Fifo&gt;1</b>	<b>Setup&gt;1</b>	<b>Fifo&gt;0,5</b>	<b>Setup&gt;0,5</b>
caso base	4519,8	3794,6	3864,4	7147,6	5927,6
-20%	5054,8	4716,4	5126,8	8702,4	7452,2
-40%	5848	6225,8	6497,6	10835	9401,6
-60%	7158,4	9042,6	9110	12893,8	13016,4

**Tabella 16: Numero di setup**



**Figura 26: Numero di setup**

<b>Saturazione</b>					
	<b>Eoq</b>	<b>Fifo&gt;1</b>	<b>Setup&gt;1</b>	<b>Fifo&gt;0,5</b>	<b>Setup&gt;0,5</b>
caso base	85,6%	83,8%	83,3%	92,4%	88,0%
-20%	84,5%	83,8%	83,9%	92,3%	88,1%
-40%	83,2%	83,9%	83,5%	91,3%	87,2%
-60%	81,6%	83,7%	82,8%	88,0%	86,3%

**Tabella 17: Tasso di saturazione**

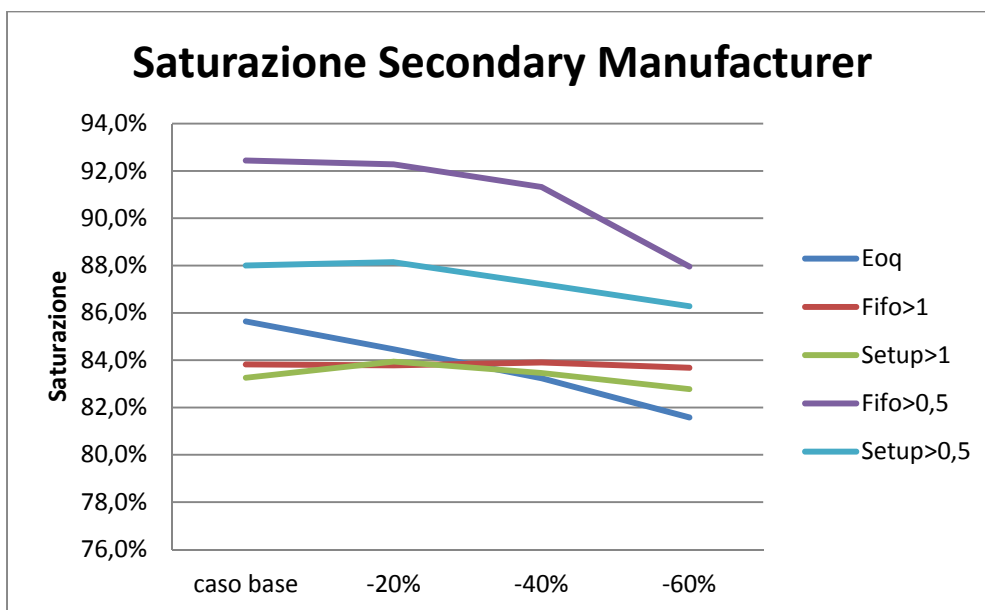


Figura 27: Tasso di saturazione

	Trasporti totali PM-SM				
	Eq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	9427,4	8601,2	8574,2	9308,2	9074,2
-20%	9181,4	8857,6	8833,2	9600,6	9340,8
-40%	8867,4	9111	9129	9802,8	9355,4
-60%	9340,8	9660,2	9383,4	9831,6	9616,8

Tabella 18: Trasporti totali PM-SM

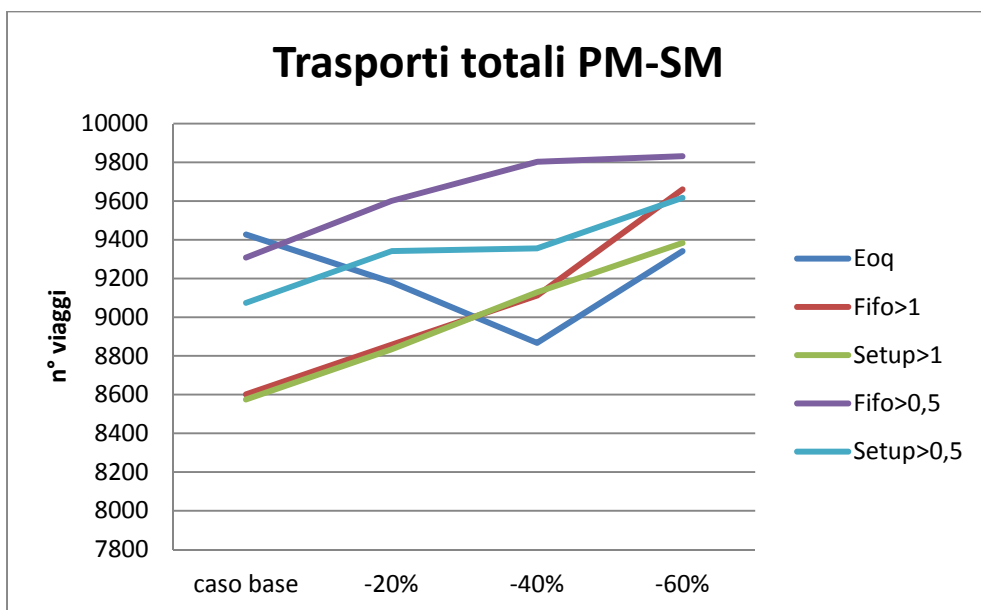
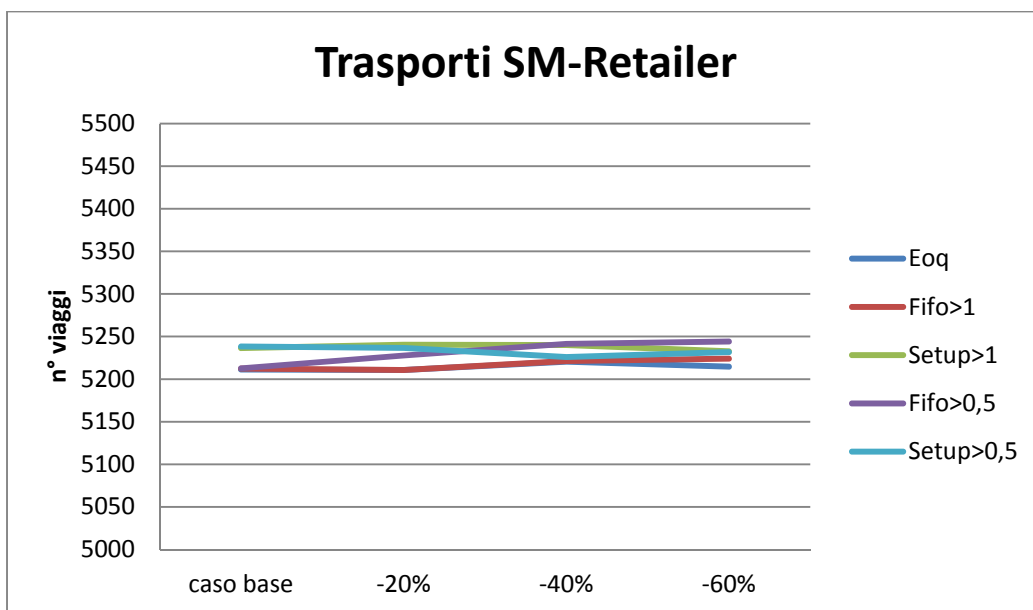


Figura 28: Trasporti totali PM-SM

	Trasporti SM-Retailer				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	5211,2	5212,4	5236,4	5212,6	5238,2
-20%	5210,6	5210,6	5240,4	5227,8	5236,6
-40%	5220,4	5221,2	5240	5241,4	5225,8
-60%	5214,6	5224	5232,6	5244	5231,6

Tabella 19: Trasporti SM-Retailer



**Figura 29: Trasporti SM-Retailer**

	Trasporti totali della SC				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	14638,6	13813,6	13810,6	14520,8	14312,4
-20%	14392	14068,2	14073,6	14828,4	14577,4
-40%	14087,8	14332,2	14369	15044,2	14581,2
-60%	14555,4	14884,2	14616	15075,6	14848,4

**Tabella 20: Trasporti totali della Supply Chain**

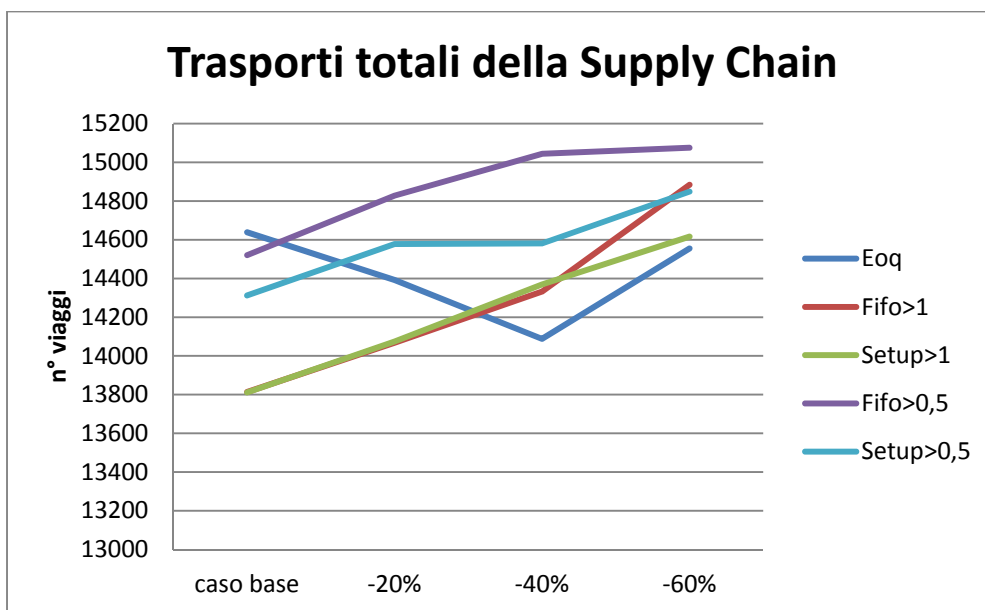


Figura 30: Trasporti totali della Supply Chain

	Trasporti insaturi PM-SM				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	5123,4	4622,8	4607	6388,8	5565,8
-20%	5406,4	5183,2	5357,4	6845,4	6165,4
-40%	5956,6	6006,4	5882,6	7434,2	6720,2
-60%	6221	6846,6	6606,8	7851,6	7491

Tabella 21: Trasporti insaturi PM-SM

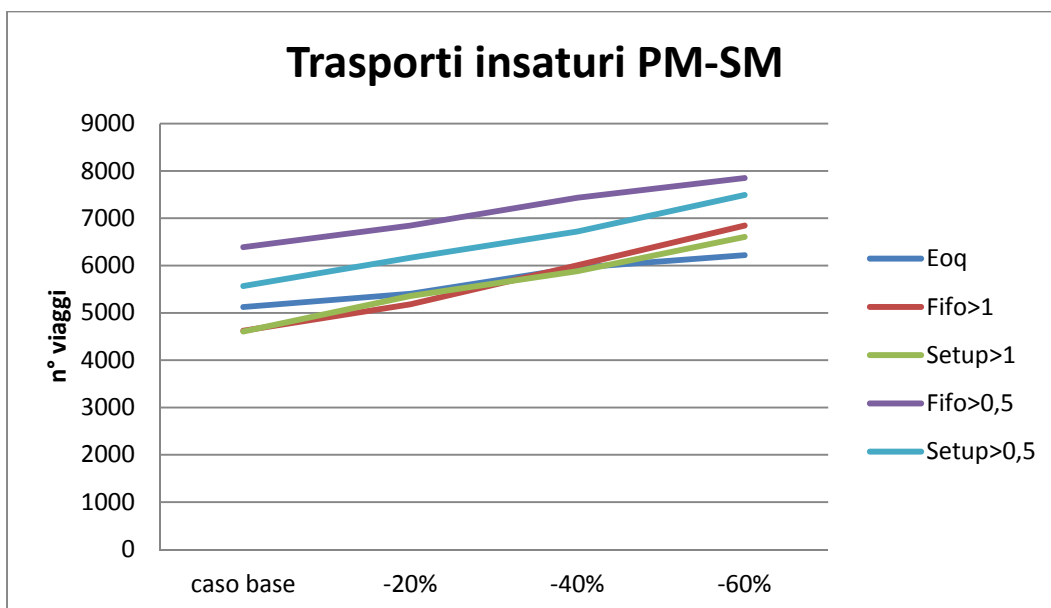


Figura 31: Trasporti insaturi PM-SM

	carico medio dei trasporti insaturi				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	26,52	39,79	41,18	53,84	46,47
-20%	39,60	44,74	49,56	55,62	50,44
-40%	58,15	52,90	51,11	58,14	58,03
-60%	50,60	52,89	56,19	62,91	62,58

Tabella 22: Carico medio dei trasporti insaturi

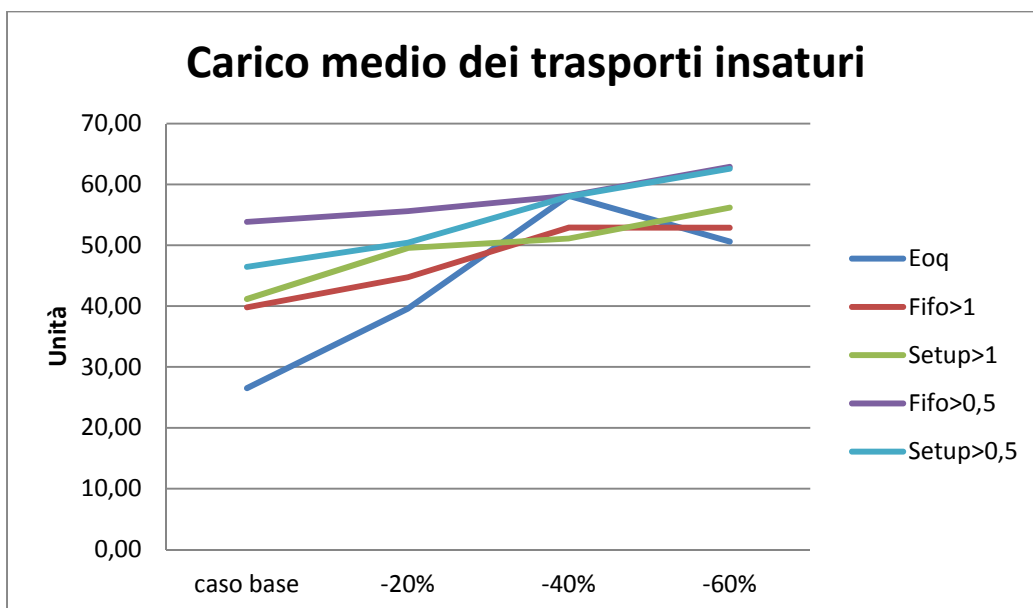


Figura 32: Carico medio dei trasporti insaturi

	Percentuale dei trasporti insaturi				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	54,3%	53,7%	53,7%	68,6%	61,3%
-20%	58,9%	58,5%	60,7%	71,3%	66,0%
-40%	67,2%	65,9%	64,4%	75,8%	71,8%
-60%	66,6%	70,9%	70,4%	79,9%	77,9%

Tabella 23: Percentuale dei trasporti insaturi

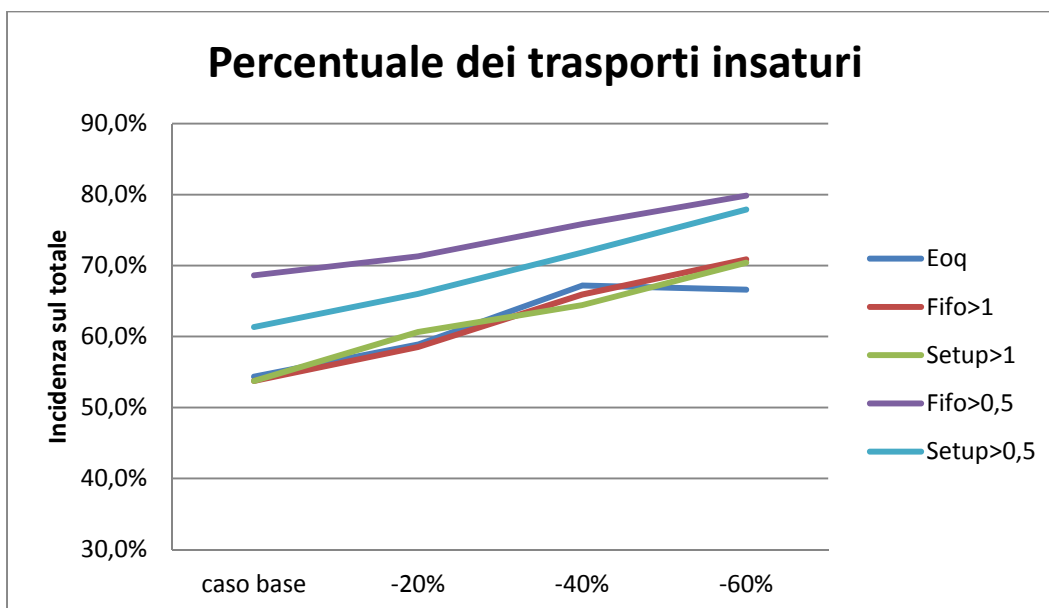


Figura 33: Percentuale dei trasporti insaturi

	% dei pezzi trasportati con viaggi insaturi				
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5
caso base	17,4%	23,6%	24,2%	38,6%	16,2%
-20%	27,5%	29,6%	33,8%	41,9%	20,7%
-40%	44,2%	40,6%	38,2%	49,3%	16,3%
-60%	40,2%	46,2%	47,1%	57,1%	37,1%

Tabella 24: Percentuale dei pezzi trasportati tramite viaggi insaturi rispetto ai pezzi totali trasportati

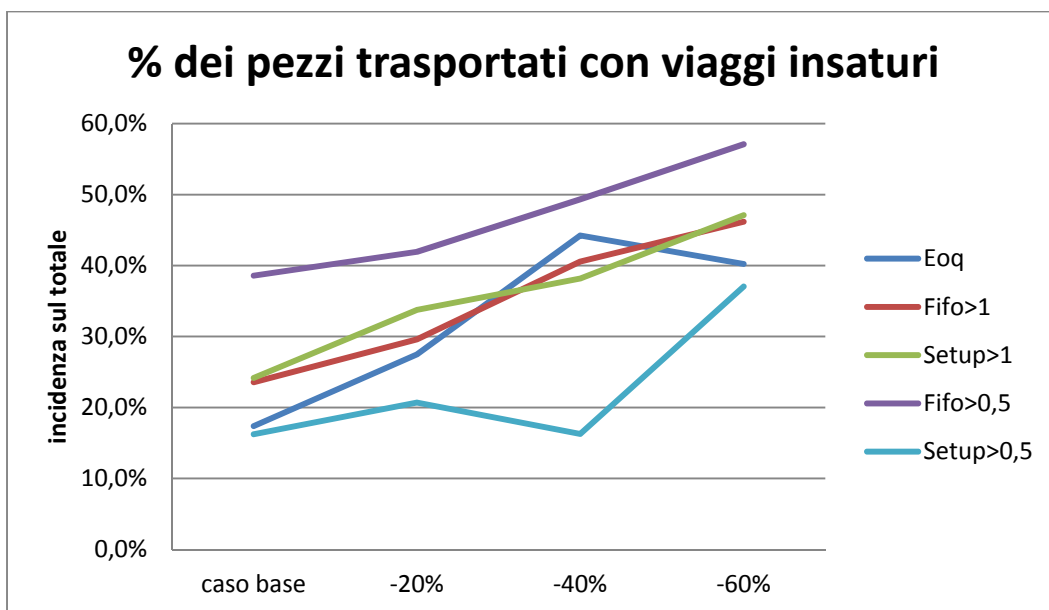


Figura 34: Percentuale dei pezzi trasportati tramite viaggi insaturi rispetto ai pezzi totali trasportati

	Lotto medio di produzione					
	Eoq	Fifo>1	Setup>1	Fifo>0,5	Setup>0,5 down	Setup>0,5 up
caso base	172,4	205,4	202,2	109,3	113,2	176,7
-20%	154,1	165,3	152,8	90,0	88,9	155,3
-40%	133,6	125,6	120,6	72,7	68,2	126,8
-60%	109,1	86,6	86,0	61,0	47,3	94,5

Tabella 25: Lotto medio di produzione

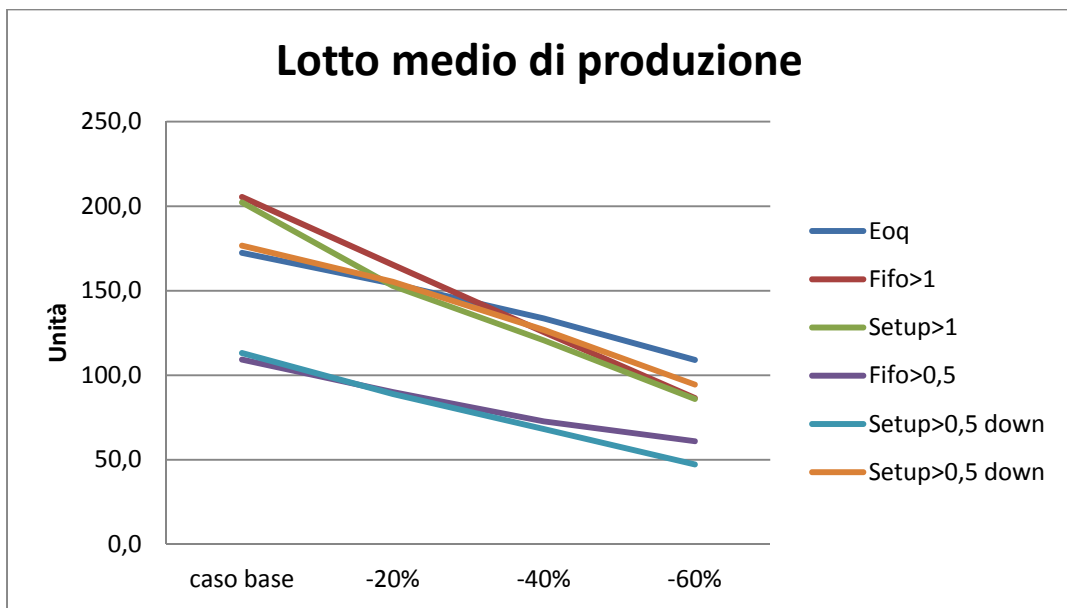


Figura 35: Lotto medio di produzione

---

## **Appendice B**

In seguito sono riportate delle tabelle riassuntive di possibili casistiche, che si differenziano per diversi valori unitari della merce, a cui è stato applicato applicato il sistema kanban.

valore del prodotto (€)	100	TAMS	20%
Costo trasporto saturo/pezzo (€)	8	maggiorazione insaturo	30%

<b>Eoq</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	
c.b.	629.854	172.342	802.196	241.964	1.044.160	-	-	
-20%	552.439	271.499	823.938	225.064	1.049.002	-0,5%	-0,5%	
-40%	425.971	439.273	865.243	204.628	1.069.871	-2,5%	-2,5%	
-60%	456.556	399.264	855.820	180.928	1.036.748	0,7%	0,7%	
<b>Fifo&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	582.205	233.297	815.502	224.528	1.040.030	-	0,4%	0,4%
-20%	537.717	294.120	831.837	190.592	1.022.429	1,7%	2,1%	2,5%
-40%	454.332	403.018	857.350	157.204	1.014.554	2,4%	2,8%	5,2%
-60%	411.746	459.261	871.007	124.024	995.031	4,3%	4,7%	4,0%
<b>Setup&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	580.566	240.613	821.179	232.992	1.054.171	-	-1,0%	-1,0%
-20%	508.654	336.765	845.419	205.956	1.051.375	0,3%	-0,7%	-0,2%
-40%	475.083	381.336	856.419	191.044	1.047.463	0,6%	-0,3%	2,1%
-60%	406.332	470.819	877.151	170.728	1.047.879	0,6%	-0,4%	-1,1%
<b>Fifo&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	427.229	436.294	863.523	135.768	999.291	-	4,3%	4,3%
-20%	403.200	482.864	886.064	119.532	1.005.596	-0,6%	3,7%	4,1%
-40%	346.624	548.175	894.800	105.296	1.000.096	-0,1%	4,2%	6,5%
-60%	289.756	626.428	916.185	101.700	1.017.885	-1,9%	2,5%	1,8%
<b>Setup&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	513.424	328.019	841.443	186.904	1.028.347	-	1,5%	1,5%
-20%	464.693	394.432	859.125	176.136	1.035.261	-0,7%	0,9%	1,3%
-40%	385.639	494.615	880.254	167.200	1.047.454	-1,9%	-0,3%	2,1%
-60%	311.093	594.580	905.673	155.828	1.061.501	-3,2%	-1,7%	-2,4%

Tabella 26: Sintesi, esempio con valore della merce 100 €

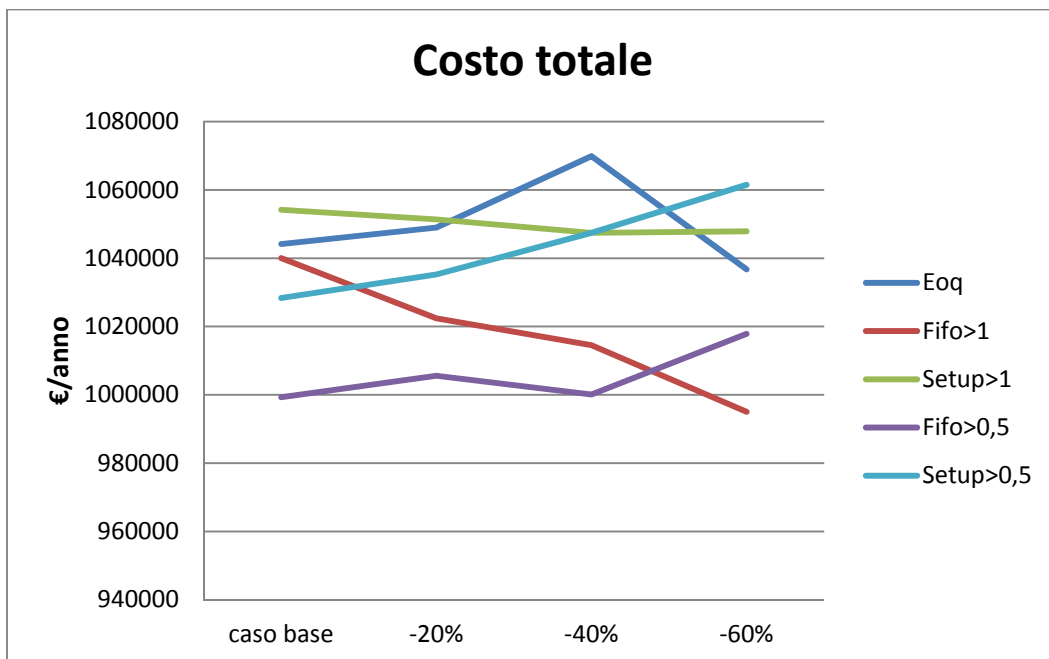


Figura 36: Costo totale, esempio con valore della merce 100 €

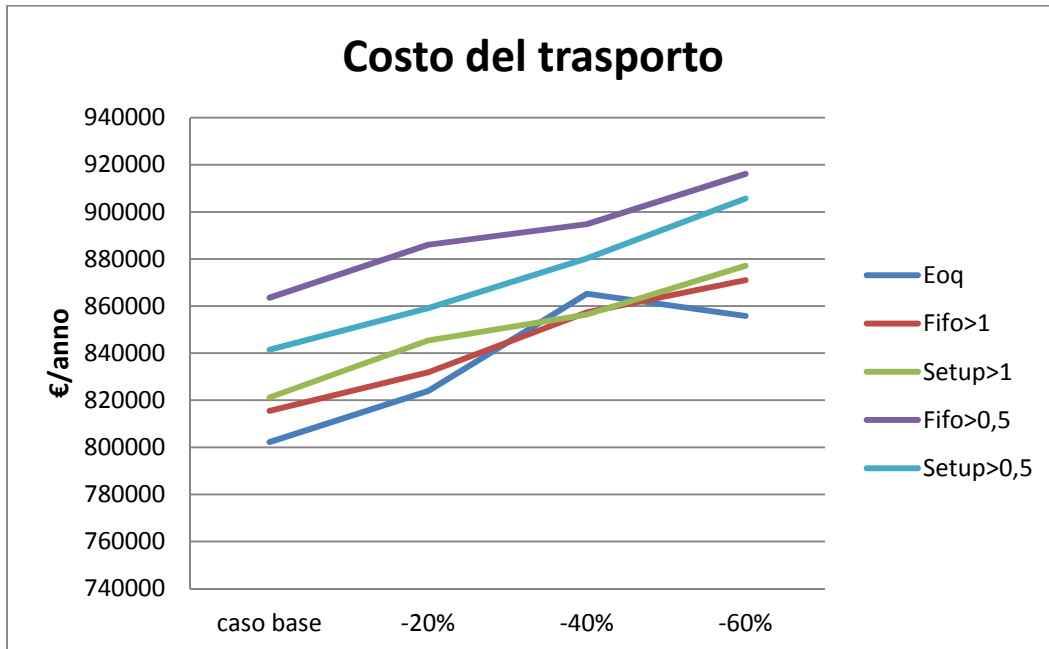


Figura 37: Costo del trasporto, esempio con valore della merce 100 €

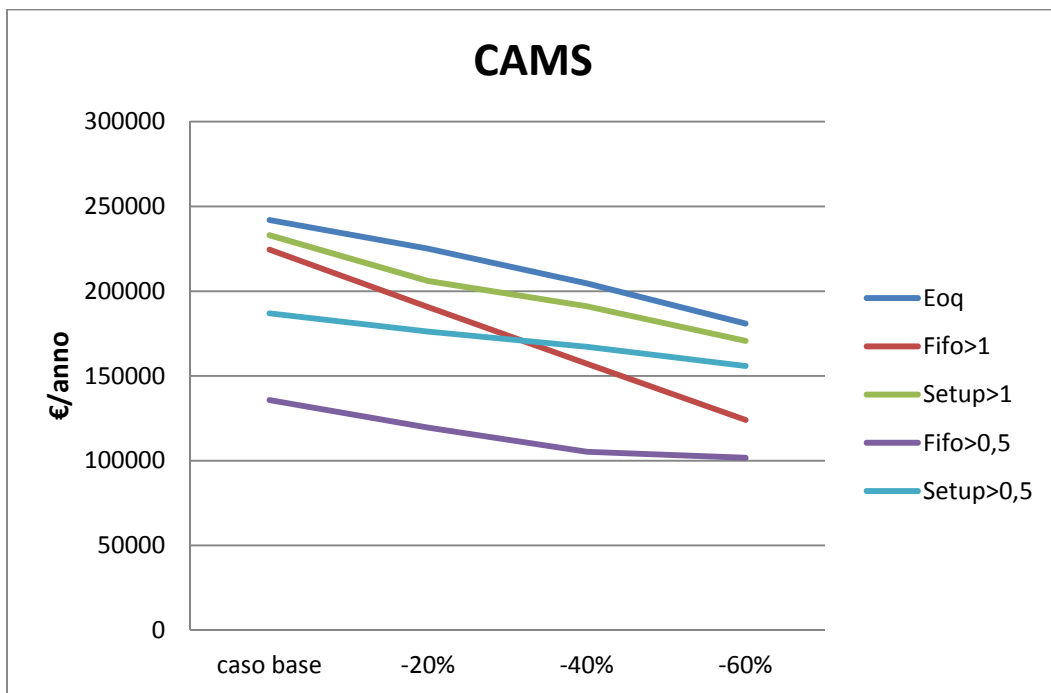


Figura 38: Costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 100 €

valore del prodotto (€)	200	TAMS	20%
Costo trasporto saturo/pezzo (€)	8	maggiorazione insaturo	30%

<b>Eoq</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	
c.b.	629.854	172.342	802.196	483.928	1.286.124	-	-	
-20%	552.439	271.499	823.938	450.128	1.274.066	0,9%	0,9%	
-40%	425.971	439.273	865.243	409.256	1.274.499	0,9%	0,9%	
-60%	456.556	399.264	855.820	361.856	1.217.676	5,3%	5,3%	
<b>Fifo&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	582.205	233.297	815.502	449.056	1.264.558	-	1,7%	1,7%
-20%	537.717	294.120	831.837	381.184	1.213.021	4,1%	5,7%	4,8%
-40%	454.332	403.018	857.350	314.408	1.171.758	7,3%	8,9%	8,1%
-60%	411.746	459.261	871.007	248.048	1.119.055	11,5%	13,0%	8,1%
<b>Setup&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	580.566	240.613	821.179	465.984	1.287.163	-	-0,1%	-0,1%
-20%	508.654	336.765	845.419	411.912	1.257.331	2,3%	2,2%	1,3%
-40%	475.083	381.336	856.419	382.088	1.238.507	3,8%	3,7%	2,8%
-60%	406.332	470.819	877.151	341.456	1.218.607	5,3%	5,2%	-0,1%
<b>Fifo&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	427.229	436.294	863.523	271.536	1.135.059	-	11,7%	11,7%
-20%	403.200	482.864	886.064	239.064	1.125.128	0,9%	12,5%	11,7%
-40%	346.624	548.175	894.800	210.592	1.105.392	2,6%	14,1%	13,3%
-60%	289.756	626.428	916.185	203.400	1.119.585	1,4%	12,9%	8,1%
<b>Setup&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	513.424	328.019	841.443	373.808	1.215.251	-	5,5%	5,5%
-20%	464.693	394.432	859.125	352.272	1.211.397	0,3%	5,8%	4,9%
-40%	385.639	494.615	880.254	334.400	1.214.654	0,0%	5,6%	4,7%
-60%	311.093	594.580	905.673	311.656	1.217.329	-0,2%	5,3%	0,0%

Tabella 27: Sintesi, esempio con valore della merce 200 €

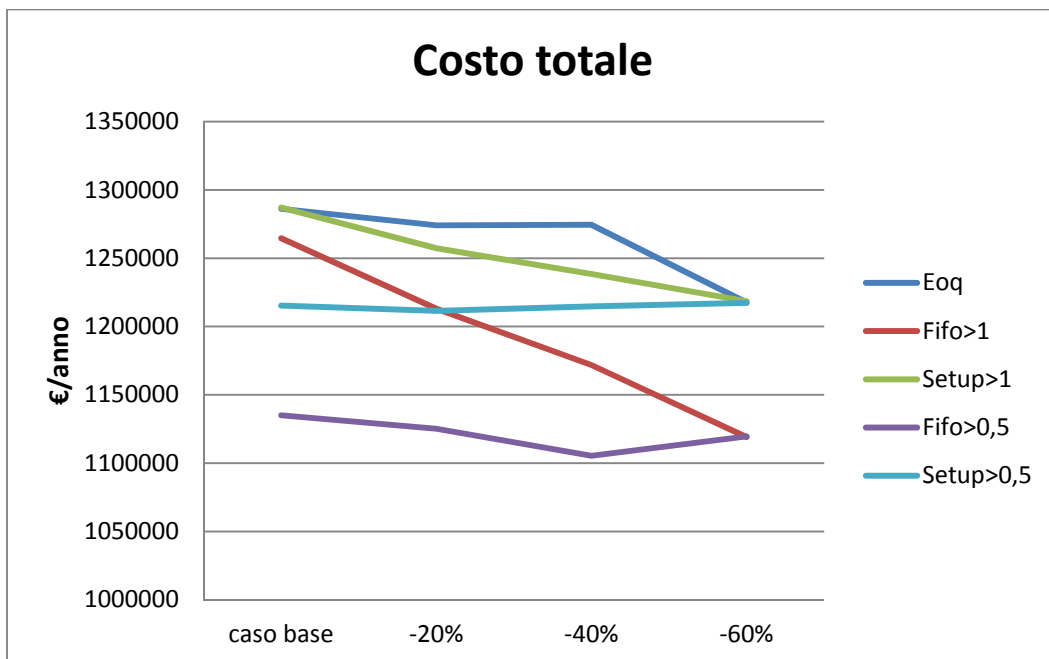


Figura 39: Costo totale, esempio con valore della merce 200 €

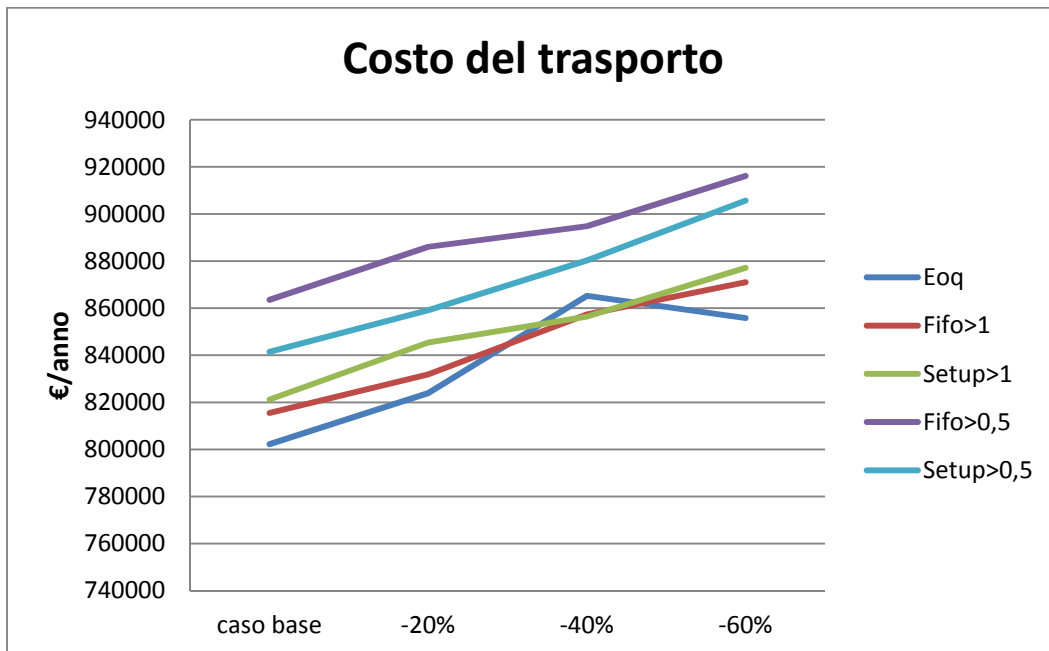


Figura 40: Costo del trasporto, esempio con valore della merce 200 €

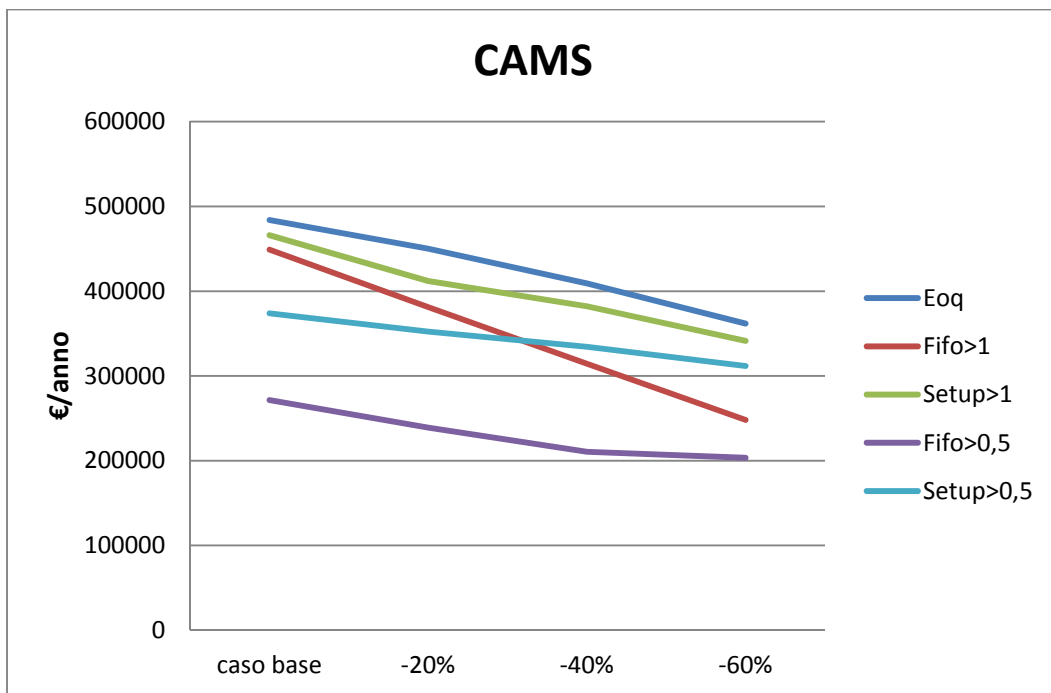


Figura 41: Costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 200 €

valore del prodotto (€)	500	TAMS	20%
Costo traposto saturo/pezzo (€)	8	maggiorazione insaturo	30%

<b>Eq</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eq	
c.b.	629.854	172.342	802.196	1.209.820	2.012.016			
-20%	552.439	271.499	823.938	1.125.320	1.949.258	3,1%	3,1%	
-40%	425.971	439.273	865.243	1.023.140	1.888.383	6,1%	6,1%	
-60%	456.556	399.264	855.820	904.640	1.760.460	12,5%	12,5%	
<b>Fifo&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eq	rid eq
c.b.	582.205	233.297	815.502	1.122.640	1.938.142		3,7%	3,7%
-20%	537.717	294.120	831.837	952.960	1.784.797	7,9%	11,3%	8,4%
-40%	454.332	403.018	857.350	786.020	1.643.370	15,2%	18,3%	13,0%
-60%	411.746	459.261	871.007	620.120	1.491.127	23,1%	25,9%	15,3%
<b>Setup&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eq	rid eq
c.b.	580.566	240.613	821.179	1.164.960	1.986.139		1,3%	1,3%
-20%	508.654	336.765	845.419	1.029.780	1.875.199	5,6%	6,8%	3,8%
-40%	475.083	381.336	856.419	955.220	1.811.639	8,8%	10,0%	4,1%
-60%	406.332	470.819	877.151	853.640	1.730.791	12,9%	14,0%	1,7%
<b>Fifo&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eq	rid eq
c.b.	427.229	436.294	863.523	678.840	1.542.363		23,3%	23,3%
-20%	403.200	482.864	886.064	597.660	1.483.724	3,8%	26,3%	23,9%
-40%	346.624	548.175	894.800	526.480	1.421.280	7,9%	29,4%	24,7%
-60%	289.756	626.428	916.185	508.500	1.424.685	7,6%	29,2%	19,1%
<b>Setup&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eq	rid eq
c.b.	513.424	328.019	841.443	934.520	1.775.963		11,7%	11,7%
-20%	464.693	394.432	859.125	880.680	1.739.805	2,0%	13,5%	10,7%
-40%	385.639	494.615	880.254	836.000	1.716.254	3,4%	14,7%	9,1%
-60%	311.093	594.580	905.673	779.140	1.684.813	5,1%	16,3%	4,3%

Tabella 28: Sintesi, esempio con valore della merce 500 €

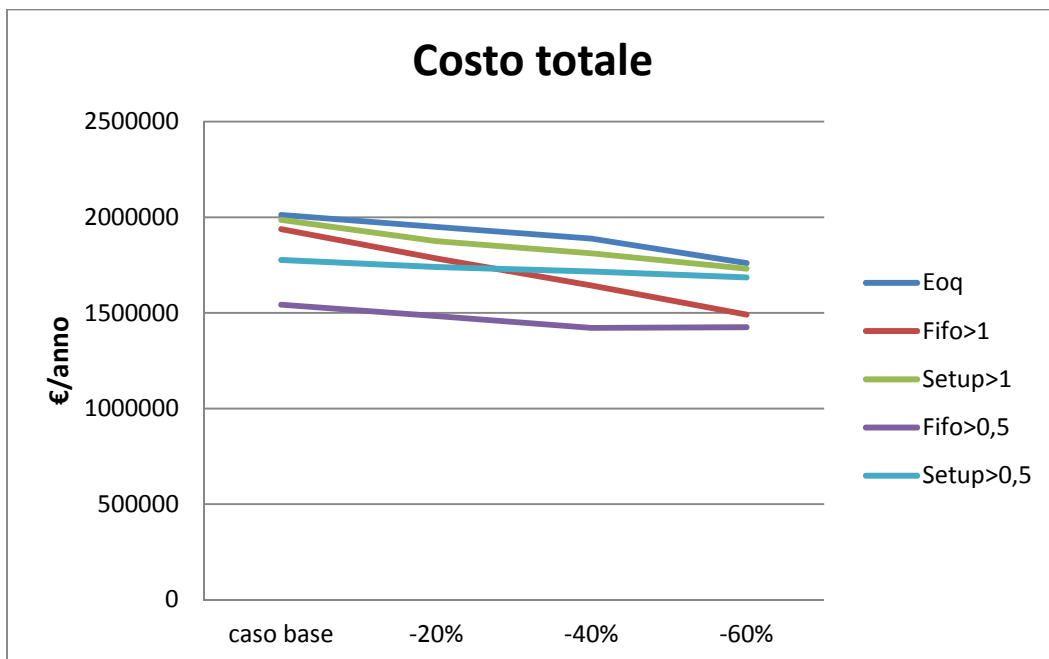


Figura 42: Costo totale, esempio con valore della merce 500 €

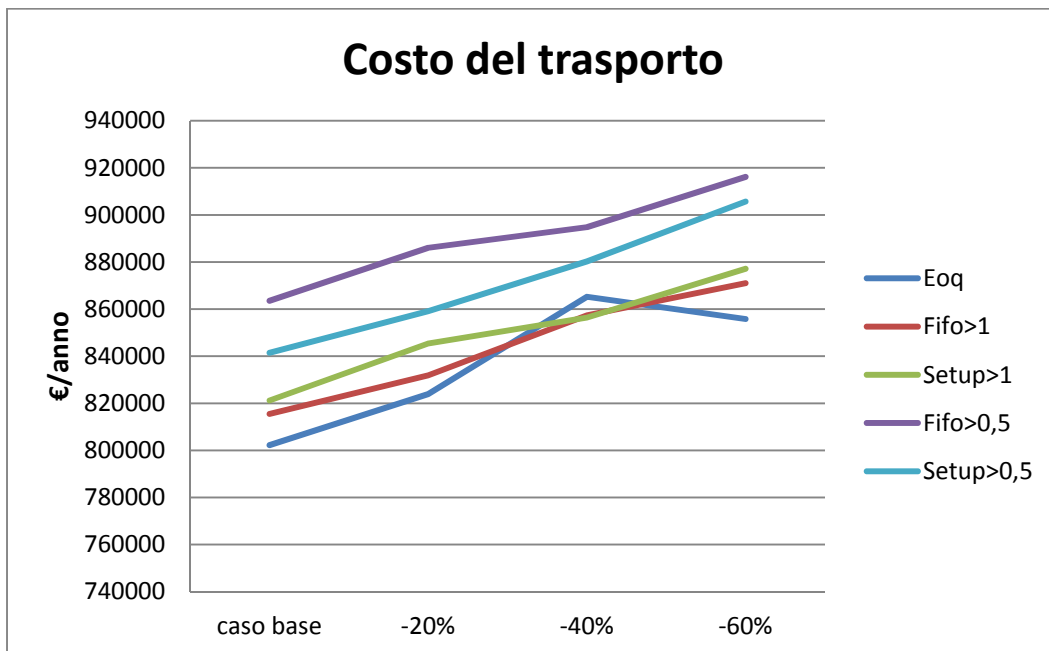


Figura 43: Costo del trasporto, esempio con valore della merce 500 €

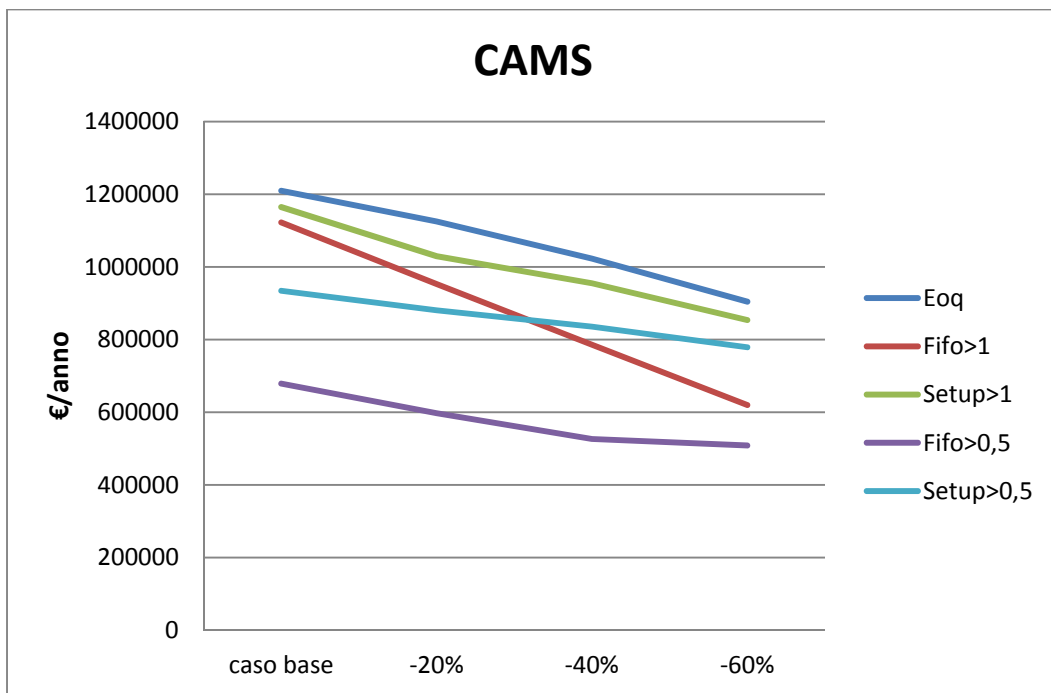


Figura 44: Costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 500 €

valore del prodotto (€)	1000	TAMS	20%
Costo traposto saturo/pezzo (€)	8	maggiorazione insaturo	30%

<b>Eoq</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	
c.b.	629.854	172.342	802.196	2.419.640	3.221.836			
-20%	552.439	271.499	823.938	2.250.640	3.074.578	4,6%	4,6%	
-40%	425.971	439.273	865.243	2.046.280	2.911.523	9,6%	9,6%	
-60%	456.556	399.264	855.820	1.809.280	2.665.100	17,3%	17,3%	
<b>Fifo&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	582.205	233.297	815.502	2.245.280	3.060.782		5,0%	5,0%
-20%	537.717	294.120	831.837	1.905.920	2.737.757	10,6%	15,0%	11,0%
-40%	454.332	403.018	857.350	1.572.040	2.429.390	20,6%	24,6%	16,6%
-60%	411.746	459.261	871.007	1.240.240	2.111.247	31,0%	34,5%	20,8%
<b>Setup&gt;1</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	580.566	240.613	821.179	2.329.920	3.151.099		2,2%	2,2%
-20%	508.654	336.765	845.419	2.059.560	2.904.979	7,8%	9,8%	5,5%
-40%	475.083	381.336	856.419	1.910.440	2.766.859	12,2%	14,1%	5,0%
-60%	406.332	470.819	877.151	1.707.280	2.584.431	18,0%	19,8%	3,0%
<b>Fifo&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	427.229	436.294	863.523	1.357.680	2.221.203		31,1%	31,1%
-20%	403.200	482.864	886.064	1.195.320	2.081.384	6,3%	35,4%	32,3%
-40%	346.624	548.175	894.800	1.052.960	1.947.760	12,3%	39,5%	33,1%
-60%	289.756	626.428	916.185	1.017.000	1.933.185	13,0%	40,0%	27,5%
<b>Setup&gt;0,5</b>								
€/anno	C.tr. Saturi	C.tr. Insaturi	Tot. Trasporto	CAMS	C. totale anno	cb	cb eoq	rid eoq
c.b.	513.424	328.019	841.443	1.869.040	2.710.483		15,9%	15,9%
-20%	464.693	394.432	859.125	1.761.360	2.620.485	3,3%	18,7%	14,8%
-40%	385.639	494.615	880.254	1.672.000	2.552.254	5,8%	20,8%	12,3%
-60%	311.093	594.580	905.673	1.558.280	2.463.953	9,1%	23,5%	7,5%

Tabella 29: Sintesi, esempio con valore della merce 1000 €

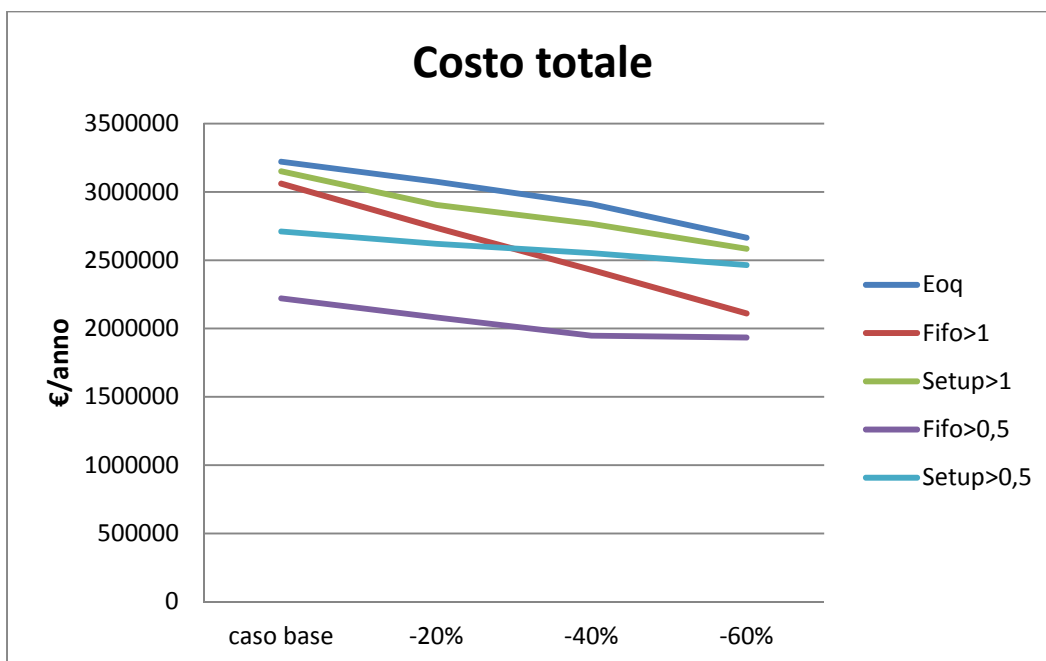


Figura 45: Costo totale, esempio con valore della merce 1000 €

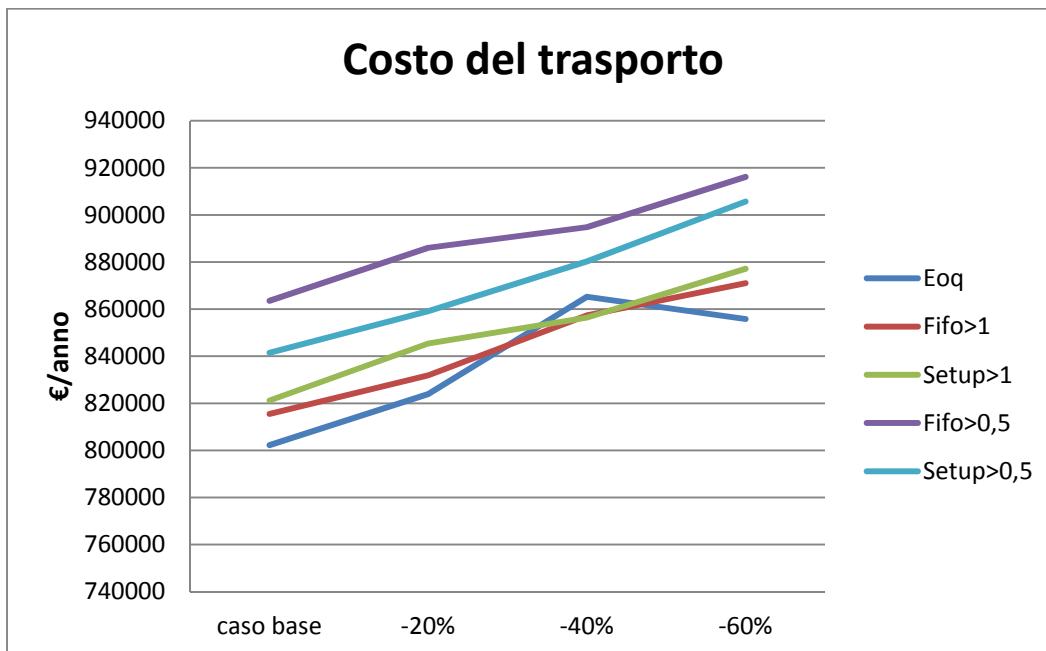


Figura 46: Costo del trasporto, esempio con valore della merce 1000 €

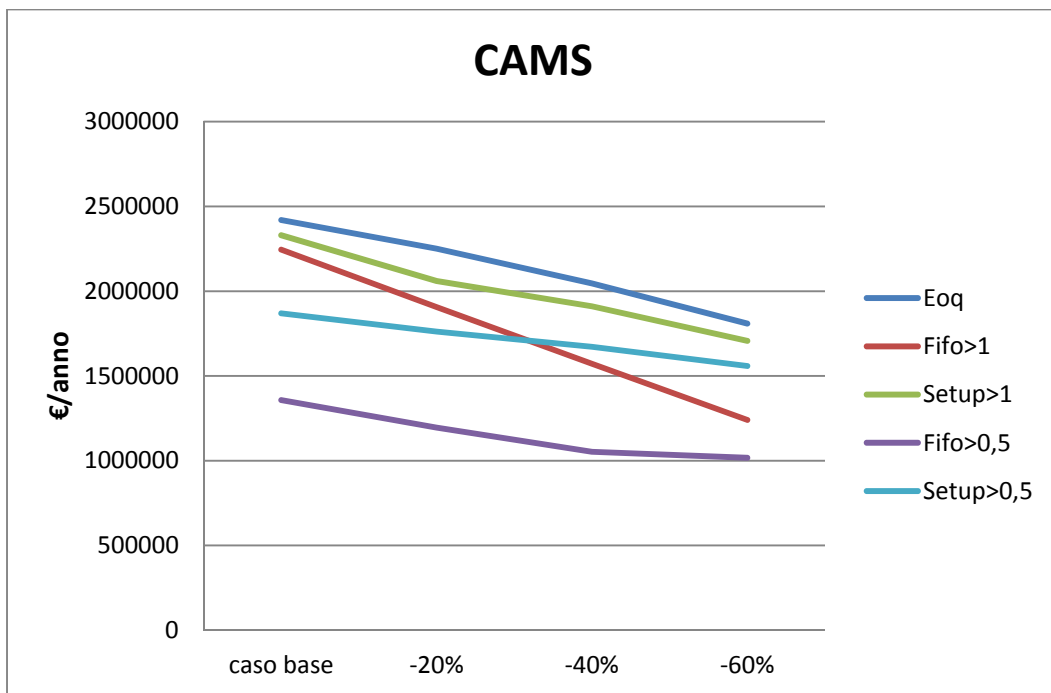


Figura 47: Costo annuo mantenimento a scorta, esempio con valore della merce 1000 €

---

## Ringraziamenti

Un ringraziamento sentito e doveroso al Professore Alberto Portioli Staudacher, per la disponibilità mostrata nei nostri confronti, giorni lavorativi e non, per il supporto costruttivo nel redigere questo elaborato, per le competenze che ha messo a nostra disposizione e per il costante aiuto che ci ha fornito durante questi mesi di lavoro.

Ringraziamo inoltre Alice Bush per averci introdotto in questo lavoro e seguito e spinto nelle fasi iniziali, Shanty Yuliana per averci fornito la base del modello che poi abbiamo utilizzato per raccogliere i dati del nostro lavoro.

Ringraziamo la bellissima compagnia dei nostri compagni, amici, soci di università: ci hanno fatto vivere in allegria questi anni di scuola, tra partite a carte, risate e ansie. Sarà ciò che più ci mancherà del Polimi.

Passiamo ora ai ringraziamenti personali:

*“Per prima cosa ringrazio la mia famiglia ed in particolare i miei genitori, i quali mi hanno permesso di compiere l'intero percorso di studi senza pressioni ma con un sostegno silenzioso e prezioso. La zia Mary per la felicità dimostratami ad ogni esame passato (e la conseguente generosità!).*

*Non potendo ringraziare ad uno ad uno tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni (pena una tesi eccedente le 150 pagine concesse) preferisco fermarmi qui, non prima però di aver ringraziato il mio amico, compagno di banco, di scuole, di tesi, di infanzia, di giochi, di serate, Matteo Rossini. Per questo devo ringraziare le maestre che ci hanno resi compagni di banco il primo giorno di scuola elementare (nonostante all'asilo non andassimo molto d'accordo!!), anche se ovviamente dopo una settimana sono state costrette a separarci a causa del troppo casino.*

---

*Ora, visto che al liceo l'italiano non era proprio il mio forte (come del resto non lo era neanche per il mio compagno di tesi), mi fermo qui: Grazie Mat!"*

*Antonio*

*"Cinque anni sono tanto tempo a pensarci, ma sono volati in un baleno. E' stata una bellissima esperienza. Voglio ringraziare per prima la mia famiglia: i miei due fratelloni, Ale e Albi, che tante volte ho preso, e prenderò, da modello e i miei genitori che mi han permesso di godermi appieno questa esperienza e, nei momenti più critici, mi sono stati sempre di supporto e di incoraggiamento. Spero di cuore che questa laurea possa renderli orgogliosi di me. Ringrazio Fede, la mia ragazza, che soprattutto in questi ultimi mesi ha sopportato le mie tensioni e i nervosismi, motivandomi nel migliorarmi. Per ultimo nell'ordine, ma non per importanza, ringrazio il mio compagno di tesi, o forse meglio di avventura, Antonio Franzosi. Un'avventura iniziata tanti anni fa, quando, per caso o per segno del destino, arrivai tardi al primo giorno di scuola della prima elementare e l'unico banco libero rimasto era quello affianco al suo. Da allora abbiamo condiviso tanto, moltissimo, e per capire quanto sia stato importante basti pensare che per essere assunto al lavoro avevo l'obbligo di completare la laurea entro questa sessione e senza il suo aiuto non ci sarei mai riuscito. Questo lavoro è stata una corsa contro il tempo, ma anche se siamo giunti al termine so che non sarà la fine di un rapporto, ma solo l'inizio della prossima avventura. Grazie di tutto."*

*Matteo*