

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Scienze Economiche e Statistiche
Scuola di Dottorato "Antonio Genovesi"



Tesi di Dottorato in
"Ingegneria ed Economia dell'Innovazione"

***La Reverse Logistics nell'industria manifatturiera:
l'impatto dei processi di recovery sulla formulazione dei
piani di produzione e di approvvigionamento.***

Cordinatore:
Ch.ma Prof. Alessandra Amendola

Candidato:
Dott. Francesco Ventura
matr. 8883100018

Tutor:
Ch.mo Prof. Stefano Riemma

A.A. 2013-2014

Ciclo XIII N.S.

Sommario

<i>Introduzione e Nota Metodologica</i>	6
CAPITOLO 1	9
1. La Closed Loop Supply Chain	9
2. Prime considerazioni in materia di Reverse Logistics.....	14
2.1) Reverse Logistics: Le definizioni presenti in letteratura.....	16
3. La misurazione delle performance nei processi di Reverse Logistics	22
4. I caratteri fondanti della Reverse Logistics	24
4.1 I fattori economici	25
4.2. I fattori legislativi	26
4.3 I fattori ambientali	27
5 Le barriere all'implementazione di una strategia di Reverse Logistics	28
6. Le opzioni di Product Recovery	31
6.1 Il Product Recovery all'interno della Programmazione della Produzione: MRP & Scheduling	34
6.2 Le diverse opzioni di recovery	36
7 La cannibalizzazione del prodotto nell'ambito del Product Recovery	40
8 I soggetti attori della Reverse Logistics	41
9 La Reverse Distribution.....	42
Conclusioni	44
CAPITOLO 2	46
2.1 Review della Letteratura in materia di RL: Introduzione	46
2.2. Review della Letteratura in materia di RL: Strategic Issues	47
2.2.1 Network Design: Analisi della Letteratura	47
2.2.2. Facility Location Issues: Analisi della Letteratura esistente.....	55
2.2.3. IT issues: review della letteratura esistente	55
2.3 Review della letteratura in materia di RL: Planning & Control	57
2.3.1.:Forecasting: Review della Letteratura.....	57
2.3.2. Inventory Management: Review della letteratura.....	58
2.5 Pianificazione della Produzione: Review della Letteratura	64
3. Il processo di Disassembly: Definizione	68
4. Conclusioni & modelli 2013	71
Capitolo 3.....	77

3.1 Problem Description	77
3.2 Simulation Model	81
3.3 Il Sistema MRPR.....	87
Conclusioni	92
Capitolo 4	93
4.1 Descrizione Piano Sperimentale	93
4.2.: Analisi Statistica.....	97
4.3 Conclusioni.....	103
BIBLIOGRAFIA.....	104

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 : Struttura Generica di Closed Loop Supply Chain Tratto da Pochampally-Nukala-Gupta "Strategic Planning Models for Reverse and Closed Loop Supply Chains" CRC Press	10
Figura 2 Tratto da Abdulrahman, M.D., et al., Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors, Internationa Journal of production Economics (2012)	30
Figura 3: Tratto da Kwok Hung Lau, Yiming Wang, (2009),"Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study", Supply Chain Management: An International Journal	36
Figura 4: Struttura di un processo di Reverse Logistics tratto da Lambert-Riopel-Abdul-Kader "A reverse logistics decisions conceptual framework" Computers & Industrial Engineering (2011)	43
Figura 5: Il processo di Ricondizionamento tratto da Lambert-Riopel-Abdul-Kader "Areverse logistics decisions conceptual framework" Computers & Industrial Engineering (2011)	44
Figura 6: Problematiche Inerenti alla RL tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013	47
Figura 7 Esplosione Strategic Issues tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013	47
Figura 8 Esplosione della fase di Planning & Control tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013.....	57
Figura 9 Esplosione dell'Inventory management tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013	58
Figura 10:Nostra elaborazione del processo di disassemblaggio	81
Figura 11: Sezione d'ingresso del modello Arena	82
Figura 12: Distribuzione Esponenziale ns elaborazione.....	83
Figura 13: Disassembly Process modellato su Arena	83
Figura 14: Possibili accoppiamenti tratti da Das S.K. & Naik S. "Process Planning for product disassembly" Int.J.Prod.Res. 2002, Vol.40, no.6, 1335-1355	85
Figura 15: Modello Arena Smaltimento	85
Figura 16: Modello Arena Recupero	86
Figura 17:Esempio Distinta Base flat	87
Figura 18: Esempio Distinta Base Strutturata	88
Figura 19: Box Plot di confronto DB vs Recovery Plan: effetti sul risparmio	97
Figura 20: Q-Q Plot Residui.....	98
Figura 21: Grafico Residuals vs Fitted	99

Figura 22: Grafico Scale-Location	99
Figura 23: Box Plot di confronto DB vs Dis.Time.Mean: effetti sul risparmio	101
Figura 24: Costant Leverage: Residuals vs Factor Levels.....	102

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Rivisitazione della letteratura in maniera di Reverse Logistics. Rielaborazione tratta da I.Russo "La Gestione dei Resi nelle catene di Fornitura" Giuffrè Editore	21
Tabella 2: Comparazione tra le diverse definizioni di Reverse Logistics tratto da Soto Zuluaga "Reverse Logistics: Models & Applications" (2005)	21
Tabella 3: Nostra Elaborazione su De Brito " Managing Reverse Logistics or Reverse Logistics Management"	24
Tabella 4: Differenza di costi tra RL e FL tratta da I.Russo "La Gestione dei Resi nelle catene di fornitura" Giuffrè Editore	26
Tabella 5: Tipologia di connessioni da una prospettiva di disassemblaggio tratto da Das S.K. & Naik S. "Process Planning for product disassembly" Int.J.Prod.Res. 2002, Vol.40, no.6, 1335-1355.....	84
Tabella 6: Piano Sperimentale: Ipotesi.....	93
Tabella 7: Descrizione Piano Sperimentale.....	94
Tabella 8: Tabella Riepilogativa MRPR con BOM Strutturata	95
Tabella 9:Tabella Riepilogativa MRP con BOM Strutturata.....	95
Tabella 10: Tabella Riepilogativa MRPR con BOM Flat	95
Tabella 11: Tabella Riepilogativa MRP con BOM Flat	96
Tabella 12: Test di ShapiroWilk.....	98
Tabella 13: Tabella Riepilogativa ANOVA	100

Introduzione e Nota Metodologica

Ci sono molti modi per progettare la ricerca e scegliere metodi di raccolta dei dati, considerando la selezione di tema di ricerca, paradigmi di ricerca, e le domande di ricerca, ecc. Secondo la letteratura preminente in materia, il metodo scientifico è un mezzo attraverso il quale la visibilità nello “sconosciuto” si ottiene attraverso un processo ciclico, che deve essere affrontato nelle seguenti fasi:

- 1) ANALISI DEL PROBLEMA
 - 2) QUADRO TEORICO DI RIFERIMENTO E STATO DELLE CONOSCENZE
 - 3) OBIETTIVI DELLA RICERCA
 - 4) TECNICA D’ANALISI
 - 5) IPOTESI E RISULTATI
- **ANALISI DEL PROBLEMA:** Da una analisi della letteratura di riferimento, in materia di Reverse Logistics, ed in particolare di Production Planning esistono pochi studi in letteratura che si interessano del problema di come l’impatto di un prodotto reso dispiega la propria efficacia in termini di costi all’interno di un processo MRP. Tra gli studi più interessanti si segnalano: Ferrer & Whybark (2001) hanno sviluppato una metodologia MRP-based in grado di fornire agli utenti risposte a domande tipo: quanti e quali componenti acquistare, quale mix di componenti disassemblare e quanti componenti sia necessario assemblare al fine di soddisfare la domanda Souza & Ketzenberg (2002) e Souza & al. (2002) hanno usato a «two-stage GI/G/1 queue-network» model al fine di individuare quel mix produttivo di lungo periodo capace di massimizzare il profitto per le imprese che intendono soddisfare la domanda di prodotti ricondizionati, di soli prodotti nuovi ovvero di un mix di entrambi. Gli autori hanno utilizzato un modello DES (Discrete Event Simulation) che tiene conto di alcuni parametri reali come l’andamento stostatico dei resi e della resa produttiva, fondamentali per testare la robustezza del modello. Jayataman (2006), attraverso un modello di programmazione matematica, ha determinato il numero ottimale di componenti, aventi un certo livello di qualità, che devono essere aquisiti, disassemblati, ricondizionati e stoccati in un dato periodo di tempo; Denizel et al. (2010) hanno sviluppato un modello di pianificazione multiperiodo che teneva conto dell’incertezza della qualità dei prodotti resi.
 - **QUADRO TEORICO DI RIFERIMENTO E STATO DELLE CONOSCENZE:** In materia di Reverse Logistics è difficile trovare una definizione compiuta dell’istituto. Analizzando la letteratura di riferimento è possibile notare come nel corso degli anni ci sia stata una profonda evoluzione della materia, che è passata da un semplice studio dei “flussi di ritorno” dei beni dal consumatore o altro anello della catena distributiva all’OEM fino a diventare, a partire dal 1999, un vero e proprio “processo di pianificazione, implementazione e controllo dei flussi atti a generare valore per l’azienda. La Reverse Logistics la si può definire come un “genus”, che dispiega le sue ramificazioni in deversi campi. Infatti, in letteratura sono presenti numerosi studi che spaziano dall’Inventory Management fino allo studio delle problematiche

squisitamente operative che coinvolgono la programmazione operativa della produzione. Inoltre si sottolinea che negli ultimi anni, sono fioriti numerosi studi atti a mettere ordine nella materia, ed in questo senso si richiamano: S.M.Gupta « Reverse Supply Chains- Issues and Analysis» CRC Press 2013; M.A.Ilgın-S.M.Gupta «Remanufacturing Modeling and Analysis» CRC Press 2012; K.K.Pochampally-S.Nukala-S.M.Gupta «Strategic Planning models for Reverse e Closed-Loop Supply Chain» CRC Press 2009; K.Govindan-H.Soleimani-D.Kannan «Reverse Logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future» European Journal of Operational Research 240 (2015) 603-628; C.Nuss-R.Sahamie-D.Stindt « The Reverse Supply Chain Planning Matrix: A classification scheme for planning problems in reverse logistics» International Journal of Management Reviews (2014).

- **OBIETTIVI DELLA RICERCA:** Facendo tesoro degli studi condotti durante il triennio del dottorato, ci si è focalizzati su come la gestione dei resi e dei prodotti non conformi durante il processo produttivo, impatta sul costo totale del MRP. La realizzazione del modello MRP fonda le proprie radici sul fatto che, come Gupta (1994) ha teorizzato, esistono numerose difficoltà nella pianificazione delle scorte dovuta all'incertezza legata all'impossibilità di prevedere il tasso di materia prima recuperata dai prodotti resi; Impossibilità di conoscere a priori le condizioni del prodotto fin tanto che questo non venga ispezionato; Necessità di disassemblare il prodotto; Difficoltà nella gestione della domanda connessa alle difficoltà di bilanciamento tra offerta di prodotti resi e relativa domanda dei prodotti: Difficoltà nella coordinazione del flusso dei materiali che derivano dal disassemblaggio di prodotti aventi caratteristiche peculiari e che potranno essere riutilizzati solo nel riassetto di determinati prodotti; Incertezza connessa con i tempi e la quantità di prodotti resi. Queste problematiche impattano sulla determinazione del costo complessivo del MRP, ma tali effetti potrebbero essere annullati dal risparmio in materia di acquisto di materie prime vergini, grazie ad opportuni processi di disassemblaggio.
- **TECNICHE DI ANALISI:** Al fine di dimostrare quanto statuito negli obiettivi di ricerca, è stato realizzato un modello di simulazione ad eventi discreti (DES) attraverso il simulatore Arena. In tale modello si è voluto descrivere come un prodotto, avente una certa qualità residua, subisce il processo di recovery e quali siano i costi ed i tempi connessi all'espletamento di tale pratica. I materiali recuperati vengono poi inseriti all'interno del MRP, in cui si evince come il POH e, conseguentemente, il POR viene influenzato dalla presenza di questi prodotti recuperati.
- **IPOTESI E RISULTATI** Per analizzare la convenienza di un sistema MRPR, si è deciso di sottoporre ad analisi il caso in cui la BOM del prodotto fosse strutturata secondo più livelli ed il caso in cui la distinta base del prodotto sia monolivello (flat). A questo punto, all'interno del software di simulazione Arena, sono stati ipotizzati diversi scenari, facendo variare le seguenti variabili: Recovery Plan, NC Plan; Quality Recovery; Disassembly Time Mean; Disassembly Time Deviation. Non stati variati per scelta il livello di Qualità delle NC ed il Tempo di ispezione in, quanto, nelle evidenze aziendali, si sono dimostrati: la qualità del prodotto non conforme sempre elevata in quanto si trattava di prodotti mai utilizzati e disassemblati in breve tempo mentre, per quanto riguarda il tempo di ispezione, le evidenze aziendali dimostrano che tale lasso temporale può essere ben descritto attraverso una distribuzione uniforme che oscilla

tra 4 ed 8 minuti. Dall'analisi ANOVA risulta evidente quanto sia importante il ruolo della Distinta Base nel processo di disassemblaggio. In particolare si rileva quanto l'interazione tra la BOM ed il Flusso dei Resi, tra la BOM ed il Flusso delle Non Conformità, e tra la BOM ed il Tempo di Disassemblaggio sia particolarmente significativo ($p < 2e-16$). Quindi è possibile affermare che quanto statuito nel Box Plot precedente, che descrive come il rapporto esistente tra la Distinta Base ed il Disassembly Time Medio influenzi il risparmio in termini di costo di approvvigionamento sia tutt'altro che casuale. Inoltre continuando a scorrere la tabella, possiamo ottenere un altro dato importante: l'interazione tra Disassembly Time Medio ed il piano dei recuperi risulta essere particolarmente significativo nella determinazione del risparmio in termini di costo all'interno di un piano MRP ($p = 1.77e-12$), mentre l'influenza reciproca che si ha tra il piano di recupero dei prodotti non conformi ed il Disassembly Time Medio risulta essere sì significativo ma meno importante.

•

La tesi si sviluppa in quattro capitoli. Nel primo, partendo dal concetto di Closed Loop Supply Chain, si focalizza l'attenzione sulla Reverse Logistics, identificandone gli istituti fondamentali e gli stakeholder coinvolti. Particolare attenzione viene data al concetto di product recovery, che sarà poi il cavallo di battaglia del capitolo vertente sul modello MRP. Il secondo capitolo presenta una review della letteratura in materia di Reverse Logistics, focalizzando l'attenzione sulle strategic issues, sulle problematiche inerenti il Planning & Control e sull'Inventory Management. Il capitolo si chiude con una review della letteratura degli articoli ritenuti più importanti pubblicati fino al 2013. Il terzo capitolo descrive il modello MRP, partendo dalla definizione del problema e fino ad arrivare alla sua formulazione matematica. I dati raccolti verranno poi analizzati nel quarto del ultimo capitolo, attraverso l'utilizzo delle comuni tecniche di inferenza statistica

CAPITOLO 1

1. La Closed Loop Supply Chain

Negli ultimi anni una sempre crescente attenzione è stata data al concetto di Closed-loop Supply Chain ed alla creazione di modelli e sistemi economici ad essa interrelati. Questo interesse trova il suo fondamento in una serie di driver. In primo luogo, bisogna tenere presente l'atteggiamento che i governi hanno circa "la questione ambientale", che ha portato alla promulgazione di una serie di norme in materia di riciclo e recupero molto stringenti. In secondo luogo le imprese, e più in generale, gli operatori economici si sono resi conto dell'importanza di recuperare il valore contenuto in quei prodotti che si collocano al termine del flusso distributivo che va dal produttore fino al consumatore finale. Si tratta, ad esempio, di quei prodotti che si trovano invenduti sugli scaffali dei dettaglianti, ovvero di quei prodotti che, sebbene obsoleti ovvero al termine del loro ciclo di vita, possono essere ancora profittevoli per l'azienda attraverso opportuni sistemi di ricondizionamento. Da un'analisi della letteratura in materia di CLSC, si nota che questa può essere suddivisa in quattro grandi filoni (Wassenhove et al.,2008). I primi ricercatori si incentrarono sul tradizionale *IE/OR approach* per analizzare i recenti problemi che riguardavano il remanufacturing. Questo filone si fonda sulle comuni tematiche della Ricerca Operativa, quali ad esempio la previsione degli indici di ritorno, il controllo delle scorte su due variabili e sulla reverse logistics network design.

Un secondo filone di ricerca si fonda su un approccio più olistico, riconoscendo che le imprese devono confrontarsi con problematiche di business più ampie piuttosto che individuare nuove aree di profittabilità. I ricercatori operanti in questo filone si focalizzano sui problemi legati alla gestione relative all'acquisizione dei prodotti, al valore nel tempo dei prodotti restituiti, alle scelte legate alla durabilità, alla diffusione di prodotti nuovi e ricondizionati all'interno del ciclo di vita del prodotto ed il legame tra durabilità, tassi di ritorno e ciclo di vita del prodotto.

Il terzo filone si fonda su questioni di carattere strategico, focalizzando l'attenzione sulla produttività dell'Original Equipment Manufacturer (OEM) ed introducendo, all'interno del mercato, i prodotti ricondizionati. Questo filone punta alla realizzazione di canali di Reverse Logistics; in particolare l'obiettivo è comprendere come un'OEM possa competere con *Remanufacturers* esterni, e come l'introduzione di prodotti ricondizionati possa essere un deterrente per l'ingresso di competitors a basso costo.

Il quarto ed ultimo filone si focalizza su problemi "comportamentali", legati alla restituzione di prodotti commerciali e sulla percezione del cliente circa i prodotti ricondizionati. La letteratura mostra che i produttori possono, attraverso l'implementazione di adeguati incentivi, motivare i rivenditori a ridurre i c.d. "*false failure product returns*". Le ricerche in materia di percezione del valore di un prodotto ricondizionato da parte del cliente mostrano come imprese e consumatori valutano i prodotti ricondizionati, guardando, ad esempio, quanto questi siano disposti a pagare questi prodotti e come i prodotti ricondizionati possono cannibalizzare (ovvero possono essere sostituiti per) i nuovi prodotti.

Attraverso questa analisi, si evince che i modelli proposti non devono essere istituzionalizzati, ed i campi di ricerca sulle quali bisognerebbe focalizzare l'attenzione, per un rinnovato studio sulle pratiche aziendali, dovrebbero incentrarsi sul comportamento del consumatore, sulla diffusione dei prodotti e sulla valutazione dei prodotti resi (Wassenhove et al.,2008).

Esistono varie ragioni che hanno reso popolare la Supply Chain Management (SCM). La globalizzazione dei mercati, la ricerca di una sempre maggiore efficienza dei sistemi produttivi, logistici e distributivi, nonché la sempre maggiore richiesta, da parte della clientela di un'azienda capace di reagire alle mutevoli richieste del mercato hanno prodotto un interesse sempre crescente nei confronti della SCM sia a livello accademico che a livello industriale. Tuttavia questo interesse, come Russo (2008) sottolinea, non ha portato all'individuazione, a livello accademico, di una univoca definizione

della SCM. La Supply Chain, come viene definita dalla letteratura recente, considera una serie di processi, guidati dalla domanda, che convogliano i beni dai dettaglianti, per il mezzo di produttori e dei grossisti, fino al consumatore finale (Fleishmann, et al., 2004). Ovviamente, il processo non termina qui, visto che i prodotti, una volta giunti alla fine della catena, non perdono valore né dal punto di vista “fisico” né dal punto di vista del valore economico. È in questo momento che entra in gioco la CLSC. La Closed-Loop Supply Chain può essere definita come una struttura a “doppio flusso”, in quanto combina al proprio interno le tipiche attività della c.d. forward supply chain con un insieme di attività aggiuntive volte alla restituzione del prodotto (Wikner et al., 2008). L’obiettivo, per l’azienda, è duplice: da un lato gestire il flusso di ritorno dei propri prodotti, dal consumatore al proprio stabilimento e dall’altro acquisire valore aggiunto dal recupero dei prodotti stessi. La Closed-loop Supply Chain è, quindi, un nuovo concetto della “logistica”, per la quale non è stata data una definizione comunemente accettata. Ferguson & Souza (2010) definiscono la CLSC come “catene nelle quali, oltre il tipico flusso di materiali che va dal produttore al consumatore, si trovano anche flussi di prodotti che tornano indietro alle aziende manifatturiere”. Una struttura generica di Closed Loop Supply Chain può essere descritta secondo lo schema di seguito riportato:

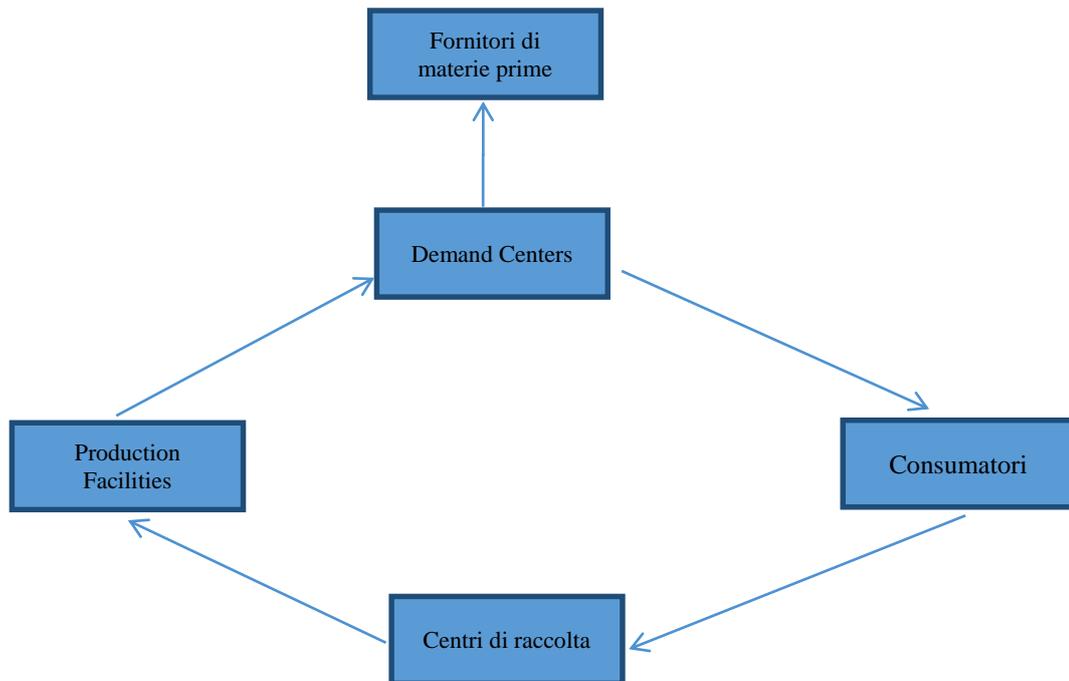


Figura 1 : Struttura Generica di Closed Loop Supply Chain Tratto da Pochampally-Nukala-Gupta "Strategic Planning Models for Reverse and Closed Loop Supply Chains" CRC Press

Le attività che connotano i processi di Reverse Supply Chain possono essere riassunte secondo il seguente schema (Blumberg, 1999):

- *Forward Logistics e Direct Supply Chain Management*: Questa include tutte le attività connesse alla programmazione, gestione e controllo del flusso logistico che va dal produttore al consumatore finale. In particolare questa fase include il flusso di materiali, semilavorati e prodotti finali dal produttore fino al centro di distribuzione,

passando poi per i grossisti e dettaglianti locali per arrivare, infine, al consumatore finale.

- *Reverse Logistics*. La R.L. può essere sia un subset di sistemi closed-loop che una struttura indipendente. Questa include tutte le attività di coordinamento, controllo, prelievo e smistamento di materiali, semilavorati e prodotti dal luogo di in cui questi si trovano fino al luogo in cui i prodotti sono sottoposti a controllo. Le fasi di un sistema di Reverse Logistics possono essere spiegate facendo ricorso alla schema presentato da Blackburn et al. (1994). Il flusso di ritorno inizia con i prodotti che vengono recuperati dai rivenditori ed inviati al centro di recupero dove verranno valutati e stoccati. L'obiettivo di questi test è quello di individuare, tra le diverse forme di recupero, quella più efficace ed efficiente da un punto di vista economico. Alcuni di questi prodotti saranno nuovi e mai utilizzati; per questo la loro collocazione naturale è spesso il loro ritorno alla Forward Supply Chain. Dall'altra parte i prodotti non riutilizzati ovvero ricondizionati saranno destinati allo smaltimento o al riciclo dopo essere stati smantellati. I prodotti ricondizionati possono essere collocati o un un mercato secondario, spesso connotato da acquirenti che non possono acquistare il prodotto nuovo; oppure essere utilizzati come "spare parts" nel caso di richieste di intervento in garanzia, onde ridurre i costi connessi all'implementazione di questi servizi a favore dei consumatori.
- *Depot repair*, stoccaggio, diagnosi e riutilizzo. Questa fase include tutti i servizi connessi al ricevimento dei resi dal mercato, attraverso la R.L., e di seguito le attività connesse al diagnosi, riparazione, valutazione e riutilizzo delle unità ritornate.
- *Marketing activities*, attività attraverso le quali i prodotti ottenuti o riprenderanno la via della c.d. Forward Logistics oppure verranno collocate su mercati secondari.

I processi di R.L. e CLSC possono essere utilmente classificati sulla base dei produttori e degli acquirenti, in base alle caratteristiche dei diversi nodi del flusso distributivo, sulla tipologia di canale distributivo utilizzato, sulla base del valore del prodotto trattato. La letteratura individua quattro diversi modelli:

1. *Basic RL Model*: si tratta di un sistema in cui la R.L. opera in maniera indipendente rispetto al flusso distributivo normale, che si occupa della distribuzione del bene dal produttore al consumatore. Questo modello, su cui si basavano i primi studi in materia di "logistica di ritorno", poteva essere sviluppato come un business ovvero gestito come un servizio erogato a livello locale ovvero regionale.
2. *CLSC*, in cui viene integrato un sistema di RL atto al recupero dei prodotti che devono essere riparati. Si tratta di un sistema applicato dalle aziende che realizzano prodotti high-tech, dove l'azienda produttrice, definita con l'acronimo OEM (Original Equipment Manufacturer) cura sia la Forward Supply Chain ma anche il relativo sistema di Reverse o attraverso la propria forza vendita oppure attraverso operatori che agiscono per conto dell'OEM.
3. *CLSC*, composto da un sistema di Forward Supply Chain e R.L. indipendente. In questo modello l'acquirente ovvero il consumatore finale utilizza la propria struttura interna ovvero il proprio sistema di manutenzione piuttosto che chiamare in causa l'OEM. L'esempio di utilizzatore tipico di questo modello è la grande azienda distributrice che si avvale del supporto di tante piccole aziende manifatturiere. Rispetto al modello precedente, l'OEM perde il controllo dell'intero processo, visto che la responsabilità delle attività di RL ricadono tutte sull'azienda distributrice che si avvarrà o delle proprie forze interne ovvero di un terzo addetto allo scopo.

4. *Consumer-Oriented CLSC*. In questo caso, si crea un rapporto diretto da venditore e OEM. Una parte dei resi è costituita da prodotti che il venditore non è riuscito a vendere; un'altra fetta è costituita da prodotti resi per far "spazio sugli scaffali dei clienti"; infine, una terza fetta è costituita dai prodotti resi dai clienti del rivenditore.

Esistono molti modi per esprimere la Closed-loop Supply Chain Chopra & Meindl (2006) individuano tre fasi attraverso le quali si viene a realizzare la CLSC:

1. *Supply Chain Design*: in questa fase, di tipo squisitamente strategico, l'azienda decide come si deve strutturare la supply chain nei prossimi anni. Le decisioni che vengono prese riguardano la localizzazione, la capacità produttiva e la collocazione logistica delle strutture, la tipologia di prodotti da realizzare e stoccare nei vari impianti, le modalità di trasporto da implementare ed il tipo di sistema informativo da utilizzare. Vista la complessità degli obiettivi, è ovvio che ci si trova, in questo momento, dinanzi a scelte che incideranno nel lungo periodo e che richiedono grossi investimenti in termini di tempo e di denaro. Tra le varie attività svolte in questa fase Pochampally et al. (2010) individuano le scelte che i pianificatori dovranno effettuare: selezione dei prodotti usati; valutazione dei centri di raccolta e delle strutture di recovery; l'ottimizzazione dei sistemi di trasporto delle merci; la valutazione dell'obsolescenza dei prodotti usati; la scelta dei mercati di seconda mano presso i quali vendere i prodotti; la sincronizzazione dei processi della supply chain e la misurazione delle performance della catena. In tutte queste scelte, gli operatori dovranno tenere presente una serie di vincoli: l'incertezza circa le quantità e qualità dei prodotti resi, l'imperfetta correlazione tra il flusso di prodotti usati e la quantità domandata di prodotti ricondizionati. ;
2. *Supply chain planning*: questa fase, definita dagli autori come "tactical planning", riguarda decisioni attinenti l'eventuale esternalizzazione di parte del processo produttivo, le politiche di magazzino da seguire, il tempo e l'entità delle promozioni di marketing da effettuare. Queste decisioni riguardano un arco temporale che vanno dai tre mesi ad un anno e, nella fase di programmazione, le aziende devono tenere presente l'incertezza della domanda e della spinta competitiva che verrà a crearsi in questa fase;
3. *Supply Chain operation*: questa fase, detta "operational planning", ha come obiettivo quello di ottimizzare la gestione degli ordini che giungono dalla clientela. Le decisioni che attengono questa fase riguardano l'allineamento della produzione e degli acquisti agli ordini attraverso la schedulazione delle attività produttive. Trattandosi di operazioni che incidono sul breve periodo, in questa fase l'azienda non dovrà fronteggiare le problematiche di incertezza della domanda, forti nelle fasi precedenti.

All'interno della CLSC, si evince come la Reverse Logistics differisca in maniera significativa dalla c.d. forward Logistics. Min et al. (2008) Fleishmann (2001) hanno caratterizzato la Reverse Logistics sulla base di tre elementi. Innanzitutto, la Reverse Logistics si distingue rispetto ai tradizionali canali logistici. Tradizionalmente, le Supply Chain si caratterizzano per essere strutture unidirezionali con una gerarchia ben definita. Come notò Ganeshan et al. (1998) "*...the most common definition [of a supply chain] is a system of suppliers, manufacturers, distributors, retailers, and customers where materials flow downstream from suppliers to customers and information flows in both directions.*" Comunque, Fleishmann (2001), guarda ai sistemi logistici che si sviluppano all'interno di un network composti da diverse organizzazioni tale da non poter essere organizzato in modo che tutti i materiali abbiano un flusso "a discesa". In secondo luogo l'autore ritiene che la Reverse Logistics riguarda i prodotti di "seconda mano" riferendosi a prodotti per i quali l'uso originario è stato completato o è divenuto impossibile. Quindi, la Reverse Logistics opera con prodotti che derivano da un precedente uso. Infine, il termine Reverse Logistics, esprime essenzialmente la prospettiva di un c.d. "*receiving party*". Di conseguenza, la Reverse Logistics può essere vista come una forma speciale di inbound

logistics. Anzi, Harps (2003) afferma che le organizzazioni per la Forward Supply Chain si impegnano nel creare un flusso ordinato di prodotti, mentre per il “reverse side” bisogna fare i conti con il caso e con dei tentativi di creare ordine.

Al fine di sintetizzare quanto detto fino a questo punto, risulta utile riportare la seguente classificazione realizzata da Gobbi nel 2011, la quale ordina i singoli aspetti riguardanti la Reverse Logistics che sono stati sviluppati dalla letteratura negli ultimi anni:

- Differenze tra Forward e Reverse Supply Chain (Fleischmann et al., 2001, 2004);
- Differenze tra Open Loop e Closed Loop Supply Chains (Guide et al., 2003; Geyer and Jackson, 2004; Krikke et al., 2004).
- Diverse Tipologie di Reverse Supply Chains (Fleischmann et al., 2001; De Brito et al., 2003);
- I Drivers che guidano la Reverse Supply Chain (Rogers and Tibben-Lembke, 2001; De Brito and Dekker, 2004; Toffel, 2004; Ravi et al., 2005);
- I fattori che influenzano la Reverse Logistics (Rogers and Tibben-Lembke, 2001; Krikke et al., 2004);
- Le diverse opzioni di Recovery (Thierry et al., 1995);
- Le diverse fasi che connotano il Recovery Process (Prahinski and Kocabasoglu, 2006);
- Tipologie, caratteristiche e soggetti coinvolti nella Reverse Logistics a secondo del tipo di prodotto restituito (De Brito and Dekker, 2004; Krikke et al., 2004).

2. Prime considerazioni in materia di Reverse Logistics

La Reverse Logistics ha ricevuto una crescente attenzione nell'ambito del marketing e della Supply Chain Management. La motivazione principale sottesa a questo nuovo orientamento è connesso al fatto che la R.L. riflette la capacità di un'organizzazione, collocata all'interno di un canale distributivo, di influenzare positivamente le relazioni che questa ha con i consumatori. (Horvath et al., 2005). Ma perché si punta all'implementazione di una strategia di Reverse? Facendo proprio il pensiero di Rogers & Tibben-Lembke (1998) esistono cinque fattori che spingono le imprese verso la creazione di flussi di reverse:

1. Ragioni competitive: molte aziende devono creare dei flussi di reverse a causa della loro politica interna oppure per dimostrare alla clientela di avere un forte impatto eco-friendly (Moore, 2005). Si tratta di un problema di non poca rilevanza, visto che, come Smith (2005) sottolinea, le imprese che rimangono miopi dinanzi al potenziale della Reverse Logistics rischiano di danneggiare fortemente le loro relazioni con gli stakeholders. La conseguenza, nel lungo periodo, potrebbe essere quella di portare al deterioramento dell'immagine e della reputazione aziendale;
2. Pulizia dei canali distributivi: è il tipico caso dei prodotti stagionali;
3. Questioni legislative: in questo caso, come Skinner (2008) sottolinea, le imprese sono tenute all'implementazione di politiche di Reverse Logistics a causa di una serie di disposizioni normative che impongono alle imprese di porre in essere una serie di adempimenti volti alla raccolta ed al corretto smaltimento dei resi;
4. Recupero di valore ed asset recovery;

La Reverse Logistics sta diventando sempre di più una necessità competitiva nell'implementazione di una strategia di Supply Chain (Daugherty et al., 2001). Sebbene l'importanza della Reverse Logistics sia stata riconosciuta sia dalla letteratura accademica che dai manager aziendali, sono ancora pochi gli studi che, sulla base di dati empirici, hanno indagato sull'importanza di questo "flusso" che si colloca all'interno delle Supply Chains. (Srivastava et al., 2006). Daugherty et al., (2005) hanno sottolineato come i costi che derivano dall'implementazione della R.L. siano elevati tanto per le imprese quanto per i loro partner. Tuttavia, se il valore dell'asset da recuperare riesce a coprire il costo legato al trasporto dello stesso, allora una strategia di R.L. può essere presa in considerazione. Ovviamente, nell'implementazione di una strategia di R.L. di carattere internazionale non possiamo non tenere conto anche di una serie altri aspetti, quali il c.d. "*customer goodwill*", il desiderio di mantenere i propri prodotti al di fuori di canali secondari, nonché le problematiche attinenti al rispetto dell'ambiente (Gooley, 1999).

È importante tenere presente che la Reverse Logistics si differenzia dal c.d. "*waste management*", che si riferisce all'acquisizione e trattamento di prodotti o materiali destinati alla discarica (De Brito, 2004). Il punto di differenza principale è legato al concetto di "waste". Si tratta di un concetto ampio, che può avere anche una forte valenza "legale", facendo riferimento, ad esempio, alle normative che riguardano l'import e l'export dei prodotti da smaltire. Per contro la Reverse Logistics si concentra su tutti quei flussi che all'ingresso hanno elementi di valore che devono essere recuperati e l'outflow entra in una nuova Supply Chain.

L'implementazione di una strategia di Reverse Logistics permette all'azienda l'acquisizione di una serie di vantaggi competitivi che vanno oltre il "mero" recupero del prodotto. Andel, (1997) e Tan, Yu, & Arun, (2003) sottolineano come la R.L. possa essere utilizzata come utile strumento per "ripulire" i canali distributivi attraverso la rimozione di prodotti obsoleti e la migliore collocazione di nuovi prodotti. In secondo luogo, la Reverse Logistics previene l'inquinamento attraverso la riduzione alla sorgente del "carico ambientale" dei prodotti al termine del loro ciclo di vita (EOL). (Toffel, 2003). All'interno di determinati comparti industriali, le attività di Reverse Logistics possono divenire critiche

per l'impresa. Generalmente, quando il valore del prodotto è alto, o il tasso di ritorno è ampio, maggiori sforzi devono essere effettuati dal management nell'implementazione del "return process" (Rogers & Tibben Lembke, 2001).¹

La Reverse Logistics non è quindi un optional, ma è condicio sine qua non per il successo aziendale. Sebbene questo sia vero, nella realtà ben poche imprese hanno creato un sistema formale di politiche che gestisca il flusso di ritorno dei prodotti all'intero della Supply Chain. I Manager devono innanzitutto comprendere che l'implementazione di un flusso di ritorno dei prodotti al tempo efficace ed efficiente comporta dei vantaggi di lungo periodo per l'impresa. Successivamente, le aziende devono operare al fine di formalizzare i loro processi di Reverse Logistics, attraverso la creazione di procedure, istruzioni e comunicazioni scritte (Pugh, Hickson, Hinings, & Turner, 1968; Malone, 2004). Attraverso programmi di reverse logistics più formalizzati, le capacità di trattamento dei resi risulteranno più efficienti, con la conseguenza di aumentare la profittabilità ovvero di ridurre gli investimenti in scorte. La realizzazione di politiche e procedure scritte atte a formalizzare un intervento di R.L. richiede moderati investimenti sia in termini di tempo che di risorse necessarie. Il management deve, tuttavia, implementare una politica di Reverse Logistics che sia in linea con gli obiettivi strategici e devono ottenere continui feedback sia da parte dei dipendenti che da parte dei clienti onde verificare le potenzialità delle politiche messe in atto. Visti i potenziali vantaggi, Autry (2005), basandosi sulle letteratura esistente, ritiene che gli sforzi e gli investimenti necessari per la realizzazione di una politica di R.L. sembra essere giustificabile.

¹ L'industria dei pezzi di ricambio può essere un buon esempio. Nel 1998 il mercato dei pezzi di ricambio veniva stimato dall'Automotive Part Rebuilders Association (ARPA) a \$ 36 miliardi. Secondo una stima, negli Stati Uniti operavano, nel 1998, circa 12.000 centri di recupero e smaltimento di autovetture.

2.1) Reverse Logistics: Le definizioni presenti in letteratura

Le ricerche in materia di Reverse Logistiche sono iniziate a partire dagli anni '60 (Zikmund and Stanton, 1971; Gilson, 1973; Schary, 1977; Fuller, 1978). Una delle prime definizioni di Reverse Logisitcs è stata data da Lambert & Stock nel 1981. Essi descrissero la R.L. come *“going the wrong way on a one-way street because the great majority of product shipments flow in one direction”* (Lambert and Stock 1981, p. 19). Questa definizione non si discosta da quella del Murphy del 1986 e da quella successiva del 1989 il quale, insieme a Poist, definì la Reverse Logisitcs come *“movement of goods from a consumer towards a producer in a channel of distribution”*. Da queste definizioni si evince, come Bernon et al. (2007) sottolineano, che lo scopo della Reverse Logistics così come intesa negli anni 80 era limitata al movimento “inverso” dei materiali.

Una delle prime analisi sistematiche in materia di implicazioni economiche del c.d. product recovery è del Vandermerwe & Oliff (1991). Gli autori, attraverso il concetto di *“reconsumption cycle”*, sottolinearono l'emersione di nuovi filoni di studio nell'area del R&S, della produzione e del marketing. In particolare vengono identificati, quali chiavi del successo alcuni strumenti come, il design del prodotto, l'implementazione di un'infrastruttura logistica bidirezionale, e lo sviluppo di adeguati canali di vendita. Il Conucil of Logistics Management (CLM) ha pubblicato nel 1992 la prima definizione conosciuta di Reverse Logistics (Stock, 1992) :*“...il termine spesso usato per riferirsi al ruolo della logistica nel riciclaggio, nella rimozione e nella gestione dei materiali pericolosi; una più ampia prospettiva include tutti i problemi relativi alle attività logistiche che derivano dalla riduzione, dal riciclo, dalla sostituzione, dalla rimozione e dal riuso dei materiali”*. Questa definizione appare generale, come si evince dalle espressioni *“ the role of logistics in”* e *“ all relating activities”*. Nello stesso anno Pohlen & Farris (1992) definiscono la Reverse Logistics sulla base dei principi ispiratori del marketing, intendendola quale *“ ... movimento di merce dal consumatore verso il produttore attraverso un canale distribuzione.”*

Kopicky (1993), definisce la Reverse Logistics in modo analogo rispetto alla definizione di Stock (1992) ma mantiene, come precedentemente introdotto da Pohlen & Farris (1992), il senso di direzione “opposta” rispetto al tradizionale canale distributivo *“Reverse Logistics is a broad term referring to the logistics management and disposing of hazardous or non-hazardous waste from packaging and products. It includes reverse distribution (...) which causes goods and information to flow in the opposite direction of normal logistics activities.”* Kroon (1995), statuisce che la RL *“are the logistic management skills and activities involved in reducing, managing and disposing of hazardous or non-hazardous waste from packaging and products. It includes reverse distribution, which causes goods and information to flow in the opposite direction from normal logistic activities”*.

Alla fine degli anni 90, Rogers & Tibben-Lembke (1999) introducono, nella definizione di Reverse Logistics, i concetti di obiettivo e di processo, definendola come *“ il processo di pianificazione, di implementazione, di controllo dell'efficienza e dei costi del flusso di materiali grezzo, dell'immagazzinamento di prodotti finite e di tutte le informazioni relative ad essi dal punto di consumo finale all'origine del prodotto con lo scopo di recuperare valore e la rimozione.”* Lo studio degli autori venne focalizzato principalmente sull'impatto strategico nella gestione della Reverse Logistics in termini di competitività, di riduzione dei costi di attenzione per le problematiche ambientali. Guide et al.(2000) definiscono la Reverse Logistics come *“the task of recovering discarded products (cores); it may include packaging and shipping materials and backhauling them to a central collection point for either recycling or remanufacturing”*. Dowlatshahi (2000) definisce la R.L. come *“a process in which a manufacturer systematically accepts previously shipped products or parts from the point for consumption for possible recycling, remanufacturing, or disposal”*.

Da una prima analisi delle singole definizioni è possibile notare che ognuna di queste definizioni si fonda su un diverso criterio portante la R.L. Stock e Kopicky pongono l'accento sulla

riduzione dei rifiuti e collocano la Reverse Logistics nell'ambito dell' "environmental management". Dall'altra parte, Pohlen & Farris fanno riferimento alla direzione del flusso dei materiali, focalizzando l'attenzione sulle posizioni tenute da colui che invia e da colui che riceve all'interno della Supply Chain. Infine, Rogers & Tibben-Lembke si soffermano sulla gestione del flusso di materiali che caratterizza la Closed Loop Supply Chain. Le definizioni, comunque, giungono ad un medesimo obiettivo. Tutte e tre guardano ad un flusso di beni che ritornano al produttore originale. Tuttavia, le definizioni non sono identiche e che l'una non implica l'altra. Per esempio, la prima definizione, in contrasto con le altre, sembra non includere i flussi di prodotti nuovi che ritornano per motivi commerciali. Dall'altra parte, la seconda definizione non include la restituzione dei prodotti da altri soggetti diversi dai produttori, come ad esempio la restituzione del packaging (pallets, container, ecc.) da parte dei rivenditori ovvero dei grossisti, al contrario delle altre due. Infine la terza definizione esclude il flusso dei materiali di prodotti da parte di aziende specializzate nel recupero, come ad esempio gli *independent remanufacturers*.

Grazie alle differenze che questi autori hanno dato, si può estendere il concetto di logistica inversa e utilizzare la definizione che Moritz Fleishmann ha dato nel 2000. Questi sostiene che la "logistica inversa è il processo di pianificazione, di implementazione e di controllo dell'efficienza ed effettivo flusso di ritorno ed immagazzinamento di merce secondaria e delle informazioni relative al flusso opposto alla direzione della tradizionale filiera logistica allo scopo di recuperare valore o di effettuare un corretto smaltimento" (Fleishmann, 2000). Alla luce di questa definizione l'autore individua tre aspetti fondamentali:

1. la Reverse Logistics deve essere vista come un elemento innovatore all'interno dei sistemi logistici. Tradizionalmente, le Supply Chains erano percepite come strutture unidirezionali con una struttura gerarchica ben definita. Come ha notato Ganeshian et al. (1998) "la più comune definizione di supply chain è un sistema di fornitori, produttori, grossisti, dettaglianti e clienti dove i materiali vanno dal produttore al consumatore, mentre il flusso informativo va in entrambe le direzioni". Tuttavia Fleishmann (2000) osserva che i sistemi logistici si stanno oggi sviluppando in un network di organizzazioni che non possono essere ordinati secondo questo schema. In particolare l'evidenza mostra come è sempre maggiore l'importanza che viene data al flusso di ritorno dei prodotti;
2. In secondo luogo la logistica inversa si sofferma principalmente su quei prodotti che hanno già terminato la loro vita utile oppure il cui utilizzo originale si è reso impossibile. L'obiettivo è quello di massimizzare il valore economico che si riesce ad ottenere da questi prodotti, attraverso particolari tipi di recupero.
3. Infine, il termine di reverse logistics esprime in maniera molto efficace la prospettiva della parte riceventi, proprio per questo motivo può essere considerata come una specie di inbound logistics.

Un'altra definizione importante è quella fornita dal gruppo di ricerca European Working Group on Reverse Logistics (RevLog) che fornisce tale definizione "the process of planning, implementing and controlling flows of raw materials, in process inventory, and finished goods, from manufacturing, distribution or use point to a point of recovery or point of proper disposal". Quest'ultima definizione a detta della letteratura (Russo, 2008) appare più appropriata rispetto a quella fornita da Rogers nel 1999 in quanto spesso accade che un reso non rientri nel flusso di ritorno dell'originaria supply chain ma invece segue un percorso diverso. Questa definizione mantiene l'essenza della definizione proposta da Rogers & Tibben-Lembke nel 1999. Tuttavia questa generalizza il concetto di "point of consumption" intendendolo come punto di realizzazione, di distribuzione e di consumo" e di "point of origin" a punto per il ripristino ovvero per un corretto smaltimento. In questo modo De Brito & Dekker (2004) danno importanza a quei prodotti che non sono stati ancora consumati (ad esempio gli stock adjustments

dovuti a situazioni di overstocks). Inoltre gli autori utilizzano l'espressione "punto di ripristino" invece di "point of origin" in quanto i flussi di prodotti possono tornare indietro verso altri punti di recupero piuttosto che all'OEM. Inoltre, il concetto di punto di ripristino sottolinea la distinzione che gli autori vogliono fare circa il concetto di Reverse Logistics e quello di gestione dei rifiuti

Incisivi risultano gli ulteriori studi di Stock & Alii (2002) che evidenziano la stretta correlazione tra una buona gestione dei ritorni non solo come costo ma anche come strumento di miglioramento del servizio al cliente. Gli autori nel loro studio individuano, per la prima volta, un processo più ampio rispetto alle attività di Reverse Logistics, quello di returns management, definito come il processo del Supply Chain Management, trasversale ai vari membri della Supply Chain, che include le attività associate ai ritorni, alla reverse logistics, al gatekeeping ed alle attività dei ritorni. Si tratta di un problema molto interessante perché, come sottolinea Russo (2008) per la prima volta si prende in considerazione non solo le attività di mero recupero e trasporto del reso, ma anche l'implementazione di una serie di azioni a livello strategico ed operativo che possono prevenire i ritorni. A questo punto, è opportuno cercare di sintetizzare l'insieme di definizioni che sono intervenute negli anni riportando lo schema tabellare proposto da Russo:

Autore	Topic	Contributo
Stanton-Zikmund (1971)	Reverse Distribution	Reverse Distribution come parte delle azioni di marketing strategico; possibili soluzioni per minimizzare sprechi e rifiuti
Kissel-Kissel (1973)	Gestione dei Reclami e dei ritorni	Costruzione di un manuale delle procedure per la gestione dei richiami e dei ritorni per i produttori e dei consumatori
Guiltnam-Nwokoye (1975)	Reverse Channel, Reverse Flow	Identifica diverse strutture dei canali per la reverse, le funzioni coinvolte nei canali distributivi individuati e gli attori che caratterizzano la gestione del flusso logistico di ritorno
Stock (1992)	Reverse Logistics	Rivisitazione ed analisi della reverse logistics
Pohlen-Farris (1992)	Struttura del canale nell'industria della plastica	Verifica del modello di Guiltnam e Nwokoye evidenziando le differenze tra i vari canali distributivi; descrizione delle funzioni coinvolte attraverso gli attori che gestiscono la reverse logistics indicando interessanti spunti per le ricerche future
Kopicky et alii (1993)	I programmi di riutilizzo dei componenti e riciclaggio dei prodotti	Attraverso una ricerca empirica con l'ausilio di diverse interviste sono esaminate le implicazioni logistiche nei programmi di riutilizzo dei

		componenti e di riciclaggio dei prodotti. Evidenzia le peculiarità di un flusso logistico inverso
Giuntini –Andel (1995)	Cosa comporta la gestione della reverse logistics	La buona gestione della reverse logistics dipende dalle cosiddette sei R: recognition, recovery, review, renewal removal e reengineering
Thierry et Alii (1995)	Quali strategie nella gestione dei prodotti da recuperare (product recovery management)	Oltre al recuperare prodotti, si aggiunge anche il “come” ed il “cosa” con alcuni case studies
Andel (1997)	Reverse Logistics come opportunità di profitto	Con appropriati sistemi gestionali dedicati ai ritorni, la reverse logistics può diventare un centro di profitto
Fleishmann et Alii (1997)	Analisi della Reverse Logistics utilizzando metodi quantitativi	Analisi delle attività di reverse logistics legate principalmente al riutilizzo dei prodotti in ottica di operational research; particolare attenzione è riservata alle differenze per quanto riguarda la pianificazione, il controllo delle scorte, e trasporti tra la logistica tradizionale e la reverse logistics
Fuller-Allen (1997)	Post consumer recycle products	Focalizza l’attenzione sugli attori coinvolti nel riciclo e recupero dei prodotti esauriti
Carter-Ellram (1998)	Rivisitazione critica della letteratura di reverse logistics, vista come transportation, packaging e purchasing	Rilevano la mancanza di una visione olistica della reverse logistics, nonché di sufficienti evidenze empiriche. Elencano drivers e constraint.
Stock (1998)	Reverse Logistics: nuove strategie ed evidenze	Correlazione tra la reverse logistics e le altre funzioni aziendali; evidenziazione delle opportunità di marketing, manageriali e finanziarie con una gestione consapevole della reverse logistics
Rogers-Tibben Lembke (1999)	Reverse Logistics tra teoria e pratica	Inquadramento delle problematiche di reverse logistics, di green logistics coniugate con casi pratici
Gungor-Gupta (1999)	Rivisitazione della letteratura su problematiche ambientali, riutilizzo e composizione dei	Le questioni ambientali stanno diventando sempre più patrimonio comune dei

	prodotti	consumatori, delle imprese e dei governi
Dowlatslaki (2000)	Rivisitazione critica della letteratura	La maggior parte degli articoli analizzati risultano lacunosi nello spiegare il grado di integrazione della reverse logistics rispetto al resto delle funzioni e dei processi aziendali; la maggior parte della letteratura risulta operativa e non metodologica
Guide- Van Wassenhove (2001)	Closed Loop Supply Chain	Reverse Logistics considerato come parte integrante della Supply Chain
Stock et Alii (2002)	Reverse Logistics & Marketing	Reverse logistics come un'opportunità per migliorare la customer satisfaction
De Brito-Flapper-Dekker (2002)	Rivisitazione dei casi di studio	Rivisitazione della letteratura scientifica di casi di reverse logistics nelle sue varie sfaccettature
Dychoff et Alii (2004)	Supply Chain Management & Reverse Logistics	Creazione di modelli matematici ed ingegneristici per includere la Reverse Logistics all'interno di tutte le attività logistiche
Blumberg (2005)	L'impatto della Reverse Logistics sui vari segmenti produttivi	La gestione della reverse logistics è strumento competitivo e di profitto per le imprese
Wadhawa & Madaan (2007)	Knowledge Management System	La Knowledge Management System come elemento cardine nella realizzazione di un framework per la reverse logistics
Srivastava (2008)	Reverse Logistics Network Design	L'autore ha sviluppato un modello concettuale per la realizzazione di un network, considerando prodotti "multi modulari" ed un orizzonte temporale "multi periodo"
Feng & Zhijun (2008)	Third Party Logistic Provider (3PL)	Individuazione di una serie di fattori chiave necessary per la scelta di un appropriato 3PL
Ostlin, Sundin, Bjorkman (2008)	Return Policies	Gli autori categorizzano diverse politiche di reso in base al tipo di relazione che si innesca tra remanufacturers e i loro

		clienti/fornitori
Rubio & Corominas (2008)	Remanufacturing Operations	Gli autori indagano sui vantaggi economici che derivano dall'introduzione delle operazioni di remanufacturing all'interno di un sistema lean.

Tabella 1: Rivisitazione della letteratura in maniera di Reverse Logistics. Rielaborazione tratta da I.Russo "La Gestione dei Resi nelle catene di Fornitura" Giuffrè Editore

A questo punto è utile riepilogare i main concept delle singole definizioni sopra riportate, facendo propria la tabella proposta da Soto Zuluaga (2005):

What is?	Inputs	Activities	Output	From	To
<ul style="list-style-type: none"> • Process • Task • Skills and Activities 	<ul style="list-style-type: none"> • Discarded products. • Used products. • Products or parts previously shipped. • Packages and products from hazardous and non-hazardous waste. • Information • Raw materials • In process inventory • Finished goods • Related Information 	<ul style="list-style-type: none"> • Planning, Implementing, Controlling an efficient and cost effective flow. • Collection • Transportation • Storage • Processing • Acceptation • Recovering • Packaging • Shipping • Reducing • Managing • Disposing • Disassembly • Inventories • Production 	<ul style="list-style-type: none"> • Products again reusable • Recycling • Remanufacturing • Disposal • Reducing • Managing • Recapturing value 	<ul style="list-style-type: none"> • Point of consumption 	<ul style="list-style-type: none"> • Manufacturer • Central Collection Point. • Point of origin.

Tabella 2: Comparazione tra le diverse definizioni di Reverse Logistics tratto da Soto Zuluaga "Reverse Logistics: Models & Applications" (2005)

3. La misurazione delle performance nei processi di Reverse Logistics

Da un'analisi della letteratura di riferimento (Guiffrida and Nagi, 2006; Ellram, 2002, Gunasekaran et al., 2004), si evince che non esiste un modello base attraverso il quale le organizzazioni possono rendere le loro Supply Chain più efficienti; ogni azienda deve trovare una soluzione che ben si adatti alla sua specifica situazione. Vari autori hanno applicato diverse approcci per la misurazione delle performance della Supply Chain; alcuni di loro si sono focalizzati sui processi di pianificazione, *make/assembly* e consegna che connotano la Supply Chain (Gunasekaran et al., 2004), mentre altri hanno definito un set di strumenti di misura in termini di *customer-facing*, caratteristiche interne e struttura degli shareholders (Bolstorff and Rosenbaum, 2003).

La scelta delle misure di performance è il risultato dell'analisi del quadro concettuale ed è un fattore chiave per l'attuazione di un sistema di successo RL (Dawe, 1995 e Stock, 1998). Gunasekaran, Patel e McGaughey (2004) suddividono le misure di performance in tre livelli gerarchici attraverso una mappatura decisionale atta a fornire un feedback positivo funzionale. Daugherty, Autry, e Ellinger (2001) forniscono alcune misure in funzione del servizio e dei costi. Le loro misure comprendono: la conformità alle normative ambientali, il miglioramento delle relazioni con i clienti, il recupero dei beni, il controllo dei costi, l'aumento della redditività e l'efficienza complessiva del sistema di RL. Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001) propongono una revisione corretta delle misure di performance. È diviso in livelli gerarchici e comprende tutti i soggetti interessati lungo la catena: il fornitore, l'azienda e il cliente. Chopra & Meindl (2007) propongono indici diversi a seconda della catena di approvvigionamento differenziati in base alle seguenti funzioni: servizi, scorte, trasporti, informazioni sourcing e prezzi. Blackburn, Guide, Souza, e Van Wassenhove (2004) fondano la loro tesi sul "*marginal time value of return*" la quale è la caratteristica del prodotto più influente per valutare le prestazioni di una supply chain inversa.

In materia di misurazione delle performance, il Supply Chain Council, nel 1996, ha sviluppato il *Supply Chain Operations Reference Model* (SCOR), che si pone l'obiettivo di offrire una visione "completa" dei processi tenendo in considerazione tutte le interazioni con i clienti; tutte le transazioni di prodotti; tutte le transazioni di mercato. Nel modello SCOR, vengono sviluppati diversi livelli di dettaglio; i primi vengono definiti in maniera standard dal modello stesso, mentre quelli di implementazione vera e propria sono specifici per ogni organizzazione. La gestione dei prodotti restituiti è stato aggiunto nella quarta versione di questo modello. La versione 9.0 è stato rivisto al fine di individuare le misure di prestazioni applicabili ai sistemi di RL. Esso comprende anche ampliato le funzionalità di gestione del rischio, nonché nuove funzionalità per orientare gli sforzi di sostenibilità ambientale delle imprese. A questo punto, seguendo Neely et al. (1995), Sheperd et al. (2006) iniziano l'analisi del modello partendo dal primo livello. Gli indicatori di performance, individuati attraverso l'analisi della letteratura esistente in materia, viene dagli autori indicizzata innanzitutto sulla base della loro applicabilità ai cinque processi di Supply Chain definiti nello modello SCOR e di seguito riportati:

- **PLAN:** indica il bilanciamento delle risorse con la domanda attraverso un preciso piano di azione che si sviluppa lungo l'orizzonte temporale, atto a soddisfare le richieste di approvvigionamento, produzione e distribuzione
- **SOURCE:** descrive il processo attraverso il quale si concretizza l'approvvigionamento di beni/servizi atti a soddisfare la domanda
- **MAKE:** illustra il processo di trasformazione vero e proprio dei materiali
- **DELIVER:** indica il processo di distribuzione e consegna dei prodotti/servizi
- **RETURN:** indica i processi che consentono il ritorno dei prodotti dopo la consegna. Si distingue tra *Source-Return* e *Deliver Return*

Successivamente si valuta se questi indicatori misurino i costi, i tempi, la qualità, la flessibilità e l'innovatività. La differenziazione degli indicatori è importante in quanto, attraverso tale metodologia, è

possibile distinguere in maniera appropriata da strumenti applicabili a livello strategico, operativo e tattico. In secondo luogo, la distinzione tra indicatori basati o meno sul costo (tempo, qualità, flessibilità ed innovatività) è divenuta importante da quando si è compreso che l'utilizzo dei soli indicatori basati sul costo danno una valutazione incompleta circa le performance della Supply Chain (Chen & Paulraj, 2004). Per quanto attiene gli indicatori non economici la letteratura è solita distinguere:

- Indicatori del tempo e della qualità riflettono l'abilità della Supply Chain di conferire ai clienti servizi di alta qualità
- Indicatori inerenti flessibilità e innovatività guardano all'abilità degli operatori di adeguarsi ai rapidi cambiamenti della domanda ovvero della catena. Questi ultimi due fattori sono considerati come driver strategici molto importante per lo sviluppo futuro delle Supply Chain (Lee, 2004; Morgan, 2004)

4. I caratteri fondanti della Reverse Logistics

Dall'analisi della letteratura di riferimento è possibile tracciare uno schema che permette l'individuazione degli "Ingredienti di base" (De Brito, 2004) che connotano la Reverse Logistics. La tabella che segue vuole si pone sia come strumento di base per la trattazione della materia sia come stimolo per l'individuazione di nuovi spunti di ricerca:

Motivazioni	Fleishmann,1997
Drivers	Carter & Ellram, 1998
Forze ambientali	Gungor & Gupta, 1999
Tipologia di prodotti	Fleishmann,1997
Opzioni di recovery	Thierry, 1995; Goggin & Browne, 2000
Forme di riuso	Fleishmann,1997
Attori coinvolti	Fleishmann,1997

Tabella 3: Nostra Elaborazione su De Brito " Managing Reverse Logistics or Reverse Logistics Management"

L'analisi dei punti cardine su cui si fonda la Reverse Logistics (De Brito, 2004) si basa sui cinque elementi portanti individuati dalla letteratura di riferimento: why-returning, why-receiving, what, how and who. Le sottosezioni si pongono come obiettivo quello di rispondere alle seguenti domande:

- *Why-receiving*: individua le forze che guidano le organizzazioni attraverso la Reverse Logistics;
- *Why-returning*: le ragioni per le quali i prodotti vengono restituiti;
- *What is being returned*: individua le caratteristiche e le tipologie di prodotti coinvolti nella R.L.;
- *How are products recovered*: individua le modalità attraverso le quali viene effettuato il recupero;
- *Who is doing the recovery*: individua i soggetti coinvolti nella Reverse Logistics.

Da una analisi combinata della letteratura di riferimento e delle pratiche aziendali odierne, è possibile individuare tre tipologie di resi (De Brito, 2004):

- *manufacturing returns*: si tratta di tutti quei resi per i quali la necessità di procedere al loro recupero (di componenti ovvero di prodotti) si verifica durante le fasi produttive (De Brito, 2004).
- *distribution returns*: si tratta di tutti quei resi che si verificano durante la fase distributiva. De Brito (2004) individua, in questa macro categoria i prodotti richiamati, intesi come quei prodotti che vengono ripresi dalla OEM o dal fornitore a causa di problemi legati alla sicurezza derivante dal loro utilizzo (Smith et al., 1996). Altra categoria è quella del c.d. B2B commercial returns, che riguarda tutti quei resi per i quali l'acquirente ha la possibilità di restituire il prodotto al venditore in forza di una clausola contrattuale (Tsay et al, 1999). Altro caso è quello degli stock adjustments, il cui esempio tipico è quello dei prodotti stagionali, i quali vengono restituiti nel momento in cui il dettagliante deve ridefinire il proprio stock di magazzino (De Kostner et al., 2002). Infine abbiamo i c.d. functional returns, che riguardano tutti quei prodotti, come ad esempio i pallets, che si muovono "avanti e dietro" lungo la Supply Chain.
- *customer returns*: questa macrocategoria si compone di tutti quei prodotti che, ad esempio, vengono resi dal cliente in quanto ritenuti non idonei a soddisfare le loro aspettative. Fanno parte di questa categoria anche i c.d. end-of-use returns (esempio tipico i prodotti in leasing) ed i c.d. end-of-life returns (prodotti obsoleti).

4.1 I fattori economici

I quattro fattori determinanti che influiscono sulla Reverse Logistics sono:

- ✓ fattori economici diretti ed indiretti (de Brito & Dekker, 2003);
- ✓ la legislazione (de Brito & Dekker, 2003);
- ✓ la questione ambientale & la “*corporate citizenship*” (de Brito & Dekker, 2003; Rogers & Tibben-Lembke, 1998);
- ✓ la “*finance perspective*” (Ravi et al., 2005);
- ✓ questioni ambientali (Rogers & Tibben-Lembke, 1998).

L'economia è vista come la forza trainante per la Reverse Logistics relativamente a tutte le possibili opzioni di ripristino, attraverso le quali le organizzazioni possono ottenere vantaggi diretti ed indiretti. I vantaggi economici diretti possono essere riassunti attraverso due espressioni molto utilizzate dalla letteratura di riferimento: “Se una ditta fa reverse logistics bene, farà soldi” (Stock, 1998). “Il recupero dei prodotti per la rigenerazione, la riparazione, la riconfigurazione e il riciclaggio può portare ad opportunità di business redditizio” (Andel, 1997). Un risultato di ricerche esistenti ha dimostrato che le aziende che fanno uso della rigenerazione per il recupero del prodotto permette risparmi stimati in 40-60% dei costi rispetto alla produzione di un prodotto completamente nuovo (Cohen, 1988; Heeb, 1989; Toensmeier, 1992; Wilder, 1988) richiedendo solo il 20% dello sforzo (Lund, 1984; Sturgess, 1992).

La Logistica di Ritorno è percepita dalle organizzazioni come “*investment recovery*” in contrapposizione alla semplice riduzione dei costi di gestione dei rifiuti (Saccomano, 1997). Un programma di logistica inversa può portare vantaggi economici alle imprese, come ad esempio una riduzione nell'utilizzo delle risorse, l'acquisizione di valore aggiunto dal recupero di prodotti o la riduzione dei costi di smaltimento².

Ovviamente, la realizzazione di una strategia di Reverse Logistics è estremamente costosa e può essere alquanto complicato assegnare i diversi centri di costi alle diverse attività. In accordo con quanto detto da Kwan Tan & Kumar (2006) i costi derivanti dall'implementazione di una strategia di Reverse possono essere suddivisi in tre macro categorie:

1. Costi Unitari
 - a. Costi di trasporto unitari
 - b. Custom costs unitari
 - c. Costi di acquisizione
 - d. Costi di handling
2. Costi Variabili dipendenti dalla quantità di resi
 - a. Costi di riparazione
 - b. Costi di ricondizionamento
 - c. Costi di smaltimento
 - d. Costi di riciclo
3. Costi Variabili dipendenti dallo storage time
 - a. Costi di storage

Sebbene i costi derivanti dalla Reverse Logistics siano facilmente separabili all'interno di differenti categorie, può essere abbastanza difficile identificare l'esatto costo di ogni attività o assegnare l'esatto costo per ogni prodotto reso. Questo dipende, in parte, per il fatto che queste attività ricevono una limitata attenzione da parte del management aziendale (Glodsby & Closs, 2000). Questo è anche

² Guide e Wassenhove (2003) prendono come un esempio la società statunitense “ReCellular”, che attraverso il ricondizionamento dei telefoni cellulari, aveva ottenuto un notevole vantaggio economico.

attribuibile al fatto che i prodotti resi possono variare per modelli, brands e condizioni. Inoltre bisogna tenere presente che “*different cost structures and revenue recovery are associated with the different disposition strategies*” (Skinner et al, 2008). Infine, volendo riassumere quanto detto, è possibile riportare in una tabella una comparazione dei costi che ineriscono l’implementazione di una strategia di forward logistics ed una di reverse:

Costi	Costi connessi alla Reverse Logistics comparate alla Foward Logistics
Costi di Trasporto	Più alti
Mantenimento a scorta	Più bassi
Furti	Molto più bassi
Obsolescenza dei prodotti	Potrebbero essere più alti
Raccolta	Più alti, meno standardizzabili
Smistamento	Più alti
Handling	Più alti
Rimessa a nuovo	Costi alti per la RL, molto bassi per la FL

Tabella 4: Differenza di costi tra RL e FL tratta da I.Russo "La Gestione dei Resi nelle catene di fornitura" Giuffré Editore

Anche senza profitto immediato, un'organizzazione può ottenere, attraverso la logistica inversa, una serie di vantaggi connessi alle politiche di marketing, di concorrenza, di strategia, da cui sono attesi guadagni indiretti. Ad esempio, le imprese possono implementare un processo di recupero intendendolo come un passo strategico per prepararsi alla promulgazione di una futura normativa (Louwers et al., 1999) o addirittura per prevenire gli effetti della legislazione. Per quanto attiene alla concorrenza, una società può impegnarsi nel recupero per impedire ad altre imprese di ottenere la loro tecnologia, o elevare le barriere all’entrata del mercato. Il recupero può anche essere parte di un’operazione di creazione dell’immagine. Per esempio, Canon ha collegato il riciclo fotocopiatrice e delle cartucce alla c.d. Filosofia "kyo-sei", intesa quale crescita cooperativa, ponendo l’accento sul fatto che Canon opera per "vivere e lavorare insieme per il bene comune" (cfr. Meijer, 1998; Canon, 2003). Il recupero può essere utilizzato anche per migliorare i rapporti del cliente o del fornitore (De Brito, 2004). Un esempio è un produttore di pneumatici che offre ai clienti opzioni di “retharding” per ridurre i costi del cliente.

4.2. I fattori legislativi

Un altro fattore importante per la logistica inversa è la legislazione. La normativa si riferisce a qualsiasi azione attuata dall’ordinamento giuridico atta a rendere obbligatorio per le società il recupero dei propri prodotti o accettare la loro restituzione dopo la fine del ciclo di vita del prodotto (Ravi et al., 2005). Le azioni che possono essere intraprese dall’ordinamento includono, ad esempio, la raccolta ed il riutilizzo dei prodotti al termine del ciclo di vita del prodotto, lo spostamento dei costi di gestione dei rifiuti ai produttori, la riduzione del volume dei rifiuti, e l’implementazione di politiche volte ad aumentare il volume di materiali riciclati. L’Unione europea ha stimolato lo sviluppo sostenibile per anni, comprese le pratiche di recupero attraverso la legislazione ambientale. Ad esempio, possiamo citare la Direttiva sulla gestione dei rifiuti Elettrici ed Elettronici atta a promuovere una serie di criteri per la raccolta, trattamento e recupero delle apparecchiature elettriche ed elettroniche in disuso e rendere i produttori responsabili per il finanziamento di queste attività (WEEE, 2003). Recenti sviluppi mostrano che la legislazione e le sue conseguenze sono in continuo aumento. Gli ambiti di applicazione più importanti sono: il settore automotive (Direttiva 00/53/EC), l’elettronica (direttiva 02/96/EC) e gli imballaggi (direttiva 99/31/CE). Anche se gli Stati membri sono anche incoraggiati a introdurre sistemi

di prevenzione e di riutilizzo, bisogna tuttavia sottolineare che questi hanno la libertà in materia di prevenzione e sulle quote di riciclaggio obbligatori (Grecia, Irlanda e Portogallo sono autorizzati a fissare obiettivi inferiori). Per quanto riguarda i rifiuti di imballaggio, ad esempio, Paesi Bassi, Spagna e Belgio hanno lanciato obiettivi di prevenzione (alcuni in forma di covenants), mentre la Danimarca, Germania e Portogallo hanno introdotto obiettivi di riutilizzo. Comuni obiettivi di riciclo-riutilizzo sono in vigore in Austria e Finlandia (questi ultimi ha anche obiettivi di prevenzione espliciti).

4.3 I fattori ambientali

La logistica inversa può portare a benefici di ambiente (Byrne & Deeb, 1993; Carter & Ellram, 1998; Wu & Dunn, 1995). La gestione ambientale ha ottenuto un crescente interesse nel campo della gestione della supply chain. Gungor & Gupta (1999) sottolineano come il c.d. “*Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery*” (ECMPRO) sia diventato un *quid* obbligatorio sia per l’ambiente che per la stessa società, sotto la spinta dei regolamenti governativi e la maggiore attenzione dei client verso le problematiche ambientali.

Handfield e Nichols (1999) menzionano la questione ecologica come un problema critico in questo settore. Murphy, Poist e Braunschweig (1995) hanno dimostrato che il 60% in un gruppo di 133 manager intervistati ha considerato la questione dell’ambiente un fattore molto importante e l’82% di loro si aspetta che l’importanza aumenterà negli anni a venire. Un’immagine di ‘verde’ di produrre prodotti eco-compatibili è diventata un elemento importante di marketing, che ha stimolato una serie di aziende ad esplorare le opzioni per il ritiro e il recupero dei loro prodotti (Thierry, 1997).

La Reverse Logistics può essere vista come una parte dello Sviluppo Sostenibile. Il concetto di Sviluppo Sostenibile è stato coniato da Brundland (1998) in un report all’Unione Europea, dove viene definito quale “*capacità di incontrare le esigenze delle generazioni presente senza compromettere la possibilità per le future generazioni di soddisfare le proprie esigenze*”. Relativamente alla Reverse Logistics, questa può essere vista (De Brito, 2004) come lo sviluppo di tale processo a livello aziendale, atto a garantire che la società usi in maniera efficace ed efficiente tutto il valore che può essere ottenuto da un prodotto. In materia ambientale, Hart (1997) propone il principio del c.d. “ecological footprint” come indice della rilevanza delle iniziative verdi per i paesi. La Reverse Logistics ha portato un vantaggio competitivo durevole alle imprese che incorporano in maniera proattiva gli obiettivi ambientali nelle loro pratiche commerciali e piani strategici (Hanna & Newman, 1996) ed i manager stanno dando sempre più importanza alle questioni ambientali (McIntyre, Smith, Henham, e Pretlove, 1998).

5 Le barriere all'implementazione di una strategia di Reverse Logistics

Ci sono pochi studi che hanno analizzato le barriere principali che influenzano l'implementazione di un sistema di Reverse Logistics, nell'ambito delle nazioni industrializzate. È noto, infatti, che nelle nazioni europee la Reverse Logistics sia oggi questione molto importante, tuttavia Abdulrahman et al. (2012) hanno trovato alcune barriere chiave nell'implementazione della RL nel contesto europeo, come ad esempio una scarsa attenzione da parte dei senior management relativamente alla RL, difficoltà nell'estendere, tra i vari paesi membri, la responsabilità del produttore, una scarsa considerazione nel ritenere la RL come un fattore competitivo, la mancanza di un appropriato sistema di performance management, questioni fiscali, scarsa collaborazione, limitata pianificazione e controllo, mancanza di politiche chiare in materia di resi, una scarsa consapevolezza in materia di legislazione ambientale (PricewaterhouseCoopers' report, 2008; Ciliberti et al., 2008; Jindal and Sangwan, 2011; Hassini et al., 2012; Zailani et al., 2012). Le questioni proposte possono essere classificate nell'ambito di questioni di management, finanziarie, infrastrutturali e politiche.

- **Barriere di Management**

Le barriere inerenti al management includono le strategie d'impresa, la pianificazione, il coinvolgimento, l'assunzione e la formazione del personale, la definizione di una responsabilità estesa tra le varie funzioni aziendali, la definizione di un sistema di misurazione delle performance efficiente, capaci di leggere le best practice e fornire supporto alle strutture.

- **Barriere Infrastrutturali**

Le infrastrutture giocano un ruolo vitale all'interno dell'implementazione di una politica di RL. La letteratura di riferimento ritiene che il successo nella realizzazione di una struttura di RL si può ottenere attraverso l'acquisizione di tecnologie di riciclo affidabili ed attraverso la ordinazione di tutti i membri del ciclo coinvolti. (Rogers and Tibben-Lembke, 2002; Dibenedetto Bill, 2007; Jack et al., 2010). L'esistenza di una buona infrastruttura di RL permette all'impresa di gestire in maniera efficace ed efficiente la gestione dei resi e dei prodotti richiamati (Dibenedetto Bill, 2007; Jack et al., 2010). La presenza di un sistema di gestione dei resi può essere fonte di significative riduzioni di costi, divenendo addirittura un centro di ricavo.

- **Barriere Politiche**

Le barriere politiche, che fanno riferimento a come gli stakeholders interni ed esterni giudicano le imprese, guardano secondo la letteratura di riferimento a quell'insieme di strumenti regolatori della logistica inversa.

- **Barriere Finanziarie**

Le barriere finanziarie in materia di RL guardano di preferenza alle politiche di tassazione. Questa è una delle barriere critiche dalle quali le imprese si attendono di realizzare immediati benefici.

Un'altra problematica da tenere presente quando si implementa un processo di Reverse Logistics, è la presenza del c.d. effetto bullwhip. L'effetto bullwhip è un fenomeno ben noto che, secondo la letteratura di riferimento, è definibile come quell'effetto rilevabile all'interno di una catena

logistica caratterizzato dall'amplificazione della variabilità nel segnale della domanda (effetto Forrester) e dalla perdita di ogni regolarità/effetto temporale (effetto Burbidge) che si riscontra analizzando il sistema passando da valle a monte. Questo fenomeno, come Sucky (2009) suggerisce, può essere intesa come una maggiore variabilità degli ordini man mano che si risale lungo la catena della supply chain. In realtà l'autore mostra come sebbene la variabilità all'interno dei consumi degli utenti finali sembra non variare tanto, in realtà si verifica una maggiore distorsione quando si fa riferimento agli ordini fatti dal dettagliante al grossista. Per comprendere l'effetto bullwhip all'interno della Reverse Logistics è possibile rifarsi al modello proposto da Walker (2005), il quale dà una rappresentazione a zone dove ognuna di essa è definita da un flusso discendente ed uno ascendente in cui possono collocarsi una serie di organizzazioni, su diversi "echelon". Walker (2005) propone quattro zone:

1. Upstream Zone: effettua trasformazioni a valore aggiunto partendo dalle materie prime arrivando alla realizzazione di semilavorati e componenti;
2. Midstream Zone: mette in atto operazioni le operazioni a valore aggiunto attraverso la realizzazione di prodotti a partire dai componenti. In questa fase vengono rilevate le caratteristiche della Distinta Base del prodotto, in quanto in base di quest'ultima si possono identificare varie tipologie di organizzazione.
3. Downstream Zone: zona che aggiunge valore al soddisfacimento degli ordini attraverso il contatto diretto con il cliente, con il quale l'azienda scambia informazioni e dal quale quest'ultima riceve, a fronte dell'erogazione del prodotto servizio, il pagamento. La letteratura identifica diverse modalità di contatto azienda/cliente finale, passando dall'interazione diretta azienda/utente finale (canale diretto) fino a canali composti da diversi livelli di stadi distributivi (grossisti-dettaglianti-clienti finali).
4. Reverse stream zone: rappresenta quell'area che gestisce prodotti di ritorno nonché si preoccupa di essere un'interfaccia con il cliente quando si tratta di gestire prodotti indesiderati, difettosi ovvero al termine del ciclo di vita.

Da un'analisi dell'effetto bullwhip applicato al metodo di Walker si evince che questo provoca all'interno della catena importanti problematiche come ad esempio lead time crescente, basso servizio reso al cliente, costi di trasporto e di stoccaggio molto elevati. Nell'ambito dell'interazione bullwhip & RL non si può non tenere presente, come Sucky (2009) sottolinea, del c.d.risk pooling, il quale asserisce che la variabilità della domanda si riduce all'aumentare della aggregazione delle scorte. Questa problematica con le sue dirette influenze sulla CLSC, deve essere presa in considerazione e potrebbe essere una tematica di ricerca da approfondire.

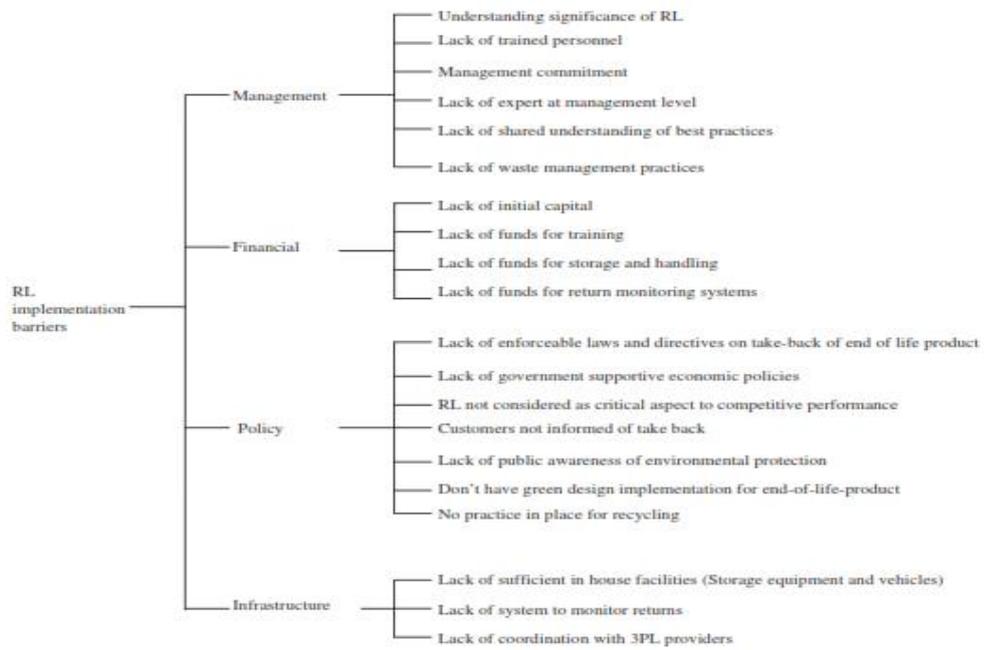


Figura 2 Tratto da Abdulrahman, M.D., et al., *Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors*, *Internationa Journal of production Economics* (2012)

6. Le opzioni di Product Recovery

Da uno studio della letteratura esistente è stato dimostrato che un'effettiva politica di Reverse Logistics contribuisce al recupero del valore "materiale ed immateriale" attraverso il riutilizzo di prodotti o componenti o da materiali di riciclo. Lund (1998), in particolare, afferma nel suo studio che sono più di 70.000 imprese in USA operanti nel recupero per motori a reazione e auto, ricambi auto e fotocopiatrici, con un volume di vendite pari a 53 miliardi di dollari nel 1998. Le caratteristiche intrinseche di un prodotto, come l'omogeneità, la facilità di smontaggio e la testabilità, sono determinanti per il recupero del reso, in quanto influenzano l'economia del intero processo di reverse. Gungor e Gupta (1999) si sono soffermati sulla composizione del prodotto, intesa come numero di componenti e di materiali che ne caratterizzano la distinta base. Goggin e Browne, (2000) hanno invece posto la loro attenzione sulle modalità con cui un prodotto viene assemblato. Gli autori hanno dimostrato come maggiore sia la capacità del prodotto di essere facilmente smontato, maggiore sarà l'economicità dell'intero processo di Reverse Logistics. Inoltre gli stessi autori hanno dimostrato come un'ulteriore leva da tenere presente nella realizzazione di un prodotto sia la dimensione dello stesso, in quanto questa inerisce fortemente sulla complessità dei sistemi di recupero da porre in essere, in particolare dei sistemi di trasporto. La tipologia di prodotto è un'ulteriore caratteristica da tenere presente quando si individuano le diverse opzioni di recovery. Fleischmann et al. (1997) distinguono le seguenti macro categorie: pezzi di ricambio, l'imballaggio, e beni di consumo, alla quale può essere aggiunta la classe di prodotti industriali, che in generale sono più complessi e hanno un tipo di impiego diverso da quello dei beni di consumo. Inoltre, guardando la classificazione dei prodotti fatta dalle Nazioni Unite (ONU) (v. ONU, 2003), De Brito (2004) ha discriminato alcune categorie di prodotti, come: minerali, oli e prodotti chimici; oggetti destinati ad uso civile, e altri materiali trasportabili. Gli oggetti destinati ad un uso civile hanno una lunga vita utile. Oltre a questo, il recupero deve essere per lo più in site visto che strutture come i ponti e le strade non sono facilmente rimovibili e trasportabili. Minerali, oli e prodotti chimici sono una categoria speciale a causa della loro composizione che necessita di movimentazione specializzata durante qualsiasi processo di recupero. Le modalità di utilizzo del prodotto hanno una forte influenza nell'implementazione di una strategia di recovery. Innanzitutto bisogna differenziare a seconda se l'utilizzatore finale sia un individuo ovvero un'istituzione. In secondo luogo bisogna stabilire il grado di utilizzo del prodotto. Si prenda ad esempio del leasing medico (De Brito, 2004). In questo caso le apparecchiature, che sono di solito utilizzate per un breve periodo di tempo, possono essere nuovamente affittate dopo una serie di operazioni appropriate, come la sterilizzazione. Nell'implementazione di una strategia di Reverse Logistics, bisogna tenere presente che i prodotti ed i materiali sono sottoposti a deterioramento. Le tipologie di deterioramento (o obsolescenza) individuabili in letteratura sono due: l'obsolescenza fisica e l'obsolescenza economica; entrambe le forme sono in grado di influenzare fortemente l'opzione di recupero scelta. Quando ci si sofferma sul problema dell'obsolescenza, gli operatori economici devono soffermarsi su tre problematiche: l'obsolescenza fisica, intesa come età del prodotto; omogeneità del peggioramento, intesa come valutazione dell'invecchiamento delle parti componenti il prodotto finito e l'obsolescenza economica, inteso come "valore economico residuo del prodotto". La differenza che sussiste tra obsolescenza fisica ed obsolescenza economica costituisce un problema di non poco conto, capace di dispiegare i suoi effetti non solo a livello produttivo ma anche in senso più squisitamente economico-aziendale. Infatti un prodotto può diventare obsoleto da un punto di vista economico anche se il prodotto, inteso come complesso di componenti, risulta ancora funzionante.

In materia di obsolescenza, la letteratura individua due diverse problematiche oltre all'obsolescenza funzionale: la c.d. *fashion obsolescence*, che si verifica quando il prodotto perde appeal a causa di nuovi prodotti lanciati sul mercato che hanno migliori ovvero nuove caratteristiche e la c.d. *planned obsolescence*. La *planned obsolescence* viene definita come una delle strade attraverso i quali i

mercati generano domanda per i nuovi prodotti; B. Earl Puckett, CEO della Allied Stores Corporation, ha detto che *'We must accelerate obsolescence...It is our job to make women unhappy with what they have...We must make them so unhappy that their husbands can find no happiness or peace in their excessive savings'* (Packard, 1963). Quindi, una crescente fetta della letteratura considera il "consumerismo" come un paradigma sociale in grado di influenzare profondamente lo sviluppo sostenibile mondiale (Halliday, 2002). In contrasto con questa vision, la *planned obsolescence* (ed il consumerismo che essa genera) è stata difesa da Fishman et al. (1993), i quali la considerano come *"as an engine of technological progress"*. Sebbene incriminata in termini di efficienza economica e di sviluppo sostenibile, la considerazione secondo la quale la *planned obsolescence* rappresenta una via verso il progresso è spesso utilizzata come "strumento politico" (Cooper, 2002)

Quando si valuta le opportunità di recupero di un prodotto non si può non fare riferimento all'omogeneità di deterioramento delle sue parti componenti. Infatti se un prodotto subisce un deterioramento completo, come ad esempio una batteria, il riutilizzo del prodotto non può essere preso in considerazione. Se invece, solo talune parti del prodotto, subiscono un forte deterioramento, allora è possibile, per l'impresa, scegliere altre opzioni di recovery, come ad esempio la riparazione ed il ricondizionamento. Non sempre, quindi, conviene riparare un prodotto. Ma quali sono le ragioni che rendono un prodotto *"out of fuse"*. Il problema del deterioramento del prodotto è, poi, strettamente connesso al c.d. ciclo di vita del prodotto e quali siano le sue implicazioni in materia di Reverse Logistics. Stock & Mulki (2009) ritengono che il ciclo di vita del prodotto gioca un ruolo importante nella determinazione della più adeguata strategia di recovery: il valore residuale del prodotto permette di determinare se un prodotto restituito debba essere o meno smaltito, riciclato, riparato, ricondizionato o rinnovato. Quindi, non è vantaggioso convogliare prodotti con basso valore aggiunto verso opzioni di recovery come la riparazione il rinnovamento o il re manufacturing, ma eventualmente dirigersi verso la cannibalizzazione ed il riciclaggio (Knemeyer et al., 2002; Inderfurth, 2005; Kumar et al., 2007). L'idea di considerare il PRV durante la pianificazione e l'implementazione di una Reverse Supply Chain è uno dei punti fondamentali dello studio di Stock & Mulki (2009). Questa nozione è importante perché il PRV è una variabile indipendente nell'ambito della Reverse. Il PRV dipende dalle condizioni dei prodotti resi come dall'esistenza di mercati secondari. In particolare, la distinzione tra basso ed alto PRV dipende da molteplici fattori quali: le condizioni del prodotto dismesso (età, qualità, intensità di utilizzo; Guide and Van Wassenhove, 2003; Derimel et al, 2008), la domanda di prodotti ricondizionati, la domanda di prodotti riciclati, i costi di struttura del processo di recovery (Prahinski and Kocabasoglu, 2006; Kumar et al., 2007; Stock and Mulki, 2009) ed il processo di obsolescenza. Questi sono dipendenti alle modalità di utilizzo del prodotto, all'esistenza di mercati per prodotti ricondizionati e materiali riciclati, ai criteri applicati nel design del prodotto, e all'evoluzione della tecnologia interna al prodotto. Tutti questi fattori influenzano il PRV; il più importante è l'esistenza di mercati secondari che sono in grado di ricevere prodotti ricondizionati al prezzo che i clienti si aspettano di pagare. Il prodotto reso può essere in buone condizioni, anche funzionante, e apparentemente preservare un alto valore residuale. Tuttavia se il prodotto reso è obsoleto e viene sostituito da una nuova generazione di prodotti che hanno le stesse ovvero più funzioni ad un prezzo minore, il valore residuale si abbassa. Se il primario obiettivo di una catena di reverse è quella di recuperare valore in termini di prodotti ricondizionati, il flusso inerente al design ed alla configurazione del prodotto dovrebbe garantire un breve lead time. Dall'altro lato, se il primario obiettivo è quello di recuperare valore in termini di materie prime e componenti riciclati, il lead time è meno rilevante e il parametro principale diviene l'efficienza dei costi (Krikke et al., 2004; Guide et al., 2006). Questo principio può essere interpretato in termini di *"Responsive"* reverse chain, nel primo caso, ed *"Efficient"* reverse chain nel secondo, rispettando il paradigma caro a Fisher. L'autore, innanzitutto, distingue tra prodotti funzionali con domanda stabile ed un lungo ciclo di vita e prodotti innovativi, caratterizzati da una domanda variabile ed un breve ciclo di vita. Poi, Fisher propone due strutture di Supply Chain nel quale una struttura

“Efficient” è realizzata al fine di consegnare prodotti a basso costo ed una *“Responsive”* Supply Chain disegnata per risposte veloci. La rilevanza del modello di Fisher per la Reverse Chain è chiaramente dimostrabile in termini di PRV: i prodotti definiti “innovativi” dal Fisher corrispondono a prodotti resi con un alto valore residuale, mentre i prodotti funzionali corrispondono ai resi con basso valore residuale. La Responsive Supply Chain dovrebbe essere, quindi, associata a resi ad alto valore aggiunto, mentre una Reverse Supply Chain guarda ai resi di basso valore.

6.1 Il Product Recovery all'interno della Programmazione della Produzione: MRP & Scheduling

L'implementazione dell'MRP all'interno di una strategia di product recovery costituisce un problema che sta acquisendo, nel corso degli ultimi anni, sempre maggiore attenzione. L'introduzione del product recovery comporta una serie di problematiche all'interno della pianificazione della produzione; si prenda il caso della scelta della modalità di approvvigionamento ottimale. In tal caso, come Fleishmann (2000) sottolinea, l'azienda non potrà gestire questa problematica avvalendosi dell'approccio di tipo top-down proposto per l'MRP tradizionale. In letteratura esistono diverse modificazioni nell'applicazione dell'MRP. La procedura attraverso il quale raggiungere il c.d. disassembly scheduling (DS) è nota come reverse materials requirements planning (RMRP), la cui procedura si basa essenzialmente su una forma rovesciata dell'MRP tradizionale. (Gupta and Taleb, 1994). In pratica si verifica il rovesciamento della distinta base la quale documenta i sottoassiemi di prodotto recuperabili e le lavorazioni necessarie per ottenerli. Poiché non tutti i materiali possono essere sottoposti a recupero, questa "reverse bill of materials" non può essere considerata come "immagine simmetrica della distinta base originale" (Fleishmann, 2000). Esiste una interessante differenza tra le modalità di calcolo previste per l'MRP tradizionale ed il Reverse MRP. Una caratteristica importante dell'MRP tradizionale è che questa è nata per l'assemblaggio dei prodotti e per i quali esiste una singola fonte di domanda, localizzata nel prodotto finito. Uno dei problemi che sorgono quando ci si focalizza sul Reverse MRP è che ci si trova dinanzi ad una struttura a domanda multipla, dovuta, ad esempio, alla presenza di componenti ricavati da prodotti utilizzati. Questa condizione comporta un aumento nella complessità dei calcoli che produce eccessi nelle politiche di approvvigionamento per quei materiali che hanno una domanda relativamente bassa comparata a quella degli altri componenti (Gupta and Taleb, 1994).

Volendo fare un'analisi della letteratura presente in materia, Flapper (1994) sofferma la sua attenzione sul caso in cui i diversi componenti del prodotto finale possono essere ottenuti attraverso il disassemblaggio di prodotti utilizzati invece che attraverso l'acquisto di materie prime vergini. Inderfurth & Jensen (1998) applicano il modello di Flapper inserendo, quale ulteriore vincolo, l'incertezza futura sulla disponibilità di componenti recuperabili. In particolare, gli autori si soffermano sull'analisi di sistemi di pianificazione della produzione che siano, al tempo stesso, reattivi e proattivi. La questione della scelta tra diverse alternative di approvvigionamento è stata affrontata da Cleg ed al. (1995). Gli autori hanno proposto un modello di programmazione lineare multi periodo atto a schedulare il disassemblaggio di diversi prodotti usati ed il successivo riutilizzo dei componenti recuperati. Gupta & Taleb (1994), soffermandosi sulla interdipendenza esistente tra diversi componenti contenuti in un medesimo prodotto, hanno proposto un algoritmo per programmare il disassemblaggio del prodotto in una situazione certa e ben definita. Gli stessi autori, nel 1997, hanno esteso questo approccio ad una situazione multi prodotto caratterizzata da componenti comuni. Da allora molti altri articoli di ricerca sono apparsi sulla pianificazione e programmazione della produzione all'interno di una strategia di product recovery. Guide et al. (1997) hanno sviluppato una serie di politiche di scheduling per il remanufacturing, mentre Perry (1991) ha studiato l'impatto del lot sizing in nell'ambito delle operazioni di recovery. Lee et al. (2002, 2004), Lee & Xirouchakis (2004) e Kim et al. (2003) hanno proposto modelli di programmazione intera per determinare la capacità dei processi di disassemblaggio di prodotti usati di soddisfare la domanda di componenti all'interno di un processo di pianificazione della produzione, considerando diverse soluzioni aventi diversi livelli di costi e capacità. Inderfurth & Langella (2006) si sono interessati del problema del c.d. disassemble to-order, dove la resa delle attività di disassemblaggio è definita stocasticamente, attraverso l'utilizzo di tecniche euristiche. Kim et al. (2006) hanno suggerito un sistema euristico a due fasi per il Disassembly Scheduling (DS) basato su un sistema compost da diversi tipi di prodotto con parti comuni; questo sistema aveva come obiettivo quello di minimizzare i costi inerenti al set up, alle operazioni di disassemblaggio ed alla gestione del

magazzino attraverso un algoritmo che incorporava la programmazione lineare e la programmazione dinamica.

Dato l'elevato livello di incertezza che connota i processi di remanufacturing, alcuni autori si sono soffermati sull'appropriatezza, in tale contesto operativo, di uno strumento puramente deterministico qual è l'MRP. Diversi studi di simulazione sono stati presentati in letteratura; questi si fondano su diverse politiche di scheduling per le operazioni di remanufacturing, includendo gli approcci first-come-first-serve ed il batching (Guide et al., 1997a; Guide and Srivastava, 1997, 1999). Gli autori, nel loro studio, concludono che la scelta di una strategia di disassemblaggio potrebbe non avere un impatto significativo sulle performance aziendali. Guide et al. (1997b) hanno esteso le analisi sopra considerate per investigare il loro impatto sulla capacity planning. Gli autori hanno proposto delle modificazioni alle tecniche tradizionali RCCP introducendo una serie di "discount factors", facendo leva sull'incerta riparabilità e riutilizzabilità dei componenti recuperati.

6.2 Le diverse opzioni di recovery

In materia di product recovery, Thierry et al. (1995) hanno identificato le seguenti opzioni di recupero: riparazione, rinnovamento, ricondizionamento, cannibalizzazione e riciclo. Il più logico approccio per “chiudere il cerchio” sull’uso del prodotto è semplicemente ripararlo in modo da estenderne la vita operativa (King et al.,2006). Tuttavia, sebbene questo sia un concetto semplice, nella pratica poca attenzione è stata data dalla letteratura circa una adeguata comprensione di questa opzione di recovery.

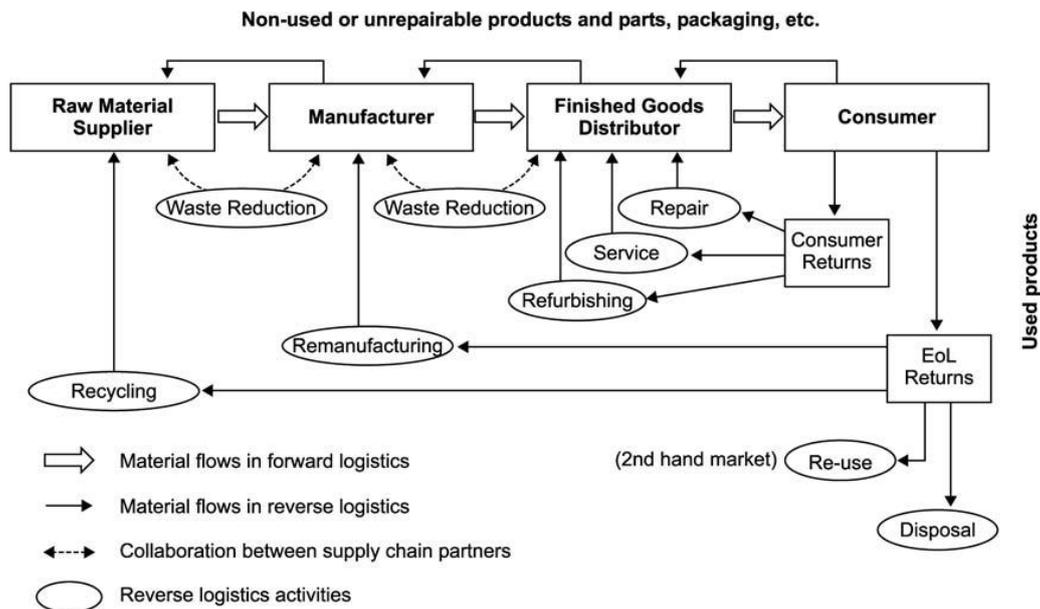


Figura 3: Tratto da Kwok Hung Lau, Yiming Wang, (2009), "Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study", *Supply Chain Management: An International Journal*

È chiaro che il *product recovery* ha un’influenza diretta sulla profittabilità delle imprese. Quello che è meno chiaro, tuttavia, è come il *product recovery* impatta sulle scelte aziendali, tenendo presente la realizzazione dei nuovi prodotti. Atasu et al. (2011) fondano le loro considerazioni in materia focalizzandosi su come il design dei prodotti, in particolare le scelte aziendali in tema di qualità di questi ultimi, impattano sul *product recovery*, per il quale la qualità è intesa come una misurazione osservabile della qualità, che incrementa la valutazione del prodotto data dal mercato, come sottolineato dal Moorthy (1988) e dal Desai (2001). Il *product recovery* si fonda su tre variabili: esso dipende dalle capacità dell’azienda di recuperare materiali ovvero componenti di qualità dai resi, e di ottenere, in generale, profittabilità dai resi stessi. Sulla base del loro modello, Atasu et al. (2011) mostrano che la tipologia di *product recovery* utilizzata, la struttura dei costi del recovery e la presenza di una legislazione in materia di *product take-back* giocano un ruolo importante nelle scelte in materia di qualità. In generale, è possibile affermare che le politiche di *product recovery* sono correlate positivamente con le scelte aziendali in tema di qualità, con l’eccezione di alcune modalità di recupero. Inoltre, questi autori sottolineano come una legislazione *take-back* spinga verso un maggiore

orientamento verso la qualità rispetto all'implementazione di una politica di *take-back* volontaria. Comunque le implicazioni ambientali connesse alle differenti modalità di recupero hanno impatto diverso sul surplus a favore del consumatore e sul profitto aziendale.

Per le diverse forme di riuso, verrà accettata la catalogazione fatta dal Thierry (1995).

La riparazione fa riferimento al ritorno dei prodotti usati allo stato di *"working order"*. In altre parole, la riparazione non è altro che "la correzione di definite problematiche che si presentano in un determinato prodotto" (King et al., 2006). Generalmente, la qualità di un prodotto riparato è minore rispetto a quella che si ottiene attraverso il ricondizionamento ovvero al rinnovamento del prodotto.

Il rinnovamento si colloca a metà strada tra il ricondizionamento e la mera riparazione. Questo perché il rinnovamento spesso richiede di riportare, alla condizione di lavoro, i maggiori componenti; questo generalmente comporta che il prodotto rinnovato sia percepito come di minore efficienza rispetto al modello originale. Tutti i componenti principali rotti o che sono prossimi all'usura sono sostituiti ovvero ricostruiti, anche se il consumatore non ha riportato alcun problema circa il funzionamento di questi componenti. Sul mercato, il ruolo del prodotto rinnovato è ben definito ed è stato creato il c.d. *"grey goods" market* (dove per i prodotti nuovi vi è il c.d. *"White goods" market*), nei quali prodotti come lavatrici o frigoriferi sono rinnovati al termine del loro "primo ciclo di vita" e rimessi in vendita come *"grey goods"*. L'utilizzo di una differenziazione *grey/white* permette di comprendere come i prodotti non vengono riportati alla loro condizione originale ma sono "aggiornati" in modo da poter essere ancora utilizzati con efficienza. Spesso questi prodotti sono venduti o direttamente a consumatori a basso reddito ovvero indirettamente attraverso appositi operatori istituzionali. La ridotta qualità del prodotto rinnovato permette a questi segmenti di acquistare un prodotto altrimenti non accessibile. (Renew, 2004).

Nel caso del ricondizionamento, la reverse supply chain presenta i seguenti punti chiave: acquisizione di prodotto, reverse logistics, ispezione, ricondizionamento e remarketing. Seguendo la definizione data da Lund (1983) il Remanufacturing ". . . an industrial process in which worn-out products are restored to like-new condition. Through a series of industrial processes in a factory environment, a discarded product is completely disassembled. Useable parts are cleaned, refurbished, and put into inventory. Then the new product is reassembled from the old and, where necessary, new parts to produce a fully equivalent and sometimes superior in performance and expected lifetime to the original new product". Il ricondizionamento, quindi, è l'unico processo attraverso il quale i prodotti utilizzati sono riportati, secondo la percezione del consumatore, almeno alle specifiche tecniche previste dall'*Original Equipment Manufacturer* (OEM) e, allo stesso tempo, sono concesse garanzie che rendono tali prodotti equivalenti rispetto ai nuovi prodotti (Ijomah, 2002). La ragione che sottende tale definizione è che se il prodotto ricondizionato ha qualità uguale rispetto ad un nuovo prodotto ad esso equivalente, allora anche la garanzia dovrà essere almeno la stessa. Di tutti i processi che coinvolgono il c.d. *"secondary market"*, il ricondizionamento comporta il più alto grado di lavoro e, come risultato, i prodotti ottenuti hanno una maggiore qualità ed efficienza. Lund (1998), studiando 75 tipologie di prodotti che sono spesso ricondizionati, ha sviluppato una serie di criteri utili per definire se sia conveniente o meno ricondizionare un prodotto. I sette criteri sono: a) il prodotto è o meno durevole; b) il prodotto funziona correttamente; c) il prodotto è standard e le sue componenti sono intercambiabili; d) il costo per ottenere il prodotto reso è minore rispetto al suo residuo valore aggiunto; e) il prodotto ha un alto valore aggiunto residuale; f) la tecnologia del prodotto è stabile; g) il consumatore è a conoscenza del fatto che il prodotto ricondizionato è disponibile sul mercato. Ferguson et al. (2006) ritengono che la maggior parte della letteratura esistente in materia di ricondizionamento si sia focalizzata su questioni operative legate ai flussi di ritorno dei prodotti resi. Le questioni principali riguardano il disassemblaggio, (Guide & Srivastava 1998), l'MRP per il *product recovery* (Kokkinaki et al. 2004), il *production planning* (Inderfurth et al. 2004), lo *scheduling* ed il *shop floor control* (Guide et al. 1997), la gestione delle scorte (Toktay et al. 2000; Minner and Lindner 2004; van der Laan et al. 2004),

l'*handling* ed il *warehousing* (de Brito and de Koster 2004), le previsioni (Toktay et al. 2004), la *reverse logistics network design* (Fleischmann 2000). In questo contesto, il prezzo e la domanda sono assunti come variabili esogene e i consumatori non possono differenziare tra prodotti nuovi e condizionati. Recentemente alcuni autori hanno cominciato ad esplorare questioni legate al mercato come la segmentazione, la competizione e gli incentivi alla raccolta dei resi. Molti lavori hanno investigato sull'impatto della competizione nell'ambito del ricondizionamento, guardandola secondo diversi punti di vista. Groenevelt & Majumder (2001) e Ferrer & Swaminathan (2005) ritengono che i prodotti nuovi e ricondizionati offerti da una OEM sono indistinguibili; tuttavia un prodotto ricondizionato offerto da un nuovo soggetto operante nel settore viene percepito come di minor valore da parte dei consumatori. Il ricondizionamento è particolarmente indicato ai prodotti meccanici complessi, che hanno una struttura che, quando recuperato, conferisce a questi un elevato valore aggiunto inteso sia in senso di valore di mercato sia in termini di costo (Lund, 1985). Sebbene siano chiari i vantaggi ambientali ottenibili (e la possibilità di incontrare più facilmente le aspettative che il legislatore ha in materia di responsabilità sociale del produttore), ci sono anche altri benefici dal ricondizionamento. Bras & McIntosh (1999) sostengono che, attraverso la restituzione di vecchi prodotti, le aziende possono ottenere dei feedback in materia di affidabilità e durabilità del prodotto ed inoltre possono rivendere questi in mercati secondary, sostenendo un costo pari al 60% di quello relativo a prodotti nuovi. Ijomah et al. (1999) hanno delineato un processo di ricondizionamento sulla base delle seguenti attività:

1. Ricevimento del core, che la parte del prodotto da ricondizionare. Il termine "core" utilizzato nell'ambito del remanufacturing è più ampio rispetto a quello che fa riferimento al prodotto.

2. Smantellare e pulire gli elementi caratterizzanti il "core". Se la parte trattata deve essere sporca, questa viene o pulita ovvero smantellata. L'ispezione visiva, in questa fase, permette di scartare immediatamente i prodotti fortemente danneggiati.

3. Stima e previsione dei costi di ricondizionamento. Dal momento che molte aziende operanti nel settore del ricondizionamento sono spesso sub-contraenti delle OEM, il costo dello stesso è spesso stimato su ogni prodotto, in modo da determinare la migliore strategia di recovery.

4. Ricondizionamento.

5. Ricostruzione, test e distribuzione. Infine i prodotti ricondizionati sono riasssemblati al fine di realizzare un nuovo prodotto. Dopo i test di qualità, il prodotto è di nuovo disponibile per la vendita.

Il riciclaggio, in accordo con la NRC (1999) viene inteso quale '*...the series of activities by which discarded materials are collected, sorted, processed, and used in the production of new products*'. In altri termini, questo consiste nel recupero di materiale senza che questo conservi la sua struttura originaria e nella possibilità di rigenerare il prodotto attraverso alcune fasi produttive. Esempi di questa categoria sono il vetro, la plastica, l'alluminio ed i rottami metallici in genere. Nel caso del riciclaggio, la reverse chain si presenta come: acquisizione di prodotto, reverse logistics, trattamento, riciclo delle materie prime recuperate, scarica ed incenerimento (Krikke et al., 2004; Prahinski and Kocabasoglu, 2006; Grant and Banomyong, 2010). Da una analisi della letteratura, si evince chiaramente che è meglio, da un punto di vista ecologico, riciclare i materiali rispetto alla sua destinazione in discarica. Tuttavia, sebbene oggi vi sia la più forte strategia atta ad evitare la creazione di rifiuti, con tassi di riciclaggio che superano l'80% per determinate categorie di prodotti, molti designer sono restii ad utilizzare materiali riciclati a causa della loro incerta qualità. (Chick & Micklethwaite, 2002). Un tentativo di affrontare la questione della qualità è stato quello di definire ulteriormente il materiale riciclabile, inteso come quel materiale in grado di riacquistare le proprietà che aveva nel suo stato vergine, e quindi in grado di sviluppare una misura del 'riciclaggio' di materiali diversi, valutando la purezza e la capacità di generare valore economico (Villalba et al., 2002). Inoltre, materiali riciclati non solo riducono l'utilizzo di materiale vergine, ma hanno anche bisogno di minore energia per essere riasssemblati in prodotti finiti. Jacobs (1991) afferma "*Wastes can't turn back into*

resources unless there is some external source of energy". "Recycling" doesn't just happen on its own...it has to be powered by an energy source. This is because the embodied energy (known as energy) used in production is lost during the recycling process'."

Nella rimessa a nuovo il prodotto è completamente disassemblato, fino a riuscire a testare e controllare la qualità dei suoi componenti, che vengono rimontati su prodotti destinati alla vendita. Il consumatore non percepisce che il prodotto che sta utilizzando non è nuovo al 100%, in quanto la natura della componentistica montata non è percepibile a chi usa il prodotto, che resta comunque di qualità pari a quella garantita per un prodotto nuovo.

Lo smantellamento si attua per i prodotti non riciclabili oppure eccessivamente usurati o degradati. Il materiale raccolto che non è più inseribile in produzione viene, in pratica, avviato alla discarica per essere interrato oppure per essere trasformato in energia.

Il riuso diretto si ha quando è possibile recuperare i prodotti senza effettuare alcuna operazione prioritaria, fatta eccezione per la pulizia e la manutenzione. Rientrano in questa categoria, i pallet, le bottiglie ed i contenitori.

7 La cannibalizzazione del prodotto nell'ambito del Product Recovery

La cannibalizzazione, infine, viene definita come “...the extent to which one product's customers are gained at the expense of customers of other products offered by the same firm” (Copulsky, 1976). Il problema della potenziale cannibalizzazione dei nuovi prodotti da parte di versioni ricondizionate dello stesso prodotto è un problema centrale nel continuo sviluppo della Closed Loop Supply Chain (Guide jr et al., 2010). Viste le similarità tra un nuovo prodotto ed uno ricondizionato, la letteratura di marketing sostiene che il rischio di cannibalizzazione di un nuovo prodotto da parte di beni “ricondizionati” è significativo (Mason & Milne, 1994; Aaker&Keller, 1990; Buday, 1989). Le ipotesi proposte dalla letteratura in merito alla cannibalizzazione dei prodotti si fondano sulla teoria dell'elasticità della domanda (Kerin, Harvey, Rothe, 1978). La letteratura distingue due forme di *product-line extensions*: *brand extension* e *line extension*. La *brand extension* si riferisce al caso in cui il marchio corrente viene utilizzato per entrare in una classe di prodotto completamente differente (e.g., HP si estende al settore delle fotocopiatrici). La *line extension* si riferisce al caso in cui un marchio viene utilizzato per penetrare un nuovo segmento di mercato all'interno della stessa gamma di prodotto (e.g., stampanti a getto di inchiostro e laser HP) (Aaker & Keller, 1990). Buday (1989) sostiene che, come la somiglianza tra attributi dei prodotti aumentano, la probabilità della cannibalizzazione di un nuovo prodotto da parte di prodotti esistenti nella gamma incrementa. Quindi, la cannibalizzazione riguarda più le *line* che le *brand extensions*.

La letteratura, in materia di cannibalizzazione, ha cercato anche di sviluppare delle misure atte a misurare la cannibalizzazione e ad applicarle al caso concreto. La *conjoint analysis* ed un certo numero di sistemi previsionali atti a misurare la penetrabilità dei mercati da parte dei nuovi prodotti è stata utilizzata da Silk & Urban (1978) per misurare il grado di cannibalizzazione.

Mason & Milne (1994) hanno proposto un approccio per misurare la cannibalizzazione basato sul concetto di “nicchia” in ecologia. Harvey & Rothe (1978) ritennero che il metodo più accurato per testare l'attuale grado di cannibalizzazione è attraverso un test di mercato, dove beni o servizi sono esposti ad un piccolo e rappresentativo gruppo di consumatori sui quali testare le varie strategie di marketing.

Sulla scorta di questa letteratura, Guide jr et al (2010) hanno analizzato il problema della cannibalizzazione attraverso il metodo dell'asta al fine di determinare la volontà dei consumatori di pagare (WTP) sia per quel che riguarda i prodotti nuovi che per quel che attiene i prodotti ricondizionati. Il sistema dell'asta ha permesso agli autori di comprendere meglio il potenziale impatto legato all'offerta contemporanea di prodotti nuovi e ricondizionati, in modo da comprendere quanto un nuovo prodotto può subire l'effetto di cannibalizzazione da parte di prodotti già esistenti. I loro risultati indicano che esiste una chiara differenza in termini di WTP sia per i prodotti nuovi che ricondizionati a seconda che si parli di *consumer product* che di *commercial product*. Infatti mentre nel caso *consumer product*, il rischio di cannibalizzazione è minimo, per i *commercial products*, esiste un potenziale rischio di cannibalizzazione elevato.

8 I soggetti attori della Reverse Logistics

Nell'individuazione dei soggetti coinvolti nella Reverse Logistics, Fullen & Allen (1997) individuano, quali "top players", i seguenti operatori: attori operanti nella forward supply chain, operatori specializzati all'interno del reverse flow, istituzioni governative ed altri operatori. Questi operatori possono giocare all'interno del sistema, diversi ruoli:

- Organizzativo/ Gestionale, dove ogni agente è responsabile di una singola area del network logistico;
- Esecutivo, dove si collocano l'insieme dei soggetti coinvolti nell'insieme delle attività di Reverse Logistics;
- Utilizzatore finale, dove si collocano i consumatori finali.

Da questa analisi si evince chiaramente quanto sia importante la creazione di un network efficiente tra azienda e sui stakeholder (Clarkson, 1995; Post et al., 2002). In accordo con questa teoria, il management sarà responsabile della supervisione di tutte le richieste degli stakeholder, non solo quindi delle esigenze degli azionisti. Questa responsabilità di coordinamento di un insieme di interessi allo stesso tempo cooperative e competitivi costituisce la ragion d'essere di ogni azienda (Hill and Jones, 1992). In questo senso, la letteratura in materia di Reverse Logistics si è soffermata sull'importanza delle differenze dei gruppi di pressione nell'implementazione di questi programmi. (Carter et al., 1998; Drumwright, 1994; Sidell, 2003; Smith et al., 1997).

Le richieste dei differenti stakeholders come i fornitori, clienti, agenzie governative, aziende no profit (Carter et al., 1998; Toffel, 2003), e gli azionisti (Guide and Van Wassenhove, 2001) possono essere viste quali strumenti in grado di spingere verso l'implementazione di una politica di RL. In altre parole, gli stakeholder hanno diverse richieste che l'azienda può soddisfare attraverso le attività di RL. Per esempio, i clienti possono chiedere periodi più lunghi di garanzia, che sfociano in attività di restituzione e riparazione del prodotto. Il riciclaggio può soddisfare le richieste delle aziende no profit relativamente ad un comportamento ambientale più responsabile. Quindi, la prima questione chiave è come le aziende devono identificare e classificare le differenti richieste degli stakeholder. Mitchell et al. (1997), dopo una profonda revisione della letteratura, hanno concluso che l'interesse di un gruppo dipende dalla percezione dei manager con riferimento a tre caratteristiche degli stakeholders: potere, legittimazione ed urgenza. Queste caratteristiche sono poi definite come il potere di influenzare l'impresa, la legittimità delle richieste degli stakeholders e l'urgenza delle richieste degli stakeholders in rapporto all'organizzazione. Di conseguenza, l'importanza degli stakeholders cresce quando crescono potere, legittimità ed urgenza. Di conseguenza, come l'importanza degli stakeholders cresce, anche la loro influenza sull'impresa cresce.

9 La Reverse Distribution

Quando si progetta una struttura a rete della logistica inversa, ci sono molti fattori da considerare (Kara et al., 2007). Questi fattori comprendono il numero e il tipo di partecipanti nel sistema, il numero e la posizione del centro di smontaggio, punti di raccolta, caratteristiche del flusso di materiale e caratteristiche del prodotto. È fondamentale che gli elementi della catena lavorano insieme al fine di garantire l'efficacia dei costi del sistema.

Da un'analisi della letteratura di riferimento, la Reverse Distribution può essere suddivisa in tre aree principali: distribuzione, pianificazione della produzione, e di inventario (Yongsheng et al, 2008). Per quanto attiene alla distribuzione, ci sono numerosi studi pubblicati in letteratura sulla *distribution network/location problems* applicata ai sistemi di logistica inversa. Uno dei primi studi relativi al richiamo di prodotto è stato effettuato da Fisk & Chandran (1975) i quali si sono soffermati sui meccanismi di tracciabilità associati sia a prodotti durevoli che non, in modo da individuare un sistema distributivo efficiente per i prodotti di scarto e difettosi. Comunque, questo studio non ha sviluppato alcuna strategia specifica di Reverse Distribution. Murphy (1986) ha condotto uno studio empirico atto ad ottenere informazioni concernenti problemi di trasporto e stoccaggio nell'ambito delle procedure di *product recall*. Questo studio non ha tuttavia realizzato alcun modello che potesse minimizzare i costi inerenti alla Reverse Distribution né tantomeno ha implementato alcuna strategia in materia. Min (1989) ha sviluppato un modello *goal-programming* che si focalizzava sull'individuazione di modelli di trasporto che minimizzano i costi inerenti all'implementazione di un sistema di Reverse Distribution sulla base dello *shipping time* attuabile in diverse situazioni di *product recall*. Comunque l'autore si è limitato a gestire problemi di piccola entità attraverso l'utilizzo di generici software gestionali presenti in commercio. Caruso et al. (1993) svilupparono un modello atto a sviluppare un sistema di *location-allocation* per la gestione dei rifiuti solidi urbani. Essi lo applicarono al caso specifico della gestione dei rifiuti implementato in Lombardia. Bloemhof-Ruwaard et al. (1994) studiarono il problema del coordinamento tra prodotti in un network distributivo a due livelli. Il modello formulato e le soluzioni proposte nel lavoro sono definibili come il primo tentativo di studiare un sistema di controllo coordinato del flusso di prodotti all'interno di un network distributivo.

Un processo di Reverse Logistics si compone di quattro macro-attività atte al recupero ed al reimpiego dei prodotti al termine del ciclo di vita:

1. acquisizione e raccolta;
2. test e classificazione;
3. ricondizionamento del prodotto recuperato;
4. ridistribuzione delle parti recuperate al sistema produttivo ovvero del prodotto rifabbricato al mercato.

La prima fase del processo R.L è quella che viene identificata con in termine di “Returned Goods”, ovvero la restituzione dei prodotti. Nel mondo della Reverse Logistics, possono essere distinti due grandi categorie di *recovered assets*: *defective returns* e *normal returns* (Greve & Davis, 2012). I *normal returns* sono quei prodotti che vengono acquistati e restituiti dai clienti per una serie di ragioni. La seconda, invece, fa riferimento a quella macro categoria della reverse logistics che rientra nella famiglia dei c.d. *product recalls*. Al di là di ogni forma di definizione che si può dare a questa categoria di prodotti, è opportuno ritenere che si tratta essenzialmente di prodotti che sono stati resi ovvero che non sono stati venduti e devono essere collocati fuori dal mercato (Greve & Davis, 2012). Dietro al *product recall* esistono una serie di cause scatenanti. La prima è connessa ad una errata politica di approvvigionamento. Infatti non è raro che le aziende, nel corso dell'anno acquistino eccessive quantità di uno o più prodotti, con la conseguenza di doverli poi ritirare dal mercato e sostituirli con altri di maggiore appeal. Un'altra causa, peraltro molto comune, è legata al richiamo di determinati prodotti a

causa di un'azione del governo volta alla rimozione dei prodotti dal mercato. Ad esempio, può essere richiamato il caso di alcuni prodotti farmaceutici molto noti ai più che sono stati ritirati dal commercio in quanto ritenuti dannosi per la salute umana. La fase di acquisizione raccolta si riferisce a tutte quelle

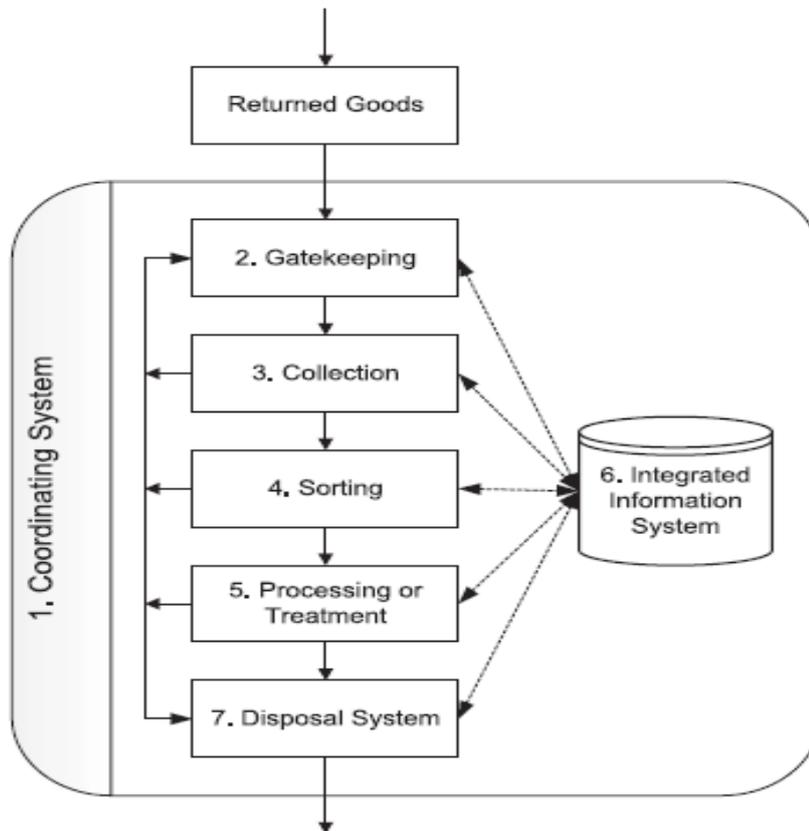


Figura 4: Struttura di un processo di Reverse Logistics tratto da Lambert-Riopel-Abdul-Kader "A reverse logistics decisions conceptual framework" Computers & Industrial Engineering (2011)

attività capaci di rendere il prodotto reso disponibile nonché a tutte quelle attività attraverso le quali il prodotto si sposta per giungere al luogo presso il quale viene trattato. Tipici esempi di acquisizione del prodotto sono: l'acquisizione di tappeti usati presso i venditori (Ammons et al., 1997), la restituzione di fotocopiatrici usate (Thierry 1997) la restituzione di computer (Fleishmann, 2000). In generale la fase in esame include i seguenti step: l'acquisto, il trasporto e lo stoccaggio dei materiali. Si tratta di una fase estremamente delicata che si concreta in due step: il recupero del prodotto reso e il suo trasporto e la responsabilità di questa fase può essere affidata sia all'OEM sia a soggetti terzi ovvero al consumatore stesso. La scelta dipende da molteplici fattori come: la complessità del prodotto e le ragioni del reso. Nella definizione di questa fase, l'azienda deve decidere su chi far gravare l'onere del costo legato al prodotto reso, a seconda che si tratti di un prodotto che viene reso durante il periodo di garanzia o meno. Ovviamente ogni decisione deve rispecchiare i livelli di servizi post vendita che l'azienda intende offrire al cliente.

La fase di ispezione/separazione riguarda tutte quelle attività che servono a determinare l'attitudine di un determinato prodotto ad essere riutilizzato ed in quale maniera. Si tratta di una fase presente in quei sistemi logistici che si caratterizzano per il coinvolgimento di molti siti e di molti prodotti.

La fase di ricondizionamento si compone di tutte quelle attività come riparazione, riuso, remanufacturing, aggiornamento e reimpacchettamento del prodotto. Ogni opzione deve essere in linea con le politiche di magazzino adottate dall'azienda e deve rispettare determinati criteri, soddisfatti i quali ogni item sarà correttamente destinato al metodo di recupero prescelto. La fase di ricondizionamento del prodotto recuperato richiede investimenti tali da condizionare spesso l'economicità dell'intero processo di Reverse Logistics.

La redistribuzione, infine, si riferisce allo smistamento di prodotti riutilizzabili su potenziali mercati ed il loro spostamento fisico verso possibili utilizzatori future. Questa fase si compone di diverse modalità di vendita (leasing, contratti di servizio, ecc.) ed incidono fortemente sul trasporto e le attività di stoccaggio. Tra gli esempi che la letteratura riporta circa le diverse modalità di redistribuzione ricordiamo la vendita di materiali riciclati (Ammons et al., 1997) ed il leasing di fotocopiatrici ricondizionate (Thierry, 1997).

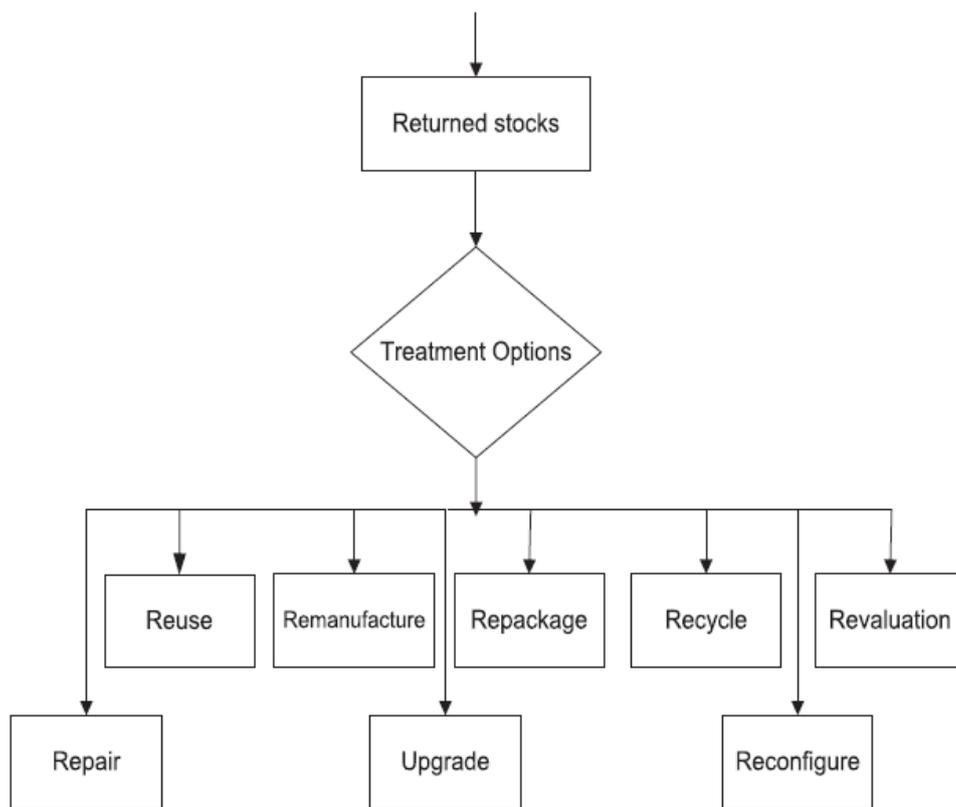


Figura 5: Il processo di Ricondizionamento tratto da Lambert-Riopel-Abdul-Kader "Areverse logistics decisions conceptual framework" Computers & Industrial Engineering (2011)

Conclusioni

In questo primo capitolo ci si è soffermati su cosa si intende per Reverse Logistics, collocandola all'interno del più ampio contesto della Closed Loop Supply Chain. Diverse definizioni sono state individuate e ciascuna di queste è stata commentata cercandone di individuare i punti chiave. A questo punto appare corretto dire che la Reverse Logistics può essere definita come un flusso di beni, connotati da un diverso grado di complessità e delle informazioni ad esso connessi, che non trasferiscono più utilità all'utilizzatore finale in quanto obsoleti. Il flusso parte dall'utente finale ovvero da un "echelon" della catena per giungere all'Original Equipment Manufacturer (OEM) avente come obiettivo quello di acquisire il residuo vantaggio competitivo di tali beni attraverso una riduzione dei costi di produzione. Questa definizione può essere descritta come una sintesi delle diverse soluzioni proposte dalla letteratura che fino a questo momento ho analizzato. Nella soluzione proposta viene utilizzato il concetto di "beni dotati di un diverso grado di complessità" perché il flusso di ritorno non si compone solo di materie prime o di prodotti finiti ma anche di prodotti intermedi che si collocano su diversi livelli della Di.Ba. Questi sono obsoleti; l'obsolescenza viene intesa sia in senso fisico che economico e connota uno stato del prodotto in cui l'utilizzazione o non è più possibile ovvero non lo è più da un punto di vista economico. La Reverse Logistics può partire da diversi stadi "echelon" della catena (quindi grossista, dettagliante, consumatore finale); il punto di arrivo sarà comunque l'OEM, ossia il produttore originario. Quest'ultimo, attraverso l'implementazione di una efficiente opzione di recovery, si pone l'obiettivo di recuperare un vantaggio competitivo durevole che, sulla scorta di quanto stabilito dal Porter (1995), si sviluppa nella riduzione dei costi di produzione.

Ovviamente, quando parliamo di vantaggio competitivo si fa riferimento sia al vantaggio competitivo economico che quello tecnico, quindi la residua capacità del bene di generare un utilizzo efficiente per il consumatore. Il prodotto da termovalorizzare non è assolutamente un elemento residuale nell'ambito della RL; basta guardare le definizioni che da Stock ad oggi sono state proposte dalla letteratura. Il prodotto "termo valorizzato" potrebbe produrre vantaggi competitivi anche innovativi rispetto a quelli previsti dal Porter perché l'azienda, attraverso un adeguato smaltimento, avrebbe vantaggi in termini non solo di risultato economico (il bene termovalorizzato, ad esempio, produce energia da rivendere sul mercato) ma anche in termini di "intangibile asset" (istituto oggi molto in voga nell'Economia Aziendale e nei bilanci aziendali). Con questa definizione mi riferisco al fatto che l'impresa acquisisce maggiore consapevolezza tecnica in termini di know how che potrebbe utilizzare sul mercato ad esempio come barriera all'entrata.

CAPITOLO 2

2.1 Review della Letteratura in materia di RL: Introduzione

Le fasi in cui si connota un processo di RL si differenziano a seconda del tipo di reso da trattare. Nel momento in cui il prodotto arriva in azienda, indipendentemente da chi sia il mittente, viene sottoposto ad una serie di check attraverso i quali si verifica l'attitudine del prodotto ad essere ricollocato sul mercato. Nel caso in cui il prodotto si trovi in cattive condizioni oppure sia ritenuto obsoleto a causa della rapida evoluzione delle tecnologie e dei desideri dei consumatori, allora ci si trova dinanzi ad un prodotto al termine del suo ciclo di vita, meglio noto come EOL Product. Un prodotto al termine del suo ciclo di vita non è un prodotto non funzionante; anzi si tratta di un bene in grado di operare correttamente. Il problema sta nel fatto che i consumatori non sono più disposti ad utilizzarlo in quanto esiste un prodotto simile che presenta maggiori funzionalità tecniche oppure sia, semplicemente, economicamente più conveniente da utilizzare. In alcune parti del mondo, come in Europa o in Giappone, le aziende sono obbligate a recuperare i prodotti al termine del ciclo di vita ed a trattarli secondo procedure ecosostenibili. In altri paesi, come gli Stati Uniti, il recupero di tali beni avviene esclusivamente per recuperare i materiali ed i componenti da utilizzare successivamente come materie prime. La gestione di un prodotto al termine del suo ciclo di vita richiede una serie di valutazioni a livello strategico, a livello di pianificazione e controllo della produzione ed infine a livello di processo (Gupta,2013). Le problematiche che si verificano a livello strategico riguardano l'insieme di decisioni, generalmente di lungo periodo, che attengono alla realizzazione della struttura di RL. Le modalità di realizzazione del network, la selezione dei prodotti resi ed il layout dell'impianto costituiscono i pilastri portanti di questa prima fase. Il problema della pianificazione e del controllo attiene, invece a decisioni di medio-breve periodo; appartengono a questa fase il forecasting, l'inventary management, la pianificazione ed il controllo della produzione, la scelta e la valutazione dei fornitori, la valutazione delle performance. La fase di processo, infine, è legata alla gestione fisica dei prodotti al termine del ciclo di vita. La pulizia, il disassemblaggio ed il riassetto di tali prodotti, rientrano all'interno di tale categoria. Prima di passare in rassegna i modelli elaborati dalla letteratura di riferimento è opportuno sottolineare che, in via generale, le metodologie di analisi possono essere classificati in due macro categorie: modelli deterministici e modelli stocastici. Nei modelli deterministici, l'incertezza associata alla RL non è esplicitamente considerata nella costruzione del modello. Nei modelli stocastici, invece, l'incertezza che connota la RL viene integrata nel processo di modellizzazione.

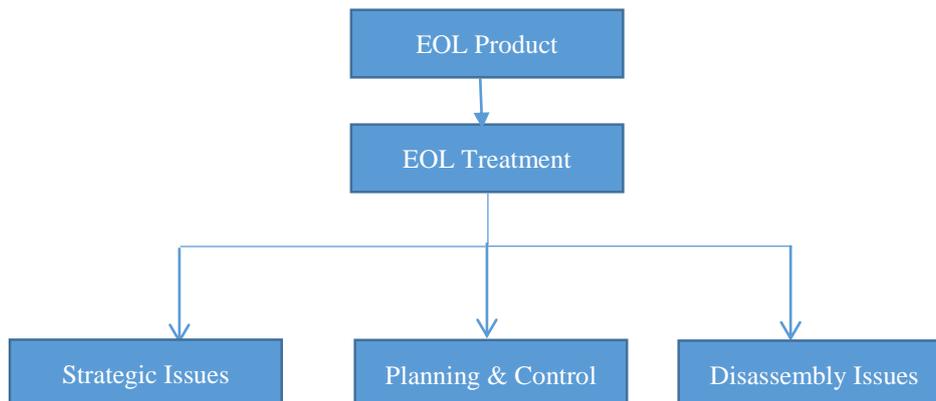


Figura 6: Problematiche Inerenti alla RL tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013

2.2. Review della Letteratura in materia di RL: Strategic Issues

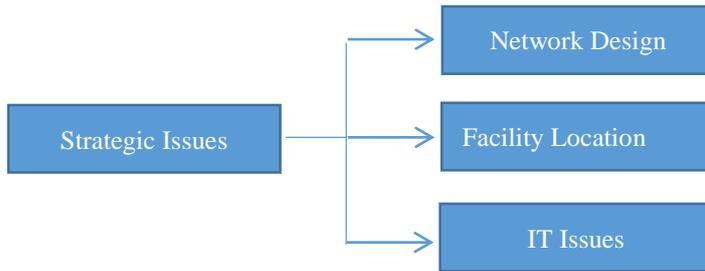


Figura 7 Esplosione Strategic Issues tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013

2.2.1 Network Design: Analisi della Letteratura

Nello sviluppo di modelli atti a gestire il problema della struttura de network di RL da realizzare, la tecnica di modellazione più utilizzata dalla letteratura di riferimento è la Mixed-Integer Linear Programming, meglio nota come MILP. Barros et al. (1999) guardano ad un caso di studio che affronta la progettazione di una rete logistica per il riciclaggio di sabbia proveniente dal trattamento rifiuti da costruzione nei Paesi Bassi. Mentre 1 milione di tonnellate di sabbia vengono inviati in discarica ogni anno, il riutilizzo della sabbia in progetti di infrastrutture su larga scala, ad esempio, costruzione di strade, è considerata una potenziale alternativa in linea con la normativa ambientale. Pertanto, un pool di aziende di trasformazione di rifiuti edili indaga le possibilità di istituire una rete di riciclaggio della sabbia efficiente. Un aspetto importante da affrontare è il potenziale inquinamento della sabbia, ad esempio intrisa di olio. Pertanto la sabbia deve essere analizzata prima di essere riutilizzata. Gli autori individuano tre qualità di sabbia: la sabbia pulita che può essere utilizzata senza restrizioni; sabbia mezza pulita, il cui reimpiego è limitato alle applicazioni selezionate; sabbia inquinata che deve essere pulita dopo di che essa può essere utilizzata liberamente. La pulizia della sabbia inquinata richiede l'installazione di impianti di trattamento altamente costosi. Sulla base di queste considerazioni, bisogna realizzare una rete di riciclaggio di sabbia che comprende quattro livelli, vale a dire le imprese di frantumazione che producono sabbia setacciata da rifiuti da costruzione, depositi regionali che individuano il livello di inquinamento e si occupano dello stoccaggio di sabbia pulita e mezza pulita, impianti di trattamento, di pulizia e di stoccaggio della sabbia inquinata, e le infrastrutture pilota dove la sabbia può essere riutilizzata. La localizzazione delle fonti di sabbia, cioè le aziende di frantumazione, sono note, il volume di fornitura è stimato sulla base dei dati storici. Il volume e la posizione della domanda non può essere conosciuto in anticipo. Il numero ottimale, la capacità e la localizzazione dei depositi e degli impianti di pulitura devono essere determinati. In questo contesto gli autori propongono una procedura euristica basata su una "linear relaxation strengthened by valid inequalities" in grado di determinare il numero, la capacità e la collocazione geografica dei depositi regionali e degli impianti di trattamento.

Louwens et al. (1999) considerano la progettazione di una rete di riciclaggio per i tappeti. Volumi elevati di smaltimento (1,6 milioni di tonnellate di rifiuti smaltiti in discarica in Europa nel 1996) e le sempre più restrittive norme in materia ambientale, da un lato, e un potenziale di materiali preziosi (ad esempio fibre di nylon), dall'altro ha portato l'industria dei tappeti europea ad impostare una rete di riciclaggio congiunta insieme ad alcune aziende chimiche. Attraverso questa rete, i rifiuti vengono raccolti presso i vecchi utenti e pre-elaborati per consentire il recupero dei materiali. Dal momento che i tappeti provengono da varie fonti (ad esempio casa, gli edifici, i rivenditori di tappeti, aerei e industria automobilistica) varia notevolmente la loro identificazione e le loro capacità di smistamento. Inoltre la raccolta differenziata si fonda sul tritare il prodotto a granuli al fine di facilitare il trasporto e la movimentazione. Questi passaggi di pre-elaborazione saranno svolte in centri di recupero regionali, da dove il mix di materiali, una volta reso omogeneo, viene trasportato presso aziende chimiche per l'ulteriore elaborazione. Obiettivo dello studio è quello di determinare la localizzazione e le capacità di recupero dei centri di stoccaggio regionali tenendo conto degli investimenti, della gestione e delle spese di trasporto. Gli autori hanno proposto un modello in cui tutti i costi sono considerati dipendenti dal volume dei resi, modello che, una volta risolto, è in grado di determinare la collocazione e la capacità ottimale delle strutture di recovery. Il riciclaggio dei tappeti viene affrontato anche in un case study da Ammons et al. (1999). Il volume di 5 miliardi di chili di materiale derivante da tappeti usati gettati in discarica ogni anno rende il riciclo un'opzione economicamente interessante negli USA. Mentre l'intera catena di riciclaggio del tappeto coinvolge diverse parti, il cuore del processo è una società produttrice di prodotti chimici, ad esempio, un'azienda produttrice di fibre di nylon. Gli autori studiano una rete logistica, comprendente la raccolta di tappeti usati utilizzati da diversi operatori, la lavorazione di tappeti raccolti dalla quale viene ottenuto il nylon e gli altri materiali riutilizzabili, destinando la parte restante alla discarica, ed ai mercati di sbocco per i materiali riciclati. Attualmente, il sistema è operativo con un unico impianto di lavorazione. Per configurazioni alternative il numero e la localizzazione ottimale dei siti di raccolta e degli impianti di trasformazione devono essere determinati, mentre si presume noto il numero e la localizzazione dei siti di delivery per i materiali recuperati. Sulla base di questi assunti, la quantità di tappeto raccolto da ciascun sito deve essere determinata. L'unico vincolo imposto è legato alla capacità dell'impianto. Gli autori, per affrontare il problema, propongono un metodo MILP dove l'unico vincolo imposto è legato alla capacità dell'impianto di stoccaggio, limite strettamente connesso al fatto che la gran parte dei materiali recuperati dai tappeti viene destinato alla discarica.

Krikke et al. (1999) presentano un modello MILP per la progettazione di una rete multi-echelon di tipo reverse per i prodotti di consumo durevoli. Questo modello viene applicato in un case study effettuato presso la Océ, azienda produttrice di fotocopiatrici in Olanda. Lo studio si concentra sull'implementazione di un processo di rigenerazione ad un certo tipo di macchine fotocopiatrici. Nella rigenerazione le macchine usate vengono smontate a un livello fisso, dopo il quale le parti sospette o malandate vengono rimosse. Successivamente, le parti riutilizzabili sono rigenerate mentre vengono installati nuovi componenti (con funzionalità migliorata), nel caso in cui un pezzo debba essere sostituito. Così, un nuovo tipo di macchina è realizzata. La catena "reverse" consiste di tre processi di recupero principali: (i) lo smontaggio, in cui i prodotti resi vengono smontati, (ii) la preparazione, in cui parti critiche sono controllate e, se necessario, sostituite, e (iii) il riassettaggio, in cui la carcassa rimanente della macchina resa viene rigenerata aggiungendo componenti sostituiti e nuovi. In aggiunta, gli autori tengono conto dell'esistenza di processi di supporto, che connotano la catena di reverse studiata. Nel modello proposto i processi di approvvigionamento e smontaggio sono fissi, mentre le sedi e ed il flusso dei prodotti devono essere ottimizzati per i processi di preparazione e di rimontaggio. Una scelta deve essere fatta tra le due sedi a Venlo (Paesi Bassi) e uno a Praga (Repubblica Ceca), tenendo conto di una serie di vincoli gestionali. Il modello, la cui funzione obiettivo è quella di rendere minimi i costi operativi, è risolto individuando la soluzione più prossima a quella ottimale tra le tre soluzioni

gestionali pre-selezionate sulla base di variabili di localizzazione. Una di queste soluzioni gestionali, ossia l'installazione di tutti i processi a Praga, sembra essere ottimale rispetto ai costi operativi. Tuttavia, questa soluzione richiede anche i più alti investimenti. La differenza di costo totale si è rivelata essere piuttosto piccola. Pertanto, l'installazione di attività di recupero a Praga deve essere ben motivata, da un punto di vista strategico, per essere giustificata.

In Jayaraman et al. (1999) viene analizzato il sistema logistico di una azienda di ricondizionamento di apparati elettronici americana. L'azienda esaminata svolge attività quali l'acquisizione di prodotti usati dai consumatori, il ricondizionamento e la distribuzione dei prodotti recuperati. In questo network, il numero ottimale e la collocazione di impianti per il remanufacturing, nonché il numero dei prodotti resi da recuperare, deve essere determinata tenendo presente i costi di investimento, trasporto, stoccaggio e gestione del reso. Gli autori hanno proposto, come soluzione al problema, l'applicazione di un binary MILP model in grado di ottimizzare simultaneamente i differenti problemi che si hanno sul lato della domanda e dell'offerta. Sempre Jayaraman et al. (2003) hanno proposto un modello di programmazione matematica per la soluzione di un problema connesso alla reverse distribution. Al fine di formulare un modello matematico per il problema della Reverse Distribution, gli autori fanno le seguenti ipotesi: 1) I prodotti pericolosi sono attualmente situati presso i punti vendita. Il modello che viene proposto in questo lavoro ha trovato una strategia efficace per la restituzione dei prodotti difettosi attraverso una insieme di strutture all'uopo destinate, che a sua volta li spediranno a siti per la rigenerazione / smaltimento 2) Il rivenditore / grossista è considerato un punto di raccolta iniziale. Questa è un'ipotesi realistica in quanto il cliente sarebbe disposto a restituire il prodotto al sito di origine più vicino per ottenere un rimborso o per l'acquisto di un altro prodotto. 3) Vi è un costo fisso di apertura per i siti di raccolta e siti di rimessa a nuovo. C'è un limite al numero di siti di raccolta e di siti rimessa a nuovo che possono essere aperti, ma la scelta di quali siti di raccolta e quali siti rimessa a nuovo da aprire deve essere deciso dal modello. La spedizione diretta dall'echelon originario ad una struttura di recovery è consentita, ma il costo variabile di trasporto è molto più alto rispetto ad una spedizione fatta tramite un sito di stoccaggio. La ragione principale di questo assunto si fonda sul fatto che spedire lotti di piccola dimensione costano di più rispetto a volumi più ampi. Un caso di spedizione diretta dal centro di consumo è quello, ad esempio, dei rifiuti nucleari e biomedici i quali possono essere temporaneamente raccolti (prima della spedizione al sito di ristrutturazione / smaltimento) in un numero limitato di ospedali nella regione. Se la spedizione diretta non è consentita, il modello rifiuterà l'assegnazione di un costo infinito per questo tipo di spedizione. A causa della complessità del modello proposto, si introduce una metodologia euristica per la soluzione di questo problema. La metodologia proposta integra una procedura di concentrazione euristica, dove sotto-problemi con ridotti insiemi di variabili decisionali sono risolti iterativamente individuando le soluzioni che più si avvicinano all'ottimo. Sulla base delle soluzioni dei sotto-problemi, viene costruita una concentrazione finale composta da un insieme di potenziali siti di impianto, individuati sempre tra le soluzioni che più si avvicinano all'ottimo. I potenziali siti di impianto vengono poi ampliate per ottenere la soluzione finale. L'approccio di tipo euristico, proposto per trovare la soluzione al modello, può essere facilmente adattato ad altri problemi di distribuzione più ampi e complessi, per i quali l'utilizzo di un approccio MIP non sarebbe consigliabile a causa della presenza, in seno al modello, di una serie di problemi di carattere computazionale. Wang & Yang (2007) hanno comparato i risultati da loro ottenuti nello studio del problema dell'implementazione di un network di RL applicato al riciclaggio dei materiali elettronici con lo studio di Jayaraman (2003), presentando, nel loro studio, una versione modificata del modello presentato nel 2003.

Kroon & Vrijens (1995) considerano la progettazione di un sistema logistico per i sistemi di trasporto riutilizzabili. Più specificamente, gli autori considerano un sistema di tipo closed-loop applicato per contenitori di plastica pieghevoli che possono essere affittati come materiale di imballaggio secondario. Il sistema prevede cinque (gruppi di) attori: un'agenzia centrale che possiede un

pool di contenitori riutilizzabili, un fornitore di servizi logistici responsabile per la conservazione, la consegna e la raccolta dei contenitori vuoti, mittenti e destinatari dei container pieni; vettori che trasportano contenitori pieni dal mittente al destinatario. Lo studio si concentra sul ruolo del fornitore dei servizi di logistica. Oltre a determinare il numero dei contenitori necessari per eseguire il sistema e un adeguato compenso per la spedizione, una questione importante è dove localizzare depositi di container vuoti. Presso questi depositi, i containers vengono classificati e stoccati, spediti al mittente, su richiesta, ed eventualmente raccolti presso il destinatario. Bisogna sottolineare che il trasporto di contenitori vuoti viene eseguito dal mittente al destinatario indipendentemente dal fatto che i container siano pieni, e che la spedizione può essere effettuata da un vettore diverso. Il volume previsto e la distribuzione geografica della domanda è stimata sulla base dei dati storici relativi al numero di spedizioni effettuate le parti. L'incertezza è coperta tramite un'analisi di scenario. Un ulteriore requisito è bilanciare il numero di contenitori presso i depositi. Poiché il numero totale dei container spediti da un deposito durante un periodo di pianificazione deve essere uguale al numero di contenitori ricevuti, i contenitori possono essere trasferiti tra i depositi. Il problema di decisione è modellato come un MILP il quale si fonda su un modello di localizzazione classica del tipo uncapacitated warehousing. Pati et al. (2006) definiscono un modello che illustra il caso del riciclaggio di carta in India. Lo scopo di questa analisi è quello di formulare un modello mixed integer goal programming (MIGP) per aiutare nella corretta gestione del sistema logistico del riciclaggio della carta. Il modello studia le interrelazioni tra obiettivi multipli (con il cambiamento delle priorità) di una rete di distribuzione di carta riciclata. Sulla base delle esigenze della rete di distribuzione del riciclaggio della carta, il modello di programmazione consiste di tre obiettivi: *Reverse logistics cost*: dal punto di vista del produttore, è essenziale che il costo della logistica associata al recupero della carta straccia da varie fonti possibili non sia elevato. Quindi l'obiettivo è quello di minimizzare il costo della Reverse Distribution. *Non-relevant wastepaper target*: La qualità della carta riciclata può essere migliorata attraverso la separazione alla fonte della carta straccia di scarsa qualità. L'obiettivo può pertanto definito: minimizzazione della quantità di carta straccia di scarsa qualità nella rete di distribuzione inversa. *Wastepaper recovery target*: Il riciclo della carta consuma meno energia; e consente di non utilizzare risorse naturali quali la pasta di legno e diminuisce l'inquinamento ambientale. Quindi, l'obiettivo di un produttore di carta riciclata deve essere la massimizzazione della raccolta di carta straccia alla fonte. Il modello mixed integer goal programming (MIGP) proposto in questo lavoro sembra catturare le interrelazioni tra i tre obiettivi più importanti individuati nel contesto del sistema di rete di riciclaggio della carta. Gli obiettivi considerati nel modello sono economici, sociali e hanno implicazioni sulla qualità per il settore del riciclaggio della carta. Il modello può essere utilizzato per affrontare molti dei problemi e le questioni connesse alla gestione del sistema di Reverse Distribution, come la necessità di aumentare il costo della logistica inversa per la realizzazione di materiali riciclabili di buona qualità attraverso una migliore separazione alla fonte delle materie riutilizzabili, garantendo al contempo un migliore impatto ambientale a seguito dell'aumento del recupero della carta straccia. Il modello proposto aiuta anche nel determinare la localizzazione, il percorso ed il flusso di diverse varietà di carta straccia riciclabile in un contesto multi-punto, multi- echelon e multi - impianto. I risultati ottenuti mostrano che il modello è uno strumento valido e può essere utilizzato per aiutare a prendere decisioni adeguate per quanto riguarda la gestione della rete di Reverse Distribution per il sistema di riciclaggio della carta. Gli elettrodomestici come i computer hanno un ruolo importante nell'ambito della gestione dei prodotti resi; per questo motivo la realizzazione di un sistema di RL capace di riciclare e recuperare questi prodotti ha iniziato ad acquisire, in campo accademico, un'importanza via via crescente. Il primo modello individuato è quello di Shih (2001) il quale si interessa dello sviluppo di un network per il recupero e riciclaggio di computer ed elettrodomestici a Taiwan. L'autore si pone l'obiettivo di determinare il numero ottimale di siti atti allo stoccaggio ed al riciclaggio dei prodotti resi. Questi contengono al proprio interno materiali nobili quali il rame, il ferro e l'alluminio i quali, una volta recuperati, vengono venduti sui mercati di riferimento.

L'autore si sofferma, nel suo studio, su sei distinti scenari per la gestione dei computer e degli elettrodomestici resi basati su diversi tassi di recupero e diverse politiche di stoccaggio e conclude il suo lavoro statuendo che il numero di centri di stoccaggio esistente eccede il numero di centri richiesti anche nel caso di un elevato tasso di recupero. Più recentemente Srivastava (2008) si è interessato del network di RL per la gestione dei prodotti elettronici resi sul mercato indiano. Secondo l'autore le difficoltà connesse allo sviluppo di un network di RL in India è legato al difficile accesso alle tecnologie oggi presenti per ricondizionare i prodotti resi nonché agli investimenti estremamente elevati necessari per realizzare i singoli nodi della catena di RL.

Le batterie esauste costituiscono una minaccia a causa delle sostanze potenzialmente nocive che sono in esse contenute. Per questo motivo, esiste, a livello mondiale, un sforzo crescente per la gestione ed il corretto smaltimento di tali sostanze. In Europa, la Germania è il paese leader nella raccolta di batterie esauste con circa 10.000 tonnellate annue ed in materia di configurazione del network di RL realizzato per tale prodotti è opportuno richiamare lo studio fatto da Shultman et al. (2003). Gli autori evidenziano l'importanza di un processo altamente accurato per il recupero per tale prodotto. Nel caso in cui il processo di recupero sia poco preciso, la qualità dell'intero percorso di riciclaggio delle batterie esauste verrebbe meno. Gli autori, nel loro lavoro, individuano il numero e la localizzazione delle strutture deputate al recupero delle batterie proponendo due diversi scenari operativi. Questi ultimi si differenziano in termini di percentuale di batterie mercury-free disponibili e sul peso totale che deve essere raccolto. Altro rifiuto altamente difficile da smaltire per volume e durezza, è quello degli pneumatici. Secondo l'EPA americano, viene stimato che, in media, uno pneumatico cadauno raggiunge il termine del proprio ciclo di vita ogni anno. Circa il 15% degli pneumatici resi viene riutilizzato per autovetture e camion come pneumatico vulcanizzato, mentre il restante viene riciclato. De Figueiredo & Maryerle (2008) hanno realizzato un modello analitico che studi il network di RL per i pneumatici applicato al mercato del Brasile del Sud. Nel loro caso, tre milioni di pneumatici non recuperabili devono essere recuperati presso le strutture di raccolta presenti nelle 682 municipalità, e devono essere consegnate alla struttura di recupero attraverso una serie di centri di smistamento. Gli autori propongono un modello MINLP visto dalla prospettiva del soggetto che ricicla il prodotto, che vorrebbe determinare il numero ottimo e la migliore localizzazione dei centri di raccolta nonché il prezzo ottimale che deve essere pagato alle strutture di raccolta per i pneumatici non utilizzabili. Hu et al (2002) hanno realizzato un modello per la minimizzazione dei costi per un sistema di RL in cui vengono considerate diverse categorie di tipologie di rifiuti pericolosi. Gli autori hanno formulato un modello analitico a tempo discreto che minimizza i costi connessi alla gestione del reso dei rifiuti pericolosi; tale modello è sottoposto a vincoli connessi all'implementazione di particolari strategie di business ed alle disposizioni legislative messe in campo dai governi. Attraverso la metodologia proposta, accoppiata con una adeguata strategia aziendale, sarà possibile ottenere una riduzione dei costi di RL di circa il 49%. Nel 2005 Amini et al. hanno focalizzato la loro attenzione sul vantaggio competitivo ottenibile dall'implementazione di alcuni servizi post vendita, in particolare i servizi di riparazione del prodotto, associandolo all'importanza del supporto che un'efficiente sistema di RL può avere nell'implementazione di una profittevole implementazione di un servizio di riparazione. Gli autori presentano un case study relativo ad una delle maggiori aziende operanti nel settore della diagnosi medica al fine di illustrare come un network di RL realizzato al fine di fornire un servizio post vendita possa essere al tempo stesso efficace e profittevole in termini di riduzione dei costi. In tutti i modelli sovraesposti, nella modellizzazione del network gli autori tengono presente solo il flusso di reverse senza tenere presente che, in alcuni casi, è necessario tenere simultaneamente in considerazione i flussi forward e reverse. Sulla scorta di questa necessità, negli ultimi tempi, diversi modelli deterministici per la realizzazione di un network di RL sono stati realizzati inglobando, allo stesso tempo, elementi della forward e della reverse logistics (Gupta, 2013). Uno dei primi modelli in materia di integrazione tra forward e RL è stato realizzato da Fleishmann et al. nel 2001. Nel loro modello, gli operatori considerati

sono: le strutture impiegate allo stesso tempo nella realizzazione di nuovi prodotti nonché al ricondizionamento di prodotti usati; i grossisti che agiscono lungo la catena e si collocano tra i produttori ed i clienti finali; i centri di disassemblaggio che realizzano l'ispezione dei prodotti resi recuperati presso i clienti e li mandano, successivamente, agli altri operatori della catena. In aggiunta al costo di trasporto dei prodotti ed ai costi fissi connessi allo start up delle aziende, la funzione obiettivo del modello MILP include anche il costo legato alla domanda insoddisfatta, al costo dei prodotti resi non recuperati ed ai costi risparmiati attraverso il processo di remanufacturing. Sulla base di questo modello, gli autori comparano approcci sequenziali ed integrati al fine di prendere le decisioni in materia di networking. Nell'approccio sequenziale, la soluzione al modello relativo al flusso forward viene determinata quando viene decisa la struttura di RL. Bisogna notare che questo è il processo decisionale che viene utilizzato nella pratica aziendale da parte di una struttura che ha già stabilito il proprio canale distributivo forward. Analizzando i due esempi ispirati a casi aziendali reali, una azienda produttrice di fotocopiatrici ed un'azienda di riciclaggio della carta, gli autori concludono che il flusso reverse ha un impatto significativo su tutta la struttura del network solo quando i canali forward e reverse differiscono tra loro in maniera considerabile con rispetto alla distribuzione geografica della domanda e dei siti di stoccaggio. Comunque, una struttura forward fissa non impone importanti restrizioni nella realizzazione di un network di reverse. Nel 2006 Salema et al. offrono una formulazione alternativa al modello proposto da Fleishmann nel 2001 formulando un modello di tipo arc-based. Gli autori sottolineano che le formulazioni da loro proposte sono molto più efficaci se sono presenti meno variabili decisionali continue, e quindi maggiori problematiche possono essere risolte più efficacemente attraverso software presenti in commercio. Gli autori dimostrano l'efficacia del loro processo attraverso due case studies. Il primo è basato su un'azienda produttrice di materiale per uffici spagnola dove ed i consumatori sono riforniti dall'azienda ed i costi ed i volumi di domanda e di reso sono ipotetici. Il secondo caso è quello del ricondizionamento di fotocopiatrici come teorizzato da Fleishmann nel 2001. Nel 2007 Salema et al. (2007), hanno considerato un'estensione del modello di Fleishmann ragionando su una struttura multi prodotto. Gli autori, partendo dall'assunto che la maggioranza dei modelli quantitativi sviluppati nell'ambito del design della RL siano per lo più connessi a casi specifici, hanno proposto un modello generico di reverse supply chain, che incorpora il caso di una domanda e quantitativi di reso incerti. Salema et al. (2009) si sono sforzati di realizzare un network integrato di RL, tenendo conto di variabili di medio-breve periodo, quali i livelli produttivi ed i livelli delle scorte. Per questo fine, essi hanno usato due diverse scale temporali, nel quale le decisioni relative network design sono prese nell'ambito di macro periodi mentre le decisioni medio-breve periodo sono prese in archi temporali più brevi. Estendendo il modello arc-based del 2006, gli autori dimostrano che il modello sviluppato può essere agevolmente utilizzato per risolvere problemi comuni incontrati nella pratica aziendale.

Lee et al. (2008) hanno realizzato un modello di network logistico per il recupero di computer resi al termine di un contratto di leasing attraverso lo sviluppo di un modello di programmazione deterministico per la gestione di un flusso logistico di tipo closed loop. Prima di formulare il modello, gli autori innanzitutto fanno una descrizione precisa della struttura della rete logistica per il ripristino di computer al termine del loro ciclo di vita. Una società di elettronica offre computer per un numero di clienti in base alle loro richieste. Quando tali prodotti completano il loro ciclo di vita, questi vengono raccolti direttamente presso la clientela e restituiti al OEM a fini di un corretto processo di recupero o di smaltimento. In tale rete logistica integrata, invece di trattare con magazzini o centri di raccolta separati, viene considerato un tipo di impianto di trattamento ibrido. Sia i prodotti nuovi sia prodotti restituiti sono trasferiti tramite impianti di lavorazione in grado di gestire sia il flusso forward che quello reverse. Per quanto sopra indicato, i vantaggi della costruzione di tali impianti nell'industria elettronica includono risparmi sui costi ed una riduzione dell'inquinamento, grazie alla condivisione di attrezzature per la movimentazione dei materiali e delle infrastrutture. L'obiettivo della progettazione di tale rete logistica integrata si propone innanzitutto di scegliere l'OEM e selezionare le posizioni delle strutture di

stoccaggio ibride, e quindi di determinare le quantità dei prodotti nuovi e restituiti che si muovono lungo la rete. Per specificare l'ambito di studio e facilitare la formulazione del modello, gli autori hanno individuato quattro ipotesi necessarie alla formulazione del modello: (I) Deve essere individuata solo una OEM. Il numero degli impianti di stoccaggio ibrida da costruire è noto in anticipo. (II) la capacità di gestione di ogni prodotto restituito in ciascun impianto di lavorazione ibrida è limitata a causa della limitata capacità di talune apparecchiature nella gestione di alcune operazioni di riconfezionamento dei prodotti resi prima che vengono rispediti alla OEM (III). I prodotti di recupero sono considerati identici ai prodotti nuovi; si tratta di una pratica comune per le operazioni di leasing aventi ad oggetto apparecchiature elettroniche con un lungo ciclo di vita come i server, (IV) è consentita sia la spedizione dei prodotti nuovi direttamente dall'OEM sia la raccolta dei prodotti restituiti direttamente dai clienti; di conseguenza il costo del trasporto associato alla spedizione diretta sarà superiore a quello legato alla spedizione tramite un impianto di trattamento ibrido. La ragione di questa ipotesi è che le piccole dimensioni del lotto incidono maggiormente sul costo della spedizione. Sulla base di queste assunzioni, gli autori hanno formulato un modello di programmazione deterministico in grado di individuare le soluzioni ottimali con l'obiettivo di minimizzare il costo totale della rete logistica. Il costo totale è costituito dalle seguenti tre parti: (A) il costo associato a costruire impianti di lavorazione ibride, (B) il costo associato alla spedizione di prodotti dalle OEM ai clienti attraverso impianti di trattamento ibrido, e (C) i costi associati alla raccolta di prodotti EOL da parte dei clienti e destinati all'OEM per via di strutture di gestione ibride. In una rete logistica di grandi dimensioni, sia le distanze che le quantità da spedire hanno un'influenza importante sul costo di trasporto.

Altro modello da tenere in considerazione è quello proposto da Beamon & Fernandes (2004) i quali hanno proposto un modello MILP multiperiodo in grado di studiare un sistema CSC in cui i produttori realizzano al contempo nuovi prodotti e prodotti ricondizionati. Il loro modello guarda a diverse variabili quale, ad esempio, la capacità in capo a grossisti ed ai centri di raccolta di avere capacità immagazzinamento e gestione dei prodotti resi. Un'altra importante tematica nella realizzazione di un network di RL è la determinazione di una appropriata struttura di tipo reverse per l'acquisizione dei prodotti resi dai consumatori. Questo problema è stato studiato da Savaskan et al. (2004), i quali si sono soffermati sul problema connesso alla scelta di un canale efficiente per il recupero dei resi. Gli autori hanno comparato tre modelli di CLSC decentralizzato in cui i soggetti deputati al recupero dei resi siano il produttore, il venditore oppure un soggetto terzo. Questi modelli sono stati comparati tenendo presente i prezzi di vendita, il tasso di ritorno del prodotto ed i profitti totali ottenuti nella catena logistica. Nel 2006 Savaskan & Van Wassenhove hanno focalizzato la loro attenzione sulle interazioni esistenti tra una strategia basata sulla realizzazione, da parte dell'impresa, di un canale di reverse atto a recuperare i prodotti dei consumatori e le strategie di product pricing che si verificano nella catena logistica tradizionale. A questo fine, gli autori hanno sviluppato un sistema di raccolta del prodotto nel quale il produttore recupera direttamente il reso presso il consumatore e, dall'altra parte, un sistema di tipo indiretto in cui i venditori agiscono come "product return point". Gli autori mostrano che il prezzo di riacquisto pagato ai venditori per i resi incide sulle politiche di pricing e questo può essere utilizzato come strumento di discriminazione nella definizione dei prezzi a seconda del grado di profittabilità del venditore. Lee et al. (2011) hanno considerato un sistema di RL decentralizzato con compiti di recupero affidati ai venditori. Essi hanno determinato un'efficiente ripartizione degli sforzi tra il produttore ed il venditore per differenti processi di product recovery. Come è stato già sottolineato esiste un elevato grado di incertezza associata alla quantità ed alla qualità dei prodotti resi. Al fine di affrontare questa incertezza, in letteratura sono stati approntati diversi modelli stocastici per la realizzazione di network sulla RL. Una tecnica comunemente usata è l'ottimizzazione robusta. Il modello proposto da Realiff et al. (2000, 2004) è in grado di individuare soluzioni prossime a quelle ritenute ottime da un punto di vista matematico attraverso un set di scenari alternativi individuati dall'operatore. Pishvae et al. (2011) hanno sviluppato un modello MILP in grado di realizzare un

network di tipo CLSC utilizzando le recenti innovazioni in materia di ottimizzazione robusta. Hasani et al. (2012) hanno proposto un modello per la costruzione di una struttura logistica di tipo CLSC operante nell'ambito dei prodotti deperibili realizzati secondo la logica lean. Un'altra tecnica molto utilizzata in letteratura è la programmazione stocastica. Sulla scorta degli studi effettuati sul riciclo della sabbia effettuati da Barros et al. (1998), Listes & Dekker (2005) hanno proposto una metodologia di programmazione stocastica per la strutturazione della catena di RL. Il modello cerca di individuare la soluzione che meglio bilanci diversi scenari alternativi proposti da esperti del settore. Successivamente Listes (2007) ha sviluppato un generico modello di tipo stocastico per la realizzazione di CLSC. Il modello sviluppato da Chouinard et al. (2008) tiene conto della volatilità associata ai volumi di domanda ed alle operazioni di recovery e di processing che si sviluppano all'interno di un sistema di tipo CLSC. Gli autori, per risolvere il problema, impiegano un approccio di tipo Sample Average Approximation³. In materia di modelli aventi come obiettivo quello di individuare le scelte ottimali in materia di localizzazione degli impianti e di allocazione delle risorse in una situazione di incertezza si sottolinea il modello proposto da Pishvae et al. (2009) i quali hanno proposto un modello di tipo stocastico scenario-based per la realizzazione di un sistema di tipo CLSC che integri i flussi logistici in entrata ed in uscita e che tenga, allo stesso tempo, conto delle questioni inerenti alla produzione, al recovery, alla realizzazione di strutture per la distribuzione e al raccolta ibride, alla clientela, ed alla creazione di centri di smaltimento. Kara & Onut (2010) hanno proposto un modello di programmazione al tempo stesso stocastico e robusto per la soluzione del problema connesso alla realizzazione di network per il riciclo della carta. El-Sayed et al (2010) hanno proposto un modello MILP di tipo stocastico per la realizzazione di una catena di tipo CLSC considerando una domanda stocastica multiperiodo con tre echelons (forniture, impianti e distributori) nella parte forward e due echelons (strutture per il disassemblaggio e ridistributori) nella reverse direction. In alcuni studi, la logica fuzzy è utilizzata per la modellizzazione di fattori incerti. In letteratura rilevano, in questo senso, gli studi di Zarandi et al. (2011) i quali hanno utilizzato un approccio interattivo di tipo fuzzy⁴ goal programming⁵ al fine di risolvere i problemi connessi alla realizzazione di un sistema di tipo CLSC mentre Pishvae & Razmi (2012) utilizzano, nel loro studio, un modello di programmazione fuzzy di tipo multi obiettivo.

³ Il metodo di approssimazione media del campione (ASA) è un approccio per la soluzione di problemi di ottimizzazione stocastica utilizzando la simulazione Monte Carlo. In questa tecnica la funzione obiettivo attesa del problema stocastico è approssimata da una stima media del campione derivata da un campione casuale. Il campione risultante dall'approssimazione è quindi risolto con tecniche di ottimizzazione deterministiche. (fonte: B. VERWEIJ, S. AHMED, A. J. KLEYWEGT, G. NEMHAUSER, A. SHAPIRO The Sample Average Approximation Method Applied to Stochastic Routing Problems: A Computational Study Computational Optimization and Applications, 24, 289–333, 2003 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.142.793&rep=rep1&type=pdf>)

⁴ La logica fuzzy o logica sfumata o logica sfocata è una logica in cui si può attribuire a ciascuna proposizione un grado di verità compreso tra 0 e 1. È una logica polivalente, e pertanto un'estensione della logica booleana. (fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Logica_fuzzy)

⁵ La Programmazione Obiettivo (Goal Programming) è una branca della ottimizzazione multiobiettivo, che a sua volta è un ramo dell'analisi decisionale multi-criteri (MCDA), noto anche come multiple-criteria decision making (MCDM). Questo è un programma di ottimizzazione. Può essere pensato come un'estensione o generalizzazione della programmazione lineare per gestire più misure oggettive normalmente contrastanti. Ciascuna di queste misure è data da un obiettivo o da un valore obiettivo da raggiungere. Deviazioni indesiderate da questo insieme di valori di riferimento vengono quindi ridotti al minimo in una funzione di realizzazione. Questo può essere un vettore o una somma ponderata dipendente dalla variante della funzione obiettivo utilizzata. La Programmazione obiettivo viene utilizzata per eseguire tre tipi di analisi: determinare le risorse necessarie per realizzare un insieme desiderato di obiettivi; determinare il grado di raggiungimento degli obiettivi con le risorse disponibili; fornire la migliore soluzione soddisfacente tenendo conto di una quantità variabile di risorse e priorità di obiettivi. (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Goal_programming)

2.2.2. Facility Location Issues: Analisi della Letteratura esistente

La raccolta ed il trasporto rappresentano il 60 - 80% del totale dei costi di trattamento dei rifiuti (Veasey et al., 1993). Spesso, questi problemi hanno avuto la tendenza ad essere trascurati. Per questo motivo è opportuno che i produttori pianifichino la collocazione degli impianti di montaggio, smontaggio e di riciclaggio in modo appropriato. Analizzando la letteratura di riferimento in materia di Facility location, è interessante soffermarsi sullo studio condotto da Lim & Noble nel 2006, i quali hanno presentato un'analisi, basata su dati sperimentali, che valuta le performance derivanti da quattro tipi differenti di layouts definiti cellular, fractal, holonic e job shop. Gli autori concludono che l'individuazione del migliore layout dipende dalle condizioni operative del sistema di ricondizionamento. Ad esempio, se esiste la necessità di un basso flowtime medio, basso WIP level ed un volume produttivo moderato, il cellular layout è ritenuto come migliore scelta. Opalic et al. (2004) hanno proposto, nel loro lavoro, un layout lineare per il disassemblaggio degli EOL product. Il flusso dei prodotti a fine ciclo di vita lungo la linea è garantito da un trasportatore che permette all'operatore di lavorare su beni simili a quelli da lui precedentemente smontati. Attraverso questo sistema, gli strumenti presenti presso la stazione possono essere utilizzati e collocati in maniera efficace ed efficiente. Gli autori, inoltre, introducono, alcuni concetti pratici in grado di migliorare la velocità di disassemblaggio riducendo i rischi di sovraccarico dell'operatore. Topcu et al. (2008) hanno usato la simulazione e a programmazione stocastica per studiare i problemi di layout e di spazio di stoccaggio che derivano dal maggiore incertezza dovuta ai sistemi di ricondizionamento. Essi, più specificamente, considerano l'incertezza e la variabilità come derivante dal numero di prodotti resi, dal tipo di processo richiesto per ricondizionare i componenti; dal tipo e dal numero di componenti recuperati da ogni prodotto reso; dal flusso delle parti e dei componenti e dalla domanda di parti ricondizionati e di prodotti finiti.

2.2.3. IT issues: review della letteratura esistente

L'implementazione di una struttura di Information Technology (IT) all'interno di una struttura di RL costituisce una questione di fondamentale importanza considerata la necessità di ottenere un flusso informativo accurato sui prodotti resi. Inoltre, è opportuno sottolineare come una adeguata struttura IT sia in grado di garantire una efficace coordinazione tra i vari soggetti attori che compongono l'impianto di RL (Gupta, 2013). Attraverso un'analisi della letteratura di riferimento in materia, è possibile affermare che il core dell'analisi su cui si è focalizzata il lavoro della letteratura di riferimento in materia di Information Technology ha riguardato l'impatto che l'IT ha avuto sulle attività di RL; Dhanda & Hill (2005), attraverso la presentazione di un case study, costituiscono un esempio importante di questo indirizzo. Daugherty et al. (2005), attraverso una ricerca effettuata nel settore della vendita delle autovetture di seconda mano, hanno dimostrato quanto sia importante per le aziende che decidono di implementare un sistema di RL investire in sistemi IT efficaci ed efficienti. Olorunniwo & Li (2010) hanno analizzato i diversi sistemi IT utilizzati nella RL prendendo, come parametro di riferimento, l'impatto di queste tecnologie sulle performance del sistema RL. Gli autori hanno concluso che l'implementazione dell'Information Technology all'interno di un sistema di RL consente di raggiungere dei risultati ragguardevoli in materia di performance ottenute. Chouinard et al. (2005) hanno sviluppato un'architettura informatica per l'integrazione delle attività di RL all'interno più ampio sistema informativo della supply chain. Kumar & Chain (2011) hanno dimostrato, attraverso un modello matematico, quale sia l'impatto della tecnologia RFID⁶ nella determinazione del numero di prodotti resi.

⁶ In telecomunicazioni ed elettronica RFID (o Radio Frequency Identification o Identificazione a radio frequenza) è una tecnologia per l'identificazione e/o memorizzazione dati automatica di oggetti, animali o persone (AIDC Automatic Identifying and Data Capture) basata sulla capacità di memorizzazione di dati da parte di particolari dispositivi elettronici

Il modello presentato permette di determinare simultaneamente la quantità di prodotti/componenti processati dalle strutture operanti nel flusso reverse e la quantità di materie prime vergini acquistate da operatori esterni. In materia di RFID, è opportuno menzionare anche il modello sviluppato da Condea et al. (2010); attraverso tale modello, gli autori hanno mostrato quali siano i benefici monetari che si possono ottenere con l'implementazione di un sistema di gestione del reso che si avvale della tecnologia RFID.

(detti tag o transponder) e sulla capacità di questi di rispondere all'"interrogazione" a distanza da parte di appositi apparati fissi o portatili chiamati per semplicità "lettori" (in realtà sono anche "scrittori") a radiofrequenza comunicando (o aggiornando) le informazioni in essi contenute. In un certo senso possono essere quindi assimilabili a sistemi di "lettura e/o scrittura" senza fili con numerosissime applicazioni. (fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Radio_Frequency_IDentification)

2.3 Review della letteratura in materia di RL: Planning & Control

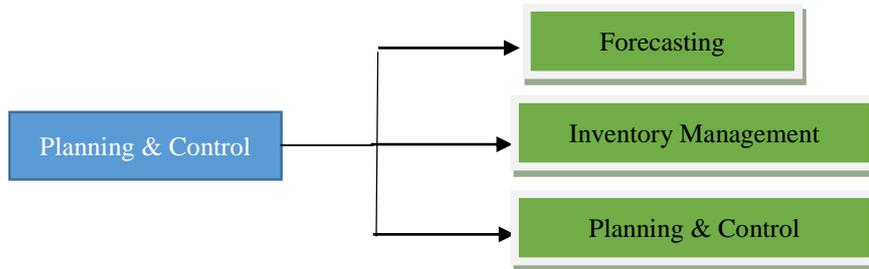


Figura 8 Esplosione della fase di Planning & Control tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013

2.3.1.:Forecasting: Review della Letteratura

L'elevato grado di incertezza sia in termini di tempo che di quantità di resi disponibili rende, come sottolineato da Marx-Gomez et al. (2002), difficile se non impossibile l'implementazione dei sistemi di pianificazione tradizionali all'interno dei sistemi di Reverse Logistics. Per questo motivo in letteratura sono stati sviluppati diversi modelli predittivi in grado di rendere possibile la previsione dei prodotti resi. Kelle & Silver (1989) hanno proposto quattro procedure per prevedere il lead time dei resi dei container. Ogni procedura si basa su un flusso informativo avente un diverso grado di accuratezza. Il metodo con il livello informativo minore, si fonda su una approssimazione, nel senso che viene ipotizzata una situazione in cui tutti i resi, che si verificano in un certo intervallo temporale, siano perfettamente correlati con la domanda che si verifica nel medesimo periodo. Inoltre, nel modello viene stabilito che questi resi siano indipendenti dalla domanda che si è avuta nei periodi precedenti. I resi che si verificano nei singoli intervalli di tempo sono stimati sulla base della probabilità complessiva di ottenere i resi. Nessuna informazione passata viene utilizzata per la determinazione della domanda e dei resi, quindi, in tale ambiente statico, il risultante livello di stock ottenuto sarà mantenuto costante nel tempo (De Brito, 2005). Il modello basato sul flusso informativo più circostanziato, opera attraverso il tracking individuale dei container. Gli autori hanno valutato i quattro metodi di previsione, tenendo, come benchmark di riferimento, il modello most-informed based. L'analisi viene applicata sotto il vincolo di un flusso informativo perfetto e la stessa perviene ad una valutazione delle performance previsionale senza considerare i relativi costi (limitando, in questo modo, la validità del modello).

Toktay et al. (2000) hanno stimato, sulla scorta dei metodi sviluppati da Kelle & Silver, il numero totale dei circuiti che la Kodak potrà riottenere dalla restituzione della sua macchina mono uso. L'obiettivo che gli autori si sono posti è quello di individuare una politica di ordering che minimizzi i costi connessi all'approvvigionamento, alla gestione delle scorte ed alle vendite perse. Gli autori hanno comparato diverse metodologie previsionali utilizzando diversi livelli di accuratezza delle informazioni; tuttavia, nel loro studio, questi hanno utilizzato un set limitato di parametri. Tenendo conto dell'impatto della scarsa informazione in materia di costi connessi alla gestione delle scorte, i metodi proposti da Kelle & Silver sono stati sottoposti a successive analisi sia da parte di De Brito & Van der Laan (2009) che da Toktay et al. (2004). In particolare, De Brito et al. (2009) hanno analizzato l'impatto derivante da un sistema informativo imperfetto sulle performance del sistema di gestione delle scorte applicato ai prodotti resi. Gli autori mostrano che, nel caso di un flusso informativo imperfetto, il metodo most-informed non necessariamente porta al raggiungimento delle performance migliori, provocando, di

conseguenza, una serie di conseguenze non solo sul sistema informativo inerente i prodotti resi ma anche sull'intero network di RL.

Linton & Yeomans (2003) e Linton et al. (2002, 2005) hanno stimato il flusso di rifiuti che verrà generato dallo smaltimento dei tubi catodici negli USA nel periodo compreso tra il 2000 ed il 2050. Innanzitutto è stato sviluppato un waste disposal model in grado di misurare l'incertezza associata al ciclo di vita del televisore, il peso che il tubo catodico ha nella televisione, il tempo che va dal momento in cui il televisore si rompe ed il momento effettivo in cui inizia lo smaltimento dello stesso e la percentuale di televisore che vengono recuperati. Poi, la previsione delle vendite future di televisori è stata effettuata tenendo conto di tre scenari diversi dal punto di vista tecnologico: nessun cambiamento, cambiamento moderato; cambiamento radicale. La valutazione dei singoli scenari è stata effettuata attraverso il metodo Monte Carlo⁷.

2.3.2. Inventory Management: Review della letteratura

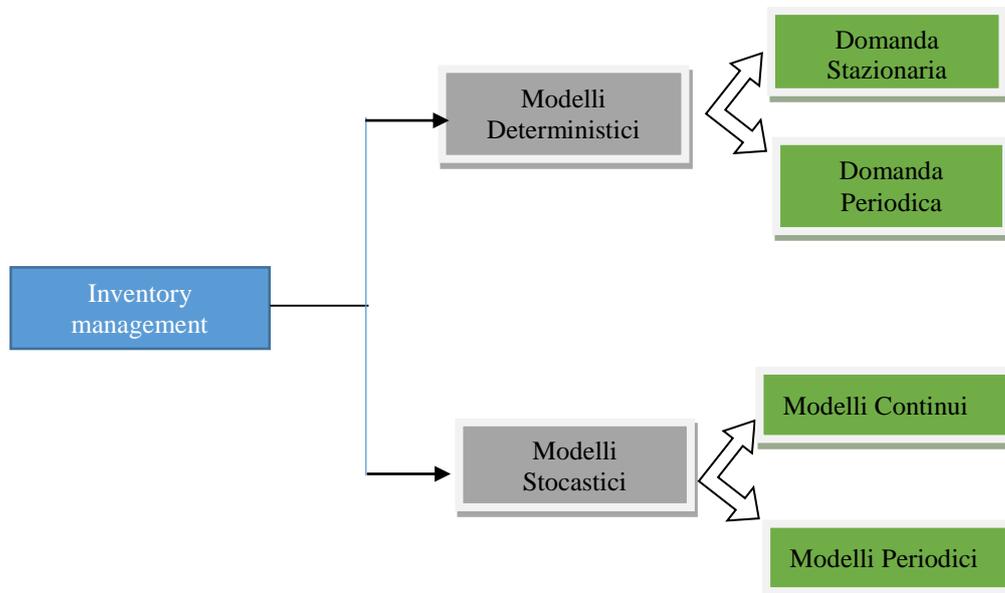


Figura 9 Esplosione dell'Inventory management tratto da S.M. Gupta " Reverse Supply Chain: Issues and Analysis" CRC Press 2013

⁷ Il Metodo Monte Carlo fa parte della famiglia dei metodi statistici non parametrici. È utile per superare i problemi computazionali legati ai test esatti (ad esempio i metodi basati sulla distribuzione binomiale e calcolo combinatorio, che per grandi campioni generano un numero di permutazioni eccessivo). Il metodo è usato per trarre stime attraverso simulazioni. Si basa su un algoritmo che genera una serie di numeri tra loro incorrelati, che seguono la distribuzione di probabilità che si suppone abbia il fenomeno da indagare. L'incorrelazione tra i numeri è assicurata da un test chi quadrato. La simulazione Monte Carlo calcola una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame, con il peso proprio della probabilità di tale evenienza, cercando di esplorare in modo denso tutto lo spazio dei parametri del fenomeno. Una volta calcolato questo campione casuale, la simulazione esegue delle 'misure' delle grandezze di interesse su tale campione. La simulazione Monte Carlo è ben eseguita se il valore medio di queste misure sulle realizzazioni del sistema converge al valore vero. (fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_Monte_Carlo)

Modelli deterministici. Questi modelli si fondano sul presupposto che la domanda ed il quantitativo di prodotti resi sono noti lungo l'intero orizzonte di pianificazione. L'obiettivo che si pongono è quello di trovare un equilibrio ottimale tra i costi di set up ed i costi variabili di magazzino.

Domanda stazionaria. In caso di domanda stazionaria, i modelli deterministici sfruttano la logica dell'Economic Order Quantity (EOQ) per trovare un trade-off ottimale tra costi di setup ed i costi di magazzino variabili (Fleischmann et al., 1997). Schrady (1967) è stato il primo autore che ha analizzato un modello EOQ con l'aggiunta di un sistema di recovery. L'autore ha ipotizzato che il tasso di produzione ed il tasso di reso siano entrambi infiniti ed ha considerato delle strategie basate sui dei batch fissi sia per la produzione che per il recovery, dove ad ogni batch produttivo seguivano sempre R recovery batch. Nel suo modello, Schrady non ammetteva l'opzione dello smaltimento; pertanto tutti i prodotti resi venivano recuperati. Successivamente Nahmias e Rivera (1979) analizzano il modello Schrady (1967), applicando, tuttavia, tassi di rigenerazione finiti. Un'altra estensione al modello di Schrady (1967), è quella di Mabini et al. (1992). Questi autori considerano, considerano un modello multi-prodotto avente come vincolo il livello di service stockout. I prodotti vengono consegnati alla stessa struttura di recovery. Nel 1996 in due diversi lavori, Richter presenta un modello EOQ che si differenzia da quello presentato da Schrady nel 1967. L'autore assume che non vi sia un flusso continuo di prodotti usati verso il produttore. I prodotti usati vengono raccolti presso un "secondo shop" e, successivamente, trasportati presso il "first shop" (il produttore) al termine di ogni "intervallo di raccolta". Questo intervallo coincide con il ciclo produttivo del produttore, consistente in "R" recovery batches seguiti da "M" manufacturing batches. L'intervallo di raccolta tiene conto degli extra costi di gestione, fino a quando il recupero dei prodotti resi non debba essere postposto fino alla fine dell'intervallo stesso. Tale modello, come sottolineato da Teunter (2001), può essere inteso come una generalizzazione del modello di Schrady, fin tanto che egli ammette più di un batch produttivo all'intero del ciclo. Inoltre, Richter nel suo modello tiene conto anche dell'opzione "smaltimento"; il cui tasso viene considerato costante. Nel 1999, Richter & Dobos presentano un modello EOQ con n costi di setup variabili per le attività di produzione ed m costi di setup variabili per le attività di riparazioni, al cui interno vengono considerati gli intervalli di collection time secondo tecniche di programmazione intera non lineare. I risultati a cui giungono i due autori mostrano, sulla base dei risultati ottenuti, che una strategia pura (totale riparazione o smaltimento totale dei rifiuti) è ottimale rispetto a strategie di riparazione e smaltimento di tipo misto. Dobos e Richter (2003) indagano un sistema di produzione - riciclo assumendo che c'è solo un lotto riciclaggio e un lotto di produzione. L'obiettivo è quello di minimizzare il costo marginale ed i tassi di reso. Gli autori hanno analizzato due tipologie di modello: un modello EOQ con costi minimi ed un altro modello che minimizzi i costi rilevanti all'interno di un sistema, rispettivamente, EOQ e non EOQ. Il risultato a cui gli autori giungono è che vi è una soluzione ottima sia producendo che riciclando tutti i prodotti resi, ottenendo così un dato che conferma quanto proposto da Richter nel 1997. Nel 2004, gli stessi autori analizzano un sistema ibrido di produzione/riciclaggio a cui domanda costante. I prodotti usati sono tutti riacquistati e successivamente riciclati; quelli per i quali non è possibile attuare l'opzione di recupero, sono smaltiti. Gli autori studiano due modelli, che di fatto generalizzano quanto proposto l'anno prima. Il primo modello esamina i costi legati ad un modello EOQ e si pone l'obiettivo di minimizzarli. Il secondo modello, sulla base del primo modello, introduce una funzione di costo in cui si tiene conto dei costi di riacquisto, di produzione, di riciclaggio e di smaltimento del prodotto. L'obiettivo è sempre quello di verificare quale sia la strategia migliore tra quella c.d. "pura" ed quella "mista" ed il risultato a cui giungono gli autori è che, sulla scorta dei vincoli proposti, le strategie miste siano da preferire rispetto a quelle pure. Seguendo lo stesso filone di ricerca, nel 2006 gli stessi autori hanno esteso il precedente lavoro del 2004 introducendo, quale ulteriore variabile, la qualità dei prodotti resi. Dobos & Richter hanno considerato due diverse

strategie per la gestione dei prodotti resi: 1) il riacquisto di tutti i prodotti usati ed il loro riutilizzo calcolato in maniera proporzionale; 2) il riacquisto proporzionale dei prodotti resi. La proporzione attraverso il quale determinare la domanda di prodotti resi che vengono sottoposti al riuso è dipendente di due variabili tra loro interdipendenti: la c.d. buyback proportion e la c.d. use proportion. Il prodotto di queste due variabili, compreso tra zero ed uno, rende la proporzione di beni riutilizzabili. Questa percentuale rappresenta, altresì, il tasso di prodotti resi che gli autori considerano come un valore fisso. In altre parole, a fronte di un buyback proportion e di un use proportion variabile, il prodotto di questi due termini è fisso. Questa assunzione limita il modello proposto dagli autori in quanto si propone di comparare due strategie attraverso un tasso fisso piuttosto che un tasso variabile (El Saadany e Jaber, 2010). El Saadany e Jaber (2010) hanno sviluppato due modelli EPQ per la produzione, ricondizionamento e smaltimento dei prodotti, dove il produttore serve una domanda stazionaria attraverso la produzione al contempo di prodotti nuovi e ricondizionati. In questo modello, il tasso di reso dei prodotti recuperati si muove secondo una funzione demand-like basata sui prezzi di acquisto ed il livello di qualità accettata per i prodotti resi. Il modello realizza un tool decisionale utile per la determinazione del livello di qualità accettabile, e del corrispondente livello di prezzo, dei prodotti usati che devono essere acquisiti per le procedure di recovery e che sia, al contempo, in grado di minimizzare i costi totali. Gli autori si fondano, sulle seguenti assunzioni: 1) assi di produzione e ricondizionamento fissi; 2) i prodotti ricondizionati sono come nuovi; 3) la domanda è nota, costante ed indipendente; 4) il lead time è pari a zero; 5) il modello tratta del caso di un solo prodotto; 6) non sono ammessi shortages; 7) è disponibile una illimitata capacità di storage e 8) l'orizzonte temporale è assunto infinito. Negli esempi che gli autori sviluppano per dimostrare il loro modello, viene mostrato che quando viene considerato in tasso di ritorno dei prodotti resi dipendenti dal prezzo di acquisto e dal livello di accettazione della qualità dei resi, una politica pura, come teorizzata da Dobos & Richter (2003, 2004) non è ottimale. I risultati, infatti, mostrano come una strategia di tipo misto sia migliore sia quando quest'ultima viene comparata con una strategia di puro riciclaggio sia quando si utilizza una strategia di pura produzione. Nello sviluppo di modelli deterministici, Teunter (2001) sviluppa un modello EOQ utilizzando diversi tassi di costo per gli articoli prodotti e recuperati. L'autore, in questo lavoro, generalizza il modello di Schrady (1967) considerando, innanzitutto, politiche gestionali più generali dove si alternano M lotti di produzione con lotti di recupero R. Inoltre, viene inclusa l'opzione dello smaltimento e viene permesso al tasso di smaltimento di variare. In secondo luogo, i costi per le attività di remanufacturing e per le attività di recupero vengono tenuti distinti, a differenza di Schrady ed altri autori che invece utilizzano lo stesso tasso per descrivere entrambe le situazioni. Nei sistemi di recovery, è noto che gli elementi recuperati hanno una qualità inferiore rispetto a nuovi elementi. Inoltre, il costo di riparazione / ristrutturazione è spesso molto più piccolo del costo di fabbricazione. Pertanto, è possibile statuire che il costo opportunità di un elemento recuperato è più piccolo rispetto a quello di un nuovo elemento. Nei sistemi di rigenerazione, gli elementi recuperati si presumono essere considerati come nuovi. Tuttavia se, per esempio, gli items possono essere ricondizionati un certo numero di volte, allora il prodotto ricondizionato ovvero recuperato non può essere considerato "identico". Pertanto, è possibile statuire, ancora una volta che il costo di gestione calcolato per un prodotto recuperato potrebbe essere inferiore allo stesso calcolato per un item nuovo. Il modello di Teunter (2001) si fonda su una serie di assunzioni: 1) il tempo è considerato come una variabile continua; pertanto l'orizzonte temporale di pianificazione è infinito; 2) la domanda e la restituzione dei prodotti è continua e deterministica; 3) i prodotti utilizzabili ed i prodotti resi sono tenuti in magazzino. Al fine di incrementare lo stock dei prodotti utilizzabili, ulteriori item possono essere prodotti oppure ricondizionati in ogni momento. Nel modello si assume che il lead time, tanto per la produzione quanto per il recovery, sia trascurabile. Inoltre non sono ammessi carenze di magazzino. Di conseguenza un nuovo batch può essere prodotto ovvero ricondizionato nel momento in cui lo stock arrivi a zero, in modo tale da ottenere che tutte le volte lo stock sia sempre almeno pari a zero. Nel modello si tiene

conto dei seguenti costi: Manufacturing and recovery cost inteso come i costi necessari per produrre un bene, Disposal cost: costo per lo smaltimento di un recoverable item; Setup cost: Holding cost: I costi di gestione sono proporzionali al numero dei prodotti che sono stoccati al momento del carrying stock. L'autore sottolinea altresì che, come accade per i modelli aventi ad oggetto la sola forward logistics, i costi fissi possono essere inclusi all'interno del costo di gestione. In questo modo i costi connessi alle operazioni di recupero, ricondizionamento e raccolta possono essere tranquillamente inclusi in questo contesto. Tutti i costi, tranne quelli di smaltimento, sono considerati non negativi. La particolarità dei costi di smaltimento è connessa al fatto che nello smaltimento è possibile imbattersi, come poi accade nella pratica, in situazioni in cui l'azienda ottiene un guadagno da queste operazioni. Koh et al. (2002), rifacendosi ai modelli di Mabini et al. (1992), Richter (1996) e Schrady (1967) sviluppano un modello congiunto EOQ-EPQ di tipo deterministico in cui le informazioni circa i componenti del sistema di recovery vengono assunti come conosciuti in tempo ad ogni nodo del flusso. Gli autori individuano un modello in cui la domanda, intesa come stazionaria, possa essere soddisfatta attraverso prodotti riciclati e prodotti nuovi. Il modello assume che una fissa percentuale di prodotti resi sono acquisiti presso i consumatori e successivamente ricondizionati per il riuso. Questi ultimi prodotti sono trattati allo stesso modo dei prodotti nuovi. Inoltre il modello non ammette backorders. Con questo modello, gli autori ottengono l'EOQ per i nuovi prodotti acquistati ed al contempo il livello ottimale di scorte di prodotti resi necessari per attivare un processo di recovery. Nell'implementazione del modello gli autori hanno assunto che il modello abbia un setup per il ricondizionamento (o un solo ordine per i nuovi prodotti) ovvero molti ordini per i nuovi prodotti (o molti setup per il ricondizionamento). Sulla scorta della configurazione considerata, si è valutato il modello sulla base di quattro diverse opzioni. La grandezza del lotto e le variabili reali possono essere facilmente determinate attraverso una procedura analitica, mentre le variabili intere, il numero di ordini ed il numero di setup, non possono essere determinate attraverso tale procedura analitica. Per trovare i valori ottimali di queste variabili simultaneamente, gli autori propongono una soluzione matematica, che viene suffragata da alcuni esempi numerici. Come estensione del modello di Koh et al. (2002), Wee et al. (2006) tengono presente la carenza di consentire backorders e sviluppano una procedura per ottenere una politica di recupero e di approvvigionamento ottimale. Teunter (2004) sviluppa espressioni semplici per la determinazione dei lotti di dimensioni ottimali per la produzione / acquisto di nuovi elementi e per il recupero di elementi restituiti. Le espressioni sono più generali di quelle presenti in letteratura nel senso che sono valide per tassi di produzione finiti ed infiniti nonché tassi di recupero finiti ed infiniti. Konstantaras e Papachristos (2006) estendono il modello di Teunter (2004) considerando il backordering e attraverso un approccio matematicamente rigoroso che porta alla definizione di una ottimale politica di approvvigionamento sulla base di uno specifico insieme di criteri. Oh, e Hwang (2006) cercano di individuare i parametri di una politica ottimale per un sistema di riciclaggio in cui le materie prime rese vengono utilizzate come materia prima per la produzione di nuovi prodotti. Tang e Teunter (2006) considerano un sistema di rigenerazione ibrido produzione/rigenerazione dove più tipi di prodotto sono effettuate su una stessa linea di produzione, sulla scorta di un case study avente ad oggetto un'azienda produttrice di componenti per autovetture. Utilizzando dati reali, gli autori hanno dimostrato che una riduzione dei costi del 16% può essere raggiunto attraverso la scissione dei lotti di produzione e di rigenerazione. Nel caso specifico dividendo i lotti non vengono influenzati i costi di set-up. Tuttavia, la sensitivity analysis ha rivelato che anche se la scissione dei lotti avrebbe portato ad un considerevole aumento dei costi di set-up (50 per cento), una notevole riduzione dei costi la si poteva ancora ottenere. A causa della complessità del economic lot scheduling problem with returns (ELSPR), l'attenzione degli autori si è limitata alle politiche del ciclo comuni con una sola produzione ed un unico lotto di rigenerazione in ogni ciclo, notando anche che la politica aziendale attuale è di questo tipo. Per questa versione ristretta del ELSPR con un dato tempo di ciclo, gli autori formulano il problema come un modello MIP. Chung et al. (2008) sviluppano una politica di produzione e di rifornimento ottimale per un sistema di gestione

delle scorte multi echelon considerando simultaneamente le problematiche del fornitore, del produttore, del rivenditore e del soggetto terzo coinvolto nel processo di recupero. Roy et al. (2009) prendono in considerazione un sistema di rigenerazione -produzione in cui la difettosa unità viene trasferita continuamente alla rigenerazione e la costante richiesta viene soddisfatta dagli elementi realizzati e unità rigenerate. Essi considerano il tasso di difettosità del sistema di produzione come un parametro fuzzy mentre le unità rigenerate vengono trattati come oggetti perfetti. Un modello GA è progettato per determinare il numero totale di cicli da effettuare nell'orizzonte temporale, la durata per cui gli articoli difettosi vengono raccolti e la lunghezza del ciclo calcolato dopo il primo ciclo basato sulla massimizzazione del profitto totale. Rubio e Corominas (2008) considerano un ambiente di produzione - rigenerazione lean in cui la capacità di produzione e la capacità di rigenerazione può essere regolata in base alla domanda costante in modo da evitare che i livelli di scorte eccessive. Valori ottimali per produzione e rigenerazione delle capacità, i tassi di reso e tassi di utilizzo per i prodotti EOL sono determinati

Domanda Periodica. Al fine di gestire la problematica connessa alla gestione di una domanda dinamica, già nei primi studi affrontati, gli autori hanno apportato modifiche al classico algoritmo Wagner - Whitin. Studi più recenti hanno sviluppato algoritmi DP -based per trovare i valori dei parametri ottimali. Richter e Sombrutzki (2000) estendono l'algoritmo di Wagner / Whitin per un sistema di recupero deterministico ipotizzando un modello senza tempi di backordering e trascurabile lead time. Il loro modello è applicabile solo per il caso di grandi quantitativi di prodotti usati. In altre parole, essi assumono che il quantitativo dei prodotti utilizzati corrisponde alla domanda di beni rigenerati. Successivamente, Richter e Weber (2001) estendono questo modello considerando come variabili i costi di produzione e costi di rigenerazione. Richter e Gobsch (2003) applicano il modello di Richter e Sombrutzki (2000), in un sistema JIT. Minner e Kleber (2001) hanno utilizzato la c.d. control theory al fine di trovare una politica ottimale per un sistema di rigenerazione con domanda dinamica non considerando backorders e lead time. Kiesmüller (2003a) ha esteso il modello di Minner e Kleber (2001), trovando una politica ottimale nel caso di lead time positivi e diversi per la produzione e la rigenerazione. Kleber et al. (2002) hanno utilizzato il Principio di Massimo di Pontryagin per determinare la politica ottimale considerando diverse opzioni di rigenerazione. Tuttavia gli autori ritengono che non sono ammessi backorders ed il lead time è pari a zero. Teunter et al. (2006) studiano il problema del dimensionamento dinamico del lotto con resi e rigenerazione considerando due scenari per i costi di setup: un costo di setup comune per la produzione e la rigenerazione (singola linea di produzione) o di costi di installazione separati (dedicato linee di produzione). Modellando entrambi i problemi, attraverso modelli MIP gli autori propongono un algoritmo di DP per il caso in cui il costo di setup sia unico per entrambi gli scenari. Gli autori hanno anche fornito le versioni modificate dei metodi Silver Meal (SM), Least Unit Cost (LUC) e Part Period Balancing (PPB) per entrambi gli schemi di setup cost. Bera et al. (2008) indagano un problema relativo al controllo della production-remanufacturing sulla base delle ipotesi di difettosità stocastica del prodotto e fuzzy upper bounds per produzione, rigenerazione e smaltimento.

Modelli stocastici. Nei modelli stocastici, i processi sono impiegati per modellare la domanda ed i resi. Nell'ambito di tali modelli, esistono due approcci comunemente utilizzati in letteratura: common approaches e stochastic models.

Modelli continui. Questi modelli utilizzano assi temporali continui al fine di individuare le politiche di controllo statico ottimale fondate sulla minimizzazione, nel lungo periodo, dei costi medi unitari (Fleischmann et al, 1997). Heyman (1977) presenta il primo studio in questo settore considerando una strategia di continua revisione per un singolo sistema di gestione delle scorte in cui si tiene conto del problema della rigenerazione e smaltimento del prodotto. L'autore, con il suo modello, ha determinato un livello di smaltimento ottimale assumendo che non siano fissi gli ordering costs e vi sia un istantaneo approvvigionamento delle materie prime. Come estensione a Heyman (1977), Muckstadt e Isaac (1981)

sviluppano un modello che tiene conto del lead time per la riparazione e l'approvvigionamento di materie e costi fissi diversi da zero per la riparazione e l'approvvigionamento e di costi fissi non-zero. Tuttavia, il loro modello non include lo smaltimento dei prodotti e viene utilizzata una procedura numerica approssimata per determinare i valori dei parametri ottimali. Van der Laan et al. (1996a, b) estendono il modello di Muckstadt e Isaac (1981) considerando l'opzione dello smaltimento, confrontando una diversa politica applicabile al loro modello. Van der Laan e Salomon (1997) e van der Laan et al. (1999b) hanno presentato una dettagliata analisi di politiche atte a controllare lo stock di materiali utilizzabili e recuperabili all'interno del modello sopra descritto, tenendo conto di un lead time diverso di zero per entrambe le soluzioni proposte. Gli autori considerano due politiche diverse: una politica di recovery di tipo push ed un'altra di tipo pull. Fleischmann et al. (2002) hanno ottimizzato i parametri di una politica (s, Q) connessa ad un modello di gestione delle scorte basata in cui la domanda ed i resi si muovono secondo la curva di Poisson. In particolare gli autori hanno presentato un modello che estende il modello tradizionale di gestione delle scorte legato alla curva di Poisson, fondato su un singolo prodotto, inserendo un flusso di prodotti reverse-based che si muove sempre secondo la curva di Poisson. Con il loro studio, si è dimostrato che attraverso un appropriata modificazione del costo di gestione delle scorte, l'algoritmo presentato da Federgruen e Zheng (1992) può essere applicato al modello di return-flow. L'approccio utilizzato da Fleischmann si fonda sulla scomposizione del flusso di ritorno in due componenti indipendenti: una è indipendente dal tasso di reso e l'altra è indipendente dai parametri di controllo. Zanoni et al. (2006) hanno valutato alcune politiche di controllo delle scorte estendendo ai tradizionali sistemi quali (s, Q) e (s, S) un sistema ibrido manufacturing/remanufacturing dove la domanda, il tasso di cambio ed il lead time sono trattati secondo metodologie stocastiche. Gli autori usano un modello DES per confrontare le diverse politiche di inventario sulla base del costo totale. Nei modelli precedenti, la scelta tra la produzione e la rigenerazione è presa sulla base di un confronto del costo medio. Aras et al. (2006) hanno messo in discussione l'affidabilità di questa tecnica ed hanno sviluppato due alternative strategiche che utilizzano sia la produzione che la rigenerazione come fonte primaria per la soddisfazione della domanda. Korugan e Gupta (1998) hanno sviluppato un queueing network model per analizzare il comportamento di un sistema di controllo delle scorte in un sistema multi echelon caratterizzato dalla presenza dei resi. Toktay et al. (2000) hanno sviluppato un modello di tipo closed queueing per valutare l'acquisto di nuovi componenti per prodotti riciclabili. Bayindir et al. (2003), attraverso un queueing model hanno indagato le variabili che incidono sui diversi parametri di un sistema ibrido (ciclo di vita del prodotto, tempi di consegna del fornitore, tempi di consegna e il valore aggiunto delle operations connesse ad un sistema ibrido produzione/rigenerazione, la capacità degli impianti di produzione) rendendo la rigenerazione del prodotto un'alternativa interessante considerando la costo totale. Nakashima et al. (2002, 2004) hanno sviluppato un modello fondato sulla catena di Markov per analizzare il comportamento stocastico di un sistema di ricondizionamento. Takahashi et al. (2007) hanno considerato un processo in cui i prodotti vengono disassemblati in parti materiali e componenti. Le prestazioni delle politiche proposte vengono valutate sulla base della catena di Markov.

Modelli periodici. Questa categoria di modelli si concentra sull'individuazione della politica ottimale di gestione delle scorte piuttosto che focalizzarsi sull'individuazione dei valori dei parametri ottimali (De Brito, 2005). Per esempio, Simpson (1978) ha studiato una politica ottimale avente ad oggetto un modello di gestione delle scorte integrato con la restituzione dei prodotti in cui la domanda e la quantità di prodotti resi siano stocasticamente dipendenti solo all'interno dello stesso periodo. La domanda ed i rendimenti sono noti attraverso una funzione di probabilità congiunta, che può variare da periodo a periodo. Inderfurth (1997) estende il modello precedente introducendo, quali ulteriori variabili rispetto al modello di Simpson, le ipotesi di no-zero remanufacturing ed i tempi di approvvigionamento. Inderfurth ha dimostrato che è possibile individuare una semplice politica di controllo ottimale delle scorte finché il lead time per la fabbricazione e la rigenerazione del prodotto differisca al massimo di un

periodo. Buchanan e Abad (1998) hanno considerato un sistema con rendimenti parziali. In ciascun periodo, una frazione fissa di prodotti viene persa mentre una frazione, determinata secondo metodi stocastici, viene restituita. Gli autori hanno individuato una politica ottimale di gestione delle scorte nel caso in cui il c.d time until return si distribuisca in maniera esponenziale. Toktay et al. (2000) hanno studiato le politiche di approvvigionamento applicate al business case delle fotocamere Kodak monouso. Il modello è il seguente. Dopo aver utilizzato la fotocamera, i clienti vanno presso un negozio / laboratorio per sviluppare le foto. I laboratori restituiscono le fotocamere utilizzate alla Kodak (anche se a volte il prodotto viene inviato ai grossisti). Kodak smantella le fotocamere utilizzate e recupera il flash circuit board di ogni telecamera al fine di realizzare nuovi prodotti. Al fine di prendere decisioni in termini di politiche di approvvigionamento, gli autori hanno realizzato un modello di network di tipo closed-queueing. La domanda si muove secondo un Homogeneous Poisson Process (HPP). Il tempo e la quantità di fotocamere sono modellate, rispettivamente con la clientela ed i laboratori di sviluppo, secondo un queueing system avente due server infiniti e tempo di processamento generale. Questi due server vengono modellati insieme al tempo fino a quando la fotocamera ritorna alla Kodak. Kiesmüller e Van der Laan (2001) hanno sviluppato un modello di gestione delle scorte dove il reso dipende dalla domanda. Sia la domanda che i flussi di resi seguono la distribuzione di Poisson. Tutti i resi dipendono dalla domanda verificatasi nei periodi precedenti avente, e da due funzioni di probabilità: la probabilità di reso (fondata sulla domanda, se questa si presume essere conosciuta oppure, in caso contrario, dalla quantità di prodotti resi) e la probabilità che un articolo restituito è in una condizione sufficientemente buona da essere ricondizionato. Gli autori hanno confrontato questo modello con una situazione caratterizzata da una domanda e da una quantità di resi che si muovono in maniera indipendente. Mahadevan et al. (2002) hanno realizzato un modello di produzione ibrida caratterizzata da un sistema di rigenerazione con domanda indipendente e flussi di ritorno che si muovono secondo la curva di Poisson. Gli autori impiegano una politica di tipo push al fine di individuare il migliore trade off tra quanto e quando “ricondizionare”. Teunter e Vlachos (2002) hanno considerato, all’interno di un modello simile a quello teorizzato da Mahadevan et al. (2002), la possibilità di inserire l’opzione dello smaltimento. La domanda è considerata indipendente ed i resi vengono modellati secondo la distribuzione di Poisson ovvero secondo la distribuzione normale. La conclusione a cui gli autori giungono è che, a determinate circostanze, l’opzione di smaltimento porta ad ottenere dei benefici economici.

2.5 Pianificazione della Produzione: Review della Letteratura

La pianificazione della produzione riguarda quell’insieme di decisioni relativi a come, quanto e quando disassemblare, come, quanto e quando ricondizionare, come, quanto e quando produrre e/o ordinare nuovi materiali e come coordinare i processi di disassemblaggio e ri-assemblaggio del prodotto (Guide et al. 1999). La metodologia MRP-based sviluppata da Ferrer e Whybark (2001) aiuta i manager ad ottenere risposte circa le seguenti domande: quanti e quali componenti assemblare, qual è il mix di prodotti da disassemblare e quali componenti dovrebbero essere assemblati per soddisfare le esigenze della domanda. Il modello proposto da questi estende i metodi MRP tradizionali alle remanufacturing firms sulla base di molteplici sfaccettature. Innanzitutto, il modello lega esplicitamente il volume dei resi al volume delle vendite. In secondo luogo il modello usa la distinta base del prodotto direttamente, senza alcuna necessità di apportare modifiche. In terzo luogo il sistema trae la necessità di componenti e le tecniche di ottimizzazione atte a determinare il disassembly schedule ed il relativo modello di core purchases. In quarto luogo, il modello include le parti comuni ed i diversi fattori di rendimento. Infine, vengono fornite informazioni in grado di determinare se i prodotti ovvero i componenti possono essere venduti. Nel modello le scorte di prodotti utilizzati per assemblare componenti ricondizionali giocano un ruolo fondamentale. Gli autori individuano due distinti processi decisionali che successivamente

convergono verso un sistema di pianificazione delle scorse. Uno di questi processi porta alla realizzazione di un assembly schedule in grado di convertire parti in componenti completi. Questa è la c.d. demand side del sistema. La seconda parte del processo, la c.d. supply side, è il disassembly schedule che converte i componenti in parti di livello inferiore. Le informazioni che derivano da entrambi i processi fluiscono nei sistemi di pianificazione delle scorte determinati per gestire la futura domanda di componenti. La domanda di componenti ricondizionata è gestita attraverso le scorte di prodotti finiti, gestiti all'interno di un master production schedule (MPS). Un approccio MRP standard, il cui timing viene fissato in bucket settimanali, come descritto da Vollmann, Berry, and Whybark (1997), indica la domanda di ogni componente per ogni periodo. La vendita di componenti crea un flusso di ritorno di cores sul lato dell'offerta, che possono essere disassemblati per soddisfare la richiesta di parti componenti. Per soddisfare le richieste di componenti, si considerano, innanzitutto, le scorte di parti componenti. Se vengono richiesti componenti addizionali, vengono innanzitutto prese in esame le parti ancora presenti nei core e successivamente si passa all'acquisizione di ulteriori componenti se questo risulta necessario.

La gestione della scorte di componenti non solo è in grado di determinare quali core devono essere acquistati per incontrare le esigenze della domanda ma anche quali core vendere per evitare un eccessivo immagazzinaggio di componenti. Quando la quantità di materiali è determinata, il disassembly schedule viene sviluppato; in questo caso gli autori hanno sviluppato un modello di programmazione lineare in grado di soddisfare la richiesta di componenti con un numero minimo di parti residuali da smaltire. Il modello di PL prende in considerazione le parti comuni e le differenti rese dei componenti contenuti all'interno della Di.ba. Gli autori, sviluppando il modello per ogni periodo dell'orizzonte di pianificazione temporale, si propongono di definire il numero di prodotti che possono essere disassemblati, da quelli disponibili, e di minimizzare le scorte di componenti dopo che l'assembly schedule è stato soddisfatto. Souza et al. (2003) hanno considerato il problema di realizzare una linea mista assemblaggio-disassemblaggio per il remanufacturing. Gli autori hanno utilizzato un modello GI/G/18 a doppio stadio per trovare il mix produttivo ottimale di lungo periodo che massimizzi i profitti per un'impresa che voglia soddisfare le richieste del mercato in materia di prodotti ricondizionati, di prodotti nuovi oppure di entrambi. Gli autori, nella realizzazione del loro modello partono da una serie di assunzioni. L'azienda riceve i prodotti resi, i quali si compongono di una serie di componenti riutilizzabili, o attraverso i c.d. waste stream, oppure attraverso l'acquisizione diretta del prodotto dal consumatore. I prodotti resi vengono disassemblati lungo la disassembly line, dove presso ogni stazione le parti vengono rimosse, ricondizionate e collocate all'interno di un inventory buffer. Il livello di utilizzabilità del prodotto recuperato può essere minore al 100% a causa dell'età, del tempo e della necessità di aggiornamento del prodotto. Gli ordini per assemblare nuovi prodotti possono derivare o da ordini cliente o per aumentare la giacenza dei prodotti finiti. Se possibili, le parti recuperate sono assemblate per nuovi prodotti, in caso contrario si utilizzeranno nuovi componenti. A causa di una perdita dovuta al pooling, gli autori concludono che la configurazione parallela, nella quale esistono due linee indipendenti una per l'assemblaggio ed una per il disassemblaggio, risulta essere migliore rispetto alla linea mista, dove presso la stessa stazione viene utilizzata sia per l'assemblaggio che per il disassemblaggio di componenti, solo quando la variabilità degli arrivi e del processing time sono significativamente più elevati per il disassemblaggio ed il recupero piuttosto che per l'assemblaggio. Gli autori hanno anche utilizzato il c.d. modello DES9, capace di mostrare alcuni aspetti reali quali

⁸ Nella teoria delle code, la coda G/G/1 rappresenta la lunghezza della coda in un sistema con un singolo server in cui gli inter-arrival times rappresentano una distribuzione generale (ossia arbitrario) ed i tempi di servizio hanno una diversa distribuzione generale. Il sistema è descritto nella notazione di Kendall dove la G denota una distribuzione generale sia per gli inter-arrival times che tempi di servizio ed 1 mostra che il modello ha un singolo server. (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/G/G/1_queue)

⁹ Nel campo della simulazione, una simulazione di eventi discreti (DES), modella il funzionamento di un sistema come sequenza discreta di eventi nel tempo. Ogni evento si verifica in un particolare istante di tempo e segna un cambiamento di stato del

l'andamento stocastico dei resi e della resa produttiva, in modo da verificare la robustezza del modello proposto. Il modello MIP sviluppato da Kim et al. (2006) massimizza il risparmio di costo derivante dalle operazioni di remanufacturing determinando la quantità di prodotti/componenti processati dalle strutture operanti all'interno nel processo di reverse e l'ammontare di parti acquistate presso fornitori esterni. Gli autori, dopo aver presentato un frame work in materia di re manufacturing, sviluppano il loro modello partendo dall'assunto che un'azienda di produzione hanno due alternative per l'acquisizione di componenti: ordinare le parti richieste a fornitori esterni oppure revisionare i prodotti resi e riportarli ad una condizione di "come nuovo". L'azienda è interessata a minimizzare il costo totale del re manufacturing che sia in grado, al contempo, di massimizzare il profitto totale. Per raggiungere questo obiettivo l'azienda dovrebbe determinare quanti prodotti resi dovrebbero essere inseriti all'interno del processo di re manufacturing e quanti componenti nuovi devono essere acquistati presso fornitori esterni. La funzione obiettivo teorizzata è quella di massimizzare il risparmio di costi attraverso il processo di re manufacturing. Questo risparmio viene misurato quale trade-off tra il costo di acquisto sostenuto per ottenere componenti presso fornitori esterni ed il costo del processo di re manufacturing sostenuto per i prodotti resi. I costi del processo di remanufacturing non includono solo i costi di se up ed operativi ma anche i costi minimi attribuibili alle singole strutture di recovery. Questo implica che il modello teorizzato si propone di massimizzare sia il risparmio dei costi derivante dal processo di re manufacturing sia l'utilizzazione efficiente delle strutture di recovery. A supporto del loro lavoro teorico, gli autori presentato un esempio numerico che analizzi e validi il modello sulla base di un piccolo dataset derivante da un case study reale.

DePuy et al. (2007) hanno presentato una metodologia di production planning dove le strutture produttive sono coinvolte nel processo di ricondizionamento del prodotto. Le strutture atte al recupero dei prodotti sono comuni, ma purtroppo molte soffrono della scarsa predittibilità circa le condizioni del prodotto e del grado di utilizzabilità dei componenti. Questi problemi, combinanti insieme, rendono estremamente difficile la predizione di quanta produzione sia necessaria per soddisfare le esigenze della domanda. Un basso grado di utilizzabilità dei componenti chiave del prodotto può portare alla carenza di materie prime, la cui conseguenza principale è connessa al fatto che l'azienda dovrà acquistare nuovi componenti per coprire tale ammanco. L'acquisto di prodotti nuovi, connotandosi per lead time elevati, ha come conseguenza un ritardo nell'evasione degli ordini. In questo contesto, gli autori sviluppano un modello MRP fondato su un sistema probabilistico, che considera coefficienti di impiego stoccati dalle unità deputate alla raccolta dei vari componenti come variabili e tempi di processamento e rendimenti ottenuti in ogni fase del processo di ricondizionamento determinati in chiave probabilistica. L'approccio teorizzato vuole stimare il numero previsto di prodotti ricondizionati che devono essere realizzati in ogni periodo futuro. Inoltre, gli autori propongono una procedura per generare un component purchase schedule che eviti carenze di magazzino nei periodi in cui si verifichi una scarsa probabilità di soddisfare la domanda. Xanthopoulos & Iakovou (2009), hanno considerato il problema connesso alla realizzazione di un processo di recovery per prodotti elettronici ed elettrici al termine del loro ciclo di vita, con un focus specifico sugli aspetti connessi al disassemblaggio. L'obiettivo è quello di massimizzare il recupero del valore economico ed ambientale residuo di tali prodotti, ottenendo al contempo, la riduzione della quantità di prodotti smaltiti. In questo contesto, gli autori si focalizzano sullo studio di problematiche di medio-periodo e presentano un algoritmo a due fasi per la gestione di una supply chain re manufacturing drive. Nella prima fase, gli autori fanno una analisi multicriteria/goal programming per l'ottima identificazione e l'ottima selezione di componenti e semilavorati "utili" che devono essere disassemblati per il ricondizionamento, partendo da un set di diverse tipologie di EOL products. Nella seconda parte, gli autori presentano un modello MILP multi prodotto e multi periodale,

sistema. Tra eventi consecutivi, si considerano ammissibili cambiamenti nel sistema. Quindi la simulazione può passare direttamente nel tempo da un evento all'altro. (fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/Discrete_event_simulation)

che punta all'ottimizzazione dei processi di recovery, tenendo conto del lead time del disassemblaggio e del processo di ricondizionamento. Inoltre, viene proposto un approccio fondato su processi di simulazione per catturare le incertezze connesse alla RL. Il modello proposto viene poi analizzato e validato attraverso uno specifico case study. Denize et al. (2010) hanno sviluppato un modello di pianificazione multiperiodo considerando l'incerta qualità dei prodotti resi. Doh & Lee (2010) hanno proposto un modello generico di programmazione intera incorporando i costi ed i tempi di setup. Shi et al. (2011) hanno proposto un modello matematico per ottenere, all'interno di un sistema multiprodotto di tipo closed-loop, la quantità ottima di prodotti nuovi da realizzare, la quantità ottima di prodotti ricondizionati e il prezzo di acquisizione dei prodotti usati tenendo conto dell'obiettivo della massimizzazione del profitto.

All'interno dei sistemi di Reverse e Closed Loop Supply Chain, i ricercatori si sono focalizzati sullo sviluppo di nuovi strumenti per determinare la capacità produttiva, tenendo conto delle peculiari caratteristiche che questi sistemi hanno. Guide & Spencer (1997) hanno considerato, nello sviluppo di un metodo RCCP per aziende operanti nel ricondizionamento, la sostituzione dei componenti ed i routing files come variabili probabilistiche. Guide et al. (1997), attraverso un'analisi delle tecniche RCCP tradizionali con quelle da loro sviluppate, hanno concluso che le tradizionali tecniche in materia di RCCP siano inefficienti in un contesto in cui si verifica il recupero dei prodotti resi. In alcuni studi, i modelli aventi ad oggetto la definizione della capacità produttiva sono stati ottenuti utilizzando la Programmazione Lineare ovvero tecniche di simulazioni. Il modello matematico presentato da Kim et al. (2005) ha sviluppato un modello di pianificazione della capacità produttiva considerando come variabile chiave, la massimizzazione dei risparmi provenienti da investimenti in strutture dedicate al recovery. Una metodologia di pianificazione della capacità produttiva basata sulla Programmazione Lineare e sul DES è stato sviluppato nel 2006 da Franke et al. Georgiadis et al. (2006) e Vlachos et al. (2007) hanno sviluppato i loro modelli utilizzando la c.d. System Dynamics Simulation (SDS). Georgiadis & Athanasiou (2010) hanno esteso il modello sviluppato da Georgiadis et al. (2006) su due basi: in prima analisi considerando due tipi di prodotti con due cicli di vita del prodotto sequenziali; la seconda, creando due scenari basati sulle preferenze dei consumatori e sulle tipologie di prodotto.

3. Il processo di Disassembly: Definizione

Nella realizzazione di un percorso di recupero dei prodotti resi, il processo di disassemblaggio ne costituisce la prima fase. Il disassemblaggio può essere definito come il metodo sistematico attraverso il quale un prodotto viene separato nelle sue parti, componenti, materie prime ed altri sottoassiemi attraverso una serie di operazioni (Pochampally et al. 2012). Il processo di disassemblaggio di un prodotto può essere di due tipi: non distruttivo oppure distruttivo. Nel caso di un percorso di disassemblaggio non distruttivo si verifica un processo di rimozione sistematica di parti costituenti il prodotto in modo che non si verifichino danneggiamenti delle parti lungo il processo. Al contrario, il disassemblaggio distruttivo si fonda sulla separazione dei componenti figli dall'oggetto padre con l'obiettivo di ottenere differenti tipologie di materiali per il riciclaggio. Il disassemblaggio può essere completo ovvero parziale. Nel caso di un disassemblaggio completo, il prodotto usato viene completamente disassemblato, mentre nel caso del disassemblaggio parziale, solo alcune parti ovvero alcuni componenti vengono riutilizzati. Brennan et al. (1994) affermano che ci sono una serie di problematiche di tipo operativo, connesse al processo di disassemblaggio, che non si verificano durante la normale fase produttiva. In particolare, gli autori individuano una serie di complicazioni quali:

- **Problemi di accumulazione.** Alcuni tipi di materiali saranno accumulati nel corso di un certo periodo di tempo. Questo a causa della irregolarità della domanda di ciascun sottogruppo (componente). Tale complessa e spesso imprevedibile situazione, insieme ad una domanda di mercato irregolare, porta ad un overflow di inventario indesiderabile. Poiché gli sviluppi della tecnologia moderna procedono ad un ritmo sempre più rapido, la variabilità nei processi di disassemblaggio comporta ulteriori sfide per il Disassembly Engineering.
- **Problemi di Localizzazione.** in materia di localizzazione delle strutture produttive, le maggiori problematiche sono connesse con la determinazione del costo di trasporto delle materie prime. Quando un prodotto viene montato, ovvero quando questo subisce una operazione di recovery, bisogna tenere presente che questo dovrà passare per i diversi nodi della supply chain e che questo flusso avverrà in lassi temporali differenti. Il traffico "controllato" previsto per ogni prodotto tende, quindi, ad aumentare, con la conseguenza che il costo di trasporto del prodotto, durante la sua vita operativa, sarà ad essere sempre più grande. I produttori dovranno prendere in considerazione questo problema e programmare in modo appropriato la localizzazione degli impianti per l'assemblaggio di nuovi prodotti, per il disassemblaggio e per il riciclaggio dei vecchi item.
- **Problemi di networking:** Questi problemi derivano dalla presenza di diversi soggetti presenti nella rete di recovery, quali stabilimento di produzione, impianti di smontaggio e di stoccaggio, e impianti di riciclaggio. Le operazioni devono, pertanto, essere monitorati da una prospettiva più ampia.
- **Disponibilità delle risorse e problemi di allocazione.** I processi di disassemblaggio richiedono risorse aggiuntive, ad esempio macchinari e attrezzature, che non sono disponibili nella maggior parte degli impianti produttivi e di riciclaggio. Questo è particolarmente problematico durante il periodo iniziale di transizione, quando gli impianti stanno sperimentando lo smontaggio su varie linee di prodotti. Talvolta, questi condividono lo stesso spazio con altre unità produttive e tale situazione potrebbe portare ad un problema nella gestione della condivisione delle risorse.
- **Maggiore confusione:** le opzioni di disassemblaggio aumentano i compiti operativi dell'azienda, rendendo il sistema più complesso. Se lo smontaggio viene eseguito nello stesso impianto di assemblaggio, è possibile che si verifichi una maggiore confusione all'interno del piano di produzione.

- **Localizzazione dei buffer di magazzino.** In un ambiente di disassembly, il prodotto finito, i sottoassiemi e le parti componenti hanno tutti un valore ed una relativa domanda. Ciò modificherà le politiche di gestione delle scorte in termini di livello e di ubicazione dei buffer. Inoltre bisogna tenere conto degli inaspettati crolli della domanda sia per quanto riguarda i prodotti finiti che i prodotti resi

Attraverso l'analisi della letteratura di riferimento, i maggiori problemi affrontati dai ricercatori sono legati al c.d. disassembly scheduling, al Disassembly Line Balancing Problem (DLBP) ed al Disassembly to Order Systems.

Il Disassembly Scheduling è definito come la programmazione dei processi di smontaggio di prodotti al termine del ciclo di vita per soddisfare la domanda di parti o di componenti riutilizzabili all'interno dell'orizzonte di pianificazione (Veerakamolmal e Gupta, 1998; Lee e Xirouchakis, 2004). Uno dei primi modelli in materia è quello presentato nel 1994 da Gupta e Taleb. Gli autori, nel loro lavoro, hanno presentato un algoritmo da applicare al processo MRP per lo smontaggio di un prodotto ben definito, con l'obiettivo di soddisfare la domanda relativa ai singoli componenti del prodotto stesso. Il modello di Gupta e Taleb è stato poi rivisitato nel 1997 sia da Taleb et al. (1997) che Taleb e Gupta (1997). Gli autori, nei loro lavori, hanno presentato dei modelli che hanno esteso quanto statuito da Gupta e Taleb tre anni prima, considerando, in più, la variabile secondo cui le operazioni di disassembly vengano applicate a sistemi multi prodotto con componenti /materiali comuni. In particolare Taleb e Gupta (1997) hanno presentato due algoritmi partner che possono essere utilizzati al fine di ottenere uno schema di disassemblaggio applicabile a strutture multiprodotto. In particolare gli algoritmi proposti, denominati "Core Algorithm" e "Allocation Algorithm", determinano la quantità e le operazioni da schedulare per il disassemblaggio di tutti i prodotti al fine di soddisfare la domanda dei diversi componenti. Il c.d. "Core Algorithm" determina il numero di prodotti padre che devono essere disassemblati al fine di minimizzare il costo totale di disassemblaggio. The "Allocation Algorithm" determina la schedulazione del processo di disassemblaggio relativo ai prodotti padre ed ai suoi sottocomponenti attraverso l'allocazione dei bisogni connessi alle operazioni di smontaggio pianificate all'interno dell'orizzonte temporale. Tale algoritmo, implicitamente, minimizza i costi di gestione ritardando il più possibile le operazioni di disassemblaggio.

Lee et al. (2002) sviluppano un modello IP basato sulla minimizzazione della somma dei costi delle operazioni di smontaggio e di inventario. Come estensione a Lee et al. (2002), Kim et al. (2006) sviluppano un algoritmo euristico di tipo Lagrangiano per trovare una soluzione ottimale ai problemi connessi con il disassemblaggio in un ragionevole lasso di tempo. In questo studio, gli autori hanno proposto un algoritmo, per il caso di singolo prodotto senza parti in comune, basato sulla minimizzazione del numero di prodotti smontati. Secondo questo algoritmo, la soluzione iniziale è determinata utilizzando l'algoritmo di Gupta e di Taleb (1994). Poi, la fattibilità di questa soluzione viene verificata. Se la soluzione non è fattibile, l'algoritmo è modificato per soddisfare la capacità ed i vincoli. Nel 2004, Lee & Xirouchakis suggeriscono un algoritmo euristico bifase al fine di raggiungere l'obiettivo di minimizzazione dei costi connessi con il processo di smontaggio. Nella prima fase, gli autori utilizzano l'algoritmo proposto da Gupta e di Taleb (1994) al fine di generare una soluzione iniziale. Nella seconda fase la soluzione iniziale viene migliorata attraverso il c.d. attraverso il "backward move".

Il Disassembly Line Balancing Problem (DLBP) riguarda il problema dell'attribuzione dei compiti di disassemblaggio ad un insieme ordinato di stazioni che siano in grado di soddisfare i vincoli di disassembly stabiliti in precedenza ed, al contempo, di minimizzare il numero delle stazioni di lavoro necessarie, eliminando i tempi di fermo macchina che si verificano tra le isole produttive (Altekin et al, 2008; McGovern e Gupta, 2007a). Gungor e Gupta (2001) e Gungor e Gupta (2002) hanno presentato i primi esempi di algoritmi relativi al Disassembly Line Balancing. Gungor e Gupta (2001) hanno, in particolare, studiato il Disassembly Line Balancing in presenza di errori di attività (DLBP - F). Gli

autori hanno presentato un algoritmo che assegna i compiti alle stazioni di lavoro in modo che l'effetto delle parti difettose sulla catena di smontaggio è ridotto al minimo. Gungor e Gupta (2002) hanno discusso sulle problematiche, ed i relativi effetti, che si possono verificare lungo correlate catena di smontaggio. Gli autori hanno, inoltre, dimostrato l'applicabilità di alcuni fattori importanti, derivanti dagli studi in materia di bilanciamento della linea di assemblaggio tradizionale, in grado di equilibrare il processo di disassemblaggio. Algoritmi di tipo meta euristici sono stati utilizzati per risolvere la questione del Disassembly Line Balancing Problem. McGovern e Gupta (2006) presentano un algoritmo di tipo ACO per ottenere una soluzione ottimale o prossima ad essa. Un algoritmo che si fonda sulla collaborazione esistente nelle colonie di formiche è stato proposto da Agrawal e Tiwari (2006) al fine di teorizzare un modello stocastico di tipo U-shaped per risolvere il problema del bilanciamento della disassembly line. In McGovern e Gupta (2007) sono state applicate una serie di tecniche di ottimizzazione combinatorie ((exhaustive search, GA & ACO metaheuristics, greedy algorithm, greedy/hill-climbing greedy/2-optimal hybrid heuristics) con l'obiettivo di ottenere soluzioni prossime a quelle ottimali. Essi hanno sviluppato un dataset noto, ottimo, e variabile per illustrare l'attuazione delle metodologie presentate, al fine di misurare le prestazioni e consentire le relative comparazioni. McGovern e Gupta (2007) hanno sviluppato una nuova formula per quantificare il grado di bilanciamento. Gli autori hanno altresì presentato un first-ever set di un istanze da essere utilizzate nella valutazione di ogni tecnica di Disassembly Line Balancing, ed hanno altresì presentato un modello GA per l'ottenimento di soluzioni ottimali o sub ottimali.

Alcuni ricercatori usano tecniche di programmazione matematica per risolvere il DLBP. Altekin et al. (2008) hanno fornito una formulazione MIP per la massimizzazione del profitto in un DLBP parziale. Il modello proposto determina simultaneamente le parti e le attività, il numero di stazioni e il tempo di ciclo. Duta et al. (2008) hanno considerato il problema di Disassembly Line Balancing in tempo reale (DLBP - R) e hanno proposto un metodo di programmazione quadratica intera mista ed un metodo fondato su un algoritmo basato sulla metodologia branch & cut.. Koc et al. (2009) hanno sviluppato delle formulazioni Integer Programming e Dual Programming per il DLBP utilizzando un E/O grafico per verificare la fattibilità delle relazioni di precedenza tra le attività.

L'obiettivo dello Disassembly to Order Systems (DTO) è la determinazione delle dimensioni dei lotti ottimali dei prodotti EOL da smontare al fine di soddisfare la richiesta dei vari componenti da un mix di diversi tipi di prodotti che hanno un numero di componenti e / o moduli in comune (Lambert e Gupta, 2002) La prima linea di ricerca riguarda le tecniche euristiche sviluppate sulla base dell'assunzione di un rendimento derivante dallo smontaggio calcolato su base deterministica. Lambert e Gupta (2002) hanno sviluppato un metodo chiamato "tree network mode" modificando il metodo di disassemblaggio grafico relativo ad sistema della domanda fondato su una struttura multi-prodotto caratterizzato dalla comunanza e molteplicità di componenti. Kongar e Gupta (2002) hanno proposto un modello intero Goal Programming fondato su unico periodo per un sistema DTO al fine di determinare la migliore combinazione di più prodotti da smontare selettivamente per soddisfare la domanda per gli oggetti e materiali tenendo conto dei vincoli ed obiettivi ambientali, fisici, e finanziari. Langella (2007) ha sviluppato un modello multi-periodo di tipo euristico che tengono i costi di gestione e dei costi acquisto degli articoli che l'azienda sostiene all'esterno. La seconda linea di ricerca prende in considerazione l'incertezza legata con rendimento smontaggio. Inderfurth e Langella (2006) hanno sviluppato due procedure euristiche (cioè, uno-a- uno, uno-a - molti) per studiare l'effetto di rendimenti stocastici sul Sistema DTO.

4. Conclusioni & modelli 2013

In questo capitolo si sono passati in rassegna i modelli ritenuti più rilevanti in materia di Reverse Logistics. L'analisi si poggia su una tecnica "ad imbuto": in pratica, nel primo capitolo si è partiti analizzando gli aspetti principali che connotano la Reverse Logistics, individuando, oltre alle definizioni presenti in letteratura i soggetti e le modalità operative che connotano un flusso di reverse. In questo capitolo si passa ad un'analisi ragionata degli studi effettuati in letteratura circa gli aspetti più pregnanti della materia. I modelli individuati riguardano le tematiche il cui sviluppo è, a mio avviso, propedeutico alla realizzazione di un modello di pianificazione della produzione che prenda in considerazione la problematica dei resi in particolare le scelte strategiche in materia di RL (la realizzazione di network su tutti); la pianificazione della produzione e le scelte operative in materia di disassemblaggio. I modelli attinenti a queste ultime due questioni, sono stati sviluppati senza portare a conoscenza del lettore delle notazioni matematiche sviluppate dagli autori. Questa scelta deriva dal fatto che alcuni di questi modelli saranno poi oggetto di ulteriore specificazione nel seguente capitolo, che culminerà con la stesura di un modello generico da applicare poi ad un caso di studio. A completamento del processo di review, è utile riportare quei modelli pubblicati nel 2013 che potranno essere utili nel prosieguo del presente lavoro:

Pan, Jie, et al. "Production Planning and Inventory Control of a Two-Product Recovery System." *Re-engineering Manufacturing for Sustainability*. Springer Singapore, 2013. 609-614.

Crescente attenzione è stata posta intorno alla gestione della produzione e della gestione delle scorte nell'ambito di un sistema di product recovery dove la domanda viene soddisfatta attraverso sia la realizzazione di prodotti nuovi che attraverso il ricondizionamento di resi. In questo lavoro, gli autori valutano un sistema di recovery basato su due prodotti e sue due flussi di ritorno. Gli autori individuano un problema di gestione delle scorte fondato su un sistema di recovery a due prodotti con una domanda stocastica lungo un orizzonte temporale finito e propongono un approccio di programmazione dinamica al fine di definire le scelte ottimali in termini di produzione e recovery che coinvolgano sia il periodo singolo che diversi periodi. Le soluzioni ottimali vengono ottenute da una threshold policy multi-livello.

Ali, Sadia Samar, et al. "Inventory management of perishable products: a time decay linked logistic approach." *International Journal of Production Research ahead-of-print* (2013): 1-16.

Il lavoro si propone di individuare un approccio logistic-based per un gruppo di problemi di gestione delle scorte tenendo conto delle carenze e del tempo di decadimento. Il tempo di decadimento e la carenza di materiali sono un fenomeno comuni a prodotti con cicli di vita brevi, e la volatilità finanziaria richiede una più accurata caratterizzazione dei costi di inventario in base al valore di tempo impostato. In questo lavoro viene utilizzato un approccio esteso di Wagner-Whitin (WW) per determinare le dimensioni dei lotti, replenishment cycle, e gli schedules. La politica di ottimizzazione proposta viene valutata attraverso un'analisi di sensibilità, attraverso la quale gli autori dimostrano i vantaggi della soluzione da loro proposta.

Pal, Brojeswar, Shib Sankar Sana, and Kripasindhu Chaudhuri. "A stochastic inventory model with product recovery." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (2013).

L'articolo tratta di un modello di gestione delle scorte di tipo stocastico. Il modello tratta di due tipi di mercati: uno per prodotti di buona qualità e un altro per prodotti di qualità medi. I tassi di recupero dei prodotti usati da parte dei clienti di due diversi mercati sono variabili casuali ed i prodotti

recuperati sono stoccati in due magazzini. Warehouse 1 stocca i prodotti raccolti dai clienti del mercato 1 e magazzino 2 raccoglie i prodotti raccolti dai clienti del mercato 2. Alla fine di ogni periodo del ciclo, gli oggetti recuperati sono valutati e classificati in tre tipi di elementi; elementi in parte deteriorati, componenti della materia prima derivanti da prodotti recuperabili e prodotti da smaltire completamente sono stoccati nel magazzino 1. Altri due tipi di elementi, componenti di materiale grezzo e oggetti monouso, sono raccolti in magazzino 2. Nella fase successiva, i componenti del lotto di produzione sono combinazioni di componenti recuperati e nuovi. I prodotti in parte danneggiati sono ricondizionati insieme con gli articoli difettosi durante la produzione regolare e questi sono venduti nel mercato 2. La filosofia del modello si fonda sul fatto che, all'inizio di un ciclo, il lotto di produzione è una combinazione di componenti nuovi e recuperati e anche i prodotti difettosi sono ricondizionati attraverso il recupero di prodotti in parte danneggiati dalla produzione precedente. Il problema è quello di coordinare la produzione ottimale di dimensione del lotto in modo che il profitto totale previsto nel mese di generazione del modello sia massimizzato

Awasthi, Anjali, and S. S. Chauhan. "An RFID Integrated Quality Management System for Reverse Logistics Networks." *Quality Management in Reverse Logistics*. Springer London, 2013. 113-129.

La gestione della qualità è di vitale importanza per le reti di RL per migliorare la produttività e ridurre gli sprechi. Ogni anno, diverse tonnellate di prodotti sono sprecati a causa della mancanza di raccolta dei dati, della cattiva gestione delle informazioni, della mancanza di soluzioni tecnologiche, e della mancanza di conoscenza nella gestione della qualità in questo settore. In questo articolo, gli autori presentano un sistema di gestione della qualità RFID integrato per le reti di RL. Lo strumento proposto integra tre funzionalità di raccolta dati e cioè, l'elaborazione analitica, controllo di qualità, e la generazione di raccomandazioni. Una rete integrata RFID assicura la raccolta di dati accurati e in tempo reale. I dati vengono poi elaborati analiticamente e modellati secondo diverse tecniche di gestione della qualità per il monitoraggio e l'analisi della qualità. Un caso di studio numerico viene fornito per illustrare l'applicazione del sistema di gestione della qualità per le reti logistica inversa.

Fonseca, Ana Sofia, et al. "Environmental impacts of end-of-life vehicles' management: recovery versus elimination." *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2013): 1-12.

In Portogallo, la gestione dei veicoli a fine vita (ELV) è sancito dagli obiettivi stabiliti in seno all'Unione europea per l'anno 2015, fissati in 85 % di riciclaggio, recupero al 95% ed al massimo il 5% di smaltimento in discarica. Questi obiettivi potranno essere raggiunti solo attraverso tecnologie più efficienti per la raccolta differenziata per il riciclo dei rifiuti frantumati e con tassi più elevati di recupero componenti. Concentrandosi su questa ultima alternativa, gli autori hanno affrontato un case study, dimostrando che esiste la possibilità di ulteriore riciclo / recupero del 10 % Gli autori propongono tre scenari per la gestione dei rifiuti ELV : (1) scenario 1 corrisponde alla linea di base e si riferisce alla gestione corrente, vale a dire il 10 % dei rifiuti ELV sono triturati, e da cui si ottengono metalli ferrosi e non ferrosi mentre la frazione rimanente, chiamata rifiuti frantumati autoveicoli (ASR), viene messa in discarica, (2) lo scenario 2, in cui la frazione ASR viene incenerita con recupero di energia, e (3) scenario 3 prevede l'ulteriore smontaggio dei componenti per il riciclaggio e per il recupero di energia tramite combustibile solido recuperato, per essere utilizzato come combustibile nell'industria del cemento. Le prestazioni ambientali di questi scenari sono stati quantificati utilizzando la metodologia di valutazione del ciclo di vita. Gli autori hanno valutato cinque categorie di impatto: l'esaurimento delle risorse abiotiche, i cambiamenti climatici, la creazione di ossidanti fotochimici, l'acidificazione, l'eutrofizzazione e l' eutrophication. Rispetto agli altri scenari, nello scenario 1 non sono stati osservati benefici per le categorie di impatto dei cambiamenti climatici e l'eutrofizzazione. Scenario 2 ha crediti

ambientali dovuti al riciclo di metalli ferrosi e non ferrosi e beneficia del recupero dell'energia. Tuttavia, questo scenario ha un impatto significativo sui cambiamenti climatici dovuti alle emissioni di materiali polimerici presenti nella frazione ASR. Un netto miglioramento delle prestazioni ambientali sembra essere garantita da scenario 3, dovuto principalmente alla sostituzione di combustibili fossili con combustibili solidi recuperati. L'ulteriore proposta di smantellamento di veicoli fuori uso (scenario 3) non solo porta benefici ambientali, ma anche soddisfa gli obiettivi di riciclaggio e di recupero europeo. L'aumento dei costi di smantellamento associato può essere compensato dai ricavi aggiuntivi derivanti dal materiale riciclato e dai benefici sociali derivanti da un aumento dell'occupazione .

Qiang, Qiang, et al. "The closed-loop supply chain network with competition, distribution channel investment, and uncertainties." *Omega* 41.2 (2013): 186-194.

In questo lavoro, viene analizzata una filiera di tipo closed loop caratterizzata da stakeholder esterni quali fornitori di materie prime, negozi, e produttori che raccolgono il prodotto riciclato direttamente dal mercato della domanda. Gli autori derivano le condizioni di ottimo dei diversi decisori, e stabiliscono che le condizioni di equilibrio possono essere formulate come un problema di disuguaglianza variazionale a dimensione finita. Viene a questo punto individuato un algoritmo che può permettere la valutazione degli effetti della concorrenza, della distribuzione dei canali di investimento, dei rendimenti e dei tassi di conversione, in combinazione con le incertezze della domanda, sulla quantità e prezzi di equilibrio dei prodotti.

Shi, Jian-mai, et al. "Joint Production Planning and Recycle Pricing for a Hybrid Manufacturing and Remanufacturing System." *International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2012) Proceedings*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

La pianificazione della produzione congiunta ed il prezzo di acquisizione del prodotto usato costituiscono oggetto di studio per una produzione ibrida ed sistema di rigenerazione. Si presume che la quantità dei prodotti resi aumenta non linearmente con l'incremento dei loro prezzi, e la proporzione dei prodotti restituiti che possono essere recuperati in nuovo prodotto segue un andamento stocastico e presume di seguire una distribuzione conosciuta. Il prodotto ricostruito può sostituire perfettamente il prodotto di nuova produzione, e ciascuno di essi può essere utilizzato per soddisfare la domanda del mercato, anch'essa incerta. L'obiettivo è quello di massimizzare il profitto complessivo del sistema ibrido attraverso l'ottimizzazione contemporanea delle decisioni di pricing del prodotto utilizzato e la pianificazione delle quantità di produzione di prodotti di nuova produzione e di prodotti rigenerati. Un modello extended newsvendor è sviluppato per formulare la pianificazione della produzione e il problema dei prezzi, e le sue proprietà sono analizzate.

Ruiz-Benítez, Rocío, Michael Ketzenberg, and Erwin A. van der Laan. "Managing consumer returns in high clockspeed industries." *Omega* (2013).

In questo studio, ci si interessa delle politiche di controllo per gestire la raccolta dei prodotti che sono stati restituiti dai consumatori ai rivenditori dopo che sono stati venduti. In particolare, gli autori hanno considerato che un processo di reso da parte del consumatore in cui la decisione di interesse è la frequenza con cui i resi vengono prelevati da un punto di raccolta e poi elaborati in una struttura centralizzata. Il reso perde valore nel tempo in base al loro industry clockspeed. Quindi vi è un compromesso tra la scelta di una operazione di raccolta temporalmente più lunga che riduce i costi di trasporto e la riduzione del valore del bene recuperato nel tempo. Gli autori teorizzano un modello caratterizzato da un unico punto di raccolta e da un centro di stoccaggio centralizzato dei resi. Dato un

tasso di decadimento dell'attività e un costo di trasporto fisso si determina l'intervallo di raccolta ottimale. Si è poi estesa l'analisi al caso di un centro di stoccaggio dei resi capacitato. Gli autori hanno valutato anche il valore delle informazioni (numero di ritorni detenuti presso il punto di raccolta) condivise tra un punto di raccolta e l'impianto centrale di stoccaggio. Troviamo che il V.O.I. è abbastanza sensibile alle impostazioni parametriche che vanno oltre il 20%, con un valore mediano del 5,0%. Troviamo che il Value Of Information (V.O.I.) aumenta rispetto al tasso di decadimento del valore patrimoniale ed al tasso di rendimento, mentre diminuisce rispetto al costo di trasporto.

Feng, Lin, Jianxiong Zhang, and Wansheng Tang. "Optimal control of production and remanufacturing for a recovery system with perishable items." *International Journal of Production Research* ahead-of-print (2013): 1-18.

In questo lavoro, viene teorizzato un recovery system che tenga conto dei vincoli connessi ai processi produttivi e rigenerativi avente ad oggetto prodotti deperibili. Il sistema si compone di due tipologie di scorte, una derivante da elementi riparabili e l'altra derivante da articoli restituiti e recuperabili. Prendendo il costo di produzione, il costo di remanufacturing, i costi di smaltimento, e tenendo conto della perdita causata dal deterioramento, gli autori hanno teorizzato un modello di controllo avente come obiettivo quello di minimizzare il costo totale. I costi componenti la funzione obiettivo vengono ottenuti attraverso il principio di massimo di Pontryagin. Inoltre, per evidenziare il vantaggio della dynamic optimal policy (in base alla quale vengono determinati i costi della F.B.), gli autori confrontano tale opzione con il caso di una politica ottimale di tipo statico (che non varia con il tempo). Dall'analisi di questo confronto, gli autori dimostrano che la politica ottimale dinamica è significativamente migliore rispetto alla politica ottimale statica ed un esempio numerico viene fornito per illustrare i metodi proposti.

Poles, Roberto. "System Dynamics modelling of a production and inventory system for remanufacturing to evaluate system improvement strategies." *International Journal of Production Economics* (2013).

L'attività di rigenerazione costituisce parte integrante della supply chain tradizionale. Al termine della vita utile dei prodotti, infatti, parte un processo di recovery in cui i materiali ed i prodotti indesiderati vengono recuperati presso gli utenti finali al fine di recuperarne il valore residuo. Nella costruzione della supply chain, due processi principali devono essere considerati: il controllo delle scorte e la pianificazione della produzione. In questo lavoro, l'autore ha teorizzato un modello di pianificazione della produzione e di controllo delle scorte, utilizzando un approccio di modellazione System Dynamics simulation-based. L'obiettivo è quello di esplorare la dinamica del processo di rigenerazione e di valutare le strategie di miglioramento del sistema. In particolare, l'analisi si concentra sugli effetti del capacity planning e del lead time su un sistema che presenta politiche di inventario di tipo push e pull il cui obiettivo preminente è la copertura delle scorte. I risultati ottenuti rivelano una maggiore efficienza all'interno dei processi di re manufacturing, connotati da alte capacità di ricondizionamento, se viene incrementata la quantità di resi ricondizionabili e diminuito il lead time produttivo. Inoltre, un incremento del lead time produttivo ha un effetto maggiore sulle performance del sistema rispetto ad uguale incremento nel re manufacturing lead time.

Kleber, Rainer, Tobias Schulz, and Guido Voigt. "Dynamic buy-back for product recovery in end-of-life spare parts procurement." *International Journal of Production Research* 50.6 (2012): 1476-1488.

La fornitura di pezzi di ricambio è di primaria importanza per le OEM. In questo contesto, è possibile distinguere due situazioni. La prima è quella in cui l'azienda realizza i prodotti padre; in

questo caso i pezzi di ricambio possono essere ottenuti attraverso le strutture di produzione esistenti. Quando, invece, l'azienda cessa la produzione di tale prodotto, la situazione cambia completamente. Oltre alle tradizionali fonti di parti di ricambio, l'opzione fondata sul riacquisto di parti o prodotti fornisce una valida alternativa nel caso di prodotti al termine del ciclo di vita. Questa soluzione permette all'OEM sia di adempiere alla sua obbligazione di garantire la disponibilità di parti di ricambio sia di aumentare la sua capacità di rigenerazione. La prassi attuale è, da un lato, quella di lanciare campagne di permuta al fine di acquisire prodotti funzionali da clienti, dando notevoli sconti su un prodotto di nuova generazione. D'altra parte, le aziende offrono sconti quando i clienti danno in permuta le parti non funzionanti in cambio di pezzi di ricambio. Gli autori, in questo lavoro, hanno proposto una terza opzione, ossia il riacquisto di prodotti rotti, al fine di migliorare il controllo della domanda sia sui pezzi di ricambio sia sulla fornitura di parti recuperabili. Questo contributo si propone di valutare i potenziali benefici delle strategie di buy-back confrontandole con le tradizionali politiche di approvvigionamento e con le campagne di permuta sulla base della disponibilità di informazioni e sulla flessibilità del buy-back. Per ogni situazione, una formulazione MILP viene presentata, e in uno studio numerico gli autori dimostrano come il riacquisto dei prodotti rotti è particolarmente utile per l'OEM.

Alinovi, Alberto, Eleonora Bottani, and Roberto Montanari. "Reverse Logistics: a stochastic EOQ-based inventory control model for mixed manufacturing/remanufacturing systems with return policies." *International Journal of Production Research* 50.5 (2012): 1243-1264.

Questo articolo si concentra sui sistemi di produzione / rigenerazione miste, dove la produzione o l'acquisto di nuovi componenti viene integrato con il reimpiego o rigenerazione, con lo scopo di raggiungere una completa e tempestiva soddisfazione della domanda. Formuliamo un modello stocastico di tipo EOQ per la gestione delle scorte per un sistema di produzione / rigenerazione mista. Il modello è destinato ad identificare la necessità di effettuare un ordine di fabbricazione / acquisto, per evitare il verificarsi di situazioni di stock-out. Abbiamo poi formulato un problema di minimizzazione del costo totale, per derivare la politica di reso ottimale, essendo quest'ultima un incentivo finanziario versato ai clienti per aumentare il flusso di elementi resi. Il modello sviluppato è valutato attraverso simulazioni, al fine di individuare l'effetto stocastico (sulla domanda, sulla frazione resa e sul return delay) relativo alla politica di recovery ottimale. Successivamente il modello viene convalidato mediante un caso di studio, per ricavare indicazioni relative alla sua applicazione pratica in casi reali.

Nakasima, Kenichi, Mitsutoshi Kojima, and Surendra M. Gupta. "Management of a Disassembly Line using Two Types of Kanbans." *International Journal of Supply Chain Management* 1.3 (2013).

La continua crescita dei c.d. consumer waste rischia seriamente di danneggiare l'ambiente. Per questo motivo, l'environment conscious manufacturing è diventato un attributo importante per le aziende, le quali lo hanno iniziato ad applicare non solo per adempiere a quanto prescritto dalle norme in materia di protezione ambientale, ma anche al fine di ottenere una maggiore redditività tramite le procedure di recupero del prodotto. Una delle prime operazioni di recupero del prodotto è il disassemblaggio che comporta la separazione dei componenti, dei sottoinsiemi e dei materiali, da un prodotto che viene restituito in quanto al termine del proprio ciclo di vita. In questo articolo, gli autori hanno teorizzato un meccanismo multi-kanban basato su due tipi di kanban. In pratica sono stati individuati un kanban per i componenti ed un kanban per i sottoassiemi, i quali vengono utilizzati per controllare la catena di smontaggio. Gli autori, per illustrare la metodologia da loro proposta e per valutare, a mezzo di simulazioni, le fluttuazioni delle scorte dei materiali e dei sottoassiemi, dei tempi di attesa e dei tassi di reso, utilizzano un case study reale derivante dal settore automobilistico. I risultati ottenuti hanno dimostrato l'efficacia di una catena di smontaggio che utilizza il meccanismo teorizzato.

Capitolo 3

3.1 Problem Description

L'MRP può essere definito come un approccio per la pianificazione della produzione da applicare in ambienti di produzione tradizionali. Il principale obiettivo di un sistema MRP è di produrre un piano di produzione che determini l'output finale di un sistema in un determinato orizzonte di pianificazione che verrà successivamente utilizzato come base per la gestione della fase operativa della produzione stessa. Dal 1960 l'MRP è diventato un popolare metodo di determinazione dei lotti. Diverse ipotesi sono di solito fatte per le politiche tradizionali MRP. Queste comprendono i c.d. deterministic demands, i rendimenti, e tempi di consegna (Nahmias 2001). Nella realtà molti sistemi MRP incontrano le problematiche connesse ai rendimenti ed ai tempi di consegna sconosciuti o incerti. Incorporando queste incertezze operative all'interno di un sistema MRP, ci si potrebbe trovare facilmente dinnanzi ad un sistema molto complicato. Le prime analisi in letteratura sui sistemi MRP si incentrano solo sul problema del dimensionamento mono stadio. Il dimensionamento multi-stadio è stato successivamente valutato attraverso l'uso di algoritmi come quello sviluppato da Blackburn e Millen (1982). Il modello è stato testato con un massimo di cinque fasi di produzione. Sebbene la maggior parte dei processi realistici coinvolga molte più fasi di produzione, la ricerca ha dato prova che le metodologie euristiche di pianificazione esistenti potrebbero essere migliorate. L'introduzione del problema del remanufacturing all'interno della logica MRP comporta una serie di problematiche di cui bisogna tenere conto, non solo perché bisogna tenere conto delle peculiari incertezze che connotano il mercato, ma anche perché è necessario considerare le problematiche specifiche di un sistema di disassembly. Per quanto attiene quest'ultimo punto, Guide et al., 2000 hanno individuato, nei loro studi, una serie di problematiche che rendono più complicata l'applicazione di un sistema MRP ibrido”:

1. la tempistica incerta e la quantità di resi : il problema dell'incertezza nei tempi e quantità di resi è un riflesso del natura incerta della vita di un prodotto. Un certo numero di fattori tra cui la fase del ciclo di vita di un prodotto e il tasso di cambiamento tecnologico influenzano il tasso di reso. Nasr et al. (1998) sottolineano, nei loro studi, come a causa di questa incertezza, le rimanenze delle imprese che operano nel settore del remanufacturing sono circa un terzo dell'inventario complessivo.
2. la necessità di bilanciare i resi alla domanda, il problema del bilanciamento dei resi alla domanda, è funzione della obsolescenza fisica e tecnologica di un prodotto. L'obiettivo, per un'impresa, è quello di massimizzare i profitti avendo, come vincoli, quello di bilanciare la richiesta di articoli rigenerati con la domanda globale dei consumatori. Questa necessità di equilibrare i tassi di reso con la domanda complica la funzioni di gestione e di controllo delle scorte, e richiede ulteriore coordinamento tra varie aree funzionali per gestire efficacemente il problema. Le attività di gestione delle scorte, in particolare sono influenzate dalle attività di acquisizione dei componenti sin dato che il processo di lot sizing è dipendente dai volumi previsti e dalle condizioni dei componenti stessi. Nel caso in cui componenti rimpiazzati non siano disponibili, l'eccesso di componenti può essere assorbito come pezzi di ricambio. La gestione ed il controllo delle scorte dovrebbe essere sviluppata in maniera specifica visto che molte aziende che utilizzano prodotti resi richiedono la valutazione di costi specifici, quali costi di stoccaggio e costi di smaltimento, che possono essere elevati. Infine, le decisioni di produzione relative al personale da impiegare ed alla programmazione di breve, sono dipendenti dal tempo e dalla quantità di componenti recuperati.

3. lo smontaggio dei prodotti restituiti, gli oggetti restituiti devono essere smontati prima che il prodotto possa essere riportato al pieno utilizzo. Gli effetti delle operazioni di smontaggio influiscono su di un gran numero di settori, compreso il controllo della produzione, la pianificazione, controllo shop floor, la pianificazione dei materiali e delle risorse. Lo smontaggio e il successivo rilascio di parti alle attività di rigenerazione richiedono un elevato grado di coordinamento con il riassettaggio per evitare livelli elevati di inventario o uno scarso servizio reso al cliente. Lo smontaggio è il primo passo nel processo di rigenerazione e agisce come un gateway per le parti ai processi di rigenerazione. I prodotti sono smontati al livello di item semplice, viene valutato il loro potenziale di recupero e le parti accettabili sono dirette verso le operazioni successive. Le parti non conformi alle norme minime di rigenerazione possono essere utilizzate come pezzi di ricambio, o venduti al valore di rottame.
4. L'incertezza relativa al recupero dei materiali restituiti; l'incertezza nel recupero dei materiali, comporta che due oggetti identici restituiti possono produrre un insieme molto diverso di parti riutilizzabili. Le parti possono essere riutilizzate in una varietà di applicazioni, a seconda del loro stato. Per esempio, le parti possono essere ricostruite, usate come pezzi di ricambio, vendute su mercati secondari, o riciclate. Questa incertezza rende la pianificazione ed il controllo delle scorte più problematica. Il tasso di recupero del materiale (MRR) può essere utilizzato per determinare le dimensioni di acquisto del lotto e rigenerazione dimensioni dei lotti, e possono svolgere un ruolo importante nell'utilizzo di sistemi MRP.

Nell'implementazione di un sistema MRP ibrido, non si può non tenere conto dei seguenti studi elaborati in letteratura. Rahman e Schroer (1998) hanno studiato i sistemi MRP, Just- in-time (JIT) e Optimum Production Technique (OPT) per determinare le condizioni che porterebbero a preferire una tecnica anziché un'altra. Essi hanno scoperto che l'MRP è preferito quando si sta usando una produzione di tipo batch ed in presenza di variabilità. L'MRP ha il vantaggio ulteriore di fornire una struttura per il trattamento delle parti comuni presenti in prodotti diversi. Negli anni sono stati sviluppati alcuni studi sull'MRP negli impianti di rigenerazione. Ad esempio, Krupp (1988) ha presentato alcuni suggerimenti su come strutturare le distinte basi per l'automotive component remanufacturing. La sua analisi si fonda sul rapporto tra il volume dei beni ricevuti e le vendite dei periodi precedenti, ma non tiene conto dei rendimenti derivanti dallo smontaggio. Panisset (1988), Szendel (1993), e McCaskey, Donald & Smith (1993) si sono focalizzati sull'idea di utilizzare distinte base "inverse" nel tentativo di adeguare il quadro MRP al processo di smontaggio. Nessuno di questi autori, tuttavia, ha integrato il proprio lavoro con il riassettaggio. Inderfurth e Jensen (1998) hanno condotto un'analisi di tipo matematico del quadro MRP per sviluppare regole di controllo per le imprese "ibride" che producono, al contempo, nuovi componenti e si dedicano allo smontaggio dei resi, modificando i livelli delle scorte di sicurezza, e trasferendo i beni in eccesso nelle operazioni di rigenerazione. Il loro modello non affronta il tema delle perdite di resa nel processo di smontaggio ed è limitato ad un solo periodo con eliminazione delle eventuali attività rimasto al termine del periodo

Partendo dall'MPS, il meccanismo dell'MRP passa per le seguenti operazioni

1. Calcolare il Fabbisogno Lordo (FL- gross requirement) di ogni componente per periodo;
2. Confrontare FL con le scorte disponibili nel periodo;
3. Determinare il Fabbisogno Netto (FN-Net Requirement) per il periodo;
4. Elaborare il piano degli ordini, tenendo conto dei lead time ed eventualmente lottizzando la produzione

La tecnica MRP consiste nell'esplosione della distinta base e nella temporizzazione dei fabbisogni rispetto ai diversi periodi temporali: Esplosione una distinta base vuol dire:

$$\text{Exploding DB} = \text{quantità da produrre} \times \text{coefficiente d'impiego}$$

Questo è il meccanismo con cui si muove la logica di un sistema MRP senza tener conto del fatto che i prodotti finiti possono rientrare in azienda per problematiche connesse a:

1. Difetti di funzionamento
2. Problematiche legate a difformità tra Ordine Cliente e Ordine di Produzione

La distinzione tra le due situazioni è sostanziale, in quanto spiega i suoi effetti in termini di gestione delle scorte. Infatti mentre un prodotto difettoso non può essere reimmesso sul mercato, un prodotto realizzato in maniera difforme rispetto a quello che il Cliente ha ordinato può essere utilmente ricollocato presso altri Clienti ovvero su mercati secondari. Volendo fare una verifica preliminare delle problematiche connesse alla gestione delle scorte nel caso di un sistema ibrido che tenga conto anche dei resi, la letteratura a partire da Gupta (1994) identifica le seguenti problematiche:

1. Difficoltà nella pianificazione delle scorte dovuta all'incertezza legata all'impossibilità di prevedere il tasso di materia prima recuperata dai prodotti resi
2. Impossibilità di conoscere a priori le condizioni del prodotto fin tanto che questo non venga ispezionato
3. Necessità di disassemblare il prodotto
4. Difficoltà nella gestione della domanda connessa alle difficoltà di bilanciamento tra offerta di prodotti resi e relativa domanda dei prodotti
5. Difficoltà nella coordinazione del flusso dei materiali che derivano dal disassemblaggio di prodotti aventi caratteristiche peculiari e che potranno essere riutilizzati solo nel riassetto di determinati prodotti
6. Incertezza connessa con i tempi e la quantità di prodotti resi

Uno degli aspetti chiave nella determinazione di una sequenza di disassemblaggio efficace ed efficiente è l'incertezza connessa alle condizioni dei componenti dei prodotti, delle connessioni tra le parti del prodotto e ad i passaggi che bisogna effettuare nel processo di disassemblaggio. A differenza del processo di assemblaggio di nuovi prodotti, che si connotano per l'utilizzo di componenti nuovi e testati, nel disassemblaggio, i prodotti resi sono prodotti utilizzati che potrebbero non funzionare in maniera corretta. Questo spiega l'incertezza connessa alle condizioni dei componenti. Alcuni di questi ultimi, possono essere buoni e funzionare correttamente mentre altri no. Alcune parti non funzionanti possono essere riparate mentre altre devono essere smaltite in modo appropriato. Inoltre le connessioni tra le parti potrebbero essere deformate. Tutto questo comporta il trattamento del costo di disassemblaggio come una variabile stocastica. Gungor & Gupta (1998) hanno categorizzato l'incertezza nel processo di disassemblaggio in tre diversi gruppi:

- 1) Incertezza nelle condizioni delle parti componenti e dei fastener dei prodotti resi a causa di difetti o danneggiamenti;
- 2) Incertezza nelle condizioni delle parti componenti dovuta a processi di upgrading ovvero downgrading del prodotto da parte dei consumatori;
- 3) Incertezza nelle operazioni di disassemblaggio. Queste includono il danneggiamento dei componenti durante le operazioni di smontaggio

In alcuni studi effettuati in letteratura, l'incertezza del modello di disassemblaggio è stato riconsiderato attraverso meccanismi di aggiustamento euristici, qualora ci sia stato un significativo scostamento rispetto ai parametri presunti (Erdos et al., 2001, Gungor & Gupta, 1998, Lambert, 2003). Altri studi, hanno trattato i parametri del processo di disassemblaggio come variabili stocastiche ed hanno assunto una conoscenza a priori di tali parametri (Geiger & Zussman 1996, Looney 1988, Zussman et al. 1994).

Oltre al problema connesso alle modalità di trattamento del processo di disassemblaggio, bisogna tenere conto che esistono diverse forme di disassemblaggio. Kuo (2000) ha raggruppato il processo di smontaggio in tre gruppi:

- 1) Targeted o selective disassembly

- 2) Complete o full disassembly
- 3) Optimum partial disassembly

Il Targeted o selective disassembly è un processo di smontaggio component-oriented (Lambert 2003). Alcune volte l'obiettivo è quello di smontare un componente particolare ovvero disassemblare l'intero prodotto in n parti componenti. È questa la corretta definizione del Targeted o selective disassembly secondo quanto statuito dalla letteratura di riferimento (Garcia et al., 2000, Shyamsundar & Gadh, 1996, Srinivasan et al. 1999, Yi et al. 2008). Il c.d. Full disassembly è product oriented, dove l'obiettivo è quello di disassemblare il prodotto in tutte le sue componenti (Lambert 2003).

Di solito, esistono numerose differenti sequenze per testimoniare il processo di disassemblaggio di un prodotto. Questo implica il sorgere della questione secondo la quale bisogna individuare quali di queste sequenze sono più efficienti rispetto alle altre e come il processo di smontaggio deve essere gestito. Molti studi hanno analizzato le sequenze di disassemblaggio (Gu & Yan, 1996; Ko & Lee, 1987; Lee, 1993; Zussmann et al., 1994). Per analizzare le differenti sequenze di disassemblaggio, una rappresentazione grafica che mostri i componenti del prodotto deve essere utilizzata. Questi grafici hanno, come livello 0, il prodotto, e considerano tutte le possibili opzioni di smontaggio che disaggregano il prodotto in due filoni. Successivamente, per ogni filone di smontaggio, si considerano tutte le possibili opzioni di disassembly. Questa sequenza di smontaggio di tipo multipath continua fino a che il prodotto non viene valutato a livello di componente elementare. In letteratura vengono identificate quattro diverse forme di rappresentazione grafica delle sequenze di disassemblaggio:

- 1) Connection graph
- 2) Direct Graph
- 3) And/Or Graph
- 4) Disassembly Petri Nets

Il c.d. connection graph mostrano la struttura del prodotto nei suoi core e non core attraverso l'utilizzo di box ovvero vertici e le connessioni tra le parti con linee e flussi. Un connection graph mostra tutte le connessioni che possono essere rimosse al fine di smontare il prodotto in componenti elementari. Tale strumento, tuttavia, non permette di mostrare i vincoli topologici ovvero geometrici esistenti. Il c.d. Direct Graph rappresenta tutte le possibili sequenze di disassemblaggio. Ogni nodo rappresenta un possibile stato di disassemblaggio parziale del prodotto ed ogni bordo rappresenta una disassembly task. I nodi sono unici ma i flussi possono essere connessi a diversi nodi. Questa forma grafica può essere utilizzata per mostrare i vincoli topologici e le relazioni di precedenza tra i componenti. I grafici And/Or può essere interpretato come una versione ridotta del direct graph. Nel direct graph tutti i flussi che fuoriescono dal nodo sono considerati come "Or"; questo significa che il prodotto può passare da uno stato di passaggio di disassemblaggio parziale ad un altro soltanto attraverso un percorso ben definito. Nel grafico And/Or ogni nodo mostra il processo di disassemblaggio dei componenti ottenuti nella fase precedente di smontaggio. Per ogni nodo, ogni possibile operazione di disassemblaggio è mostrata attraverso due flussi uscenti dallo stesso e che arrivano a due diversi risultati di smontaggio (And). Il grafico Petri Nets è una rappresentazione alternativa rispetto alla And/Or. Diversamente dal meccanismo And/Or, il Petri Nets rappresenta le operazioni di smontaggio in unità separate. Nel grafico And/Or, le operazioni di disassemblaggio sono implicite. Nel sistema Petri Nets, tali operazioni sono esplicite, conseguentemente, si può ottenere una evidenza più dettagliata del processo di smontaggio. Tutto ciò permette l'introduzione di criteri di valutazione dello smontaggio più conveniente.

3.2 Simulation Model

La creazione di un modello di simulazione credibile e valido richiede la definizione di una serie di step specifici. È noto, infatti, in letteratura, che il punto di partenza per la creazione di un modello è la definizione dei vincoli in funzione del quale il modello lavora e, secondo Clark & Krahl (2011), il processo di costruzione del modello sarà tanto più semplice quanto più coerenti saranno le assunzioni fatte. Nel caso in specie le assunzioni sono le seguenti:

1. Il periodo di Warm-up è assunto Pari a 0
2. La lunghezza delle Repliche viene assunta in 60 giorni
3. Il numero delle repliche previste è pari a 5
4. Non ci sono attività di manutenzione o problematiche attinenti alle attrezzature
5. Nel processo di disassemblaggio viene utilizzata una sola risorsa
6. Non esiste un centro di raccolta in cui avviene una valutazione preliminare del prodotto.

Definita la lista di vincoli a cui il modello deve sottostare, il modello di simulazione viene costruito. La realizzazione del modello è avvenuta identificando, in via preliminare, quelle che sono le fasi preminenti di un processo di recovery. In generale, per la costruzione di un modello di recovery, il prodotto da recuperare subisce una prima ispezione tendente a verificare lo status qualitativo del bene; se il prodotto viene considerato valido, allora si procede lungo la linea di disassembly; in caso contrario il prodotto viene destinato direttamente allo smaltimento. Il processo di disassemblaggio si sviluppa nelle attività note in letteratura, ovvero sia: smontaggio dei componenti, pulizia e test delle parti, ispezione finale, collocazione del pezzo recuperato nel magazzino. Queste fasi sono state rielaborate in un grafico, utilizzato come “canovaccio” per la realizzazione del simulatore, e che viene di seguito riportato:

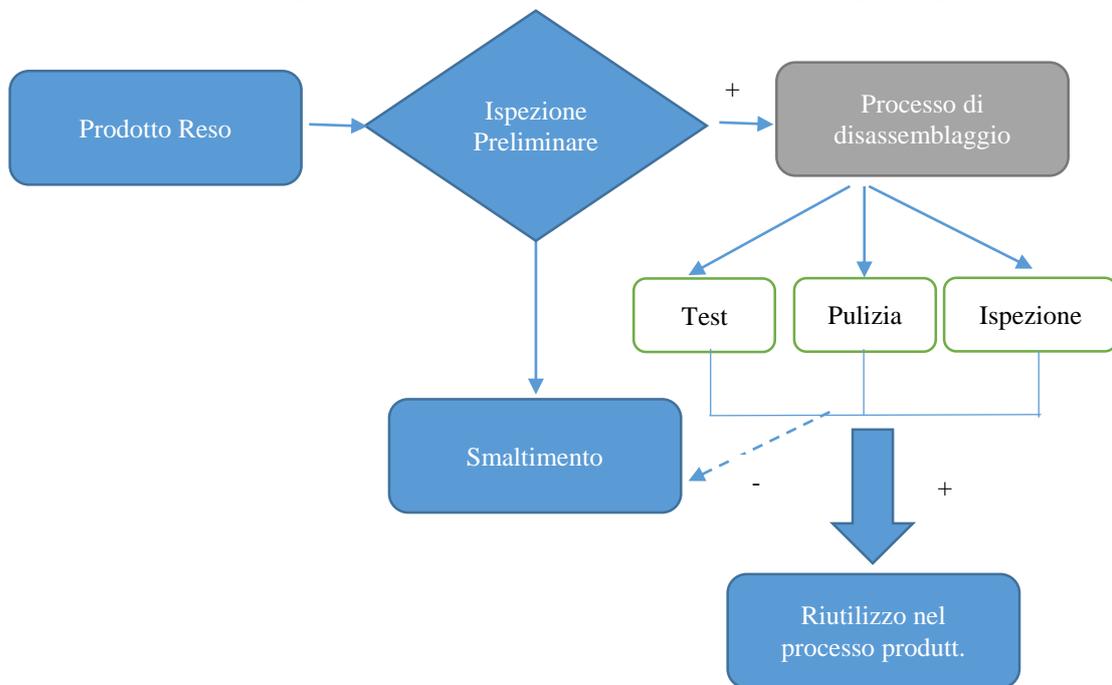


Figura 10: Nostra elaborazione del processo di disassemblaggio

A questo punto, il modello è stato inserito all'interno di Software di Simulazione ad Eventi Discreti (DES) denominato Arena, della Rockwell Automation. Il prodotto reso ovvero non conforme (Moduli "Create 1" e "Create 2") entrano nel processo di recovery.

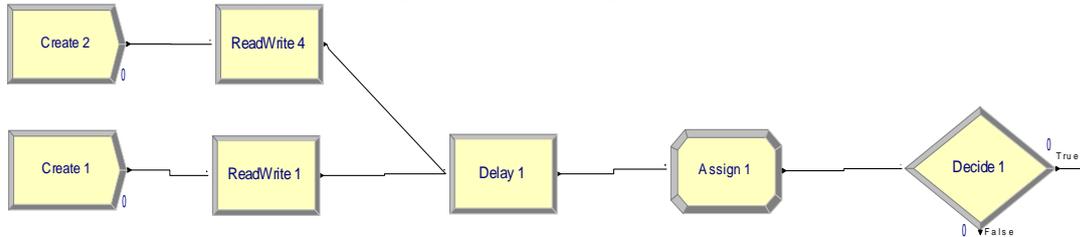


Figura 11: Sezione d'ingresso del modello Arena

I resi e le non conformità che rientrano nel processo vengono lette attraverso il modulo "ReadWrite" il quale richiama i dati presenti in un foglio excel. In tale foglio, infatti, vengono riepilogati il codice prodotto, il livello di qualità del reso ed il momento in cui il prodotto rientra. Per quanto attiene la determinazione del livello di qualità, è opportuno sottolineare che esistono, in letteratura, molti modi per verificare la qualità di un prodotto reso. Alcuni autori si sono focalizzati sul problema del disassemblaggio del prodotto all'interno di una struttura di recovery centralizzata. Ad esempio Krikke (1998) ha implementato un approccio molto efficiente per l'analisi di tale problema, ottenendo delle strategie di disassemblaggio ottimali in funzione della qualità dei prodotti e delle parti, valutando l'opportunità economica delle differenti alternative. L'autore ha ottenuto le strategie ottimali di smaltimento applicabili ad ogni prodotto e, per quei prodotti per cui la migliore alternativa era il disassemblaggio, ha determinato il livello ottimale di disassemblaggio per il prodotto considerato. Queste alternative possono variare moltissimo tra loro, qualora il livello qualitativo del prodotto sia sconosciuto e la valenza economica del processo di disassemblaggio non sia uguale per tutti i prodotti e per tutti i loro componenti. Soto et al. (2002) hanno rivisitato il problema, tenendo conto del fatto che i prodotti sono restituiti ad una struttura di recovery centralizzata, dove questi verranno classificati in funzione della loro qualità. I prodotti resi possono essere o pienamente ovvero parzialmente disassemblati. Con ogni probabilità, secondo gli autori, i prodotti, in funzione del livello di qualità fatto registrare, saranno disassemblati ed i materiali/sottoassiemi recuperati saranno inviati presso le aziende produttrici, le quali li utilizzeranno per la realizzazione di nuovi prodotti. Nel modello in esame, la vita utile residua di un componente reso (SL) sarà funzione, della percentuale di recupero del prodotto in funzione del tempo (λ_{DIS}). In simboli:

$$Q_{pf.dis.} = f(\lambda_{DIS}.)$$

Questo dato verrà valutato attraverso l'implementazione di una distribuzione di probabilità di tipo esponenziale calcolata attraverso la generazione di n numeri casuali compresi tra 0 e 1, in funzione del periodo temporale che andiamo a considerare. L'equazione utilizzata sarà del tipo:

$$\lambda_{DIS}. = \lambda_{DIS} e^{-\lambda_{DIS}.x}$$

con λ_{DIS} . pari a 1, ovverosia pari al 100% dell'utilizzabilità del componente esaminato. Nel nostro modello si utilizzeranno i primi 50 numeri casuali, in quanto si suppone non veritiera la presenza di un

lead time di recovery (inteso come tempo che va dalla produzione del prodotto al suo ritorno presso l'OEM) superiore a 50 periodi.

Graficamente la curva considerata avrà il seguente andamento:

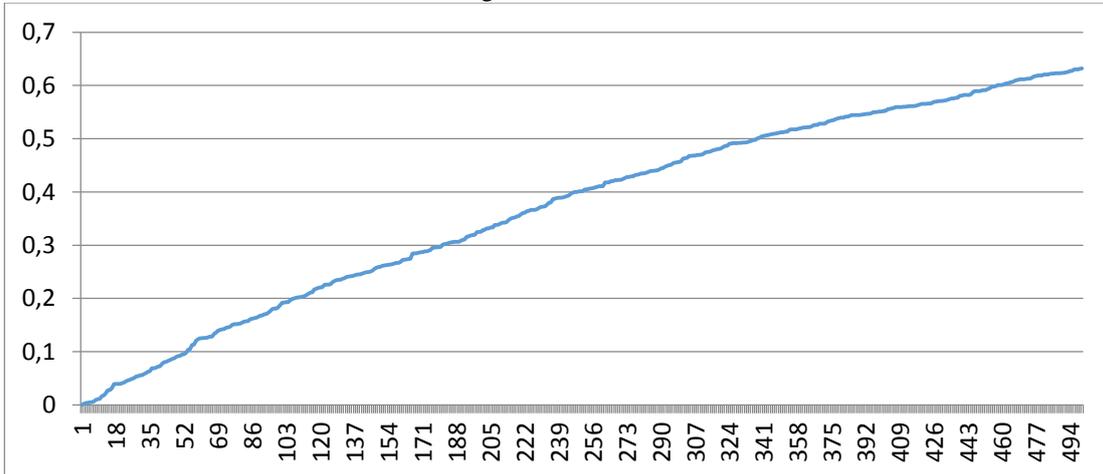


Figura 12: Distribuzione Esponenziale ns elaborazione

I resi e le non conformità entrano nel modulo Delay, dove vengono ritardate per il periodo di tempo determinato nel foglio input di Excel. A questo punto i prodotti subiscono, all'interno del Modulo Decide, l'ispezione preliminare di qualità. La tipologia di Decide scelto è la c.d. "two ways by chance", dove viene deciso se il prodotto può essere disassemblato (Ipotesi Vera) oppure deve essere inviato direttamente allo smaltimento (Ipotesi Falsa). L'ipotesi vera viene determinata quale valore minimo tra il 100% ed il valore determinato nella colonna quality di excel. I costi di ispezione ed i tempi relativi vengono assegnati nel modulo Assign e vengono determinati secondo una distribuzione uniforme. Il prodotto che supera l'ispezione preliminare passa al processo di disassemblaggio

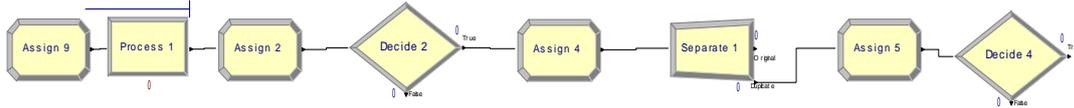


Figura 13: Disassembly Process modellato su Arena

Nel process, modello principe nella struttura Arena, la metodologia che viene applicata è quella c.d. standard, secondo cui tutte le attività logiche vengono svolte all'interno del modulo e vengono definite da una particolare azione. Il tipo di lavorazione che è stata impostata all'interno del modulo è la Seize Delay Release, secondo cui si assegna una risorsa e la si rilascia dopo un intervallo di tempo

In altri termini la risorsa viene in primo luogo assegnata ad un'entità (operazione di Seize), quindi impegnata per un certo tempo (Delay) e poi rilasciata (Release). In questo istante l'entità esce dal modulo Process e la risorsa viene liberata e assegnata all'entità successiva (se esiste una coda) oppure resa disponibile per la prossima entità in arrivo. Nella sezione Delay Type il ritardo che subisce l'entità viene definito come una variabile casuale normale con media pari a 2,5 minuti e varianza pari a 0,2. All'interno del processo è stata poi definito l'utilizzo di una risorsa, che identifica l'utilizzo di un operatore adibito alle attività di smontaggio. Nel processo di disassemblaggio, ruolo fondamentale lo gioca il c.d. fastener. È infatti noto, nella pratica aziendale, come un efficiente processo di disassemblaggio richiede una sufficiente conoscenza di come i diversi componenti siano collegati tra loro. Chiaramente, la DBOM deve elencare, al proprio interno, i differenti set di fissaggio, identificando,

per ogni set, il numero e la tipologia di collante utilizzato. Un fastener set viene definito (Das, 2002) come un gruppo di fastener simili, come può essere un gruppo di quattro viti, che agisce in modo integrale per tenere insieme due o più parti accoppiate. Due parti si definiscono accoppiate quando queste sono in contatto fisico l'una con l'altra. L'elemento di connessione tra i materiali gioca, quindi, un ruolo importante nel Design di un prodotto. Das et al. (2002) osservano che l'assemblaggio ideale è quello in cui è presente un solo dispositivo di fissaggio ed il suo smontaggio avviene attraverso una singola azione lineare. Questo fornisce un semplice processo di disassemblaggio che si connota per avere una sola fase. Per ogni tipologia di accoppiamento gli autori hanno individuato le seguenti relazioni di accoppiamento possibili:

Tipologia di accoppiamento 1: i pezzi vengono assemblati con elementi di fissaggio separati.

Tipologia di accoppiamento 2: i pezzi vengono assemblati con elementi di fissaggio integrati in una delle parti.

Tipologia di accoppiamento 3: le parti sono accoppiate ma non c'è un fissaggio diretto tra le stesse.

La tipologia 0 rappresenta il caso di default quando due parti non sono connesse. La tipologia 3 di accoppiamento è una sorta di chiusura indotta, per cui una parte mantiene la sua posizione attraverso altri collegamenti o da limiti di posizione imposti alle parti accoppiate. Da una ricerca condotta da Das et al. (2002), sono state evidenziate diverse tipologie di fastener ai quali è stato associato un rating denominato "U rating" calcolato in funzione delle differenze esistenti tra i meccanismi di accoppiamento e lo sforzo richiesto per disassemblare i componenti, ottenuto attraverso lo schema proposto da Das et al. (2000). Questi dati, vengono tradotti in una tabella in cui vengono proposti differenti tipi di accoppiamento in funzione della loro attitudine al disassemblaggio.

Separate fasteners			Integral fasteners		
Code	Fastener Type	U-Rating	Code	Fastener Type	U-Rating
1	Nail with head	1.5	13	Cylindrical Snapfit	1.6
2	Nail w/o head or Pin	1.8	14	Cantilever Snapfit	1.3
3	Screw/Bolt standard head	1.4	15	Seam/Crimp Joint	1.6
4	Screw/Bolt speciality head	2.2	16	Interference Fit	1.8
5	Nut & Bolt	2.1	17	Integrally Threaded Part	2.2
6	Rivets/Staples	2.0	18	Socket and Plug	1.2
7	Retaining Rings/Circlips	2.5			
8	Tape	1.7			
9	Adhesive	2.1			
10	Welded	4.0			
11	Velcro/Zipper	1.0			
12	Releasable Clips	1.8			

Tabella 5: Tipologia di connessioni da una prospettiva di disassemblaggio tratto da Das S.K. & Naik S. "Process Planning for product disassembly" Int.J.Prod.Res. 2002, Vol.40, no.6, 1335-1355

A questo dato, gli autori associano un moltiplicatore (μ) che descrive la difficoltà di accesso al fastener. Tale moltiplicatore varia da 1 a 3 a seconda che la connessione abbia un accesso in superficie ovvero non sia accessibile. Questo valore riflette la difficoltà connessa con la diverse tipologia di accesso. Das (2002) individua, nella figura che segue, sei possibili tipologie di accoppiamento

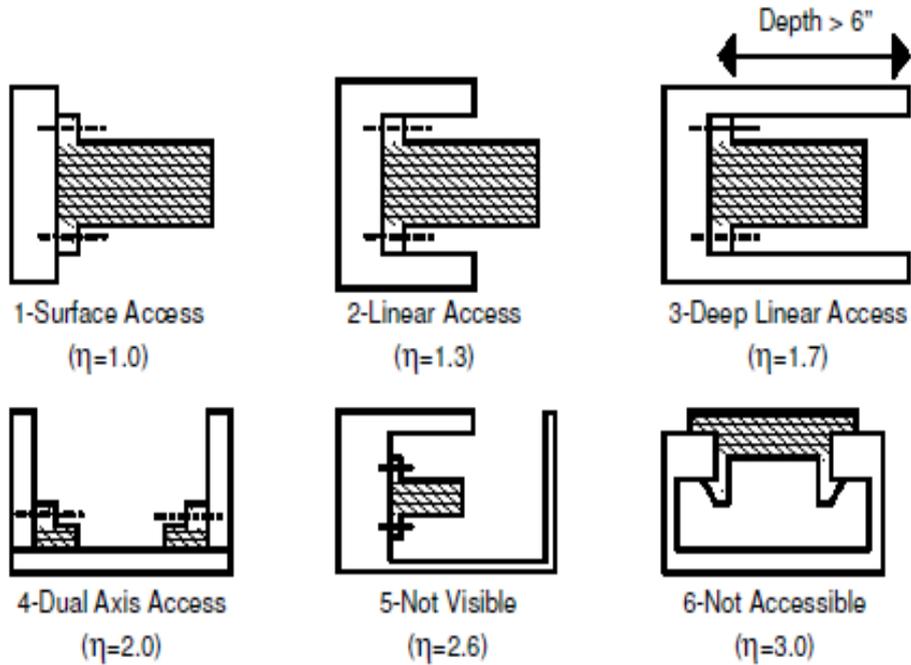


Figura 14: Possibili accoppiamenti tratti da Das S.K. & Naik S. "Process Planning for product disassembly" Int.J.Prod.Res. 2002, Vol.40, no.6, 1335-1355

Una volta completato il processo, il PN recuperato ed i costi di recupero ad esso connessi vengono riportati, come output nel foglio excel, sempre attraverso la funzione ReadWrite. Qualora invece il prodotto ovvero il componente non supera le diverse fasi di recovery (Moduli Decide 2 & 3) viene destinato allo smaltimento ed i suoi elementi identificativi (PN e period) nonché il relativo costo sostenuto, divengono l'output del processo riportato nel foglio excel.

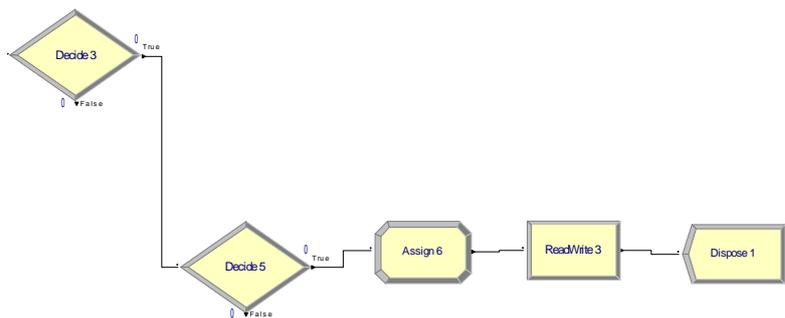


Figura 15: Modello Arena Smaltimento

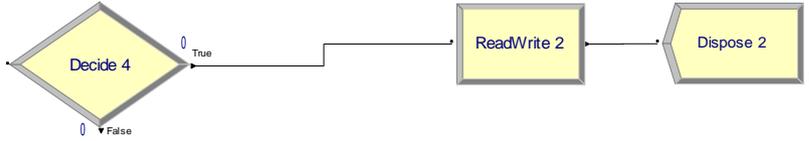


Figura 16: Modello Arena Recupero

3.3 Il Sistema MRPR

La costruzione del modello parte, innanzitutto, dalla determinazione della domanda indipendente (MPS). L'MPS fornisce la programmazione (schedulazione) delle consegne di prodotto finito sia in termini temporali che di quantità con l'obiettivo di soddisfare le esigenze dei clienti. È il "piano guida", assieme alla distinta base, per la redazione del piano dei fabbisogni: mentre l'MPS fissa le date in cui gli item devono essere disponibili per la consegna, le date del lancio degli ordini di lavorazione saranno determinate in sede di MRP (Padoano, 2010).¹⁰Nel caso in esame, sono stati considerati sessanta giorni di produzione di una azienda operante per commessa, supponendo che presso la stessa, nel periodo considerato, si verificano delle Non Conformità nel processo produttivo e che, sempre presso la stessa, rientrino prodotti resi da parte dei vari stakeholder. Da una analisi empirica, è stato dimostrato che, in una azienda efficiente, la percentuale di prodotti non conformi che si verificano all'interno del processo produttivo siano non superiori al 3% della produzione totale, mentre, per quanto attiene il numero di resi, si determina, attraverso un'analisi della serie storica dei resi rientrati presso l'azienda negli ultimi tre anni, che l'ammontare medio dei prodotti che rientrano presso l'OEM sia pari al 5% dei prodotti venduti.

L'altro input fondamentale all'interno di un processo MRP è la distinta base. Nel caso in esame, l'obiettivo che ci si è posto è verificare cosa succede all'interno di MRP con recovery quando il prodotto da recuperare sia più o meno complesso. In particolare all'interno del simulatore sono state implementate due diverse distinte base: la prima distinta (Figura 1), denominata Ipotesi A, si compone di un livello a da tre componenti; la seconda distinta (Figura (2), denominata Ipotesi B, si compone anch'essa di tre livelli ma i componenti considerati sono tredici.

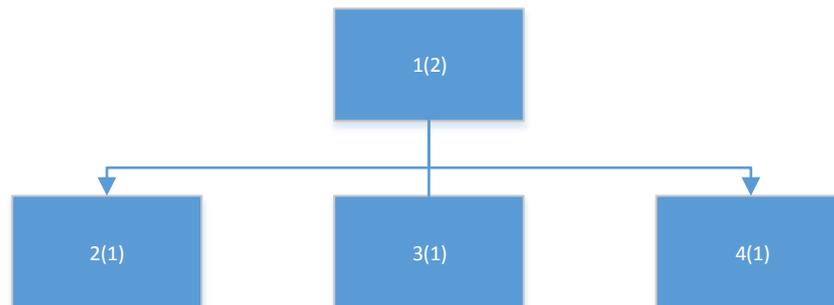


Figura 17: Esempio Distinta Base flat

¹⁰ <http://www2.units.it/padoano/>

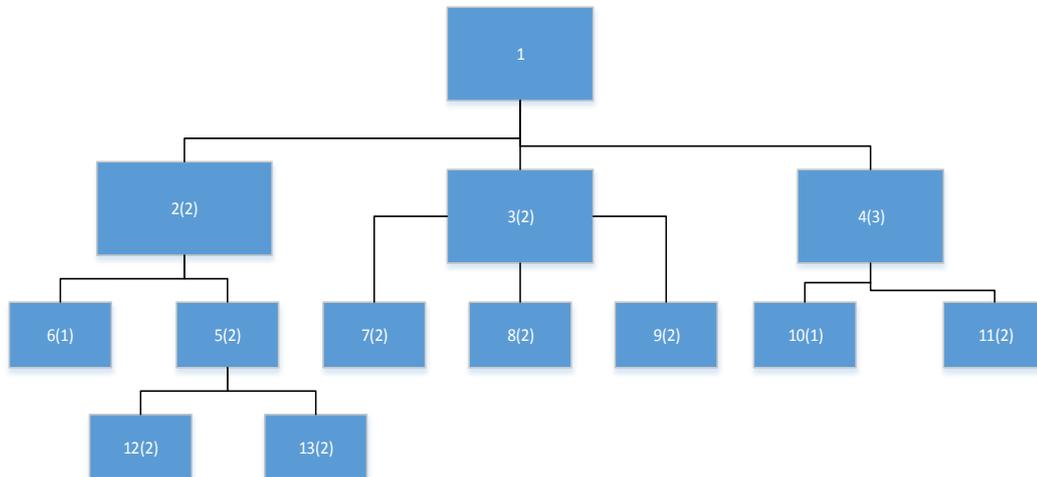


Figura 18: Esempio Distinta Base Strutturata

Come suggerito da Das et al. (2002), il primo passo verso lo sviluppo di un modello di disassemblaggio è la definizione di una disassembly bill of materials (DBOM). La DBOM fornisce una rappresentazione della struttura fisica del prodotto collocata all'interno di un processo di smontaggio. Come sottolineato dagli autori, la speranza è che i produttori creino e distribuiscano la DBOM a potenziali centri di raccolta e di smontaggio. In assenza di un DBOM, le operazioni di smontaggio sono destinate ad essere meno produttive e, in molti casi, il disassemblaggio diviene un'opzione fattibile. Un DBOM prontamente disponibile, d'altro canto, dovrebbe aumentare significativamente la probabilità che un prodotto viene smontato alla fine della sua vita. Seguendo la logica di Das, è opportuno rilevare che, per rendere lo smontaggio efficiente, il DBOM deve contenere informazioni sulle parti, sugli elementi di fissaggio e sulla struttura di fissaggio.

Partendo dai componenti, si può facilmente comprendere, attraverso un'analisi delle distinte basi, che un per avere una pratica di smontaggio redditizia bisogna innanzitutto comprendere qual'è l'effettiva qualità del pezzo ed il suo valore economico potenziale che deriva dal suo riutilizzo. Inoltre, l'azienda deve tenere conto di tutte le problematiche che sono connesse al corretto smaltimento dei componenti non recuperabili. Una DBOM è, secondo gli autori, uno strumento in grado di rispondere a queste esigenze, essendo di solito strutturata come una versione aggregata delle comuni distinte base utilizzate nei processi di manufacturing, senza tuttavia avere il necessario livello di dettaglio delle parti che invece è presente nelle comuni BOM. Questo non solo riduce l'elaborazione delle informazioni richieste, ma rende anche più facile la generazione del piano di smontaggio. Per facilitare lo sviluppo del DBOM gli autori forniscono le seguenti linee guida per determinare se un gruppo di parti accoppiate dovrebbe essere elencato come una parte nel DBOM:

1. Quando l'omogeneità dei materiali è alta
2. Quando lo smaltimento di un semilavorato deve avvenire secondo determinati criteri al fine di soddisfare determinate condizioni di pericolo o ambientali
3. Quando i giunti di fissaggio sono molto forti, come ad esempio nei giunti saldati, ed implicano uno sforzo di smontaggio tale da non essere redditizio
4. Quando il riciclo ovvero smaltimento del componente richiede un elevato sforzo

5. Quando è noto che una serie di parti accoppiate hanno uno scarso valore residuo e pertanto saranno smaltiti in discarica ovvero inceneriti

A questo punto, per la formalizzazione del costo di un MRP in cui viene incluso il recupero di materiale derivante dai resi si utilizzerà la seguente nomenclatura per la definizione dei componenti che andranno ad incidere su tale costo.

$D(t)$ = Fabbisogno lordo.
 $e(t)$ = Arrivi schedulati.
 $h(t)$ = Projected on Hand.
 $h(0)$ = On Hand al tempo 0
 $n(t)$ = Fabbisogno netto
 $x(t)$ = ricezione degli ordini pianificati
 $y(t)$ = rilascio degli ordini pianificati
 $z(t)$ = Disponibilità di magazzino
 $w(t)$ = Work in Progress
 $r(t)$ = Recupero di materiali al tempo t

Nel nostro modello $D(t), e(t), h(0)$ sono valori fissi. Per quanto attiene alla determinazione del Project On Hand al tempo t $h(t)$, bisogna necessariamente tenere conto del fatto che esiste del materiale recuperato. Pertanto $h(t)$ sarà determinato attraverso la seguente formula:

$$h(t) = \text{Max}[(h(t - 1) + e(t) + r(t) - d(t)); 0]$$

Il fabbisogno che non potrà essere soddisfatto attraverso il Project On Hand ovvero attraverso gli arrivi schedulati, identifica il c.d. Fabbisogno netto, la cui formulazione matematica, usata nel modello sarà la seguente:

$$n(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ nel caso di } h(t) > 0 \\ d(t) - h(t - 1) - e(t) \text{ nel caso di } h(t) = 0 \end{array} \right\}$$

L'Inventory on Hand sarà dato dalla somma algebrica della giacenza determinata al tempo t-1, più i planned order receipts, gli arrivi schedulati ed i materiali recuperati, meno la domanda. In simboli:

$$z(t) = z(t - 1) + x(t) + e(t) + r(t) - d(t)$$

In base al metodo di lottizzazione scelto ed al fabbisogno netto, si andrà a determinare la ricezione degli ordini pianificati. In pratica se le giacenze di inventario al tempo t-1, più gli arrivi schedulati al tempo t, meno il fabbisogno lordo al tempo t sono negative, allora bisognerà pianificare il lancio di un ordine che deve arrivare al tempo t. Il quantitativo ordinato corrisponde al lotto a meno che la dimensione di quest'ultimo non sia in grado di soddisfare la domanda. Se la dimensione del lotto non è in grado di soddisfare il fabbisogno netto, allora l'ordine sarà dato da quest'ultimo al netto dell'on hand. In simboli:

$$x(t) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ nel caso di } z(t - 1) + e(t) + r(t) - d(t) > 0 \\ \text{Max}(Q, n(t) - z(t - 1)) \text{ nel caso di } z(t - 1) + e(t) + r(t) - d(t) < 0 \end{array} \right\}$$

Ovviamente nel pianificare quando ricevere un ordine non si può non tenere conto del fatto che quest'ultimo deve essere inviato al fornitore L periodi prima. Questo problema viene gestito all'interno della pianificazione del rilascio degli ordini, la cui formulazione matematica è la seguente:

$$y(t) = \begin{cases} 0 & \text{nel caso di } t + L > T \\ x(t + L) & \text{nel caso di } t + L \leq T \end{cases}$$

Infine abbiamo il W.I.P, meglio definito come Work in Process, determinato quale numero di unità rilasciate in produzione, ma non ancora completate. In simboli:

$$w(t) = w(t - 1) + y(t) - x(t)$$

A questo punto, per la formulazione del costo del MRP, andiamo ad identificare:

C_s = costo di setup, inteso quale costo sostenuto dall'azienda per il lancio in produzione di un prodotto, ovvero per il disassemblaggio di componenti, ovvero per l'invio di un ordine a fornitore

$\overline{N_{W\&OH}}$ = numero medio di unità in produzione ovvero in giacenza che si registra lungo l'orizzonte temporale

N_s = Numero di Setup

C_h = Holding Cost, inteso quale costo di mantenimento a giacenza di una unità nel periodo.

$i\%$ = interest rate

C_m = Costo unitario della Materia Prima

L_m = Lotto di componenti acquistati lungo l'orizzonte temporale

C_{dis} = Costo di disassemblaggio dei componenti

C_{sma} = Costo di smaltimento dei componenti

Allora il costo del MRP sarà dato dalla seguente relazione

$$C_{MRP} = \sum_{i=1}^n (L_m \times C_m) + C_{sma} + C_{dis} + (C_s \times N_s) + (C_h \times \overline{N_{W\&OH}})$$

Con $C_h = i\% \times C_m$

Tra i vari metodi di lot sizing presenti in letteratura, si è deciso di utilizzare il metodo di Wagner Within, inteso quale applicazione di programmazione dinamica che trova una soluzione ottima di minimo costo (Guiotto, 2011)¹¹. L'algoritmo di Wagner Within si fonda sulle seguenti ipotesi:

1. La domanda è nota e si ha all'inizio del periodo
2. L'orizzonte temporale è finito ed ogni periodo è di uguale lunghezza
3. L'ampiezza del lotto deve includere uno o più periodi di domanda
4. La quantità richiesta per ogni periodo deve essere disponibili all'inizio dello stesso e non sono consentite situazioni di stockout
5. Il costo d'acquisto unitario del prodotto è costante
6. I prodotti sono trattati indipendentemente dagli altri
7. Il costo di mantenimento a scorta è applicato solo per i materiali tenuti a giacenza
8. Il costo di ordinazione, il costo di mantenimento ed il lead time sono noti e costanti

¹¹ http://tesi.cab.unipd.it/27094/1/La_gestione_delle_scorte_-_modelli_discreti.pdf

9. Gli ordini emessi all'inizio di un periodo sono supposti disponibili in tempo per coprire i fabbisogni di quel periodo
10. La giacenza iniziale è uguale a zero

Sulla scorta delle ipotesi sopra descritte, l'algoritmo in esame statuisce che a soluzione ottima del problema deve avere le seguenti caratteristiche:

1. Il ricevimento dell'ordine ha luogo nel momento in cui la giacenza dell'inventario è pari a zero;
2. Esiste un limite superiore al numero di periodo di anticipo dell'ordine relativo ad una quantità d_j rispetto al periodo j in cui tale quantità viene richiesta

Per l'implementazione dell'algoritmo si procede, innanzitutto, alla determinazione della matrice del costo variabile in cui vengono valutate tutte le possibili alternative di ordine basata su di un orizzonte temporale di N periodi. Il costo variabile include sia il costo di mantenimento a scorta che il costo d'acquisto. Si definisce Z_{xy} il costo variabile relativo ai periodi x e y , con ordine emesso nel periodo x e capace di soddisfare le esigenze relativi ai periodi x ed y

$$Z_{xy} = C_L + mp \sum_{i=x}^y (Q_{xy} - Q_{xi})$$

dove:

$C_L =$ costo di ordinazione

$m =$ costo di mantenimento a scorta

$p =$ Prezzo unitario d'acquisto

$$Q_{xy} = \sum_{j=x}^y d_j$$

$d_j =$ domanda nel periodo j

Successivamente sia f_y il costo minimo possibile nel periodo che va da 1 a y , dato un livello delle giacenze alla fine del periodo y pari a zero. L'algoritmo comincia con $f_0 = 0$ per poi calcolare f_1, f_2, \dots, f_N . In ordine crescente attraverso la seguente formula:

$$f_y = \text{Min}(Z_{xy} + f_{x-1})$$

Il valore f_N sarà il costo totale dello schema ottimale. Il terzo passo consente di realizzare la programmazione degli ordini ottimale sulla scorta della migliore soluzione ottenuta.

$$\begin{aligned} f_N &= Z_{wN} + f_{w-1} \\ f_{w-1} &= Z_{vw-1} + f_{v-1} \\ f_{u-1} &= Z_{u-1} + f_0 \end{aligned}$$

Conclusioni

In questo capitolo si è seguita la metodologia proposta in letteratura per la formalizzazione di un sistema di simulazioni ad eventi discreti. In primo luogo ci si è soffermati sulla descrizione del problema, dove alla normale attuazione di un processo MRP sono stati sottolineate le problematiche sottolineate in letteratura quando in azienda si presenta il problema di gestione dei resi. In particolare si richiama la classificazione proposta Gungor & Gupta (1998) circa le problematiche connesse al processo di disassemblaggio dei prodotti, che gli autori suddividono in tre diversi gruppi:

- 1) Incertezza nelle condizioni delle parti componenti e dei fastener dei prodotti resi a causa di difetti o danneggiamenti;
- 2) Incertezza nelle condizioni delle parti componenti dovuta a processi di upgrading ovvero downgrading del prodotto da parte dei consumatori;
- 3) Incertezza nelle operazioni di disassemblaggio. Queste includono il danneggiamento dei componenti durante le operazioni di smontaggio

Questo studio è stato poi traslato nel modello sviluppato in Arena, che viene descritto nelle sue componenti principali e nella successiva formulazione del costo sostenuto da una azienda che intende associare al normale processo MRP la gestione dei resi. Infine, nella scelta del metodo di lotsizing, si è proposto l'utilizzo dell'algoritmo di Wagner Within, inteso quale applicazione di programmazione dinamica che trova una soluzione ottima di minimo costo.

Capitolo 4

4.1 Descrizione Piano Sperimentale

Per analizzare la convenienza di un sistema MRPR, si è deciso di sottoporre ad analisi il caso in cui la BOM del prodotto fosse strutturata secondo più livelli ed il caso in cui la distinta base del prodotto sia monolivello (flat). A questo punto, all'interno del software di simulazione Arena, sono stati ipotizzati diversi scenari, facendo variare le seguenti variabili: Recovery Plan, NC Plan; Quality Recovery; Disassembly Time Mean; Disassembly Time Deviation. Non sono stati variati per scelta il livello di Qualità delle NC ed il Tempo di ispezione, in quanto, nelle evidenze aziendali, si è dimostrato che la qualità del prodotto non conforme è sempre elevata in quanto si tratta di prodotti mai utilizzati e disassemblati in breve tempo mentre, per quanto riguarda il tempo di ispezione, le evidenze aziendali dimostrano che tale lasso temporale può essere ben descritto attraverso una distribuzione uniforme che oscilla tra 4 ed 8 minuti. Volendo schematizzare, si sono ipotizzate le seguenti ipotesi:

Rec Plan	NC Plan	Quality Rec	Dis Time Mean	Dis Time Dev
H=8,6%	H=5%	H=80%	H=5,0	H=50% M
L=2,9%	L=2%	L=60%	L=2,5	L=10% M

Tabella 6: Piano Sperimentale: Ipotesi

Come si evince dalla tabella, si è supposto che il numero dei prodotti resi variasse tra il 2,9% e l'8,6% della produzione mentre il numero dei prodotti dichiarati non conformi oscillasse tra il 2% ed il 5%. La qualità dei prodotti resi è stata supposta essere pari al 60% ovvero al 80%; questo perché si è tenuto conto del fatto che i prodotti possano essere più o meno obsoleti, per cui la vita utile residua dell'item sarà più bassa quanto più è vecchio il prodotto. Infine si è tenuto conto del tempo di disassemblaggio che, come già descritto nel capitolo precedente, si muove secondo una variabile casuale normale; la nostra ipotesi è che il tempo di disassemblaggio possa muoversi tra un massimo di 2,5 minuti e 5 minuti, facendo leva sulle osservazioni della realtà aziendale. Lo scarto quadratico medio oscillerà invece tra il 10% della media ed il 50% della media.

A questo punto, combinando i diversi fattori, si sono ottenute 2^5 combinazioni, ognuna della quali è stata replicata per 5 volte; in totale si sono ottenute 160 osservazioni. Il piano sperimentale ottenuto è di seguito riportato:

REC PLAN	NC PLAN	QUALITY REC	QUALITY NC	ISP TIME	DIS TIME MEAN	DIS TIME DEV
L	L	H	H	L	L	L
L	L	H	H	L	H	L
L	L	H	H	L	L	H
L	L	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	L	L
H	L	H	H	L	H	L
H	L	H	H	L	L	H
H	L	H	H	L	H	H
L	L	L	H	L	L	L
L	L	L	H	L	H	L
L	L	L	H	L	L	H
L	L	L	H	L	H	H
H	L	L	H	L	L	L
H	L	L	H	L	H	L
H	L	L	H	L	L	H
H	L	L	H	L	H	H
L	H	H	H	L	L	L
L	H	H	H	L	H	L
L	H	H	H	L	L	H
L	H	H	H	L	H	H
H	H	H	H	L	L	L
H	H	H	H	L	H	L
H	H	H	H	L	L	H
H	H	H	H	L	H	H
L	H	L	H	L	L	L
L	H	L	H	L	H	L
L	H	L	H	L	L	H
L	H	L	H	L	H	H
H	H	L	H	L	L	L
H	H	L	H	L	H	L
H	H	L	H	L	L	H
H	H	L	H	L	H	H

Tabella 7: Descrizione Piano Sperimentale

I dati ottenuti attraverso il software Arena, sono stati poi implementati all'interno del modello MRP, in cui sono stati ipotizzati i seguenti parametri:

Parametri MRPR BOM Strutturata							
Part No.	1	2	3	4	5	6	7
Lead Time	2	3	2	3	2	3	4
Cost Added	€ 0,94	€ -	€ 1,77	€ 2,12	€ -	€ -	€ -
Unit Cost	€ 97,92	€ 5,32	€ 86,35	€ 37,56	€ 9,46	€ 5,79	€ 9,88
Setup Cost	€ 22,00	€ 11,00	€ 16,50	€ 14,30	€ 17,60	€ 18,70	€ 19,40
Interest rate	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Tabella 8: Tabella Riepilogativa MRPR con BOM Strutturata

Parametri MRP BOM Strutturata							
Part No.	1	2	3	4	5	6	7
Lead Time	2	3	2	3	2	3	4
Cost Added	€ 0,94	€ -	€ 1,77	€ 2,12	€ -	€ -	€ -
Unit Cost	€ 97,92	€ 5,32	€ 86,35	€ 37,56	€ 9,46	€ 5,79	€ 9,88
Setup Cost	€ 20,00	€ 10,00	€ 15,00	€ 13,00	€ 16,00	€ 17,00	€ 18,00
Interest rate	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Tabella 9: Tabella Riepilogativa MRP con BOM Strutturata

Parametri MRPR BOM Flat							
Part No.	1	2	3	4	5	6	7
Lead Time	1	2	1	2	2	1	2
Cost Added	0.8	0	0	0	0	0	0
Unit Cost	41.8	4	5	6	8	3	4
Setup Cost	11	6.6	8.8	5.5	7.7	4.4	3.3
Interest rate	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Tabella 10: Tabella Riepilogativa MRPR con BOM Flat

Parametri MRP BOM Flat							
Part No.	1	2	3	4	5	6	7
Lead Time	1	2	1	2	2	1	2
Cost Added	0.8	0	0	0	0	0	0
Unit Cost	41.8	4	5	6	8	3	4
Setup Cost	10	6	8	5	7	4	3
Interest rate	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%

Tabella 11: Tabella Riepilogativa MRP con BOM Flat

Dove “Cost Added” identifica il costo che viene aggiunto per l’impiego della manodopera e delle attrezzature nelle attività di assemblaggio, disassemblaggio. Si noti inoltre che il setup cost calcolato per lo MRPR è stato aumentato del 10% in modo da tener conto delle ulteriori attività di setup che vengono richieste per le attività di disassemblaggio.

4.2.: Analisi Statistica

Da una prima analisi dei dati, il riscontro più interessante che si ha è che quando si ragiona con una distinta monolivello (flat) conviene avere un piano con pochi materiali da recuperare, mentre, quando la BOM è strutturato conviene avere un piano con molti prodotti da recuperare. Questo dato viene dimostrato attraverso il seguente grafico:

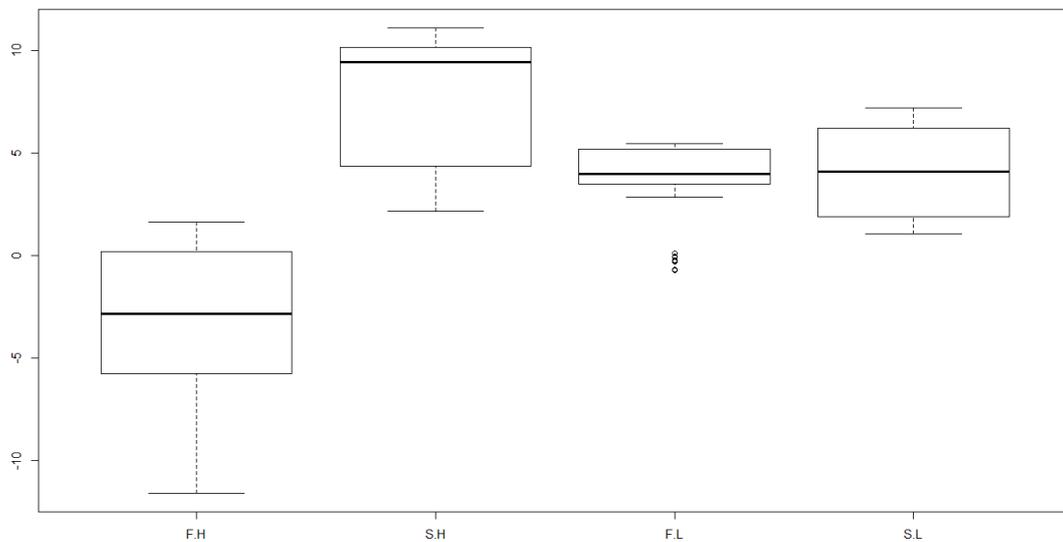


Figura 19: Box Plot di confronto DB vs Recovery Plan: effetti sul risparmio

Dopo questa prima valutazione, si è deciso di effettuare l'analisi della varianza (Anova = Analysis of variance). Si tratta di una procedura statistica che consente di individuare se vi siano delle differenze tra più gruppi di dati, generalizzando il test t di Student il quale, per natura 'matematica', può esplorare solo ciò che accade tra due gruppi. Il primo passo che è stato fatto è stato quello di verificare il rispetto delle ipotesi seguenti:

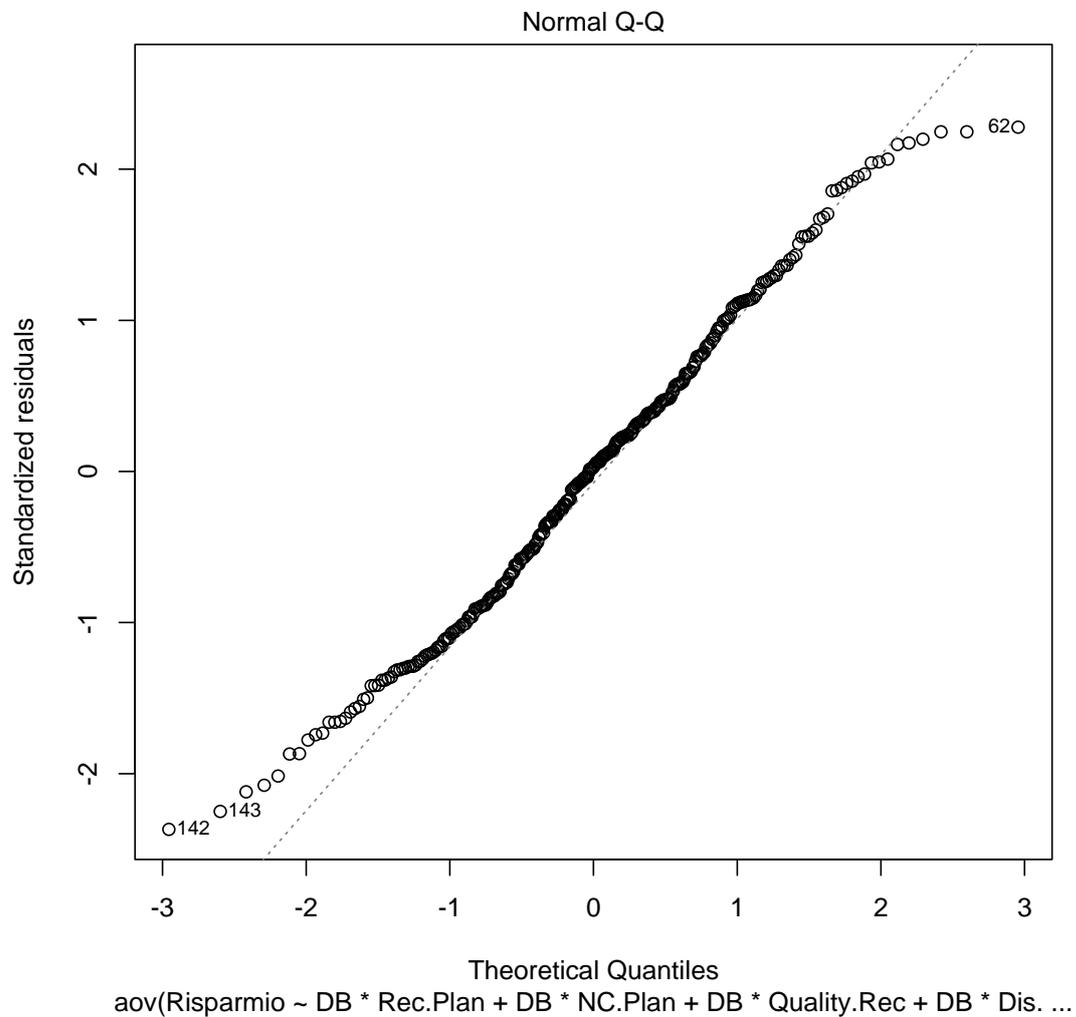
1. i dati siano distribuiti in maniera gaussiana in tutti e tre i gruppi: l'ipotesi di normalità.
2. la loro dispersione, in termini di deviazione standard, sia la medesima (cio'è $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$): questa è l'ipotesi di omoschedasticità.

Per quanto attiene al punto uno viene effettuato il test di Shapiro Wilk, considerato in letteratura uno dei più potenti test per la verifica della normalità. Tale verifica avviene effettuata attraverso il confronto tra uno stimatore non parametrico basato sulla combinazione lineare ottimale della statistica d'ordine di una variabile aleatoria normale al numeratore e la varianza campionaria al denominatore. Come si evince dalla tabella sottostante, il test assumendo un valore quasi pari all'unità, permette di rifiutare l'ipotesi nulla, secondo cui i valori campionari siano distribuiti secondo una variabile casuale normale

Shapiro-Wilk normality test
data: residuals(anova)
W = 0.9897, p-value = 0.02357

Tabella 12: Test di ShapiroWilk

La bontà del risultato ottenuto dal test di Shapiro Wilk, viene dimostrata attraverso un grafico Q-Q, utilizzato in letteratura anche come strumento di Diagnostica dell'Anova. In pratica tale test ci dice se, complessivamente, esista normalità tra i residui e, dall'esame del grafico sottostante, possiamo affermare che il requisito sia confermato.

**Figura 20: Q-Q Plot Residui**

La determinazione dell'omoschedasticità viene effettuata graficamente attraverso i grafici, Residual vs. Fitted e Scale Location. Quello che si vuole è che la riga rossa sia allineata allo 0 (media nulla dei residui) e che sia pressoché orizzontale (assenza di drift dei dati). Inoltre si vuole inoltre che i 'cluster' siano approssimativamente della medesima ampiezza. Dall'analisi di tali grafici si mostra come le tre condizioni richieste sono effettivamente soddisfatte e pertanto si può dire che la seconda condizione per il test Anova è stata soddisfatta.

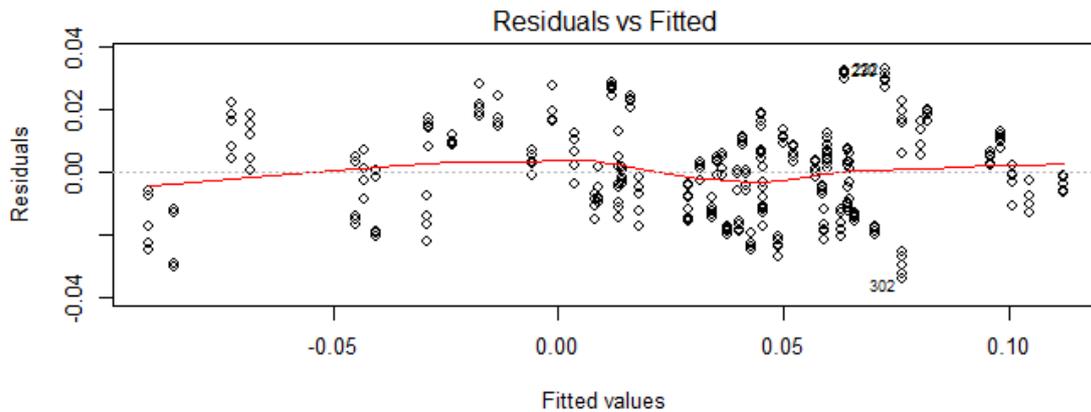


Figura 21: Grafico Residuals vs Fitted

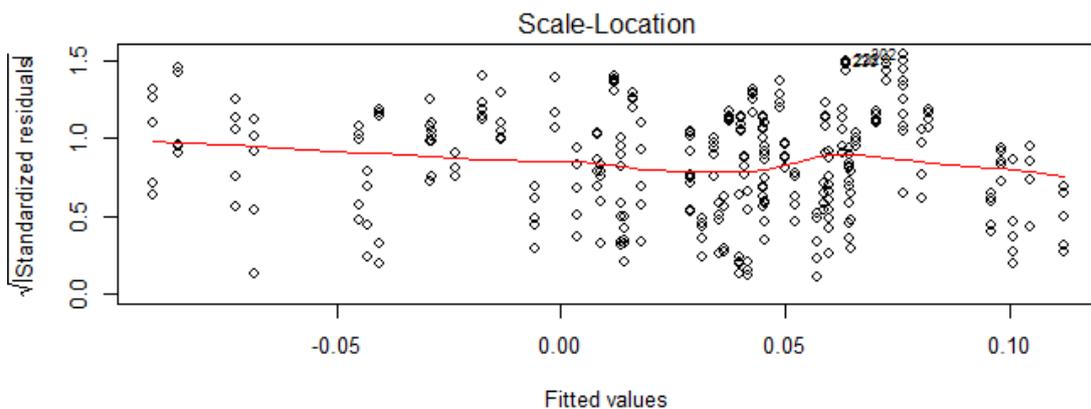


Figura 22: Grafico Scale-Location

Dopo questa analisi preliminare, si passa ad esaminare la tabella Anova, dove i valori riportati, per ciascuna variabile analizzata e per ciascuna interazione prevista, sono: Df, che identifica i gradi di libertà, Sum Sq la devianza entro gruppi; Mean Sq, la varianza entro i gruppi, F Value il Test F e Pr (>F), il valore di P. Per l'interpretazione corretta dei dati si sottolinea che l'ipotesi nulla preveda che le varianze siano uguali tra loro, e che quindi la variabile indipendente non produca effetti sulla variabile dipendente. La probabilità che l'ipotesi nulla sia accettata è indicata dal valore Pr (>F).

ANOVA	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
DB	1	2472.3	2472.3	1112.666	< 2e-16	***
Rec. Plan	1	237.1	237.1	106.700	< 2e-16	***
NC. Plan	1	3.2	3.2	1.431	0.232523	
Quality. Rec	1	12.3	12.3	5.557	0.019051	*
Dis. Time. Mean	1	430.7	430.7	193.851	< 2e-16	***
Dis. Time. Dev	1	17.7	17.7	7.966	0.005087	**
DB:Rec. Plan	1	2225.9	2225.9	1001.789	< 2e-16	***
DB:NC. Plan	1	244.3	244.3	109.948	< 2e-16	***
DB:Quality. Rec	1	385.0	385.0	173.271	< 2e-16	***
DB:Dis. Time. Mean	1	285.0	285.0	128.270	< 2e-16	***
DB:Dis. Time. Dev	1	17.7	17.7	7.953	0.005122	**
Rec. Plan:NC. Plan	1	213.1	213.1	95.909	< 2e-16	***
Rec. Plan:Quality. Rec	1	69.7	69.7	31.383	4.82e-08	***
Rec. Plan:Dis. Time. Mean	1	120.5	120.5	54.216	1.77e-12	***
Rec. Plan:Dis. Time. Dev	1	15.3	15.3	6.880	0.009167	**
NC. Plan:Quality. Rec	1	24.7	24.7	11.110	0.000967	***
NC. Plan:Dis. Time. Mean	1	13.6	13.6	6.126	0.013874	*
NC. Plan:Dis. Time. Dev	1	19.3	19.3	8.671	0.003488	**
Quality. Rec:Dis. Time. Mean	1	9.6	9.6	4.304	0.038880	*
Quality. Rec:Dis. Time. Dev	1	18.5	18.5	8.330	0.004185	**
Dis. Time. Mean:Dis. Time. Dev	1	0.0	0.0	0.001	0.977281	
Residuals	298	662.1	2.2			

Tabella 13: Tabella Riepilogativa ANOVA

Dall'analisi della tabella risulta evidente quanto sia importante il ruolo della Distinta Base nel processo di disassemblaggio. In particolare si rileva quanto l'interazione tra la BOM ed il Flusso dei Resi, tra la BOM ed il Flusso delle Non Conformità, e tra la BOM ed il Tempo di Disassemblaggio sia particolarmente significativo ($p < 2e-16$). Quindi è possibile affermare che quanto statuito nel Box Plot seguente, che descrive come il rapporto esistente tra la Distinta Base ed il Disassembly Time Medio influenzi il risparmio in termini di costo di approvvigionamento sia tutt'altro che casuale. In particolare, dall'esame del grafico è interessante notare che quando ci troviamo in presenza di una distinta base strutturata il tempo medio di disassemblaggio non influisce sul risparmio. Significativa, invece, è l'influenza nel caso di DB flat.

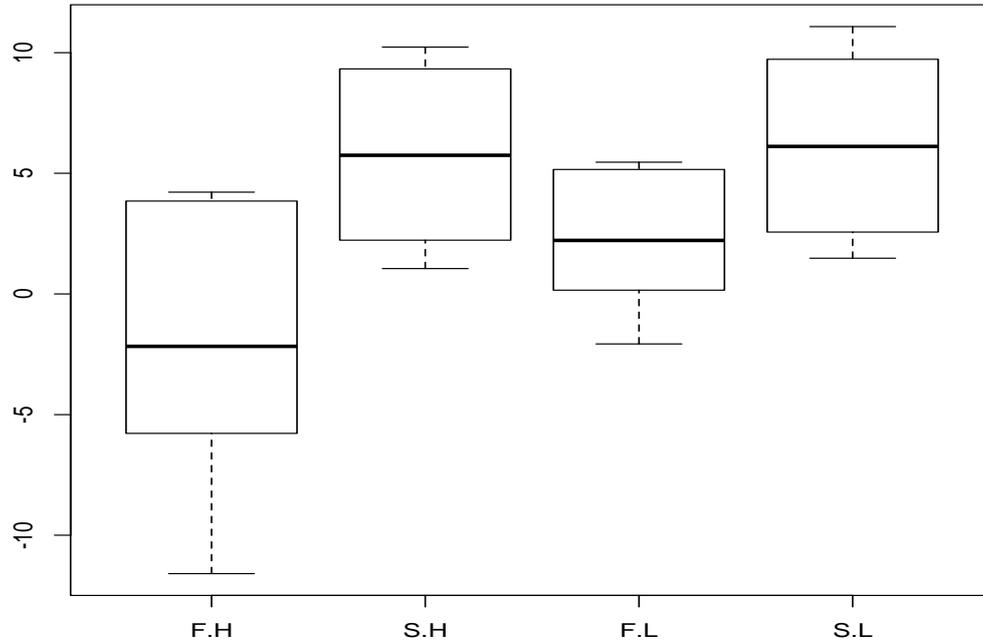


Figura 23: Box Plot di confronto DB vs Dis.Time.Mean: effetti sul risparmio

Inoltre continuando a scorrere la tabella, possiamo ottenere un altro dato importante: l'interazione tra Disassembly Time Medio ed il piano dei recuperi risulta essere particolarmente significativo nella determinazione del risparmio in termini di costo all'interno di un piano MRP ($p=1.77e-12$), mentre l'influenza reciproca che si ha tra il piano di recupero dei prodotti non conformi ed il Disassembly Time Medio risulta essere sì significativo ma meno importante.

L'ultimo grafico presentato è quello c.d. Constant Leverage: Residuals vs factor levels. In questo grafico vengono messi in evidenza eventuali punti influenti, o outlier, del modello. Se ve ne fossero, la curva rossa non sarebbe orizzontale, e vi sarebbe qualche punto molto distante dagli altri esternamente ad una curva di tipo iperbolico, che qui non vediamo.

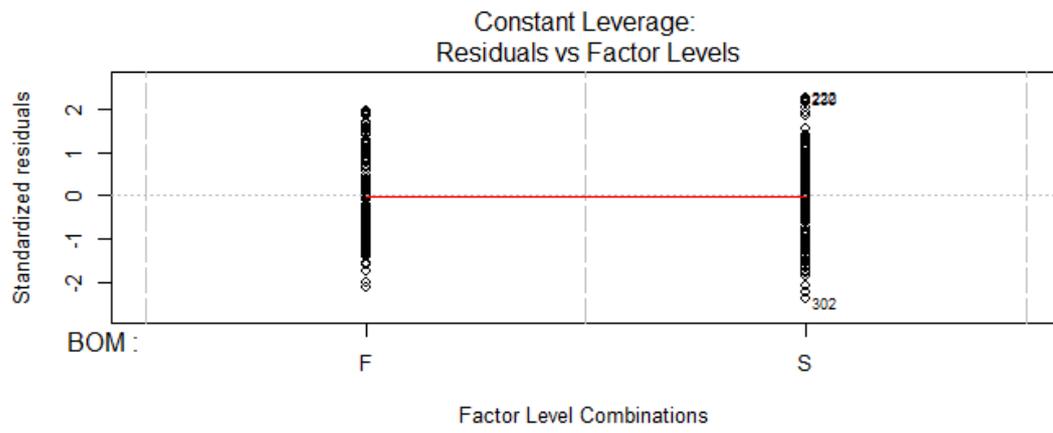


Figura 24: Costant Leverage: Residuals vs Factor Levels

4.3 Conclusioni

L'implementazione di un sistema di recovery all'interno di sistema MRP produce, come si è potuto dimostrare una serie di effetti peculiari a seconda della tipologia di prodotto considerato. Infatti una distinta flat, che poteva a prima vista essere considerata più conveniente da gestire all'interno di un processo di recovery proprio per il suo non essere complessa, ha dimostrato invece che, per ottenere un risparmio in termini di costo di approvvigionamento, conviene solo quando vi siano pochi materiali da recuperare. Dall'altro canto, quando la Distinta Base si connota da più item collocati su più livelli, allora la convenienza si raggiunge con un piano in i resi sia in numero significativo.

Il percorso di analisi fin qui condotto, ha messo solo a fuoco il problema, nel senso che, nella costruzione del processo MRPR si è, ad oggi, ragionato solo a livello monoprodotta ed il simulatore è stato costruito osservando le attività manifatturiere più rappresentative. L'obiettivo che ci si pone nel prosieguo è quello di implementare un sistema in cui il piano dei resi e delle non conformità si connota di più prodotti, aventi o meno componenti in comune, al fine di verificare se quanto descritto nell'analisi statistica qui presentata venga o meno confermato oppure se esistono degli elementi ad oggi latenti, che comunque incidano sul risultato.

BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez-Gil MJ, Berrone P, Husillos FJ, Lado N. Reverse logistics, stakeholders' influence, organizational slack, and managers' posture. *J Bus Res.* 2007;60(5):463-473. doi:10.1016/j.jbusres.2006.12.004.
2. Fawcett SE, Magnan GM, Mccarter MW. Benefits , barriers , and bridges to effective supply chain management. *SUPPLY Chain MANGEMENT AN Int J.* 2008;13(1):35-48. doi:10.1108/13598540810850300.
3. Hoek RI Van. From reversed logistics to green supply chains From reversed logistics to green supply chains. *SUPPLY Chain MANGEMENT AN Int J.* 1999;4(3):129-135.
4. Konstantaras I, Skouri K. Lot sizing for a single product recovery system with variable setup numbers. *Eur J Oper Res.* 2010;203(2):326-335. doi:10.1016/j.ejor.2009.07.018.
5. Prahinski C, Kocabasoglu C. Empirical research opportunities in reverse supply chains. *Omega.* 2006;34(6):519-532. doi:10.1016/j.omega.2005.01.003.
6. El Saadany AM a., Jaber MY. A production/remanufacture model with returns' subassemblies managed differently. *Int J Prod Econ.* 2011;133(1):119-126. doi:10.1016/j.ijpe.2010.08.014.
7. Gungor A, Gupta SM. Disassembly Sequence Planning for Products with Defective Parts in Product Recovery. *Comput Ind Eng.* 1998;352(98):161-164.
8. Jayaraman V. Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: an analytical approach. *Int J Prod Res.* 2006;44(5):981-998. doi:10.1080/00207540500250507.
9. Kara S, Rugrungruang F, Kaebernick H. Simulation modelling of reverse logistics networks. *Int J Prod Econ.* 2007;106(1):61-69. doi:10.1016/j.ijpe.2006.04.009.
10. Taleb KN, Gupta SM. Disassembly of multiple product structures. *Comput Ind Eng.* 1997;32(4):949-961. doi:10.1016/S0360-8352(97)00023-5.
11. Teng J-T, Ouyang L-Y, Chang C-T. Deterministic economic production quantity models with time-varying demand and cost. *Appl Math Model.* 2005;29(10):987-1003. doi:10.1016/j.apm.2005.02.002.
12. Fleischmann M, Kuik R, Dekker R. Controlling inventories with stochastic item returns: A basic model. *Eur J Oper Res.* 2002;138(1):63-75. doi:10.1016/S0377-2217(01)00100-X.

13. Konstantaras I, Papachristos S. Lot-sizing for a single-product recovery system with backordering. *Int J Prod Res.* 2006;44(10):2031-2045. doi:10.1080/00207540500380924.
14. Autry CW. Formalization of reverse logistics programs: A strategy for managing liberalized returns. *Ind Mark Manag.* 2005;34(7):749-757. doi:10.1016/j.indmarman.2004.12.005.
15. Barros a. I, Dekker R, Scholten V. A two-level network for recycling sand: A case study. *Eur J Oper Res.* 1998;110(2):199-214. doi:10.1016/S0377-2217(98)00093-9.
16. Brito MP De, Dekker R. Reverse Logistics – a framework. 2002:1-19.
17. Dalrymple I, Wright N, Kellner R, Bains N, Geraghty K, Goosey M. An integrated approach to electronic waste (WEEE) recycling. *CIRCUIT WORLD.* 2007;33(2):52-58. doi:10.1108/03056120710750256.
18. Daugherty PJ, Autry CW, Ellinger AE. REVERSE LOGISTICS : THE RELATIONSHIP BETWEEN RESOURCE COMMITMENT AND PROGRAM PERFORMANCE. *J Bus Logist.* 2001;22(1):107-123.
19. David C, Masanet E, Meisner C, Beckman SL. Product recovery with some byte : an overview of management challenges and environmental consequences in reverse manufacturing for the computer industry. *J Clean Prod.* 2003;11:445-458. doi:10.1016/S0959-6526(02)00066-5.
20. Fleischmann M, Beullens P, Bloemhof-ruwaard JM, Wassenhove LUKNVAN. THE IMPACT OF PRODUCT RECOVERY ON LOGISTICS NETWORK DESIGN *. *Prod Oper Manag.* 2001;10(2):156-173.
21. French ML, Discenza R. Returns in process industries : a managerial perspective. *Manag Res NEWS.* 2006;29(12):769-781. doi:10.1108/01409170610717808.
22. Genchev SE, Richey RG, Gabler CB. Evaluating reverse logistics programs : a suggested process formalization. *Int J Logist Manag.* 2011;22(2):242-263. doi:10.1108/09574091111156569.
23. Geyer R, Wassenhove LN Van. Product Take-back and Component Reuse. 2000.
24. Gonzaleztorre P. Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms. *Int J Prod Econ.* 2004;88(1):95-104. doi:10.1016/S0925-5273(03)00181-6.
25. Guide VDR. The Potential for Cannibalization of New Products Sales by Remanufactured Products *. *Decis Sci.* 2010;41(3):547-572.
26. Guide VDR, Harrison TP, Van Wassenhove LN. The Challenge of Closed-Loop Supply Chains. *Interfaces (Providence).* 2003;33(6):3-6. doi:10.1287/inte.33.6.3.25182.

27. Gungor A, Gupta SM. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Comput Ind Eng.* 1999;36(4):811-853. doi:10.1016/S0360-8352(99)00167-9.
28. Gupta SM, Aksoy HK. An analytical model for remanufacturing systems. *Proc 1999 Annu Meet Northeast Decis Sci Inst.* 1999:83-85.
29. Jr VDRG. Production planning and control for remanufacturing : industry practice and research needs. 2000.
30. Jr VDRG, Gunes ED. The optimal disposition decision for product returns. 2008:6-14. doi:10.1007/s12063-007-0001-8.
31. Korugan, A. and Gupta SM. Substitution policies for a hybrid system. *Proc SPIE Int Conf Environ Conscious Manuf.* 2000;(5-8):1-6.
32. Lambert S, Riopel D, Abdul-Kader W. A reverse logistics decisions conceptual framework. *Comput Ind Eng.* 2011;61(3):561-581. doi:10.1016/j.cie.2011.04.012.
33. Minner S. Strategic safety stocks in reverse logistics supply chains. *Int J Prod Econ.* 2001;71(1-3):417-428. doi:10.1016/S0925-5273(00)00138-9.
34. Talbot S, Lefebvre É, Lefebvre L. Closed-loop supply chain activities and derived benefits Closed-loop supply chain activities and derived benefits in manufacturing SMEs. *J Manuf Technol Manag.* 2007;18(6):627-658. doi:10.1108/17410380710763831.
35. Taleizadeh AA, Wee H-M, Jalali-Naini SG. Economic production quantity model with repair failure and limited capacity. *Appl Math Model.* 2013;37(5):2765-2774. doi:10.1016/j.apm.2012.06.006.
36. Teunter RH. Economic ordering quantities for recoverable item inventory systems. *Nav Res Logist.* 2001;48(6):484-495. doi:10.1002/nav.1030.
37. Teunter RH, Bayindir ZP, Den Heuvel W Van. Dynamic lot sizing with product returns and remanufacturing. *Int J Prod Res.* 2006;44(20):4377-4400. doi:10.1080/00207540600693564.
38. Veerakamolmal, P. and Gupta SM. Optimizing the supply chain in reverse logistics. *Proc SPIE Int Conf Environ Conscious Manuf.* 2000;(5-8):157-166.
39. Wells P, Seitz M. Business models and closed-loop supply chains : a typology. *SUPPLY Chain MANGEMENT AN Int J.* 2005;10(4):249-251. doi:10.1108/13598540510612712.
40. El Saadany AM a., Jaber MY. A production/remanufacturing inventory model with price and quality dependant return rate. *Comput Ind Eng.* 2010;58(3):352-362. doi:10.1016/j.cie.2009.01.017.

41. Tibben-lemcke RS, Rogers DS. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *SUPPLY Chain MANGEMENT AN Int J*. 2002;7(5):271-282. doi:10.1108/13598540210447719.
42. Teunter R. Lot-sizing for inventory systems with product recovery. *Comput Ind Eng*. 2004;46(3):431-441. doi:10.1016/j.cie.2004.01.006.
43. Fleischmann M, Krikke HR, Dekker R, Flapper SDP. A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*. 2000;28(6):653-666. doi:10.1016/S0305-0483(00)00022-0.
44. Konstantaras I, Skouri K, Jaber MY. Lot sizing for a recoverable product with inspection and sorting. *Comput Ind Eng*. 2010;58(3):452-462. doi:10.1016/j.cie.2009.11.004.
45. Dobos I, Richter K. An extended production/recycling model with stationary demand and return rates. *Int J Prod Econ*. 2004;90(3):311-323. doi:10.1016/j.ijpe.2003.09.007.