

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in Ingegneria Industriale

XXVII CICLO

La simulazione ad eventi discreti per l'ottimizzazione dei processi industriali

COORDINATORE:

Prof. Ing. Agostino Gambarotta

TUTOR:

Prof. Ing. Roberto Montanari

DOTTORANDO:

Ing. Marta Rinaldi

Sommario

1	Introduzione	4
2	La simulazione ad eventi discreti per l'ottimizzazione dell'inventary management	7
2.1	Studio simulativo delle politiche di riordino per prodotti deperibili	8
2.1.1	Introduzione	8
2.1.2	Il caso studio	9
2.1.3	Il modello di simulazione sviluppato	10
2.1.4	I risultati ottenuti.....	16
2.1.5	Conclusioni	17
2.2	Un approccio simulativo per la scelta della migliore strategia di approvvigionamento	18
2.2.1	Introduzione	18
2.2.2	Gli scenari esaminati	19
2.2.3	L'implementazione del modello di simulazione in MS Excel™	20
2.2.4	I risultati.....	21
2.2.5	Conclusioni	24
3	Sviluppo di uno strumento software per la stima delle prestazioni di un sistema produttivo.....	25
3.1	Sviluppo di un simulatore per la valutazione delle prestazioni di una rete idrica in uno stabilimento lattiero-caseario	26
3.1.1	Introduzione	26
3.1.2	Il sistema attuale di distribuzione di acqua.....	27
3.1.3	Il modello di simulazione: descrizione generale	28
3.1.4	Risultati.....	29
3.1.5	Conclusioni	34
4	L'utilizzo di tool di simulazione per la valutazione delle performance di una supply chain	35
4.1	Analisi della propagazione della domanda in una rete tramite l'utilizzo di un modello probabilistico.....	36
4.1.1	Introduzione	36
4.1.2	La configurazione della rete logistica	37
4.1.3	L'approccio probabilistico	39
4.1.4	La validazione del modello tramite simulazione	42
4.1.5	Implicazioni pratiche	44
4.1.6	Conclusioni	45
4.2	L'impatto della flessibilità delle macchine sulle performance di una supply chain	46
4.2.1	Introduzione	46

4.2.2	Le logiche implementate nel modello di simulazione	47
4.2.3	Gli indicatori di performance misurati	51
4.2.4	Risultati.....	52
4.2.5	Conclusioni	54
4.3	Ottimizzazione multi obiettivo di una closed-loop supply chain	55
4.3.1	Introduzione	55
4.3.2	Il contesto reale.....	56
4.3.3	La struttura del modello.....	57
4.3.4	Gli indicatori di performance individuati	61
4.3.5	L'ottimizzazione multi-obiettivo.....	62
4.3.6	Conclusioni	64
5	Miglioramento di un sistema reale tramite BPR e simulazione	65
5.1	Il miglioramento dell'efficienza di una pubblica amministrazione attraverso strumenti di simulazione.....	66
5.1.1	Introduzione	66
5.1.2	L'approccio metodologico	67
5.1.3	Mappatura del processo e analisi del Sistema As-is.....	68
5.1.4	Sviluppo del modello di simulazione	69
5.1.5	Progettazione degli Scenari To-be.....	70
5.1.6	Conclusioni	72
6	Conclusioni	73
7	Bibliografia.....	75

1 Introduzione

La simulazione è una tecnica numerica per condurre esperimenti su un calcolatore digitale che implica certi tipi di modelli matematici e logici, descrittivi del comportamento di un sistema economico o industriale (o di componenti di esso) durante periodi di tempo reale.

La simulazione è sempre stata largamente utilizzata, come potente strumento per l'analisi di sistemi stocastici complessi in differenti campi quali: sanità (Mielczarek et al., 2012), marketing (Negahban et al., 2013), supply chain (Terzi et al., 2004) e in ambito militare (Naseer et al., 2009). Infatti, spesso risulta difficile utilizzare modelli matematici per la risoluzione di problemi articolati, a causa dell'impossibilità di risolvere equazioni complesse; la simulazione, invece, si avvale delle grandi possibilità di calcolo offerte dall'informatica e dai sistemi di elaborazione. In particolare, essa gioca un ruolo fondamentale nella valutazione delle performance di un sistema (Negahban and Smith, 2014).

In generale, la simulazione si basa sulla creazione di modelli; per modello si intende una specifica formulazione delle relazioni esistenti tra le variabili del sistema e dei processi all'interno dei quali le variabili cambiano il proprio valore nel tempo (Harrison et al., 2007). Le logiche del sistema possono quindi essere implementate attraverso l'utilizzo di relazioni matematiche, ad esempio equazioni, di relazioni logiche (se X... allora Y) o dalla combinazione delle due. Secondo Kreps, un esperto economista, i vantaggi apportati da un buon modello sono (Kreps, 1990): (1) chiarezza, ovvero un linguaggio chiaro e preciso per comunicare i risultati ottenuti, (2) facilità di comparazione, in quanto il modello fornisce delle categorie di risultati facilmente comparabili tra scenari differenti, (3) facilità di comprensione, in quanto le logiche del sistema sono schematizzate e immediate da intuire, (4) trasparenza, nel permetterci di capire le relazioni che comportano variazioni significative nel sistema. L'esperienza suggerisce che, nella progettazione di un modello di simulazione, è necessario seguire uno schema logico, che si può schematizzare nelle seguenti 7 fasi teoriche (Law et al., 2000):

1. Analisi del problema e scelta dell'obiettivo: la prima fase consiste nell'individuazione dell'obiettivo. La formulazione dell'obiettivo deve tenere conto di una serie di fattori essenziali tra cui la necessità di dare risposte in modo tempestivo o di mantenere i costi dello studio entro certi limiti.
2. Raccolta ed elaborazione di dati: un piano completo di raccolta dati non potrà essere preparato se non dopo che una raccolta preliminare di dati non avrà permesso di chiarire bene la natura e gli obiettivi dello studio. Spesso, alla raccolta dei dati dovrà essere associata una fase di elaborazione degli stessi.
3. Costruzione di un modello logico-matematico-statistico: il costruire un modello matematico significa individuare le componenti del sistema in esame e le relazioni funzionali che legano tali componenti.
4. Preparazione di un programma tramite software: è lo step più lungo e delicato. Può essere effettuato facendo uso di linguaggi specializzati, adatti al modello in esame, ovvero di software disponibili in commercio.
5. Controllo del modello e la validazione: una volta costruito il modello, è necessario testarlo con opportune sperimentazioni allo scopo di collaudarlo e, se necessario, migliorarlo. Questa verifica dovrebbe essere ripetuta varie volte, finché la rispondenza del modello nel riprodurre la realtà non sarà soddisfacente. Qualora vi sia una buona corrispondenza, si può considerare il modello validato. Infatti, è sufficiente raggiungere una buona approssimazione, tenendo presente che per alleggerire il modello si sono introdotte una serie di semplificazioni.

6. Progettazione e conduzione degli esperimenti di simulazione: una volta che il modello è stato validato, è opportuno effettuare un'accurata pianificazione degli esperimenti di simulazione. Lo scopo della realizzazione dei modelli di simulazione è di condurre esperimenti virtuali senza dover intaccare il sistema reale. In questo modo, si può osservare il comportamento del sistema in particolari condizioni estreme, oppure si può capire cosa accade applicando modifiche su alcuni parametri.

7. Analisi e presentazione dei risultati: effettuato l'esperimento di simulazione si passa all'analisi dei risultati. I risultati ottenuti devono poter essere facilmente esaminabili e comprensibili. È importante sottolineare come la simulazione fornisca indicazioni sul comportamento del sistema ma non risposte esatte.

Il concetto generale di simulazione e l'utilizzo di differenti software di simulazione sono stati discussi in diversi libri di testo (ad esempio, Kelton et al., 2010, 2011; Law, 2006; Banks et al., 2009, Ross, 2006). Inoltre, anche in letteratura è possibile individuare molteplici pubblicazioni relative a differenti aspetti legati alla simulazione come la modellazione, la verifica e la validazione di modelli di simulazione o l'analisi di esperimenti condotti tramite simulazione (ad esempio, Law, 2003, 2005; Robinson, 2006; Fischbein and Yellig, 2011; Baines et al., 2004).

I principali vantaggi dell'utilizzo di questa tecnica possono essere riassunti nei seguenti punti:

- riduzione dei costi: gli esperimenti svolti direttamente sul sistema reale possono essere molto onerosi. Uno studio di simulazione permette di ridurre i costi perché consente di valutare in anticipo le conseguenze economiche legate alle scelte di gestione ipotizzate, spesso legate a molti fattori non facilmente valutabili;
- maggior comprensione del fenomeno e ripetibilità: nella realtà è impossibile sperimentare il sistema più di una volta senza che vi siano variazioni nei parametri iniziali. Nella simulazione, invece, si può ripetere la stessa sequenza di eventi alle stesse condizioni iniziali ma a partire da input differenti: i risultati dello stesso problema sono direttamente confrontabili e permettono di scegliere quindi quella ottimale. Inoltre l'esperimento simulato, essendo ripetibile, concede più possibilità per raccogliere i dati a differenza del caso reale;
- riduzione dei tempi: eseguire un esperimento su un sistema reale può richiedere molto tempo mentre con la simulazione bastano pochi minuti per ottenere gli stessi risultati. Inoltre esiste la possibilità di espandere e comprimere il tempo simulato introducendo opportune semplificazioni.

D'altro canto, possono essere considerati limiti della simulazione le seguenti considerazioni: (1) i risultati possono dare solo un'indicazione di quello che sarà il comportamento del sistema; (2) lo sviluppo del modello potrebbe risultare molto oneroso anche a causa del personale altamente qualificato richiesto; analogamente, i tempi di calcolo per effettuare una simulazione significativa potrebbero dilatarsi molto; (3) l'output della simulazione deve essere interpretato per identificare la soluzione migliore e questo può comportare un'analisi di dati particolarmente complessa.

La simulazione ad eventi discreti è una delle tecniche più diffuse utilizzata per analizzare e capire le dinamiche di un sistema produttivo. In questo caso, il sistema è rappresentato come sequenza cronologica di "eventi". Con il termine evento si definisce ogni occorrenza istantanea che fa cambiare il valore di almeno una delle variabili di stato. In ambito gestionale, questo strumento è molto utile, in quanto permette di riprodurre un sistema e di sviluppare differenti configurazioni alternative prima che le stesse vengano implementate nella realtà. Infatti, recentemente sono stati utilizzati molti

modelli di simulazione per lo studio del comportamento della supply chain (Higuchi and Troutt, 2004; Chan and Chan, 2005; Hwarng et al., 2005; Bruzzone and Bocca, 2012). Inoltre, alcuni autori hanno dimostrato che la simulazione è un potente strumento per l'analisi di specifici problemi legati a gestione del magazzino, logistica e progettazione di una supply chain (Iannone et al., 2007; Longo and Mirabelli, 2008; Xudong et al., 2008; Bottani and Montanari, 2010; Bruzzone and Longo, 2010; Patil et al., 2011; Bottani et al., 2012). La ragione principale deriva dal fatto che l'utilizzo di modelli matematici risulta essere difficoltosa se il sistema è influenzato da numerosi fattori (Pirard et al., 2011).

Sulla base di quanto appena affermato, la presente tesi di dottorato cerca di contribuire alla letteratura presentando una serie di pubblicazioni scientifiche che ruotano attorno al tema della simulazione ad eventi discreti. In particolare ogni lavoro è caratterizzato dallo sviluppo di un modello di simulazione utilizzato per analizzare un sistema industriale ed ottimizzare le prestazioni dello stesso. In generale, sono state individuate quattro macro-aree all'interno delle quali è stato sviluppato un tema specifico: (1) gestione delle scorte; (2) analisi delle performance di un sistema produttivo; (3) supply chain management e (4) reingegnerizzazione di processi industriali.

2 La simulazione ad eventi discreti per l'ottimizzazione dell'inVENTORY management

Lo scopo primario di una supply chain è quello di massimizzare la soddisfazione del cliente finale, ottimizzando la pianificazione della domanda, l'uso delle risorse e integrando l'offerta e la domanda con il livello di scorte a magazzino. Ogni attore della catena è tenuto ad avere una scorta a magazzino, che funge da buffer tra la domanda e la fornitura. Una politica di gestione a scorta (inventory management) ben progettata permette di fornire ininterrottamente e al minimo costo materie prime e prodotti finiti lungo tutta la supply chain (Waters, 2003). Naturalmente, l'inVENTORY management ha un forte impatto sull'efficienza dell'intero sistema, generando una serie di voci di costo, che possiamo denominare come: costo di acquisto, costo di stoccaggio, costo dell'evasione dell'ordine e costo di stock-out (Bottani and Montanari, 2011). In letteratura esistono diversi modelli per la riproduzione delle politiche di gestione a scorta. In particolare, è possibile identificare due categorie principali: problemi di single-period, conosciuti anche con il nome di "newsvendor problems", dove lo scopo è quello di individuare la quantità da produrre/stoccare che massimizza il profitto in un singolo intervallo temporale (Abdel-Malek and Montanari, 2005a, 2005b). Per i problemi di multi-period, sui quali ci focalizzeremo durante tutto l'elaborato, si possono individuare differenti politiche, come la politica EOQ (Economic Order Quantity), EOI (Economic Order Interval) o la politica (S, s); in questo caso l'obiettivo primario è quello di combinare adeguatamente i parametri che caratterizzano la politica per bilanciare le differenti componenti di costo (Waters, 2003).

Nella sezione verranno esaminati due lavori differenti, entrambi relativi all'utilizzo di modelli di simulazione ad eventi discreti per l'ottimizzazione delle politiche di inventory.

2.1 Studio simulativo delle politiche di riordino per prodotti deperibili

Nel lavoro descritto di seguito, sono state analizzate tre tradizionali politiche di riordino, comunemente denominate Economic Order Interval (EOI), Economic Order Quantity (EOQ) e Politica (S,s), applicate a cinque prodotti alimentari caratterizzati da shelf-life differente; in particolare, sono stati considerati tre prodotti freschi con limitata shelf-life e due prodotti a lunga conservazione. Per simulare il flusso di prodotti all'interno di una supply chain, per ognuna delle politiche di riordino, è stato realizzato un modello *ad hoc* utilizzando Microsoft Excel™. Inizialmente, tramite il modello, viene individuata la politica e la combinazione di parametri che fornisce il minimo costo. Successivamente, viene verificato che il setting ottimale sia compatibile con i vincoli del prodotto (ad esempio shelf-life) per verificare l'effettiva implementazione della politica al prodotto considerato. Infine vengono identificate alcune linee guida per generalizzare l'utilizzo dei risultati ottenuti nella gestione del magazzino.

2.1.1 Introduzione

Quando si parla di prodotti deperibili diventa cruciale il ruolo di coordinamento tra fornitura e domanda (Deniz et al., 2014). Infatti, per questi prodotti, il valore economico decresce progressivamente con il trascorrere del tempo, fino al raggiungimento della data di scadenza (Blackburn and Scudder, 2009). La gestione a magazzino di prodotti deperibili risulta quindi essere differente dalla gestione dei prodotti caratterizzati da una lunga durata. Infatti, a causa dei vincoli di shelf-life, esiste un limitato periodo di tempo durante il quale il prodotto deperibile può essere venduto e consumato (Wang and Li, 2012) e la scelta di un appropriata politica di riordino non può prescindere da tale vincolo. Una delle principali differenze tra prodotti deperibili e non è il fatto che, oltre al classico costo di gestione a scorta, è necessario considerare un costo aggiuntivo relativo allo smaltimento dei prodotti scaduti, una volta raggiunta la data di scadenza (Rajan et al., 1992). In generale, l'approccio tipico a problemi di questo tipo, consiste nell'adattare le tradizionali politiche di riordino e nel modellare il problema in funzione della shelf-life del prodotto considerato.

Sulla base di queste premesse, il presente lavoro cerca di contribuire alla letteratura corrente nel seguente modo:

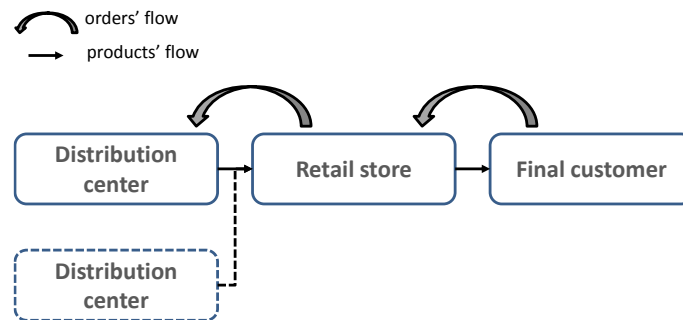
1. per quanto riguarda le politiche di riordino, non ci si focalizza su una politica specifica, ma viene effettuato un confronto tra diverse politiche per identificare quella che meglio si adatta ai vincoli di shelf-life;
2. viene valutato l'impatto economico derivante dall'applicazione di una politica di riordino a livello di intera supply chain, senza focalizzarsi su di un particolare attore del sistema;
3. la shelf-life non viene calcolata analiticamente, ma viene trattata come un vincolo del problema alla quale la politica di riordino si deve adattare;
4. la simulazione ad eventi discreti viene utilizzata per riprodurre e analizzare il comportamento di una reale supply chain a due livelli. I risultati possono quindi essere utilizzati per formulare delle linee guida generali.

Il lavoro è stato organizzato nel seguente modo: verrà inizialmente fornita una descrizione dello scenario esaminato; successivamente verrà descritto il modello simulativo realizzato e si concluderà commentando i risultati ottenuti.

2.1.2 Il caso studio

Il sistema analizzato è una reale supply chain, caratterizzata da un centro di distribuzione (*Distribution center* - Ce.Di), un punto vendita (*Retail store* - Pv) e il cliente finale (*Final customer*), ed è rappresentata in Figura 1.

Figura 1: supply chain esaminata



Il Ce.Di preso in esame è il centro di distribuzione di uno dei maggiori rivenditori italiani, situato nel nord Italia, a Reggio nell'Emilia. Esso fa parte di una rete logistica caratterizzata da una serie di centri distributivi utilizzati per la fornitura di aree locali ed è specializzato nella distribuzione di prodotti deperibili. In totale, smista circa 800 prodotti differenti e realizza complessivamente circa 30 consegne ogni giorno.

Il Pv considerato è invece un ipermercato situato nei pressi di Mantova. Esso riceve alcuni prodotti, tra cui quelli freschi, dal Ce.Di menzionato sopra, mentre vengono consegnate altre categorie di prodotto da altri centri di distribuzione (rappresentati in Figura 1 dalla linea tratteggiata) che non vengono però considerati nel presente lavoro.

Relativamente alla gestione a magazzino dei prodotti considerati nello studio, il processo seguito dalla supply chain nella realtà è il seguente: il Pv ordina una certa quantità di prodotto al Ce.Di in funzione delle informazioni fornite dal sistema informativo che, identifica tale quantità sulla base del livello di scorta a magazzino/scaffale e la previsione della domanda del cliente finale. Tipicamente, il Ce.Di è in grado di fornire la merce entro 2 giorni dal ricevimento dell'ordine. Da sottolineare è il fatto che il Pv non dispone di un magazzino refrigerato dove poter stoccare la merce in arrivo, ma il prodotto fresco viene direttamente posizionato sullo scaffale non appena ricevuto. Inoltre, nel caso in cui il prodotto non venga venduto in un tempo relativamente breve, è lo stesso Ce.Di che si fa carico del ritiro del prodotto per indirizzarlo verso un canale alternativo prima del raggiungimento della sua data di scadenza; a causa della mancanza di informazioni, il costo di smaltimento non viene considerato in questo studio.

Naturalmente, il Ce.Di non riceve ordini solamente dal Pv considerato nello studio, ma da diversi Pv situati nell'area. Di conseguenza, l'ordine che effettuerà al produttore sarà relativo al totale della merce distribuita. Questo aspetto non viene considerato nel lavoro, a causa di mancanza di dati da parte dei vari punti vendita serviti dal Ce.Di analizzato.

Sia il Pv sia il Ce.Di sono stati inoltre visitati per poter raccogliere i dati relativi al flusso di prodotti. In particolare, sono state intervistate alcune persone che si occupano della gestione della merce a scaffale per raccogliere informazioni utili alla comprensione del sistema. Durante la prima visita presso il Pv è stato chiesto al direttore dell'ipermercato di indicare 5 prodotti con caratteristiche differenti ed

il cui processo di riordino avesse bisogno di essere ottimizzato. I prodotti suggeriti per l'analisi sono stati i seguenti: (1) latte fresco, (2) mozzarella, (3) yoghurt, (4) marmellata di prugna e (5) pappa reale. Per questi prodotti sono stati raccolti dal sistema informatico i dati relativi ai flussi giornalieri per i due mesi precedenti e tali dati sono stati successivamente elaborati per generare casualmente la domanda giornaliera vista dal Pv all'interno del modello di simulazione implementato.

Inoltre, per ogni prodotto sono state raccolte una serie di informazioni, relative alle caratteristiche del prodotto ed ai costi associati alle varie operazioni di gestione dell'inventario.

2.1.3 Il modello di simulazione sviluppato

Come già introdotto, sono state riprodotte tre differenti politiche di riordino con lo scopo di valutare la loro idoneità nella gestione di prodotti deperibili.

È stato infatti creato un modello di simulazione ad eventi discreti, utilizzando Microsoft Excel™ e sfruttando le potenzialità del codice di programmazione VBA - Visual Basic for Applications; tale modello riproduce il flusso degli ordini di un determinato prodotto, in accordo con la specifica politica di riordino.

Naturalmente, sono stati considerati nel modello entrambi gli attori del sistema. In particolare, in un primo foglio di calcolo viene riprodotto il flusso degli ordini del Pv partendo dalla domanda del cliente finale; nel secondo foglio di calcolo viene invece mostrato il flusso degli ordini del Ce.Di che, a sua volta, effettua l'ordine al fornitore in funzione della domanda del Pv. Naturalmente, gli ordini generati da entrambi gli attori dipendono dalla politica considerata.

Per ogni prodotto, sono state analizzate le tre politiche di riordino, tranne che per il latte fresco. Infatti, durante le interviste è emerso che la politica EOQ non era compatibile con i vincoli di shelf-life del prodotto stesso. Di conseguenza, non è stata approfondita l'applicazione di questa politica applicata al prodotto.

In totale, sono state sviluppati 3(politiche) x 5(prodotti) -1 = 14 modelli di simulazione per la supply chain considerata.

2.1.3.1 Le equazioni del modello

Per descrivere le equazioni del modello di simulazione così come i risultati ottenuti, è stata adottata la seguente nomenclatura:

Tabella 1: nomenclatura

Parametri	Descrizione
N_{days}	Durata della simulazione [giorni]
S, s	Livello massimo e minimo per la politica (S,s) [unità]
τ	Intervallo di riordino per la politica (S,s) [giorni]
EOI	Intervallo di riordino per la politica EOI [giorni]
OUT	Order-up-to level per la politica EOI [unità]
EOQ	Lotto di riordino per la politica EOQ [unità]

<i>OP</i>	Livello di riordino per la politica EOQ [unità]
<i>G</i>	Livello di scorta "teorico" [unità]
<i>G_{on-hand}</i>	Livello di scorta "reale" [unità]
<i>k</i>	Coefficiente relativo alle scorte di sicurezza [adimensionale]
<i>O</i>	Quantità ordinata [unità]
<i>n_{orders}</i>	Numero totale di ordini evasi durante lo step di simulazione [ordini]
<i>LT</i>	Lead time di approvvigionamento [giorni]
<i>d</i>	Domanda giornaliera di un prodotto vista dal Pv [unità/giorno]
<i>μ, σ</i>	Media e dev. standard della domanda del cliente finale [unità/giorno]
<i>C_{stocks}, C_{stocks}</i>	Costo unitario di stoccaggio [€/unità/giorno] costo totale di stoccaggio [€]
<i>C_{stock-out}, C_{stock-out}</i>	Costo unitario di stock-out [€/unità] costo totale di stock-out [€]
<i>C_{order}, C_{order}</i>	Costo unitario di evasione dell'ordine [€/ordine] costo totale di evasione dell'ordine [€]
<i>C_{tot}</i>	Costo totale dell'inventary management [€]
Pedici	
<i>j</i>	Attore della Supply chain (<i>j=DC</i> per il centro di distribuzione, <i>j=RS</i> per il punto vendita)
<i>t</i>	Giorno della simulazione (<i>t=1,...N_{days}</i>)

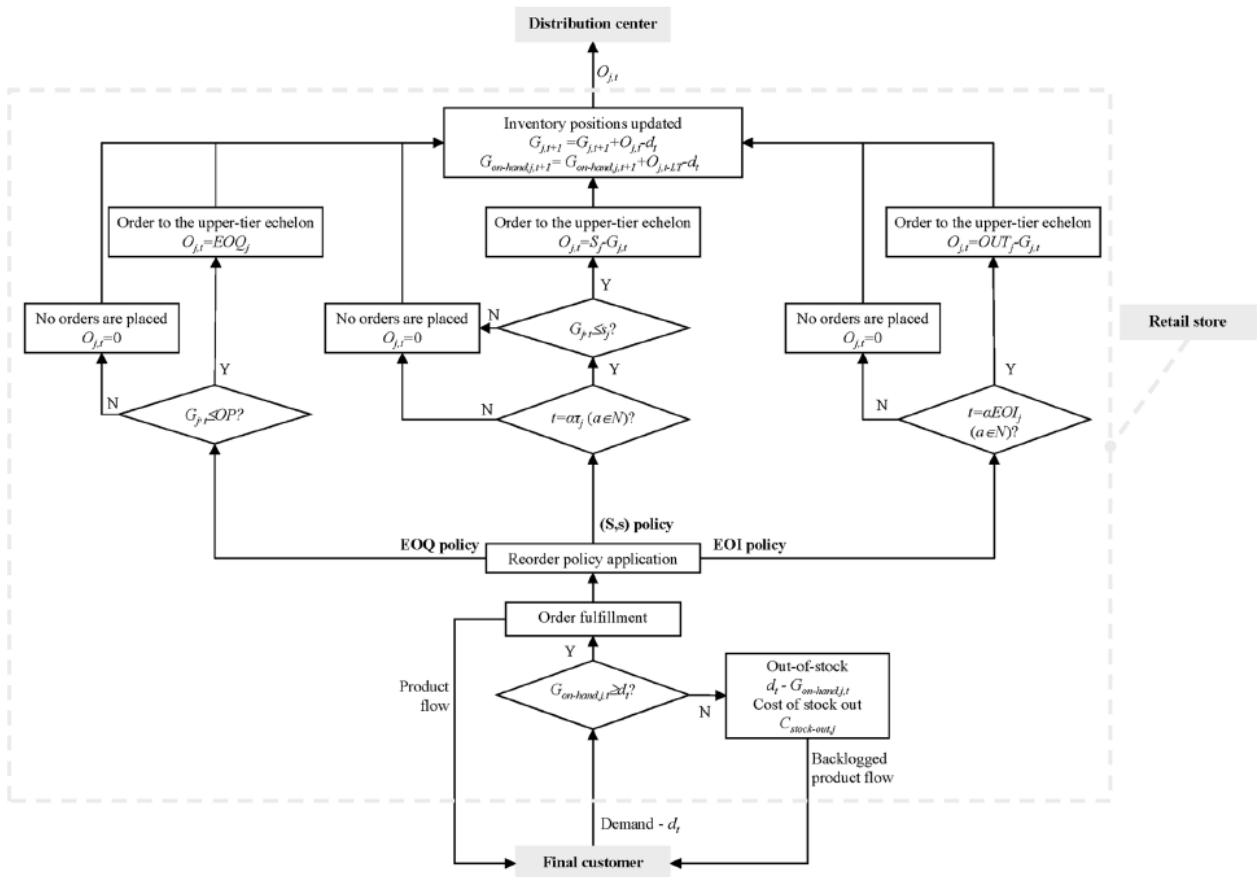
E da sottolineare il fatto che, per quanto riguarda le unità di misura, viene utilizzato il termine generico "unità". In realtà tale termine si riferisce a "item" se parliamo del Pv, mentre assume il significato di "pallet" nel caso del Ce.Di.

Il processo di riordino del Pv, che è stato implementato nel modello di simulazione, è schematizzato in Figura 2. Ad ogni istante temporale *t*, il Pv determina, una volta vista la domanda del cliente finale, se è in grado di soddisfare tale domanda utilizzando le scorte che ha a disposizione, ovvero se $G_{on-hand,j,t} \geq d_t$ (con *j=Pv*, in questo caso). Nel caso in cui l'ordine non può essere soddisfatto, il Pv si troverà ad affrontare una situazione di out of stock pari a $d_t - G_{on-hand,j,t}$; questa quantità non andrà persa, ma sarà consegnata una volta disponibile e allo stesso tempo verrà considerato un costo di stock out legato alla momentanea incapacità di congegnare la merce e soddisfare il cliente. In generale, il costo di stock out viene calcolato come segue:

$$C_{stock-out,j} = \sum_{t=1}^{N_{days}} c_{stock-out} (d_t - G_{on-hand,j,t}) \quad (1)$$

Per evitare la presenza effetti distorsivi legati all'impostazione dei parametri di input, è stato impostato che il Pv abbia una giacenza iniziale (*t = 0*) non nulla, ma ottenuta generando un numero casuale che varia tra zero e la quantità ordinata dal Pv stesso (dipende quindi dalla politica di riordino simulata).

Figura 2: schema del processo di riordino per il punto vendita



Una volta che l'ordine è stato soddisfatto, completamente o in parte, o siamo in presenza di stock out, inizia il processo di riordino in funzione della politica analizzata. In particolare:

- Nel caso in cui il Pv opera secondo una politica EOQ, si controlla se il livello di giacenza “teorico” è inferiore al punto di riordino, ovvero se $G_{j,t} < OP_j$. Nel caso in cui questa situazione si verifica, il Pv effettua un ordine $O_{j,t}$ all'attore posizionato al livello superiore nella catena; altrimenti non viene effettuato nessun ordine;
- nel caso in cui il Pv opera secondo una politica EOI, si controlla se è il momento di effettuare un ordine, ovvero se l'istante temporale t è un multiplo dell'intervallo di riordino EOI ($t = \alpha EOI_j$, con $\alpha \in N$). Nel caso in cui questa situazione si verifica, il Pv effettua un ordine $O_{j,t}$ all'attore posizionato al livello superiore nella catena; altrimenti non viene effettuato nessun ordine;
- nel caso in cui il Pv opera secondo una politica (S,s), si verifica inizialmente se è il momento di controllare il livello di giacenza, ovvero se l'istante temporale t è un multiplo dell'intervallo di riordino τ ($t = \alpha \tau_j$, con $\alpha \in N$). Nel caso in cui questa situazione si verifica, si controlla se il livello di giacenza “teorico” è inferiore al livello minimo di stock, ovvero se $G_{j,t} \leq S_j$. Nel caso in cui questa situazione si verifica, il Pv effettua un ordine $O_{j,t}$ all'attore posizionato al livello superiore nella catena; altrimenti non viene effettuato nessun ordine.

Per quanto riguarda la quantità ordinata $O_{j,t}$, questa dipende dalla politica applicata dal Pv, in particolare: EOQ_j per la politica EOQ, $OUI_j - G_{j,t}$ per la politica EOI e $S_j - G_{j,t}$ per la politica (S,s).

Relativamente al livello massimo di giacenza S_j della politica (S,s), c'è una differenza tra quanto implementato per il Pv e quanto per il Ce.Di. Infatti, nel caso del Pv si considera S come un vincolo legato alla capacità massima dello scaffale sul quale verrà stoccato il prodotto. Infatti, come già anticipato, il punto vendita non ha a disposizione un magazzino refrigerato dove stoccare il prodotto, ma lo posiziona direttamente sullo scaffale. Nel caso invece del Ce.Di, S è calcolata analiticamente utilizzando la tipica formula di Snyder (1974).

Il costo dell'ordine può essere quindi calcolato come segue:

$$C_{order,j} = c_{order,j} n_{order,j} \quad (2)$$

dove il numero di ordini è un risultato della simulazione.

Alla fine del processo di riordino, il livello di giacenza "reale – on hand" e "teorico" vengono aggiornati nel seguente modo:

$$G_{on-hand,j,t+1} = G_{on-hand,j,t} + 1 + O_{j,t} - LT - d_t \quad (3)$$

$$G_{j,t+1} = G_{j,t} + 1 + O_{j,t} - d_t$$

Come si può notare dall'equazione (3), la principale differenza tra la giacenza "reale – on hand" e quella "teorica" è che nel primo caso si prende in considerazione il lead time di approvvigionamento LT , mentre nell'altro caso si considera la merce disponibile già nell'istante in cui viene effettuato l'ordine.

Infine, il costo di stoccaggio viene calcolato come segue:

$$C_{stocks,j} = \sum_{t=1}^{N_{days}} c_{stocks,j} G_{on-hand,j,t} \quad (4)$$

In totale, il costo finale di inventory management per l'attore considerato sarà:

$$C_{tot,j} = C_{order} + C_{stocks,j} + C_{stock-out,j} \quad (5)$$

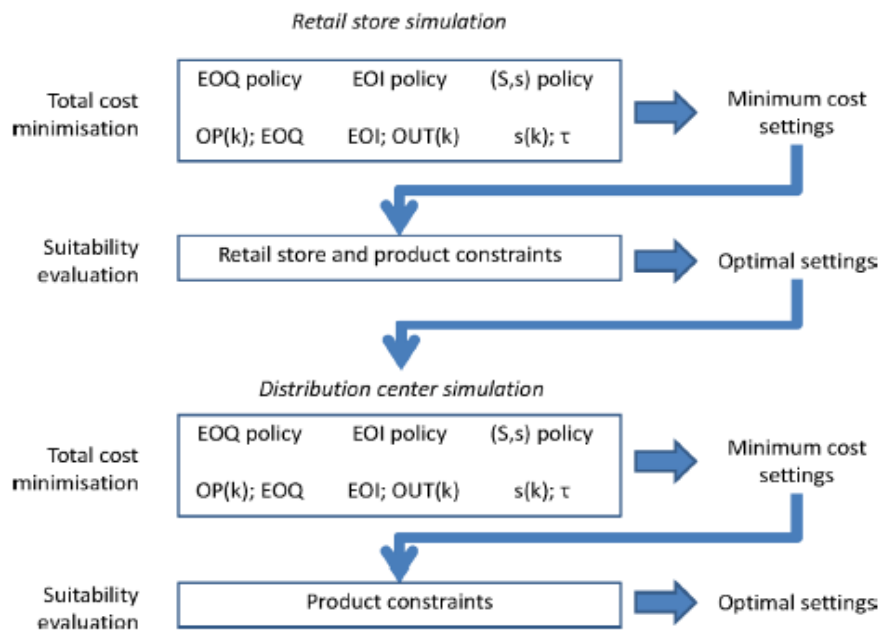
Tutte le equazioni presentate per il Pv possono essere utilizzate anche per il Ce.Di, con la sostanziale differenza che la domanda vista dal Ce.Di non viene generata casualmente, ma coincide con il flusso di ordini del Pv, che sostituirà quindi la domanda del cliente finale d_t nelle equazioni (1) e (3).

2.1.3.2 L'approccio metodologico

Come precedentemente anticipato, le politiche di riordino considerate nello studio sono caratterizzate da differenti leve operative, il cui valore può variare con lo scopo di individuare la combinazione che minimizza il costo totale. In particolare, per quanto riguarda la politica EOQ, le due leve su cui agire sono EOQ [unità] e OP [unità]; per la politica EOJ sono EOI [giorni] e OUT [unità]; infine per la politica (S,s) sono il massimo e minimo livello di giacenza (S e s) [unità] e l'intervallo di controllo periodico τ [giorni].

La procedura utilizzata per simulare il sistema descritto può essere divisa in due fasi distinte chiamate "Simulazione del punto vendita" (*Retail store simulation*) e "Simulazione del centro di distribuzione" (*Distribution center simulation*), come mostrato in Figura 3. La simulazione dei due attori è sviluppata attraverso due fasi sequenziali per avere la possibilità di utilizzare come dati di input del Ce.Di gli output del Pv forniti dalla fase precedente.

Figura 3: procedura utilizzata per l'impostazione della simulazione



Durante la prima delle due fasi, lo scopo è stato quello di determinare per il Pv quale delle tre politiche forniva il risultato migliore in termini di costo. In particolare, per ogni prodotto considerato, si inizia con la simulazione del processo di riordino del Pv, in accordo con ognuna delle tre politiche di riordino descritte. Grazie alle potenzialità di VBA, la simulazione è utilizzata per far variare i due parametri che caratterizzano la politica, con l'obiettivo di individuare la combinazione in grado di minimizzare il costo totale. Per ogni politica, varia quindi una delle due leve operative e il parametro k che rappresenta il coefficiente di scorte di sicurezza e attraverso il quale è possibile calcolare la seconda leva operativa (Tabella 2). In questo modo, è possibile ottenere una relazione diretta tra il costo totale generato dalla politica di riordino e il livello di servizio offerto al cliente finale.

Tabella 2: setting del modello di simulazione

Politica di riordino	Leva operativa che varia nel modello di simulazione	Leva operativa espressa in funzione di k
EOQ	EOQ [units]; OP [units]	$OP_j = \mu LT_j + k\sigma\sqrt{LT_j}$
EOI	EOI [days]; OUT [units]	$OUT_j = \mu(EOI_j + LT_j) + k\sigma\sqrt{EOI_j + LT_j}$
(S,s)	s [units]; τ [days]	$s_j = \mu LT_j + k\sigma\sqrt{LT_j}$

Per determinare il range all'interno del quale far variare i due parametri, sono stati presi in considerazione i seguenti punti:

- i possibili valori di EOQ, settati per il Pv, tengono in considerazione il numero di item per confezione. Per esempio, per il prodotto mozzarella ogni confezione contiene 8 item; di conseguenza il Pv potrà ordinare solo multipli interi di 8. Non sarebbe infatti significativo simulare valori di EOQ differenti, in quanto l'attore non avrebbe comunque la possibilità di ordinare tale quantità;

- il range di valori di EOI e τ sono legati, invece, alla shelf life del prodotto. Se un prodotto ha una shelf-life di tre giorni, l'intervallo di tempo che intercorre tra due ordini potrà essere al massimo di tre se non si vuole incorrere in situazioni di stock out;
- i valori impostati per k sono infine maggiori nel caso del Pv, in quanto esso si interfaccia direttamente con il cliente finale ed ha quindi maggiori esigenze in termini di livello di servizio rispetto al Ce.Di.

Per ogni coppia di parametri viene quindi calcolato il costo totale così come descritto dall'equazione (5) e viene infine individuata, per ogni politica di riordino, la coppia che minimizza tale costo (*Minimum cost settings*). Lo step successivo consiste nel verificare l'effettiva idoneità di ciascuna politica all'adattarsi alle caratteristiche del prodotto considerato. In particolare, lo scopo è quello di capire se la coppia di parametri individuata è compatibile con i vincoli del prodotto (ad esempio shelf-life) ed i vincoli del Pv (ad esempio spazio disponibile nello scaffale). Per esempio, per quanto riguarda la politica EOQ applicata al Pv, il lotto di riordino deve essere compatibile con la quantità che può essere posizionata sullo scaffale. Se il *Minimum cost setting* individuato non rispetta questo vincolo, la politica verrà considerata non adatta al caso specifico e di conseguenza eliminata dall'analisi; le due politiche rimanenti verranno quindi sottoposte allo stesso controllo, fino ad arrivare alla definizione di una coppia di parametri che minimizza il costo totale e contemporaneamente soddisfa tutti i vincoli imposti (*Optimal settings*). Il concetto di base è che il risultato della simulazione deve fornire un setting ottimale dal punto di vista economico, senza però perdere di vista l'aspetto pratico.

A questo scopo, è stato individuato un indicatore di performance che potesse essere utilizzato per verificare i vincoli del prodotto: il throughput time (TT , espresso in giorni). Per un qualsiasi attore di una supply chain, il TT è definito come il tempo necessario affinché un prodotto si muova da un attore all'attore successivo della catena e viene calcolato con la formula seguente:

$$TT_j = LT_j + \frac{G_{on-hand,j}}{\mu} \quad (6)$$

In questo studio, il TT diventa un indicatore fondamentale in quanto ogni prodotto ha una specifica e limitata shelf-life.

In generale, affinché la politica sia idonea deve rispettare i seguenti vincoli:

- $TT < \text{shelf-life}$;
- $OUT < \text{capacità dello scaffale}$ (per la politica EOI) o $EOQ < \text{capacità dello scaffale}$ (per la politica EOQ).

Naturalmente, se più di una politica è compatibile e rispetta i vincoli sopra citati, la politica ottimale sarà quella caratterizzata dal minor costo totale.

A questo punto, una volta stabilita quale delle tre politiche risulta essere per il Pv economicamente più conveniente nel rispetto delle caratteristiche del prodotto analizzato, si passa alla fase due del processo e si effettua la stessa analisi sul Ce.Di. Precisamente, durante lo step denominato *Minimum cost setting*, il flusso degli ordini del Pv risultante dall'*Optimal setting* della fase precedente viene utilizzato come input per simulare il processo di riordino del Ce.Di. Così come fatto per il Pv, sono state lanciate tre simulazioni (una per ogni politica di riordino) andando a variare le leve operative con lo scopo di identificare la combinazione ottimale da un punto di vista puramente economico.

Relativamente allo step di *Optimal setting*, la valutazione della compatibilità della politica rispetto ai vincoli del problema risulta essere più semplice se comparata quella effettuata per il Pv. Infatti, per il Ce.Di l'unico vincolo è quello relativo alla shelf-life del prodotto, dato che questo attore non ha i problemi legati alla capacità dello scaffale precedentemente esposti. Di conseguenza, affinché la politica sia idonea deve rispettare il seguente vincolo:

- $TT < \text{shelf-life}$.

2.1.4 I risultati ottenuti

Vengono commentati di seguito i risultati ottenuti; per i dettagli si rimanda al seguente articolo: Bottani, E., Ferretti, G., Montanari, R., Rinaldi, M., 2014. Analysis and optimization of inventory management policies for perishable food products: a simulation study. International Journal of Simulation and Process Modelling, 9(1/2), 16-32, DOI: 10.1504/IJSPM.2014.061429.

Per quanto riguarda il punto vendita e partendo dal prodotto più critico in termini di scadenza (latte fresco), la politica ottimale dal punto di vista economico è risultata essere la politica EOI, che non fornisce però risultati compatibili con uno dei due vincoli (capacità dello scaffale). Come giustificato precedentemente, la politica EOQ non è stata presa in considerazione per questo prodotto, mentre la politica (S, s) risulta essere compatibile con entrambi i vincoli, nonostante il costo totale sia molto maggiore. Questo è dovuto agli elevati costi di stock out che si generano, in quanto la quantità ordinata non è sufficiente a soddisfare la domanda. Quindi, per quanto riguarda questo prodotto siamo di fronte ad una situazione particolare che porta a concludere che la capacità dello scaffale non è adeguata a soddisfare le esigenze del cliente finale. Per ottimizzare il processo di riordino, il Pv dovrebbe considerare la possibilità di aumentare la capacità dello scaffale. In alternativa, il risultato ottenuto potrebbe derivare da una specifica strategia di marketing: data la limitata shelf-life del prodotto latte si preferisce mantenere le scorte al minimo e far fronte a situazioni di out of stock offrendo prodotti alternativi.

Per quanto riguarda il prodotto mozzarella, si verifica la situazione opposta: le politiche EOQ ed EOI sono entrambe compatibili con i vincoli del prodotto, ma sono entrambe caratterizzate da elevati costi di stoccaggio. La scelta della politica ottimale viene quindi guidata dal calcolo del costo totale che porta alla scelta della politica EOQ. Ad ogni modo, risulta evidente che la gestione delle scorte del prodotto potrebbe essere migliorata. In particolare la capacità dello scaffale risulta molto maggiore rispetto all'effettiva richiesta del cliente finale. Questo potrebbe portare ad avere anche problemi legati allo smaltimento del prodotto, considerando la limitata shelf-life dello stesso. In questo caso, il Pv dovrebbe ridurre la capacità dello scaffale ed individuare un valore più appropriato alle caratteristiche del prodotto.

Per i tre prodotti rimanenti (yoghurt, marmellata di prugna e pappa reale), emerge dall'analisi che tutte le politiche di riordino esaminate sono idonee all'implementazione rispettando tutti i vincoli del problema. Questo è probabilmente dovuto al fatto che la shelf-life dei prodotti, soprattutto per i prodotti 4 e 5, è maggiore rispetto ai primi due prodotti analizzati. Di conseguenza, viene scelta la politica che fornisce il minor costo totale. Inoltre per il prodotto 5 si nota come le politiche EOQ ed EOI offrano lo stesso risultato in termini di costo minimo e TT. Questo potrebbe derivare dal fatto che la pappa reale non ha vincoli di shelf-life e di conseguenza entrambe le politiche possono adattarsi efficientemente al prodotto. In questo caso la scelta tra le due è indifferente per il Pv; di conseguenza si utilizzano a turno entrambi i flussi degli ordini per simulare il processo di riordino del Ce.Di.

Per quanto riguarda invece il centro di distribuzione è necessario precisare che, come già menzionato, il Ce.Di riceve ordini non solamente dal Pv considerato, ma da una serie di Pv differenti. A causa della mancanza di dati di input questo non è stato considerato. Di conseguenza, i risultati ottenuti potrebbero risentire della semplificazione adottata.

Per quanto riguarda i prodotti latte fresco, marmellata di prugna e pappa reale non si riscontra nessuna incompatibilità con i vincoli del problema. La scelta della politica ottimale si basa quindi solamente sul minimo costo totale.

La situazione è opposta per i prodotti mozzarella e yoghurt: nessuna delle politiche è compatibile con i vincoli imposti. In particolare il TT risulta essere sempre troppo alto rispetto alla shelf-life dei prodotti. Come già anticipato, questo risultato potrebbe derivare dal fatto che non vengono considerati i flussi degli ordini di altri Pv serviti dal Ce.Di. Infatti il flusso degli ordini totale visto dal Ce.Di è superiore rispetto a quanto impostato nel modello di simulazione; il flusso reale porterebbe probabilmente una delle politiche di riordino ad essere compatibile con i prodotti studiati. In generale si potrebbe comunque concludere dicendo che per i prodotti con limitata shelf-life sono consigliabili consegne dirette da parte del fornitore senza la necessità di passare attraverso il Ce.Di; questo ridurrebbe il TT e potrebbe diminuire il rischio di scadenza del prodotto.

2.1.5 Conclusioni

L'inventory management è un elemento fondamentale per incrementare l'efficienza e la competitività di un'azienda. Se si considerano i prodotti deperibili, la sua efficienza diventa fondamentale dato che questi diventano inutilizzabili una volta scaduti e non possono quindi più essere venduti (Seliaman and Arifusalam, 2004). Infatti, la presenza di prodotti scaduti genera inefficienze all'interno di una supply chain. Per esempio, viene occupato dello spazio per prodotti che non possono più essere utilizzati e venduti o si possono generare costi di smaltimento. Allo stesso tempo, una situazione di stock out comporta una mancata vendita e la non soddisfazione del cliente finale. Occorre quindi individuare un buon compromesso considerando tutti i vincoli del problema.

Con lo scopo di contribuire alla letteratura già presente in materia, sono state analizzate tre politiche di riordino tradizionali, applicate ad una supply chain a due livelli, con l'obiettivo di individuare quale fosse la politica ottimale a livello di sistema, nel rispetto delle caratteristiche del prodotto. Per far ciò sono stati analizzati e confrontati tre prodotti freschi con limitata shelf-life e due prodotti a lunga conservazione.

I risultati ottenuti dall'analisi permettono di formulare una serie di conclusioni generali. Come prima considerazione si può affermare che i prodotti a lunga durata non provocano particolari problemi e risultano essere facilmente gestibili con le tradizionali politiche di riordino. In altre parole, tutte le politiche di riordino si adattano facilmente alle caratteristiche del prodotto.

Al contrario, la gestione del magazzino per prodotti deperibili risulta essere molto complessa. Dallo studio emerge che le tradizionali politiche di riordino non sono sempre adatte o sono compatibili ma comportano una serie di inefficienze.

2.2 Un approccio simulativo per la scelta della migliore strategia di approvvigionamento

Il lavoro affronta il problema della selezione del fornitore attraverso un approccio simulativo. In particolare, viene utilizzato un modello di simulazione ad eventi discreti per confrontare uno scenario caratterizzato da un solo fornitore (“single sourcing”) con uno scenario caratterizzato da due fornitori (“double sourcing”). In questo ultimo caso, il secondo fornitore è caratterizzato da una maggiore affidabilità di consegna rispetto al primo fornitore, a fronte di un prezzo maggiore. Per entrambi gli scenari si ipotizza che il cliente utilizzi una politica di riordino EOI (Economic Order Interval). In totale lo studio si articola in due step, con lo scopo finale di comparare le due strategie e studiare la convenienza economica delle stesse, in funzione delle caratteristiche del sistema. I risultati ottenuti offrono spunti interessanti a supporto della scelta della strategia di acquisto da adottare.

2.2.1 Introduzione

Le decisioni relative alla scelta del fornitore occupano un ruolo cruciale sia per assicurare la qualità del prodotto finale, sia per tenere sotto controllo i costi di approvvigionamento (Monczka et al., 2011). Tradizionalmente, la scelta del fornitore è sempre stata guidata da considerazioni di tipo esclusivamente economico; oggi vengono invece considerate molte altri aspetti, per esempio la qualità, l’affidabilità e la flessibilità del fornitore. Weber et al. (1991) ha revisionato 47 articoli dove venivano utilizzati più criteri per la scelta del fornitore. Molti altri autori hanno proposto una lista di criteri per un’adeguata selezione del fornitore (e.g., Roa and Kise 1980, Ellram 1990, Stamm and Golhar 1993, Bottani and Rizzi, 2005).

Al di là dei vari criteri di selezione, una corretta strategia di approvvigionamento richiede anche una specifica procedura per la definizione del numero di fornitori. Le strategie di selezione più comuni possono essere definite come “single sourcing”, “dual sourcing” o “multiple sourcing” (Yu et al., 2009). Nel caso di “single sourcing”, un’azienda seleziona un solo fornitore scegliendo tra una serie di candidati, sulla base di specifici criteri di selezione (Newman, 1989). “Dual sourcing” significa invece che vengono selezionati due differenti fornitori con differenti caratteristiche in termini di prezzo, affidabilità, quota di mercato ed altri aspetti (Tomlin and Wang, 2005). Nell’ultima opzione, ovvero “multiple sourcing”, l’acquirente lavora con più fornitori, incoraggiando la competizione tra gli stessi per trarne vantaggio e ottenere migliori condizioni.

L’importanza strategica nella scelta tra single o dual sourcing è stata ampiamente dibattuta in letteratura. Molti studi hanno approfondito la tematica e analizzato i vantaggi e svantaggi apportati dalla scelta di uno o più fornitori. Per esempio Costantino e Pellegrino (2010) hanno riassunto i principali punti come segue:

- il “single sourcing” permette di stabilire un rapporto di partnership duraturo con il fornitore. D’altra parte, si crea una dipendenza che rende più vulnerabile l’intera supply chain;
- il “multiple sourcing” permette di ridurre il rischio di interruzione della fornitura e allo stesso tempo aumenta la competizione tra fornitori. D’altro canto la gestione di più fornitori differenti aumenta il costo totale di gestione del processo di approvvigionamento.

Partendo da queste considerazioni, lo scopo del lavoro è quello di comparare una strategia di single e multiple sourcing in termini di costo totale, per capire quale delle due risulta essere quella ottimale. Per questo, è stato creato un modello di simulazione in grado di riprodurre le due strategie di approvvigionamento. Per ogni scenario è stato quindi calcolato il costo totale di approvvigionamento per identificare quale fosse la strategia migliore.

Inizialmente verrà presentato il modello di simulazione implementato e i due scenari esaminati. Successivamente verranno esposti i risultati ottenuti per poi essere confrontati; infine verranno analizzati i punti chiave ottenuti dalla ricerca.

2.2.2 Gli scenari esaminati

Come anticipato, per studiare il comportamento di un processo di approvvigionamento è stato utilizzato un approccio simulativo. In particolare, sono stati studiati due differenti scenari che sono stati infine confrontati.

Il primo scenario riproduce il comportamento di un sistema di tipo “single sourcing” e considera quindi un solo fornitore caratterizzato da una certa affidabilità. Utilizzando lo stesso modello, sono state lanciate una serie di simulazioni andando a modificare il livello di affidabilità del fornitore. In particolare sono stati studiati valori che variano dal 100% (il fornitore è sempre in grado di consegnare la merce nella giusta quantità e nel giusto tempo) al 80% (riflette la percentuale di volte che il fornitore è in grado di soddisfare il cliente in termini di quantità consegnata). In questo ultimo caso l’acquirente accetta un più basso livello di affidabilità a fronte di un prezzo di acquisto più basso. In questo senso la simulazione aiuta a capire quale sia il giusto compromesso tra prezzo e affidabilità.

Come precedentemente anticipato, si considera una politica di tipo EOI per la gestione del magazzino. Secondo questa politica, ad intervalli regolari di tempo le scorte vengono riportate al livello massimo, ordinando una quantità pari alla differenza tra il livello attuale della scorta ed il livello massimo del magazzino.

Quindi, per ogni livello di affidabilità impostato (da 100% a 80% con step di 1%), è stata individuata la combinazione ottimale delle due leve operative che caratterizzano la politica di riordino (ovvero ΔT and $OUTL$). Per combinazione ottimale si intende quella che minimizza il costo totale di gestione a scorta.

Per quanto riguarda il secondo scenario (“dual sourcing”), vengono invece considerati due differenti fornitori. Il primo presenta le stesse caratteristiche dello scenario descritto precedentemente (livello di affidabilità che varia da 100% a 80%), mentre il secondo è sempre caratterizzato da un livello di affidabilità del 100% ma vende il suo prodotto ad un prezzo maggiore rispetto al primo fornitore. Per questo motivo, l’acquirente ordina la merce al secondo fornitore solamente quando il primo non è in grado di soddisfare la sua richiesta. Così come per il primo scenario, per ogni livello di affidabilità del primo fornitore (da 100% a 80% con step di 1%), è stata individuata la combinazione ottimale delle due leve operative che minimizza il costo totale. L’obiettivo finale è quello di comparare i risultati dei due scenari al variare del livello di affidabilità di uno dei due fornitori.

2.2.3 L'implementazione del modello di simulazione in MS Excel™

Il modello di simulazione utilizzato per lo studio consiste in un foglio di MS Excel™, che riproduce il flusso degli ordini, considerando una politica di riordino EOI.

La domanda è stata generata casualmente, considerando una distribuzione uniforme tra 0 e 200 pezzi.

In accordo con la politica EOI, l'acquirente ordina al fornitore ad intervalli regolari di tempo (ΔT), indipendentemente dal livello di scorta presente a magazzino. La quantità ordinata non è fissa, ma varia in funzione del livello del magazzino nel momento in cui viene evaso l'ordine di acquisto; tale quantità è calcolata come la differenza tra il livello di scorta al momento dell'ordine ed il livello massimo del magazzino (*OUTL*). Quindi, la politica di riordino utilizzata per lo studio è caratterizzata da due leve operative denominate ΔT e *OUTL*.

Grazie al linguaggio di programmazione VBA, il modello di simulazione è in grado di far variare automaticamente le leve operative, così da identificare la combinazione in grado di offrire il minimo costo totale. Per tale ragione sono stati settati dei range all'interno dei quali i due parametri potessero variare: ΔT tra 20 e 40 giorni con step di 1 giorno e *OUTL* tra 3000 e 4000 pezzi con step di 25 pezzi.

Per quanto riguarda il calcolo del costo totale, questo comprende tre voci di costo differenti: costo di stoccaggio (C_h), costo di stock-out (C_{so}) e costo di emissione dell'ordine (C_o), tutti espressi in [€/giorno] e viene considerato il valore medio calcolato sulla durata dell'intera simulazione. Il primo contributo (C_h), considera solamente una variabile, ovvero il livello di scorta a magazzino e per ogni istante temporale t viene calcolato come segue:

$$C_{h,t} = C_{stock} * I_t \quad (7)$$

Dove C_{stock} è il costo unitario di stoccaggio espresso in [€/pezzo/giorno] e I_t è il livello di giacenza reale al tempo t , espresso in [pezzi].

Il costo di stock out C_{so} rappresenta invece la mancata vendita causata dall'assenza del prodotto a magazzino; si assume che il costo unitario di stock out $C_{stock-out}$ [€/pezzo/giorno] sia 100 volte superiore rispetto a C_{stock} , in quanto sottolinea la necessità da parte dell'azienda di evitare situazioni di questo tipo.

In generale, per ogni istante temporale t , il costo di stock out viene calcolato come segue:

$$C_{so,t} = C_{stock-out} * (d_t - I_t) \quad (8)$$

Dove d_t è la domanda ricevuta all'istante temporale t e viene espressa in [pezzi].

Infine C_o considera gli aspetti amministrativi legati alla procedura di emissione dell'ordine. Il suo valore viene espresso come un costo fisso che si verifica ogni volta che viene emesso un ordine [€/ordine].

Concludendo, il costo totale [€/giorno] viene calcolato, per ogni istante temporale t , dalla somma dei costi sopra descritti:

$$C_{tot,t} = C_{h,t} + C_{so,t} + C_{o,t} \quad (9)$$

Nel caso dello scenario 2, vengono considerate due ulteriori voci di costo legate alla presenza del secondo fornitore:

- la differenza di prezzo legata all'acquisto del prodotto presso il secondo fornitore (ΔC_p); questa voce di costo riflette il fatto che il fornitore 2 vende la merce ad un prezzo superiore rispetto al fornitore 1;
- un costo aggiuntivo che considera la gestione del rapporto con il secondo fornitore (ΔC_m). Questo contributo viene considerato ogni giorno.

Di conseguenza, considerando anche il fatto che il costo dell'emissione dell'ordine è differente per i due fornitori (C_{o1} e C_{o2}), il costo totale [€/giorno] per il secondo scenario diventa:

$$C_{tot,t} = C_{h,t} + C_{so,t} + C_{o1,t} + C_{o2,t} + \Delta C_{p,t} + \Delta C_{m,t} \quad (10)$$

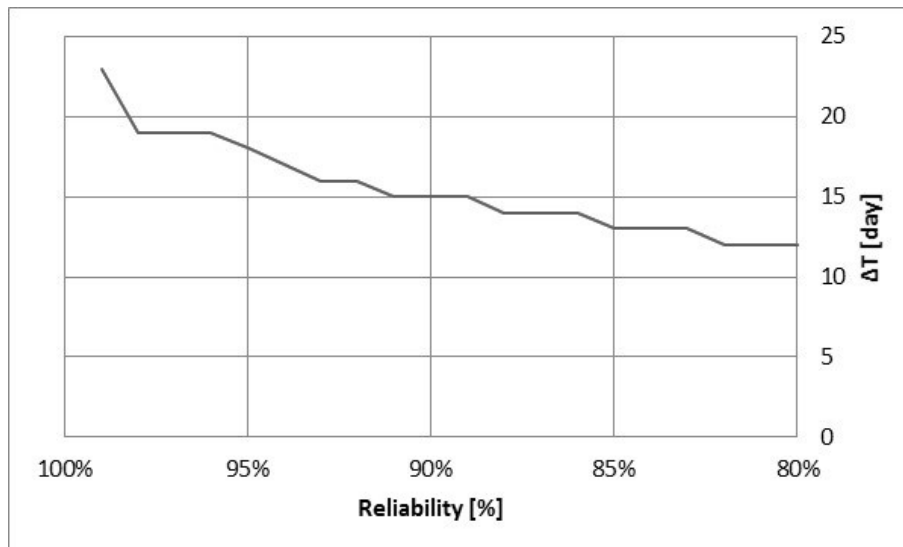
2.2.4 I risultati

Alla fine del processo di simulazione sono stati collezionati una serie di risultati utilizzati per l'analisi del sistema. In particolare, sono stati riportati 20 risultati differenti per ogni scenario, ognuno caratterizzato da un particolare livello di affidabilità del fornitore 1 (da 100% a 80%). Ogni risultato presenta, dato un determinato livello di affidabilità, la combinazione ottimale delle due leve operative che fornisce la soluzione migliore (minimo costo totale).

Di seguito vengono riportati gli andamenti delle due leve operative (ΔT e $OUTL$) in funzione dell'affidabilità del fornitore 1. Per i dettagli si rimanda al seguente articolo: Armenzoni, M., Rinaldi, M., Montanari, R., Bottani, E., & Solari, F., 2014. Single sourcing vs. double sourcing: a simulation approach for supplier selection. In: Affenzeller, M., Bruzzone, A.G., Jiménez, E., Longo, F., Merkurjev, Y., & Zhang, L. (eds.), Proceedings of the 26th European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2014), ISBN 978-88-97999-32-4 (paper), ISBN 978-88-97999-38-6 (pdf), pp.543-549. September 10-12, 2014, Bordeaux (France).

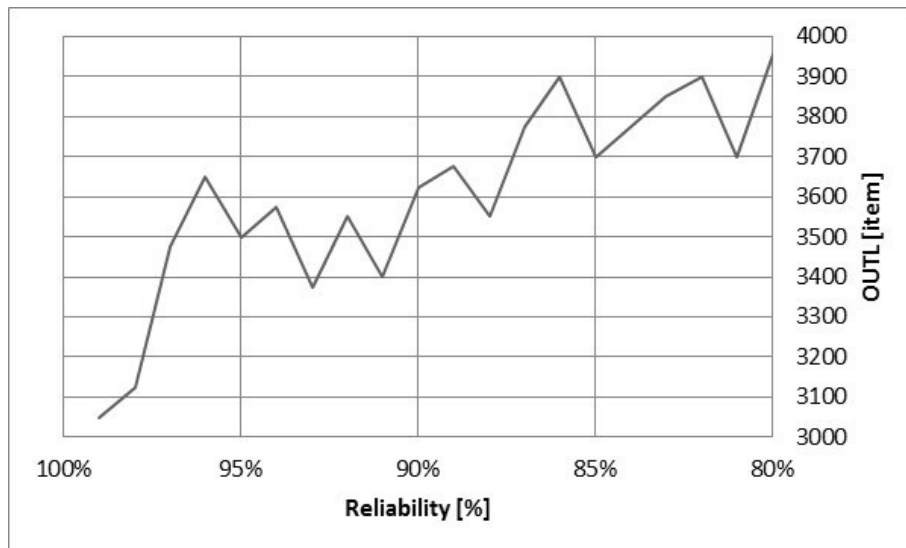
Partendo dall'analisi dello scenario 1 ("single sourcing"), si può notare dalla Figura 4 come l'intervallo di riordino ottimale diminuisce al decrescere dell'affidabilità. Questo significa che se il fornitore è meno affidabile è conveniente aumentare la frequenza degli ordini per evitare di incorrere in situazioni di stock out.

Figura 4: scenario 1 – trend di ΔT in funzione dell'affidabilità del fornitore 1



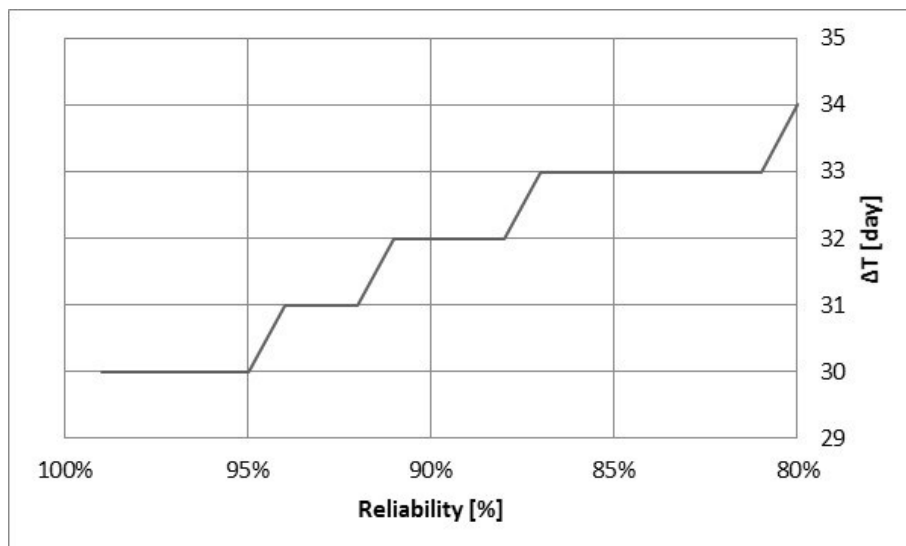
Al contrario, l'andamento dell'altro parametro caratterizzante la politica di riordino è opposto (Figura 5). Tale risultato porta a concludere che nel momento in cui il fornitore è meno affidabile, risulta ottimale aumentare il livello massimo del magazzino così da aumentare le scorte ed evitare la potenziale mancanza del prodotto.

Figura 5: scenario 1 – trend di OUTL in funzione dell'affidabilità del fornitore 1



Analizzando i risultati dello scenario 2 ("double sourcing"), è evidente come l'andamento di ΔT sia opposto rispetto allo scenario 1, come mostrato in Figura 6.

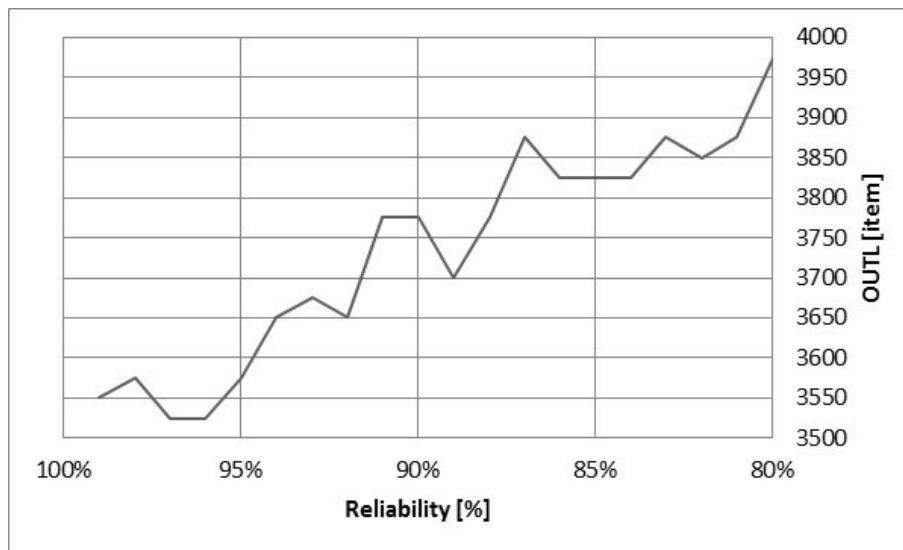
Figura 6: scenario 2 – trend di ΔT in funzione dell'affidabilità del fornitore 1



Infatti, ΔT cresce lentamente al decrescere dell'affidabilità e il valore ottimale varia in un range di soli 4 giorni. Questo risultato è giustificato dal fatto che, se il primo fornitore non è in grado di evadere l'ordine, l'azienda ordinerà la merce al secondo fornitore il cui prezzo è superiore. Di conseguenza, minore è ΔT , più aumenta la frequenza degli ordini e quindi la probabilità che il fornitore 1 non sia disponibile, che comporta quindi un ordine ad un prezzo superiore. Per questa ragione, è preferibile diminuire la frequenza degli ordini aumentando l'intervallo di riordino.

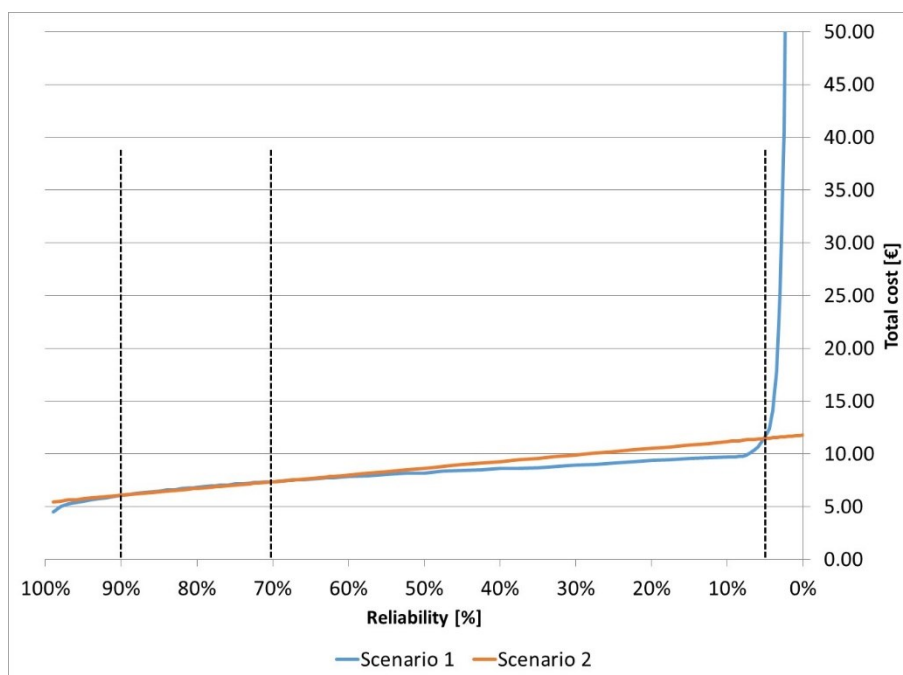
L'andamento di *OUTL* è invece concorde con i risultati analizzati nello scenario precedente, anche se si riscontra un aumento leggermente inferiore (Figura 7).

Figura 7: scenario 2 – trend di *OUTL* in funzione dell'affidabilità del fornitore 1



Sulla base dei risultati ottenuti per i due scenari, è possibile identificare l'andamento del costo totale di gestione dell'inventario in funzione dell'affidabilità del fornitore 1, variando questo ultimo parametro tra 0% e 100%. Il confronto tra i due scenari è riportato in Figura 8.

Figura 8: scenario 1 vs. scenario 2 – confronto costo totale di gestione dell'inventario



Il confronto tra i due scenari mostra come la convenienza economica nell'adottare una delle due strategie dipenda dall'affidabilità del fornitore 1. In particolare:

- nel caso in cui il fornitore 1 sia caratterizzato da un'affidabilità che varia tra il 100% e il 90%, non risulta essere conveniente adottare una strategia di "dual sourcing". Infatti, l'affidabilità è sufficientemente alta da contenere le situazioni di stock out e quindi da non giustificare la

presenza di un secondo fornitore che comporta costi aggiuntivi di gestione, indipendenti dal numero di interventi;

- se l'affidabilità varia tra il 90% e il 70%, le due strategie si equivalgono, con una leggera convenienza nell'adottare una strategia di "dual sourcing". In questo caso, i costi addizionali legati al secondo fornitore bilanciano i costi derivanti da situazioni di out of stock, che caratterizzano lo scenario 1, con conseguente mancata vendita del prodotto;
- se l'affidabilità del fornitore 1 decresce ulteriormente (tra il 70% e il 7%), la strategia più conveniente torna ad essere quella di "single sourcing". La giustificazione a questo risultato, che potrebbe a primo impatto sembrare incongruente, è che l'azienda ordina sempre al fornitore 2 pagando un prezzo molto maggiore e questo comporta un forte aumento del costo totale di gestione. Paradossalmente e considerando solamente il punto di vista economico, risulta più conveniente avere un livello di servizio molto basso e incorrere frequentemente in situazioni di stock out, piuttosto che acquistare la merce presso un secondo fornitore ad un prezzo maggiorato. Naturalmente, riportando il tutto ad una situazione reale, la scelta più ragionevole sarebbe quella di valutare la possibilità di rivolgersi ad un fornitore di fiducia caratterizzato da un livello di affidabilità accettabile;
- infine, se l'affidabilità è inferiore al 7%, è preferibile adottare una strategia di dual sourcing". Questo significa che, nel caso di "single sourcing", il livello talmente basso genera sempre una situazione di out of stock.

2.2.5 Conclusioni

Il lavoro propone un approccio simulativo per risolvere un problema ampiamente studiato in letteratura, ovvero la scelta tra una strategia di single o multiple sourcing. È stato progettato un modello di simulazione sviluppato in MS Excel™ per analizzare due scenari differenti, ognuno dei quali rappresentativo delle due strategie. Per ogni scenario, è stata quindi analizzata la convenienza economica in funzione dell'affidabilità del fornitore di fiducia, andando a variare le due leve operative che caratterizzano la politica di riordino implementata (EOI).

Nonostante i risultati numerici siano dipendenti dai valori di input inseriti nel modello di simulazione, è stato possibile formulare una serie di considerazioni generali che potrebbero essere utilizzate nella realtà per ponderare la scelta della migliore strategia di approvvigionamento.

3 Sviluppo di uno strumento software per la stima delle prestazioni di un sistema produttivo

La misurazione delle performance di una supply chain, o più nello specifico di un sistema produttivo, è diventato un argomento sempre più discusso in letteratura. La gestione e l'organizzazione di un'azienda è considerata un'attività fondamentale per riuscire a consegnare un prodotto finito di alta qualità, ma al minimo costo (Wong and Wong, 2007). Il successo di un'efficace sistema di misurazione delle performance è strettamente legato alla scelta di appropriati metodi di misura delle stesse. Gli indicatori di performance individuati devono quindi essere misurabili e capaci di descrivere l'intero processo analizzato, in modo da permettere un continuo miglioramento del sistema. Tra questi, spesso vengono utilizzate specifiche voci di costo per valutare l'efficienza della supply chain. In aggiunta, esistono molti altri indicatori utilizzati per valutare il livello di soddisfazione del cliente finale e più in generale la prestazione globale del sistema (Estampe et al., 2013).

Il lavoro presentato di seguito si è focalizzato sulla valutazione delle performance di un sistema produttivo reale, con l'obiettivo di migliorare il sistema riducendo il consumo di una risorsa scarsa.

3.1 Sviluppo di un simulatore per la valutazione delle prestazioni di una rete idrica in uno stabilimento lattiero-caseario

Il lavoro deriva da un progetto di ricerca relativo allo sviluppo di un modello di simulazione realizzato per valutare le prestazioni di un sistema idrico di un'azienda che opera nel settore lattiero-caseario, situata nella provincia di Parma. L'approccio sviluppato permette di analizzare, tramite un processo di simulazione, le parti dell'impianto dove è possibile migliorare lo sfruttamento della risorsa idrica, attraverso semplici interventi di razionalizzazione. L'obiettivo finale è quello di ridurre il consumo di acqua dell'azienda. Per ottenere ciò, inizialmente è stato sviluppato un simulatore in grado di riprodurre la situazione attuale dell'azienda stessa ("Scenario As-is"), così da capire il funzionamento del sistema e individuare le zone di intervento. Successivamente, sono stati analizzati una serie di scenari alternativi ("Scenari To-be") per identificare la configurazione migliore. Il modello di simulazione è stato sviluppato con Microsoft Excel™ e sfruttando le potenzialità del linguaggio di programmazione VBA. Grazie a questo studio, è stato possibile individuare una configurazione ottimale, in grado di far risparmiare il 7.2% di acqua rispetto alla configurazione originale.

3.1.1 Introduzione

Il consumo di acqua nei paesi industrializzati è in continuo aumento; negli ultimi decenni lo sfruttamento delle risorse naturali e la loro contaminazione sono diventati un punto cruciale per la società. Infatti, l'utilizzo razionale della risorsa acqua è un punto chiave del concetto di sostenibilità (Kirby et al., 2003). Il consumo di acqua, specialmente al giorno d'oggi, rappresenta un punto centrale per il cambiamento della società moderna, a cause della sempre minore disponibilità delle risorse idriche, di regolamenti relativi alla qualità dell'acqua o del maggiore controllo da parte degli enti pubblici (Rogers and Luois, 2008). Di conseguenza, la risorsa idrica è diventata un fattore sempre più importanti per le aziende. L'acqua è infatti utilizzata in azienda per molti processi, specialmente se parliamo di aziende del settore alimentare: essa può essere infatti utilizzata come ingrediente, come parte del processo produttivo, a contatto diretto con gli alimenti o a contatto indiretto con il prodotto (Poretti, 1990). In molte industrie, una grande quantità di acqua viene utilizzata per i processi di pulizia delle macchine. Riciclare questa quantità potrebbe rappresentare una grande opportunità per diminuire il costo legato all'utilizzo della risorsa, migliorando il suo controllo e la sua gestione e allo stesso tempo ridurre l'impatto ambientale delle risorse naturali (Centi and Perathoner, 1999). Adottare soluzioni che portano al risparmio di acqua genera sempre dei benefici economici per l'azienda legati sia al costo di approvvigionamento o al costo energetico, sia al costo relativo al trattamento delle acque di scarico. Per tutti questi motivi, l'utilizzo razionale della risorsa idrica è stato oggetto di studio negli anni ed un importante tema di ricerca in diversi ambiti. Sicuramente è possibile affermare che il settore caseario è uno dei settori maggiormente interessato a questo tipo di ricerca a causa del suo rilevante consumo di acqua (Vourch et al., 2005; Sarkar et al., 2006). Infatti, una grande quantità di acqua viene utilizzata per i processi di lavaggio che durano dalle 4 alle 6 ore al giorno. Inoltre un altro grande ammontare di acqua viene utilizzato per una serie di processi e operazioni necessarie per ottenere il prodotto finale; per esempio, nel caso del Parmigiano Reggiano il processo di fermentazione necessita di una quantità di acqua considerevole. Infatti, la gestione della fermentazione, che porta da siero cotto a siero innesto prevede il raffreddamento della massa attraverso la regolazione della temperatura del macchinario. All'interno delle fermentiere, il siero cotto, cioè il siero residuo della lavorazione del latte per la produzione di Parmigiano nella giornata,

viene fatto fermentare per 20-22 ore fino all'ottenimento del siero innesto da utilizzare nella produzione del giorno seguente. I fermenti, già presenti nel siero, in particolari condizioni di tempo e temperatura sfruttano i nutrienti che si trovano nel siero e si accrescono. Il risultato è una distruzione della flora negativa e un aumento dei fermenti lattici. Questo processo richiede acqua di raffreddamento. È evidente come tale quantità potrebbe essere sfruttata in un secondo utilizzo, essendo acqua pulita e inquinata solo termicamente.

Questo lavoro si focalizza proprio su questo aspetto: come modificare il layout e il piping di una linea di distribuzione di acqua per ridurre l'utilizzo della stessa ed utilizzarla per più processi differenti, nel rispetto dei vincoli di qualità.

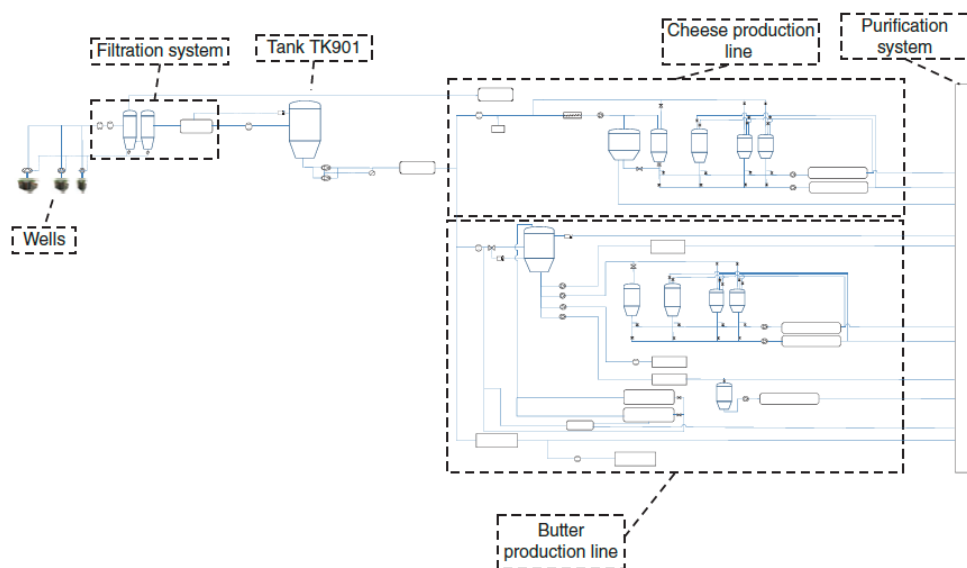
La prima parte dello studio è relativa all'analisi del sistema attuale ("Scenario As-is") e del modello di simulazione sviluppato *ad hoc* per riprodurre la linea di distribuzione di acqua. Successivamente verrà presentata un'analisi *what-if* per gli "Scenari To-be" considerati, ottenuti andando a modificare l'impianto originale per ottimizzare il consumo di acqua. Infine, si confronteranno i risultati ottenuti e riassumeranno i principali punti di interesse.

3.1.2 Il sistema attuale di distribuzione di acqua

Come già anticipato, il lavoro è caratterizzato consiste in un caso studio e prende in considerazione un'azienda lattiero-casearia situata in provincia di Parma. L'azienda, che è attiva nel settore da decenni e si occupa sia della produzione di parmigiano Reggiano, sia della produzione di burro, è una delle maggiori produttrici della zona con un volume di produzione giornaliero di 60 forme e circa 10 tonnellate di burro.

Il primo step dello studio consiste nell'analisi del sistema di distribuzione di acqua reale. Il layout del sistema As-is può essere diviso in due parti differenti con due circuiti di acqua indipendenti, uno per la produzione di formaggio (Caseificio - *Cheese production line*) e l'altro per la produzione di burro (Burrificio - *Butter production line*), come mostrato in Figura 9.

Figura 9: layout originale dell'impianto



Come si può notare, il sistema è caratterizzato da tre pozzi (*Wells*), dai quali viene prelevata l'acqua che viene successivamente trattata attraverso un processo di filtrazione (*Filtration system*), per poi essere stoccata in nel serbatoio principale, denominato Tank TK901. Questo serbatoio è fondamentale, in quanto fornisce l'acqua all'intero stabilimento. Una volta utilizzata, l'acqua viene scaricata in depuratore (*Purification system*).

Per quanto riguarda il Caseificio, il prelievo di acqua è associato a due processi principali: (1) il processo di fermentazione che utilizza acqua per raffreddare il siero cotto ottenuto dalla lavorazione del latte per la produzione di Parmigiano, con lo scopo di ottenere siero innesto da utilizzare il giorno successivo; (2) i cicli di lavaggio ed in particolare due sistemi CIP differenti che si occupano della sanificazioni di differenti parti dell'impianto e possono lavorare contemporaneamente essendo dotati di due linee differenti.

In generale, ogni ciclo di lavaggio può essere caratterizzato da diverse fasi tra loro sequenziali, che possono essere combinate in diversi modi: (1) risciacquo iniziale, (2) fase soda, (3) risciacquo intermedio, (4) fase acida, (5) risciacquo finale. In funzione dell'elemento lavato, ogni fase è caratterizzata da una specifica durata e portata. Inoltre, ogni linea CIP è composta da più serbatoi differenti, ognuno dei quali caratterizzato da una specifica funzione.

Nello scenario reale, il serbatoio contenente acqua utilizzata per i risciacqui (TK605), viene riempito da due fonti differenti: il serbatoio generale già citato TK901 e l'acqua tiepida derivante dal processo di fermentazione. In totale il volume di acqua utilizzato per i processi del Caseificio è di circa 50 m³.

La sezione Burrificio è leggermente differente rispetto alla sezione appena descritta. Infatti, oltre alle due linee CIP, sono presenti tutta una serie di processi che utilizzano l'acqua. In particolare: (1) il sistema di raffreddamento del siero, in quanto una volta separato dalla panna, il siero che si trova ad una temperatura di circa 50°C deve essere raffreddato a circa 16°C e (2) il sistema di pastorizzazione della panna, che deve essere riscaldata a 90°C e successivamente raffreddata.

Inoltre, in questo caso è presente un serbatoio principale (TK105) che riceve acqua fresca dal TK901 e acqua contaminata termicamente dai processi di raffreddamento siero e pastorizzazione panna. Questo fornisce l'acqua a tutti i processi della sezione Burrificio, esclusi raffreddamento siero e pastorizzazione panna che necessitano di acqua fresca proveniente dal TK901. In totale il volume di acqua utilizzato per tutti i processi della sezione Burrificio è di circa 160 m³.

3.1.3 Il modello di simulazione: descrizione generale

Come già anticipato, il flusso di acqua all'interno dell'azienda è stato riprodotto utilizzando un modello di simulazione sviluppato con MS Excel™. In particolare, è stato utilizzato un modello di simulazione ad eventi discreti per avere a disposizione uno strumento in grado di analizzare le performance del sistema reale. Il sistema viene quindi descritto attraverso una sequenza cronologica di eventi, dove ogni evento modifica lo stato dell'intero sistema. Per semplicità, il sistema non viene influenzato da variabile stocastiche, ma tutti gli eventi sono regolati da variabili deterministiche. Dal punto di vista pratico questo significa che ciascun processo viene eseguito in un determinato step ed è caratterizzato da valori di portata e durata fissi.

Per ottenere i dati di input del modello, è stata eseguita una campagna di misurazione delle portate in gioco, utilizzando un misuratore di portata ad ultrasuoni.

Per quanto riguarda la durata della simulazione, si è deciso di simulare 14 giorni lavorativi (due settimane complete), in quanto alcuni processi vengono svolti all'interno dell'azienda solamente due volte al mese, con uno step di simulazione di 1 minuto che offre un buon compromesso tra la durata e l'accuratezza della simulazione.

Naturalmente, MS Excel™ non è in grado di simulare il trascorrere del tempo. Tale problema è stato risolto utilizzando il linguaggio di programmazione VBA ed impostando opportuni cicli che permettessero di simulare l'avanzare del tempo; per ogni istante temporale (step di simulazione), il modello è in grado di modificare le variabili del sistema in funzione delle logiche impostate; infine vengono riportati i valori di tutte le variabili in un opportuno database.

Il modello consiste quindi in una serie di fogli di MS Excel™, che riportano rispettivamente il layout del sistema, i dati di input e il database che raccoglie i risultati finali (volume di ogni serbatoio, stato e portata dei componenti dell'impianto come pompe e valvole).

Nonostante VBA permetta una buona flessibilità in termini di programmazione e scrittura di un codice *ad hoc* per riprodurre delle logiche specifiche, è stato necessario introdurre alcune semplificazioni rispetto al funzionamento del sistema reale. È stato però concordato con il management aziendale che tali semplificazioni avessero un impatto minimo sui risultati forniti dal modello, che è stato validato confrontando i risultati ottenuti con i flussi reali monitorati presso l'azienda.

3.1.4 Risultati

Una volta lanciata la simulazione relativa allo "Scenario As-is", sono stati analizzati i principali risultati in termini di performance del sistema di distribuzione di acqua. Tale analisi ha evidenziato la presenza di due elementi critici del sistema:

- Il serbatoio TK605, contenente acqua utilizzata per i risciacqui del sistema Caseificio;
- Il serbatoio TK105, utilizzato per fornire acqua a quasi tutti i processi della sezione Burrificio

In particolare, la simulazione ha sottolineato il fatto che la capacità di tali serbatoi è inadeguata. Questo è causato sicuramente anche dalla schedulazione dei processi di lavaggio e delle fasi di produzione che non può però essere modificata a causa dei vincoli imposti dal processo produttivo. Questo risultato ha portato quindi a valutare configurazioni alternative che permettessero di risolvere il problema, con lo scopo ultimo di risparmiare la maggior quantità di acqua possibile.

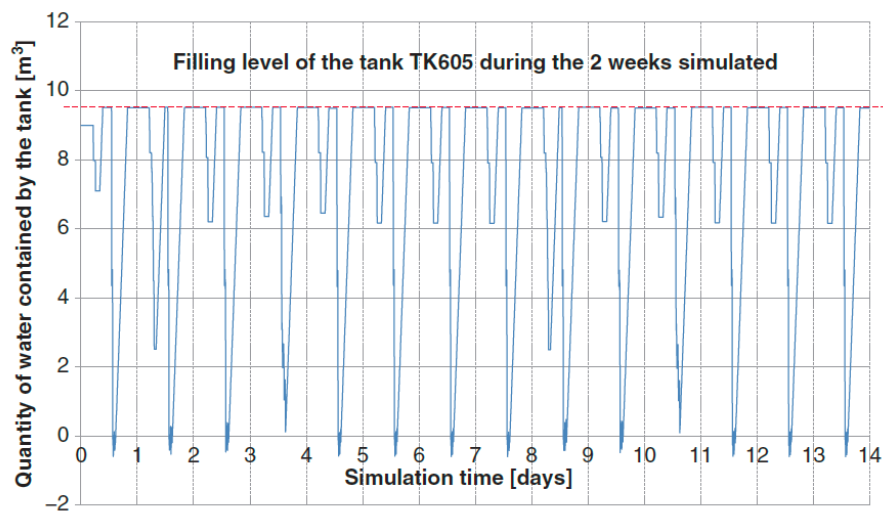
Di seguito sono riportati i principali risultati ottenuti per lo "Scenario As-is" e per le configurazioni To-be studiate. Per i dettagli si rimanda a: Marchini, D., Rinaldi, M., Montanari, R., Bottani, E., Solari, F., 2014. Performance analysis of the water supply system of a dairy company by means of an advanced simulation tool. *International Journal of Food Engineering*, 10(4), 557–571, ISSN (Online) 1556-3758, ISSN (Print) 2194-5764, DOI: 10.1515/ijfe-2013-0067.

3.1.4.1 Scenario As-is

Come già anticipato, il TK605 riceve acqua sia dal serbatoio principale TK901, sia dal processo di fermentazione. Il ciclo di lavorazione delle fermentiere è distribuito durante tutto il giorno e caratterizzato da una portata differente in funzione delle ore della giornata; il flusso maggiore viene registrato nelle ore notturne, tra le 18 e le 7 del giorno successivo ed in totale il processo utilizza circa 20 m³ di acqua al giorno. L'acqua utilizzata per i due CIP e prelevata dal serbatoio TK605 varia in

funzione del giorno della settimana, in quanto ogni giorno vengono eseguiti dei lavaggi differenti; in media si ha un consumo giornaliero di circa 33 m³. In generale, i lavaggi del Caseificio si concentrano nelle ore pomeridiane, una volta che il processo produttivo è terminato. Considerando quindi l'ammontare di risorsa idrica utilizzata dal processo di fermentazione e quella fornita ai CIP, è evidente che è possibile recuperare tutto il flusso proveniente dal processo per riutilizzarlo nel successivo processo di lavaggio. Il principale fattore che limita l'intero utilizzo di questa quantità di acqua è legato alla capacità del TK605 (9.5 m³) che non è in grado di stoccare un tale volume; infatti, come descritto, il processo di fermentazione fornisce al serbatoio la maggior quantità di acqua nelle ore notturne, mentre il serbatoio presenta un picco di utilizzo nelle ore pomeridiane. La Figura 10 mostra l'andamento del flusso di acqua nel serbatoio durante i 14 giorni simulati.

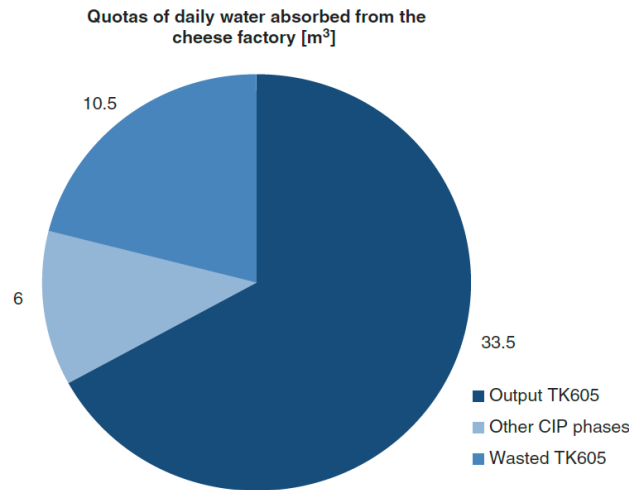
Figura 10: andamento del flusso di acqua per il TK605



Come si può notare la linea rossa tratteggiata indica la capacità massima del serbatoio. Una volta raggiunto tale valore, il serbatoio è costretto a scaricare a terra l'acqua in eccesso per mantenere il livello massimo consentito.

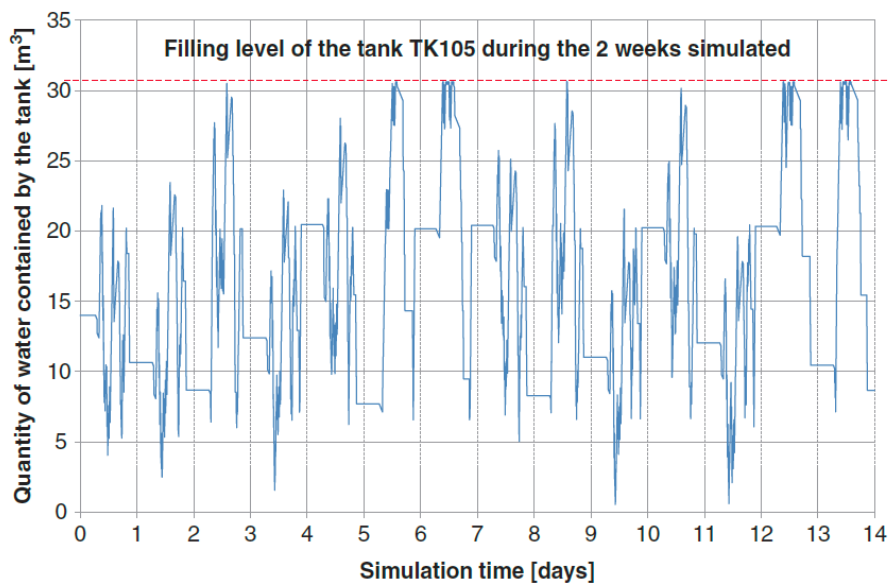
I risultati della simulazione ci confermano che, in media, viene scaricato giornalmente il 52.33% di acqua proveniente dalle fermentiere, che potrebbe essere riutilizzata per i lavaggi CIP. Inoltre, considerando il consumo totale di acqua del settore Caseificio, si potrebbe risparmiare il 21.14% di acqua che invece viene scaricata a terra, come presentato in Figura 11. Questo risultato porta ad affermare che è giustificato un investimento per incrementare la capacità del serbatoio TK605.

Figura 11: utilizzo giornaliero di acqua per la sezione Caseificio per un totale di 50 m³



Per quanto riguarda, invece la sezione Burrificio, abbiamo già anticipato che l'elemento critico è rappresentato dal TK105 che ha il compito di fornire acqua a quasi tutti i processi del settore. Anche in questo caso, il serbatoio è approvvigionato da una fonte multipla: il TK901 ed i processi di raffreddamento e pastorizzazione che forniscono acqua microbiologicamente pulita, ma inquinata termicamente. I cicli di lavorazione dei due processi sono i seguenti: (1) il raffreddatore lavora 6 ore/gg (con inizio alle 8 del mattino) per tutti i giorni della settimana con un consumo giornaliero di 54 m³; (2) il processo di pastorizzazione termina due ore dopo, ma è attivo per 5 giorni a settimana con un consumo giornaliero di 24 m³. In questo caso, il TK105 ha una capacità massima di 32 m³ e i lavaggi CIP sono spalmati lungo tutta la giornata. La Figura 12 mostra l'andamento del flusso di acqua nel serbatoio durante i 14 giorni simulati. Anche in questo caso, a causa di situazioni di non contemporaneità, il serbatoio raggiunge in alcuni momenti il livello massimo e si trova a scaricare a terra acqua che potrebbe invece riutilizzare; questa situazione è particolarmente accentuata durante i week end, in quanto il reparto Burrificio non lavora, ma il raffreddatore è comunque in funzione e fornisce acqua al serbatoio TK105.

Figura 12: andamento del flusso di acqua per il TK105



I risultati relativi allo scarico di acqua che potrebbe essere riutilizzata sono molto più confortanti rispetto a quanto registrato per la sezione Caseificio. Infatti, vengono mediamente scaricati circa 5 m³/giorno. Questo valore, che sembra essere molto basso, è in realtà una media calcolata sui 14 giorni simulati, ma come già menzionato, i valori più significativi si riscontrano nei giorni festivi (sabato e domenica) con un picco di 23 m³ scaricati.

3.1.4.2 Analisi what-if

Dopo aver identificato i punti critici del sistema As-is, si è cercato di delineare una serie di azioni correttive, con lo scopo di diminuire o eliminare lo scarto di acqua potenzialmente utilizzabile. In questo paragrafo vengono riportati i principali risultati ottenuti per i due scenari To-be analizzati.

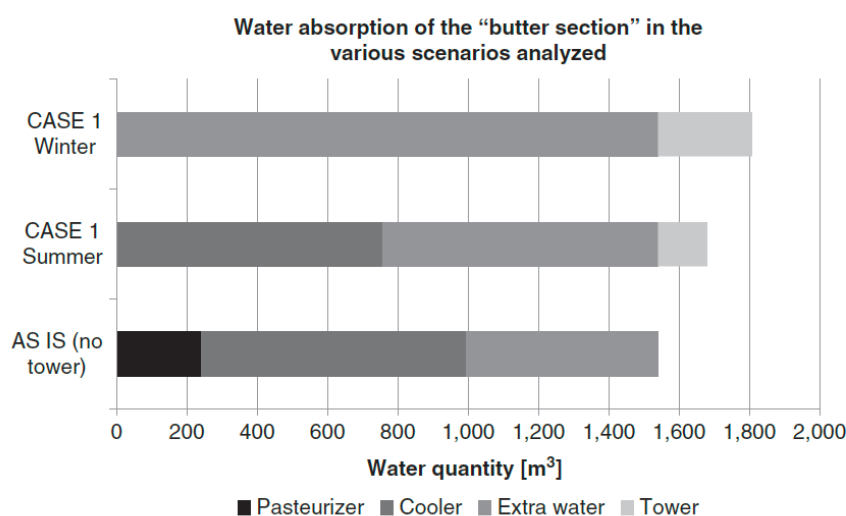
Analisi what-if scenario #1: aumento della capacità del TK605 e introduzione di una torre di evaporazione

Questa prima configurazione è stata pensata con lo scopo di trattare e ottimizzare separatamente le due sezioni Caseificio e Burrificio.

In particolare, si aumenta il volume del serbatoio TK605 a 30m³, per permettere allo stesso di stoccare, soprattutto nelle ore notturne, tutta l'acqua proveniente dal processo di fermentazione. Nel reparto Burrificio si introduce invece una torre di evaporazione capace di fornire l'acqua fresca al raffreddatore e al pastorizzatore, in modo da eliminare la chiamata di acqua da pozzo.

Se la soluzione adottata nel Caseificio è risultata essere adeguata, la soluzione proposta per il Burrificio ha rilevato una serie di complicazioni. Prima di tutto l'efficienza della torre è fortemente legata al susseguirsi delle stagioni ed alla temperatura ambientale. Infatti, durante il periodo invernale la torre è in grado di soddisfare tutta la richiesta di acqua dei due processi, cosa che non accade durante il periodo estivo. Inoltre, l'acqua proveniente dalla torre non può poi essere riutilizzata e quindi invece di essere indirizzata verso il TK105, viene scaricata in depuratore. Ad ogni modo, nonostante il consumo di acqua della torre sia molto minore rispetto alla chiamata di acqua da pozzo del pastorizzatore e del raffreddatore, è risultato che il consumo di acqua totale aumenta con l'adozione di questa soluzione. Questo è dovuto al fatto che, nella situazione As-is, l'acqua utilizzata dai due processi, viene poi recuperata dal TK105 ed utilizzata per i lavaggi CIP. Di conseguenza e soprattutto nel periodo invernale, se i due processi non forniscono più acqua al serbatoio, questo è costretto a chiamare a sua volta acqua direttamente da pozzo. Paradossalmente, maggiore è l'efficienza della torre, più aumenta il consumo totale di acqua del reparto Burrificio, come mostrato in Figura 13.

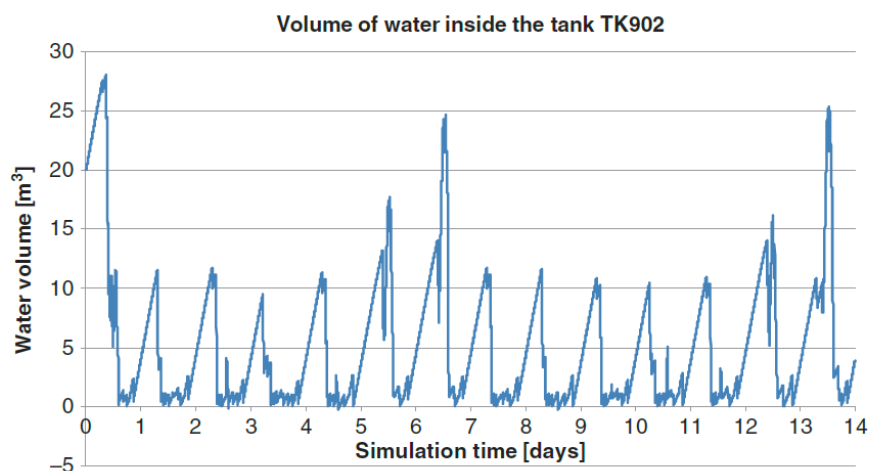
Figura 13: acqua assorbita in totale dal Burrificio in due settimane; confronto tra Scenario As-is e Analisi what-if scenario #1



Analisi what-if scenario #2: introduzione di un nuovo serbatoio parallelo a TK901

Nella seconda configurazione proposta, si ragiona invece in un’ottica di ottimo globale e non di ottimo locale come nel caso precedente. A tal scopo, si è pensato all’introduzione di un nuovo serbatoio (TK902) da affiancare al serbatoio principale TK901. Tale elemento ha il compito di stoccare l’acqua che viene scaricata a terra sia da TK605 sia da TK105, che rappresentano i due elementi critici dell’intero sistema. Infatti, TK902 lavora come un buffer inter operativo con lo scopo di scollegare il recupero di acqua dai processi e il prelievo della stessa da parte delle varie linee del sistema. Questo nuovo serbatoio sarà quindi collegato ai due elementi critici che gli forniranno acqua e contemporaneamente alimenterà le quattro linee dei CIP (due per sezione), in modo da utilizzare l’acqua di recupero per le varie fasi di lavaggio. La capacità del TK902 non è stata definita a priori, ma è stata ottenuta tramite le simulazioni. Come si può notare dalla Figura 14, il livello massimo viene raggiunto la domenica, giorno in cui il Burrificio non lavora, ma il TK105 riceve acqua dal raffreddatore che è comunque in funzione tutti i giorni. In questo caso, invece di scaricare a terra, il TK105 fornisce acqua al nuovo serbatoio.

Figura 14: andamento del flusso di acqua di recupero per il TK902



Naturalmente, il serbatoio tende ad aumentare il suo volume la notte o nei giorni festivi, ovvero quando i lavaggi CIP sono fermi, mentre durante gli altri giorni il volume massimo raggiunto è contenuto. Ad ogni modo, possiamo concludere affermando che un serbatoio di capacità pari a 30 m³ sembra essere appropriato per far fronte alla domanda di acqua dell'intero sistema. Quindi, se opportunamente dimensionato, il TK902 permetterebbe di risparmiare in due settimane l'ammontare di acqua utilizzata per un intero giorno produttivo, o in termini percentuali, circa il 7.2% del consumo giornaliero medio.

3.1.5 Conclusioni

A causa dell'incremento del costo dell'acqua, il riutilizzo di questa risorsa è diventato un fattore sempre più importante per le industrie del settore alimentare. La ricerca sviluppata ha come obiettivo primario la misurazione del consumo di acqua in un'azienda reale che opera nel settore lattiero-caseario. Dopo un'attenta analisi del sistema attuale, sono stati individuati gli elementi critici del sistema e sono state proposte due configurazioni alternative che permettessero di sfruttare al meglio la risorsa idrica.

Il modello di simulazione sviluppato si è rivelato uno strumento fondamentale per l'azienda essendo in grado di valutare le performance di un nuovo sistema, prima della sua effettiva realizzazione. In questo senso, la simulazione è lo strumento ottimale per prendere decisioni strategiche attraverso l'analisi *what-if*, in un modo veloce ed economico.

Analizzando i risultati ottenuti dall'analisi To be, risulta evidente come lo scenario "what-if scenario #2" sia quello più interessante, essendo in grado di ridurre il consumo di acqua, con un intervento sul layout dell'impianto.

I risultati sono naturalmente specifici per il caso studio analizzato e non possono essere generalizzati. Tuttavia, lo stesso approccio potrebbe essere utilizzato in aziende dello stesso settore.

4 L'utilizzo di tool di simulazione per la valutazione delle performance di una supply chain

Una supply chain è un sistema composto da fornitori, produttori, trasportatori, magazzini, centri di distribuzione, punti vendita e clienti che cooperano con lo scopo di realizzare un prodotto e consegnarlo al cliente finale (Cooper et al., 1997; Tuzkaya and Önüt 2009). Oggigiorno, le strutture di questi sistemi stanno diventando sempre più articolate. La complessità di una supply chain è particolarmente legata al numero di livelli e al numero di attori per livello (Beamon, 1999). Il successo o il fallimento dipende inoltre dalla corrispondenza tra le strategie implementate e dalle caratteristiche del mercato considerando la natura della domanda. Infatti, consegnare il giusto prodotto nel giusto tempo è un aspetto cruciale per la sopravvivenza di una supply chain. Quanto appena affermato porta al bisogno di misurare e monitorare le performance dell'intero sistema per individuare possibili miglioramenti. Questa attività diventa essenziale quando la gestione della catena di fornitura diventa il fattore chiave per il successo del sistema stesso (Waters and Waters, 2007).

Nel presente paragrafo verranno analizzati tre studi differenti; in particolare, si riprodurranno tre sistemi differenti tramite specifici modelli di simulazione con l'obiettivo comune di valutare le performance del sistema stesso.

4.1 Analisi della propagazione della domanda in una rete tramite l'utilizzo di un modello probabilistico

Il presente lavoro introduce un nuovo approccio per la previsione dell'andamento della domanda vista da un attore di una network, secondo una politica di riordino di tipo EOQ. Tale approccio è stato studiato per essere molto semplice da implementare, attribuendo così un valore pedagogico allo stesso. Il fatto di poter utilizzare software comuni a tutti, come MS Excel™, conferma la sua semplicità dell'approccio proposto. Studenti e ricercatori possono usufruire dello stesso grazie alla sua facilità di comprensione e utilizzo. Inoltre, l'approccio può essere facilmente implementato direttamente dai professionisti coinvolti, come manager aziendali, per stimare la distribuzione della domanda di un attore di un livello che fa parte di una definita rete logistica. Infine, vengono proposti due applicazioni pratiche per mostrare il potenziale utilizzo del modello in casi reali e vengono calcolati una serie di parametri per la misurazione delle performance della rete analizzata; in particolare (1) l'effetto bullwhip e (2) l'impatto dei vari attori dello stesso livello sulla variabilità della domanda vista dal livello superiore.

4.1.1 Introduzione

La pianificazione e la gestione di una network logistica è un tema fondamentale, dato che coinvolge tutti gli attori e le operazioni necessarie per produrre, stoccare e consegnare il prodotto al cliente finale. Una delle maggiori sfide per una corretta gestione della supply chain è quella di legare le quantità prodotte con la domanda del cliente finale, con lo scopo di ottimizzare le consegne e il livello del magazzino (Ganeshan and Harrison, 1995). Una delle caratteristiche importanti per una rete logistica è il fatto che la domanda vista da un attore deriva dall'evasione dell'ordine di più clienti (o mercati) facenti parte della stessa rete e questo non è considerato in una semplice supply chain (Ouyang and Li, 2010). È quindi necessario individuare un adeguato bilanciamento tra il livello del magazzino e la soddisfazione del cliente finale: infatti, quando una rete include più attori per livello, le scorte del produttore finale possono aumentare considerevolmente per far fronte all'incremento del livello di incertezza e questo può portare ad elevati costi di stoccaggio (Feigin, 1999; Monthatipkul and Yenradee, 2008). Naturalmente, il problema è particolarmente rilevante per gli attori che si trovano a monte della rete e che si trovano ad affrontare la domanda derivante da più livelli (Bottani and Montanari, 2008). Di conseguenza, nonostante le scorte possano essere indipendenti tra i vari attori, è necessaria una visione globale ed integrata della rete (Randal and Urlich, 2001). A tal proposito, una possibile strategia per tenere sotto controllo il livello del magazzino di un attore situato a monte della network è quella di prevedere la domanda di quegli attori che si trovano a valle e si interfacciano con il cliente finale. Il tema dell'inventario management in una network logistica è diventato sempre più diffuso ed ha attirato l'attenzione di un numero sempre maggiore di ricercatori: questo è il focus del lavoro presentato. Legato a ciò, molto diffuso è anche il problema del livello delle scorte di sicurezza e dell'incremento della variabilità dell'ordine tra attori (effetto bullwhip).

Molti studi hanno concluso che la variabilità della domanda può essere tenuta sotto controllo tramite meccanismi di coordinamento tra attori. In realtà, nessuno studio si è mai direttamente focalizzato nella modellazione della domanda vista da un attore di una network logistica, né ha mai fornito una formulazione analitica di tale domanda. Probabilmente, ciò è dovuto alla grande complessità delle reti, che rende difficile l'applicazione di un modello analitico. Infatti, le soluzioni analitiche proposte per

risolvere tale problema risultano essere estremamente complesse e forniscono una scarsa adattabilità alla loro implementazione nella pratica (Banks and Malave, 1984).

Alla luce di questa premessa, si è cercato di contribuire alla letteratura odierna introducendo un semplice modello in grado di prevedere l'andamento della domanda vista da un attore di una rete logistica (centro di distribuzione, DC) che serve numerosi punti vendita (RS) che adottano una politica di riordino di tipo EOQ (Economic Order Quantity). Il modello, basato su un approccio analitico, assume un valore pedagogico dato che è stato sviluppato per essere particolarmente semplice da comprendere ed applicare. Inoltre, la sua facilità di utilizzo, potrebbe spingere manager aziendali ad utilizzare lo stesso, che è facilmente applicabile a situazioni reali e può essere implementato utilizzando MS Excel™, disponibile e conosciuto a livello globale.

Il lavoro è organizzato nel seguente modo: prima di presentare il modello, viene mostrata la rete logistica. Successivamente, i risultati ottenuti dall'approccio vengono validati attraverso l'utilizzo della simulazione. Infine vengono analizzati una serie indicatori di performance per mostrare la possibile applicazione del modello ad una situazione reale.

4.1.2 La configurazione della rete logistica

Prima di presentare l'approccio metodologico e descrivere la rete analizzata, vengono definiti i parametri considerati nello studio e descritti nella seguente nomenclatura.

- **Parametri della Network:**

N = numero di RS all'interno della supply network ($i=1, \dots, N$);

σ_{Rtot} = deviazione standard totale della domanda degli N punti vendita [items/giorno];

- **Parametri del Punto vendita (Retail stores - RS):**

$D_i (\mu_i; \sigma_i)$ = domanda vista dall' i -simo RS, con media μ_i [items/giorno] e deviazione standard σ_i [items/giorno] (variabile stocastica);

EOQ_i = lotto economico di riordino dell' i -simo RS [items];

OP_i = livello di riordino dell' i -simo RS [items];

$\overline{\Delta T}_i$ = intervallo di riordino medio dell' i -simo RS [giorni];

- **Parametri del modello (Distribution center – DC):**

p_i = probabilità che l' i -simo RS evada un ordine al DC;

q_i = probabilità che l' i -simo RS non evada un ordine al DC;

m = possibili combinazioni differenti delle quantità ordinate dagli N punti vendita ($j=1, \dots, m$);

$DDC (\mu_{DC}; \sigma_{DC})$ = variabile stocastica che descrive la domanda giornaliera vista dal DC, con media μ_{DC} [items/giorno] e deviazione standard σ_{DC} [items/giorno];

D_{DCj} = j -simo valore della domanda vista dal DC [items/giorno]. Questo parametro descrive i possibili valori visti dal DC, ottenuti applicando il modello;

$p_{D_{DC_j}}$ = probabilità che si verifichi D_{DC_j} ;

- **Parametri della simulazione:**

N_{days} = durata della simulazione ($t=1, \dots, N_{days}$) [giorni];

$D_{t,i}$ = domanda specifica vista dall'i-simo RS al tempo t [items/giorno]

$I_{t,i}$ = scorta fisica per l'i-simo RS al tempo t [items];

$I_{t,i}^{TH}$ =scorta teorica per l'i-simo RS al tempo t [items];

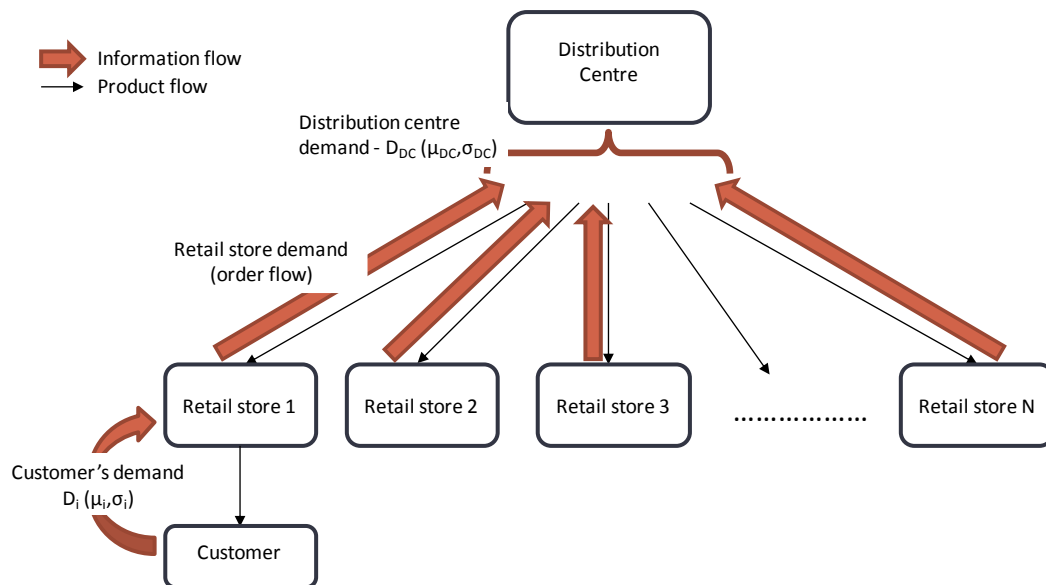
$Q_{oos,t,i}$ = out-of-stock per l'i-simo RS al tempo t [items/giorno];

$Q_{t,i}$ = quantità ordinata dall'i-simo RS al tempo t [items];

LT = lead time di approvvigionamento per un generico RS [giorni].

Per quanto riguarda la rete studiata, si tratta di una network a due livelli composta da un centro di distribuzione (*Distribution Centre* - DC) e N punti vendita (*Retail store* - RS, con $i=1, \dots, N$) serviti direttamente dal DC. Il modello ha quindi l'obiettivo di descrivere l'andamento della domanda vista da DC, che risulta dagli ordini evasi dai vari RS.

Figura 15: rete logistica analizzata



Inoltre, per poter formulare il problema sono state considerate le seguenti assunzioni: la domanda del cliente finale (*Customer*), vista dai vari RS è considerata stazionaria e viene generata come una sequenza di numeri casuali considerando una qualsiasi distribuzione statistica; infatti, per implementare il modello non è importante conoscere il tipo di distribuzione, ma è sufficiente conoscere per ogni RS la media μ_i e la deviazione standard σ_i . In questo modo, la domanda dei vari clienti finali risulta essere indipendente, così come la domanda tra i vari RS. Infatti, nello studio non è considerato il caso di domanda correlata tra i vari RS; questa potrebbe essere vista come una limitazione del modello, nonostante tale assunzione sia abbastanza comune negli studi relativi alla supply chain (vedere, ad esempio, Kelle and Milne, 1999; Hezarkhani and Kubiak, 2013; Wang and

Axsater, 2013). Inoltre, la rete opera in condizioni di lead time di approvvigionamento deterministico tra il DC e gli RS.

Come già anticipato, gli RS gestiscono il magazzino attraverso una politica EOQ: giornalmente viene controllato il livello di inventory; se questo risulta essere inferiore al livello di riordino OP_i , il punto vendita ordina una quantità pari al lotto di riordino EOQ_i al DC. Altrimenti non viene evaso nessun ordine. A questo punto, per ogni giorno, la domanda vista dal DC non è altro che la somma degli ordini evasi dagli N punti vendita nello stesso giorno.

Per quanto riguarda il modello sviluppato, le informazioni necessarie per poter prevedere l'andamento della domanda sono, per ogni RS, il valore di EOQ_i e di μ_i , mentre non è necessario conoscere anche il parametro OP_i . Nella pratica questi due valori sono facilmente reperibili da parte del centro di distribuzione. Infatti, il DC si interfaccia direttamente con gli RS e di conseguenza conosce il valore del lotto di riordino. Allo stesso modo, il valore medio della domanda vista dagli RS può essere facilmente ottenuto chiedendo agli stessi di fornire un valore medio della domanda del cliente finale.

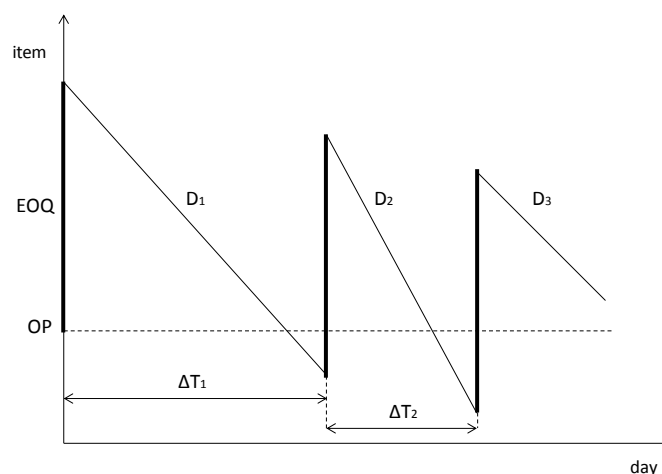
4.1.3 L'approccio probabilistico

Come già anticipato, lo scopo del lavoro è quello di determinare la distribuzione della domanda per una rete logistica multi livello. Per far ciò, è stato utilizzato un approccio probabilistico. La probabilità che il DC riceva un ordine dal i-simo punto vendita in un infinitesimo intervallo temporale denominato dt , può essere definita come il rapporto tra dt e l'intervallo di riordino medio $\overline{\Delta T}_i$, ovvero $dt/\overline{\Delta T}_i$. Se consideriamo la probabilità p_i che DC riceva un ordine dal i-simo punto vendita nell'istante $dt=1$ giorno, possiamo ottenere la seguente formulazione:

$$p_i = 1/\overline{\Delta T}_i, \quad i=1, \dots, N \quad [\%] \quad (11)$$

L'equazione 11 è valida considerando l'assunzione implicita che non esiste la possibilità per il punto vendita di emettere più di un ordine al giorno. Quindi, per esempio, se l'intervallo di riordino di un generico RS è 3 giorni, la probabilità che il DC riceva un ordine in un generico giorno sarà di 1/3. La Figura 16 mostra un esempio del processo di riordino del RS.

Figura 16: politica di riordino EOQ



Partendo quindi dai parametri di input descritti precedentemente, ed in particolare dalla logica della politica di riordino utilizzata nello studio, possiamo assumere che l'intervallo di riordino medio dell'i-simo RS, $\overline{\Delta T}_i$ ($i=1, \dots, N$), sia:

$$\overline{\Delta T}_i = \frac{EOQ_i}{\mu_i} \left[\frac{\text{item}}{\text{item/day}} \right] \quad (12)$$

Di conseguenza, la probabilità che il Dc riceva un ordine dall'i-simo punto vendita è:

$$p_i = \frac{1}{EOQ_i/\mu_i} = \frac{\mu_i}{EOQ_i} \quad [\%] \quad (13)$$

Di conseguenza, la probabilità q_i che, in un generico giorno, l'i-simo RS non evada un ordine è:

$$q_i = 1 - p_i = 1 - \frac{\mu_i}{EOQ_i} \quad [\%] \quad (14)$$

Sulla base di quanto formulato, è stata definite una procedura di 4 step per determinare l'andamento della domanda vista dal DC che serve N punti vendita RS.

Step 1

La domanda vista dal DC, di seguito denominata D_{DCj} , deriva dall'aggregazione del flusso degli ordini degli N punti vendita serviti. Lo Step 1 della procedura consiste nell'identificare tutte le possibili combinazioni m ($j=1,2,\dots,m$) relative alla quantità ordinata ogni giorno dai punti vendita. Dato che i punti vendita operano secondo una politica EOQ, lo Step 1 richiede di identificare tutte le possibili combinazioni ottenute aggregando i valori di EOQ, partendo dalla situazione in cui nessun RS ordina, per arrivare alla situazione in cui tutti i punti vendita ordinano contemporaneamente.

Per fare un esempio, supponiamo di avere tre punti vendita differenti ($N=3$), il cui lotto di riordino corrisponde a EOQ_1 , EOQ_2 e EOQ_3 . In un generico giorno, la domanda vista dal DC può assumere i seguenti valori:

- $D_{DC_1} = 0$ se nessuno dei punti vendita ordina;
- $D_{DC_2} = EOQ_1$ se solo il punto vendita 1 ordina;
- $D_{DC_3} = EOQ_2$ se solo il punto vendita 2 ordina;
- ... $D_{DC_8} = EOQ_1 + EOQ_2 + EOQ_3$ se tutti i punti vendita ordinano.

Quindi, per N punti vendita, si hanno in totale $m=2N$ possibili combinazioni, che corrispondono a tutti i possibili valori che DDC può assumere.

Step 2

Partendo dalla probabilità $p_i = \frac{\mu_i}{EOQ_i}$ e $q_i = 1 - \frac{\mu_i}{EOQ_i}$ che il generico punto vendita i-simo emetta o no un ordine in un generico giorno, può essere calcolata la probabilità di avere uno specifico valore di D_{DCj} . Chiamiamo $p_{D_{DCj}} = p \{ D_{DC} = D_{DCj} \}$ la probabilità che il DC riceva un determinato ordine totale tra tutti i j-simi possibili valori; D_{DCj} risulta quindi da una data combinazione di ordini di alcuni punti vendita, mentre altri punti vendita non emettono l'ordine. Dal punto di vista analitico, $p_{D_{DCj}}$ può essere calcolata come:

$$p_{D_{DC_j}} = \prod_k p_k \times \prod_z q_z \quad (15)$$

Dove $k \leq N$ indica gli RS che emettono un ordine, mentre $z = N - k$ denota i punti vendita che non emettono l'ordine in quel generico giorno. Per continuare l'esempio precedente, abbiamo visto come per 3 punti vendita differenti possiamo avere $m=8$ possibili valori differenti, da $D_{DC_1} = 0$ a $D_{DC_8} = EOQ_1 + EOQ_2 + EOQ_3$. Di conseguenza, la probabilità $p_{D_{DC_1}}$ che la domanda vista dal DC sia uguale a zero sarà:

$$\begin{aligned} p_{D_{DC_1}} &= p\{D_{DC} = D_{DC_1} = 0\} = \left(\prod_{i=1}^3 q_i \right) = \left(\prod_{i=1}^3 \left(1 - \frac{\mu_i}{EOQ_i} \right) \right) = \\ &= \left(1 - \frac{\mu_1}{EOQ_1} \right) \times \left(1 - \frac{\mu_2}{EOQ_2} \right) \times \left(1 - \frac{\mu_3}{EOQ_3} \right) \end{aligned}$$

La stessa procedura può essere implementata per tutti i possibili valori D_{DC_j} , $\forall j = 1, \dots, m$.

L'equazione (15) può essere notevolmente semplificata, nel caso in cui tutti i punti vendita operano nelle stesse condizioni in termini di lotto di riordino e domanda media; in questo caso specifico $EOQ_i = EOQ \forall i = 1, \dots, N$ and $\mu_i = \mu \forall i = 1, \dots, N$.

In questo caso abbiamo:

$$p_{D_{DC_j}} = \binom{m}{j} \left(\frac{\mu}{EOQ} \right)^j \left(1 - \frac{\mu}{EOQ} \right)^{m-j} \quad (16)$$

Dove ($m \geq j$) e $\binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!}$.

Step 3

Tutti i risultati ottenuti dallo step precedente devono essere riassunti in una tabella, dove ogni possibile valore di D_{DC_j} , deve essere affiancato al rispettivo valore di probabilità $p_{D_{DC_j}}$, $\forall j = 1, \dots, m$. Successivamente, i valori di D_{DC_j} devono essere ordinati in ordine crescente.

Step 4

L'ultimo step inizia con il verificare che, nella tabella ottenuta precedentemente, non vi siano valori di D_{DC_j} uguali (i.e., $D_{DC_j} = D_{DC_l}$, with $j \neq l$, and $j, l = 1, \dots, m$). In realtà questo potrebbe accadere in quanto differenti combinazioni di valori potrebbero dare come risultato finale uno stesso valore. In questo caso le probabilità corrispondenti vengono sommate e un unico valore di probabilità $p_{D_{DC_j}}$ viene associato al valore di D_{DC_j} . Continuando il nostro esempio, supponiamo di avere i seguenti valori de EOQ per i tre punti vendita: $EOQ_1 = 100$ pezzi; $EOQ_2 = 150$ pezzi; $EOQ_3 = 50$ pezzi. É immediato osservare che $D_{DC_3} = EOQ_2 = 150$ pezzi e che $D_{DC_6} = EOQ_1 + EOQ_3 = 150$ pezzi. In questo caso abbiamo due valori uguali di D_{DC_j} , per ognuno dei quali viene calcolata una probabilità di accadimento:

$$\begin{aligned} p_{D_{DC_3}} &= p\{D_{DC} = D_{DC_3} = EOQ_2\} = \left(1 - \frac{\mu_1}{EOQ_1} \right) \left(1 - \frac{\mu_3}{EOQ_3} \right) \left(\frac{\mu_2}{EOQ_2} \right) \\ p_{D_{DC_6}} &= p\{D_{DC} = D_{DC_6} = EOQ_1 + EOQ_3\} = \left(\frac{\mu_1}{EOQ_1} \right) \left(\frac{\mu_3}{EOQ_3} \right) \left(1 - \frac{\mu_2}{EOQ_2} \right) \end{aligned}$$

In totale, avremo quindi un unico valore di probabilità associato al valore $D_{DC}=150$, calcolato come segue:

$$p\{D_{DC} = 150\} = p_{D_{DC_3}} + p_{D_{DC_6}} =$$

$$= \left(1 - \frac{\mu_1}{EOQ_1}\right) \left(1 - \frac{\mu_3}{EOQ_3}\right) \left(\frac{\mu_2}{EOQ_2}\right) + \left(\frac{\mu_1}{EOQ_1}\right) \left(\frac{\mu_3}{EOQ_3}\right) \left(1 - \frac{\mu_2}{EOQ_2}\right)$$

Quanto appena descritto, viene ripetuto ogni volta che si presentano due o più valori uguali di domanda D_{DC_j} .

4.1.4 La validazione del modello tramite simulazione

Per validare il modello proposto è stato realizzato un modello di simulazione ad eventi discreti, utilizzando MS Excel™. Il modello in questione è composto da una serie di file e include: N fogli di calcolo, uno per ogni punto vendita della rete; in particolare, ogni foglio fornisce il flusso degli ordini generato dal punto vendita, secondo una politica di riordino EOQ. Come descritto precedentemente, per ogni RS viene generata una domanda casuale del cliente finale (utilizzando una distribuzione uniforme), da utilizzare come dato di input. Infine sono state inserite una serie di equazioni che permettono di simulare la logica della politica scelta. Come output si ottiene il flusso degli ordini per ogni RS. Oltre a ciò, è presente un foglio di calcolo per il centro di distribuzione, dove la domanda giornaliera vista dallo stesso è data dall'aggregazione delle domande di ogni RS nello stesso giorno.

È bene precisare che in questo studio non è stata presa in considerazione nessuna voce di costo. Infatti, lo scopo della ricerca non è quella di minimizzare il costo di gestione dell'inventario della rete logistica. L'obiettivo è quello di riuscire a prevedere l'andamento della domanda per ottimizzare le performance del DC e più in generale della rete. Si ipotizza quindi che ogni RS operi secondo idonee condizioni di gestione scorte e che il valore di EOQ_i sia costante nel tempo.

La validazione del modello è stata pensata considerando due scenari:

- Scenario 1: 10 punti vendita che hanno tutti caratteristiche differenti in termini di lotto di riordino (EOQ_i , $i=1,\dots,N$) e domanda del cliente finale (μ_i , $i=1,\dots,N$);
- scenario 2: si tratta di una configurazione semplificata, dove i 10 punti vendita operano tutti nelle stesse condizioni; quindi $EOQ_i=EOQ$, $\forall i=1,\dots,N$ e $\mu_i=\mu$, $\forall i=1,\dots,N$.

Per i dettagli relativi ai dati di input inseriti nel modello di simulazione e nel modello probabilistico si riporta alla seguente pubblicazione scientifica: Montanari, R., Ferretti, G., Rinaldi, M., Bottani, E., In press. Investigating the demand propagation in EOQ supply networks using a probabilistic model. International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543.2014.917772.

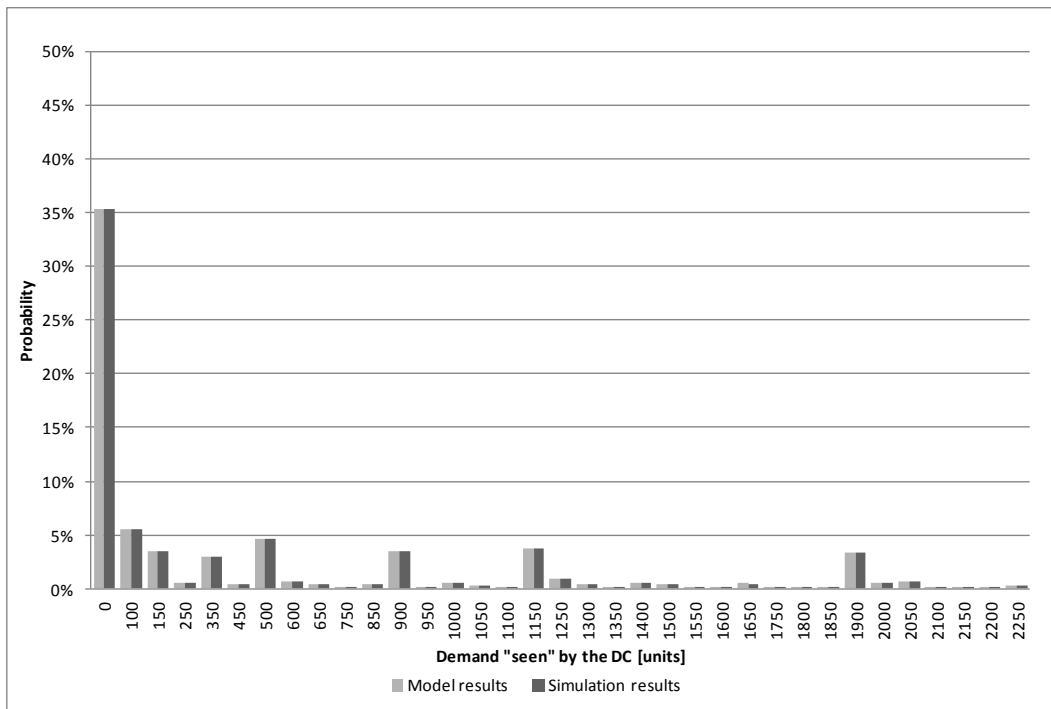
4.1.4.1 Scenario 1: implementazione e validazione del modello

Come già anticipato, in questo scenario si considerano 10 punti vendita tutti diversi, ovvero che operano in condizioni differenti.

Ripercorrendo gli Step descritti precedentemente, avremo $N=10$ e quindi $m=2N=1024$ possibili valori che la domanda vista dal DC può assumere D_{DC_j} ($j=1,\dots,1024$). Questi valori variano da $D_{DC_1}=0$ pezzi (quando nessun RS ordina) a $D_{DC_{1024}} = \sum_{i=1}^{10} EOQ_i$ pezzi (quando tutti i punti vendita ordinano).

Sarebbe troppo lungo riportare tutti gli step dell'approccio considerando anche il numero di possibili combinazioni; ad ogni modo vengono eseguiti tutti i passi descritti. Una volta finita la procedura per tutti i 1024 possibili valori, si ottiene la frequenza della domanda vista dal DC, la cui rappresentazione è proposta in Figura 17.

Figura 17: Scenario 1 - frequenza della domanda vista dal DC – confronto tra risultato dell'approccio probabilistico e modello di simulazione



Per testare la correttezza dei risultati ottenuti, una volta applicato l'approccio probabilistico si sono utilizzati gli stessi dati di input per simulare la stessa rete attraverso il modello implementato in MS Excel™; i risultati ottenuti sono stati utilizzati per ricavare la frequenza della domanda del DC, tramite le funzioni di MS Excel™. La Figura 17 mostra il confronto tra i due approcci utilizzati.

Dal punto di vista quantitativo è stato inoltre calcolato l'errore assoluto del modello in percentuale, che è risultato essere contenuto, soprattutto per i valori di domanda caratterizzati da una frequenza maggiore (inferiore all'1%).

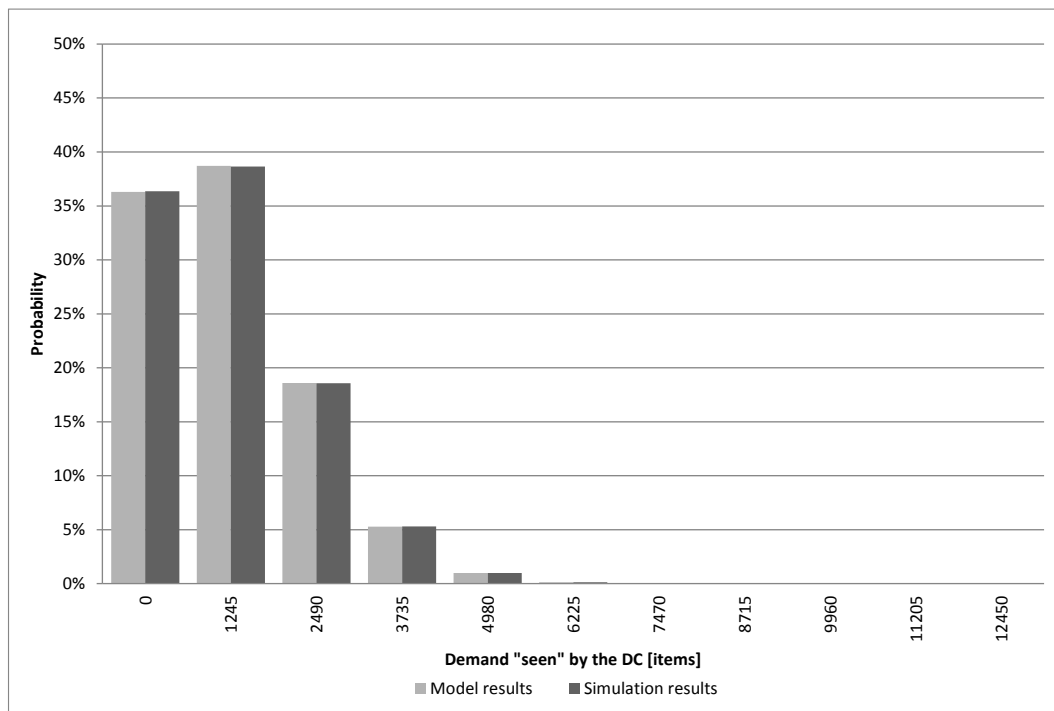
4.1.4.2 Scenario 2: implementazione e validazione del modello

Lo scenario 2 rappresenta una semplificazione dello scenario 1. La rete è quindi sempre composta da 1 DC e 10 punti vendita. La differenza è che gli RS hanno le stesse caratteristiche in termini di lotto di riordino e domanda del cliente finale vista dal punto vendita.

In questo caso, dato che è presente un solo valore di EOQ uguale per tutti gli RS, si possono contare solamente 10 possibili valori di domanda D_{DCj} ($j=1, \dots, 10$), calcolati come multipli interi del valore di EOQ . Inoltre, l'equazione (16) semplifica il calcolo della probabilità $p_{D_{DCj}}$.

La stessa procedura seguita per lo scenario 1 viene adottata per lo scenario 2 e il confronto tra i due approcci è mostrato in Figura 18.

Figura 18: Scenario 2 - frequenza della domanda vista dal DC – confronto tra risultato dell'approccio probabilistico e modello di simulazione



Per quanto riguarda l'errore calcolato, anche in questo caso si possono riscontrare valori ridotti, eccetto che per un caso ($D_{DC} = 8175$), dove si riscontra un errore assoluto pari a 14.5%. Ad ogni modo, questo valore di domanda ha una probabilità di accadimento molto bassa, minore dello 0.001%. Si considera quindi che tale risultato non compromette la validità generale del modello.

4.1.5 Implicazioni pratiche

Come ampiamente descritto, l'approccio proposto fornisce la frequenza della distribuzione della domanda vista da un centro di distribuzione che serve N punti vendita. Dalla distribuzione della domanda risulta immediato ricavare la varianza della domanda vista dal DC. Questo risultato è utile per calcolare l'effetto bullwhip della rete, che ci permette di stimare l'incremento della variabilità della domanda lungo la catena.

In generale, questo parametro, che è stato e continua ad essere ampiamente studiato in letteratura, dipende da due fattori principali:

- la struttura della network, in termini di numero di livelli e numeri di attori per livello (Suchy, 2009);
- la differenza di comportamento degli attori della supply network, in termini di, ad esempio, lotti di riordino o intervalli di riordino differenti.

Nello studio proposto, in entrambi i casi la struttura del sistema è la stessa (N punti vendita), mentre cambia il comportamento dei vari RS: nello scenario 1 hanno tutti caratteristiche diverse, mentre nello scenario 2 operano tutti nello stesso modo.

Quindi, calcolando l'effetto bullwhip nei due casi e comparando i risultati ottenuti, possiamo stimare l'amplificazione della variabilità dovuta al differente comportamento degli attori della rete.

Per poter calcolare questo indicatore, è necessario conoscere la varianza della domanda vista dal DC (ricavata dalla frequenza della distribuzione della domanda) e la varianza della domanda vista da ogni singolo punto vendita (σ^2_i), calcolata partendo dal modello di simulazione utilizzato per la validazione attraverso le formule proposte da MS Excel™.

Come risultato si ottiene che non si riscontra una grande differenza tra l'effetto bullwhip nei due scenari. Questo suggerisce che la struttura della rete (numero di RS) ha un impatto maggiore rispetto alle differenti condizioni di lavoro, che non comportano quindi un aumento del parametro studiato.

Partendo da queste ultime considerazioni si è poi considerata la possibilità di eliminare uno dei punti vendita facenti parte della rete, per capire come veniva modificata la varianza della domanda vista dal DC. Considerando solo lo scenario 1, si è eliminato dalla rete un punto vendita alla volta per capire quale fosse quello che provocava l'effetto peggiore, ovvero il maggior aumento nella varianza.

Naturalmente, i risultati ottenuti sono legati ai dati di input utilizzati. In generale si nota che, nei casi in cui viene eliminato un punto vendita caratterizzato da una forte variabilità della domanda vista, la varianza del DC diminuisce significativamente. Ad ogni modo, i risultati di questo tipo possono fornire solamente un primo spunto di riflessione, in quanto è evidente che l'eliminazione di un RS da una rete necessita di un'analisi più accurata.

4.1.6 Conclusioni

Il lavoro presentato introduce un nuovo approccio per la determinazione dell'andamento della domanda vista da un attore di una rete logistica che serve una serie di attori del livello a valle. Il modello è stato sviluppato per permettere di individuare un andamento, in modo semplice e veloce.

Alla luce di quanto esposto, si conclude affermando che l'approccio è caratterizzato da una serie di punti di forza. Primo tra tutti è molto semplice da implementare nella pratica e facilmente comprensibile a tutti. Inoltre, sono necessari pochissimi parametri per poter applicare il modello; tali dati (la domanda del cliente finale μ_i e il lotto di riordino EOQ_i) sono facilmente reperibili e questo aumenta ulteriormente la possibilità di adottare il modello nella pratica. Un importante aspetto è legato al fatto che la procedura è stata validata tramite simulazione dimostrando di stimare la domanda con buona precisione. Infine, partendo dai risultati ottenuti, grazie al modello è possibile fare ulteriori osservazioni relativamente alla variabilità della domanda ed in particolare all'amplificazione della variabilità in una rete logistica (effetto bullwhip).

4.2 L'impatto della flessibilità delle macchine sulle performance di una supply chain

Il lavoro analizza l'impatto della flessibilità delle macchine sul livello di performance di una supply chain. Per riprodurre differenti configurazioni è stato sviluppato un modello di simulazione, considerando un solo attore per livello. La flessibilità delle macchine è stata modellata come la capacità del produttore di produrre differenti beni per soddisfare le differenti richieste del cliente finale e allo stesso tempo viene valutata la capacità della supply chain di gestire i differenti prodotti. Grazie ad un modello di simulazione ad eventi discreti sono state studiate sei configurazioni differenti, risultanti dalla combinazione di differenti livelli della supply chain (da 3 a 5) e differenti prodotti (1 o 3). Per ogni scenario, sono stati calcolati e valutati differenti parametri sia economici (per esempio costo totale della supply chain), sia strategici (lead time e bullwhip effect). Inoltre, per verificare la significatività dei risultati, è stata svolta un'analisi statistica. Alla luce di ciò, i risultati ottenuti offrono una serie di linee guida relativamente al tema dell'incidenza della flessibilità sulle performance di una supply chain.

4.2.1 Introduzione

Recentemente, sempre più aziende stanno iniziando ad adottare principi di "lean production", flessibilità, agilità, con lo scopo di essere sempre più competitivi riducendo i costi e migliorando il servizio al cliente finale. In particolare, il concetto di "lean" è sempre più diffuso; una supply chain che opera secondo una politica di lean tende a minimizzare le scorte, reagendo comunque alle richieste dei clienti con un breve lead time. Inoltre, questo approccio mira all'eliminazione di quelle attività che comportano un costo ma non un valore aggiunto per il cliente finale (Womack and Jones, 1996). Questa strategia funziona bene soprattutto quando la domanda è stabile e relativamente prevedibile e quando la variabilità del prodotto è limitata (Christopher, 1992; Shah and Ward, 2003; Narasimhan et al., 2006). Al contrario, in quei contesti dove la domanda è variabile e il cliente finale richiede una vasta varietà di prodotti, è richiesta una maggiore flessibilità. Esistono due motivi principali per avere un sistema flessibile, ovvero la necessità di rispondere all'incertezza del mercato e la capacità di produrre output variabili (Correa, 1994). Inoltre, è possibile individuare due categorie differenti di flessibilità. La prima è chiamata "machine flexibility" e riguarda l'abilità del sistema di produrre prodotti nuovi o differenti. La seconda è chiamata "routing flexibility" e consiste nella capacità di utilizzare differenti macchine per compiere la stessa operazione, così come la capacità di assorbire un cambio nei volumi di produzione. Spesso, il concetto di flessibilità è confuso con quello di agilità. In realtà, quando si parla di "agility", ci si riferisce alla capacità di rispondere ad una domanda imprevista. L'agilità quindi richiede flessibilità per poter rispondere rapidamente ai cambiamenti improvvisi (Christopher and Towill, 2002; Bottani, 2009).

In questo studio il focus è la "machine flexibility". L'obiettivo è quello di confrontare le performance di una supply chain, dove il produttore è in grado di produrre tre prodotti differenti, con una supply chain tradizionale caratterizzata dalla produzione di un solo prodotto. Per riprodurre il flusso dei prodotti tra i vari livelli della catena, è stato sviluppato un modello di simulazione, con lo scopo di testare sei configurazioni differenti, che differiscono per il numero di prodotti realizzati o per il numero di livelli della supply chain. Le performance valutate sono sia di tipo economico, sia di tipo strategico.

Nei paragrafi successivi, verrà inizialmente presentato il modello di simulazione e le logiche implementate. Successivamente verranno definiti gli indicatori di performance utilizzati per valutare l'efficienza della supply chain e a seguire verranno commentati i principali risultati ottenuti.

4.2.2 Le logiche implementate nel modello di simulazione

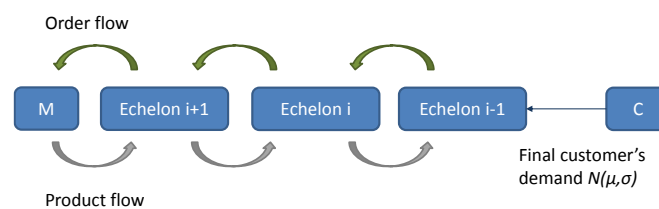
Il modello di simulazione utilizzato è stato sviluppato utilizzando MS Excel™. In particolare, sono state esaminate sei configurazioni differenti, derivanti dalla combinazione di due parametri:

- numero di livelli della supply chain: può variare da tre (produttore-distributore-punto vendita) a cinque (produttore-distributore 1-distributore 2-distributore 3-punto vendita);
- numero di prodotti: si considerano due scenari differenti, caratterizzati da uno o tre prodotti rispettivamente. In questo ultimo caso ogni prodotto è stoccato in un apposito magazzino ed i costi legati ad esso sono calcolati separatamente.

Ogni scenario è stato riprodotto utilizzando un apposito file di MS Excel™ ed include differenti fogli di calcolo, uno per ogni attore considerato nella supply chain. Naturalmente, ogni scenario è caratterizzato da logiche generali che sono comuni a tutti i file e sono descritte successivamente.

Per mostrare il flusso del prodotto e il flusso degli ordini è stata adottata la rappresentazione di Shapiro (2001). In accordo con lo schema presentato (Figura 19) un generico livello i -simo della supply chain (*Echelon i* , con $i = 1,..N$) riceve un ordine dal livello precedente (*Echelon $i-1$*) e produce per il livello successivo (*Echelon $i+1$*). Per ogni livello, è stato definito uno specifico lead time L_i , che rappresenta il tempo necessario per gestire le operazioni di spedizione e trasporto. Si assume un lead time deterministico (Dejonckheere et al., 2003) e non si considerano nello studio fenomeni di crossover (Reizebos, 2006). Inoltre, per semplicità, si considera un solo attore per livello, così come spesso accade in letteratura (vedi, per esempio, Chatfield et al., 2004; Zhang, 2004; Paul et al., 2014; Kurano et al., 2014).

Figura 19: schema della supply chain esaminata



Il livello 1 (ovvero il punto vendita) è l'attore che si interfaccia direttamente con il cliente finale, indicato con la lettera C in figura (*Final customer*). La richiesta giornaliera del cliente d_t è generata casualmente secondo una distribuzione normale con parametri (μ, σ) . Inoltre, tutti gli attori prevedono la domanda adottando una tecnica di media mobile considerando le ultime m osservazioni (Chen et al., 2000; Sun and Ren, 2005).

Per ogni configurazione, sono stati utilizzati dei dati di input derivanti da studi precedenti, realizzati da altri autori (Bottani and Rizzi, 2008; Bottani and Montanari, 2008).

La nomenclatura utilizzata per descrivere il modello è presentata in Tabella 3.

Tabella 3: nomenclatura utilizzata per la descrizione del modello

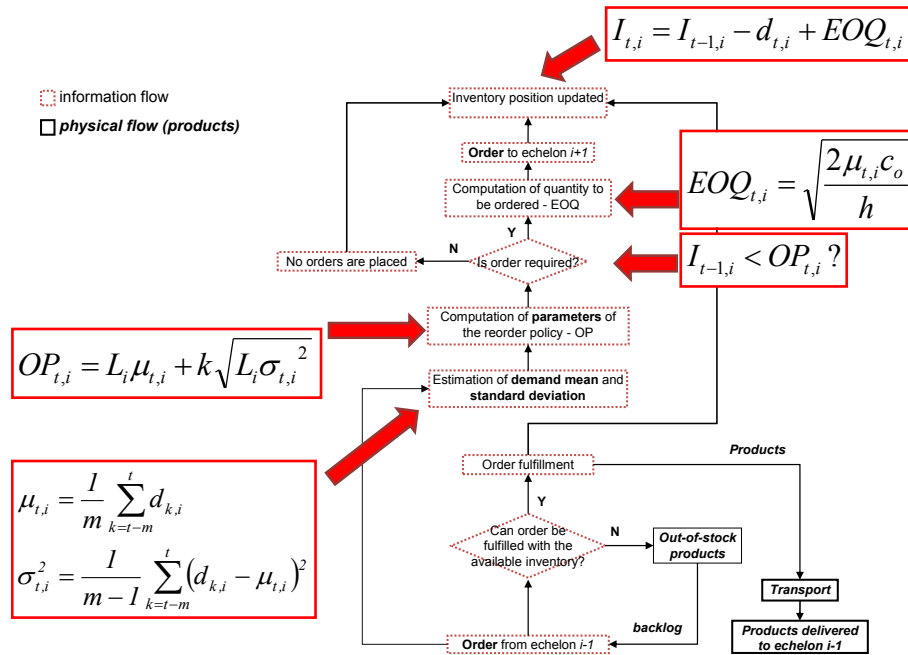
Parametri	Acronimi	Unità di misura
<i>Modello di simulazione</i>		
Numero di livelli della supply chain	$N (i=1, \dots, N)$	-
Durata della simulazione	N_{days}	giorni
Lead time per l'i-simo livello	L_i	giorni
<i>Domanda del cliente finale</i>		
Media	μ	pallet/giorno
Deviazione standard	σ	pallet/giorno
Domanda giornaliera del cliente finale al tempo t	d_t	pallet/giorno
<i>Domanda prevista per il livello $i (i=1, \dots, N-1)$</i>		
Intervallo di media mobile	m	giorni
Media della domanda stimata al tempo t	$\mu_{t,i}$	pallet/giorno
Deviazione standard della domanda stimata al tempo t	$\sigma_{t,i}$	pallet/giorno
Domanda vista al tempo t	$d_{i,t}$	pallet/giorno
<i>Parametri di Inventory management per il livello $i (i=1, \dots, N-1)$</i>		
Livello di riordino al tempo t	$OP_{t,i}$	pallet
Quantità ordinata al tempo t	$EOQ_{t,i}$	pallet
Livello del magazzino al tempo t	$I_{t,i}$	pallet
Livello di servizio offerto al cliente	k	-
Quantità di out-of-stock al tempo t	$Q_{stock-out,t,i}$	pallet
Quantità totale di out-of-stock	$Q_{stock-out}$	pallet
<i>Parametri di produzione (manufacturer)</i>		
Lotto minimo di produzione	MPL	pallet
Lotto di produzione	PL	pallet
Cadenza oraria	HP	pallet/ora
<i>Valori economici</i>		
Mark-up applicato al livello i	C_i	-
Costo unitario di evasione dell'ordine	C_o	€/ordine
Costo unitario di stoccaggio	h	€/anno/pallet
Costo totale di stoccaggio	C_{stocks}	€/anno
Costo totale di stock-out	$C_{stocks-out}$	€/anno

4.2.2.1 Il processo decisionale dei centri di distribuzione

La politica di riordino considerata nello studio è una politica di tipo EOQ (Economic Order Quantity). Il processo decisionale di un generico attore i -simo al tempo t può essere descritta come schematizzato in Figura 20.

Come precedentemente descritto, l'attore i -simo riceve un ordine dall'attore precedente. Sulla base della quantità ordinata, l'attore verifica la disponibilità a magazzino I_{t-1} (disponibilità alla fine del giorno precedente) e la possibilità di consegnare l'ordine al livello $i - 1$. Dal momento che viene considerata una domanda stocastica, è possibile che l'attore non abbia a disposizione la quantità richiesta. In questo caso, viene evasa la quantità disponibile (ovvero I_{t-1}) fino a terminare le scorte a magazzino, mentre la quantità mancante viene consegnata successivamente, non appena disponibile (si verifica così una situazione di out of stock ($Q_{stock-out,t,i} = d_t - I_{t-1}$)).

Figura 20: processo decisionale del generico attore del livello i -simo



La quantità ordinata dall'attore al livello precedente viene inoltre utilizzata per prevedere la domanda, considerando il valore medio $\mu_{t,i}$ e la deviazione standard $\sigma_{t,i}$ al tempo t . In accordo con il modello di media mobile, sono state utilizzate le seguenti equazioni:

$$\mu_{t,i} = \frac{1}{m} \sum_{k=t-m}^t d_{k,i}$$

$$\sigma_{t,i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=t-m}^t (d_{k,i} - \mu_{t,i})^2$$
(17)

Dove $d_{t,i}$ indica la domanda vista dall'attore i al tempo t . In funzione dell'attore che stiamo considerando, questa potrebbe corrispondere alla domanda del cliente finale o alla quantità ordinata dal livello precedente $i-1$, ovvero:

$$d_{t,i} = \begin{cases} d_t & i = 1 \\ EOQ_{t,i} & i = 2, \dots, N-1 \end{cases}$$

I parametri sopra descritti, vengono quindi utilizzati per calcolare il valore del punto di riordino $OP_{t,i}$ (Bottani et al., 2007; Dejonckheere et al., 2003):

$$OP_{t,i} = L_i \mu_{t,i} + k \sqrt{L_i \sigma_{t,i}^2}$$
(18)

Il punto di riordino viene confrontato con il livello di giacenza per stabilire quando deve essere effettuato un nuovo ordine. Infatti, nel caso in cui $I_{t-1,i} < OP_{t,i}$, l'attore i -simo ordina all'attore del livello successivo. La quantità ordinata è pari al lotto di riordino $EOQ_{t,i}$ che viene calcolato partendo dal valore di $\mu_{t,i}$:

$$EOQ_{t,i} = \sqrt{\frac{2\mu_{t,i}c_o}{h}} \quad (19)$$

Per ogni attore, *OP* ed *EOQ* vengono ricalcolati all'inizio di ogni settimana e mantenuti costanti per i cinque giorni lavorativi successivi. Questa scelta deriva dal fatto che, nella realtà, è inusuale che tali valori vengano modificati ogni giorno; si suppone quindi che vengano aggiornati settimanalmente. Il prodotto ordinato al livello *i+1* sarà disponibile a magazzino del livello *i* dopo un tempo pari al lead time di approvvigionamento L_i . Infine, il livello a magazzino dell'attore *i*-simo $I_{t,i}$ viene aggiornato come segue:

$$I_{t,i} = I_{t-1,i} - d_{t,i} + EOQ_{t,i} \quad (20)$$

La procedura descritta viene applicata agli attori di tutti i livelli, eccetto che al produttore. Inoltre, il processo decisionale è uguale a quello appena descritto anche nel caso in cui la supply chain debba gestire tre prodotti differenti. In questo caso, l'unica differenza riguarda la domanda del cliente finale che, per ogni prodotto, viene generata casualmente con media $\mu/3$ e deviazione standard $\sigma/\sqrt{3}$. Inoltre, il processo decisionale viene ripetuto considerando i tre prodotti separatamente.

4.2.2.2 Il processo decisionale del produttore

Per quanto riguarda invece il produttore, il suo processo decisionale differisce da quello degli altri attori, in quanto egli è caratterizzato dalla mansione di produrre il bene ordinato dal livello precedente, che percorrerà quindi tutta la supply chain e verrà venduto al cliente finale.

Consideriamo prima il caso in cui questo attore produca un solo prodotto. Il produttore, una volta che riceve un ordine dall'attore del livello precedente, verifica che la quantità ordinata sia superiore al lotto minimo di produzione (ovvero, $d_{t,i} \geq MPL$), condizione necessaria per lanciare la produzione. In questo caso, il prodotto realizzato viene utilizzato per soddisfare la richiesta dell'attore del livello precedente. Inoltre, una volta lanciata la produzione, l'attore continua a produrre per tutta la durata della giornata lavorativa (ovvero 8 ore), indipendentemente dalla richiesta ricevuta; la quantità prodotta in eccesso verrà stoccata nel magazzino del produttore. Nel caso in cui la produzione non viene lanciata (perchè $d_{t,i} < MPL$), il produttore verifica la disponibilità a magazzino; se la scorta disponibile è sufficiente a soddisfare la domanda, il prodotto viene comunque consegnato all'attore del livello precedente, altrimenti si verifica una situazione di stock-out. Il livello di inventory viene quindi aggiornato come segue:

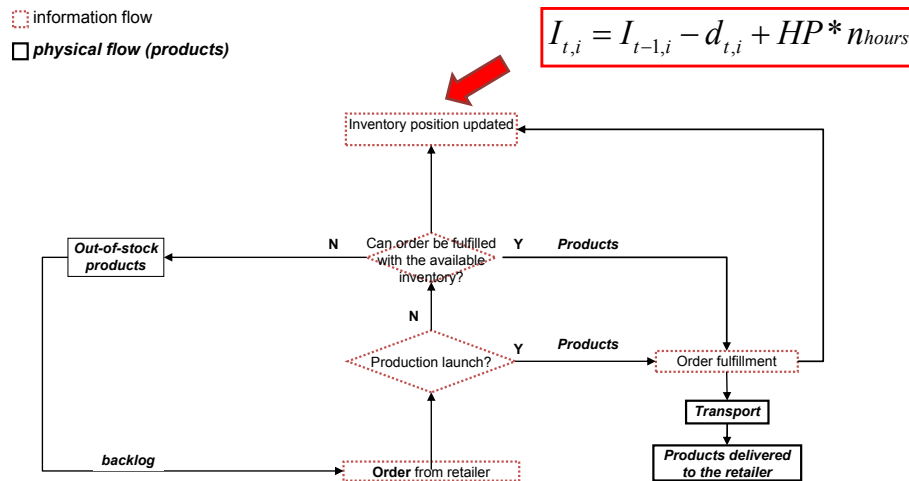
$$I_{t,i} = I_{t-1,i} - d_{t,i} + HP * n_{hours} \quad (21)$$

Dove *HP* rappresenta la capacità oraria dell'impianto e n_{hours} è il numero di ore lavorative dello stesso impianto. Naturalmente, $HP * n_{hours} \geq MPL$. Inoltre, dato che il lotto minimo di produzione è un valore che rimane fisso nel tempo, il produttore non prevede la domanda, ma si limita a rispondere alla richiesta nel momento in cui si presenta.

Nel caso in cui il produttore realizza tre prodotti differenti, la logica appena descritta viene ripetuta per ogni prodotto; in aggiunta, vengono implementate una serie di logiche per gestire la produzione dei tre prodotti, in particolare:

- in uno specifico giorno, il produttore inizia con la produzione del prodotto richiesto in maggiore quantità, con un lotto di produzione pari a LP ;
- una volta completata la realizzazione del primo prodotto, passa alla produzione del secondo prodotto richiesto (se un secondo prodotto è richiesto quel giorno), altrimenti continua con la produzione del primo prodotto per tutta la giornata lavorativa (come nel caso dello scenario con un solo prodotto);
- nel caso in cui vengono prodotti nella stessa giornata due o più prodotti differenti, viene considerato un tempo di set up necessario per passare da una produzione alla successiva.

Figura 21: processo decisionale del produttore



4.2.3 Gli indicatori di performance misurati

Per valutare le performance del sistema considerato, sono stati definiti una serie di indicatori partendo dai risultati della simulazione.

1. Costo di stoccaggio - Inventory cost ($C_{stocks,i}$): è ottenuto partendo dal costo unitario di stoccaggio e dalla quantità media stoccata a magazzino. Questo indicatore è un risultato diretto della simulazione e viene calcolato per ogni attore:

$$C_{stocks,i} = \frac{h \sum_{t=1}^{N_{days}} I_{t,i}}{N_{days}} \quad [\text{€/giorno}] \quad (22)$$

2. Costo di stock-out - Stock-out cost ($C_{stock-out,i}$): rappresenta il costo legato all'insoddisfazione del cliente causata dalla mancanza del prodotto a magazzino e quindi ad una mancata consegna. Come il precedente, anche questo indicatore è un risultato diretto della simulazione e viene calcolato per ogni attore:

$$C_{stock-out,i} = \frac{c_i \sum_{t=1}^{N_{days}} Q_{stock-out,t,i}}{N_{days}} \quad [\text{€/giorno}] \quad (23)$$

3. Costo dell'ordine - Order cost ($C_{order,i}$): è il costo legato alla gestione della procedura di emissione dell'ordine e dipende dal numero di ordini emessi. Viene calcolato per tutti gli attori, escluso il produttore:

$$C_{order,i} = \frac{c_o N_{orders,i}}{N_{days}} \text{ [€/giorno]} \quad (24)$$

4. Costo di produzione - Production cost ($C_{production,i}$): calcolato solo per il produttore, dipende dal volume di produzione ed è un risultato diretto della simulazione.

5. Costo totale dell'attore i-simo - Average total cost ($C_{total,i}$): è calcolato per ogni attore come la somma delle voci di costo sopra descritte:

$$C_{total,i} = C_{order,i} + C_{production,i} + C_{stock-out,i} + C_{stocks,i} \text{ [€/giorno]} \quad (25)$$

Sommando il costo totale di ogni attore, si ottiene il costo totale di supply chain, ovvero:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^N C_{total,i} \text{ [€/giorno]} \quad (26)$$

6. Bullwhip effect (BE): indica un aumento nella variabilità della domanda man mano che ci si allontana dal mercato finale e si risale la catena di fornitura. È calcolato per la supply chain ed è definito come il rapporto tra la varianza della domanda vista dall'ultimo attore e la varianza della domanda del cliente finale. Entrambi i parametri sono risultati che derivano direttamente dalla simulazione.

7. Supply chain lead time ($SCLT$): rappresenta il tempo impiegato dall'intera supply chain per consegnare il prodotto al cliente finale (Forrester, 1961). In questo studio, il parametro viene inizialmente calcolato per ogni attore:

$$SCLT_i = \frac{\sum_{t=1}^{N_{days}} I_{t,i}}{\sum_{t=1}^{N_{days}} d_{t,i}} \text{ [giorno]} \quad (27)$$

Infine, sommando i vari $SCLT_i$ di ogni attore, si ottiene il valore $SCLT$ totale della supply chain.

4.2.4 Risultati

Per ogni scenario esaminato, sono state lanciate dieci simulazioni e sono stati analizzati i risultati finali, calcolati come media derivante dalle dieci replicazioni.

Per poter confrontare i risultati ottenuti per gli scenari 1 o 3 prodotti è stata adottata la seguente procedura: nel caso di 1 prodotto, sono stati calcolati i KPI economici sopra descritti e $SCLT_i$ per ogni attore, ognuno dei quali è stato poi sommato per ottenere un KPI globale per la supply chain, mentre il bullwhip effect è stato calcolato direttamente a livello di sistema. Per quanto riguarda la gestione dei tre prodotti, il primo step riguarda il calcolo, per ogni prodotto, del risultato di ogni KPI a livello globale, così come è stato fatto nel caso precedente; successivamente BE e $SCLT$ vengono calcolati a livello di

supply chain come valore medio derivante dai tre prodotti. Gli indicatori di tipo economico, vengono invece calcolati come somma dei risultati ottenuti per i tre prodotti.

Infine, comparando i risultati ottenuti a livello di sistema globale, è possibile individuare una serie di punti principali, descritti successivamente:

- il bullwhip effect non aumenta significativamente in funzione del numero di attori della supply chain; inoltre il primo attore (punto vendita) è quello che apporta il maggior contributo al *BE* totale. Il risultato potrebbe essere legato all'utilizzo della politica EOQ. Infatti, il lotto di riordino comporta un vantaggio legato alle economie di scala, ma allo stesso tempo genera un ordine superiore rispetto alle quantità richieste dal cliente finale, che porta poi ad un aumento della varianza della domanda vista (Lee et al., 1997). Questo è quello che accade nel caso del punto vendita. Allo stesso tempo, questo effetto è meno significativo per gli altri attori, adottando tutti la stessa politica di riordino. Di conseguenza, il fatto di avere 1 o 3 distributori nella catena non comporta una variazione significativa di questo KPI;
- il bullwhip effect è più basso nel caso in cui vengono gestiti tre prodotti differenti. Questa considerazione potrebbe essere legata al fatto che i tre prodotti vengono gestiti e considerati separatamente ed il risultato finale è dato dal valore medio calcolato sui tre prodotti;
- il livello del magazzino aumenta significativamente quando la supply chain gestisce tre prodotti differenti. Una possibile spiegazione potrebbe essere legata al fatto che la domanda dei singoli prodotti è molto minore rispetto al caso 1 prodotto; ciò nonostante, il produttore, per politica, non ferma la produzione una volta iniziata fino alla fine della giornata lavorativa;
- l'aumento del numero di prodotti comporta una diminuzione nel costo totale di stock-out. Questa è una conseguenza di quanto descritto al punto precedente;
- il tempo di attraversamento della supply chain (*SCLT*) è notevolmente più alto nel caso di tre prodotti. Questo è probabilmente legato al fatto che il livello del magazzino aumenta significativamente quando la supply chain gestisce tre prodotti differenti;
- nel caso di un prodotto, il costo totale della SC è maggiore nel caso di 5 attori, nonostante l'apporto delle varie voci di costo sia molto differente tra le varie configurazioni. Nel caso di tre prodotti, questa ultima differenza si riduce notevolmente.

Alla luce dei risultati ottenuti, è stata verificata l'attendibilità degli stessi attraverso un'analisi di significatività degli effetti osservati. L'analisi è stata svolta utilizzando la metodologia DOE - Design of Experiments (Montgomery and Rutger, 2003) considerando due fattori chiamati: (1) Fattore A – numero di attori della supply chain e (2) Fattore B – numero di prodotti della supply chain. Questa procedura prevede il calcolo dell'effetto apportato dai due fattori singolarmente e dalla combinazione dei due. In realtà, nello studio si considerano due livelli differenti per il fattore B (1 o 3 prodotti), mentre si considerano tre livelli per il fattore A (3, 4 o 5 attori della supply chain). L'analisi degli effetti è stata quindi svolta utilizzando la correzione di Bonferroni (Abdi, 2007), dato che sono stati utilizzati gli stessi risultati derivanti dalla simulazione per effettuare delle comparazioni multiple. In particolare, sono stati prima comparati i risultati ottenuti dalle configurazioni 3 attori vs. 4 attori e successivamente i risultati ottenuti dalle configurazioni 4 attori vs. 5 attori.

Figura 22: analisi degli effetti dei due fattori – schema riassuntivo

Output measured	Effects		
	A	B	AB
Bullwhip effect	Yellow	Green	Red
SCLT	Yellow	Green	Yellow
Average inventory level	Yellow	Green	Yellow
Cost of stocks	Yellow	Green	Yellow
Cost of order	Green	Green	Green
Cost of stock-out	Green	Yellow	Green
Cost of production	Red	Green	Red
Total cost	Green	Green	Green

La Figura 22 fornisce una rappresentazione schematica degli effetti osservati per le configurazioni 3 attori vs. 4 attori e 4 attori vs. 5 attori. In particolare i colori sono indicativi di quanto descritto in seguito:

- colore verde: in entrambe le configurazioni (3 vs. 4 e 4 vs. 5) il fattore influenza il risultato misurato con un effetto che è significativo per $p < 0.05$, considerando la correzione di Bonferroni;
- colore rosso: il fattore non influenza il risultato in entrambi i casi;
- colore giallo: il fattore influenza il risultato solamente in una delle due configurazioni.

In primo luogo si nota come il numero di prodotti della supply chain (Fattore B) influenza tutti gli indicatori di performance, in accordo con quanto descritto precedentemente. Al contrario, il numero di attori della supply chain (Fattore A) ha un comportamento differente, in funzione del parametro misurato. Per esempio, il Fattore A non influenza il *BE* nel passare da 3 a 4 attori, ma si riscontra un effetto significativo nel passaggio da 4 a 5 attori. Naturalmente, il costo di produzione, che è proprio di un solo attore, non dipende dal numero di attori del sistema. Per quanto riguarda la combinazione dei due fattori, tra i risultati più significativi, possiamo concludere affermando che non influenza il bullwhip effect.

Per i dettagli si rimanda a: Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M., In press. How many to produce? The impact of machine flexibility on the performance of a supply chain. International Journal of Supply Chain and Inventory Management.

4.2.5 Conclusioni

Il lavoro si è focalizzato sulla valutazione delle performance di una supply chain, considerando sei configurazioni differenti, risultanti dalla combinazione di due fattori: il numero di livelli del sistema e il numero di prodotti gestiti dalla supply chain. È stata inoltre prestata particolare attenzione alla flessibilità delle macchine, intesa come capacità del sistema di rispondere alla gestione/produzione di prodotti differenti. Per poter analizzare le diverse configurazioni è stato sviluppato un modello di simulazione in MS Excel™ e sono stati misurati parametri di tipo sia economico sia strategico. Attraverso i risultati ottenuti dalla simulazione sono state individuate una serie di considerazioni generali relative all'influenza dei due fattori sui risultati globali del sistema. Queste linee guida possono essere adottate nella pratica e possono offrire interessanti spunti a manager aziendali che hanno intenzione di modificare le caratteristiche del sistema attuale. Inoltre, lo studio offre un contributo interessante a livello scientifico, considerando la mancanza di studi che analizzano la relazione tra la flessibilità delle macchine e le performance della supply chain.

4.3 Ottimizzazione multi obiettivo di una closed-loop supply chain

Questo studio analizza il problema dell'ottimizzazione della gestione degli asset logistici in una closed-loop supply chain (CLSC), composta da un fornitore di pallet, un produttore e sette punti di consegna. Come primo step, è stato realizzato un modello di simulazione basato su una politica di riordino di tipo EOQ, adattata al caso specifico analizzato; il modello, sviluppato con MS Excel™, riproduce il processo di riordino di un produttore e il corrispondente flusso a rendere dei contenitori logistici riutilizzabili (RTI – Returnable Transport Item) in una CLSC. Successivamente è stata sviluppata un'ottimizzazione multi obiettivo utilizzando il software commerciale ModeFRONTIER™, dopo aver definito una serie di indicatori di performance (KPI). In particolare, sono stati studiati tre scenari, che differiscono per le condizioni operative del produttore. Per ogni scenario è stata individuata una configurazione ottimale andando a variare le due leve operative tipiche della politica scelta. Dato che il lavoro si basa su una reale CLSC, i risultati ottenuti offrono importanti spunti al management per valutare le performance del sistema.

Il lavoro presentato è stato inviato alla rivista internazionale CAIE - Computers & Industrial Engineering (<http://www.elsevier.com/journals/computers-and-industrial-engineering/0360-8352/guide-for-authors>) ed è in attesa di essere revisionato.

4.3.1 Introduzione

Il focus principale di una CLSC è quello di gestire il flusso di ritorno degli item (ad esempio prodotti o asset logistici) per riutilizzare gli stessi interamente o in parte (Guide and Van Wassenhove, 2009). In una qualsiasi supply chain il flusso di ritorno degli item può essere dovuto a ragioni differenti: questo può essere legato a processi di produzione, distribuzione, utilizzo o smaltimento del prodotto (Dekker et al., 2004; Flapper et al., 2005). Per quanto riguarda produzione o distribuzione, il flusso può essere legato a prodotti appena venduti e restituiti perché non conformi dal punto di vista della qualità (Tibben-Lembke, 2004). Parlando, invece, dello smaltimento del prodotto, il ritorno può essere legato al miglioramento tecnologico che porta il prodotto a diventare tecnicamente obsoleto e non più attrattivo per il cliente finale.

In generale, l'asset logistico viene utilizzato per il trasporto di materie prime, componenti, semilavorati e prodotti finiti. Quando si parla di asset logistico si intende un contenitore o un supporto logistico riutilizzabile. In letteratura è indicato con l'acronimo RTI (Returnable Transport Item o Reusable Transport Item), del quale la Commissione Europea (2007) fornisce la seguente definizione: "mezzo utilizzato per contenere beni per il trasporto, lo stoccaggio, la movimentazione e la protezione del prodotto e i quali vengono restituiti per un ulteriore utilizzo.

In letteratura esistono due procedure principali per la gestione del flusso degli asset di ritorno all'interno di una CLSC, definiti come: (1) scambio immediato o differito e (2) asset pooling. Nel primo caso uno degli attori della supply chain è il proprietario degli RTI, che sono scambiati lungo la catena. Lo scambio può essere "immediato" e quindi nel momento in cui viene consegnata la merce l'asset viene direttamente restituito o "differito" se la restituzione avviene in un secondo momento. Nell'altro caso, è un operatore logistico specifico che è il proprietario degli asset e gestisce le consegne e le restituzioni (Johansson & Hellstrom, 2007). Il primo approccio descritto è ampiamente utilizzato nella realtà per la sua semplicità e facilità di implementazione; tuttavia, è caratterizzato da una serie di inefficienze, come la difficoltà nel monitorare la qualità degli asset restituiti o la gestione della

documentazione necessaria per tracciare il numero di pezzi restituiti. La seconda tipologia di gestione permette di esternalizzare la gestione degli RTI in modo da focalizzarsi sulle attività principali dell'azienda, ma allo stesso tempo necessita di un'efficiente comunicazione tra i partner della supply chain.

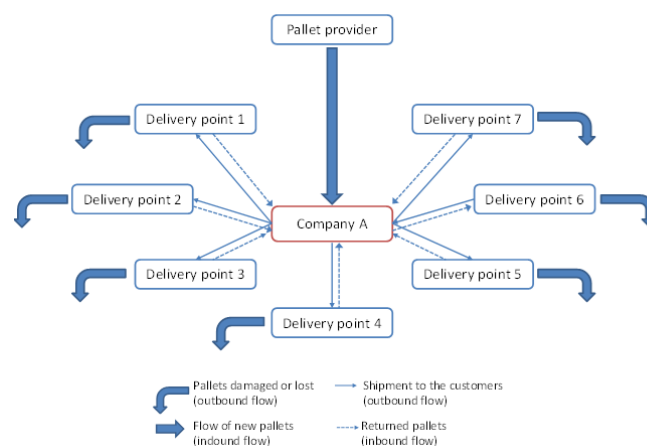
Esiste una vasta area in letteratura legata alla progettazione di una CLSC per mezzo di strumenti simulativi o altre tecniche di ottimizzazione. Tuttavia, molti studi si sono concentrati nell'identificazione di un compromesso tra le attività di manufacturing (produzione) e remanufacturing (ad esempio, Zhang et al., 2014; Georgiadis and Athanasiou, 2013; Alinovi et al., 2012, per quanto riguarda lavori recenti). Questo lavoro si focalizza invece sull'ottimizzazione della gestione degli asset di ritorno. A tal proposito esistono due aree di azione differenti: la prima propone l'utilizzo di tecnologie avanzate di ICT per monitorare il flusso degli asset. La seconda area di intervento riguarda lo sviluppo di modelli a supporto delle decisioni, per la progettazione efficiente del sistema di scambio di RTI. Il presente studio rientra in quest'ultima categoria, avendo lo scopo di minimizzare il costo della gestione degli asset di ritorno per uno degli attori della catena logistica. Considerando il numero limitato di studi relativi all'ottimizzazione dei flussi di RTI in una supply chain, ed in particolare in contesti reali, lo studio cerca di contribuire alla letteratura proponendo un modello di simulazione per l'ottimizzazione dei costi di gestione dei RTI, in una CLSC reale.

Prima di mostrare il modello implementato, verrà descritta la supply chain esaminata. Successivamente verrà illustrata la procedura di ottimizzazione multi obiettivo e gli scenari esaminati. Infine verranno presentati i principali risultati ottenuti.

4.3.2 Il contesto reale

L'attore principale dello studio presentato è un produttore di beni di largo consumo che opera nel Nord Italia (*Company A - A*). L'azienda è proprietaria di un parco pallet, che utilizza per il trasporto e la consegna della merce a sette punti di smistamento (*Delivery point - DP*). La CLSC include, inoltre, un fornitore di pallet (*Pallet provider*), dal quale *Company A* acquista asset nuovi quando necessario. Lo schema del sistema è mostrato in Figura 23.

Figura 23: schema della closed-loop supply chain analizzata



L'analisi ruota attorno alla *Company A*, che ha un ruolo chiave nella CLSC ed è colei che gestisce il flusso degli asset; l'organizzazione reale che è presentata di seguito: *A* riceve un ordine da ciascun DP, che

viene sempre soddisfatto; infatti, nel sistema non sono ammesse situazioni di stock out. A prepara quindi l'ordine utilizzando un certo numero di pallet e consegna la merce al DP in questione. Una volta raggiunta destinazione si può verificare una situazione di scambio immediato, ovvero il DP consegna ad A un certo numero di pallet vuoti. A fronte di un certo numero di pallet consegnati da parte di A, può essere restituito un numero minore; in questo caso A, per tenere traccia del numero di asset presso il DP, consegna dei "buoni pallet" che rappresentano il numero di pallet da riconsegnare. A questo punto, quando A possiede un numero di "buoni pallet" sufficientemente alto presso uno specifico DP, compie un'apposita spedizione per recuperare gli asset (interscambio differito). Nel caso reale, ogni giorno viene valutata la situazione e, in funzione del numero di buoni pallet, si decide se effettuare una spedizione dedicata per il recupero degli asset. Nel caso in cui non risulta essere opportuna quest'ultima opzione si sceglie di emettere un ordine e acquistare un certo numero di pallet nuovi, pari a circa 500 pallet che corrisponde ad un mezzo di trasporto a pieno carico. Infine, sono possibili ordini urgenti nel caso in cui A non abbia a disposizione in magazzino un numero di pallet sufficienti per evadere la spedizione (costo maggiore a fronte di una consegna immediata); infatti il pallet è un elemento essenziale per A, in quanto necessario per poter trasportare la merce. Nel calcolo dei pallet di proprietà si deve considerare il fatto che nell'operazione di trasporto o movimentazione degli asset questi possono subire dei danneggiamenti e quindi si considera una certa percentuale di pallet persi o danneggiati che non vengono reintegrati, stimato dall'azienda nel 2.5%.

Riassumendo, l'attore A si trova a dover gestire una serie di flussi differenti: (1) flusso in uscita di pallet consegnati ai DP, (2) flusso in uscita di pallet persi o danneggiati, (3) flusso in ingresso relativo all'interscambio immediato, (4) flusso in ingresso di pallet nuovi acquistati e (5) flusso in ingresso relativo all'interscambio differito.

Ad oggi, il sistema reale presenta una serie di inefficienze, legate soprattutto al fatto che non viene seguita una specifica logica di riordino, ma ogni giorno viene valutata la situazione e si decide se effettuare un ritiro dedicato o se acquistare pallet nuovi. Il tutto, considerando solamente il numero di "buoni pallet" e senza considerare invece l'aspetto economico legato ai ritiri. Infatti, dati i flussi coinvolti, non è possibile utilizzare una politica di riordino canonica, ma deve essere adattata alle caratteristiche della CLSC. Per queste ragioni, l'analisi mira a ottimizzare la gestione degli asset logistici per l'attore A, adottando una strategia di riordino che minimizzi il costo dell'intero processo.

4.3.3 La struttura del modello

Per modellare il processo decisionale della Company A si è deciso di partire dalla politica di riordino tradizionale EOQ che è stata adattata al caso specifico; tale politica sembrava infatti essere la più vicina rispetto alla gestione attuale del flusso degli asset logistici.

Il processo decisionale è molto articolato, a causa dei molteplici flussi in ingresso ed uscita che devono essere considerati. Inoltre, per descrivere il processo decisionale sono stati definiti una serie di parametri, la cui nomenclatura è riportata di seguito:

Tabella 4: nomenclatura utilizzata per la descrizione del modello

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
Pedici		
i	Numero di punti di consegna ($i=1,\dots,7$)	-
DP	Punto di consegna	-
A	Company A	-
I, II, III, IV, V	Numero di aggiornamenti del livello di inventory	
Apici		
P	“fisico”	-
T	“teorico”	-
Parametri della simulazione		
t	Giorni della simulazione ($t=1,\dots,N_{days}$)	-
N_{days}	Durata della simulazione	[giorni]
Parametri dei DP		
$O_{DP,i}(t)$	Ordini evasi	[pallet]
$I_{DP,i}^P(t), I_{DP,i}^T(t)$	Numero di asset stoccati	[pallet]
$DI_{DP,i}^T, DI_{DP,i}(t)$	Numero di asset restituiti con interscambio differito	[pallet]
$R_{DP,i^*}(t)$	Numero di asset reintegrati	[pallet]
$L_{DP,i}(t), D_{DP,i}(t)$	Numero di asset persi o danneggiati	[%]
$\%_L, \%_D$	Percentuale di asset persi o danneggiati	[%]
$c_{r,i}$	Costo unitario di reintegro	[€/pallet]
$d_{A,i}$	Distanza da Company A	[km]
$T_{stock,DP}$	Tempo in cui gli asset sono stoccati press il DP	[giorni]
Parametri di Company A		
$S_{A,i}(t)$	Consegna verso l'i-simo punto di consegna	[pallet]
$I_A^P(t), I_A^T(t)$	Quantità di asset stoccati	[pallet]
$UO_A(t), O_A(t)$	Numero di asset acquistati con ordine urgente o regolare	[pallet]
$P_A(t)$	Numero di asset di proprietà	[pallet]
$T_{stock,A}$	Tempo in cui gli asset sono stoccati press il A	[giorni]
OP	Livello di riordino	[pallet]
MPQ	Quantità minima di ritiro, ovvero numero minimo di asset che giustifica un ritiro dedicato	[pallet]
Parametri economici		
c_{km}	Costo unitario per viaggio	[€/km/viaggio]
$c_{asset,u}, c_{asset,r}$	Costo di acquisto dell'asset per ordini urgenti o regolari	[€/pallet]
c_l	Costo unitario di stoccaggio	[€/pallet/giorno]
Altri parametri		
$n_{pallets/truck}$	Numero di pallet trasportati in un viaggio	[pallet/viaggio]
n_{trucks}	Numero di viaggi richiesti per il recupero pallet	[viaggi]
LT_r	Lead time di reintegro	[giorni]
LT_d	Lead time di spedizione	[giorni]
LT_o	Lead time per ordini regolari	[giorni]
LT_u	Lead time per ordini urgenti	[giorni]

In linea con la politica di riordino EOQ, il processo di gestione dell'inventario è caratterizzato da due leve operative, che chiameremo OP e MPQ . OP è il tradizionale livello di riordino della politica EOQ, utilizzato per stabilire quando è necessario reintegrare il livello del magazzino. L'altro parametro denota il numero minimo di “buoni pallet” necessario per giustificare un ritiro dedicato presso un DP.

Di seguito viene presentata la politica implementata, suddivisa in due rami differenti e distinti. Per ogni istante temporale t , A può ricevere un ordine dai sette DP della CLSC. La Company A verifica il livello delle scorte a magazzino. Se il valore di pallet è sufficiente rispetto all'ordine ricevuto, $I_A^P(t-1) \geq \sum_{i=1}^7 O_{DP,i}(t)$, la richiesta viene evasa (*Ramo 1*). Altrimenti, è necessario effettuare un ordine urgente per non incorrere in una situazione di stock out (*Ramo 2*). Le due opzioni vengono descritte di seguito.

Ramo 1 (evasione dell'ordine ricevuto). Se $I_A^P(t-1) \geq \sum_{i=1}^7 O_{DP,i}(t)$, la Company A prepara l'ordine e lo spedisce al proprio cliente (DP). Il livello di scorta disponibile a magazzino viene aggiornato:

$$I_{A,I}^P(t) = I_A^P(t-1) - \sum_{i=1}^7 S_{A,i}(t) \quad (28)$$

dove $S_{A,i}(t) = O_{DP,i}(t)$. All'inizio del processo ($t=1$), la giacenza "teorica" di Company A non è differente rispetto a quella "pratica", ovvero $I_{A,I}^T(t) = I_{A,I}^P(t)$. Una volta che i pallet sono fuoriusciti dal magazzino di A, viene verificato il numero di "buoni pallet" di ogni delivery point, per capire se è possibile recuperare parte dei pallet stoccati presso il DP; durante questo processo si considerano naturalmente il numero di pallet persi o danneggiati che non verranno restituiti. Nella simulazione, una volta individuato questo valore, viene generato un numero casuale compreso tra 0 e il valore stesso, in modo da determinare casualmente in numero di pallet restituiti con interscambio immediato $DI_{DP,i}(t)$. Naturalmente, il processo di rientro dei pallet verso A richiede un determinato lead time LT_r . Il livello di inventory (numero di "buoni pallet") di ogni delivery point viene così aggiornato, (primo aggiornamento):

$$\begin{aligned} I_{DP,i,I}^P(t) &= I_{DP,i}^P(t-1) + S_{A,i}(t - LT_d) - DI_{DP,i}(t - LT_r) \\ I_{DP,i,I}^T(t) &= I_{DP,i}^T(t-1) + S_{A,i}(t) - DI_{DP,i}(t) \end{aligned} \quad (29)$$

Allo stesso tempo, i pallet scambiati vengono ricevuti dalla Company A, causando un secondo aggiornamento del livello dell'inventory:

$$\begin{aligned} I_{A,II}^P(t) &= I_{A,I}^P(t) + DI_{DP,i}(t - LT_r) \\ I_{A,II}^T(t) &= I_{A,I}^T(t) + DI_{DP,i}(t) \end{aligned} \quad (30)$$

A questo punto la Company A verifica se il livello di giacenza in magazzino è inferiore rispetto al suo livello di riordino OP . In linea con la politica EOQ, si effettua la verifica considerando la giacenza teorica. Se $I_{A,II}^T(t) > OP$, Company A non effettua il ripristino dei pallet a magazzino (*ramo 1.1*), altrimenti valuta quale soluzione adottare per il ripristino (*ramo 1.2*).

Ramo 1.1 (no ripristino pallet a magazzino). Se il ripristino non è richiesto, il processo termina. Il livello di giacenza "teorico" e "fisico" della Company A e dei DP rimane invariato (Equazione 29 e 30):

Ramo 1.2 (ripristino pallet a magazzino). Come già anticipato, la Company A verifica prima la possibilità di effettuare un interscambio differito per recuperare gli asset presso uno dei sette DP, così da evitare l'acquisto di pallet nuovi. In generale, i delivery point hanno sempre a disposizione un certo numero di pallet che possono restituire; per questo, la verifica permette di identificare quali tra tutti i DP abbia un inventory/numero di buoni pallet tale da superare il parametro MPQ , ovvero $\{\exists i | I_{DP,i}(t) \geq MPQ, i = 1, \dots, 7\}$. Il parametro MPQ non esiste nell'attuale gestione della Company A e viene inserito per conferire un aspetto economico alla decisione. Infatti, per poter recuperare i pallet presso il DP, la Company A deve organizzare un viaggio dedicato che comporta uno specifico costo. Per questa ragione e a causa della

significativa distanza tra i vari DC considerati, non è possibile effettuare più di un ritiro dedicato per giorno o un solo ritiro visitando più di un DP. Nel caso in cui più di un DP soddisfi i requisiti richiesti, è necessario scegliere un delivery point presso il quale organizzare una corsa dedicata (*ramo 1.2.1*); altrimenti, se nessun DP risulta essere idoneo, la Company A attuerà un processo di riordino (*ramo 1.2.2*).

Ramo 1.2.1 (interscambio differito). La Company A identifica uno tra i DP per effettuare la corsa dedicata per il ritiro dei pallet (“Retrieving logic”). Si ricorda che i pallet recuperati sono caratterizzati da un LT_r espresso in giorni e una specifica quantità $R_{DP,i^*}(t)$. Il processo di ripristino causa un secondo aggiornamento all’inventario di A e dei DP:

$$\begin{aligned} I_{DP,i,II}^P(t) &= I_{DP,i,I}^P(t) - R_{DP,i^*}(t - LT_r) & \text{if } i = i^* \\ I_{DP,i,II}^P(t) &= I_{DP,i,I}^P(t) & \text{otherwise} \\ I_{DP,i}^T(t) &= I_{DP,i,II}^T(t) \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} I_{A,III}^P(t) &= I_{A,II}^P(t) + R_{DP,i^*}(t - LT_r) \\ I_{A,III}^T(t) &= I_{A,II}^T(t) + R_{DP,i^*}(t) \end{aligned} \quad (32)$$

Ramo 1.2.2 (processo di riordino). Se nessuno dei DP ha un numero di “buoni pallet” che giustifica lo scambio differito, ovvero $\{\exists i | I_{DP,i}(t) \geq MPQ, i = 1, \dots, 7\}$, la Company A farà un acquisto di pallet nuovi al suo fornitore, per una quantità pari a O_A . Si suppone che il fornitore abbia disponibilità infinita e che quindi sia sempre in grado di evadere la quantità richiesta, disponibile presso A dopo un definito LT_o . Quindi, la posizione dell’inventario viene aggiornata ed in questo caso si ha (quarto aggiornamento):

$$\begin{aligned} I_{A,IV}^P(t) &= I_{A,III}^P(t) + O_A(t - LT_o) \\ I_{A,IV}^T(t) &= I_{A,III}^T(t) + O_A(t) \end{aligned} \quad (33)$$

Il livello del magazzino dei delivery point resta invariato (Equazione 29)

Ramo 2 (situazione di out of stock). Nel caso in cui le scorte della Company A non siano sufficienti per evadere l’ordine ricevuto, cioè $I_A^P(t - 1) < \sum_{i=1}^7 O_{DP,i}(t)$, si presenta una situazione di stock out. Come già anticipato, il sistema non ammette situazioni di questo tipo; di conseguenza viene effettuato un ordine urgente caratterizzato da un lead time nullo LT_u , che permette di evadere l’ordine nel giorno richiesto. Naturalmente il costo di acquisto dei pallet è notevolmente maggiore rispetto ad un ordine regolare; per questo motivo, in questo caso la quantità ordinata $UO_A(t)$ è pari al numero di pallet necessari per poter evadere l’ordine richiesto quello specifico giorno, ovvero:

$$UO_A(t) = \sum_{i=1}^7 O_{DP,i}(t) - I_A^P(t - 1) \quad (34)$$

Il livello di giacenza viene aggiornato come segue:

$$\begin{aligned} I_{A,V}^P(t) &= I_A^P(t - 1) + UO_A(t) \\ I_{A,V}^T(t) &= I_A^T(t - 1) + UO_A(t) \end{aligned} \quad (35)$$

Retrieving logic. Se solamente uno dei DP possiede un numero di asset pari a MPQ , la Company A organizzerà una corsa dedicata presso quel cliente. Altrimenti, A deve decidere presso quale cliente

effettuare una corsa dedicata. Questa decisione viene presa sulla base di considerazioni puramente economiche; in particolare, l'obiettivo è quello di minimizzare il costo di ritiro.

Per questo motivo, come primo step è necessario identificare il costo unitario di reintegro $c_{r,i}$ [€/pallet] per ogni delivery point che ha un numero di buono pallet da restituire superiore a MPQ . Il costo viene calcolato come segue:

$$c_{r,i} = d_{A,i} * c_{km} * n_{trucks} * \frac{1}{I_{DP,i}^P(t)} \quad (\forall i | I_{DP,i}^P(t) \geq MPQ) \quad (36)$$

Nello specifico, n_{trucks} [viaggi] è calcolato come:

$$n_{trucks} = \frac{I_{DP,i}^P(t)}{n_{pallets/truck}} \quad (37)$$

dove $n_{pallets/truck}$ è una quantità fissa che descrive la quantità massima di pallet che possono essere caricati su un mezzo di trasporto. Una volta che $c_{r,i}$ è stato calcolato per tutti i delivery point, la Company A seleziona l'i-simo DP che minimizza il costo di ritiro, ovvero $\{i^* | c_{r,i^*} = \min c_{r,i} \text{ and } I_{DP,i^*}^P(t) \geq MPQ\}$. L'ammontare degli asset recuperati sarà pari a $R_{DP,i^*}(t)$, mentre il livello di inventory del DP selezionato, $I_{DP,i^*}^P(t)$, sarà pari a zero.

Tutte le equazioni e le logiche appena descritte, sono state inserite in un foglio di calcolo di Excel™ per creare il modello di simulazione. Tramite un opportuno codice implementato in VBA –Visual Basic for Applications, vengono fatti variare i due parametri OP e MPQ con l'obiettivo di individuare la combinazione ottimale. Il foglio è dotato anche di un database che contiene i dati di input relativi a consegne e spedizioni reali: partendo da tali valori, vengono generati casualmente e giornalmente gli ordini dei DP e il numero di pallet scambiati con interscambio immediato.

4.3.4 Gli indicatori di performance individuati

Dopo aver sviluppato il modello di simulazione, sono stati individuati una serie di indicatori di performance di tipo economico e strategico, per valutare l'efficienza del sistema. In totale, sono stati definiti 5 KPI, di seguito descritti:

1. Costo totale (C_{tot}): costo sostenuto da Company A per la gestione dei flussi della CLSC.

$$C_{tot} = C_{opp} + C_I + C_{p,u} + C_{p,r} + C_r \quad [\text{€/giorno}] \quad (38)$$

dove:

Opportunity cost (C_{opp}): riflette l'immobilizzazione di capitale (per acquisto pallet) che poteva essere utilizzato per investimenti differenti [€/giorno].

Inventory cost (C_I): costo di stoccaggio [€/giorno].

Cost of purchasing – urgent order ($C_{p,u}$): costo per acquisto di pallet in caso di ordini urgenti [€/giorno].

Cost of purchasing – regular order ($C_{p,r}$): costo per acquisto di pallet in caso di ordini regolari [€/giorno].

Costo di reintegro (C_r): costo relativo alle corse dedicate presso i DP, in accordo con la "Retrieving logic" [€/giorno].

2. Numero medio di pallet di proprietà (P_A): numero di pallet posseduti mediamente dalla Company A.

$$P_A = \frac{\sum_{t=1}^{N_{days}} (I_A^P(t) + \sum_{i=1}^7 S_{A,i}(t))}{N_{days}} \quad [\text{pallet}] \quad (39)$$

3. Indice di rotazione (AR): numero di volte in un anno che il pallet compie un giro completo della CLSC. Questo parametro viene calcolato come l'inverso del tempo ciclo CT [giorni], ovvero il tempo impiegato da un pallet per compiere un ciclo completo (magazzino Company A, trasporto verso il DP, magazzino DP, trasporto verso Company A). Il tempo ciclo viene quindi calcolato come segue:

$$CT = T_{stock,A} + T_{stock,DP} + LT_r + LT_d \quad [\text{giorni}] \quad (40)$$

dove:

$T_{stock,A}$ [giorni] e $T_{stock,DP}$ [giorni] rappresentano rispettivamente il tempo in cui il pallet è stoccato presso la Comapany A e il DP.

Si ha quindi:

$$AR = \frac{1}{CT} * 260 \quad [\text{anno}^{-1}] \quad (41)$$

4. Utilizzo percentuale ($U\%$): rapporto tra il tempo in cui il pallet è utilizzato nella CLSC (stoccato presso il magazzino del DP o in viaggio) e il tempo ciclo totale.

$$U\% = \frac{T_{stock,DP} + LT_r + LT_s}{CT} \quad [\%] \quad (42)$$

5. Out-of-stock (OOS): numero di volte che la Company A si trova ad affrontare una situazione di stock out e deve quindi procedere con l'evasione di un ordine urgente.

$$OOS = \frac{\text{number of out of stock situations}}{N_{days}} * 260 \quad [\text{giorni/anno}] \quad (43)$$

4.3.5 L'ottimizzazione multi-obiettivo

I KPI appena descritti sono stati utilizzati per valutare differenti scenari: in particolare, ogni scenario differisce nella combinazione di KPI che è stata scelta per ottimizzare il sistema. Infatti, nell'analisi multi-obiettivo, non vengono considerati tutti i parametri insieme, ma vengono ottimizzati solo alcuni dei KPI, scelti in modo da rispecchiare l'interesse della Company A nel focalizzarsi su alcuni aspetti rispetto ad altri. L'ottimizzazione multi-obiettivo è stata supportata dal software ModeFRONTIER™ release 4.5.4 (Esteco S.p.A.). Questo software è infatti in grado di comunicare con MS Excel™ e, una volta definiti gli input, gli output e le variabili del sistema (OP e MPQ), individua una serie di configurazioni ottime all'interno di una frontiera di Pareto.

I tre scenari analizzati e sottoposti ad un processo di ottimizzazione multi-obiettivo sono:

- *Scenario 1.* Vengono ottimizzati i parametri C_{tot} (minimo), $U\%$ (massimo), AR (massimo) e OOS (minimo). Questo scenario riflette la gestione attuale della Company A, che mira prima di tutto ad avere un costo totale di gestione che sia il più basso possibile; inoltre non ammette situazioni di stock out, ma allo stesso tempo tenta di utilizzare i pallet di proprietà senza acquistarne di nuovi.

- *Scenario 2.* Vengono ottimizzati gli stessi parametri strategici dello scenario precedente ($U\%$, AR , OOS) ma il C_{tot} che viene sostituito con il costo di acquisto totale $C_{p,u} + C_{p,r}$ (minimo). Questa configurazione punta a minimizzare l'acquisto di nuovi pallet per sfruttare i pallet posseduti dalla Company A. Naturalmente, dato che l'azienda non ammette stock out, l'indicatore di tale situazione viene sempre considerato tra i parametri da ottimizzare.

- *Scenario 3.* Vengono ottimizzati gli stessi parametri strategici dello scenario precedente ($U\%$, AR , OOS); inoltre come parametro economico viene ottimizzato il costo di reintegro C_r (minimo). In questo caso, si cerca di ridurre il numero di ritiri dedicati da parte di Company A verso i DP. Ci si aspetta quindi che venga privilegiato l'acquisto di pallet nuovi e si effettui un interscambio differito solamente quando risulta strettamente necessario e conveniente.

Infine, per tutti gli scenari, è stato definito un vincolo principale legato alla capacità del magazzino di Company A, per evitare che il software proponesse soluzioni ottime, ma allo stesso tempo inadeguate per la realtà.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti, vengono riportati i valori principali con alcune considerazioni che ne derivano. In particolare, sono stati studiati i trend dei KPI ottimizzati in funzione delle due leve operative del processo decisionale (OP e MPQ). Per tutti e tre gli scenari si riscontrano degli andamenti analoghi per quanto riguarda i KPI strategici, che vengono presentati di seguito.

Analizzando l'andamento di AR si osserva che, l'indicatore non sembra essere legato a OP , mentre è influenzato negativamente da MPQ ; quest'ultimo risultato è giustificato dal fatto che se aumenta la quantità minima di ritiro, aumentano il numero di pallet acquistati, aumentando così il tempo impiegato da un pallet per compiere un ciclo completo (CT) e così diminuisce AR .

I risultati ottenuti relativi alla relazione che esiste tra OOS e le due leve operative è ovvia: l'aumentare di OP provoca un aumento delle scorte, che diminuisce il verificarsi di situazioni di stock-out. Allo stesso modo, all'aumentare di MPQ , diminuisce OOS ; questo è probabilmente dovuto al fatto che se incrementiamo quantità minima di ritiro, avremo un maggior numero di ordini regolari e quindi un incremento del livello a scorta che riduce la possibilità di avere stock-out.

Infine, $U\%$ decresce all'aumentare di OP , che infatti comporta un aumento nei pallet di proprietà e quindi una diminuzione di CT ; al contrario non si riscontra una influenza significativa di MPQ .

Per quanto riguarda i KPI economici, per ogni scenario se ne è analizzato uno differente.

Partendo dallo scenario 1, è immediato capire dall'analisi dell'andamento di C_{tot} che la variabile OP non ha una relazione diretta con il parametro. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che OP ha un'influenza differente sulle varie voci di costo che compongono il costo totale: per esempio, all'aumentare di OP , aumenta il numero di scorte e quindi aumenta C_I . Allo stesso tempo, gli ordini regolari saranno più frequenti, aumentando $C_{p,r}$. Di conseguenza, gli ordini urgenti diminuiranno e quindi diminuirà $C_{p,u}$. Al contrario esiste una forte correlazione negativa tra C_{tot} che la variabile MPQ . Infatti, all'aumentare della quantità minima di ritiro, diminuisce il costo totale di gestione del processo (diminuisce infatti C_r che rappresenta tra tutte la voce di costo quella più significativa).

Nello scenario 2, il costo dell'ordine ($C_{p,u} + C_{p,r}$) aumenta al diminuire di OP . Questo è dovuto al fatto che se OP è molto basso, la Company A si troverà più frequentemente ad affrontare situazioni di stock

out e quindi ordini urgenti, che sono economicamente molto più dispendiosi. Il trend del KPI in funzione di MPQ è sempre negativo, anche se meno evidente.

Infine, per quanto riguarda lo scenario 3, si considera il costo di reintegro C_r . È immediato intuire che questo costo non ha nessuna correlazione con OP . Invece, si riscontra una correlazione forte negativa tra C_r e MPQ ; questo risultato è ovvio in quanto la leva operativa gioca un ruolo fondamentale nel processo decisionale di reintegro.

Una volta analizzati i vari trend, si è concluso il lavoro andando ad individuare una sola soluzione ottima per ogni scenario (combinazione ottimale di OP e MPQ), all'interno di quelle possibili proposte nella frontiera di Pareto: si tratta di affrontare una decisione multicriterio. Per far ciò sono stati identificati i seguenti pesi da associare ad ogni KPI coinvolto:

- 40% per il KPI di tipo economico (rispettivamente C_{tot} , $C_{p,u} + C_{p,r}$, C_r). Questo per rispecchiare l'incidenza di fattori economici nella gestione del processo;
- 30% per OOS , considerando il fatto che la Company A non ammette situazioni di out of stock;
- 15% per i restanti due parametri ($U\%$ e AR).

4.3.6 Conclusioni

Questo studio propone un'analisi multi-obiettivo delle performance di un processo di gestione del flusso degli asset logistici in una closed-loop supply chain. L'analisi è stata supportata da un modello di simulazione sviluppato con MS Excel™, che riproduce, attraverso una politica di riordino EOQ adattata, il processo di gestione dei pallet e restituisce i rispettivi costi e indicatori di performance. Il modello è stato poi utilizzato in un processo di ottimizzazione multi-obiettivo condotta dal software ModeFRONTIER™, grazie al quale sono stati studiati tre scenari differenti, combinando l'ottimizzazione di KPI differenti.

Da un punto di vista pratico, i risultati ottenuti offrono alla Company A una panoramica generale sulla gestione degli asset logistici e uno spunto per migliorare il processo, minimizzando il costo totale di gestione.

Dal punto di vista teorico, il modello è sufficientemente dettagliato ma allo stesso tempo abbastanza generale. Infatti potrebbe essere utilizzato per ulteriori configurazioni della CLSC, ad esempio si potrebbe modificare il numero di clienti serviti da Company A. Oppure, potrebbe essere adattato ad altri attori o altre CLSC. In questo senso, apporta un contributo interessante alla letteratura attuale.

5 Miglioramento di un sistema reale tramite BPR e simulazione

Il Business process reengineering (BPR) è una tecnica studiata fin dagli anni novanta (Hammer, 1990; Davenport and Short, 1990), diventata poi una delle metodologie più popolari per la gestione aziendale (Tumay, 1995). Tale approccio consiste nell'analisi e nella reingegnerizzazione non dell'organizzazione in generale, ma delle attività specifiche che caratterizzano il processo stesso. L'obiettivo è quello di migliorare le performance dell'intero sistema andando a riorganizzare i processi. Il valore apportato da questa tecnica va dalla riduzione dei costi o dei tempi (Grover et al., 1995) al miglioramento delle performance, come produttività, profitto e aumento delle quota di mercato (Ozcelik, 2009).

Lo studio presentato di seguito ruota attorno ad un caso reale. In particolare, le performance di un ente pubblico sono state misurate per migliorare il sistema attraverso la combinazione di una tecnica di BPR e strumenti avanzati di simulazione.

5.1 Il miglioramento dell'efficienza di una pubblica amministrazione attraverso strumenti di simulazione

Il lavoro propone una riprogettazione dei processi aziendali (BPR- Business Process Reengineering) per una pubblica amministrazione, con lo scopo di valutare le performance del sistema e successivamente rivedere i processi interni per migliorare l'efficienza globale. L'approccio utilizzato consiste nella iniziale mappatura dei processi coinvolti e nel collazionamento dei dati del sistema. Successivamente è stato sviluppato un modello di simulazione ad eventi discreti per la riproduzione del sistema, utilizzando uno specifico software: Simul8™. Per valutare l'efficienza del sistema sono stati definiti una serie di indicatori di performance congruenti con il tipo di sistema analizzato. Una volta individuati quali fossero i punti deboli, si è proseguita l'analisi implementando una serie di configurazioni alternative e valutando le performance degli stessi. Dallo studio è risultato che l'attuale livello di efficienza del sistema può essere notevolmente migliorato. Naturalmente, i risultati di questo studio non possono essere generalizzati dato che si è analizzata una pubblica amministrazione specifica. Tuttavia, considerando il fatto che la letteratura scientifica include limitati studi sulla valutazione dell'efficienza di una pubblica amministrazione, la ricerca offre un interessante contributo.

5.1.1 Introduzione

I concetti di efficienza ed efficacia sono tipicamente applicati al settore privato, mentre raramente vengono affiancati a contesti pubblici, che sono universalmente considerati inefficienti (Mihaiu et al., 2010). Infatti, i sistemi pubblici, non essendo affetti da concorrenza, sono meno motivati nel ridurre i costi e migliorare l'efficienza delle operazioni (Rainey et al., 1976). Negli ultimi decenni, si è sentita sempre più la necessità di aumentare la competitività, ad esempio per quanto riguarda la sostenibilità fiscale o la burocrazia interna, per offrire un servizio al cittadino sempre migliore ad un costo sempre minore; questo ha portato alla redazione di una serie di regolamenti per la pubblica amministrazione a livello europeo (European Commission, 2007). In Italia, per esempio, a partire dagli anni 90 si sono susseguite una serie di riforme per migliorare l'efficienza del servizio. Alla base, ci sono naturalmente delle ragioni di tipo economico; per esempio, gli effetti della recente crisi economica che ha coinvolto l'intero globo, hanno costretto anche i sistemi pubblici ad eliminare gli sprechi. Inoltre, il settore pubblico rappresenta una larga parte dell'economia globale in molti paesi europei e in Italia raccoglie circa il 20% dei lavoratori totali (Ragioneria Generale dello Stato, 2012); l'aumento dell'efficienza comporterebbe quindi miglioramenti per tutto il sistema economico del paese.

In generale, una pubblica amministrazione dovrebbe cercare di migliorare i propri servizi per soddisfare i bisogni dei propri cittadini. Per far ciò, possono essere adottate una serie di azioni: miglioramento della tecnologia legata a comunicazione e informazione (ICT), interoperabilità tra gli operatori, sviluppo della tecnologia digitale o sviluppo di tecnologie web come l'e-government (Gil-Garcia and Pardo, 2005; Beynon-Davies, 2005; Archmann and Castillo Iglesias, 2010). L'alternativa è quella di cercare di migliorare i processi interni, ottimizzando l'allocazione delle risorse (Muthu et al., 1999).

Ridefinire i processi interni e valutare le performance degli stessi utilizzando un approccio di reingegnerizzazione (BPR) è attualmente la procedura più idonea tutte le volte che vengono introdotte in un sistema delle modifiche. Nel settore privato, per esempio, le innovazioni possono essere

rappresentate dall'introduzione di nuovi servizi offerti al cittadino (Aversano et al., 2002); ad ogni modo, qualsiasi tipo di cambiamento giustifica l'utilizzo di un approccio BPR.

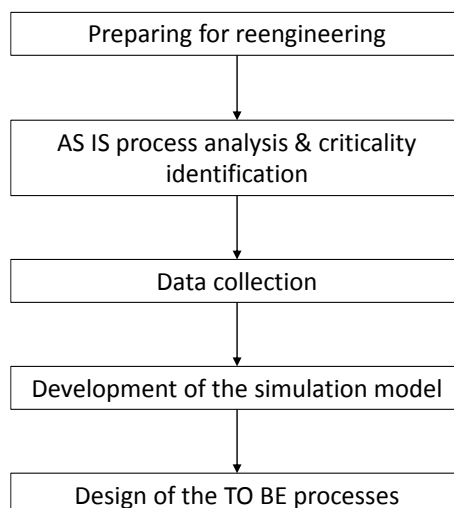
In questo lavoro, viene utilizzato un approccio di questo tipo per valutare e migliorare l'efficienza di una pubblica amministrazione. Strumenti di BPR e simulazione sono stati affiancati per ridefinire i processi analizzati.

Il lavoro è stato organizzato come segue: si illustra inizialmente l'approccio metodologico, in accordo con un processo di BPR. Viene quindi presentato il sistema As-is, riprodotto sviluppando un modello di simulazione successivamente descritto. Infine, vengono identificate ed analizzate una serie di configurazioni migliorative.

5.1.2 L'approccio metodologico

Il tipico approccio BPR consiste in 5 step: (1) preparazione al processo di reingegnerizzazione (*Preparing for reengineering*); (2) mappatura e analisi del sistema As-is (*Mapping and analysing the AS IS process*); (3) individuazione delle configurazioni To-be (*Design the TO BE processes*); (4) implementazione dei processi modificati (*Implement the reengineered process*); (5) miglioramento continuo (*Improving continuously*) (Hammer and Champy, 1993; Muthu et al., 2010). La figura seguente spiega l'approccio appena utilizzato nel lavoro, compatibile con le fasi sopra citate. Naturalmente, l'analisi realizzata termina con lo step 3; lo sviluppo dei restanti punti viene lasciato a discrezione dell'ente analizzato.

Figura 24: schema dell'approccio BPR seguito



Preparing for reengineering. Questo primo step include alcune attività preliminari, con lo scopo di valutare se è possibile procedere con un processo di reingegnerizzazione, che comporta l'implementazione di modifiche ai processi attuali. Nel nostro caso, la responsabile dell'ente si è detta disponibile ad apportare cambiamenti, con l'unico vincolo legato al mantenimento del numero di dipendenti e del loro orario lavorativo.

Analysis of the AS IS processes and criticality identification. La mappatura dei processi è il primo passo per un approccio BPR. I processi vengono studiati e vengono individuati i punti critici del sistema che saranno poi quelli modificati e riprogettati. Nel nostro caso, è stato analizzato lo Scenario As-is.

Data collection. Vengono collezionati una serie di dati utili per l'analisi delle performance del sistema. In particolare, sono stati ricavati dati come: numero di cittadini serviti, risorse utilizzate, tipo di servizio fornito, tempo di servizio, tempo di attesa in coda. I dati disponibili sono stati estratti dal database locale, altri sono stati recuperati attraverso una campagna di misurazione sul posto.

Development of the simulation model. Al termine degli step precedenti è stato realizzato un modello di simulazione ad eventi discreti per riprodurre il comportamento della pubblica amministrazione. Come input, sono stati inseriti i dati raccolti; come output, sono stati definiti una serie di KPI (Key Performance Indicator) che potessero ben descrivere il comportamento del sistema, che sono stati poi calcolati per valutare l'efficienza del servizio offerto.

Design of the TO BE processes. Sulla base di quanto ottenuto dall'analisi del sistema As-is, sono state individuate una serie di configurazioni To-be, implementate nel modello di simulazione già realizzato. Questi scenari, caratterizzati da differenti condizioni operative, tengono in considerazione tutti i vincoli imposti dall'ente. Anche in questo caso, sono stati calcolati gli stessi KPI. Infine, i risultati sono stati confrontati per ottenere delle linee guida utili per la scelta della configurazione migliore da adottare nella realtà.

5.1.3 Mappatura del processo e analisi del Sistema As-is

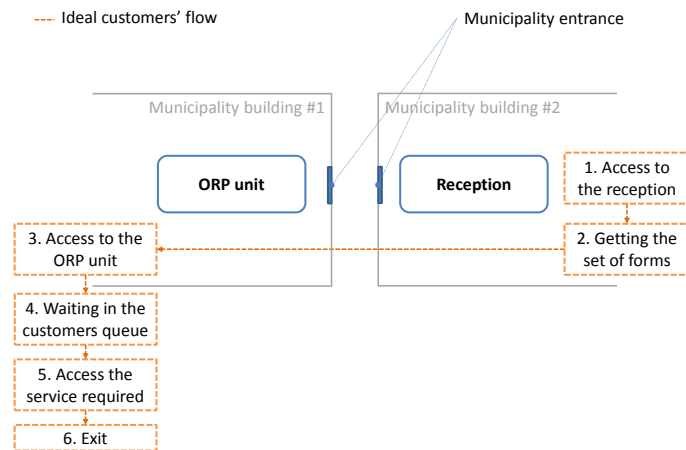
La pubblica amministrazione analizzata (il cui nome viene omissso per ragioni di riservatezza), è un comune situato nel Nord Italia. È caratterizzato da una popolazione di circa 30000 abitanti, con un significativo aumento riscontrato dal 2012 (+12%). L'ente è stato visitato più volte, per capire quali fossero le attività da considerare nello studio, l'organizzazione interna e i tipi di servizi offerti al cittadino. Durante la prima visita, si è valutato se fosse opportuno procedere con un approccio di tipo BPR, che comporta come step finale la modifica e la riorganizzazione dei processi interni. Tale metodologia è risultata essere fattibile.

Il gruppo di lavoro ha quindi individuato quale fosse l'area d'intervento e quali fossero gli obiettivi del progetto di ricerca, che possono essere riassunti come segue: (1) migliorare la qualità del servizio, (2) aumentare l'efficienza della forza lavoro. Naturalmente, lo scopo generale rimane quello di migliorare globalmente l'efficienza dell'intero sistema.

Per quanto riguarda il sistema da analizzare, si è deciso di focalizzarsi su quei processi legati direttamente ai cittadini; in particolare, l'ente studiato è caratterizzato da una specifica unità che si relaziona direttamente con il pubblico (ORP – Office for Relations with the Public). Tale unità è affiancata da una Reception che rappresenta la prima interfaccia con il cittadino e ha il compito di: fornire le informazioni generali relative ai servizi offerti dal centro ORP, indirizza il pubblico verso gli uffici opportuni in base alla richiesta e fornisce i moduli se necessario. Il centro ORP, invece, offre una serie di servizi, divisi in 4 categorie, ed è caratterizzato da 5 sportelli dove viene svolta un'attività di front office. A causa delle caratteristiche di ciascun servizio e della complessa burocrazia legata alle differenti pratiche, i 5 operatori che lavorano nel centro ORP sono specializzati in una o più categorie, ma non sono comunque in grado di svolgere tutte le attività. Di conseguenza, non può essere adottata una strategia di job rotation o comunque è necessario che, durante l'orario di apertura, sia presente una combinazione di operatori in modo da espletare qualsiasi tipo di pratica. Infatti, il centro ORP è caratterizzato da un orario di apertura che varia in funzione del giorno della settimana e i vari impiegati svolgono un orario di lavoro differente in funzione delle competenze. Inoltre, è stato rilevato che gli

operatori, durante l'orario di lavoro, possono essere interrotti da telefonate, e mail, o da richieste da parte dei colleghi; questa situazione di disturbo causa dei ritardi nel servizio al cittadino. La Figura 25 descrive il flusso dei cittadini che, passando per la Reception (fasi 1 e 2), arrivano al centro ORP dove è posizionato un terminale per il rilascio di un biglietto, caratterizzato da un numero progressivo e il codice che descrive la categoria del servizio selezionato (3). A questo punto il cittadino aspetta il suo turno (4) fino al momento in cui viene chiamato dall'operatore in funzione del numero ricevuto (5). Infine, dopo essere stato servito dall'impiegato, lascia il centro ORP (6).

Figura 25: flusso dei cittadini nel centro ORP



5.1.4 Sviluppo del modello di simulazione

Lo stato As-is del centro ORP è stato riprodotto attraverso un modello di simulazione, che è stato sviluppato *ad hoc* utilizzando Simul8™ (Visual Thinking International Ltd.). Simul8™ è un software di simulazione ad eventi discreti ed è comunemente utilizzato per simulare sistemi che sono caratterizzati da un susseguirsi di eventi temporali, come i sistemi logistici o produttivi. Come output, fornisce di default delle statistiche generali delle performance di alcuni parametri (Concannon et al., 2007).

Il modello che riproduce lo scenario As-is consiste in una serie di file differenti, ognuno dei quali riporta il flusso di cittadini in una specifica situazione. Infatti, considerando le interruzioni subite dagli operatori, precedentemente descritte, si analizzano per lo scenario As-is, così come per quello To-be, due configurazioni differenti:

1. Configurazione "con disturbo": situazione reale nella quale l'operatore è interrotto da telefonate, e mail o richieste di altri colleghi.
2. Configurazione "senza disturbo": situazione ideale in cui non vi è nessuna interruzione.

In particolare vengono simulati 6 configurazioni differenti, ognuna delle quali riproduce un particolare giorno della settimana (da Lunedì a Sabato) per la situazione con disturbo e 6 configurazioni differenti per la situazione senza disturbo. In totale, per lo Scenario As-is, vengono quindi simulate 6x2=12 configurazioni differenti. Questo è stato necessario, in quanto (1) ogni giorno è caratterizzato da differenti orari di apertura al pubblico e differenti flussi di cittadini; (2) le condizioni al contorno influenzano la resa dell'operatore ed è quindi necessario distinguere situazione ideale e reale.

I dati di input utilizzati sono stati ricavati dal database dell'ente, che raccoglie tutta una serie di informazioni numeriche relative livello di servizio offerto. In particolare, sono stati considerati i dati

relativi ad un anno solare. Naturalmente i dati estratti sono stati elaborati prima di essere inseriti nel modello di simulazione. Le principali informazioni che sono state ricavate per essere inserite sono: (1) distribuzione dell'arrivo dei cittadini in funzione del giorno della settimana e lungo l'orario di apertura del centro ORP, (2) percentuale del tipo di servizio offerto sul totale dei servizi erogati, (3) produttività dell'operatore e (4) tempo medio di servizio per operatore e per pratica.

Il tipo di software utilizzato per implementare il modello consente di riprodurre un sistema utilizzando una serie di blocchi standard, caratterizzati da proprietà differenti. Tali elementi possono essere collegati in modo da definire il verso del flusso in ingresso. Il primo blocco (Starting point) viene utilizzato per generare gli input del modello (in questo caso i cittadini), in accordo con una definita distribuzione di probabilità opportunamente scelta. Il tempo che intercorre tra due ingressi è stato modellato secondo una distribuzione esponenziale, che è tipicamente adottata nella teoria delle code (Hillier and Lieberman, 2010); infatti, essendo caratterizzata da assenza di memoria, riesce a riprodurre bene due arrivi consecutivi, dove uno è indipendente dal successivo. Nel sistema sono stati inseriti alcuni elementi fittizi, utilizzati solamente per assegnare delle caratteristiche, ma caratterizzati da un tempo nullo; questo significa che ad ogni cittadino che attraversa questo elemento viene, ad esempio, assegnato un codice che identifica il servizio richiesto. Questo attraversamento non comporta però un avanzamento nel tempo della simulazione. Per i dettagli del modello di simulazione implementato, si rimanda all'articolo: Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M., 2015. Improving the efficiency of public administrations through business process reengineering and simulation: a case study. Business Process Management Journal. 21(2). In press.

Una volta costruito il modello di simulazione, sono state definiti gli indicatori di performance più idonei alla valutazione dell'efficienza del sistema stesso, sulla base dei risultati numerici forniti dalla simulazione. In accordo con i responsabili dell'ente coinvolti, sono stati definiti i seguenti KPI:

- *numero massimo di utenti in coda*: massimo numero di cittadini in attesa di essere serviti durante uno specifico giorno [utenti];
- *tempo medio di attesa in coda*: tempo che intercorre tra il momento in cui il cittadino entra nel ORP al momento in cui è chiamato dall'operatore per essere servito; la media è calcolata considerando tutti i cittadini che visitano il centro ORP [minuti];
- *saturazione media dell'operatore*: rapporto tra il tempo speso giornalmente in attività lavorative e il tempo totale del turno di lavoro [%]. Naturalmente, nel caso di configurazione "con disturbo", le attività lavorative comprendono anche i servizi offerti a colleghi o il servizio telefonico offerto ai cittadini che chiamano per avere informazioni.

Considerando che il modello è caratterizzato da una serie di variabili stocastiche, si è deciso di lanciare un certo numero di simulazioni per evitare che i risultati fossero condizionati dal lancio di una sola simulazione particolarmente sfavorevole; in totale sono state considerate 15 replicazioni per offrire dei risultati affidabili e viene presentato come risultato finale il valor medio.

5.1.5 Progettazione degli Scenari To-be

Dai risultati ottenuti dalle 12 configurazioni dello scenario As-is emerge che, in generale, il *numero massimo di utenti in coda* è limitato e il *tempo medio di attesa* è sempre molto contenuto. Inizialmente questo potrebbe sembrare un buon risultato; in realtà se si analizza l'efficienza dell'operatore diventa ovvio come tali valori siano legati alla presenza di un numero di dipendenti troppo elevato rispetto al

flusso di utenti. Infatti, in una situazione “con disturbo”, la *saturazione media dell’operatore* è sempre inferiore al 53%, valore che diminuisce ulteriormente nelle configurazioni “senza disturbo”. Questo conferma il fatto che uno dei punti chiave stabiliti in fase iniziale era quello di aumentare l’efficienza della forza lavoro. Di conseguenza, si è deciso di implementare una serie di configurazioni alternative per raggiungere questo obiettivo.

In particolare, sono state identificate due principali leve operative su cui agire:

- numero di utenti che accedono al sistema;
- numero di operatori che lavorano nello stesso turno.

Queste due leve sono state combinate alle due condizioni operative usate per lo scenario As-is, ovvero situazione “con disturbo” e “senza disturbo”.

Per quanto riguarda il primo punto, nel primo scenario To-be, si è aumentato il flusso di cittadini del 20%, 40% e 60% rispetto allo scenario As-is. La ragione di questa scelta è duplice: prima di tutto si cerca di valutare la flessibilità del sistema ad affrontare un aumento del flusso in ingresso o nel caso si presentassero picchi stagionali. Inoltre, un aumento nel numero di utenti potrebbe rispecchiare la situazione in cui il comune decidesse di offrire altri servizi al cittadino, o servisse anche cittadini di altri comuni, secondo una sempre più diffusa politica di “cost and service sharing”. Considerando quindi il variare della leva operativa, i giorni della settimana simulati e le condizioni operative, si hanno in totale per il primo scenario To-be $3 \times 6 \times 2 = 36$ differenti configurazioni To-be da analizzare, ognuna delle quali implementata in uno specifico file di Simul8™.

Per quanto riguarda invece la seconda leva operativa, si è deciso di modificare il mix degli operatori. Come già descritto, i cinque operatori del centro ORP sono caratterizzati da turni di lavoro e competenze differenti, quindi, per ogni giorno lavorativo, cambia la combinazione di operatori presente nel centro. L’unico vincolo riguarda il fatto che, tutti i giorni, tutti i servizi devono poter essere erogati. Per definire le possibili configurazioni alternative si è quindi tenuto in considerazione questo aspetto e il fatto che si dovesse mantenere l’attuale orario di apertura al pubblico. Naturalmente, l’eliminazione di un operatore dal centro non significa che lo stesso debba terminare il suo rapporto di lavoro, ma può essere utilizzato in altri uffici o per svolgere altre mansioni all’interno del centro ORP. Sono state quindi individuate 8 possibili combinazioni differenti, ottenute andando ad eliminare uno o più operatori rispetto allo scenario As-is. Considerando sempre le due condizioni operative “con e senza disturbo”, si hanno in totale 16 configurazioni differenti per il secondo scenario To be.

Si precisa che la combinazione delle due leve non viene presa in considerazione, in quanto è risultata essere non realistica; a fronte di un aumento del flusso non è coerente pensare ad una diminuzione della forza lavoro.

In totale, avremo quindi $36 + 16 = 52$ differenti configurazioni To-be implementate, ognuna delle quali lanciate 15 volte per ottenere un risultato generale affidabile.

Per comparare i risultati dello scenario As-is e To-be sono stati utilizzati gli stessi KPI, sempre calcolati partendo dai risultati forniti dalla simulazione.

Considerando l’aumento del flusso degli utenti, è evidente osservare come cresce la produttività degli operatori raggiungendo un picco massimo di 75%, che risulta comunque ancora lontano dall’ideale

100%. Anche nel caso di aumento del 60%, il *tempo medio di attesa in coda* rimane comunque ad un livello accettabile (circa 15 minuti).

Anche i confronti relativi allo scenario legato al mix degli operatori offre spunti interessanti, in quanto quasi tutte le configurazioni sembrano offrire risultati accettabili. Anche in questo caso, è quindi possibile offrire un livello di servizio adeguato, diminuendo allo stesso tempo il numero di operatori. Questo perché si aumenta l'efficienza del sistema. In alcuni casi il picco di saturazione dell'operatore raggiunge anche un valore di 92%, che sembra però essere troppo elevato per l'implementazione nella realtà.

Concludendo, è stata individuata una specifica configurazione che potrebbe essere applicata a tutti i giorni della settimana e consiste nell'eliminazione di uno specifico operatore che potrebbe essere permanentemente assegnato ad un altro ufficio. Questa, fornisce valori di performance relativi a *numero massimo di utenti in coda* e *tempo medio di attesa in coda* più che accettabili e un valore massimo di *saturazione media dell'operatore* del 63% che è altamente accettabile.

5.1.6 Conclusioni

L'articolo mira all'analisi e miglioramento delle performance di un ente pubblico, situato nel Nord Italia. Per far ciò è stata utilizzata una combinazione di tecniche di BPR e simulazione. Lo scopo è stato quello di identificare l'attuale livello di efficienza di uno specifico servizio della pubblica amministrazione, per poi ridefinire l'organizzazione del processo stesso. È emerso dallo studio che l'efficienza dei dipendenti del centro considerato era veramente limitata, e ciò era causato da un numero troppo elevato di operatori a fronte del flusso di cittadini riscontrato. Per questo motivo, dopo l'implementazione di più scenari alternativi, si è individuata una specifica configurazione che permette di aumentare le performance eliminando un operatore (che potrebbe essere spostato in un altro ufficio).

I risultati ottenuti sono ovviamente specifici per l'ente considerato; tuttavia, sono state proposte una serie di soluzioni che potrebbero essere adottate anche da altri uffici del settore pubblico. Per esempio, è possibile aumentare il flusso di cittadini adottando una politica di "cost and service sharing", ovvero identificare un ufficio in grado di offrire uno specifico servizio a cittadini di più comuni. In questo modo i comuni possono dividere il costo del servizio offerto e, allo stesso tempo, aumentare la produttività dell'ufficio che vede un flusso maggiore di cittadini, mantenendo lo stesso numero di dipendenti.

Infine, si offre un interessante contributo alla letteratura scientifica, in quanto esistono molti studi relativi all'efficienza di una pubblica amministrazione, ma pochissimi che mirano allo studio all'applicazione di tecniche di BPR alla stessa. Inoltre, nonostante tecniche di simulazione e BPR siano largamente conosciute, è stato provato che la simulazione ben si adatta e fornisce un ottimo supporto per la riorganizzazione dei processi. Infatti, nel nostro caso sono stati studiati più di 50 configurazioni To-be differenti senza la necessità di implementarli nella pratica. In questo caso, la simulazione risulta essere uno strumento prezioso per permettere un'analisi di questo tipo.

6 Conclusioni

La simulazione è sempre stata largamente utilizzata in differenti aree di applicazione come potente strumento per la risoluzione di problemi complessi. Grazie a questa tecnica è possibile analizzare un sistema senza entrare direttamente in contatto con lo stesso studiandone relazioni e intersezioni interne senza ricorrere a metodi teorico-statistici particolarmente articolati. Inoltre, un modello di simulazione offre la possibilità di modificare facilmente le caratteristiche del sistema riprodotto per studiare soluzioni alternative.

In letteratura è possibile individuare molteplici pubblicazioni relative a questa tecnica e la sua applicazione continuerà probabilmente a crescere e ad evolversi nel futuro. La simulazione ad eventi discreti è una delle tecniche più diffuse utilizzata per analizzare e capire le dinamiche di un sistema produttivo. In ambito gestionale, questo strumento è molto utile in quanto permette di riprodurre un sistema e di sviluppare differenti configurazioni alternative prima che le stesse vengano implementate nella realtà. Questo approccio è largamente utilizzato come punto di forza per competere in un mercato sempre più competitivo.

Alla luce di queste considerazioni, con la presente tesi di dottorato si è cercato di contribuire alla letteratura scientifica relativa alla simulazione ad eventi discreti. In particolare, sono stati analizzati differenti sistemi produttivi o intere supply chain utilizzando modelli di simulazione. Questo strumento ha permesso di studiare sistemi caratterizzati da specifiche logiche interne con lo scopo di ottimizzare gli stessi.

In particolare, sono stati presentati 7 lavori differenti, sviluppati nel corso del Dottorato di ricerca, che possono essere suddivisi in quattro macro aree generali.

La prima area analizzata riguarda la gestione delle scorte. Una politica di gestione a scorta (inventory management) ben progettata permette di fornire ininterrottamente e al minimo costo materie prime e prodotti finiti lungo tutta la supply chain. Naturalmente, l'inventory management ha un forte impatto sull'efficienza dell'intero sistema logistico. Per tale ragione, sono stati realizzati dei modelli di simulazione per l'ottimizzazione di differenti politiche di inventory.

Il secondo tema trattato è relativo all'analisi delle performance di un sistema produttivo. Questo è diventato un argomento sempre più discusso in letteratura, in quanto fondamentale per riuscire a consegnare un prodotto finito di alta qualità, ma al minimo costo. Il successo di un efficace sistema di misurazione delle performance è strettamente legato alla scelta di appropriati indicatori che devono essere misurabili e rappresentativi del sistema in esame. In questo caso, si è presentato un lavoro focalizzato sulla valutazione delle performance di un sistema produttivo reale, con l'obiettivo ultimo di migliorare il sistema riducendo il consumo di una risorsa scarsa.

Successivamente, si è passati allo studio della gestione della supply chain nel suo complesso. Questo perché negli ultimi anni si ricerca sempre di più l'ottimizzazione globale a livello di supply chain piuttosto che il miglioramento del singolo attore. Quanto appena affermato porta al bisogno di misurare e monitorare le performance dell'intero sistema per individuare possibili miglioramenti. A tal proposito, sono stati condotti tre studi differenti; in particolare, si sono riprodotti tre sistemi differenti tramite specifici modelli di simulazione con l'obiettivo comune di valutare le performance del sistema stesso.

Infine, si è cercato di combinare strumenti di simulazione alla tecnica di reingegnerizzazione dei processi industriali (BPR). Infatti, uno dei metodi attualmente più utilizzati dalle aziende per ottenere il miglioramento delle performance aziendali è quello del BPR. In particolare, le performance di un ente pubblico sono state misurate per migliorare il sistema stesso. In ambito pubblico, una reingegnerizzazione radicale dei processi esistenti è, di fatto, molto difficile a causa della normativa vigente e dei numerosi vincoli presenti negli ambienti operativi, mentre è possibile applicare dei miglioramenti incrementali ai processi con le dovute considerazioni e rispettando tutte quelle che sono le condizioni al contorno. Il lavoro ha quindi valutato modalità operative per incrementare le performance dell'ente pubblico in esame attraverso l'utilizzo di tecniche di simulazione.

In generale, considerando le quattro macro-aree analizzate, si è cercato di contribuire alla letteratura già presente in materia individuando una serie di conclusioni generali. Naturalmente, in alcuni casi, i risultati ottenuti sono specifici per il caso studio analizzato e non possono essere generalizzati; analogamente, in altri casi i risultati numerici sono dipendenti dai valori di input inseriti nel modello di simulazione. Tuttavia, lo stesso approccio potrebbe essere generalizzato e utilizzato per l'analisi di sistemi differenti. Inoltre, sono state definite delle linee guida che possono essere adottate nella pratica e possono offrire interessanti spunti a manager aziendali.

Concludendo, le attività svolte hanno dimostrato come la simulazione ad eventi discreti si sia rivelato uno strumento valido per l'analisi e l'ottimizzazione di un sistema industriale. Questo approccio, infatti, permette di riprodurre sistemi complessi che difficilmente potrebbero essere risolti con un approccio matematico. Inoltre, permette di modificare facilmente le logiche implementate nel modello per studiare soluzioni alternative ed identificare quella ottimale.

7 Bibliografia

- Abdel-Malek, L. and Montanari, R., 2005a. On the multi-product newsboy problem with two constraints. *Computer & Operations Research*, 32, 8, 2095–2116.
- Abdel-Malek, L. and Montanari, R., 2005b. An analysis of the multi-product newsboy problem with a budget constraint. *International Journal of Production Economics*, 97, 3, 296–307.
- Abdi, H., 2007. Bonferroni and Šidák corrections for multiple comparisons. In: Salkind, N.J. (Ed.), *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks: Sage Publications. Available at <http://www.utdallas.edu/~herve/Abdi-Bonferroni2007-pretty.pdf> (accessed October 2011).
- Alinovi, A., Bottani, E., Montanari, R., 2012. Reverse Logistics: a stochastic EOQ-based inventory control model for mixed manufacturing/remanufacturing systems with return policies. *International Journal of Production Research*, 50(5), 1243–1264.
- Archmann, S., Castillo Iglesias, J., 2010. eGovernment – a driving force for innovation and efficiency in Public Administration. *Eipascope*, 1, 29-36. Available at: http://www.eipa.eu/files/repository/eipascope/20100519110452_Eipascope_2010_1eGovernment.pdf (accessed October 2013).
- Armenzoni, M., Rinaldi, M., Montanari, R., Bottani, E., & Solari, F., 2014. Single sourcing vs. double sourcing: a simulation approach for supplier selection. In: Affenzeller, M., Bruzzone, A.G., Jiménez, E., Longo, F., Merkurjev, Y., & Zhang, L. (eds.), *Proceedings of the 26th European Modeling & Simulation Symposium (EMSS 2014)*, ISBN 978-88-97999-32-4 (paper), ISBN 978-88-97999-38-6 (pdf), pp.543-549. September 10-12, 2014, Bordeaux (France).
- Negahban, A., Smith, J.S., 2014. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33, 241–261.
- Aversano L., Canfora, G., De Lucia, A., Gallucci, P., 2002. Business process reengineering and workflow automation: a technology transfer experience. *The Journal of Systems and Software*, 63(1), 29–44.
- Baines, T., Mason, S., Siebers, P.O., Ladbrook, J., 2004. Humans: the missing link in manufacturing simulation? *Simulation Modelling Practice and Theory*, 12(7–8), 515–26.
- Banks, J., Malave, C.O., 1984. The Simulation of Inventory Systems: An Overview. *Simulation*, 42, 283–290.
- Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L., Nicol, D.M., 2009. *Discrete-event system simulation*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.
- Beamon B.M., 1999. Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3), 275–292.
- Beynon-Davies, P., 2005. Constructing electronic government: The case of the UK inland revenue. *International Journal of Information Management*, 25(1), 3–20.
- Blackburn, J. and Scudder, G., 2009. Supply chain strategies for perishable products: the case of fresh produce. *Production and Operations Management*, 18(2), pp.129–137.
- Bottani, E., Rizzi, A., 2005. A fuzzy multi-attribute framework for supplier selection in an E-procurement environment. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 8(3), 249-266.
- Bottani, E., Montanari, R., Volpi, A., 2007. Quantifying the Bullwhip Effect in inventory management policies. In: Pawar, K.S., Lalwani, C.S., and Muffatto, M. (eds.), *Proceedings of the 12th International Symposium in Logistics*, ISBN: 978-0-85358-218-2, vol.1, pp.455-461. July 8-10, 2007, Budapest (Hungary).

- Bottani, E., Montanari, R., 2008. Supply chain design and cost analysis through simulation. *International Journal of Production Research*, 48(10), 2859-2886.
- Bottani, E., Montanari, R., 2008. A Simulation Tool for Supply Chain Design and Optimization. *Proceedings of TCN CAE 2008 – International Conference on Simulation Based Engineering and Sciences*, October 16–17, Venice, Italy.
- Bottani, E., Rizzi, A., 2008. Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the Fast Moving Consumer Goods supply chain. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 548-569.
- Bottani, E., 2009. A fuzzy QFD approach to achieve agility. *International Journal of Production Economics*, 119(2), 380-391.
- Bottani, E., Montanari, R., 2010. Supply chain design and cost analysis through simulation. *International Journal of Production Research*, 48(10), 2859–2886.
- Bottani, E., Montanari, R., 2011. Design and performance evaluation of supply networks: a simulation study. *International Journal Business Performance and Supply Chain Modelling*, 3(3), 226–269.
- Bottani, E., Ferretti, G., Montanari, R., Vignali, G., 2012. The impact of (S, s) policy on supply network performance: a simulation study. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 4(2), 164–201.
- Bottani, E., Ferretti, G., Montanari, R., Rinaldi, M., 2014. Analysis and optimization of inventory management policies for perishable food products: a simulation study. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 9(1/2), 16-32. DOI: 10.1504/IJSPM.2014.061429.
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M., In press. How many to produce? The impact of machine flexibility on the performance of a supply chain. *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*.
- Bottani, E., Montanari, R., Rinaldi, M., 2015. Improving the efficiency of public administrations through business process reengineering and simulation: a case study. *Business Process Management Journal*, 21(2). In press
- Bruzzone, A.G., Longo, F., 2010. An advanced system for supporting the decision process within large-scale retail stores. *Simulation*, 86(12), 742–762.
- Bruzzone, A., Bocca, E., 2012. Innovative solutions based on simulation combined with optimization techniques for maintenance service management within complex systems. *International Journal of Modelling, Simulation and Scientific Computing*, 3(2), Article 1240004, 23 pages.
- Centi, G., Perathoner, S., 1999. Recycle rinse water: problems and opportunities. *Catalysis Today*, 53, 11–21.
- Chan, F.T.S., Chan, H.K., 2005. Simulation modeling for comparative evaluation of supply chain management strategies. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25(9–10), 998–1006.
- Chatfield, D.C., Kim, J.G., Harrison, T.P., Hayya, J.C., 2004. The bullwhip effect - impact of stochastic lead time, information quality, and information sharing: a simulation study. *Production and Operations Management*, 13(4), 340-353.
- Chen, F., Drezner, Z., Ryan, J.K., Simchi-Levi, D., 2000. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information. *Management Science*, 46(3), 436-443.
- Christopher, M., 1992. *Logistics & Supply Chain Management*. London: Pitmans.

- Christopher, M., Towill, D.R., 2002. Developing market specific supply chain strategies. *The International Journal of Logistics Management*, 13(1), 1-14.
- Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D., 1997. Supply Chain Management: More than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 1–14.
- Concannon, K., Elder, M., Hindle, K., Tremble, J., Tse, S., 2007. Simulation modelling with Simul8™. Canada: Visual Thinking International. ISBN: 0973428503. Available at http://www.simtech.hu/_data/VFS_6084183539ff1c826da47589a021838c.pdf (accesses august 2014).
- Correa, H.L., 1994. *Linking Flexibility, Uncertainty & Variability in Manufacturing Systems*, Avebury, Aldershot.
- Costantino, N., Pellegrino, R., 2010. Choosing between single and multiple sourcing based on supplier default risk: A real options approach. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 16, 27–40.
- Davenport, T.H. and Short, J.E., 1990. The new industrial engineering: information technology and business process redesign. *Sloan Management Review*, Summer, 11-27.
- Dekker, R., Inderfurth, K., Van Wassenhove, L.N., Fleischmann, M., (2004). *Reverse Logistics – Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*. Springer, Berlin. ISBN: 9783540406969.
- Deniz, B., Scheller-Wolf, A. and Karaesman, I., 2004. Managing Inventories of Perishable Goods: The Effect of Substitution. Working Paper of the Carnegie-Mellon University Pittsburgh, Retrieved June, 2012 from <http://faculty.fuqua.duke.edu/seminarscalendar/Scheller-WolfSeminar.pdf>.
- Dejonckheere, J., Disney, S.M., Lambrecht, M.R., Towill, D.R., 2003. Measuring and avoiding the bullwhip effect: a control theoretic approach. *European Journal of Operational Research*, 147, 567-590.
- Ellram, L., 1990. The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing Material Management*, 26(4), 8–14.
- Estampe D., Lamouri S., Paris J.-L., Brahim-Djelloul, S., 2013. A framework for analysing supply chain performance evaluation models. *International Journal of Production Economics*, 142(2), pp.247-258.
- European Commission, (2007). Initiatives to improve the efficiency and effectiveness of public spending: "modernising public administration. Available at http://europa.eu/epc/pdf/modernising_public_admin_en.pdf (accessed October 2013).
- European Commission, (2007a). BRIDGE – building radio frequency identification for the global environment – WP9: Returnable transport items: The market for EPCglobal applications. Available at www.bridge-project.eu (accessed July 2008).
- Feigin, G. E., 1999. Inventory Planning in Large Assembly Supply Chains. *Quantitative Models for Supply Chain Management*, edited by S. Tayur, R. Ganeshan, and M. J. Magazine, 762–789. Boston, MA: Kluwer Academic.
- Fischbein, S.A., Yellig, E., 2011. Why is it so hard to build and validate discrete event simulation models of manufacturing facilities? *Planning production and inventories in the extended enterprise*; vol. 152 of international series in operations research & management science, p. 271–88.
- Flapper, S.D.P., van Nunen, J.A.E.E., Van Wassenhove, L.N., 2005. *Managing closed-loop supply chains*. Springer, Berlin.

- Forrester, J.W., 1961. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT Press.
- Ganeshan, R., Harrison, T.P., 1995. *An Introduction to Supply Chain Management*. http://silmaril.smeal.psu.edu/misc/supply_chain_intro.html.
- Georgiadis, P., Athanasiou, E., 2013. Flexible long-term capacity planning in closed-loop supply chains with remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 44–58.
- Gil-Garcia, J.R., Pardo, T.A., 2005. E-government success factors: Mapping practical tools to theoretical foundations. *Government Information Quarterly*, 22(2), 187–216.
- Grover, V., Jeong, S.R., Kettinger, W., Teng, J.T., 1995. The implementation of business process reengineering. *Journal of Management Information Systems*, 12(1), 144.
- Guide, V.D.-R. Jr., Van Wassenhove, L.-N., 2009. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research*, 57(1), 10-18.
- Hammer, M., 1990. Reengineering work: don't automate, obliterate. *Harvard Business Review*, Vol. 68(4), 104-112.
- Hillier F., Lieberman G., 2010. *Introduction to Operations Research* (9th ed.). Boston: McGraw-Hill. ISBN: 0073376299.
- Hammer, M., Champy, J., 1993. *Reengineering the Corporation: a manifesto for business revolution*. New York: Harper Collins. ISBN: 9780060559533.
- Hezarkhani, B., Kubiak, W., 2013. Transshipment Games with Identical Newsvendors and Cooperation Costs. *Mathematical Methods of Operations Research*, 78 (3), 315–339.
- Higuchi, T., Troutt, M.D., 2004. Dynamic simulation of the supply chain for a short life cycle product – lessons from the Tamagotchi case. *Computers & Operations Research*, 31(7), 1097–1114.
- Hwang, H.B., Chong, C.S.P., Xie, N., Burgess, T.F., 2005. Modelling a complex supply chain: understanding the effect of simplified assumptions. *International Journal of Production Research*, 43(13), 2829–2872.
- Iannone, R., Miranda, S., Riemma, S., 2007. Supply chain distributed simulation: an efficient architecture for multimodel synchronization. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15(3), 221–236.
- Johansson, O., Hellstrom, D., 2007. The effect of asset visibility on managing returnable transport items. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(10), 799–815.
- Kelle, P., Milne, A., 1999. The Effect of (s, S) Ordering Policy on the Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 59, 113–122. <http://read.pudn.com/downloads142/sourcecode/others/617477/inventory%20supply%20chain/04051312352814063&%EF%BC%88%E6%B2%A1%EF%BC%89.pdf>.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Swets, N.B., 2010. *Simulation with Arena*. 5th ed. Boston, MA, McGraw-Hill.
- Kelton, W.D., Smith, J.S., Sturrock, D.T., Verbraeck, A., 2011. *Simio and simulation: modeling, analysis, applications*. 1st ed. Boston, MA, McGraw-Hill LearningSolutions.

- Kirby, R.M., Bartram, J., Carr, R., 2003. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control*, 14, 283–99.
- Kreps, D.M., 1990. *A course in microeconomic theory*. Princeton, NJ, Princeton University Press.
- Kurano, T., McKay, K.N., Black, G.W., 2014. Proactive inventory policy intervention to mitigate risk within cooperative supply chains. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 5(2), 249-264.
- Law, A.M., Kelton W.D., 2000. *Simulation modeling and analysis*. 3th ed. New York, NY, McGraw-Hill, ISBN: 0071165371.
- Law, A.M., 2003. How to conduct a successful simulation study. In: *Proceedings of the 2003 winter simulation conference*, 1, 66–70.
- Law, A.M., 2005. How to build valid and credible simulation models. In: *Proceedings of the 2005 winter simulation conference*, p. 24–32.
- Law, A.M., 2006. *Simulation modeling and analysis*. 4th ed. New York, NY, McGraw-Hill.
- Lee, H.L., Padmanabhan, V. and Whang, S., 1997. The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, 38(3), 93–102.
- Longo, F., Mirabelli, G., 2008. An advanced supply chain management tool based on modeling & simulation. *Computer and Industrial Engineering*, 54(3), 570–588.
- Marchini, D., Rinaldi, M., Montanari, R., Bottani, E., Solari, F., 2014. Performance analysis of the water supply system of a dairy company by means of an advanced simulation tool. *International Journal of Food Engineering*, 10(4), 557–571, ISSN (Online) 1556-3758, ISSN (Print) 2194-5764, DOI: 10.1515/ijfe-2013-0067.
- Mielczarek, B., Uzialko-Mydlikowska, J., 2012. Application of computer simulation modeling in the health care sector: a survey. *Simulation*, 88(2), 197–216.
- Mihaiu, D.M., Opreana, A., Cristescu, M.P., 2010. Efficiency, effectiveness and performance of the public sector. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 4, 132-147.
- Monczka, R.M., Handfield, R., Gunipiero, L.C., Patterson, J.L., 2011. *Purchasing and Supply Chain Management (5th edition)*. South-Western, Cengage Learning.
- Montanari, R., Ferretti, G., Rinaldi, M., Bottani, E., In press. Investigating the demand propagation in EOQ supply networks using a probabilistic model. *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2014.917772.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C., 2003. *Applied Statistics and Probability for Engineers (3rd Edition)*. Hoboken (USA): John Wiley & Sons Inc.
- Monthatipkul, C., Yenradee, P., 2008. Inventory/Distribution Control System in a One-warehouse/Multi-retailer Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, 114, 119–133.
- Muthu, S., Whitman, L., Cheraghi, S.H., 2010. Business process reengineering: a consolidated methodology. *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*. November 17-20, San Antonio, Texas, USA.

- Narasimhan, R., Swink, M, Kim, S.W., 2006. Disentangling leanness and agility: an empirical investigation. *Journal of Operations Management*, 24, 440–457.
- Naseer, A., Eldabi, T., Jahangirian, M., 2009. Cross-sector analysis of simulation methods: a survey of defense and healthcare. *Transforming Government, People, Process and Policy*, 3(2), 181–9.
- Negahban, A., Yilmaz, L., 2013. Agent-based simulation applications in marketing research: an integrated review. *Journal of Simulation*, <http://dx.doi.org/10.1057/jos.2013.21> (Available online on 1 November).
- Newman, R.G., 1989. Single Sourcing: Short-term savings versus long-term problems. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 20–5.
- Ouyang, Y., Li, X., 2010. The Bullwhip Effect in Supply Chain Networks. *European Journal of Operational Research*, 201, 799–810.
- Ozcelik, Y., 2009. Do business process reengineering projects payoff? Evidence from the United States. *International Journal of Project Management*, 28, 7-13.
- Patil, K., Jin, K., Li, H., 2011. Arena simulation model for multi echelon inventory system in supply chain management. *Proceedings of the 2011 Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) Conference*, 6–9 December 2011, Singapore, pp.1214–1217, ISBN 978-1-4577-0740-7.
- Paul, S.K., Sarker, R., Essam, D., 2014. Real time disruption management for a two-stage batch production–inventory system with reliability considerations. *European Journal of Operational Research*, 237, 113–128.
- Pirard, F., Iassinovski, S., Riane, F., 2011. A simulation based approach for supply network control. *International Journal of Production Research*, 49(249), 7205–7226.
- Poretti, M., 1990. Quality control of water as raw material in the food industry. *Food Control*, 1, 79–83.
- Ragioneria Generale dello Stato, 2012. Conto Annuale sul pubblico impiego - Sintesi dei dati del periodo 2007-2011. Available at [http://www.rgs.mef.gov.it/Documenti/VERSIONE-I/RGS-comuni/Note-per-I/2012/Sintesi dei dati del periodo-conto 2011.pdf](http://www.rgs.mef.gov.it/Documenti/VERSIONE-I/RGS-comuni/Note-per-I/2012/Sintesi%20dei%20dati%20del%20periodo%20conto%202011.pdf) (accessed October 2013).
- Rainey, H.G., Backoff, R.W., Levine, C.H., 1976. Comparing public and private organizations. *Public Administration Review*, 36(2), 233–244.
- Rajan, A., Steinberg, R. and Steinberg, R., 1992. Dynamic pricing and ordering decisions by a monopolist. *Management Science*, 38(2), 240–262.
- Randall, T., Ulrich, K., 2001. Product Variety, Supply Chain Structure, and Firm Performance: Analysis of the U.S. Bicycle Industry. *Management Science* 47 (12), 1588–1604.
- Reizebos, J., 2006. Inventory order crossover. *International Journal of Production Economics*, 104, 666-675.
- Harrison J.R., Lin, Z., Carroll, G.R., Carley, K.M., 2007. Simulation Modeling in Organizational and Management Research. *The Academy of Management Review*, 32(4), 1229-1245.

- Roa, C.P., Kiser, G.E., 1980. Educational buyer's perception of vendor attributes. *Journal of Purchasing Material Management*, 16, 25–30.
- Robinson, S., 2006. Conceptual modeling for simulation: issues and research requirements. In: *Proceedings of the 2006 winter simulation conference*, p.792–800.
- Rogers, J.W., Louis, G.E., 2009. Conceptualization of a robust performance assessment and evaluation model for consolidating community water systems. *J Environ Manage*, 90, 786–97.
- Ross, S.M., 2006. *Simulation*. 4th ed. Burlington, MA, USA, Academic Press.
- Sarkar, B., Chakrabarti, PP., Vijaykumar, A., Kale, V., 2006. Wastewater treatment in dairy industries – possibility of reuse. *Desalination*, 195, 141–52.
- Seliaman, M.E., Arifusalam, S., 2004. A discrete-event simulation model for a continuous review perishable inventory system. Retrieved September 2012 from <http://faculty.kfupm.edu.sa/COE/sadiq/proceedings/SCAC2004/17.ASC075.EN.Seliaman&Arifusalam.A%20Discrete%20Event%20Simula%201.pdf>.
- Shah, R., and Ward, P.T., 2003. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 129-150.
- Shapiro, J., 2001. *Modelling the supply chain*. Pacific Groove: Duxbury Thomson Learning.
- Snyder, R.D., 1974. Computation of (S, s) ordering policy parameters. *Management Science*, 21(2), 223–229.
- Stamm, C.L., Golhar, D.Y., 1993. JIT purchasing attribute classification and literature review. *Production Planning & Control*, 4(3), 273–282.
- Sun, H.X., Ren, Y.T., 2005. The impact of forecasting methods on bullwhip effect in supply chain management. *Proceedings of the 2005 Engineering Management Conference*, 1, 215-219.
- Sucky, E., 2009. The Bullwhip Effect in Supply Chains – An Overestimated Problem? *International Journal of Production Economics*, 118 (1), 311–322.
- Terzi, S., Cavalieri, S., 2004. Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, 53(1), 3-16.
- Tibben-Lembke, R., 2004. Strategic use of the secondary market for retail consumer goods. *California Management Review*, 46(2), 90–104.
- Tomlin, B., Wang, Y., 2005. On the value of mix flexibility and dual sourcing in unreliable newsvendor networks. *Manufacturing & Service Operations Management*, 7(1), 37–57.
- Tumay, K., 1995. Business process simulation. *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, Washington, DC, pp. 55-60.
- Tuzkaya, U.R., Önüt, S., 2009. A Holonic Approach Based Integration Methodology for Transportation and Warehousing Functions of the Supply Network. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 708–723.
- Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B., Dorange, G., 2005. Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. *Desalination*, 172, 245–56.

- Xudong, X., Kumar, A., Wee Kwan Tan, A., 2008. A simulation-based approach for evaluating diverse inventory policies in a supply chain. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 4(1), pp.18–30.
- Yu, H., Zeng, A.Z., Zhao, L., 2009. Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 37, 788–800.
- Waters, D., 2003. *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. Palgrave MacMillan, New York.
- Waters, C.D., Waters, D., 2007. *Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management*. Kogan Page Ltd, London (UK).
- Wang, Q., Axsäter, S., 2013. Fixed-interval Joint-Replenishment Policies for Distribution Systems with Multiple Retailers and Stochastic Demand. *Naval Research Logistics (NRL)*, 60 (8), 637–651.
- Wang, X., Li, D., 2012. A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. *Omega*, 40, 906–917.
- Weber, C.A., Current, J.R., Benton, W.C., 1991. Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2–18.
- Womack, J.P., Jones, D.T., 1996. *Lean thinking*. New York: Simon & Schuster.
- Wong W.P., Wong K.Y., 2007. Supply chain performance measurement system using DEA modeling. *Industrial Management & Data Systems*, 107(3), 361–381.
- Zhang, X., 2004. The impact of forecasting methods on the bullwhip effect. *International Journal of Production Economics*, 88, 15–27.
- Zhang, S., Zhao, X., Zhang, J., 2014. Dynamic model and fuzzy robust control of uncertain closed-loop supply chain with time-varying delay in remanufacturing. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53(23), 9805–9811. DOI:10.1021/ie404104c.