



UNIVERSITÀ DI PARMA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

DOTTORATO DI RICERCA IN
"INGEGNERIA INDUSTRIALE"

CICLO XXXIII°

SOSTENIBILITA' E OTTIMIZZAZIONE DELLA SUPPLY CHAIN: VALUTAZIONI E MODELLAZIONI

SUSTAINABILITY AND SUPPLY CHAIN OPTIMISATION: EVALUATIONS AND MODELLING

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Gianni Royer Carfagni

Tutore:

Chiar.ma Prof.ssa Eleonora Bottani

Dottoranda: Giorgia CASELLA

Anni Accademici 2017/2018 – 2020/2021

A mio figlio, Leonardo

Il mio arcobaleno

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	9
2	LA SOSTENIBILITA' E L'OTTIMIZZAZIONE DELLA SUPPLY CHAIN	12
3	ANALISI DI SCENARI PER IL RECUPERO DEI RIFIUTI ALIMENTARI NELLA DISTRIBUZIONE LOGISTICA.....	14
3.1	Introduzione	14
3.2	Contesto: il progetto SORT.....	17
3.3	Analisi degli scenari	18
3.3.1	Scenario base	18
3.3.2	Secondo scenario	20
3.3.3	Terzo scenario	21
3.3.4	Quarto scenario	22
3.3.5	Scenario "a".....	23
3.3.6	Scenario "b"	25
3.3.7	Scenario "c"	26
3.4	Conclusioni	28
4	SOSTENIBILITÀ DEI PROCESSI NEI PUNTI VENDITA: UN MODELLO ANALITICO PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA ED AMBIENTALE	30
4.1	Introduzione	30
4.2	Metodologia	32
4.2.1	Struttura modello.....	32
4.2.2	Assunzioni	33
4.2.3	Equazioni modello.....	34
4.3	Applicazione del modello	43
4.3.1	Input data.....	44
4.3.2	Risultati	45
4.4	Conclusioni	48
5	PROBLEMA VRP CON VINCOLI DI CAPACITA' E DI TEMPO (CVRPTW): MODELLO LINEARE E IL CASO STUDIO DI UN CORRIERE ESPRESSO.....	50
5.1	Introduzione	50
5.2	Definizione e formulazione del CVRPTW	52
5.3	Il caso studio.....	54
5.4	L'implementazione software.....	57
5.5	Risultati e discussioni	58
5.6	Conclusioni	61
6	UN ALGORITMO DI ROUTING IBRIDO METAEURISTICO PER SISTEMI PICKER-TO-PART	62
6.1	Introduzione	62

6.2	L'algoritmo Harmony Search.....	64
6.2.1	Inizializzazione del problema e impostazione dei parametri	65
6.2.2	Inizializzazione HM.....	66
6.2.3	Improvvisazione dell'armonia da HM	66
6.2.4	Aggiornamento HM.....	67
6.2.5	Criterio di terminazione	67
6.3	L'approccio proposto: adattamento dell'algoritmo HS per il picking.....	68
6.3.1	Struttura layout magazzino.....	69
6.3.2	Ipotesi modello	69
6.3.3	Gli algoritmi FW e HS	71
6.3.4	Esempio numerico	72
6.4	Applicazione e discussione.....	75
6.5	Conclusioni	78
7	CONCLUSIONI	82
8	BIBLIOGRAFIA	84

PREFAZIONE

Il presente lavoro propone gli studi più rilevanti a cui la sottoscritta ha avuto occasione di partecipare come membro di ricerca durante il percorso di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Industriale. Questo periodo è iniziato nel novembre 2017 e si è concluso nell'ottobre dell'anno corrente.

I temi e i contenuti che ho avuto la fortuna di poter approfondire durante questo percorso sono svariati, come ad esempio sostenibilità e ottimizzazione della Supply Chain, ma anche Industria 4.0 con le sue tecnologie abilitanti, in particolare quella RFID. Nello specifico, dalle prime due tematiche sono sfociati i lavori più corposi e importanti della ricerca intrapresa dalla sottoscritta. Questo perché negli ultimi anni l'attenzione riposta nelle tematiche della sostenibilità e dell'ottimizzazione della Supply Chain dalla comunità scientifica è risultata essere sempre più forte. Inoltre, la mia tesi di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale ha trattato la minimizzazione delle emissioni ambientali in una Closed-Loop Supply Chain nella gestione dei Returnable Transport Assets, inerente alle tematiche appena menzionate.

Un argomento che rientra nella tematica dell'ottimizzazione della Supply Chain è sicuramente la gestione del magazzino. In particolare, durante il mio percorso ho studiato, e di conseguenza trattato più volte il problema del picking. Per essere più precisi, in una prima ricerca si è stimata la distanza del processo di order picking in un magazzino come funzione del numero di items presenti nella lista di prelievo, del fattore di forma e del numero di corridoi trasversali. In un successivo lavoro, invece, si è proposta l'applicazione di un algoritmo per la risoluzione del Capacited Vehicle Routing Problem basato sulla formulazione a due indici. Infine, un lavoro appena pubblicato sulla rivista *Computer & Industrial Engineering* ha mirato alla minimizzazione della distanza percorsa dal picker in un magazzino manuale low-level tramite l'applicazione dell'algoritmo Harmony Search adattato al contesto picking.

Inoltre, ho avuto occasione di far parte del gruppo di ricerca di alcuni lavori il cui tema principale era appunto la sostenibilità. Più nel dettaglio, un lavoro ha mirato alla valutazione della sostenibilità economica e ambientale in un punto vendita situato in Italia; un altro, invece, ha studiato scenari differenti per l'ottimizzazione della logistica distributiva per un canale di Reverse Logistics per rifiuti alimentari. Infine, una ricerca ha valutato tramite un modello matematico la sostenibilità nelle sue due dimensioni principali (ambientale ed economica) per una Food Cold Supply Chain.

Come già anticipato, ho avuto modo di approfondire anche altre tematiche nel corso del mio percorso. Un lavoro in cui ho partecipato come parte attiva ha riguardato l'analisi bibliografica dell'industria 4.0. In particolare, delle sue tecnologie abilitanti, delle sue aree di applicazione e dei suoi relativi impatti. Di questo lavoro, si è potuto procedere con l'estensione della ricerca, nello specifico si è studiato tramite un'analisi bibliometrica l'industria 4.0 nel contesto logistico. Un ultimo lavoro, sempre di approfondimento scientifico, ha riguardato l'evoluzione della tecnologia RFID nel contesto logistico. Anche quest'ultimo lavoro, risulta essere una review, proprio per porre le basi a futuri possibili lavori nel campo Industria 4.0.

In seguito viene riportato l'elenco delle pubblicazioni redatte nel corso del triennio di dottorato, nelle quali la sottoscritta risulta essere autrice e co-autrice.

1. E. Bottani, G. Casella, F. Mannino, R. Montanari and G. Vignali (2018). "Scenario analysis for food waste recovery in logistic distribution", Proceedings of the XXIII Summer School Francesco Turco. September 12-14, Palermo (Italy), 305-310.
2. E. Bottani, G. Casella and R. Montanari (2018). "Distance estimate for order picking systems in manual warehouses", The International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistic Modelling and Simulation, HMS 2018. September 17-19, Budapest (Hungary), 57-61.
3. E. Bottani, G. Casella and S. Arabia (2018). "Sustainability of retail store processes: an analytic model for economic and environmental evaluation". International Journal of Simulation and Process Modelling, 14 (2), 105-119, doi: 10.1504/IJSPM.2019.099902.
4. E. Bottani, G. Casella, M. Nobili and L. Tebaldi (2019). "Assessment of the economic and environmental sustainability of a food cold supply chain". IFAC PapersOnLine, 52 (13), 367-372, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.150.
5. E. Bottani, L. Tebaldi, I. Lazzari and G. Casella (2019). "A model for assessing economic and environmental sustainability dimensions of a fashion supply chain and a case study". IFAC PapersOnLine, 52 (13), 361-366, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.147.
6. E. Bottani, G. Casella, L. Tebaldi, R. Montanari, B. Fava, G. Vignali and A. Volpi (2019). "Economic evaluation of scenarios of food waste recovery in reverse logistic", Proceedings of the XXIV Summer School Francesco Turco. September 11-13, Brescia (Italy), 253-259.
7. E. Bottani, L. Tebaldi, G. Casella, R. Montanari and T. Murino (2019). "An adapted discrete firefly algorithm for routing order pickers in manual warehouses", Proceedings of the XXIV Summer School Francesco Turco. September 11-13, Brescia (Italy), 88-94.

8. E. Bottani, G. Casella, C. Caccia and R. Montanari (2019). "An algorithm for the capacitated vehicle routing problem for picking application in manual warehouses", The International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistic Modelling and Simulation, HMS 2019. September, 18-20, Lisbon (Portugal), 35-40.
9. B. Bigliardi, E. Bottani and G. Casella (2019). "Enabling technologies, application areas and impact of Industry 4.0: a bibliographic analysis". *Procedia Manufacturing*, International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019). 42 (2020), 322-326.
10. D. Cafasso, C. Calabrese, G. Casella, E. Bottani and T. Murino (2020). "Framework for selecting manufacturing simulation software in Industry 4.0 environment". *Sustainability*, 12 (15), doi: 10.3390/su12155909.
11. E. Bottani, L. Tebaldi, I. Lazzari and G. Casella (2020). "Economic and environmental sustainability dimensions of a supply chain: A quantitative model". *Production*, 30, doi: 10.1590/0103-6513.20190156.
12. E. Bottani, G. Casella, F. Marusi, G. Rossi and L. Tebaldi (2020). "Optimization of orders fulfilment in a distribution centre: a case study of schoolbooks", *Proceedings of the XXV Summer School Francesco Turco*. September 9-11, Virtual conference.
13. M. Bertolini, E. Bottani, G. Casella, and L. Tebaldi (2020). "A survey analysis on sustainable practices in cold supply chains", *Proceedings of the XXV Summer School Francesco Turco*. September 9-11, Virtual conference.
14. G. Casella, S. Carattini, T. Murino, L. Tebaldi and E. Bottani (2020). "Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: a Linear Model and a Case Study of Express Courier", *The International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistic Modelling & Simulation, HMS 2020*. September 16-18, Virtual conference, 16-23.
15. E. Bottani, L. Tebaldi, M. Rossi and G. Casella (2020). "A storage assignment simulation model for optimizing processes in an e-commerce warehouse of a fashion supply chain", *The International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistic Modelling & Simulation, HMS 2020*. September 16-18, Virtual conference, 1-7.
16. B. Bigliardi, G. Casella and E. Bottani (2021). "Industry 4.0 in the logistics field: A bibliometric analysis". *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 3(1), 4-12, doi: 10.1049/cim2.12015.
17. E. Bottani, G. Casella and T. Murino (2021). "A hybrid metaheuristic routing algorithm for low-level picker-to-part system". *Computers & Industrial Engineering*, 160, doi: 10.1016/j.cie.2021.107540.

18. L. Tebaldi, G. Casella and E. Bottani (2021). "Fashion Supply Chain: a literature review to define the trends of research (2012-2019)", Proceedings of the XXVI Summer School Francesco Turco. September 8-10, Virtual conference.
19. G. Casella, B. Bigliardi and E. Bottani (2021). "The evolution of RFID technology in the logistics field: a review", Procedia Manufacturing, International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2021).

1 INTRODUZIONE

La gestione della supply chain è diventata una questione strategica per qualsiasi azienda che cerca di raggiungere gli obiettivi in termini di competitività economica, tempo e qualità del servizio, soprattutto in un ambiente economico caratterizzato dalla globalizzazione del commercio e dall'accelerazione dei cicli industriali (Eskandarpour et al., 2015). La qualità dell'efficienza e dell'efficacia delle reti delle supply chain può essere valutata stabilendo misure di performance appropriate. Tali misure possono essere usate per progettare un sistema con un livello appropriato di prestazioni o per confrontare sistemi alternativi. Le misure quantitative di performance adatte includono misure basate sul flusso finanziario (minimizzazione dei costi, massimizzazione delle vendite, massimizzazione del profitto, minimizzazione dell'investimento di inventario e ritorno sull'investimento) e misure basate sulla redditività del cliente (massimizzazione del fill rate¹, minimizzazione del ritardo del prodotto, minimizzazione del tempo di risposta del cliente e minimizzazione del lead time²). Oltre alle misure di performance di cui sopra, le industrie di processo stanno cercando di intraprendere trasformazioni significative e devono affrontare nuove sfide: il cambiamento delle circostanze di mercato e l'aumento della concorrenza, con cicli di vita dei prodotti sempre più brevi; il miglioramento della sostenibilità e dell'impatto ambientale e sociale lungo la catena di fornitura; la futura regolamentazione e i requisiti di conformità (per esempio la responsabilità di recuperare e riciclare i prodotti di consumo alla fine dell'uso).

I modelli della supply chain possono essere basati sulla programmazione matematica o sulla simulazione e la loro applicazione dipende dal compito in questione. I modelli di programmazione matematica sono usati per ottimizzare decisioni di alto livello che coinvolgono configurazioni sconosciute, prendendo una visione aggregata delle dinamiche e dei dettagli dell'operazione. Dall'altra parte, i modelli di simulazione possono essere usati per studiare il funzionamento dinamico dettagliato di una configurazione fissa in condizioni di incertezza operativa, e possono essere usati per valutare le misure di performance previste per la configurazione fissa con un alto livello di precisione (Papageorgiou, 2009).

¹ Fill rate: frazione di domanda del cliente che può essere soddisfatta attraverso le scorte immediatamente disponibili, senza ordini arretrati o vendite perse. Viene misurato empiricamente come media delle richieste servite correttamente rispetto alle richieste totali, ed è un indicatore di grande importanza per un rivenditore.

² Lead time: letteralmente "tempi di consegna", ha un'importanza peculiare nel settore logistico. Punto nevralgico della logistica in uscita, il lead time rende flessibili i tempi di risposta fra la conferma di un ordine e la sua consegna.

Inoltre, c'è di questi tempi un bisogno ben riconosciuto di raggiungere la sostenibilità nelle attività industriali, dovuta a diverse cause stabilite ed emergenti, come ad esempio, la diminuzione delle risorse non rinnovabili, i regolamenti sempre più severi relativi all'ambiente e alla sicurezza/salute sul lavoro, la crescente preferenza dei consumatori per prodotti ecologici, ecc (Jayal et al., 2010). Tuttavia, è importante sottolineare che la sostenibilità deve essere urgentemente presa in considerazione a tutti i livelli, non solo a quello strategico, ma anche a quello tattico e operativo per avere una cinghia di trasmissione completa dalle politiche globali alle attività operative (Giret et al., 2015). A livello di prodotto c'è bisogno di andare oltre il tradizionale concetto di 3R che promuove le tecnologie verdi (ridurre, riutilizzare, riciclare) ad un più recente concetto di 6R che costituisce la base per la produzione sostenibile (ridurre, riutilizzare, recuperare, riprogettare, rifabbricare, riciclare). A livello di processo c'è bisogno di ottenere miglioramenti tecnologici ottimizzati e una pianificazione di processo per ridurre i consumi di energia e di risorse, i rifiuti tossici, rischi professionali, ecc. e per migliorare la vita del prodotto manipolando l'integrità della superficie indotta dal processo. A livello di sistema c'è bisogno di considerare tutti gli aspetti dell'intera supply chain, tenendo conto di tutte le principali fasi del ciclo di vita, prefabbricazione, produzione, uso e post-uso su cicli di vita multipli (Jayal et al., 2010).

Sulla base di quanto appena affermato, con il presente lavoro di ricerca si è voluto, in primo luogo, presentare una serie di lavori che ruotano attorno al tema dell'ottimizzazione e sostenibilità della supply chain. In particolare, ogni studio è caratterizzato dallo sviluppo di un modello di simulazione matematico per ottimizzare una determinata supply chain o un suo stadio. In generale, sono state identificate quattro macro-aree all'interno delle quali ricade questo elaborato: (1) sostenibilità (recupero dei rifiuti alimentari) nella distribuzione logistica; (2) sostenibilità nei processi di un punto vendita; (3) ottimizzazione dei percorsi giornalieri di un corriere espresso; (4) ottimizzazione del magazzino tramite un algoritmo meta-euristico.

Gli scopi di questo elaborato sono principalmente tre:

1. Valutare la sostenibilità in casi studio reali;
2. Ottimizzare la supply chain, andando ad agire in una sua particolare fase;
3. Esaminare gli impatti dei modelli sulle performance delle supply chain.

La tesi è strutturata nel seguente modo: nel capitolo 2 si presentano in maniera approfondita le due macro-aree di sostenibilità e ottimizzazione, trattando gli argomenti prima in termini generali poi in termini di supply chain. I successivi quattro capitoli riportano i lavori realizzati con i relativi casi

studio oggetto delle analisi. In particolare, nel terzo capitolo si presentano sette differenti configurazioni per ottimizzare la rete di Reverse Logistics nel caso di rifiuti alimentari. Nel capitolo 4 si propone un modello per valutare la sostenibilità economica ed ambientale di un punto vendita localizzato sul territorio italiano. Nel capitolo successivo si indaga la minimizzazione del tempo di viaggio per la consegna in un'azienda situata nel Sud Italia che opera come fornitore di servizi di corriere espresso. Il capitolo 6 propone un'applicazione di un algoritmo adattato Harmony Search (HS) per ridurre al minimo la distanza percorsa dai pickers nei magazzini manuali. Infine, nel capitolo 7 vengono riportate le conclusioni con una breve sintesi dei risultati.

2 LA SOSTENIBILITA' E L'OTTIMIZZAZIONE DELLA SUPPLY CHAIN

La supply chain è apparsa per la prima volta nella letteratura quasi 40 anni fa, quando Oliver e Webber (1982) hanno proposto la prima definizione per la gestione di tali sistemi. Da allora, l'area della gestione della supply chain è cresciuta considerevolmente sia a livello di ricerca che industriale, e la supply chain è oggi un sistema fondamentale in qualsiasi organizzazione. Le supply chain, nella loro forma classica, sono viste come una combinazione di processi volti a soddisfare le richieste dei clienti, che includono tutte le possibili entità della rete come fornitori, produttori, trasportatori, magazzini, rivenditori e clienti, il cui scopo principale è la soddisfazione del cliente al minimo costo (Barbosa-Póvoa et al., 2018).

Un importante principio del mondo è trovare uno stato ottimale e questo significa trovare la soluzione perfetta per qualsiasi problema che si presenti. Questi problemi possono ricadere in diverse aree, come medicina, ingegneria ecc., dove sono coinvolte numerose variabili. Per la soluzione di questi problemi, è stata sviluppata una tecnica nota come ottimizzazione. L'ottimizzazione è la ricerca della soluzione migliore all'interno di un insieme di possibili soluzioni ad un dato problema che lavora con un gran numero di variabili. Un problema di ottimizzazione consiste nel minimizzare o massimizzare una funzione obiettivo con la modifica dei valori di input (Dantzig, 2014; Cevallos et al., 2019). Nell'industria, le aziende cercano di migliorare la loro architettura per ottenere risultati migliori e soddisfare le esigenze dei loro clienti. Sono stati sviluppati diversi meccanismi e processi per migliorare l'efficienza e l'efficacia delle organizzazioni. L'ottimizzazione globale cerca di trovare la soluzione migliore per un insieme di elementi che soddisfa i criteri e i vincoli definiti. Questo criterio è espresso con valori numerici ed è noto come "funzione obiettivo". Il processo di ottimizzazione consiste di due componenti principali: il modello e l'ottimizzatore. Il modello può essere matematico o numerico, ovvero rappresentare il problema usando equazioni che possono essere risolte numericamente. È fondamentale, però, scegliere il corretto algoritmo o ottimizzatore in base alle variabili disponibili (Weise, 2009).

Ultimamente, l'attenzione per l'ottimizzazione delle operazioni si è spostata da una specifica struttura o organizzazione all'intera supply chain. La supply chain, come si è già menzionato, è anche definita come una rete integrata di strutture e opzioni di trasporto per la fornitura, produzione, stoccaggio e distribuzione di materiali e prodotti. Variano considerevolmente in dimensioni, complessità e scala da industria a industria (Simchi-Levi, 2005; Shapiro, 2006; Chopra e Meindl, 2012; Garcia & You, 2015). Questa rete ha un gran numero di variabili associate che possono essere

cambiate, ottenendo un risultato completamente diverso a seconda della loro “organizzazione”. Questo è il motivo per cui, al fine di trovare i valori migliori per una supply chain è necessario ottimizzarla (Cevallos et al., 2019). Infatti, una catena di fornitura progettata in modo ottimale dovrebbe, attraverso una o più metriche, riflettere la “migliore” configurazione e il miglior funzionamento di tutti questi elementi. Difatti, con i clienti al centro del business, le aziende vogliono sviluppare un livello di servizio che soddisfi le aspettative dei clienti, ma allo stesso tempo lo vogliono al minor costo possibile. Inoltre, la maggior parte delle aziende ha un gran numero di clienti geograficamente dispersi e hanno a che fare con un gran numero di prodotti e modalità di trasporto. Con una supply chain così complessa, è importante assicurare che vengano prese decisioni consapevoli a livello di progettazione e pianificazione (Mota et al., 2015).

Altro pilastro fondamentale al giorno d’oggi è lo sviluppo sostenibile, ovvero “uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni” (World Commission on Environment and Development, 1987). Mentre esistono diverse interpretazioni della sostenibilità, un concetto centrale che aiuta a rendere operativa la sostenibilità è l’approccio “triple bottom line”, in cui si deve raggiungere una performance minima nelle dimensioni ambientale, economica e sociale (Elkington, 2002; Seuring, 2008).

Un’attenzione alla supply chain è un passo verso una più ampia adozione e sviluppo della sostenibilità, poiché la catena di approvvigionamento considera il prodotto dalla lavorazione iniziale delle materie prime alla consegna al cliente. Tuttavia, la sostenibilità deve anche integrare questioni e flussi che si estendono oltre il nucleo della gestione della catena di fornitura: progettazione del prodotto, sottoprodotti di fabbricazione, sottoprodotti prodotti durante l’uso del prodotto, estensione della vita del prodotto, fine della vita del prodotto e processi di recupero a fine vita (Linton, 2007).

3 ANALISI DI SCENARI PER IL RECUPERO DEI RIFIUTI ALIMENTARI NELLA DISTRIBUZIONE LOGISTICA

Il lavoro descritto in seguito, si basa sullo studio di Bottani et al. (2018). Questo lavoro precedente ha sviluppato un modello di Routing & Location (R&L) in Microsoft Excel™ per determinare la migliore posizione di un set di depositi per raccogliere il cibo sprecato dai rivenditori nella regione Emilia Romagna (Italia) e per calcolare il costo del risultante canale di Reverse Logistics. Sfruttando lo stesso modello R&L, in questo lavoro sono state esaminate sette diverse configurazioni per la rete della Reverse Logistics dei rifiuti alimentari. In generale, la logica alla base di queste prime (4) configurazioni è che, per essere efficace in termini di costi, la raccolta dei rifiuti alimentari dovrebbe principalmente rivolgersi a quei negozi che scartano la maggior quantità di cibo, ovvero gli ipermercati. Tuttavia, il numero di punti vendita considerato può variare tra gli scenari, con lo scopo di identificare la configurazione a costo minimo. Nelle rimanenti configurazioni (3) si considera il numero di mezzi di trasporto disponibili, ovvero il numero delle tratte percorribili. I risultati di questo lavoro permettono di trarre considerazioni utili sulla redditività di un canale di Reverse Logistics per il recupero di rifiuti alimentari nella regione Emilia Romagna.

3.1 Introduzione

“Rifiuto alimentare” è un qualsiasi materiale destinato al consumo umano che viene scartato, perso o degradato, e di conseguenza non ha più alcun potenziale per il consumo dell’uomo (Parfitt et al., 2010; FAO, 1981). I rifiuti alimentari possono includere sia articoli commestibili che non commestibili (Buzby & Hyman, 2012). Gli scarti, ad esempio le bucce di banana, sono alimenti non commestibili che rappresentano i resti abituali dopo il consumo (Fehr et al., 2002); tuttavia, un’intera banana può anche diventare non commestibile, per esempio a causa di un’azione o inazione umana. Lo spreco alimentare comprende anche una data quantità di cibo che non è più vendibile, ma che è ancora adatta per il consumo umano (FareShare, 2011). Questa porzione di spreco alimentare viene talvolta definita “eccedenza” alimentare e può essere dovuta, per esempio, ad ordini cancellati, ordinazioni eccessive, promozioni scadute, durata di conservazione insufficiente, articoli danneggiati o imballati in maniera sbagliata (Betts & Burnett, 2007). Lo spreco alimentare rappresenta una significativa perdita di risorse investite nella produzione, nel trasporto e nella conservazione del cibo (Beretta et al., 2013). Le statistiche della Food and Agriculture

Organization (FAO) indicano che circa un terzo del cibo commestibile prodotto globalmente per il consumo umano viene perso o sprecato lungo le fasi della catena di approvvigionamento (Gustavsson et al., 2011). Valori pro capite più alti di rifiuti alimentari sono generalmente osservati in Europa e Nord America (95-115 kg/anno), mentre valori più bassi interessano i paesi in via di sviluppo, come l'Africa subsahariana e il Sud/Sud-Est asiatico (6-11 kg/anno). Lo spreco di cibo solleva il problema economico (Grizzetti et al., 2013), ambientale (Buzby & Hyman, 2012) ed etico (Godfray et al., 2010; Foley et al., 2011). Infatti, lo spreco alimentare costituisce una perdita di entrate economiche e di investimenti per gli attori della catena di approvvigionamento alimentare (Kulikovskaja & Aschemann-Witzel, 2017), ma anche impatti ambientali legati al suo smaltimento finale in discarica. Oltre agli impatti ambientali ed economici, lo spreco alimentare ha anche implicazioni sociali, in particolare in relazione alla disuguaglianza tra, da un lato, le politiche di spreco e dall'altro la povertà alimentare, ma anche per realizzare prodotti che migliorano la vita delle persone, per sostenere le comunità in cui vivono e lavorano (Boccia et al., 2019). Questo è il motivo per cui la Commissione Europea ha emanato una serie di direttive sulla gestione dei rifiuti (Direttiva 75/442/CEE del Consiglio, Direttiva 91/156/CEE e la Direttiva 99/31/CE del Consiglio). In letteratura è riconosciuto che i rifiuti alimentari potrebbero essere dirottati verso canali alternativi allo smaltimento; esempi di diversi usi del cibo sprecato includono il compostaggio (Green, 1999), la messa in discarica con cattura del metano per la generazione di energia (Schoen et al., 1999), organizzazioni caritatevoli (Alexander & Smaje, 2008), alimentazione animale (Vandermeersch et al., 2014), generazione di energia o compostaggio (Nahman & de Lange, 2013). Dirottare il cibo sprecato verso canali alternativi richiede innanzitutto una conoscenza precisa dei punti della Supply Chain alimentare in cui si generano i rifiuti alimentari. In secondo luogo, per rendere efficienti i canali di recupero, i processi di raccolta, lavorazione e redistribuzione devono essere attentamente progettati, insieme alle loro connessioni (Alexander & Smaje, 2008; Ubeda et al., 2011). A sua volta, questo design dovrebbe considerare sia la struttura del canale di Reverse Logistics che le attività di distribuzione, richiedendo così l'ubicazione delle strutture e le strategie d'instradamento dei veicoli. Infatti, mentre il canale "in avanti" di una catena di approvvigionamento alimentare è tipicamente definito in termini di rete di distribuzione, il canale inverso spesso non esiste, specialmente nel caso in cui il cibo non sia più commestibile. Pertanto, in realtà deve essere completamente progettato. Inoltre, rispetto al flusso tradizionale, il flusso inverso del cibo sprecato è più complicato perché il prodotto alimentare recuperato dai rivenditori è probabilmente molto vicino alla data di scadenza (o appena scaduto), il che aggrava il problema relativo alla deperibilità degli alimenti e impone

vincoli temporali per le attività di trasporto e stoccaggio (Amorim & Almada-Lobo, 2014; Dekker et al., 2012).

In linea con le considerazioni di cui sopra, Bottani et al. (2018) hanno sviluppato un modello di R&L in grado di aiutare a progettare un canale di Reverse Logistics per i rifiuti alimentari. Il modello, sviluppato in Microsoft Excel™ prende come punti di partenza il numero di negozi al dettaglio in una data regione e la quantità di rifiuti alimentari scartati in ogni negozio. Come output, fornisce la struttura del canale di Reverse Logistics, in termini di trasporto e stoccaggio. Nel definire l'ubicazione dei centri di distribuzione, il modello ha minimizzato il costo di trasporto dai negozi ai centri di distribuzione.

Sulla base di queste premesse, il presente lavoro cerca di esplorare ulteriori scenari per il recupero dei rifiuti alimentari, con lo scopo di diminuire il costo totale del sistema. Più precisamente, i seguenti scenari sono considerati in questo studio:

1. Scenario "base" in cui il recupero dei rifiuti alimentari è limitato agli ipermercati (che scartano grandi quantità di prodotti alimentari), trascurando i supermercati e i minimarket;
2. Un secondo scenario in cui i rifiuti alimentari vengono raccolti dagli ipermercati, più i supermercati e minimarket vicini agli ipermercati (in un raggio di 2 km);
3. Un terzo scenario in cui, oltre alle attività di recupero dello scenario precedente, i rifiuti alimentari vengono raccolti anche dai supermercati e minimarket in un'area circostante;
4. Una quarta situazione in cui la capacità e il vincolo temporale vengono considerati nella raccolta dei rifiuti alimentari.

Dopo di che, per un centro di distribuzione rappresentativo, vengono analizzati ulteriori scenari in base al numero di mezzi (ovvero in base ai percorsi); per esempio, con un mezzo viene percorso un tragitto.

Più precisamente, i seguenti ulteriori scenari vengono considerati:

- a. Uno scenario "a" in cui i rifiuti alimentari vengono raccolti utilizzando un solo mezzo di trasporto (14 punti vendita visitati);
- b. Uno scenario "b" in cui i rifiuti alimentari vengono raccolti utilizzando due mezzi di trasporto (28 punti vendita visitati);
- c. Un ultimo scenario "c" in cui i rifiuti alimentari vengono raccolti usando tre mezzi di trasporto (42 punti vendita visitati).

Il lavoro è stato organizzato nel seguente modo: verrà inizialmente fornita una descrizione del contesto di questo studio; successivamente verrà fornita un'accurata presentazione degli scenari esaminati discutendo i principali risultati ottenuti.

3.2 Contesto: il progetto SORT

L'Università di Parma, in collaborazione con un'altra università italiana e diverse aziende "chiave" (principalmente produttori di macchine alimentari e operatori logistici), ha sviluppato un progetto di ricerca chiamato SORT ("Sviluppo di sistemi tecnologici innovativi integrati per lo Spacchettamento, l'ORGanizzazione delle scorte e il Tracciamento dei prodotti alimentari sprecati finalizzati alla loro valorizzazione"). L'obiettivo generale del progetto è quello di sviluppare una soluzione integrata per gestire in modo efficiente il recupero dei rifiuti alimentari nella catena alimentare, concentrandosi sulla quantità di rifiuti alimentari confezionati generati dai punti vendita. In linea con questo obiettivo, una delle sfide del progetto era quella di progettare un efficiente canale di Reverse Logistics per recuperare, immagazzinare, disimballare e riprocessare i rifiuti alimentari confezionati. La regione Emilia Romagna, nel Nord Italia, è stata scelta come punto di partenza per queste analisi (che si prevede coprirà tutta l'Italia nel prossimo futuro) in quanto è vicina all'ubicazione della maggior parte dei partners del progetto. Più precisamente, è noto che l'impianto di trattamento dei rifiuti alimentari sarà situato nella regione Emilia Romagna, vicino al suo capoluogo Bologna. Tuttavia, un canale di Reverse Logistics per i rifiuti alimentari non esiste attualmente e deve essere quindi completamente strutturato. Nell'ambito del progetto SORT, l'Università di Parma si è occupata dell'analisi della logistica relativa al recupero dei rifiuti alimentari. Attualmente non esistono canali di recupero per rifiuti alimentari confezionati nella regione Emilia Romagna; questo cibo sprecato viene invece inviato allo smaltimento in discarica. Pertanto, il passo preliminare per la progettazione del canale di Reverse Logistics è stato lo sviluppo di un modello di R&L in grado d'identificare un'adeguata localizzazione d'impianti di recupero per i rifiuti alimentari, così come i percorsi efficienti per i veicoli necessari per recuperare il cibo sprecato dai rivenditori e spedirli all'impianto di trattamento. Questo passo è descritto in un precedente lavoro (Bottani et al., 2018), dove il modello R&L è descritto nei minimi dettagli. Nello stesso lavoro, sono stati forniti alcuni risultati preliminari sulla redditività economica della creazione del canale di Reverse Logistics. Questo studio, invece, si propone di estendere i risultati iniziali sfruttando il modello R&L sviluppato per indagare ulteriori scenari per il funzionamento del canale di Reverse Logistics.

3.3 Analisi degli scenari

In questa sezione si fornisce l'analisi di vari scenari per la raccolta dei rifiuti alimentari nella regione Emilia Romagna e per il loro invio all'impianto SORT. Per tutti gli scenari, viene proposta una valutazione del costo delle attività di Reverse Logistics necessarie a raccogliere i rifiuti alimentari.

3.3.1 Scenario base

Il primo scenario analizzato è uno scenario "base" in cui il recupero dei rifiuti alimentari è limitato agli ipermercati che tipicamente scartano grandi quantità di prodotti alimentari; i supermercati e i minimarket sono invece trascurati. L'ubicazione dei centri di distribuzione è stata determinata utilizzando il modello sviluppato su Microsoft Excel™ e descritto nella pubblicazione di Bottani et al. (2018). Nella localizzazione dei centri di distribuzione, il modello mira a minimizzare il costo totale generato dalla raccolta dei rifiuti alimentari e la loro spedizione ai centri di distribuzione. Grazie a questo strumento, i costi totali dei diversi scenari possono essere facilmente confrontati. Questo permette anche di valutare quanti centri di distribuzione dovrebbero essere aggiunti al canale della Reverse Logistics per minimizzare i costi totali. Il modello è stato inizialmente eseguito impostando diversi valori del numero di centri di distribuzione (da 1 a 10), con lo scopo di identificare la configurazione di minimo costo dello scenario "base". Il numero di centri di distribuzione che restituisce il costo minimo sarà mantenuto invariato anche nei restanti scenari, sebbene il numero dei punti vendita visitati in questi scenari sarà più alto. La figura 1 mostra l'andamento del costo totale in funzione del numero di centri di distribuzione. Come si può notare dalla figura, il costo totale del sistema varia da più di 4100 €/giorno a circa 1600 €/giorno. Il valore più basso si ottiene impostando il numero di centri di distribuzione a 8 (1604,63 €/giorno); valori più alti di centri di distribuzione non portano risparmi, ma piuttosto i costi totali rimangono costanti o iniziano ad aumentare.

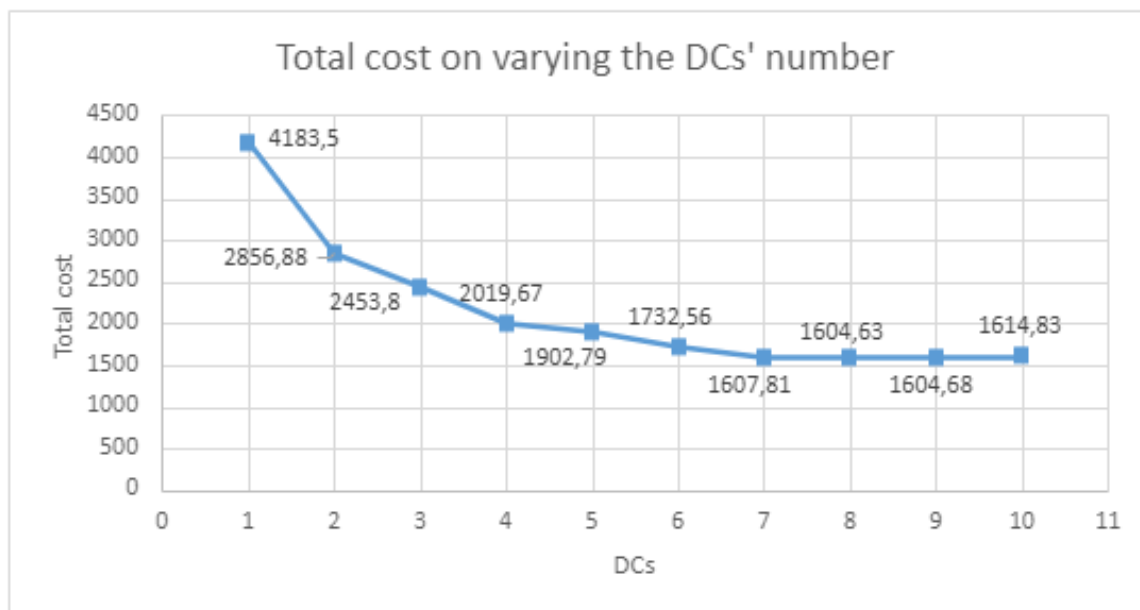


Figura 1. Andamento costo totale in funzione del numero di centri di distribuzione

Sulla base di questo risultato, il numero di centri di distribuzione è stato fissato a 8. Dopo aver determinato la loro posizione, si è calcolato il percorso che un veicolo dovrebbe seguire per visitare tutti gli ipermercati vicini ad ogni centro di distribuzione, usando l'algoritmo Clarke-Wright (CW) (Clarke & Wright, 1964). Per ragioni di brevità, il calcolo del percorso dei veicoli viene omissis; si possono trovare i dettagli sull'approccio CW e la sua implementazione in Bottani et al. (2018). Il calcolo dei percorsi dei veicoli viene eseguito per tutti i centri di distribuzione; come risultato, la distanza totale del percorso è stata stimata in 669,38 km. I costi generati dal recupero dei rifiuti alimentari degli ipermercati della regione Emilia Romagna sono visualizzati in tabella 1. I costi unitari di trasporto sono stati ricavati da Ministero dello Sviluppo Economico (2015) e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2014).

Tabella 1. Costo totale scenario "base"

	Numero di punti vendita	Distanza [km/giorno]	percorsa	Costo [€/giorno]
Ipermercati	49	669,38		687,46
Centro di distribuzione – SORT	-	187,63		306,59
Costo centro di distribuzione	-	-		400
Totale	49	857,01		1394,04

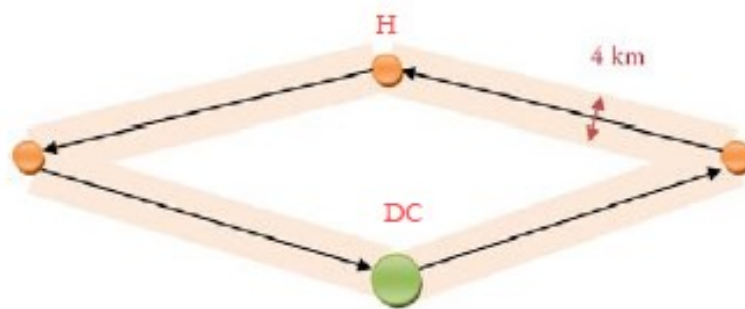
Per quanto riguarda la quantità di cibo scartato, è stata valutata attraverso questionari e visite dirette in diversi punti vendita della regione Emilia Romagna (vedere Bottani et al., 2018). In media si tratta di 120 kg/giorno per un ipermercato. Nello scenario attuale, possono essere visitati 49 ipermercati per il recupero dei rifiuti alimentari; pertanto, la quantità di rifiuti alimentari recuperati

rappresenta 5,88 tonnellate (120 kg/giorno/ipermercato x 49 ipermercati). Complessivamente, il costo unitario per il recupero dei rifiuti alimentari in questo scenario è di **237,08** [€/ton] (1394,04 €/giorno ÷ 5,88 ton/giorno).

3.3.2 Secondo scenario

Nel secondo scenario analizzato, i rifiuti alimentari sono raccolti dagli ipermercati (come lo scenario “base”) più i supermercati e i minimarket vicini agli ipermercati. “Vicino” significa in un raggio di ~2 km dal percorso che collega gli 8 centri di distribuzione agli ipermercati. Per determinare i supermercati e i minimarket da visitare, si è iniziato formulando le equazioni per descrivere le linee rette che formano i percorsi dai diversi centri di distribuzione. Si sono poi eliminati i punti vendita che si trovano a più di 2 km da ogni linea retta. La figura 2 mostra l’approccio utilizzato in questo scenario. Dove “H” indica gli ipermercati e “DC” i centri di distribuzione.

Figura 2. Rappresentazione approccio utilizzato nel secondo scenario



Seguendo l’approccio descritto sopra, gli ipermercati, supermercati e minimarket che possono essere visitati sono rispettivamente 49, 376 e 281 (cioè 657 punti vendita in aggiunta a quelli dello scenario “base”). La quantità di cibo scartato rappresenta 28 kg/giorno per un supermercato e 12 kg/giorno per un minimarket. Pertanto, la quantità di rifiuti alimentari raccolti in più rispetto allo scenario “base” rappresenta 13,9 tonnellate al giorno. Il costo generato dal recupero dei rifiuti alimentari è riportato nella tabella 2; come si può notare, la quantità di rifiuti alimentari recuperati è di 19,78 tonnellate, quindi il costo unitario della raccolta dei rifiuti alimentari in questo scenario è $2008,26 \div 19,78 = 101,53$ €/ton.

Tabella 2. Costo totale secondo scenario

	Numero di punti vendita	Quantità di rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	49	5,88	669,38	502,71
Supermercati & minimarket	657 (376 e 281)	13,90	1063,86	798,96

Centro di distribuzione SORT	di	-	-	187,63	306,59
Costo centro di distribuzione	di	-	-	-	400
Totale		706	19,78	1920,87	2008,26

3.3.3 Terzo scenario

Oltre alle attività di recupero descritte nel secondo scenario, nella terza configurazione i rifiuti alimentari sono anche raccolti dai supermercati e dai minimarket che sono situati vicino agli ipermercati. Per “vicino”, intendiamo entro una circonferenza di raggio=2 km dalla posizione degli ipermercati. La figura 3 mostra l’approccio utilizzato per identificare i punti vendita da visitare in questo scenario.

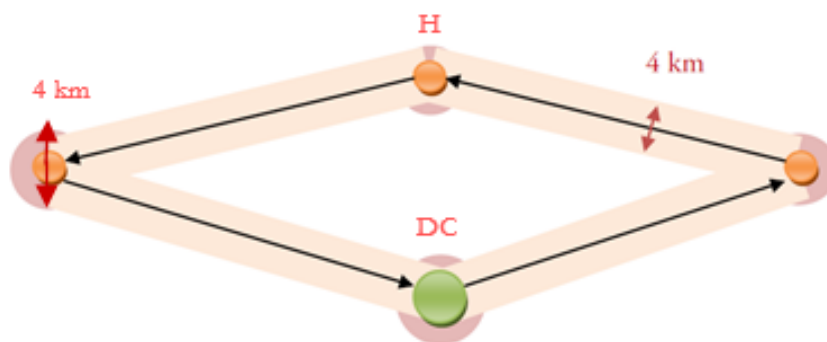


Figura 3. Rappresentazione approccio utilizzato nel terzo scenario

Il costo generato dalla raccolta dei rifiuti alimentari in questo scenario è mostrato nella tabella 3. Nel complesso, il costo logistico del cibo sprecato recuperato si ottiene come per i precedenti scenari e rappresenta **97,02 €/ton**.

Tabella 3. Costo totale terzo scenario

		Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati		49	5,88	669,38	502,71
Supermercati & minimarket		713 (309 e 404)	15,02	1089,79	818,43
Centro di distribuzione SORT	di	-	-	187,63	306,59
Costo centro di distribuzione	di	-	-	-	400
Totale		762	20,90	1946,80	2027,73

3.3.4 Quarto scenario

Ricordiamo che in Italia, il costo dello smaltimento dei rifiuti alimentari in discarica varia da 100 a 120 €/tonnellate (Legambiente, 2013). Se si prende questo valore come benchmark, i risultati del secondo e terzo scenario appaiono soddisfacenti dal punto di vista economico. Tuttavia, è da sottolineare che questi risultati sono stati ottenuti senza porre vincoli sulla capacità del mezzo e sul tempo. Sulla base di queste considerazioni, il quarto scenario descrive una situazione in cui esistono i vincoli di capacità e tempo per la raccolta dei rifiuti alimentari. Considerando i vincoli temporali, si ipotizza che un mezzo ha bisogno di:

- 20 minuti per raggiungere un punto vendita partendo dal deposito;
- 30 minuti per caricare i pallet di prodotto e completare le procedure amministrative presso i centri di distribuzione;
- 10 minuti per lo scarico/carico dei pallet nei punti vendita;
- 30 minuti per due pause dell'autista.

Con questi valori, il massimo numero di punti vendita che può essere visitato in un giorno (N) si ottiene come segue:

$$\frac{\left(8 \frac{\text{ore}}{\text{giorno}} * 60 \frac{\text{minuti}}{\text{ora}}\right) - (30 + 30)\text{minuti}}{(20 + 10)\text{minuti}} = 14,00$$

Questo significa che, con un mezzo, non si possono visitare più di 14 punti vendita in un giorno. Guardando il vincolo di capacità, anche se tutti i punti vendita visitati fossero ipermercati (cosa ovviamente irrealistica), la quantità di rifiuti alimentari raccolti sarebbe $14 * 120 = 1680$ kg in media, che è minore rispetto alla capacità del mezzo (3500kg). Quindi, se si aggiunge un vincolo sul numero di punti vendita che possono essere visitati quotidianamente, il vincolo di capacità è sempre soddisfatto. Perciò, oltre agli ipermercati sul percorso, un mezzo può visitare un numero variabile di supermercati e minimarket, che sarà uguale a 14 meno il numero di ipermercati sul suo percorso. In questo scenario, si analizzano due diverse situazioni: una prima configurazione in cui si considerano sia i supermercati che i minimarket, e una seconda in cui all'ipermercato si aggiungono solo i supermercati. Di queste due situazioni, verrà scelta la più redditizia. Il costo generato dal recupero dei rifiuti alimentari, in funzione del numero di centri di distribuzione, considerando i vincoli temporali è mostrato nella tabella 4. Il costo unitario della raccolta del cibo sprecato, calcolato come media del costo totale dei centri di distribuzione ammonta a **194,95 €/tonnellate**.

Tabella 4. Costo totale considerando i vincoli

	<i>DC1</i>	<i>DC2</i>	<i>DC3</i>	<i>DC4</i>	<i>DC5</i>	<i>DC6</i>	<i>DC7</i>	<i>DC8</i>
<i>Costo minimo [€/ton]</i>	95,75	84,08	81,03	101,22	15,88	174,25	117,01	47,05
<i>Quantità rifiuti raccolti [ton]</i>	1,036	1,404	0,76	1,312	0,512	0,852	1,036	0,588
<i>Costo trasporto p.ti vendita-centri di distribuzione [€/giorno]</i>	99,19	118,05	61,59	132,80	8,131	148,46	121,23	27,66
<i>Costo centro di distribuzione</i>	50	50	50	50	50	50	50	50
<i>Costo trasporto centro di distribuzione – SORT</i>	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32
<i>Costo totale [€/ton]</i>	180,99	146,98	197,25	168,54	188,39	277,92	202,27	197,25

3.3.5 Scenario “a”

Per tutti e tre gli scenari che vengono analizzati in seguito, due diverse configurazioni (etichettate come x e y) saranno valutate:

- x. La raccolta dei rifiuti alimentari è limitata agli ipermercati e ai supermercati vicini agli ipermercati (in un raggio di 2 km);
- y. I rifiuti alimentari sono raccolti dagli ipermercati e dai supermercati e minimarket vicini agli ipermercati (in un raggio di 2km).

Queste configurazioni non sono scelte a caso, ma seguendo gli scenari analizzati fino ad ora. Per motivi di brevità, per ogni scenario i dettagli dalla valutazione saranno limitati alla configurazione (x o y) che restituisce il costo di trasporto più basso. Inoltre, la trattazione dettagliata sarà limitata ad un centro di distribuzione rappresentativo. Per gli altri centri di distribuzione, i risultati ottenuti dall’applicazione del modello R&L saranno presentati, omettendo i passaggi dettagliati. Per essere più precisi, quando si descrivono gli scenari per il centro di distribuzione rappresentativo, viene considerato solo il costo di trasporto dei rifiuti alimentari, trascurando i costi di stoccaggio per il centro di distribuzione e di trasporto dal centro di distribuzione all’impianto SORT. Quando, invece, vengono presentati i risultati di tutti i centri di distribuzione, questi due costi sono presi in considerazione in aggiunta al costo di trasporto. Per il centro di distribuzione analizzato, la figura 4 mostra l’andamento del costo totale in funzione del numero di percorsi, corrispondente al numero di mezzi di trasporto disponibili per raccogliere il cibo. Come si può vedere dalla figura, il valore più basso del costo totale del sistema di Reverse Logistics si ottiene con due mezzi; valori più alti non portano risparmi, ma piuttosto i costi rimangono costanti o iniziano ad aumentare.

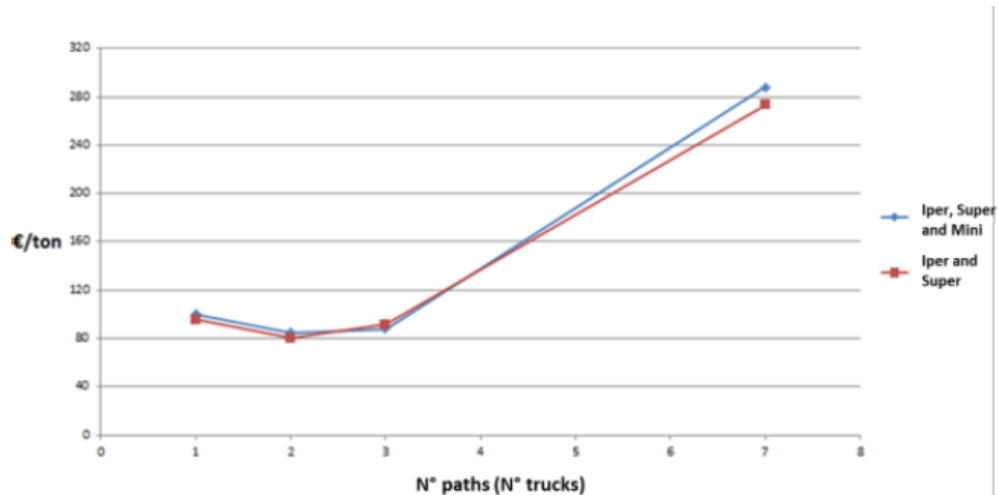


Figura 4. Costo totale in funzione del numero di percorsi

Partendo da queste considerazioni, per questo centro di distribuzione, tre scenari vengono dettagliati. In particolare, si mostrerà come il costo di trasporto diminuisce se si includono fino a due percorsi; al contrario, si paleserà come l'aggiunta di un nuovo mezzo non porti benefici in termini di costo.

In questo scenario "a", i rifiuti alimentari sono raccolti utilizzando un solo mezzo di trasporto. Come già menzionato, un mezzo di trasporto significa un percorso, quindi un massimo di 14 punti vendita visitati giornalmente. La valutazione è iniziata calcolando il percorso che un veicolo dovrebbe seguire per visitare tutti gli ipermercati vicini a un centro di distribuzione di riferimento, utilizzando l'algoritmo CW (Clarke & Wright, 1964). La figura 5 mostra il percorso seguito per visitare solo gli ipermercati di questo scenario.

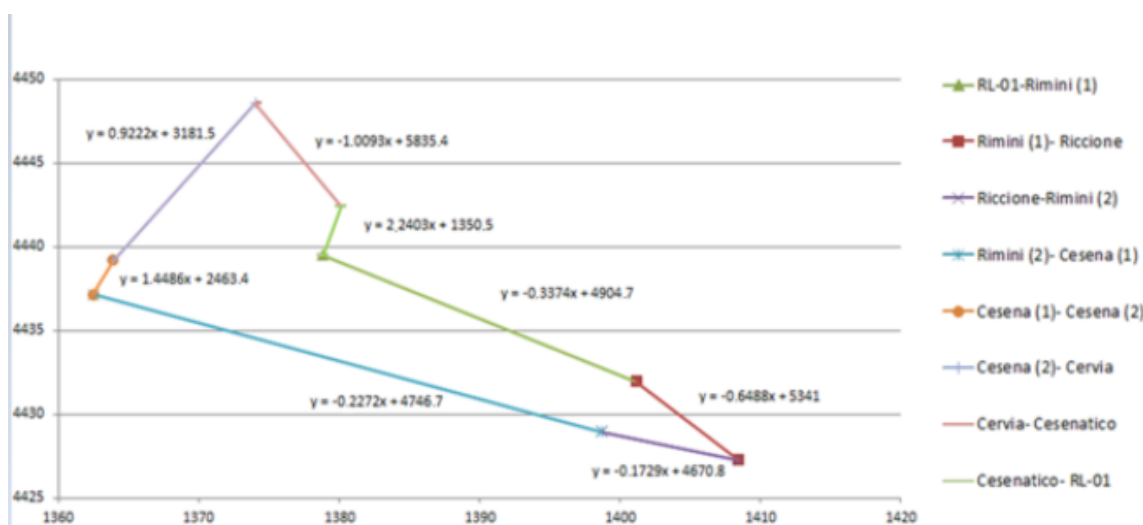


Figura 5. Rappresentazione del percorso seguito nello scenario "a"

La configurazione "y" restituisce il costo di trasporto più basso in questo scenario. Pertanto, il costo generato dalla raccolta di cibo sprecato da ipermercati e supermercati e minimarket in un raggio di

2 km (trascurando il costo del centro di distribuzione e il costo di trasporto dal centro di distribuzione all'impianto SORT), in questo scenario, è visualizzato nella seguente tabella.

Tabella 5. Costo dello scenario "a"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	7	0,84	95,15	97,72
Supermercati	4	0,112	0,35	0,36
Minimarket	3	0,036	0,19	0,20
Totale	14	0,988	95,69	98,28

Come mostrato nella tabella sopra, la quantità di rifiuti alimentari recuperati rappresenta 0,988 tonnellate; quindi, il costo unitario di raccolta del cibo sprecato risulta essere pari a $98,28 \div 0,988 = 99,47$ €/ton.

3.3.6 Scenario "b"

Nello scenario "b" i rifiuti alimentari sono raccolti utilizzando due mezzi. Come detto sopra, due mezzi significano due percorsi, quindi, un massimo di 28 punti vendita visitati giornalmente. La figura 6 mostra i percorsi utilizzati per visitare gli ipermercati in questo scenario.

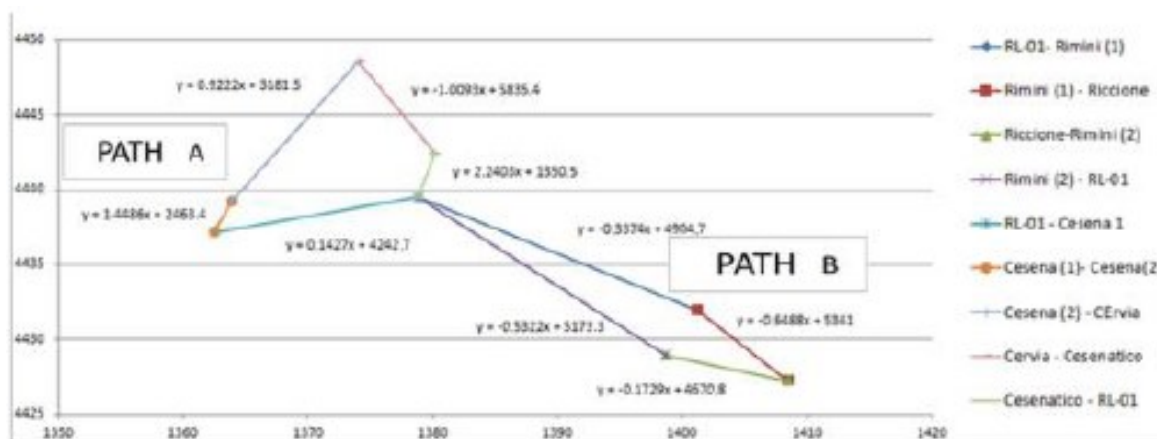


Figura 6. Rappresentazione dei percorsi seguiti nello scenario "b"

La configurazione "x" restituisce il costo di trasporto più basso in questo scenario. Seguendo l'approccio descritto sopra, gli ipermercati e supermercati che possono essere serviti sono: 4 e 10 per il percorso A, 3 e 11 per il percorso B; complessivamente, in questo scenario, sono visitati 28 punti vendita. Il costo generato per la raccolta dei rifiuti alimentari da ipermercati e supermercati in un raggio di 2 km è mostrato nelle successive due tabelle.

Tabella 6. Costo del percorso A nello scenario "b"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	4	0,48	43,97	45,16
Supermercati	10	0,28	3,81	3,91
Totale	14	0,76	47,78	49,07

Tabella 7. Costo del percorso B nello scenario "b"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	3	0,36	55,43	56,92
Supermercati	11	0,31	2,41	2,48
Totale	14	0,67	57,84	59,40

Le quantità totali di rifiuti alimentari raccolti e l'ammontare del costo, in questo scenario, sono calcolati come la somma dei risultati dei percorsi A e B. In particolare, questi valori rappresentano 1,43 tonnellate/giorno e 108,47 €/giorno. Il costo unitario della raccolta del cibo sprecato in questo scenario è dunque $108,47 \div 1,43 = 75,85$ €/ton.

3.3.7 Scenario "c"

Poiché lo scenario "b" ha evidenziato risultati migliori rispetto a quello precedente, viene analizzata anche la situazione con un ulteriore mezzo (tre mezzi). Come menzionato sopra, tre mezzi di trasporto significano tre percorsi distinti, quindi un massimo di 42 punti vendita visitati giornalmente. La figura successiva mostra i percorsi seguiti per visitare solo gli ipermercati.

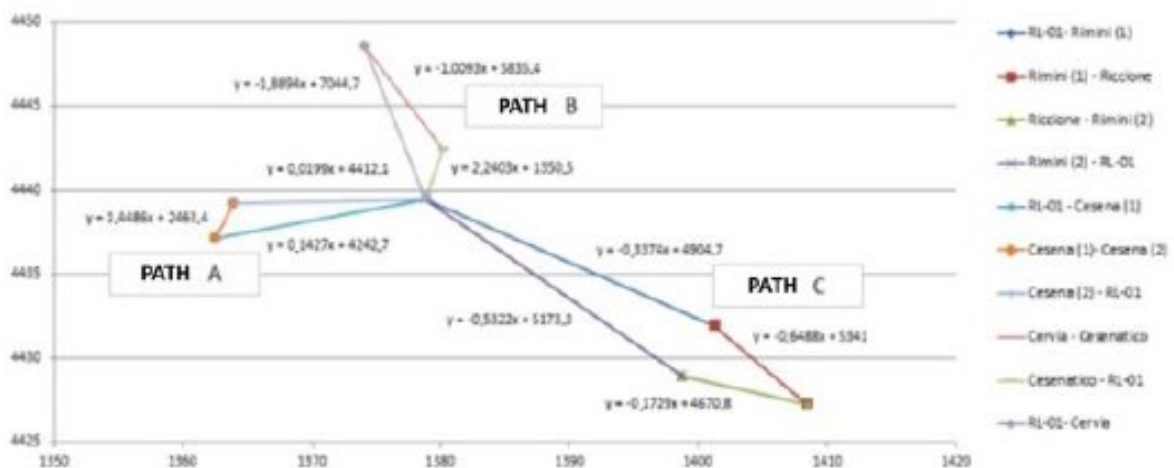


Figura 7. Rappresentazione dei percorsi seguiti nello scenario "c"

La configurazione "y" restituisce il costo di trasporto più basso in questo scenario. Seguendo l'approccio descritto sopra, il numero di ipermercati, supermercati e minimarket che possono essere

serviti sono: 2, 3 e 9 per il percorso A; 2, 6 e 6 per il percorso B; 3, 7 e 4 per il percorso C; complessivamente, possono essere visitati 42 punti vendita in questo scenario. I costi generati per la raccolta dei rifiuti alimentari da ipermercati e supermercati e minimarket in un raggio di 2 km sono mostrati nelle seguenti tre tabelle.

Tabella 8. Costo del percorso A nello scenario "c"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	2	0,24	25,94	26,64
Supermercati	9	0,25	5,06	5,20
Minimarket	3	0,04	1,73	1,78
Totale	14	0,53	32,73	33,62

Tabella 9. Costo del percorso B nello scenario "c"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	2	0,24	26,92	27,65
Supermercati	6	0,17	2,39	2,45
Minimarket	6	0,07	3,58	3,68
Totale	14	0,48	32,89	33,78

Tabella 10. Costo del percorso C nello scenario "c"

	Numero di punti vendita	Quantità rifiuti alimentari [ton/giorno]	Distanza percorsa [km/giorno]	Costo [€/giorno]
Ipermercati	3	0,36	55,43	56,93
Supermercati	7	0,20	1,50	1,54
Minimarket	4	0,05	0,63	0,65
Totale	14	0,61	57,56	59,12

Le quantità totali di rifiuti alimentari raccolti e l'ammontare dei costi generati sono calcolati come la somma dei risultati per i percorsi A, B e C, e rappresentano 1,62 tonnellate/giorno e 126,52 €/giorno. Così, il costo unitario per la raccolta del cibo sprecato in questo scenario è $126,52 \div 1,62 = 78,10$ €/ton.

Questi risultati confermano la tendenza precedentemente mostrata in figura 4: il sistema di Reverse Logistics con tre mezzi di trasporto non porta risparmi rispetto al precedente scenario; piuttosto, il costo totale inizia ad aumentare.

Come menzionato sopra, è stata presentata la descrizione dettagliata dei risultati solo per un centro di distribuzione rappresentativo, ma una simile procedura è stata applicata anche a tutti gli altri centri che compongono il sistema di Reverse Logistics. I principali risultati ottenuti dalla valutazione sono

proposti nella tabella successiva. Per brevità, i risultati sono limitati allo scenario (“a”, “b” o “c”) e alla configurazione (“x” o “y”) che restituiscono il costo più basso. Come spiegato sopra, in questa fase, il costo del trasporto della raccolta viene calcolato aggiungendo anche i contributi degli altri due costi per la raccolta dei rifiuti alimentari, cioè il costo del centro di distribuzione e il costo di trasporto dal centro di distribuzione all’impianto SORT, calcolati in precedenza.

Tabella 11. Costo totale per tutti i centri di distribuzione

	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	DC6	DC7	DC8
Costo minimo [€/ton]	75,85	58,29	81,03	82,82	15,88	174,25	101,48	47,04
Quantità rifiuti raccolti [ton]	1,43	2,58	0,76	1,70	0,51	0,85	1,43	0,59
Numero di punti vendita	28	56	14	28	14	14	28	14
Costo trasporto p.ti vendita-centri di distribuzione [€/giorno]	108,47	150,39	61,58	140,79	8,10	148,11	145,12	27,75
Costo centro di distribuzione	50	50	50	50	50	50	50	50
Costo trasporto centro di distribuzione – SORT	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32	38,32
Costo totale [€/ton]	137,62	92,52	197,24	134,77	189,06	278,15	162,24	196,73

Come mostrato nella tabella, per il centro di distribuzione 1, la quantità di rifiuti alimentari recuperati ammonta a 1,43 tonnellate; quindi, il costo totale unitario per questo centro di distribuzione si ottiene $(75,85 \cdot 1,43 + 50 + 38,32) \div 1,43 = 137,62$ €/ton.

Infine, il costo unitario totale per la raccolta dei rifiuti alimentari e per la loro spedizione all’impianto SORT è calcolato come media del costo totale osservato per ogni centro di distribuzione, e ammonta a **173,67** €/ton. Il numero di punti vendita visitati è ottenuto sempre come media del numero dei punti vendita visitati in ogni centro di distribuzione e si traduce con 24,5.

3.4 Conclusioni

Il lavoro appena presentato si è concentrato sul recupero dei rifiuti alimentari dai punti vendita e si basa su uno studio precedente di Bottani et al. (2018). Per mezzo di un modello di simulazione sviluppato in precedenza, in questo studio si è indagato diversi scenari per la raccolta dei rifiuti alimentari nella regione Emilia Romagna. Per tutti gli scenari, viene fornita una valutazione economica del costo delle attività di Reverse Logistics necessarie per la raccolta dei rifiuti. I risultati

ottenuti in termini di costo totale e di quantità di rifiuti alimentari recuperati sono riassunti nella tabella 12.

Tabella 12. Risultati in funzione delle tonnellate raccolte

	<i>“Base”</i>	<i>Secondo</i>	<i>Terzo</i>	<i>Quarto</i>	<i>Migliore tra “a”, “b” e “c”</i>
<i>Numero di punti vendita</i>	49	706	762	14	24,5
<i>Tonnellate raccolte</i>	5,88	19,78	20,90	0,988	9,85
<i>Costo totale [€/ton]</i>	237,08	101,53	97,02	194,95	173,67

Dai risultati visibili nella tabella sopra, si possono fare diverse considerazioni. Guardando i risultati in termini economici, un primo interessante punto è che il costo totale dello scenario “base” è significativamente superiore al costo di tutti gli altri scenari. Il costo totale minimo, invece, si ottiene nel terzo scenario e rappresenta meno di 100€/tonnellata. Tuttavia, in questo scenario il numero di punti vendita visitati quotidianamente è molto alto (762); questo presuppone implicitamente la presenza (e quindi la disponibilità) di diversi mezzi per l’esecuzione delle attività di recupero. Dato che questo scenario potrebbe non essere sempre possibile, nel quarto scenario sono stati aggiunti i vincoli sul numero massimo di punti vendita che possono essere visitati giornalmente con un unico mezzo di trasporto disponibile per recuperare il cibo sprecato. Pertanto, in questo scenario il numero di punti vendita visitati giornalmente è significativamente più basso (14). Si può anche osservare che il costo totale della Reverse Logistics diminuisce progressivamente con l’aumentare del numero di punti vendita e della quantità di rifiuti alimentari recuperati. Infine, negli scenari “a”, “b” e “c” vengono considerati più mezzi di trasporto, quindi più percorsi possibili giornalmente. Come si può vedere dai risultati mostrati nella tabella 12, però, questo scenario non è favorevole in termini economici.

4 SOSTENIBILITÀ DEI PROCESSI NEI PUNTI VENDITA: UN MODELLO ANALITICO PER LA VALUTAZIONE ECONOMICA ED AMBIENTALE

Questo lavoro propone un modello per valutare la sostenibilità economica ed ambientale dei negozi al dettaglio. Il modello è stato sviluppato in Microsoft Excel™ e riproduce i principali processi dei punti vendita (cioè la ricezione dei prodotti, lo stoccaggio a magazzino, la gestione dell'area di vendita e la gestione dei resi) in termini quantitativi. L'applicazione del modello ad un caso reale, riferito ad un negozio della grande distribuzione italiana, e la discussione dei principali risultati ottenuti, sono mostrati per tutti i processi considerati. I risultati mostrano come l'impatto ambientale più rilevante e il costo totale più alto siano generati dal processo di gestione dell'area vendita. Al contrario, il processo di gestione dei resi contribuisce al costo totale in una misura limitata. I risultati ottenuti forniscono linee guida utili ai manager dei punti vendita per poter ottimizzare la sostenibilità dei loro processi interni.

4.1 Introduzione

Le attività di logistica e distribuzione, sebbene siano essenziali per sostenere la nostra vita quotidiana, consumano grandi quantità di risorse naturali, dalla produzione fino al fine vita del prodotto e rilasciano diversi tipi di effluenti, rifiuti solidi e gas effetto serra che incidono negativamente sull'ambiente (Correa Maceno et al., 2018). Da una prospettiva economica, il costo della logistica e della distribuzione può anche essere rilevante, rappresentando circa il 10% del prodotto interno lordo nei paesi industrializzati (World Economic Forum, 2013). Il costo rilevante e l'impatto ambientale alimentano molte discussioni sull'efficienza e l'efficacia delle attività logistiche (Fugate et al., 2010). In risposta alle suddette questioni, le aziende di diversi settori sono sempre più alla ricerca di soluzioni per ridurre i loro costi logistici e migliorare le loro performance di sostenibilità. Un contesto che ha il potenziale di giocare un ruolo rilevante per la sostenibilità è il settore della vendita al dettaglio (Erol et al., 2009). La vendita al dettaglio è una parte del canale di distribuzione e rappresenta il principale intermediario tra l'industria e il consumatore finale. Può essere definito come tutte le attività che includono il processo di vendita di prodotti e servizi per soddisfare il bisogno del consumatore finale (Dias et al., 2016). La sostenibilità è diventata una questione rilevante per i rivenditori (Wiese et al., 2012; Claro et al., 2013), come lo dimostra il fatto che la pressione sui retailer per integrare la sostenibilità nelle loro pratiche commerciali sia in

aumento (European Environment Agency, 2010). Infatti, dato che i rivenditori sono al crocevia tra produttori e consumatori in una catena di approvvigionamento, il loro ruolo nella promozione della produzione e logistica è cruciale (Jones et al., 2009). I punti vendita assumono rilevanti sforzi di gestione sostenibile per gestire attività a monte (cioè sviluppare strategie di fornitura sostenibile) e influenzano anche le attività a valle attraverso iniziative di marketing e vendita (Itterhus et al., 1999). Inoltre, come conseguenza delle loro strategie di sostenibilità, i rivenditori possono esercitare un enorme potere sulle loro catene di approvvigionamento, determinando quali prodotti vendere nei negozi, determinando le condizioni di produzione, operando i sistemi di distribuzione, modellando le scelte di imballaggio, ecc. (Iles, 2005). Nonostante la rilevanza delle questioni di sostenibilità per i retailer, tuttavia, la letteratura ha prestato poca attenzione a modellare gli aspetti chiave della sostenibilità della vendita al dettaglio (Erol et al., 2009). Più frequentemente, i modelli per la sostenibilità dei punti vendita si sono concentrati sulla questione generale di miglioramento delle prestazioni, in termini di riduzione delle code o ottimizzazione dei processi (Siebers et al., 2009; Li et al., 2016), su questioni di gestione delle scorte (Bottani et al., 2014; Curcio e Longo, 2009), oppure mirano a ottimizzare l'intera catena di approvvigionamento (ad esempio, Lukinskiy et al., 2017; Montanari & Bottani, 2017). Modellare la sostenibilità nei punti vendita, come in qualsiasi altro contesto, è un compito complesso, che richiede innanzitutto l'identificazione degli indicatori di sostenibilità appropriati (Bottani et al., 2017). Inoltre, gli indicatori dovrebbero possibilmente permettere la valutazione di più di un aspetto della sostenibilità (tra quelli sociali, ambientali ed economici).

In linea con le considerazioni sopra, questo lavoro cerca di contribuire alla letteratura proponendo un modello quantitativo per valutare la sostenibilità economica ed ambientale di un particolare attore nel campo della vendita al dettaglio, cioè un punto vendita su larga scala. Il modello copre due delle tre prospettive di sostenibilità, cioè quella economica e ambientale, e in particolare quantifica il costo totale e le emissioni di CO₂ del punto vendita per mezzo di un approccio analitico sviluppato in Microsoft Excel™. L'approccio segue i processi logistici tipici di un punto vendita (es, ricezione, stoccaggio in magazzino, gestione dell'area vendita e gestione dei resi), la cui modellazione analitica costituisce la base per la valutazione.

Il resto del lavoro è organizzato come segue. La sezione successiva descrive la metodologia adottata per sviluppare il modello ed elenca le ipotesi e le notazioni necessarie per il suo sviluppo. In seguito, viene dettagliata l'applicazione del modello in un caso studio, riferendosi al caso di un punto vendita su larga scala, insieme ai dati di input necessari per la sua implementazione e i principali risultati

ottenuti. Vengono inoltre discussi i risultati del modello e vengono proposte linee guida per il loro uso pratico.

4.2 Metodologia

4.2.1 Struttura modello

Il modello proposto in questo lavoro è stato sviluppato con Microsoft Excel™, un potente pacchetto software frequentemente utilizzato per analisi quantitative su piccola e media scala (Hesse & Scerno, 2009). La struttura del modello è mostrata nella figura sottostante.

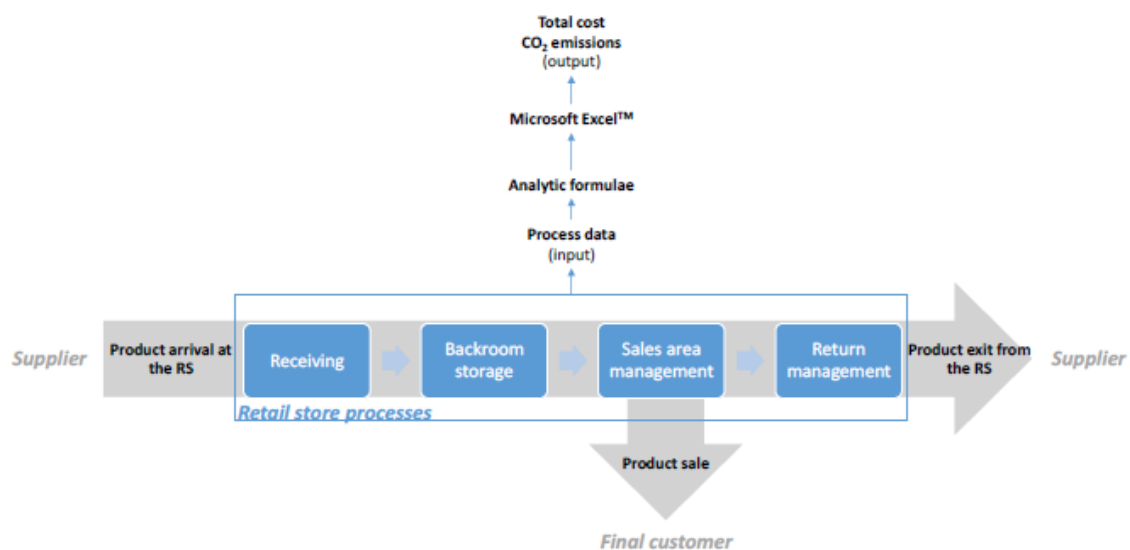


Figura 8. Schema del modello proposto

Come si può vedere da questa figura, il modello si concentra in modo espressivo sui processi tipici dei punti vendita, cioè il ricevimento, lo stoccaggio a magazzino, la gestione dell'area di vendita e la gestione dei resi; segue il flusso del prodotto attraverso il punto vendita. Il processo di ricevimento è il primo processo tipicamente incontrato da un prodotto che arriva al punto vendita (Rouwenhorst et al., 2000). L'attività di ricevimento include lo scarico del prodotto dal mezzo, l'aggiornamento dell'inventario, l'ispezione del prodotto per controllare incongruenze di quantità o qualità. Trasferimento e "messa via" comportano il trasferimento dei prodotti in arrivo nei luoghi di stoccaggio. Lo stoccaggio in magazzino riguarda l'organizzazione della merce tenuta nell'area di stoccaggio del punto vendita (Gu et al., 2007). L'area di vendita di un punto vendita è lo spazio in cui sia la manodopera che i consumatori stanno e si muovono. È intensivo a livello energetico e

comprende i sistemi HVAC³, impianti di riscaldamento e raffreddamento, tipologia, livelli e orari dell'illuminazione e impianti di refrigerazione (Parker et al., 2017). Dall'area di vendita, i prodotti vengono acquistati dal cliente finale ed escono dal punto vendita. Tuttavia, alcuni prodotti possono essere rispediti ai fornitori dopo la vendita o perché sono scaduti nell'area vendita. La gestione dei resi è il processo che gestisce questi prodotti e si riferisce alla pianificazione e al controllo del flusso e delle informazioni logistiche corrispondenti al ritorno dei beni post-vendita e post-consumo (Dias et al., 2016).

4.2.2 Assunzioni

Il modello dei processi sviluppato in questo lavoro si basa su alcuni presupposti che sono emersi sia dall'analisi della letteratura disponibile che dai suggerimenti forniti dai manager di alcuni punti vendita italiani coinvolti nello studio. Più precisamente, per sviluppare il modello sono stati intervistati quattro punti vendita di diversa dimensione, due ipermercati e due supermercati. Le ipotesi chiave del modello sono elencate e descritte in seguito:

- I prodotti trattati nei punti vendita sono di natura diversa e possono essere tipicamente raggruppati in due categorie principali, cioè prodotti “freschi” e “secchi”. La quantità di prodotti freschi rappresenta il 15% del volume totale di prodotti trattati nel punto vendita, mentre la percentuale di prodotti secchi rappresenta l'85%;
- Il processo di smaltimento dei prodotti scaduti è a carico del fornitore (ad esempio, il centro di distribuzione); pertanto, non viene considerato in questa analisi in quanto non influisce sulla performance del punto vendita;
- Il modello non tiene conto del processo di controllo dei prodotti restituiti, per identificare un possibile uso alternativo (invece di smaltire questi prodotti). Infatti, questo processo è tipicamente gestito tramite accordi specifici tra il punto vendita e i suoi fornitori;
- In un punto vendita, l'area di stoccaggio del magazzino spesso non è refrigerata, quindi i prodotti freschi sono collocati nell'area di vendita immediatamente dopo il ricevimento. Di conseguenza, il processo di stoccaggio nel magazzino prende in considerazione i soli prodotti secchi. Inoltre, in quest'area non ci sono sistemi HVAC e riscaldamento;

³ HVAC: sigla inglese, molto usata in tutti i campi dell'industria, che sta per Heating, Ventilation and Air Conditioning, ovvero “riscaldamento, ventilazione e aria condizionata”

- In linea con il Parlamento Europeo (2002), i prodotti scaduti devono essere trasportati attraverso trasporti ad hoc. A causa del loro piccolo volume, è ipotizzato l'uso di mezzi da 3,5 tonnellate nella gestione di questo processo.

4.2.3 Equazioni modello

La nomenclatura utilizzata nell'analisi è riportata nella tabella sotto.

Tabella 13. Nomenclatura

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
Pedici		
$i=R, BS, SA, RM$	Processi punto vendita (R=ricevimento, BS=stoccaggio in magazzino, SA=area vendita, RM=gestione dei resi)	-
$j=f, d$	Categoria prodotti (f=fresco; d=secco)	-
tot	Totale	-
$l, T-Q, D$	Identificazione, tipologia e quantità, documenti	-
U	Unitario	-
$k=RP, L, H_2O, HVAC$	Tipo di consumo (RP=impianto di refrigerazione, L=luce, H ₂ O=acqua and HVAC= riscaldamento, ventilazione e aria condizionata)	-
Parametri processi		
$n_{(pallets/day),R}$	Ammontare pallets ricevuti	[pallets/giorno]
$C_{u,litre}$	Costo unitario benzina	[€/l]
$dist_{litre,i}$	Distanza per litro	[km/l]
$n_{(pallets/truck),R}$	Ammontare dei pallets che possono essere caricati su un mezzo durante il ricevimento	[pallets/mezzo]
$N_{days/year}$	Giorni lavorativi per anno	[giorni/anno]
$dist$	Distanza media dal centro di distribuzione al punto vendita	[km]
$FC_{truck,j}$	Consumo benzina di un mezzo trasportando la categoria j di prodotto	[l/ora]
$C_{m,u}$	Costo orario medio della forza lavoro	[€/ora]
$C_{E,u}$	Costo medio del consumo di energia	[€/kWh]
$ER_{l,R}, ER_{T-Q,R}, ER_{D,R}$	Errori fatti nel ricevimento di prodotti (identificazione, tipo e quantità o documenti)	[casi/giorno]; [ordini/mese]
$T_{(ER,l),R}, T_{(ER,T-Q),R}, T_{(ER,D),R}$	Tempo richiesto per sistemare gli errori di ricevimento (identificazione, tipo e quantità o documenti)	[min/caso]; [min/ordine]
$I_{truck,u,i}$	Impatto unitario ambientale di un mezzo nel i-esimo processo	[tonCO ₂ /km]
t_{trip}	Tempo richiesto per un viaggio	[ore/viaggio]
$n_{employees,i}$	Numero di operai nel processo i-esimo	-
$h_{day,i}$	Numero di ore per giorno lavorativo nel processo i-esimo	[ore/giorno]
d_{diesel}	Densità del diesel a normali condizioni ambientali	[kg/m ³]
$\%T_i$	Percentuale del tempo d'accensione del mezzo refrigerato	-
N_{rep}, N_{reo}	Numero di rifornimenti e inventari di riordino nel magazzino	-
N_r	Numero di rifornimenti nell'area vendita	-
T_r	Tempo richiesto per un rifornimento nell'area vendita	[ore/rifornimento]
$Item_i$	Numero di prodotti nel processo i-esimo	[prodotti]
$C_{item, i}$	Valore medio economico dei prodotti nel processo i-esimo	[€/prodotto]
$\%_{expired,i}$	Percentuale di prodotti scaduti nel processo i-esimo	-
$\%_{oos,i}$	Percentuale di situazioni di out of stock nel processo i-esimo	-
$C_{h,u}$	Costo orario medio di mantenimento dei carrelli elevatori	[€/ora]
$n_{forklift trucks,BS}$	Ammontare dei carrelli elevator nel magazzino	-
$EC_{RP,u}$	Consumo energia dei sistemi di refrigerazione	[kWh/m ³ /anno]
h_{SA}	Altezza dell'area vendita	[m]
$Area_i$	Area disponibile nel punto vendita per il processo i-esimo	[m ²]

$Area_{RP,SA}$	Area coperta dall'impianto di refrigerazione nell'area vendita	[m ²]
$F_{L,BS}$	Fattore d'illuminazione per il magazzino	-
$F_{k,SA}$	Fattore di consumo nell'area vendita	-
$E_{HFC,u}$	Emissioni gas HFC	[tonCO ₂ /anno]
N_{HFC}	Numero di gas HFC	-
$EC_{forklift\ trucks,BS}$	Consumo energetico per carrelli elevator all'ora	[kWh/ora]

In seguito vengono dettagliate le formule analitiche utilizzate per modellare, in termini quantitativi, le prestazioni economiche e ambientali dei processi del punto vendita. L'intera serie di formule viene proposta con l'obiettivo di dettagliare completamente i passi per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale. Per ogni processo, vengono calcolati sia il costo totale che le emissioni di CO₂; quindi, vengono dettagliati due modelli per ognuno dei quattro processi del punto vendita.

4.2.3.1 Ricevimento

La procedura del calcolo per quantificare i costi e le emissioni derivanti dalla gestione del processo di ricevimento è dettagliata in seguito. Poiché l'analisi include attività di trasporto, è importante sottolineare che si ipotizza l'utilizzo di un mezzo da 33 pallet per le spedizioni di prodotti dal centro di distribuzione al punto vendita.

4.2.3.1.1 Modello economico

Per calcolare le componenti rilevanti di costo per il processo di ricevimento, il primo passo è calcolare il numero di mezzi all'anno richiesto per consegnare i prodotti ai punti vendita. Questo è ottenuto partendo dalla quantità di pallet ricevuti al giorno e dalla quantità totale di pallet caricati su un camion di capacità data, ovvero,

$$n_{(truck/year),R} = \left[\frac{n_{(pallets/day),R}}{n_{(pallets/truck),R}} \right] * N_{days/year} \quad [\text{mezzi/anno}] \quad (1)$$

Il costo totale delle attività di trasporto può essere calcolato come segue:

$$C_{(t,tot),R} = \frac{C_{u,litre}}{dist_{litre,R}} * dist * n_{(truck/year),R} \quad [€/anno] \quad (2)$$

Prendendo in considerazione l'ipotesi #1 della sezione precedente, questo costo dovrebbe essere diviso tra le diverse categorie di prodotti trattati, cioè il 15% per i prodotti freschi e il restante 85% per quelli secchi. Altri costi relativi al processo di ricevimento sono causati dal consumo di carburante. Poiché il trasporto di prodotti freschi richiede mezzi refrigerati, il consumo di carburante dovrebbe essere calcolato separatamente per i prodotti secchi (FC_d) e per quelli freschi (FC_f), come segue:

$$FC_d = FC_{truck,d} * t_{trip} * n_{(truck/year),R} * 0.85 \quad [\text{litri/anno}] \quad (3)$$

$$FC_f = FC_{truck,f} * t_{trip} * \%T_i * n_{(truck/year),R} * 0.15 \quad [\text{litri/anno}] \quad (4)$$

Conseguentemente, il costo del carburante ($C_{F,d}$) e ($C_{F,f}$) viene così calcolato:

$$C_{F,d} = C_{u,litre} * FC_d \quad [€/anno] \quad (5)$$

$$C_{F,f} = C_{u,litre} * FC_f \quad [€/anno] \quad (6)$$

Un'altra componente economica è il costo degli operai che svolgono le operazioni di ricevimento. Prendendo in considerazione il numero di dipendenti che servono in questo processo, la seguente equazione può essere usata:

$$C_{m,R} = C_{m,u} * h_{day,R} * N_{days/year} * n_{employees,R} \quad [€/anno] \quad (7)$$

Durante il ricevimento, i dipendenti possono anche lavorare per correggere eventuali errori nei pallet ricevuti (per esempio, documenti, tipo e quantità di prodotto o errori di identificazione). Il costo relativo indicato come $C_{(ER,T-Q),R}$, $C_{(ER,D),R}$ e $C_{(ER,I),R}$, è stato calcolato per ogni tipo di errore, secondo la seguente serie di equazioni:

$$C_{(ER,T-Q),R} = \frac{T_{(ER,T-Q),R}}{60} * C_{m,u} * ER_{T-Q,R} * N_{days/year} \quad [€/anno] \quad (8)$$

$$C_{(ER,D),R} = \frac{T_{(ER,D),R}}{60} * C_{m,u} * ER_{D,R} * 12 \quad [€/anno] \quad (9)$$

$$C_{(ER,I),R} = \frac{T_{(ER,I),R}}{60} * C_{m,u} * ER_{I,R} * N_{days/year} \quad [€/anno] \quad (10)$$

L'impatto totale economico causato dalla gestione degli errori nelle operazioni di ricevimento è ottenuto come segue:

$$C_{ER,R} = C_{(ER,T-Q),R} + C_{(ER,D),R} + C_{(ER,I),R} \quad [€/anno] \quad (11)$$

Complessivamente, la performance economica del processo di ricevimento nel punto vendita ($C_{tot,R}$) può infine essere calcolata sommando i contributi elencati sopra:

$$C_{tot,R} = C_{(t,tot),R} + C_{F,d} + C_{F,f} + C_{m,R} + C_{ER,R} \quad [€/anno] \quad (12)$$

4.2.3.1.2 Modello ambientale

Oltre alla performance economica, può essere valutata la sostenibilità ambientale del processo di ricevimento prendendo in considerazione diversi contributi relativi alla fase di trasporto, ovvero: l'impatto ambientale del trasporto di prodotti freschi e secchi ($I_f; I_d$) e la quantità di emissioni di CO₂ di un mezzo a pieno carico ($I_{truck,R}$). Per calcolare I_d , l'energia assorbita dal mezzo per il trasporto secco deve essere prima stimata. Utilizzando i seguenti diversi fattori di conversione:

$$1 \text{ litro} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3 \quad (13)$$

$$1 \text{ tonCO}_2 = 42.877 \text{ GJ} \quad (\text{Minambiente, 2016}) \quad (14)$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 * 10^6 \text{ J} \quad (15)$$

l'energia assorbita dal mezzo può essere calcolata come segue:

$$E_d = \frac{FC_d * 0.001 * d_{diesel} * 42.877}{3.6 * 10^6} \quad [\text{kWh/anno}] \quad (16)$$

Applicando la seguente formula (Emilia Romagna, 2015):

$$1 \text{ kWh} = 2.642 * 10^{-4} \text{ tonCO}_2 \quad (17)$$

il contributo ambientale per il trasporto dei prodotti secchi può essere quantificato con la seguente formula:

$$I_d = E_d * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (18)$$

Seguendo un simile approccio, può essere calcolato anche l'impatto ambientale dei prodotti freschi:

$$E_f = \frac{FC_f * 0.001 * d_{diesel} * 42.877}{3.6 * 10^6} \quad [\text{kWh/anno}] \quad (19)$$

$$I_f = E_f * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (20)$$

Le conversioni descritte sopra saranno utilizzate nella valutazione ambientale in tutti i restanti processi del punto vendita. In particolare, l'equazione (17) è usata più volte, poiché permette di tradurre il consumo di energia in emissioni di CO₂. L'impatto ambientale di tutti i mezzi utilizzati per raccogliere i pallet dal centro di distribuzione al punto vendita si ottiene sommando il contributo di ogni mezzo e tenendo conto della distanza di trasporto, secondo la seguente formula:

$$I_{truck,R} = I_{truck,u,R} * D_a * n_{(truck/year),R} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (21)$$

Infine, l'impatto totale ambientale del processo di ricevimento è ottenuto sommando i contributi elencati sopra:

$$I_{tot,R} = I_d + I_f + I_{truck,R} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (22)$$

4.2.3.2 Stoccaggio magazzino

Il modello analitico per la gestione del magazzino si basa sull'assunzione precedente che in un punto vendita reale quest'area è tipicamente usata solo per la manipolazione e lo stoccaggio di prodotti secchi, mentre i prodotti freschi sono raramente gestiti nel retro negozio, essendo tipicamente situati direttamente sugli scaffali del negozio subito dopo la ricezione.

4.2.3.2.1 Modello economico

Per calcolare i costi rilevanti del processo di stoccaggio in magazzino, il primo passo consiste nel calcolare il costo dei dipendenti che svolgono l'attività di stoccaggio. Tenendo conto del numero di dipendenti che agiscono in questo processo, si può utilizzare la seguente equazione:

$$C_{m,BS} = C_{m,u} * h_{day,BS} * N_{days/year} * n_{employees,BS} \quad [€/anno] \quad (23)$$

Ulteriori impatti economici relativi alle attività di stoccaggio a magazzino sono causati dalle operazioni generali e di riassortimento, che riflettono la presenza di due diversi tipi di attività di riassortimento. Sempre tenendo conto del numero di dipendenti coinvolti in entrambe le attività, possono essere utilizzate le seguenti operazioni per il calcolo del costo relativo:

$$C_{r,rep,BS} = C_{m,u} * h_{day,BS} * N_{rep} * n_{employees,BS} \quad [€/anno] \quad (24)$$

$$C_{r,reo,BS} = C_{m,u} * h_{day,BS} * N_{reo} * n_{employees,BS} \quad [€/anno] \quad (25)$$

L'impatto economico totale causato dalle operazioni di riassortimento nello stoccaggio a magazzino è:

$$C_{rep,BS} = C_{r,rep,BS} + C_{r,reo,BS} \quad [€/anno] \quad (26)$$

Nel magazzino è necessario tenere in considerazione il valore economico delle scorte. Usando il numero medio e il valore dei prodotti si può calcolare applicando la seguente equazione:

$$Inv_{BS} = Item_{BS} * C_{item,BS} * N_{\frac{day}{year}} \quad [€/anno] \quad (27)$$

Durante le operazioni di gestione del magazzino possono verificarsi situazioni di out-of-stock, come si possono osservare delle scadenze di prodotti. Usando la percentuale dei prodotti scaduti e le situazioni di out-of-stock come input, il costo delle vendite perse può essere calcolato applicando le seguenti tre equazioni:

$$C_{sl,ex,BS} = Inv_{BS} * \%_{expired,BS} \quad [€/anno] \quad (28)$$

$$C_{sl,oots,BS} = Inv_{BS} * \%_{oots,BS} \quad [€/anno] \quad (29)$$

$$C_{sl,BS} = C_{sl,ex,BS} + C_{sl,oots,BS} \quad [€/anno] \quad (30)$$

Un'ulteriore componente di costo è il costo del mantenimento dei carrelli elevatori utilizzati nelle operazioni in magazzino. Il relativo costo viene calcolato in accordo con la seguente equazione:

$$C_{h,BS} = C_{h,u} * h_{day,BS} * N_{days/year} * n_{fork\ lift\ trucks,BS} \quad [€/anno] \quad (31)$$

L'impatto economico del processo di magazzinaggio al punto vendita può essere infine calcolato con:

$$C_{tot,BS} = C_{m,BS} + C_{rep,BS} + C_{sl,BS} + C_{h,BS} + Inv_{BS} \quad [€/anno] \quad (32)$$

4.2.3.2.2 Modello ambientale

Come per la performance economica, la sostenibilità ambientale del processo di stoccaggio del magazzino può essere modellata tenendo conto di due contributi principali, ovvero: l'impatto ambientale del consumo energetico del magazzino e la manutenzione dei carrelli elevatori. Tenendo conto del fattore illuminazione, il contributo ambientale per l'area di stoccaggio del magazzino può essere calcolato come segue:

$$I_{w,BS} = Area_{BS} * F_{L,BS} * 2.642 * 10^{-4} \quad [tonCO_2/anno] \quad (33)$$

Un'altra componente d'impatto è causata dal mantenimento dei carrelli elevatori usati nelle operazioni dello stoccaggio a magazzino. L'impatto relativo può essere calcolato usando la seguente formula:

$$I_{forklift\ trucks,BS} = EC_{forklift\ trucks,BS} * h_{day,BS} * N_{days/year} * n_{fork\ lift\ trucks,BS} * 2.642 * 10^{-4} \quad [tonCO_2/anno] \quad (34)$$

L'impatto ambientale totale delle operazioni di stoccaggio a magazzino può essere infine derivato sommando i contributi appena citati:

$$I_{tot,BS} = I_{w,BS} + I_{forklift\ trucks,BS} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (35)$$

4.2.3.3 Gestione area vendita

Il processo di gestione dell'area vendita include tutte le attività previste per la vendita del prodotto finito al consumatore finale.

4.2.3.3.1 Modello economico

Per calcolare i costi relativi alla gestione dell'area vendita, il primo passo è calcolare il costo dei dipendenti che svolgono le operazioni di vendita. Tenendo conto del numero di dipendenti coinvolti in questo processo, si può utilizzare la seguente formula:

$$C_{m,SA} = C_{m,u} * h_{day,SA} * N_{days/year} * n_{employees,SA} \quad [€/anno] \quad (36)$$

Un'ulteriore componente di costo è quella relativa allo svolgimento delle operazioni di rifornimento; la seguente equazione può essere usata per il suo calcolo:

$$C_{rep,SA} = C_{m,u} * N_r * T_r * N_{days/year} \quad [€/anno] \quad (37)$$

Nell'area vendita, come nel magazzino, si deve prendere in considerazione il valore economico delle scorte. Usando il numero e il valore medio dei prodotti può essere calcolato applicando il seguente calcolo:

$$Inv_{SA} = Item_{SA} * C_{item,SA} * N_{day/year} \quad [€/anno] \quad (38)$$

Come per il caso dello stoccaggio a magazzino, le situazioni di out-of-stock e prodotti scaduti possono influenzare il processo di gestione dell'area vendita. Usando la percentuale di prodotti scaduti e le situazioni di out-of-stock come input, le corrispondenti perdite di vendita sono calcolate in accordo con le seguenti formule:

$$C_{sl,ex,SA} = Inv_{SA} * \%_{expired,SA} \quad [€/anno] \quad (39)$$

$$C_{sl,ooS,SA} = Inv_{SA} * \%_{ooS,SA} \quad [€/anno] \quad (40)$$

L'impatto economico totale causato dalle vendite perse nell'area vendita misura:

$$C_{sl,SA} = C_{sl,ex,SA} + C_{sl,ooS,SA} \quad [€/anno] \quad (41)$$

Un'altra componente di costo si riferisce al funzionamento dell'area vendita, che richiede impianti di refrigerazione, illuminazione, acqua e HVAC. Il costo relativo deve essere calcolato per ogni tipologia di consumo, secondo le seguenti equazioni:

$$C_{RP,SA} = EC_{RP,u} * h_{SA} * Area_{RP,SA} * C_{E,u} \quad [\text{€/anno}] \quad (42)$$

$$C_{L,SA} = Area_{SA} * F_{L,SA} * C_{E,u} \quad [\text{€/anno}] \quad (43)$$

$$C_{H_2O,SA} = Area_{SA} * F_{H_2O,SA} * C_{E,u} \quad [\text{€/anno}] \quad (44)$$

$$C_{HVAC,SA} = Area_{SA} * F_{HVAC,SA} * C_{E,u} \quad [\text{€/anno}] \quad (45)$$

L'impatto economico totale della gestione dell'area vendita nel punto vendita è infine calcolato come segue:

$$C_{tot,SA} = C_{m,SA} + C_{rep,SA} + C_{sl,SA} + C_{RP,SA} + C_{L,SA} + C_{H_2O,SA} + C_{HVAC,SA} + Inv_{SA} \quad [\text{€/anno}] \quad (46)$$

4.2.3.3.2 Modello ambientale

Come per la performance economica, la sostenibilità ambientale della gestione dell'area vendita deve essere valutata tenendo conto di diversi contributi, vale a dire: l'impatto ambientale del consumo energetico degli impianti di refrigerazione, HVAC, il consumo d'acqua, illuminazione ed emissioni di gas HFC. Tenendo conto delle emissioni dei gas HFC e del numero di gas HFC tipicamente utilizzati in un impianto di refrigerazione, la loro emissione nell'area di vendita può essere stimata come segue:

$$I_{HFC,SA} = E_{HFC,u} * N_{HFC} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (47)$$

Gli oneri ambientali sono anche causati dall'illuminazione dell'area di vendita; il relativo impatto può essere calcolato secondo l'equazione seguente:

$$I_{L,SA} = Area_{SA} * F_{L,SA} * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (48)$$

Una formula simile può essere adottata per calcolare l'impatto ambientale del consumo HVAC, ovvero:

$$I_{HVAC,SA} = Area_{SA} * F_{HVAC,SA} * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (49)$$

Un ulteriore impatto ambientale è legato agli impianti di refrigerazione. Tenendo conto dell'area coperta dagli impianti di refrigerazione, può essere utilizzata la seguente formula per ricavare l'impatto ambientale corrispondente:

$$I_{RP,SA} = EC_{RP,u} * h_{SA} * Area_{RP,SA} * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (50)$$

L'ultima componente ambientale relativa all'area vendita è data dal consumo d'acqua e può essere calcolata come segue:

$$I_{H_2O,SA} = Area_{SA} * F_{H_2O,SA} * 2.642 * 10^{-4} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (51)$$

Come ultimo step, l'impatto ambientale totale per la gestione dell'area vendita può essere derivato sommando le componenti spiegate sopra:

$$I_{tot,SA} = I_{HFC,SA} + I_{L,SA} + I_{HVAC,SA} + I_{RP,SA} + I_{H_2O,SA} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (52)$$

4.2.3.4 Gestione dei resi

Come già scritto nella sezione "assunzioni", il processo di gestione dei resi viene eseguito con spedizioni ad hoc dal punto vendita al centro di distribuzione, effettuate da piccoli mezzi di trasporto (capacità 3,5 tonnellate) che recuperano quotidianamente il prodotto scaduto dal punto vendita e lo rispediscono al centro di distribuzione per lo smaltimento. La distinzione tra prodotti secchi e freschi (come nel processo di ricevimento) non è necessaria. Infatti, poiché il prodotto reso è tipicamente scaduto, non è necessario preservare le sue proprietà organolettiche con un trasporto refrigerato. Il costo del processo di gestione del reso copre principalmente il costo del trasporto, mentre il costo dello smaltimento è tipicamente imputato al fornitore.

4.2.3.4.1 Modello economico

Per calcolare le componenti di costo rilevanti del processo di gestione dei resi, il primo passo è quello di calcolare il costo totale del trasporto per le attività di logistica inversa. A causa della quantità limitata di prodotto scaduto, il mezzo di trasporto farà un solo viaggio al giorno, cioè 320 viaggi all'anno. Il costo totale di trasporto per il processo di gestione dei resi può essere calcolato come segue:

$$C_{t,RM} = \frac{C_{u,litre}}{dist_{litre,RM}} * dist * N_{days/year} \quad [€/anno] \quad (53)$$

Un altro impatto economico causato dalle attività di Reverse Logistics è dato dal consumo di carburante. Il consumo di carburante può essere calcolato come segue:

$$FC_{RM} = FC_{truck,d} * t_{trip} * N_{days/year} \quad [\text{litri/anno}] \quad (54)$$

Di conseguenza, il relativo impatto economico misura:

$$C_{E,RM} = C_{u,litre} * FC_{RM} \quad [€/anno] \quad (55)$$

Il costo totale del processo di gestione dei resi al punto vendita è infine così calcolato:

$$C_{tot,RM} = C_{t,RM} + C_{E,RM} \quad [€/anno] \quad (56)$$

4.2.3.4.2 Modello ambientale

Oltre alla performance economica, la sostenibilità ambientale del processo di gestione dei resi può essere valutata prendendo in considerazione diversi contributi relativi alla fase di trasporto, ovvero: l'impatto ambientale per il recupero dei prodotti scaduti e la quantità di emissioni di CO₂ di un mezzo di trasporto a pieno carico. Utilizzando i fattori di conversione proposti nelle equazioni (13)-(15), il contributo ambientale per il trasporto di prodotti scaduti può essere calcolato come segue:

$$I_{t,RM} = \frac{FC_{RL} * 0.001 * d_{diesel} * 42.877 * 2.642 * 10^{-4}}{3.6 * 10^6} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (57)$$

L'impatto ambientale dei mezzi di trasporto utilizzati per raccogliere i prodotti scaduti dal punto vendita al centro di distribuzione si ottiene infine sommando il contributo di ogni giorno lavorativo e tenendo conto della distanza di trasporto, secondo la seguente formula:

$$I_{truck,RM} = I_{truck,u,RM} * dist * N_{days/year} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (58)$$

L'impatto ambientale totale può essere ottenuto sommando i contributi appena elencati:

$$I_{tot,RM} = I_{t,RM} + I_{truck,RM} \quad [\text{tonCO}_2/\text{anno}] \quad (59)$$

4.3 Applicazione del modello

I modelli analitici dettagliati nelle sottosezioni precedenti sono stati implementati in Microsoft Excel™ per automatizzare la procedura di calcolo. Più precisamente, in linea con la struttura del modello, sono stati programmati quattro fogli di calcolo, uno per processo, ognuno dei quali calcola le relative prestazioni economiche e ambientali del punto vendita, le quali vengono restituite come output.

4.3.1 Input data

È evidente dalla notazione della tabella 13 che l'implementazione del modello richiede diversi dati in input per ogni processo del punto vendita. In questo studio, i valori numerici dei dati d'input sono stati ottenuti da una fase di raccolta dati che ha coinvolto gli stessi punti vendita precedentemente intervistati per sviluppare il modello. Questi punti vendita sono stati visitati per analizzare i loro processi e per raccogliere i relativi dati più rilevanti. Per l'applicazione del modello, i dati di processo sono stati mediati sul campione di punti vendita considerati, ottenendo così dei valori medi per un punto vendita tipico dell'Italia. Un'attenta analisi bibliografica, comprendente sia articoli scientifici recuperati con il supporto del database Scopus (www.scopus.com) sia di altri report e fonti disponibili, è stata effettuata per recuperare dati mancanti o generici, o per avvalorare la raccolta dati. L'elenco completo dei dati d'input rilevanti per questo studio insieme alla relativa fonte è fornito nella tabella sottostante.

Tabella 14. Input data

Parametro	Valore numerico	Unità di misura	Fonte
$n_{(pallets/day),R}$	168	[pallets/giorno]	Bottani and Montanari (2010)
C_u, litre	1,37	[€/l]	Ministero dello Sviluppo Economico (2017)
$dist_{litre,R}$	2,6	[km/l]	Econoliberal (2012)
$dist_{litre,RL}$	8,50	[km/l]	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2016)
$n_{(pallets/truck),R}$	33	[pallets/mezzo]	Calcolata utilizzando le misure standard dell'Euro-pallet
$N_{days/year}$	320	[giorni]	Bottani and Rizzi (2008)
$Dist$	103.67	[km]	ECR Italy (2014)
$FC_{truck,j}$	0.75 ($T^{\circ}=[-25, +3]^{\circ}C$) for $j=f$; 2.25 ($T^{\circ}=[+3, +25]^{\circ}C$) for $j=d$	[l/ora]	Tassou et al. (2011)
t_{trip}	3	[ora/viaggio]	Osservazione diretta
$C_{m,u}$	13.17	[€/ora]	Unione Nazionale Cooperative Italiane (2015)
$n_{employees,i}$	5 for $i=R$ and BS 10 for $i=SA$	-	Osservazione diretta
$ER_{I,R}$	0.25	[casi/giorno]	Bottani and Rizzi (2008)
$ER_{D,R}$	13.8	[ordini/mese]	Bottani and Rizzi (2008)
$ER_{T-Q,R}$	13.8	[casi/giorno]	Bottani and Rizzi (2008)
$T_{(ER,I),R}$	7.5	[min/caso]	Bottani and Rizzi (2008)
$T_{(ER,D),R}$	50.6	[min/ordine]	Bottani and Rizzi (2008)
$T_{(ER,T-Q),R}$	8.75	[min/caso]	Bottani and Rizzi (2008)
$I_{truck,u,i}$	$6.22 \cdot 10^{-4}$ for $i=R$ $2.42 \cdot 10^{-4}$ for $i=RL$	[tonCO ₂ /km]	Ciccarello and Caserini (2011)
$h_{day,i}$	8 for $i=R$ and $i=BS$ 12 for $i=SA$	[ore/giorno]	Osservazione diretta
d_{diesel}	850	[kg/m ³]	Wang and Economides (2009)
N_{rep}	628.25	[giorni/rifornimento]	Osservazione diretta
N_{reo}	0.68	[giorni/rifornimento]	Osservazione diretta

$Item_i$	4500 for $i=BS$ 100 for $i=SA$	[prodotti]	Osservazione diretta
$C_{item, i}$	1.3125 for $i=BS$ 0.625 for $i=SA$	[€/prodotto]	Osservazione diretta
$\%_{expired, i}$	1.49% for $i=BS$ 3.14% for $i=SA$	-	Bertolini et al. (2013)
$\%_{oos, i}$	2.13% for $i=BS$ 1.4% for $i=SA$	-	Bertolini et al. (2013)
$C_{h, u}$	0.122	[€/ora]	Enea (2014)
$C_{E, u}$	0.322	[€/kWh]	Enea (2014)
$n_{forklift\ trucks, BS}$	3	-	Osservazione diretta
$Area_{BS}$	1,525	[m ²]	Osservazione diretta
$Area_{SA}$	4,170	[m ²]	Tassou et al. (2011)
$Area_{RP, SA}$	625.5	[m ²]	Osservazione diretta
$F_{L, BS}$	36	[kWh/m ² /anno]	Fichtinger et al. (2015)
$F_{k, SA}$	188.55 for $k=L$ 7.98 for $k=H2O$ 209.65 for $k=HVAC$	[kWh/m ² /anno]	Tassou et al. (2011)
$EC_{forklift\ trucks, BS}$	0.38	[kWh/ora]	OM STILL (2017)
$EC_{RP, u}$	100	[kWh/m ³ /anno]	Osservazione diretta
h_{SA}	7	[m]	Osservazione diretta
$E_{HFC, u}$	50	[tonCO ₂ /anno]	Osservazione diretta
N_{HFC}	7	-	Osservazione diretta

4.3.2 Risultati

In questa sezione vengono presentati i principali risultati dell'applicazione del modello.

4.3.2.1 Risultati per il ricevimento

Applicando la procedura computazionale descritta nella sezione 4.2.3.1 con gli input data nella tabella 14, il modello restituisce i risultati proposti nella tabella sottostante, in termini di performance economica e ambientale del processo di ricevimento. Nella medesima tabella, viene proposta anche la parte percentuale del costo e delle emissioni di CO₂ del processo.

Tabella 15. Costo ed emissioni per il processo di ricevimento

Attività	Costi [€/anno]	%	Emissioni [tonCO ₂ /anno]	%
Forza lavoro	168576,00	58,03	-	-
Trasporto	104878,77	36,10	123,80	90,54
Consumo carburante – prodotti secchi	5030,64	1,73	9,82	7,18
Consumo carburante – prodotti freschi	1597,97	0,55	3,12	2,28
Gestione errori – tipo e quantità	8450,75	2,91	-	-
Gestione errori - documenti	1833,51	0,63	-	-
Gestione errori – identificazione prodotto	131,70	0,05	-	-
Totale	290499,34	100,00	136,74	100,00

Come mostrato nella tabella appena sopra, l'attività che comporta il costo maggiore nel processo di ricevimento è la forza lavoro (168576,00 €/anno), che rappresenta il 58,03% del costo totale del processo. Inoltre, l'attività di trasporto influisce significativamente sulle prestazioni ambientali del processo (123,80 tonCO₂/anno), ma anche il suo impatto economico non può essere trascurato (36,10%).

4.3.2.2 Risultati per lo stoccaggio a magazzino

I risultati principali ottenuti applicando il modello analitico al processo di stoccaggio con i dati di input della tabella 14 sono mostrati nella tabella 16, in termini di prestazioni economiche e ambientali.

Tabella 16. Costo ed emissioni per il processo di stoccaggio a magazzino

Attività	Costi [€/anno]	%	Emissioni [tonCO ₂ /anno]	%
Forza lavoro	168576,00	49,77	-	-
Scorte	20000,00	5,90	-	-
Mantenimento carrelli elevatori	939,72	0,28	0,77	5,05
Vendite perse	722,93	0,21	-	-
Operazioni di rifornimento	148504,92	43,84	-	-
Consumo energetico magazzino	-	-	14,50	94,95
Totale		100,00	15,27	100,00

Come riportato nella tabella sopra, le attività che generano il costo maggiore nella gestione del magazzino sono la forza lavoro (168576,00 €/anno) e le operazioni di rifornimento (148504,92 €/anno); tali attività rappresentano rispettivamente il 49,77% e il 43,84% del costo totale del processo. Dal punto di vista ambientale, le emissioni di CO₂ sono dovute principalmente al consumo di energia nel magazzino (14,50 tonCO₂/anno).

4.3.2.3 Risultati per la gestione dell'area vendita

La tabella 17 riporta i risultati della valutazione economica e ambientale della gestione dell'area vendita usando sempre gli input dettagliati nelle precedenti sezioni.

Tabella 17. Costo ed emissioni per il processo di gestione area vendita

Attività	Costi [€/anno]	%	Emissioni [tonCO ₂ /anno]	%
Forza lavoro	505728,00	15,75	-	-
Operazioni di rifornimento	17026,18	0,53	-	-
Vendite perse	85424,74	3,47	-	-
Scorte	1890000,00	58,87	-	-
Consumo energetico impianti refrigerazione	140987,70	4,39	115,68	12,67
Consumo HVAC	281505,44	8,77	230,97	25,29

Consumo idrico	10714,91	0,33	8,79	0,96
Illuminazione	253173,63	7,89	207,73	22,75
Emissioni gas HFC	-	-	350,00	38,33
Totale	3184560,60	100,00	913,17	100,00

Come mostra la tabella sopra, la componente di costo più rilevante di questo processo è il costo delle scorte (1890000,00 €/anno), seguito dal costo della forza lavoro (505728,00 €/anno). Le emissioni più rilevanti di questo processo sono dovute ai gas HFC per la refrigerazione (38,33€), HVAC (25,29%) e illuminazione (22,75%).

4.3.2.4 Risultati per la gestione dei resi

La tabella che segue elenca i risultati per le prestazioni economiche e ambientali del processo di gestione dei resi del punto vendita, utilizzando i soliti input data. Ancora una volta, il contributo più rilevante al costo totale e all'impatto ambientale è generato dalle attività di trasporto, che generano più dell'80% sia del costo che delle emissioni di CO₂.

Tabella 18. Costo ed emissioni per il processo di gestione dei resi

Attività	Costi [€/anno]	%	Emissioni [tonCO ₂ /anno]	%
Trasporto	5346,93	84,43	8,03	80,65
Consumo carburante	986,40	15,57	1,93	19,35
Totale	6333,33	100,00	9,95	100,00

4.3.2.5 Risultati aggregati del modello

La figura sotto propone un'analisi dei risultati economici restituiti dal modello, fornendo la quota di ciascuno dei quattro processi rispetto al costo totale.

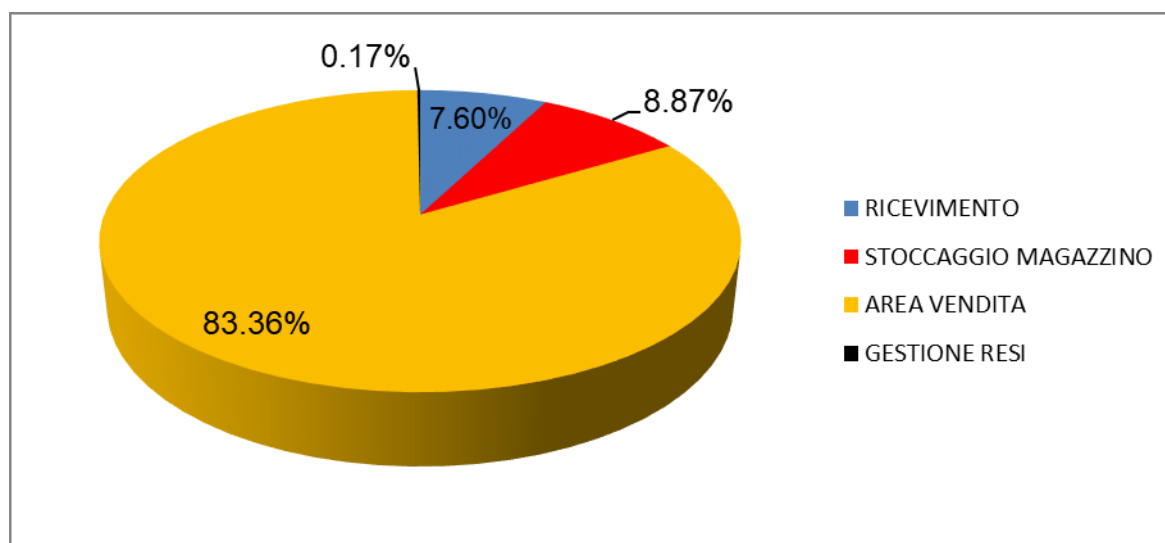


Figura 9. Percentuale dei costi tra i processi del punto di vendita

Come si può osservare da questa figura, il processo con il costo totale più alto è la gestione dell'area vendita (83,36%), seguita dai processi di stoccaggio a magazzino e ricevimento, che rappresentano rispettivamente l'8,87% e il 7,60% del costo totale. Il costo totale del processo di gestione dei resi è molto limitato, a causa del basso volume di prodotti resi e anche a causa dell'assunzioni fatte nella valutazione; ovvero che il punto vendita non sostiene il costo di smaltimento dei prodotti resi.

Nella figura sottostante vengono mostrate le percentuali di tutti i processi per quanto riguarda la parte ambientale.

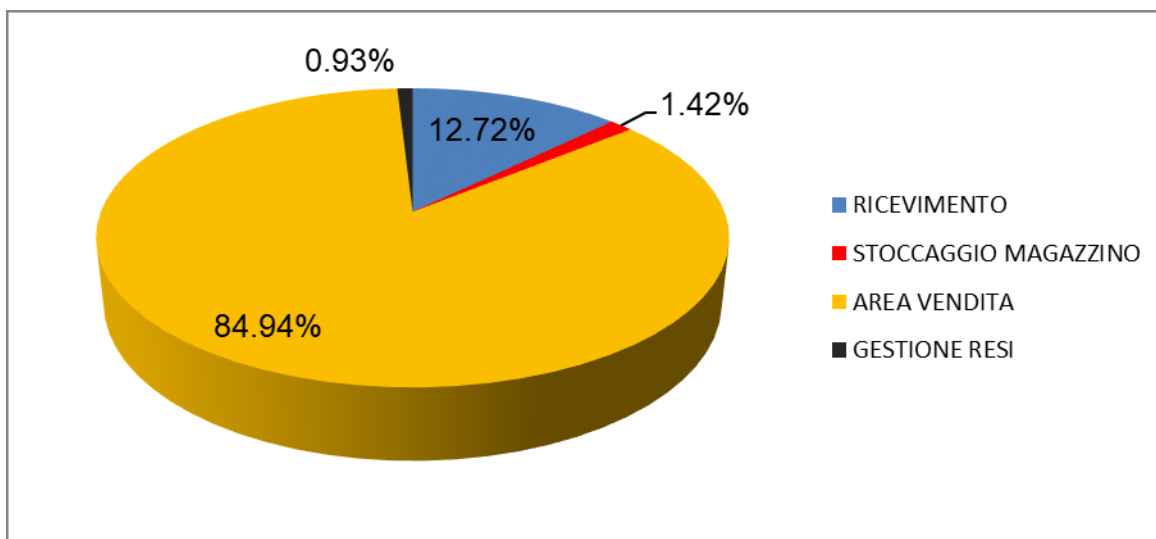


Figura 10. Percentuale delle emissioni tra i processi del punto di vendita

Come si può vedere dalla figura 10, il processo con la più alta emissione di CO₂ (in percentuale) è la gestione dell'area vendita (84,94%), seguita dal processo di ricevimento (12,72%). Per i processi di gestione del magazzino e dei resi, l'impatto ambientale è significativamente inferiore (1,42% e 0,93% rispettivamente).

I risultati proposti indicano chiaramente l'attività specifica o la componente del processo in cui i manager del punto vendita dovrebbero intervenire per rimuovere possibili inefficienze e ottimizzare la sostenibilità del punto vendita.

4.4 Conclusioni

In questo lavoro è stato proposto un modello per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale di un punto vendita a larga scala. Il modello include i processi chiave della supply chain di un punto vendita, seguendo il flusso dei prodotti nel negozio, vale a dire, ricevimento,

immagazzinamento, gestione area vendita e gestione dei resi. Nel complesso, sono state sviluppate 59 formule analitiche per quantificare il costo totale e le emissioni di CO₂ dei quattro processi del punto vendita. Per permettere all'utente di seguire completamente la procedura di calcolo, tutte le equazioni sono state dettagliate nella descrizione del modello e sono state incorporate in un file Excel, composto da quattro fogli, uno per ogni processo valutato. Il modello prende come input i dati chiave dei processi di un punto vendita, che l'utente deve inserire, e restituisce come output le prestazioni economiche e ambientali di ogni processo e del punto vendita nel suo complesso.

Da un punto di vista pratico, i risultati di questo studio forniscono una valutazione del costo totale e dell'impatto ambientale di un punto vendita a larga scala. Questi risultati possono essere utilizzati dai manager del punto vendita per identificare i processi su cui concentrarsi quando si valutano le strategie volte a ridurre l'impatto economico e ambientale del punto vendita.

5 PROBLEMA VRP CON VINCOLI DI CAPACITA' E DI TEMPO (CVRPTW): MODELLO LINEARE E IL CASO STUDIO DI UN CORRIERE ESPRESSO

Data l'importanza acquisita dal campo dell'e-commerce negli ultimi anni, questo studio indaga la questione della minimizzazione del tempo di viaggio di consegna di un'azienda "reale" situata nel Sud Italia e operante come fornitore di servizi di corriere, espresso e pacchi (CEP). Lo scenario in esame consiste in un deposito, tre veicoli e diversi clienti serviti dall'azienda CEP. Un modello VRP con vincoli di capacità e di tempo (CVRPTW) viene formulato per ottimizzare le consegne ai clienti per l'azienda in questione e viene risolto con il software commerciale IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Come risultati, il modello restituisce un percorso simulato coperto dai vincoli e calcola il tempo di viaggio corrispondente. I risultati mostrano che con la formulazione proposta, le finestre temporali di tutti i clienti sono rispettate. Poiché l'analisi è basata su un'azienda reale, ci si aspetta che i risultati forniscano indicazioni pratiche ai manager della logistica e della supply chain, per massimizzare le prestazioni del loro sistema di consegna.

5.1 Introduzione

Con il rapido sviluppo del progresso sociale, con la globalizzazione economica e con le reti d'informazione, la concorrenza di mercato è oggi molto intensa, e l'e-commerce sta influenzando sempre più la vita economica di ogni giorno (Fu et al., 2019; Yang & Li, 2013). Pertanto, l'industria della logistica espressa è sempre più una parte cruciale della nostra vita (Yang et al., 2013) con servizi postali e corrieri che sono incaricati a trasportare documenti, pacchi o altri oggetti da un luogo all'altro in modo rapido ed efficiente (Fu et al., 2019; Izzah, Rifai & Yao, 2016). L'instradamento e la programmazione dei corrieri è una preoccupazione importante per le organizzazioni che dipendono fortemente dal loro sistema logistico (Zangeneh-Khamooshi, Zabinsky & Heim, 2013). C'è una forte pressione per migliorare l'efficienza dei servizi logistici come risultato dell'aumento dei costi energetici e della fonte di concorrenza tra i vettori (Purnamasari & Santoso, 2018). Questa pressione sui costi costringe i CEP ad ottimizzare continuamente le loro reti logistiche (Kunkel & Schwind, 2011). In particolare, i servizi di consegna dei corrieri affrontano il problema di instradare una flotta di veicoli da un deposito per servire un insieme di clienti che sono geograficamente dispersi (Wang, Ordonez & Dessouky, 2012). Inoltre, il servizio logistico deve affrontare nuove sfide. In primo luogo, la scala dei clienti è stata ampliata, con il risultato di problemi NP-hard sempre più difficili. In

secondo luogo, i clienti hanno requisiti di finestre temporali, compresi sia quelle “base” che quelle attese (Yang et al., 2013). In altre parole, il problema di consegna per i corrieri è un’estensione del VRP. Infatti, VRP è il nome generico per una classe di problemi in cui un insieme di percorsi per una flotta di veicoli, basati su uno o più depositi, devono essere determinati per una serie di punti geograficamente dispersi (clienti, negozi, scuole, città, magazzini, ecc.) al minimo costo (distanza, tempo o qualsiasi altro fattore desiderato) (Sun et al., 2018; Khouadjia et al., 2012). Dantzing e Ramser (1959) sono stati i primi autori a introdurre il “Truck Dispatching Problem”, che può essere considerato una generalizzazione del “Traveling-Salesman Problem (TSP)”. Cinque anni dopo, Clarke & Wright (1964) generalizzarono questo problema ad uno di ottimizzazione lineare che si incontra comunemente nel dominio della logistica e dei trasporti (Armenzoni et al., 2017). Questo problema è stato successivamente denominato VRP ed è attualmente uno degli argomenti più studiati nel campo della ricerca operativa (Braekers, Ramaekers & Nieuwenhuys, 2016). Ora, il VRP offre una ricchezza di approcci euristici e meta-euristici, che sono censiti in vari studi (Laporte, 1992; Gendreau, Laporte & Potvin, 2002; Cordeau et al., 2005; Panneerselvam & Kumar, 2015). Alcune varianti di VRP spesso studiate sono il Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) e il CVRPTW (Rochman, Prasetyo & Nugroho, 2017). Nel CVRP ogni veicolo ha una capacità massima e i clienti hanno una domanda che deve essere soddisfatta (Gonzalez et al., 2017), mentre nel VRPTW ogni cliente deve essere servito entro una finestra temporale predefinita, i cui confini sono il primo e l’ultimo momento in cui la merce può essere consegnata o raccolta dal cliente (Korcyl, Ksiazek & Gdowska, 2016). Infine, il CVRPTW è il CVRP in cui, in aggiunta, ogni cliente ha una finestra temporale per essere servito (Gonzalez et al. 2017).

Nonostante la rilevanza di questi concetti, tuttavia, poche delle ricerche relative al VRP si sono concentrate sui servizi CEP (López-Santanaa, Rodríguez-Vásquez & Méndez-Giraldo, 2018). In linea con questa considerazione, lo scopo di questo studio è quello di contribuire alla letteratura valutando e minimizzando il tempo di viaggio totale di un’azienda situata nel Sud Italia, operante come fornitore di servizi CEP. In particolare, viene sviluppato un modello CVRPTW utilizzando ILOG CPLEX Optimization Studio, per supportare l’analisi simulata, cioè per minimizzare il tempo di viaggio totale per ogni viaggio e contemporaneamente per soddisfare le finestre temporali dei clienti.

Il resto di questo lavoro è organizzato come segue. La sezione successiva descrive in dettaglio il modello CVRPTW. La sezione 3 fornisce alcune informazioni sul caso studio in esame. La sezione 4

mostra la logica utilizzata per realizzare lo studio computazionale. Nella sezione 5, si riportano i principali risultati. La sezione delle conclusioni presenta le indicazioni per le possibili attività future.

5.2 Definizione e formulazione del CVRPTW

Il CVRPTW proposto in questo studio è il seguente. Una flotta di veicoli disponibili nel centro di distribuzione deve essere assegnata per consegnare merci ad un dato numero di clienti. Le posizioni del centro di distribuzione e dei clienti sono tutte fisse e note. La distanza tra i nodi (compreso il centro di distribuzione e tutti i clienti) è determinata dalla loro posizione. Ogni veicolo ha una capacità di carico fissa e un tempo di lavoro massimo consentito ogni giorno. Ciascun cliente ha una finestra temporale fissa e deve essere assegnato esattamente ad un viaggio di consegna che ha origine e fine al centro di distribuzione; al contrario, ogni viaggio di distribuzione può ovviamente visitare più clienti in sequenza. Ogni viaggio di distribuzione deve essere coperto esattamente da un veicolo. I tempi di viaggio tra i nodi dipendono dalle distanze tra loro. La soluzione del problema comporta la determinazione della sequenza di clienti da visitare in ogni viaggio di consegna e l'orario di lavoro dei veicoli.

L'obiettivo è quello di minimizzare il tempo totale di pianificazione (compreso il tempo di viaggio tra i nodi e il tempo di attesa/servizio al sito del cliente) di tutti i veicoli considerando una finestra temporale fissa. I vincoli del modello CVRPTW sono i seguenti:

1. Vincoli di capacità: la domanda totale dei clienti in un viaggio di distribuzione non deve superare la capacità di carico del mezzo utilizzato per il servizio;
2. Vincoli di tempo: il veicolo deve arrivare prima del limite superiore e dopo il limite inferiore della finestra temporale richiesta dal cliente.

La nomenclatura utilizzata nell'analisi è riportata nella tabella seguente:

Tabella 19. Nomenclatura

<i>Simbolo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Unità di misura</i>
Pedici		
i, j	Clienti ($i, j = 0, 1, \dots, n, n+1$)	-
Parametri		
C	Insieme di n clienti	-
V	Flotta di veicoli	-
A	Insieme di archi	-
N	Insieme di vertici	-
C_{ij}	Costo non negativo	-

t_{ij}	Tempo di viaggio	Min
q	Capacità del mezzo	Kg
d_i	Domanda del cliente i	Kg
a_i, b_i	Limite superiore e inferiore della finestra temporale	Formato tempo
x_{ijk}, s_{ik}	Variabili decisionali	-
v	Veicolo	-
t_s	Tempo di servizio	Min

Per minimizzare il tempo totale di programmazione di tutti i veicoli considerando il tempo di servizio fisso, è stato costruito un modello CVRPTW con vincoli di capacità e finestre temporali. Un grafo completo ponderato $G = (V, C)$ è dato, dove $C = \{i_0, i_1, i_2, \dots, i_n, i_{n+1}\}$ è l'insieme n di clienti in cui i_0 e i_{n+1} rappresentano rispettivamente il deposito di origine e di destinazione, mentre V è la flotta di veicoli. L'insieme di tutti i vertici, cioè $0, 1, \dots, n + 1$ è indicato come N . Si consideri l'insieme degli archi A che rappresentano le connessioni tra il deposito e i clienti, ma anche tra i clienti stessi. Nessun arco termina al vertice 0 e nessuno ha origine al vertice $n + 1$. Ad ogni arco $(i, j) \in A, i \neq j$ è associato un costo non negativo c_{ij} , che riflette il tempo (t_{ij}) richiesto per coprire lo stesso arco. Ogni veicolo è caratterizzato da una capacità q e ogni cliente i da una domanda d_i . Inoltre, una finestra temporale $[a_i, b_i]$ è nota per ogni cliente. Il veicolo deve arrivare al sito del cliente prima del limite superiore b_i della finestra temporale; può arrivare anche prima del tempo a_i , ma il cliente non può essere servito, quindi il veicolo deve aspettare. Anche il deposito è caratterizzato da una finestra temporale indicata con $[a_0, b_0]$. Il modello include due set di variabili decisionali x_{ijv} e s_{iv} . Per ogni arco $(i, j) \in A, i \neq j, j \neq n + 1, j \neq 0$ e ogni veicolo v definiamo x_{ijv} come

$$x_{ijv} = \begin{cases} 1, & \text{se il veicolo } v \text{ va dal vertice } i \text{ al vertice } j \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

La variabile decisionale s_{iv} è definita per ogni vertice i e ogni veicolo v e denota il momento in cui il veicolo v inizia a servire il cliente i . Nel caso in cui il veicolo v non serve il cliente i , s_{iv} non ha alcun significato e di conseguenza il suo valore è irrilevante. Assumiamo $a_0 = 0$ e quindi $s_{0v} = 0$, per tutti i, v . L'obiettivo è quello di progettare un insieme di percorsi che minimizzi il costo totale, in modo che ogni cliente sia servito esattamente una volta, ogni percorso abbia origine al vertice 0 e finisca al vertice $n + 1$, e che siano soddisfatti i vincoli della finestra temporale dei clienti e quelli di capacità dei veicoli.

Il CVRPTW può essere formulato matematicamente come segue:

$$\text{Min } z = \sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

sotto i vincoli:

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijv} = 1, \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijv} \leq q, \forall v \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jv} = 1, \forall v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihv} - \sum_{j \in N} x_{hjv} = 0, \forall h \in C, \forall v \in V \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,v} = 1, \forall v \in V \quad (6)$$

$$s_{iv} + t_{ij} - v(1 - x_{ijv}) \leq s_{jv}, \forall i, j \in N, \forall v \in V \quad (7)$$

$$a_i \leq s_{jv} \leq b_i, \forall i \in N, \forall v \in V \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, \forall v \in V \quad (9)$$

La funzione obiettivo (1) minimizza il costo totale del viaggio. Il vincolo (2) assicura che ogni cliente sia visitato esattamente una volta, mentre il vincolo (3) afferma che un veicolo può essere caricato solo fino alla sua capacità massima. Poi, le equazioni (4), (5) e (6) indicano che ogni veicolo deve lasciare il deposito 0; una volta che un veicolo è arrivato ad un cliente, deve partire per un'altra destinazione; e infine, tutti i veicoli devono arrivare al deposito (nodo $n + 1$). La disuguaglianza (7) stabilisce la relazione tra il tempo di partenza del veicolo da un cliente e il suo immediato successore. Infine, il vincolo (8) assicura che le finestre temporali siano soddisfatte; il vincolo (9) definisce la variabile decisionale utilizzata (Kallehauge et al., 2005).

5.3 Il caso studio

Il caso studio esaminato in questo lavoro sarà indicato come "Azienda A" (per motivi di privacy e sicurezza) e fornisce servizi di spedizione ordinaria ed espressa a Mariglianella, gestendo il trasporto e la consegna di prodotti di varie dimensioni nel territorio napoletano (Sud Italia). Questa azienda viene presa come caso studio per indagare il CVRPTW per un CEP, con l'obiettivo di minimizzare il tempo totale di consegna della merce ai clienti stabiliti, rispettando allo stesso tempo i vincoli delle finestre temporali fissi. L'azienda serve 29 clienti principali nelle aree di Sorrento, Gagnano, Agerola, Pompei e Castellamare di Stabia (Figura 11).



Figura 11. Area sotto studio

La tabella sottostante mostra l'elenco delle consegne previste dall'azienda A per il 28 febbraio 2019, un giorno campione considerato nel caso studio. Il deposito è indicato come nodo 1, mentre ogni cliente è denotato da un numero da 2 a 30 che identifica il nodo corrispondente. Ulteriori dati disponibili per ogni cliente sono: la domanda di prodotto [kg], la finestra temporale [formato orario e rispettivi minuti] e il numero di pacchi. Alla luce della finestra temporale di ogni cliente, l'orario di apertura del deposito è fissato alle 9.00.

Tabella 20. Lista delle consegne

Nodo	di [kg]	TW $[a_i, b_i]$	Numero di pacchi
1	-	[9:00;18:00]~[0;540]min	-
2	14,60	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
3	10,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
4	27,40	[10:00;18:00]~[60;540]min	3
5	2,20	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
6	4,30	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
7	69,20	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
8	45,52	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
9	0,30	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
10	18,80	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
11	5,40	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
12	29,70	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
13	52,00	[10:00;12:00]~[60;180]min	2
14	7,40	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
15	10,50	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
16	5,10	[10:00;18:00]~[60;540]min	1

17	3,50	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
18	5,90	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
19	14,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
20	1,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
21	2,10	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
22	0,90	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
23	26,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
24	3,90	[10:00;18:00]~[60;540]min	2
25	32,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
26	0,20	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
27	1,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	1
28	6,80	[12:00;13:00]~[180;240]min	1
29	1,30	[10:00;14:00]~[60;300]min	1
30	3,00	[10:00;18:00]~[60;540]min	1

La figura sotto mostra la matrice dei tempi di viaggio tra il deposito e i clienti e tra i clienti stessi. I tempi di viaggio sono stati valutati in base al livello di traffico delle diverse fasce giornaliere e non includono il tempo di attesa/servizio presso ciascun cliente.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1		33	34	38	36	36	36	32	35	34	37	36	35	35	36	34	34	36	37	35	36	35	34	36	36	38	36	35	35	35	
2	33		7	3	7	7	7	12	5	7	4	5	8	8	7	11	11	9	13	8	8	9	11	7	7	10	3	2	2	4	
3	34	7		2	5	6	6	13	4	6	3	4	7	7	6	10	10	8	12	7	7	8	10	6	6	9	2	1	1	5	
4	38	3	2		4	4	5	12	2	4	1	2	5	5	4	8	8	6	10	5	5	6	8	4	4	7	3	4	2	8	
5	36	6	6	4		1	5	11	1	4	3	2	4	4	4	7	7	5	9	4	4	5	7	3	4	7	6	7	6	10	
6	36	8	6	4	1		4	11	2	4	3	2	4	4	4	7	7	5	9	4	4	5	7	3	4	7	6	7	5	10	
7	36	6	6	4	4	4		10	3	4	4	4	2	2	1	4	4	2	6	1	2	2	4	1	1	6	8	8	7	9	
8	32	13	12	11	10	11	10		10	9	11	11	10	9	11	7	8	11	11	10	11	10	8	11	10	13	15	15	14	8	
9	35	5	4	2	1	1	3	10		3	1	1	3	3	2	6	5	4	7	3	3	4	5	1	2	6	5	6	4	9	
10	34	7	6	5	4	4	4	9	3		3	3	6	6	5	6	6	7	9	6	6	6	6	4	5	5	7	8	6	9	
11	37	4	3	1	4	3	3	11	1	3		1	4	4	3	7	7	5	9	4	4	5	7	3	3	6	4	4	3	9	
12	36	6	5	2	2	2	4	11	1	3	1		5	5	4	7	7	6	9	5	5	5	7	3	4	8	4	4	9		
13	35	8	7	5	3	4	2	10	3	6	4	5		1	1	5	5	3	7	2	1	2	5	3	1	8	8	8	7	8	
14	35	8	7	5	4	4	2	9	2	6	4	5	1		2	6	5	4	7	3	1	1	5	3	2	8	8	8	7	8	
15	36	5	6	6	4	4	1	10	2	5	3	4	1	2		4	4	2	5	1	2	2	3	1	1	6	8	8	7	9	
16	34	10	10	8	8	7	4	8	6	6	7	8	5	6	4		1	3	4	4	6	7	1	5	4	6	12	12	11	9	
17	34	9	10	8	7	7	4	8	5	6	7	7	5	5	4	1		3	4	4	5	6	1	5	4	6	11	12	10	9	
18	36	10	7	6	4	5	2	11	4	7	5	6	3	4	2	3	3		5	2	4	5	3	4	2	5	10	10	9	10	
19	37	13	12	12	8	9	5	11	6	9	9	9	7	7	6	4	4	5		5	7	8	4	7	6	6	13	13	11	11	
20	35	8	7	5	4	4	1	10	3	6	5	5	2	3	1	4	4	2	5		3	3	3	2	1	6	7	9	7	10	
21	36	8	6	5	5	4	2	11	3	6	4	4	1	1	2	6	5	4	7	3		1	7	5	4	10	10	10	9	8	
22	35	9	8	6	5	5	2	10	4	7	5	4	2	1	2	5	6	5	8	3	1		6	4	4	9	9	9	8	7	
23	34	11	10	7	6	7	5	8	6	7	7	6	5	5	4	1	1	3	4	3	7	6		5	4	6	10	12	10	9	
24	36	7	6	4	3	3	1	11	1	4	3	3	3	2	1	6	5	4	7	2	5	4	5		2	8	7	7	6	10	
25	36	7	5	4	4	4	1	10	2	5	3	4	1	2	1	3	4	2	6	1	4	4	4	2		6	8	8	7	9	
26	38	10	8	7	6	7	6	13	6	5	6	8	8	8	6	6	6	5	6	6	10	9	6	8	6		11	12	10	13	
27	36	3	2	3	6	6	8	15	5	7	4	4	8	7	8	12	11	10	12	8	10	9	10	7	8	11		3	1	7	
28	35	3	1	3	7	7	8	15	6	8	4	4	8	7	8	11	12	10	13	9	10	9	12	7	8	12	3		1	7	
29	35	1	1	2	6	5	7	14	4	6	3	3	7	7	11	10	9	12	7	9	8	11	6	7	10	1	1		6	6	
30	35	4	5	8	10	10	9	8	9	9	9	9	8	8	9	9	9	10	11	10	8	7	9	10	9	13	7	7	6		6

Figura 12. Matrice dei tempi percorsi

Si sa anche che l'azienda possiede due tipi di mezzi disponibili per effettuare le consegne: furgoni, con una capacità di 1000 kg e un camion con una capacità di 1500kg.

5.4 L'implementazione software

L'insieme di equazioni (1-9) descritto nella sezione 5.2 è stato implementato nel pacchetto software commerciale IBM ILOG CPLEX Optimization Studio release 12.8 per Windows, per risolvere il problema proposto e per minimizzare il tempo totale di viaggio dei veicoli. Seguendo la struttura del pacchetto software utilizzato per la soluzione, il modello consiste di due file diversi. Il primo è l'insieme dei dati di input del problema, che per brevità non verrà presentato per intero; il secondo file contiene invece la formulazione parametrica del problema. Le figure seguenti mostrano l'implementazione del problema utilizzando il software commerciale IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Per essere più precisi, nella prima parte del secondo file (Figura 13), sono state specificate tutte le variabili necessarie alla formulazione del problema; nella seconda parte dello stesso file (Figura 14), invece, viene riportata la formulazione del modello CVRPTW.

```
CVRPTW_1.mod ⌵
1  /*****
2  * OPL 12.8.0.0 Model
3  * Author: Sara
4  *****/
5
6
7  //Customers
8  int NbCustomers=...;
9  //range Customers=1..NbCustomers;
10 range CustomersAndDepot=1..(NbCustomers+1);
11 //Vehicles
12 int v=...;
13 range Vehicles= 1..v;
14 //Vehicles Capacity
15 int VehicleCapacity = ...;
16 //Demand
17 float Demand[CustomersAndDepot]=...;
18 //TW
19 int LBTW[CustomersAndDepot]=...;
20 int UBTW[CustomersAndDepot]=...;
21
22 //TravelTime
23
24 int TravelTime[CustomersAndDepot][CustomersAndDepot]=...;
25 int ServiceTime[CustomersAndDepot]=...;
26
27 int MinValue = min (i in CustomersAndDepot) LBTW[i];
28 int MaxValue = max (i in CustomersAndDepot) UBTW[i];
29 int M =29;
30
31
32 //Decision Variables
33 dvar boolean x[Vehicles][CustomersAndDepot][CustomersAndDepot];
34 dvar int t[Vehicles][CustomersAndDepot] in MinValue..MaxValue;
35
36
37
```

Figura 13. Variabili del problema – IBM ILOG CPLEX

```

38 minimize sum (k in Vehicles, i, j in CustomersAndDepot:i!=j) TravelTime[i][j]*x[k][i][j];
39 subject to {
40 //conservazione flusso
41 forall (i in CustomersAndDepot, k in Vehicles)
42 sum(j in CustomersAndDepot:j!=i)x[k][j][i]-sum(j in CustomersAndDepot:j!=i)x[k][i][j]==0;
43 //usare al massimo v veicoli
44 forall (k in Vehicles, j in CustomersAndDepot)
45 sum(j in CustomersAndDepot)x[k][1][j]<=v;
46 //ogni cliente visitato esattamente una volta
47 forall (i in CustomersAndDepot)
48 sum(k in Vehicles,j in CustomersAndDepot:j!=i)x[k][1][j]==1;
49 forall (j in CustomersAndDepot)
50 sum(k in Vehicles, i in CustomersAndDepot:i!=j)x[k][j][1]==1;
51 //ogni veicolo deve partire dal deposito
52 forall (k in Vehicles)
53 sum (j in CustomersAndDepot: j!=1) x[k][1][j]==1;
54 //ogni veicolo deve tornare al deposito
55 forall (k in Vehicles)
56 sum (i in CustomersAndDepot:i!=1)x[k][i][1]==1;
57 // domanda minore o uguale della capacità del veicolo
58 forall (k in Vehicles)
59 sum (i in CustomersAndDepot, j in CustomersAndDepot:i!=j)(Demand[i]*x[k][i][j])<=VehicleCapacity;
60 //variabile x[i][i] non definita
61 forall (i in CustomersAndDepot, k in Vehicles)
62 sum (i in CustomersAndDepot, k in Vehicles) x[k][i][i]==0;
63 //rispetto TH
64 forall(i in CustomersAndDepot, k in Vehicles)
65 LBTH[i]<=t[k][i];
66 forall(i in CustomersAndDepot, k in Vehicles)
67 t[k][i]<=UBTH[i];
68 //tempo arrivo
69 forall (i, j in CustomersAndDepot:i!=j, k in Vehicles)
70 t[k][j]>=TravelTime[i][j]+t[k][i]+ServiceTime[i]-M*(1-x[k][1][i]);
71 //tempo partenza deposito
72 forall (k in Vehicles)
73 t[k][1]==0;
74 //tempo arrivo nei nodi
75 forall (k in Vehicles, i in CustomersAndDepot)
76 t[k][i]>=0;
77 };
78
79
80
81

```

Figura 14. Formulazione modello – IBM ILOG CPLEX

Per applicare il modello descritto nelle sezioni precedenti, sono stati raccolti alcuni dati d’input, attraverso un esame diretto dell’azienda A. L’elenco completo dei dati d’input è fornito nella tabella sottostante.

Tabella 21. Input data

Parametro	Valore numerico	Unità di misura	Fonte
v	3,00	-	Azienda A
q	1000,00	Kg	Azienda A
i	2, ... , 30	-	Azienda A
t_s	5,00	Min	Azienda A

5.5 Risultati e discussioni

I principali risultati delle simulazioni sono riportati sotto forma di grafico. Come si può vedere dalla figura 15, questo grafico consiste in tutti i nodi del problema, compreso il deposito (nodo 1). Da questo nodo, tre diversi percorsi rappresentano le tratte di ogni veicolo con i loro nodi assegnati. Inoltre, i nodi sono collegati da frecce con l’indicazione del tempo, espresso in minuti, necessario per spostarsi da un nodo all’altro.

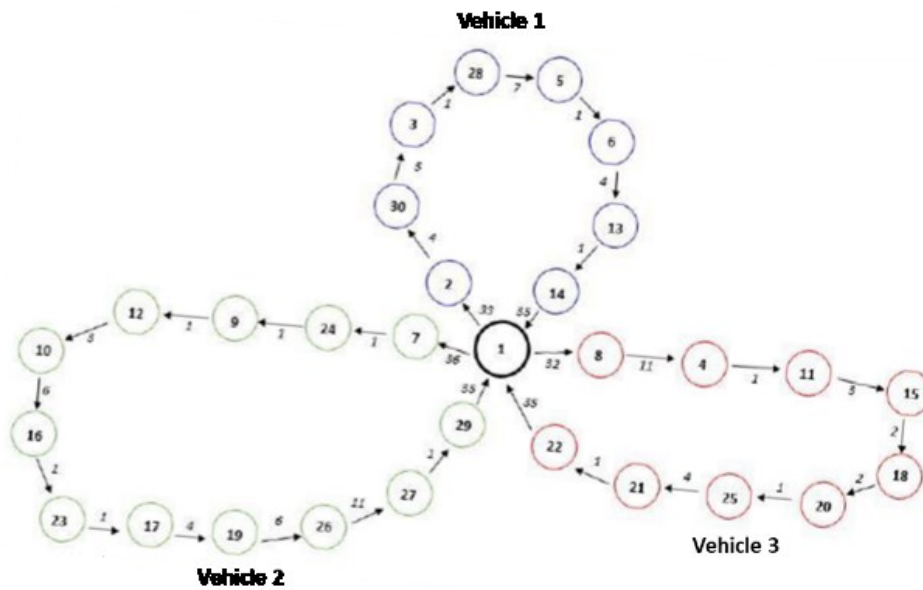


Figura 15. Grafico dei percorsi

Dall'analisi del grafico, è facile ricavare la lunghezza dei cammini percorsi dai tre veicoli e, di conseguenza, il tempo totale di viaggio, trascurando il tempo di servizio di ogni cliente, fissato a 5 minuti.

Tabella 22. Durata percorsi

Veicolo	Tempo viaggio
1	91 min
2	107 min
3	92 min
Totale	290 min

Dai percorsi è anche possibile determinare l'orario di arrivo di ogni veicolo ai nodi assegnati e controllare se soddisfa il vincolo temporale. Aggiungendo i tempi di viaggio di ogni nodo all'orario di apertura della finestra temporale ([10:00]), si possono ottenere gli orari di arrivo a tutti i clienti. Inoltre, per determinare il tempo di partenza dal nodo corrente, il valore del tempo di servizio deve essere aggiunto al tempo di arrivo. Le tabelle seguenti mostrano il miglior sequenziamento ottenuto applicando il CVRPTW presentato.

Tabella 23. Risultati per il primo veicolo

Nodo	Tempo del percorso [min]	Tempo di servizio [min]	Tempo di arrivo [h]	Tempo di partenza [h]	Finestra temporale $[a_i, b_i]$
1	-	-	-	10:00	[10:00; 18:00]
2	33,00	5,00	10:33	10:38	[10:00; 18:00]
30	4,00	5,00	10:42	10:47	[10:00; 18:00]

3	5,00	5,00	10:52	10:57	[10:00; 18:00]
28	1,00	5,00	10:58	11:03	[10:00; 13:00]
5	7,00	5,00	11:10	11:15	[10:00; 18:00]
6	1,00	5,00	11:16	11:21	[10:00; 18:00]
13	4,00	5,00	11:25	11:30	[10:00; 12:00]
14	1,00	5,00	11:31	11:36	[10:00; 18:00]
1	35,00	5,00	12:11	12:16	[10:00; 18:00]

Tabella 24. Risultati per il secondo veicolo

Nodo	Tempo del percorso [min]	Tempo di servizio [min]	Tempo di arrivo [h]	Tempo di partenza [h]	Finestra temporale [a _i ,b _i]
1	-	-	-	10:00	[10:00; 18:00]
7	36,00	5,00	10:36	10:41	[10:00; 18:00]
24	1,00	5,00	10:42	10:47	[10:00; 18:00]
9	1,00	5,00	10:48	10:53	[10:00; 18:00]
12	1,00	5,00	10:54	10:59	[10:00; 13:00]
10	3,00	5,00	11:02	11:07	[10:00; 18:00]
16	6,00	5,00	11:13	11:18	[10:00; 18:00]
23	1,00	5,00	11:19	11:24	[10:00; 12:00]
17	1,00	5,00	11:25	11:30	[10:00; 18:00]
19	4,00	5,00	11:34	11:39	[10:00; 18:00]
26	6,00	5,00	11:45	11:50	[10:00; 18:00]
27	11,00	5,00	12:01	12:06	[10:00; 18:00]
29	1,00	5,00	12:07	12:12	[10:00; 14:00]
1	35,00	5,00	12:47	12:52	[10:00; 18:00]

Tabella 25. Risultati per il terzo veicolo

Nodo	Tempo del percorso [min]	Tempo di servizio [min]	Tempo di arrivo [h]	Tempo di partenza [h]	Finestra temporale [a _i ,b _i]
1	-	-	-	10:00	[10:00; 18:00]
8	32,00	5,00	10:32	10:37	[10:00; 18:00]
4	11,00	5,00	10:48	10:53	[10:00; 18:00]
11	1,00	5,00	10:54	10:59	[10:00; 18:00]
15	3,00	5,00	11:02	11:07	[10:00; 13:00]
18	2,00	5,00	11:09	11:14	[10:00; 18:00]
20	2,00	5,00	11:16	11:21	[10:00; 18:00]
25	1,00	5,00	11:22	11:27	[10:00; 12:00]
21	4,00	5,00	11:31	11:36	[10:00; 18:00]
22	1,00	5,00	11:37	11:42	[10:00; 18:00]
1	35,00	5,00	12:17	12:22	[10:00; 18:00]

I risultati in queste tabelle mostrano che tutte le finestre temporali sono rispettate. In particolare, la quantità di clienti serviti, con il primo veicolo risulta essere 8, in 2 ore e 16 minuti; 12 clienti in 2 ore e 52 minuti di viaggio utilizzando il secondo mezzo; 9 clienti con 2 ore e 22 minuti usando il terzo.

5.6 Conclusioni

Il metodo proposto in questo lavoro mira a risolvere il CVRPTW e a identificare le soluzioni più desiderabili. L'obiettivo è quello di minimizzare il tempo di trasporto soddisfacendo i vincoli di capacità del veicolo e la domanda del cliente. Questo articolo ha proposto un'analisi dell'efficienza della consegna considerando il tempo di viaggio tramite il modello CVRPTW di un'azienda del Sud Italia che opera come fornitore di servizi CEP (Azienda A), composta da un deposito, tre veicoli e diversi clienti. Il modello è stato sviluppato con IBM ILOG CPLEX in una procedura di ottimizzazione della simulazione, che ha preso in considerazione il tempo di viaggio dei veicoli e le richieste dei clienti.

Da un punto di vista teorico, il modello sviluppato in questo lavoro comprende un insieme di formule che sono state incorporate in un software IBM ILOG CPLEX, composto da 2 file (uno per i dati d'input, l'altro per la formulazione CVRPTW), per il calcolo del tempo di viaggio del sistema. Da un punto di vista pratico, questo studio è strutturato come un caso studio, in quanto si concentra sul contesto specifico dell'azienda A. A scopo di test, il modello è stato applicato per valutare le prestazioni dell'azienda in esame, i cui dati d'input sono stati ottenuti da una fase di raccolta dati che ha coinvolto la stessa azienda precedentemente intervistata per sviluppare il modello. È stato inoltre proposto un esempio di utilizzo pratico dei risultati generali del modello. Da un punto di vista tecnico, lo sviluppo di un modello di valutazione per ottimizzare le prestazioni di un fornitore di servizi CEP rappresenta un'interessante aggiunta alla letteratura, sia perché la valutazione delle prestazioni non è un compito banale sia perché l'e-commerce è riconosciuto come un'area chiave per il miglioramento.

Più in generale, il modello sviluppato in questo studio può essere preso come punto di partenza per ulteriori valutazioni in altre aziende e può essere adattato a diversi scenari dal fornitore di servizi CEP. Quando si analizzano diversi sistemi, potrebbe essere interessante valutare se le maggiori richieste dei clienti potrebbero modificare le prestazioni del sistema o modificare la strategia da adottare per la gestione delle consegne. Un altro sviluppo futuro si riferisce al modello di instradamento dei veicoli utilizzato. In particolare, potrebbe essere molto interessante considerare le domande dinamiche dei clienti durante la giornata considerata in questo lavoro.

6 UN ALGORITMO DI ROUTING IBRIDO METAEURISTICO PER SISTEMI PICKER-TO-PART

In questo lavoro viene proposta un'applicazione di un algoritmo adattato Harmony Search (HS) per ridurre al minimo la distanza di viaggio dei pickers nei magazzini manuali. In primo luogo, è stata determinata la matrice delle distanze attraverso un algoritmo ibrido; poi, l'HS è stato usato per calcolare la distanza di viaggio dei pickers, sviluppando un modello di simulazione MATLAB®. Le prestazioni di questo modello sono state testate su 25 scenari, risultanti dalla lunghezza variabile degli ordini e da diverse configurazioni di stoccaggio manuale. Per ogni scenario, sono valutate 30 liste di prelievo, per un totale di 750 simulazioni. I risultati forniti dall'algoritmo, confrontati con quelli restituiti da un algoritmo meta-euristico e da due politiche di routing euristiche, suggeriscono che l'HS fornisce risultati migliori rispetto ai restanti algoritmi. L'algoritmo è anche molto efficiente da un punto di vista computazionale; dato che la raccolta degli ordini è una decisione operativa, il breve tempo di calcolo permette di definire il percorso dei pickers anche in tempo reale, se necessario.

6.1 Introduzione

I magazzini sono tipicamente utilizzati per lo stoccaggio o il buffering di materie prime, work in progress (WIP) e prodotti finiti, e sono costituiti da differenti aree (de Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007; Cao, Jiang, Liu & Jiang, 2018; Roodbergen et al., 2008). I costi della catena di approvvigionamento sono influenzati dalle attività essenziali di gestione del magazzino (Pan, Shih & Wu, 2015). Le aree logistiche come la spedizione, il magazzino, il ricevimento e la raccolta degli ordini, sono cruciali per ogni supply chain (van Gils, Ramaekers, Caris & de Koster, 2018). Tra i processi a magazzino, il prelievo degli ordini è il più decisivo, in quanto infatti, incide sui costi operativi totali per il 50-70% (Accorsi, Manzini & Bortolini, 2012; Henn & Schmid, 2013; Hsieh & Tsai, 2006; Isler, Righetto & Morabito, 2016; Petersen & Aase, 2004). Tipicamente, l'ordine di un cliente viene convertito in una lista di prelievo, dove la posizione degli articoli, numero e sequenza di prelievo sono dettagliati. In un processo manuale, un picker si muove nel magazzino, prelevando e trasportando gli articoli dal magazzino, fino alla posizione centrale per l'imballaggio e la distribuzione (Hall, 1993; Marchet, Melacini & Perotti, 2015). Tra le attività di questo processo, il viaggio è la componente dominante. Inoltre, il tempo di viaggio non ha alcun valore per il processo

di picking ed è solo un costo in termini di ore di lavoro. Quindi, minimizzarlo è un modo adatto per migliorare le prestazioni di prelievo degli ordini (Lu et al., 2016). Le politiche di routing mettono in sequenza gli elementi della lista di prelievo per minimizzare i tempi di viaggio (Roodbergen et al., 2008). In particolare, il percorso dei pickers attraverso un magazzino è un particolare NP-hard TSP in cui il viaggio è limitato a seguire i corridoi (Hall, 1993). Nel magazzino ad un blocco, esistono diverse procedure euristiche per il routing del picker. In particolare, si verificano sei diverse strategie – Traversal (anche conosciuta come S-shape), Return, Midpoint, Largest gap, Combined and Optimal – e queste variano in base alla struttura (Petersen, 1997; Dukić & Oluić, 2014). Tuttavia, anche se le procedure sono molto flessibili e semplici, gli algoritmi di ottimizzazione sono sempre al centro della ricerca (Lu et al., 2016; Petersen, 1999). I problemi di ottimizzazione si presentano con algoritmi euristici per trovare soluzioni migliori ai problemi, anche se non è sicuro di ottenere l'optimum (Raouf & Metwally, 2013). Gli algoritmi euristici sono superati da quelli meta-euristici, letteralmente destinati a trovare soluzioni utilizzando tecniche di livello superiore (Yang, 2009). Per il TSP, pochi algoritmi precisi possono identificare la soluzione ottimale, e, in ogni caso, questi algoritmi si applicano solo in condizioni specifiche (De Santis, Montanari, Vignali e Bottani, 2018). Tuttavia, Bouzidi & Riffi (2014) hanno presentato un HS meta- euristico adattato per risolvere il TPS in maniera efficiente. Infatti, lo studio ha dichiarato l'efficacia di adattamento dell'HS rispetto ad altri metodi per la qualità della soluzione, il tempo di ricerca e il miglioramento dei risultati (cioè la riduzione della percentuale di errori).

A valle di questi studi, questo lavoro propone un adattamento dell'algoritmo HS in un magazzino manuale per mostrare l'adattabilità di questo algoritmo meta- euristico al problema del tempo dei pickers. Confrontando l'output elaborato dall'algoritmo HS adattato con i risultati dell'algoritmo Water Wave Optimization (WWO) sviluppato da Bottani et al. (2016) e con quelli di due algoritmi euristici, il lavoro stabilirà anche che la proposta identifica il miglior percorso di raccolta ed è computazionalmente efficiente.

Nel resto del lavoro viene, in primis, descritto il tradizionale algoritmo meta- euristico HS. Quindi, viene presentato il framework progettato e viene proposto anche un esempio numerico per dettagliare la procedura di calcolo in un semplice scenario. Successivamente l'approccio viene applicato a varie configurazioni di magazzino più complesse per valutare la sua capacità di ottenere soluzioni migliori al problema definito, e vengono discussi i risultati ottenuti. Infine, sono riassunti i risultati chiave dello studio, discutendo le implicazioni, le limitazioni, e i suggerimenti per futuri studi di ricerca.

6.2 L'algoritmo Harmony Search

L'algoritmo HS (Geem, Kim & Loganathan, 2001) è un metodo meta-euristico basato sulla popolazione in grado di risolvere problemi di ottimizzazione difficili e combinatori o discreti (Mansor, Abas, Shibghatullah & Rahman, 2017). L'HS segue il processo musicale di un musicista che cerca un'armonia perfetta (Lee & Geem, 2005). L'armonia musicale riflette il vettore soluzione, mentre le improvvisazioni del musicista riflettono gli schemi di ricerca locale/globale seguiti dall'algoritmo durante l'ottimizzazione. Quando si improvvisa, un musicista può:

- 1) Ripetere una melodia famosa esattamente dalla sua memoria;
- 2) Suonare qualcosa di simile a quella melodia, sempre sulla base della sua memoria; o
- 3) Comporre un nuovo insieme di note in modo casuale.

Questi tre processi possono essere tradotti in altrettante opzioni in un processo di ottimizzazione quantitativa, ovvero:

- 1) L'uso della memoria delle armonie (HM);
- 2) Il processo di regolazione dell'intonazione;
- 3) La randomizzazione (Yang, 2009; Gemm, Kim & Loganathan, 2001).

I passi per l'applicazione dell'algoritmo HS sono i seguenti:

- passo 1) Inizializzazione del problema e impostazione dei parametri: dimensione della memoria armonica (HMS), tasso di considerazione della memoria armonica (HMCR), tasso di aggiustamento del tono (PAR) e numero di improvvisazioni (NI);
- passo 2) Inizializzazione della HM;
- passo 3) Improvvisazione di una nuova armonia dalla HM sulla base di considerazioni sulla memoria, aggiustamenti del pitch e selezione casuale;
- passo 4) Inclusione della nuova armonia generata nell'HM se ha una performance migliore dell'armonia peggiore;
- passo 5) Se i criteri di terminazione non sono soddisfatti, si ritorna al passo 3.

Lo schema generale dell'algoritmo HS è mostrato nella figura sotto:

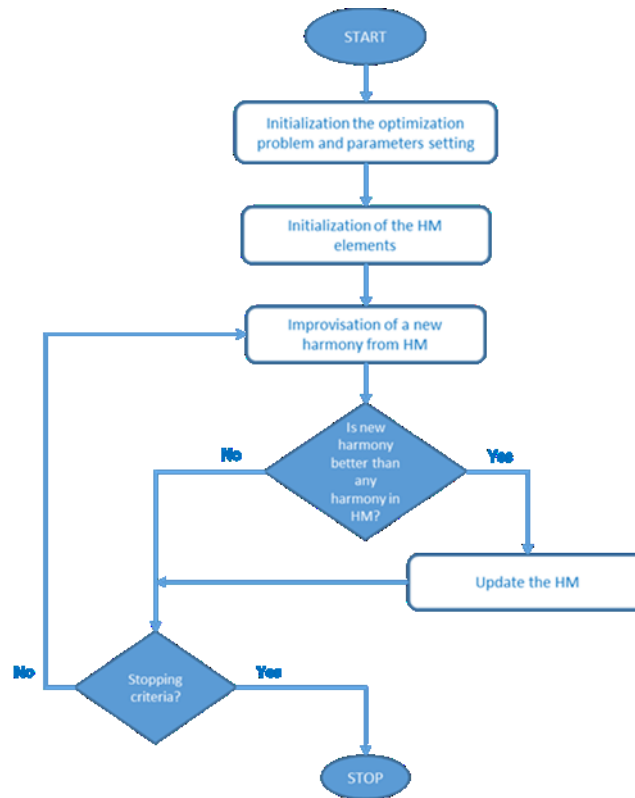


Figura 16. Diagramma di flusso dell'algorithmo HS

L'algorithmo HS è adeguato per ottimizzare problemi come la programmazione del job shop (Wanga, Pan & Tasgetiren, 2011), la formulazione di programmi universitari (Al-Betar, Khader & Zaman, 2012; Shahrakia & Ebrahimib, 2015) e la progettazione di reti (Liu, Yu & Li, 2012; Baskan, 2014; Geem, Tseng & Williams, 2009).

6.2.1 Inizializzazione del problema e impostazione dei parametri

Per un problema di minimizzazione, il problema è formulato come segue:

Minimizzare $f(x)$

soggetto a $x_i \in X_i, i = 1, 2, \dots, N$ (1)

dove:

$f(x)$ è la funzione obiettivo;

x è una possibile soluzione che consiste tipicamente in N variabili decisionali (x_i);

X_i denota il range possibile dei valori di ogni variabile, ovvero

$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\}$ per variabili decisionali discrete ($x_i(1) < x_i(2) < \dots < x_i(K)$); o

${}_Lx_i \leq X_i \leq {}_Ux_i$ per variabili decisionali continue. In questo caso, ${}_Lx_i$ e ${}_Ux_i$ sono i limiti inferiori e superiori per ogni variabile decisionale, rispettivamente;

K è il numero di valori possibili per la variabile discreta.

Per quanto riguarda i restanti parametri dell'HS, HMS è il numero di vettori soluzione (cioè il numero totale di membri della popolazione) nella HM. HMCR è invece un parametro del processo d'improvvisazione, utilizzato per determinare se il valore di una variabile di decisione deve essere selezionato per la soluzione memorizzata nell'HM o scelto casualmente dalla gamma disponibile di valori possibili. PAR è usato per determinare se le variabili decisionali devono essere regolate su un valore vicino; infine, NI corrisponde al numero di iterazioni permesse per raggiungere la convergenza (Al-Betar, Khader & Zaman, 2012; Das et al., 2011).

6.2.2 Inizializzazione HM

Per l'inizializzazione, la matrice HM deve essere riempita con tanti vettori di soluzione generati casualmente quanto l'HMS.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix}$$

Il numero di righe, in particolare, è uguale all'HMS, mentre il numero di colonne è uguale al numero di variabili di ogni possibile soluzione.

6.2.3 Improvvisazione dell'armonia da HM

Durante l'improvvisazione, un nuovo vettore armonico, $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$, deve essere generato dall'HM sulla base di considerazioni di memoria, regolazioni dell'intonazione e selezione casuale. Nella considerazione della memoria, il valore della prima variabile di decisione (x'_1) per il nuovo vettore può essere scelto tra qualsiasi valore nell'intervallo HM specificato ($x_1^{1} \sim x_1^{HMS}$). I valori delle restanti variabili di decisione (x'_i) possono essere scelti nello stesso modo o, in alternativa, i nuovi valori possono essere determinati utilizzando il parametro HMCR, come segue:

$$x'_i = \begin{cases} x_i \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{con probabilità HMCR} \\ x'_i \in X_i & \text{con probabilità } (1 - HMCR) \end{cases}$$

Ogni elemento del nuovo vettore armonico, $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$, viene quindi valutato per verificare se deve essere adattato al pitch. Questa procedura fa uso della PAR, che imposta il tasso di aggiustamento per l'intonazione scelta dall'HM come segue:

$$\text{decisione aggiustamento pitch per } x'_i = \begin{cases} Si & \text{con probabilità } PAR \\ No & \text{con probabilità } (1 - PAR) \end{cases}$$

Il valore $(1 - PAR)$ stabilisce il tasso del non far nulla. Se la decisione di regolazione del passo per x_i è *Yes* e si assume che x'_i sia $x_i(k)$, cioè il k^{th} elemento in X_i , il valore corretto per il pitch di $x_i(k)$ sarà:

$$x'_i = x_i(k + m) \quad \text{per variabili discrete}$$

$$x'_i = x'_i + \alpha \quad \text{per variabili continue}$$

dove,

$m \in \{\dots, -2, -1, 1, 2, \dots\}$ è l'indice dei vicini;

α è il prodotto $bw * u$;

bw è una larghezza di banda di distanza arbitraria per la variabile di progetto continua; e

$u \in [-1; 1]$ è una distribuzione di probabilità uniforme.

HMCR e PAR aiutano l'algoritmo a trovare soluzioni globalmente e localmente migliori, rispettivamente (Afkousi-Paqaleh, Rashidinejad & Pourakbari-Kasmaei, 2010).

6.2.4 Aggiornamento HM

Ogni volta che il nuovo vettore armonia $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ si adatta alla funzione obiettivo meglio del peggiore vettore armonia nella HM, la nuova armonia sostituirà la peggiore armonia esistente nella HM.

6.2.5 Criterio di terminazione

Se il criterio di terminazione (NI massimo) è soddisfatto, il calcolo si ferma. Altrimenti, i passi 3 e 4 vengono ripetuti.

6.3 L'approccio proposto: adattamento dell'algoritmo HS per il picking

La struttura dell'approccio proposto in questo studio è mostrato nella figura sottostante.

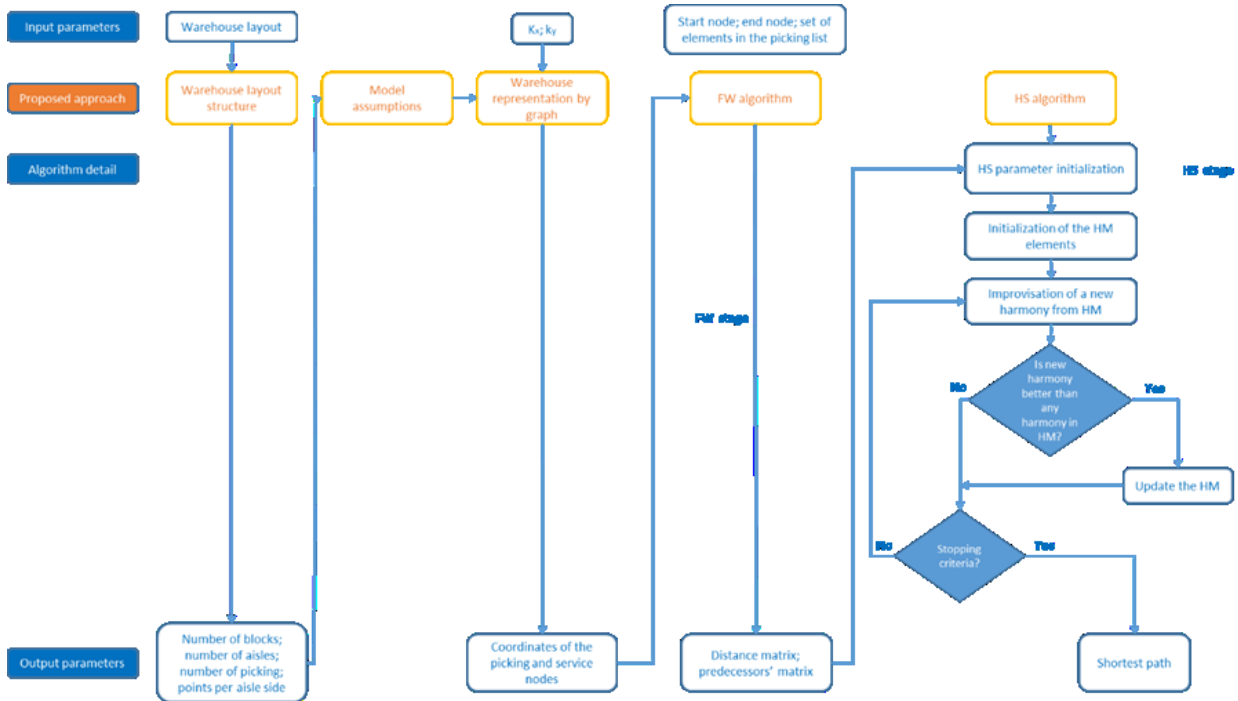


Figura 17. Diagramma di flusso dell'approccio proposto adattato da De Santis et al., (2018)

Dalla figura sopra si può notare che l'approccio adattato include ulteriori passaggi rispetto alla metaeuristica HS tradizionale, come alcuni passaggi preliminari e l'implementazione dell'algoritmo Floyd-Warshall (FW) (De Santis, Montanari, Vignali & Bottani, 2018). In particolare, quest'ultimo algoritmo è necessario per implementare e sviluppare l'algoritmo HS per la ricerca della distanza più breve in diverse configurazioni di magazzino. Per maggiore comprensibilità, nella sezione che segue viene fornita una descrizione dei passi principali dell'approccio; per ulteriori dettagli sulla rappresentazione grafica del magazzino si rimanda il lettore a De Santis et al., 2018.

La tabella 26 presenta la notazione relativa.

Tabella 26. Nomenclatura usata per l'approccio

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
Parametri grafo		
$d_{ij}, j = 1, 2, \dots, np$	Lunghezza arco (i,j)	[m]
$h = 0, \dots, NT$	Numero interazioni algoritmo FW	-
$D_{ij}^{(h)}$	Matrice delle distanze all'interazione h	-
Parametri magazzino		
b	Numero blocchi	-

k_x	Distanza tra due corridoi adiacenti	[m]
k_y	Distanza tra due posizioni picking adiacenti	[m]
ppa	Numero di posizioni picking nel lato lungo	-
ppb	Numero di posizioni picking nel lato corto	-
np	Numero di prodotti per lista di prelievo	-
NT	Numero di nodi totali in magazzino	-
$D_{j,j+1}$	$j =$ Distanza per muoversi da una location di picking j alla successiva	[m]
	$1, 2, \dots, np$	
Parametri HS		
x^{new}	Nuovo vettore harmony (nuova soluzione generata)	-

6.3.1 Struttura layout magazzino

La struttura del layout consiste in diverse corsie di picking che hanno posizioni di stoccaggio su entrambi i lati. Gli addetti al prelievo possono cambiare corridoio di prelievo usando le corsie trasversali posizionate perpendicolarmente alle corsie stesse (Roodbergen, Sharp & Vis, 2008). Ogni volta che le corsie trasversali sono presenti, il numero di corsie trasversali è uguale al numero di blocchi più uno (Roodbergen & de Koster, 2001a). Il vantaggio principale di avere corridoi trasversali extra in un magazzino è l'aumento del numero di opzioni di instradamento, con conseguente riduzione della distanza di viaggio (Vaughan & Petersen, 1999). Nella figura sotto vengono rappresentati 3 blocchi, con 5 corridoi e 6 posizioni di stoccaggio per lato del corridoio. I quadrati neri pieni indicano le posizioni nello scaffale da cui gli articoli devono essere prelevati (Roodbergen & Vis, 2006).

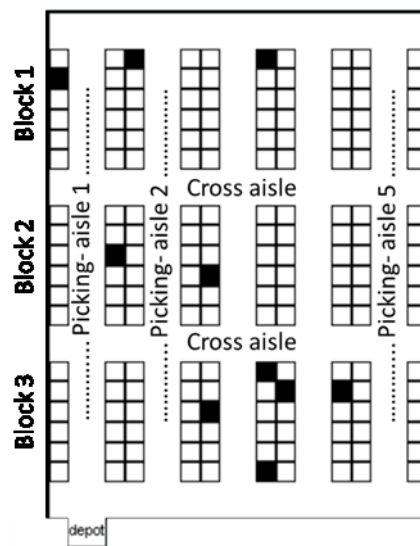


Figura 18. Schema di una struttura generica di un layout di magazzino

6.3.2 Ipotesi modello

Il modello proposto è spiegato attraverso le seguenti ipotesi:

- 1) Magazzino rettangolare a più blocchi;

- 2) Nessun movimento verticale per prelevare gli articoli (cioè, picking a basso livello);
- 3) Durante il giro del picker, la direzione può essere cambiata;
- 4) I corridoi possono essere percorsi in entrambe le direzioni;
- 5) Il corridoio di prelievo è abbastanza stretto per prelevare gli articoli da entrambi i lati senza coprire una distanza supplementare;
- 6) Il picker parte dall'angolo del deposito in basso a sinistra e ritorna indietro una volta completata la lista di prelievo (cioè un picker per lista di prelievo);
- 7) La quantità di articoli prelevati in ogni lista di prelievo non satura mai la capacità del picker; quindi, i vincoli di capacità non sono considerati nella modellazione del problema.

L'ipotesi (1) descrive un layout di magazzino tradizionale, con corridoi trasversali. L'ipotesi (2) riflette la situazione del prelievo a basso livello, che è uno scenario tipico nel processo di prelievo. Le ipotesi (3), (4) e (7) descrivono il modo in cui i pickers possono muoversi nel magazzino ed evidenziano, in particolare, che: il picker è costretto ad iniziare e finire il suo giro in un deposito di I/O; il compito di prelievo è completo se tutti gli articoli sono stati prelevati. La capacità infinita del picker (assunzione 7) è abbastanza comune in letteratura; infatti, se questa non venisse assunta, il problema di routing dovrebbe essere formulato in modo diverso, cioè obbligando il picker a tornare al deposito anche se la lista di prelievo non è stata completata (il che contraddirebbe l'assunzione 6). Inoltre, da un punto di vista puramente pratico, anche se la capacità del picker fosse limitata, è sempre possibile sfruttare questo vincolo. Per esempio, supponiamo che il picker abbia la capacità di prelevare fino a 50 scatole in un giro di prelievo, a causa del loro peso e dimensioni. Se questo vincolo è noto al responsabile del magazzino (come è abbastanza ovvio aspettarsi), è sempre possibile impostare correttamente la lista di prelievo in modo che il numero di articoli da prelevare non superi i 50 articoli. La larghezza limitata della corsia (ipotesi 5) è un'altra ipotesi comune in letteratura, tanto che alcuni studi hanno addirittura iniziato a indagare il caso di corsie "ultra-strette" (ad esempio, Chen et al., 2019). A parte questo aspetto scientifico, dal punto di vista pratico non c'è una differenza sostanziale nell'ottimizzazione del percorso di picking con corridoi larghi o stretti. È vero, naturalmente, che con corridoi larghi c'è la necessità di tenere conto dei movimenti orizzontali del picker, ma è anche vero che questi movimenti sono solo un termine aggiuntivo (residuo) della distanza totale di viaggio, che è determinata principalmente, però, dai movimenti verticali del picker, il che giustifica l'ipotesi.

6.3.3 Gli algoritmi FW e HS

L'algoritmo FW, determinando il percorso più breve utilizzando la teoria dei grafi, fa uso della matrice delle distanze, costruita come segue:

passo 1) **Inizializzazione.** La matrice di soluzione uguale al grafo di input è inizializzata. Al punto d'inizio del processo ($h=0$), la struttura della matrice delle distanze è inizializzata come segue:

$$D^{(0)} = (D_{ij}^0) \text{ dove } D_{ij}^0 = \begin{cases} d_{ij}, & \text{se un percorso diretto collega il nodo } i \text{ e } j \\ 0, & \text{se } i = j \\ \infty, & \text{se un percorso non diretto collega il nodo } i \text{ e } j \end{cases}$$

passo 2) **Aggiornamento della matrice.** La matrice delle soluzioni viene aggiornata considerando tutti i vertici come dei vertici intermedi. Viene quindi aggiunto un nuovo nodo per il calcolo del percorso più breve tra i nodi i e j . Pertanto, la matrice di distanza viene aggiornata a D_{ij}^h applicando la seguente formula:

$$D_{ij}^h = \min\{D_{ij}^{h-1}, D_{ih}^{h-1} + D_{hj}^{h-1}\} \text{ se } i \neq j$$

D_{ij}^h è la distanza aggiornata dei nodi i a j considerando h nodi intermedi $\{1, \dots, h\}$.

passo 3) **Controllo della condizione di terminazione.** Se $h = NT$, l'algoritmo termina. L'elemento D_{ij}^{NT} della matrice delle distanze è la lunghezza del percorso più breve dai nodi i a j .

L'algoritmo FW è un input nel modello proposto. È l'insieme del numero totale di nodi (NT) che indicano le posizioni di prelievo dove prelevare l'articolo richiesto dal cliente. L'algoritmo genera una matrice di distanza $NT \times NT$. L'algoritmo FW è stato implementato in MATLAB®, per determinare automaticamente le matrici delle distanze nelle diverse configurazioni di magazzino analizzate. Partendo dalla matrice delle distanze dell'algoritmo FW, il passo successivo è quello di determinare il percorso più breve per una data lista di prelievo attraverso l'algoritmo HS.

passo 1) Il primo passo è lo stesso dell'algoritmo originale descritto sopra. In particolare, il problema di ottimizzazione è definito come segue:

$$\text{Minimizzazione } \sum_{j=1}^{np-1} D_{j,j+1}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, np$$

Inoltre, come detto prima, vengono specificati i parametri dell'algoritmo HS necessari per risolvere il problema di ottimizzazione. È stato scelto un metodo statico per impostare il valore dei parametri.

passo 2) Lo stesso del secondo passo della procedura dell'HS tradizionale (inizializzazione HM)

passo 3) Questo è quasi uguale al terzo passo della procedura dell'HS tradizionale (improvvisazione dell'armonia da HM). Il nuovo vettore armonico, $x^{new} = \{x_1^{new}, \dots, x_j^{new}, x_{np}^{new}\}, j = 1, \dots, np$, sarà generato usando considerazioni sulla memoria, regolazioni dell'altezza e selezione casuale. La scelta dei valori per le variabili di decisione segue le stesse regole dell'improvvisazione armonica, e in particolare qualsiasi valore può essere scelto dall'intervallo HM specificato ($x_1^{new1} \sim x_1^{newHMS}$) o, in alternative, i nuovi valori possono essere determinati usando il parametro HMCR:

$$x_j^{new} = \begin{cases} x_{i,j}^{HM} & \text{con probabilità } HMCR \text{ (} i = \text{rand}[1, HMS] \text{ e } j \text{ fisso)} \\ x_{i,j}^{HM} & \text{con probabilità } 1 - HMCR \text{ (} i = \text{rand}[1, HMS] \text{ e } j = \text{rand}[1, np]) \end{cases}$$

Poi, le componenti del nuovo vettore armonia, $x^{new} = (x_1^{new}, x_2^{new}, \dots, x_N^{new})$, devono essere analizzate per determinare se devono essere aggiustate di tonalità; la procedura per l'aggiustamento di tonalità è descritta nella equazione seguente:

$$x_j^{new} = \begin{cases} x_{i,j}^{HM} & \text{con probabilità } PAR \\ x_j^{new} & \text{con probabilità } (1 - PAR) \end{cases}$$

passo 4) Come per l'approccio dell'HS tradizionale, nel caso in cui il nuovo vettore armonia, x^{new} , si adatta alla funzione obiettivo meglio del peggiore vettore armonia nella HM, la nuova armonia viene mantenuta nella HM, mentre la peggiore viene rimossa.

passo 5) Se la condizione di terminazione (cioè il massimo NI) è stata raggiunta, il calcolo si ferma. Altrimenti, l'algoritmo viene ripetuto a partire dal passo 3.

6.3.4 Esempio numerico

Per motivi di chiarezza, in questa sezione viene mostrata l'applicazione dell'approccio proposto. A scopo di test, viene preso uno scenario semplice (piccolo magazzino e breve lista di prelievo), per permettere di riprodurre quasi interamente la procedura di calcolo. Il layout di magazzino scelto consiste di 2 blocchi, con 3 corridoi per blocco e 3 posizioni di stoccaggio per lato del corridoio; per questo magazzino sono impostati $k_x=5$ [m] and $k_y=1$ [m]. Si considera una lista di prelievo composta da $np=7$ elementi (nodi: 2, 7, 11, 14, 16, 19 e 23).

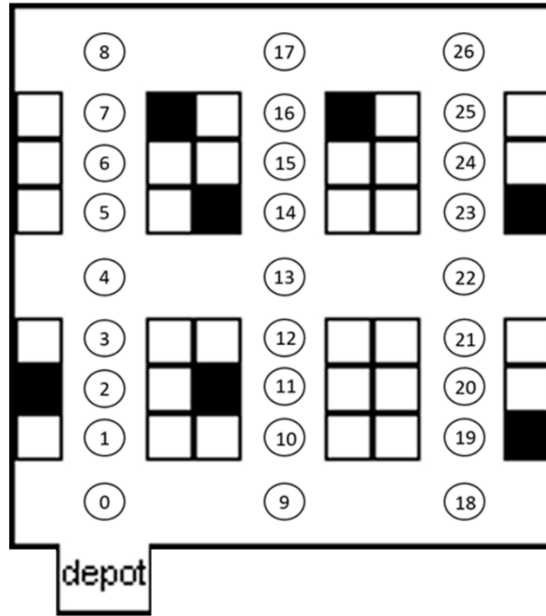


Figura 19. Schema del magazzino considerato

Come mostra la figura sopra, il grafico di questo magazzino rappresentativo consiste di 27 nodi totali (NT). Le celle evidenziate rappresentano le posizioni di stoccaggio degli articoli (7) nella lista di prelievo. La matrice delle distanze (27*27) generata dall'algorithm FW è mostrata nella figura sottostante.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	6	7	8	9	8	9	10	11	12	11	12	13	14	13	14	15	16	17
2	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8	7	8	9	10	11	12	13	14	13	12	13	14	15	16
3	3	2	1	0	1	2	3	4	5	8	9	8	7	6	7	8	9	10	13	14	13	12	11	12	13	14	15
4	4	3	2	1	0	1	2	3	4	9	8	7	6	5	6	7	8	9	14	13	12	11	10	11	12	13	14
5	5	4	3	2	1	0	1	2	3	10	9	8	7	6	7	8	9	8	15	14	13	12	11	12	13	14	15
6	6 <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td>	5	4	3	2	1	0	1	2	11	10	9	8	7	8	9	8	7	16	15	14	13	12	13	14	15	16
7	7 <td>6</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>17</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td>	6	5	4	3	2	1	0	1	12	11	10	9	8	9	8	7	6	17	16	15	14	13	14	15	16	17
8	8 <td>7 <td>6</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>17</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> </td>	7 <td>6</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>12</td> <td>11</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>18</td> <td>17</td> <td>16</td> <td>15</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td>	6	5	4	3	2	1	0	13	12	11	10	9	8	7	6	5	18	17	16	15	14	15	16	17	18
9	9 <td>8 <td>7 <td>6 <td>5 <td>4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td></td></td></td></td></td>	8 <td>7 <td>6 <td>5 <td>4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td></td></td></td></td>	7 <td>6 <td>5 <td>4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td></td></td></td>	6 <td>5 <td>4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td></td></td>	5 <td>4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td></td>	4 <td>3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td></td>	3 <td>2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td></td>	2 <td>1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td></td>	1 <td>2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </td>	2 <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td>	3	4	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	6	7	8	9	8	9	10	11	12
11	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	8	7	8	9	10	11
12	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	8	9	8	7	6	7	8	9	10
13	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	9	8	7	6	5	6	7	8	9
14	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	10	9	8	7	6	7	8	9	10
15	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	11	10	9	8	7	8	9	10	11
16	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	12	11	10	9	8	9	10	11	12
17	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	13	12	11	10	9	8	9	10	11
18	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	14	13	12	11	10	9	8	9	10
19	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7
20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	11	10	9	8	7	8	9	10	11
21	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	12	11	10	9	8	7	8	9	10
22	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	13	12	11	10	9	8	9	10	11
23	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	14	13	12	11	10	9	8	9	10
24	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	15	14	13	12	11	10	9	10	11
25	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	16	15	14	13	12	11	10	11	12
26	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	17	16	15	14	13	12	11	12	13

Figura 20. La matrice delle distanze FW

Una volta ottenuta la matrice delle distanze, il percorso minimo viene calcolato implementando l'algorithm HS.

Come già detto, HMCR e PAR aiutano l'algoritmo HS a trovare soluzioni globalmente e localmente migliori (Dell'orco, Baskan & Marinelli, 2013). Per garantire buone prestazioni dell'algoritmo, Gemm (2006) e Bouzidi & Riffi (2014) hanno raccomandato che i valori di HMCR vadano da 0,70 a 0,95, PAR da 0,20 a 0,50, e HMS da 10 a 50. In linea con queste considerazioni, e dopo aver eseguito una serie preliminare di esperimenti sull'algoritmo HS adattato, i parametri sono stati impostati come segue:

HMS=np; HMCR=0,95; PAR=0,45; NI=500.

L'algoritmo HM modificato è stato implementato con il software commerciale MATLAB®. La procedura di simulazione è stata eseguita su un computer desktop AMD Athlon, 3 GHz con 4GB RAM dotato di Windows 7 Professional. Una volta completata l'ultima iterazione, l'algoritmo HS restituisce la seguente sequenza di prelievo, il cui percorso è mostrato nella figura 21.

0 – 11 – 19 – 23 – 14 – 16 – 7 – 2 – 0

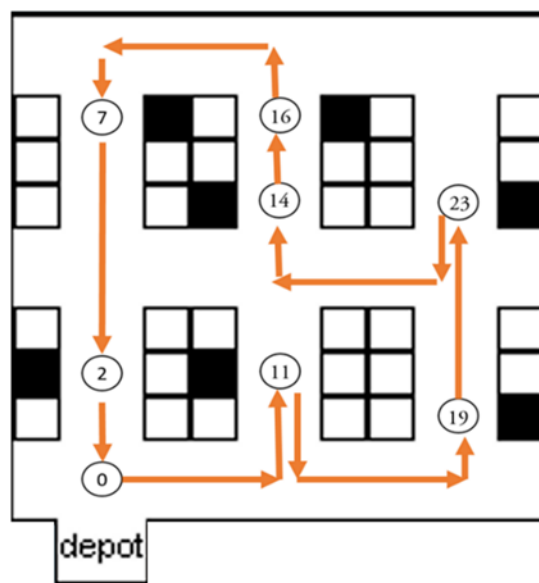


Figura 21. Rappresentazione del percorso più breve restituito dall'algoritmo

I risultati specifici della valutazione delle prestazioni per l'algoritmo HM, mostrati per distanza, tempo di calcolo e convergenza, sono evidenziati nella figura e tabella sottostanti.

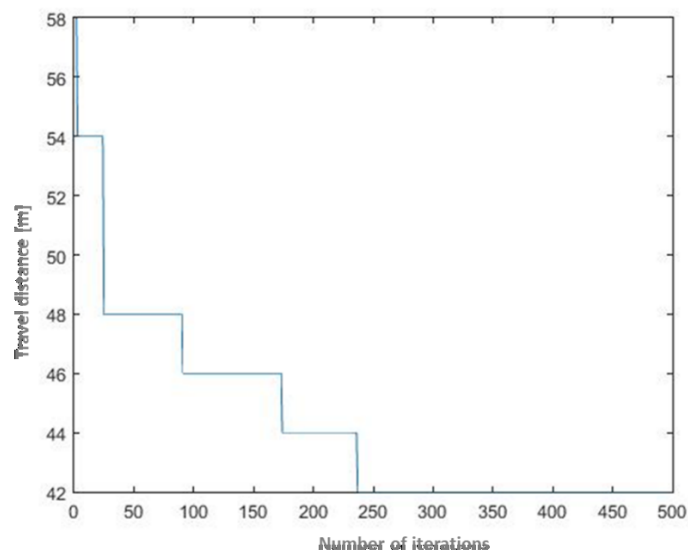


Figura 22. Convergenza dell’algoritmo HS

Tabella 27. Risultati identificazione percorso più breve

Descrizione	Valore	Unità di misura
Percorso più breve	42	Metri
Iterazione	241	-
Tempo computazionale	2,51	Secondi

I risultati della tabella mostrano che il percorso più breve, per questa configurazione è di 42 metri, ottenuto dopo 241 iterazioni (vedere anche figura 22), cioè meno del 5% dell’intero set di soluzioni ($7! = 5040$) per il problema in esame. Inoltre, il tempo di calcolo richiesto per eseguire l’algoritmo ammonta a 2,51 secondi.

6.4 Applicazione e discussione

Un test esaustivo delle prestazioni dell’approccio proposto è stato fatto su cinque configurazioni di magazzino, ottenute variando il numero di blocchi (1-5, passo 1); anche la lunghezza della lista di prelievo degli ordini è stata variata (10-50 elementi, passo 10). Sono stati esaminati complessivamente venticinque scenari (5 dimensioni di liste di prelievo per 5 configurazioni di magazzino), e per ogni scenario sono state testate 30 diverse liste di prelievo per garantire la significatività dei risultati ottenuti; il numero totale di simulazioni è stato di 750. Gli esperimenti sono stati eseguiti considerando un layout di magazzino rappresentativo, con corridoi longitudinali,

dove gli scaffali sono posizionati su entrambi i lati, e con 32 posizioni di prelievo per ogni lato del corridoio. Nei layout multi-blocco, le posizioni di picking (ppa e ppb) nelle sotto-corsie dei magazzini a due e quattro blocchi sono equamente distribuite e rappresentano 16 e 8, rispettivamente. Nelle configurazioni a tre e cinque blocchi, invece, le posizioni di picking sono divise diversamente. Nel primo caso (tre blocchi), nei corridoi secondari dei due blocchi più lontani dal deposito, ci sono dieci posizioni di picking, mentre nel blocco rimanente, ci sono 12 posizioni di picking. Nel layout a cinque blocchi, ci sono 6 posizioni di picking nei sotto corridoi dei quattro blocchi più lontani dal deposito, mentre ci sono 8 posizioni di picking nel blocco rimanente. In generale, mentre il numero totale di posizioni rimane lo stesso (cioè 640) in ogni layout di magazzino, il numero di NT cambia (e in particolare aumenta) in funzione del numero di blocchi, coerentemente con l'aumento del numero di corridoi trasversali e, quindi, di nodi di servizio. Si suppone un magazzino rettangolare, con una base di 55 metri e una profondità che varia da 40 a 52 metri a seconda del numero di blocchi. La larghezza del corridoio è di 3 metri.

Come accennato prima, la validazione dei risultati dell'algoritmo HS è stata fatta confrontando la distanza di viaggio ottenuta con quella risultante dall'applicazione di un algoritmo meta-euristico (cioè, l'algoritmo WWO) e due politiche di routing tradizionali (cioè, S-shape e largest gap). Il WWO è stato scelto come algoritmo adatto per il benchmarking dei risultati dell'approccio proposto in quanto il WWO si è dimostrato sempre in grado di individuare la soluzione ottimale globale nei test effettuati da Bottani et al., (2016). La tabella che si riporta sotto mostra i risultati dell'approccio proposto in termini di distanza percorsa e tempo computazionale, in funzione della configurazione del magazzino e della complessità del problema; questi risultati sono stati ottenuti con le impostazioni dei parametri dettagliate nella sezione precedente. Nella tabella è riportata anche la percentuale della deviazione standard dei risultati. I dati in grassetto evidenziano il/i miglior/i risultato/i ottenuto/i per ogni scenario, così come l'/gli algoritmo/i che ha/hanno restituito la/e soluzione/i più efficace/i.

Tabella 28. Risultati – confronto con altri algoritmi

np	b	HS			WWO			S-SHAPE	LARGEST GAP
		Distanza percorsa [m]	Deviazione standard [%]	Tempo computazionale [s]	Distanza percorsa [m]	Deviazione standard [%]	Tempo computazionale [s]	Distanza percorsa [m]	Distanza percorsa [m]
10	1	227,00	10,57	11,31	227,20	10,88	14,02	331,40	281,50
10	2	186,60	11,18	10,09	188,80	11,10	12,51	272,40	231,40
10	3	200,60	11,12	9,34	200,00	11,15	11,58	292,90	248,70
10	4	215,20	11,29	8,57	215,30	11,55	10,63	314,20	266,80
10	5	223,50	12,02	9,44	231,10	12,12	11,71	326,30	277,10
20	1	470,60	7,51	21,67	471,80	7,88	26,87	616,50	541,20

20	2	348,60	4,20	20,15	350,60	5,01	24,99	456,70	400,90
20	3	379,50	5,50	19,11	376,20	5,89	23,70	497,10	436,40
20	4	402,20	5,61	20,01	401,20	6,06	24,81	526,90	462,50
20	5	424,40	6,30	22,21	429,70	6,91	27,54	556,00	488,10
30	1	751,20	4,56	22,89	750,10	4,65	28,38	969,00	848,90
30	2	613,00	3,13	22,91	615,50	3,21	28,41	790,80	692,70
30	3	646,90	3,66	23,30	655,10	3,87	28,89	834,50	731,00
30	4	666,70	3,71	23,11	686,90	3,89	28,66	860,00	753,40
30	5	715,50	4,02	24,19	721,30	4,10	30,00	923,00	808,50
40	1	1098,10	2,88	25,15	1108,50	2,91	31,19	1372,60	1207,90
40	2	902,20	2,10	25,19	903,10	2,11	31,24	1127,80	992,40
40	3	915,60	2,13	25,55	915,50	2,16	31,68	1144,50	1007,20
40	4	980,50	2,35	26,12	980,20	2,39	32,39	1225,60	1078,60
40	5	1004,90	2,43	26,43	1005,40	2,55	32,77	1256,10	1105,40
50	1	1196,90	2,02	26,88	1197,50	2,10	33,33	1460,30	1292,70
50	2	983,40	1,58	27,15	984,10	1,65	33,67	1199,70	1062,10
50	3	998,00	1,67	27,18	998,80	1,78	33,70	1217,60	1077,80
50	4	1068,70	1,81	27,55	1068,10	1,94	34,16	1303,90	1154,20
50	5	1095,30	1,82	28,01	1096,40	1,99	34,73	1336,30	1183,00

Dai risultati della tabella emergono le seguenti considerazioni principali. In termini di distanza di prelievo, è evidente che gli algoritmi HS e WWO forniscono risultati quasi identici. In particolare, l'algoritmo HS genera soluzioni migliori in 18 configurazioni su 25, contro le 7 dell'algoritmo WWO. Per essere più precisi, come si può vedere dalla tabella sopra, con dieci linee d'ordina l'algoritmo HS fornisce risultati leggermente peggiori del WWO (cioè 200,60 contro 200,00 metri) in una sola configurazione, cioè i magazzini a tre blocchi; la stessa considerazione vale per linee d'ordine di 30 e 5 articoli. Con linee d'ordine di 20 o 40 articoli, invece, l'algoritmo WWO è risultato migliore dell'HS in due configurazioni (cioè i magazzini a tre e quattro blocchi). Tuttavia, la distanza di viaggio restituita dall'HS è migliore di quella dell'algoritmo WWO di circa lo 0,37% in media. Nelle configurazioni a quattro e cinque blocchi, il miglioramento è più significativo, raggiungendo lo 0,55% e lo 0,59%, rispettivamente. Inoltre, nei magazzini a cinque blocchi, l'approccio HS genera soluzioni che sono sempre migliori di quelle dell'algoritmo WWO. Questi esiti non contraddicono i risultati riportati in Bottani et al., (2016). Infatti, sebbene questi autori abbiano trovato che WWO era sempre in grado di trovare la soluzione ottimale nei loro scenari di test, le configurazioni testate si riferivano solo a magazzini monoblocco, mentre non sono stati proposti test per magazzini a più blocchi. Pertanto, i risultati del presente studio completano piuttosto i risultati precedentemente disponibili e permettono di sostenere che l'approccio HS supera l'algoritmo WWO per configurazioni di magazzino complesse. I risultati mostrano anche che le prestazioni delle due meta-euristiche variano in funzione della dimensione della lista di prelievo. In termini generali, l'HS supera l'algoritmo WWO, con un picco dell'1,05% di riduzione della lunghezza del giro di prelievo per liste di prelievo di 30 articoli. Una dimensione maggiore della lista di prelievo comporta una differenza inferiore nelle prestazioni dei due algoritmi (0,23% e 0,05% rispettivamente per 40 e 50 articoli nella

lista di prelievo). Anche la deviazione standard delle distanze calcolate diminuisce: questo è probabilmente dovuto al fatto che con più articoli nella lista di prelievo, le posizioni degli articoli diventano più vicine nel magazzino, così che il giro è quasi definito e gli algoritmi euristici hanno meno spazio per accorciare la distanza totale del viaggio. Al contrario, per piccole liste di prelievo, gli articoli da prelevare sono sparsi nel magazzino, così che la loro specifica posizione di prelievo e il modo in cui viene raggiunta possono fare la differenza in termini di distanza totale percorsa. Rispetto alle restanti politiche di routing euristico, è immediato vedere che la distanza di viaggio restituita dall'algoritmo HS modificato è sempre più breve; questo risultato era atteso (e ovviamente auspicabile); infatti, per dimostrare la sua efficacia, è quasi indispensabile che un algoritmo meta-euristico appena proposto superi almeno le prestazioni delle politiche di routing euristico. I risultati ottenuti mostrano che l'approccio HS modificato genera una distanza di percorrenza che, in media, è del 26,90% e dell'11,46% più corta di quella ottenuta applicando le politiche S-shape e largest gap, rispettivamente. Per quanto riguarda il tempo computazionale, i risultati mostrano ancora una volta che le prestazioni dell'algoritmo HS sono molto migliori di quelle dell'algoritmo WWO. In particolare, HS mostra un tempo medio di calcolo di circa il 24% inferiore a quello di WWO. Questa efficace performance può essere attribuita alla struttura abbastanza semplice dell'algoritmo HS così come alla sua combinazione con l'approccio FW, che in studi precedenti (e.g. De Santis et al., 2018) ha dimostrato di migliorare le prestazioni degli algoritmi meta-euristici.

6.5 Conclusioni

Questo studio ha proposto un approccio adattato per ridurre la distanza di prelievo nei magazzini manuali. Per essere più precisi, questo articolo ha:

- 1) Suggesto la combinazione dell'algoritmo meta-euristico HS con quello FW;
- 2) Mostrato la sua applicazione al problema di picking in un magazzino manuale;
- 3) Testato le sue prestazioni in termini di viaggio e tempo di calcolo.

L'approccio adattato include alcuni passi preliminari, che si riferiscono fondamentalmente all'implementazione dell'algoritmo FW; quest'ultimo è stato applicato come approccio utile per riprodurre matematicamente le diverse configurazioni di magazzino e per ricavare preliminarmente la distanza più breve tra ogni coppia di nodi nel magazzino. Poi, il framework proposto include 5 passi che riflettono la logica dell'algoritmo tradizionale HS; quest'ultimo viene utilizzato per

determinare la distanza più breve per ogni giro di prelievo nelle varie configurazioni di magazzino. Tutti i passi sono stati codificati in MATLAB® per essere eseguiti automaticamente. L'implementazione dell'approccio proposto è stata prima mostrata rispetto ad un tipico layout di magazzino, abbastanza semplice da permettere la descrizione dettagliata di tutti i passi della procedura. Le prestazioni dell'algoritmo sono state poi testate su cinque diverse configurazioni di magazzino, con numero variabile di blocchi e dimensioni delle liste di prelievo. Complessivamente sono stati considerati 25 scenari, con 30 liste di prelievo casuali per ciascuno di essi, per un totale di 750 simulazioni.

Da un punto di vista teorico, i risultati ottenuti evidenziano come l'approccio proposto superi sia le politiche di routing euristico che l'algoritmo WWO nel determinare il percorso più breve dei pickers. Inoltre, analizzando il tempo di calcolo, è facile dedurre che l'algoritmo HS aggiunge qualità rispetto ad alcune note politiche euristiche e all'algoritmo WWO.

Nel proporre originariamente l'algoritmo HS, Genn et al., (2001) hanno evidenziato le seguenti caratteristiche distintive di questo nuovo approccio:

- 1) Se si usa HS, la soluzione (vettore) è costruita dopo aver considerato tutti i vettori esistenti – questa è una differenza rispetto agli algoritmi esistenti (ad esempio algoritmi genetici) che spesso prendono in considerazione solo un numero limitato di soluzioni esistenti per costruirne una nuova;
- 2) HS non richiede l'impostazione di valori iniziali dalle variabili decisionali – questa caratteristica aiuta l'HS ad aumentare la flessibilità dell'algoritmo e la capacità di esplorare un ampio insieme di soluzioni;
- 3) La convergenza è rapida.

Le caratteristiche 2) e 3) appaiono particolarmente importanti quando si risolvono problemi di routing di pickers. Infatti, lo spazio delle soluzioni di un problema di routing può essere ampio (una lista di prelievo di 10 articoli coinvolge più di $3 \cdot 10^6$ soluzioni); la capacità dell'algoritmo di esplorare un ampio insieme di soluzioni assicura buone prestazioni in vista dell'ottimizzazione del giro, e questo è stato dimostrato dal fatto che HS si è dimostrato efficace nell'identificare una buona soluzione. La convergenza rapida, a sua volta, è importante per garantire che l'itinerario ottimale venga trovato in un tempo adeguato e quindi, le decisioni di prelievo possono essere prese in breve tempo (o anche in tempo reale se necessario).

In sintesi, questo lavoro ha proposto un algoritmo ibrido meta-euristico i cui risultati incoraggiano la sua applicazione nella pratica. Inoltre, l'approccio proposto in questo studio contiene una serie di passi aggiuntivi rispetto all'algoritmo HS tradizionale, che migliorano la sua efficacia nel minimizzare le distanze di viaggio dei pickers nei magazzini. Da un punto di vista pratico, questo articolo si concentra su magazzini manuali ed è stato testato in alcune configurazioni selezionate. Tuttavia, questo studio può essere implementato in ulteriori layout o configurazione, per testare le sue prestazioni in ulteriori scenari. Poiché l'approccio proposto è stato efficace nel migliorare le prestazioni di prelievo negli scenari testati, ci si aspetta che fornisca risultati interessanti anche in configurazioni diverse.

Anche se i risultati di questo lavoro possono essere considerati di validità generale, questo studio ha alcune limitazioni che dovrebbero essere menzionate. Per esempio, in questo studio, è stato assunto lo stoccaggio casuale degli articoli nel magazzino; tuttavia, per le liste di prelievo di piccole dimensioni sarebbe probabilmente preferibile utilizzare una politica di stoccaggio basata sulle classi, per diminuire ulteriormente la distanza di viaggio. Per liste di prelievo di dimensioni maggiori, invece, è probabile che una politica di stoccaggio casuale fornisca risultati simili a quella basata sulle classi, il che suggerisce che testare quest'ultima politica non sarebbe essenziale. Inoltre, in questo studio, il picker parte dall'area di ricezione e ritorna allo stesso posto una volta che ha prelevato l'intera serie di articoli della lista di prelievo, senza violare i vincoli di capacità (che è stata assunta infinita); tuttavia, per liste di prelievo di 40 o 50 articoli, sarebbe ragionevole includere la capacità del picker come vincolo del problema. A tal fine, potrebbe essere interessante applicare una procedura di ottimizzazione multi-obiettivo per ridurre la distanza di viaggio e massimizzare la saturazione della capacità del picker, per valutare se (e in che misura) la capacità del picker potrebbe influenzare la distanza di viaggio. Un altro aspetto che vale la pena menzionare è che l'approccio tipico seguito quando si ottimizza la distanza di viaggio dei pickers è quello di determinare il percorso più breve necessario per prelevare tutti gli articoli della lista di prelievo, come ricordato anche poco sopra. Questo esclude implicitamente la situazione in cui l'addetto al prelievo può ricevere ulteriori istruzioni o compiti di prelievo mentre sta svolgendo una missione di prelievo e non l'ha completata. Allo stesso modo, sono esclusi anche gli aggiornamenti della lista di prelievo durante una missione di prelievo. Tuttavia, è stato sottolineato nell'articolo che le decisioni di prelievo dovrebbero essere tipicamente prese a livello operativo e in tempi molto brevi e che l'approccio proposto è efficace da questo punto di vista alla luce del suo breve tempo di calcolo, e quindi, potrebbe essere usato per fornire istruzioni agli addetti al prelievo anche in tempo reale. La situazione in cui la lista di prelievo

viene aggiornata mentre l'addetto è a metà del giro riflette certamente uno scenario possibile in cui è necessario prendere decisioni in tempo reale. Quindi, anche se l'utilizzo dell'algoritmo proposto in questa misura è una scelta esclusivamente operativa, si potrebbe ipotizzare che l'approccio sviluppato potrebbe essere efficace se utilizzato per problemi di aggiornamento quando il picker è a metà del giro. Questo aspetto potrebbe essere testato in studi futuri.

Ulteriori ricerche potrebbero anche prendere in considerazione diversi tipi di layout, con particolare attenzione ai magazzini non convenzionali (Fishbone, U-Shaped, e Flying-V). Infatti, cambiare il layout del magazzino comporterebbe certamente variazioni nella distanza percorsa e nel tempo impiegato per completare un giro di picking, il che potrebbe portare a ulteriori approfondimenti. Ulteriori ricerche potrebbero anche riguardare la presenza di corridoi di larghezza diversa (corridoio largo o corridoio ultra-stretto), che porterebbe alla congestione dei corridoi.

7 CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si concentra sulla sostenibilità e ottimizzazione della supply chain e su alcuni casi studio indirizzati verso il miglioramento della performance della catena di fornitura. Dopo una definizione delle macro aree trattate in questo elaborato (sostenibilità e ottimizzazione & supply chain), si è proceduto a presentare quattro casi studio (sviluppati nel corso del Dottorato di ricerca) il cui obiettivo principale è il potenziamento di un particolare stadio della supply chain.

In particolare, il primo caso studio presentato si è concentrato sul recupero di rifiuti alimentari scartati dai punti vendita situati in Emilia Romagna e si basa su un modello precedentemente sviluppato da Bottani et al. (2018). Tramite questo modello di simulazione, si è indagato diversi scenari per la raccolta degli scarti alimentari, e per tutti questi scenari, si è presentata una valutazione economica circa il costo totale delle attività di Reverse Logistics. I risultati mostrano che, in termini economici, lo scenario "base" è quello che presenta il risultato peggiore rispetto a tutti gli altri scenari; mentre, invece, il costo totale minimo si ottiene nel terzo scenario. Altra considerazione interessante, è che si può osservare come il costo della Reverse Logistics diminuisca progressivamente all'aumentare del numero dei punti vendita e della quantità degli scarti alimentari recuperati. Si sono poi considerati più mezzi di trasporto, ma si è potuto constatare che in termini economici non è una soluzione favorevole.

Nel secondo caso studio si è proposto un modello per la valutazione della sostenibilità economica e ambientale di un supermercato. Nel modello sono incorporati i processi chiave della sua supply chain, seguendo il flusso dei prodotti, ovvero ricevimento, immagazzinamento, gestione area vendita e gestione dei resi, per un totale di quasi 60 formule analitiche per quantificare il costo totale e le emissioni di CO₂ dei quattro processi chiave. I risultati di questo studio forniscono una valutazione del costo totale e dell'impatto ambientale di un punto vendita. Questi possono essere utilizzati dai manager per identificare i processi su cui concentrarsi quando si valutano le strategie volte a ridurre l'impatto economico e ambientale del punto vendita.

Nel terzo caso studio si è presentato un CVRPTW per minimizzare il tempo di trasporto soddisfacendo i vincoli di capacità del mezzo di trasporto e la domanda del cliente. In particolare, si è studiato questo modello per un'azienda che opera come fornitori di servizi CEP e si è sviluppato con IBM ILOG CPLEX in una procedura di ottimizzazione della simulazione, che ha preso in considerazione il tempo di viaggio dei veicoli e le richieste dei clienti. Più in generale, il modello

sviluppato in questo studio può essere preso come punto di partenza per ulteriori valutazioni in altre aziende e può essere adattato a diversi scenari dal fornitore di servizi CEP. Quando si analizzano diversi sistemi, potrebbe essere interessante valutare se le maggiori richieste dei clienti potrebbero modificare le prestazioni del sistema o modificare la strategia da adottare per la gestione delle consegne.

Nell'ultimo caso studio si è proposto un approccio adattato per ridurre la distanza di picking nei magazzini manuali. Per essere più precisi, questo lavoro ha suggerito la combinazione dell'algoritmo meta-euristico HS con quello FW; ha mostrato la sua applicazione al problema di picking in un magazzino manuale; ed ha testato le sue prestazioni in termini di viaggio e tempo computazionale. Tutti i passi di questo studio sono stati codificati in MATLAB® per essere eseguiti automaticamente. Complessivamente sono stati considerati 25 scenari, con 30 liste di prelievo casuali per ciascuno di essi, per un totale di 750 simulazioni. I risultati ottenuti evidenziano come l'approccio proposto superi sia le politiche di routing euristico che l'algoritmo WWO nel determinare il percorso più breve dei pickers. Inoltre, analizzando il tempo di calcolo, è stato facile dedurre che l'algoritmo HS aggiunge qualità rispetto ad alcune note politiche euristiche e all'algoritmo WWO.

In generale, considerando i quattro lavori analizzati, 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 presentato e non possono essere generalizzati; analogamente, in altri casi i risultati numerici sono dipendenti dai valori di input inseriti nei modelli. 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 modellazione e le valutazioni si siano rivelati strumenti validi per l'ottimizzazione di una supply chain. Questi approcci, infatti, permettono di riprodurre sistemi complessi che difficilmente potrebbero essere risolti con altri approcci. Inoltre, permettono di modificare facilmente le logiche implementate nei modelli per studiare soluzioni alternative ed identificare quella ottimale.

BIBLIOGRAFIA

- Accorsi, R., Manzini, R. & Bortolini, M. (2012). A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(6), 351–364.
- Afkousi-Paqaleh, M., Rashidinejad, M. & Pourakbari-Kasmaei, M. (2010). An implementation of harmony search algorithm to unit commitment problem. *Electrical Engineering*, 92(6), 215–225.
- Alexander, C., & Smaje, C. (2008). Surplus retail food redistribution: An analysis of a third sector model. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1290-1298.
- Al-Betar, M., Khader, A. & Zaman, M. (2012). University course timetabling using a hybrid harmony search metaheuristic algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 42(5), 664–681.
- Amorim, P., & Almada-Lobo, B. (2014). The impact of food perishability issues in the vehicle routing problem, *Computers & Industrial Engineering*, 67, 223- 233.
- Armenzoni, M., Bottani, E., Casella, G., Malagoli, N., Mannino, F. & Montanari, R. (2017). An analysis of the vehicle routing problem for logistics distribution. *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 82-88. Palermo, Italy.
- Barbosa-Póvoa, A.P., da Silva, C. & Carvalho, A. (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*, 268, 399-431.
- Baskan, O. (2014). Harmony search algorithm for continuous network design problem with link capacity expansions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 273–283.
- Beretta, C., Stoessel, F., Baier, U., & Hellweg, S. (2013). Quantifying food losses and the potential for reduction in Switzerland, *Waste Management*, 33, 764- 773.
- Bertolini, M., Bottani, E., Rizzi, A., Volpi, A. & Renzi, P. (2013). Shrinkage reduction in perishable food supply chain by means of an RFID-based FIFO management policy, *International Journal of RF Technologies*, 5, 123-136.
- Betts, M., & Burnett, M. (2007). Study on the economic benefits of waste minimisation in the food sector. Evolve EB Ltd.

Boccia, F., Di Donato, P., Covino, D., & Poli, A. (2019). Food waste and bio-economy: A scenario for the Italian tomato market, *Journal of Cleaner Production*, 227, 424-433. doi:doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.180.

Bottani, E., Ferretti, G., Montanari, R., & Rinaldi, M. (2014). Analysis and optimisation of inventory management policies for perishable food products: a simulation study, *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 9 (1–2), 16–32.

Bottani, E., Gentilotti, M.C. & Rinaldi, M. (2017). A fuzzy logic-based tool for the assessment of corporate sustainability: a case study in the food machinery industry, *Sustainability*, 9(4), 583.

Bottani, E., Mannino, F., Vignali, G., & Montanari, R., (2018). A routing and location model for food waste recovery in the retail and distribution phase, *International Journal of Logistics: Research and Applications*, doi: 10.1080/13675567.2018.1458826.

Bottani, E. & Montanari, R. (2010). Supply chain design and cost analysis through simulation, *International Journal of Production Research*, 48(10), 2859-2886.

Bottani, E., Rinaldi, M., Montanari, R., Murino, T. & Centobelli, P. (2016). An adapted water wave optimization algorithm for routing order pickers in manual warehouses. *Summer School Francesco Turco*, 209–214.

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.

Bouzidi, M. & Riffi, M. (2014). Adaptation of the harmony search algorithm to solve the travelling salesman problem. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 62(1), 154–160.

Braekers, K., Ramaekers, K. & Nieuwenhuys, I. (2016). The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *Comput. Ind. Eng.*, 99, 300-313.

Buzby, J., & Hyman, J. (2012). Total and per capita value of food loss in the United States. *Food Policy*, 37, 561- 570.

Cao, W., Jiang, P., Liu, B. & Jiang, K. (2018). Real-time order scheduling and execution monitoring in public warehouses based on radio frequency identification. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(5–8), 2473–2494.

- Cevallos, C., Siguenza-Guzman, L. & Pena, M. (2019). A hybrid algorithm for supply chain optimization of assembly companies. *IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)*, 1–6.
- Chen, F., Xu, G. & Wei, Y. (2019). Heuristic routing methods in multiple-block warehouses with ultra-narrow aisles and access restriction. *International Journal of Production Research*, 57(1), 228–249.
- Chopra, S, Meindl, P. (2012). Supply chain management: strategy, planning, and operation. 5th edition Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Ciccarello, A. & Caserini, S. (2011). Analisi dei fattori di emissione di CO2 da traffico stradale. https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/26301/3/2011_10_CICCARELLO.pdf
- Clarke, G. & Wright, J., (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12 (4), 568-581.
- Claro, D., Neto, S. & Borin de Olivera Claro, P. (2013). Sustainability drivers in food retail. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 20(3), 365–371.
- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G. & Sormany, J. (2005). New heuristics for the vehicle routing problem. *Logistics Systems: Design and Optimization*, 279-297.
- Correa Maceno, M., Pawlowsky, U. & Scurupa Machado, K. (2018). Environmental performance evaluation – a proposed analytical tool for an industrial process application. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1452–1464.
- Curcio, D. & Longo, F. (2009). Inventory and internal logistics management as critical factors affecting the supply chain performances. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 5(4), 278–288.
- Dantzig, G. B. (2014). The nature of mathematical programming. *Mathematical Programming Glossary*.
- Dantzing, G. & Ramser, J. (1959). The truck dispatching problem. *Manage. Sci.*, 6(1), 80-91.
- Das, S., Mukhopadhyay, A., Roy, A., Abraham, A. & Panigrahi, B. (2011). Exploratory power of the harmony search algorithm: Analysis and improvements for global numerical optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 41(1), 89–106.

- Dekker, R., Bloemhof, J., & Mallidis, I. (2012). Operations Research for green logistics - An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219 (3), 671-679.
- de Koster, R., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501.
- Dell'orco, M., Baskan, O. & Marinelli, M. (2013). A harmony search algorithm approach for optimizing traffic signal timings. *Promet – Traffic – Traffico*, 25(4), 349–358.
- De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G. & Bottani, E. (2018). An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses. *European Journal of Operational Research*, 267, 120–137.
- Dias, K., Braga Junior, S. & Martinez, M. (2016). Reverse logistics analysis and results applied to the grocery retail. *International Business Management*, 10(18), 4403–4410.
- Dukić, G. & Oluić, Č (2014). Order-picking routing policies: simple heuristics, advanced heuristics or optimal algorithm. *Journal of Mechanical Engineering*, 50(11), 530–535.
- Econoliberal (2012). <http://www.econoliberal.it/2012/02/dietro-le-quinte-gli-autotrasporti.html>
- ECR Italy (2014). La logistica per la creazione di valore nella filiera di largo consumo. https://gs1it.org/content/public/46/e6/46e65baf-6bbf-4a01-a304-929a7d6899b3/logistica_creazione_valore_filiera.pdf
- Elkington, J. (2002). *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone.
- Emilia Romagna (2015). Indicazioni metodologiche per l'applicazione dei fattori di conversione al metodo di calcolo di cui alla DGR 967/2015 e alla DGR 1275/2015. http://energia.regione.emilia-romagna.it/entra-in-regione/norme-e-atti-amministrativi/certificazione-energetica/certificazione-energetica/DOC_INDIRIZZO_fattoridiconversione_2.pdf
- Enea (2014). Energia, Ambiente ed Innovazione (EAI). <http://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-eai/n-6-novembre-dicembre-2014/eai-6-2014.pdf>
- Erol, I., Cakar, N., Erel, D. & Sari, R. (2009). Sustainability in the Turkish retailing industry. *Sustainable Development*, 17(1), 49–67.

Eskandarpour, M., Dejax, P., Miemczyk, J. & P'eton, O. (2015). Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. *Omega*, 54, 11–32.

European Environment Agency (2010). *Consumption and the Environment: SOER 2010 Thematic Assessment* <https://www.eea.europa.eu/soer/europe/consumption-andenvironment>.

European Parliament (2002). *Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 Laying Down the General Principles and Requirements of Food Law, Establishing the European Food Safety Authority and Laying Down Procedures in Matters of Food Safety*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002R0178&from=it>

FAO. (1981). Food loss prevention in perishable crops. <http://www.fao.org/docrep/s8620e/s8620e00.htm>

FareShare. (2011). National Impact Survey Summary. <http://www.fareshare.org.uk/wordpress/wpcontent/uploads/2011/10/Report-online.pdf>

Fehr, M., Calçado, M., & Romão, D. (2002). The basis of a policy for minimizing and recycling food waste. *Environmental Science & Policy*, 5, 247-253.

Fichtinger, J., Ries, J., Grosse, E. & Baker, P. (2015). Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management, *International Journal of Production Economics*, 170(C), 717-729.

Foley, J., Ramankutty, N., Brauman, K., Cassidy, E., Gerber, J., Johnston, M., et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337-342.

Fu, R., Al-Absi, M., Abdulhakim Al-Absi, A. & Lee, H. (2019). A Conservation Genetic Algorithm for Optimization of the E-commerce Logistics Distribution Path. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*, 559-562.

Fugate, B., Mentzer, J. & Stank, T. (2010). Logistics performance: efficiency, effectiveness, and differentiation. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 43–62.

Garcia, D.J., You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 153–170.

Geem, Z. (2006). Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Engineering Optimization*, 38(3), 259–277.

- Geem, Z., Kim, J. & Loganathan, G. (2001). A new heuristic optimization algorithm: Harmony search. *Simulation*, 76, 60–68.
- Geem, Z., Tseng, C.-L. & Williams, J. (2009). Harmony search algorithms for water and environmental systems. *Studies in Computational Intelligence*, 191, 113–127.
- Gendreau, M., Laporte, G. & Potvin, J.-Y. (2002). Metaheuristics for the capacitated VRP. *Metaheuristics for the VRP*, 129-154.
- Giret, A., Trentesaux, D. & Prabhu, V. (2015). Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: A State of the Art Review. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 126–140.
- Godfray, H., Beddington, J., Crute, I., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J., et al. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818.
- Gonzalez, O., Segura, C., Pena, S. & Leon, C. (2017). A memetic algorithm for the capacitated vehicle routing problem with time windows. *IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2017 - Proceedings*, 2582-2589. Donostia-San Sebastian, Spain.
- Green, C. (1999). Composting and greenwaste product survey. *World Wastes*, 42(1), 22-30.
- Grizzetti, B., Pretato, U., Lassaletta, L., Billen, G., & Garnier, J. (2013). The contribution of food waste to global and European nitrogen pollution. *Environmental Science & Policy*, 33, 186-195.
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operation: a comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global Food Losses and Food Waste: Extent Causes and Prevention. <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>
- Hall, R. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions*, 25(4), 76–87.
- Henn, S. & Schmid, V. (2013). Metaheuristics for order batching and sequencing in manual order picking systems. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 338–351.
- Hesse, R. & Scerno, D.H. (2009). How electronic spreadsheets changed the world. *Interfaces*, 39(2), 159–167.

- Hsieh, L.-F. & Tsai, L. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5–6), 626–637.
- Iles, A. (2005). Seeing sustainability in business operations: US and British food retailer experiments with accountability. *Business Strategy and the Environment*, 16(4), 290–301.
- Isler, C., Righetto, G. & Morabito, R. (2016). Optimizing the order picking of a scholar and office supplies warehouse. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5–8), 2327–2336.
- Itterhus, B.E., Arnestad, P. & Lothe, S. (1999). Environmental initiatives in the retailing sector: an analysis of supply chain pressures and partnerships. *Eco-Management and Auditing*, 6(4), 181–188.
- Izzah, N., Rifai, D. & Yao, L. (2016). Relationship-courier partner logistics and e-commerce enterprises in Malaysia: a review. *Indian J. Sci. Technol.*, 9(9).
- Jayal, AD, Badurdeen, F, Dillon, Jr OW & Jawahir, IS. (2010) Sustainable manufacturing: modeling and optimization challenges at the product process and system levels. *CIRP J Manuf Sci Technol*, 2, 144–152.
- Jones, P., Comfort, D. & Hillier, D. (2009). Marketing sustainable consumption within stores: a case study of the UK's leading food retailers. *Sustainability*, 1(4), 815–826.
- Kallehauge, B., Larsen, J., Madsen, O. & Solomon, M. (2005). Vehicle routing problem with time windows. *Column Generation*, 67-98.
- Korcyl, A., Ksiazek, R. & Gdowska, K. (2016). A milp model for route optimization problem in a municipal multi-landfill waste collection system. *International Conference on Industrial Logistics, ICIL 2016 - Conference Proceedings*, 109-118. Zakopane, Poland.
- Kulikovskaja, V., & Aschemann-Witzel, J. (2017). Food waste avoidance actions in food retailing: the case of Denmark. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 29(4), 328-345. doi:10.1080/08974438.2017.1350244.
- Kunkel, M. & Schwind, M. (2011). Cost and market-based pricing in the courier express and parcel service industry. *IEEE International Conference on Commerce and Enterprise Computing, CEC 2011*, 58-65.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *Eur. J. Oper. Res.*, 59, 345-358.

Lee, K. & Geem, Z. (2005). A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: Harmony search theory and practice. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194(36–38), 3902–3933.

Legambiente. (2013). Ridurre e riciclare prima di tutto. http://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/riduure_riciclare_primaditutto_dossier2013.pdf

Li, Q-L., Yang, F. & Li, N. (2016). Reward processes and performance simulation in supermarket models with different servers. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 11(3–4), 192–206.

Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1075–1082.

Liu, L., Yu, H. & Li, L. (2012). Distribution network reconfiguration based on harmony search/genetic hybrid algorithm. *China International Conference on Electricity Distribution, CIGED*.

López-Santanaa, E., Rodríguez-Vásquez, W. & Méndez-Giraldo, G. (2018). A hybrid expert system, clustering and ant colony optimization approach for scheduling and routing problem in courier services. *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, 9(3), 369-396.

Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V. & Zhang, Q. (2016). An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. *European Journal of Operational Research*, 248, 107–122.

Lukinskiy, V., Lukinskiy, V. & Merkuriev, Y. (2017). Supply chains efficiency increasing based on the modelling of logistics operations. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 12(3–4), 196–206.

Mansor, N., Abas, Z., Shibghatullah, A. & Rahman, A. (2017). Modified parameters of harmony search algorithm for better searching. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 226.

Marchet, G., Melacini, M. & Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: A case-study-based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(1), 82–98.

Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti. (2014). Autotrasporto merci conto terzi: costi di esercizio e costi minimi di sicurezza. <http://www.mit.gov.it/mit/site.php?p=cm&o=vd&id=2007>

Minambiente (2016). Tabella parametri standard nazionali. http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/emission_trading/Tabella_coef_fici_enti_standard_nazionali_2013_2015_v1.pdf

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2016). Costo chilometrico medio relativo al consumo di gasolio delle imprese di autotrasporto per conto terzi. http://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=10640

Ministero dello Sviluppo Economico. (2015). Struttura del prezzo medio nazionale dei prodotti petroliferi. <http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/cittadino-e-consumatori/prezzi/mercati-deicarburanti/struttura-del-prezzo-medio-nazionale-deiprodottpetroliferi>

Ministero dello Sviluppo Economico (2017). Statistiche dell'Energia. <http://dgsaie.mise.gov.it/dgerm/bphitalia.asp?txtAnno=2017&txtMese=6&txtGiorno=5>

Montanari, R. & Bottani, E. (2017). An analytic model to investigate the demand propagation in EOI supply networks. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 12(2), 124–150.

Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A. & Barbosa-Povoa, A.P. (2015). Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *J Clean Prod*, 105, 14–27.

Nahman, A. & de Lange, W. (2013). Costs of food waste along the value chain: Evidence from South Africa. *Waste Management*, 33, 2493-2500.

Oliver, R.K. & Webber, M.D. (1982). Supply chain management: Logistics catches up with strategy. *Logistics: The Strategic Issues*, 63-75.

OM STILL (2017). Transpallet elettrico a timone con guida da terra EXU-H. <http://www.om-still.it/exu-h-scheda-tecnica.0.0.html>

Pan, J.-H., Shih, P.-H. & Wu, M.-H. (2015). Order batching in a pick-and-pass warehousing system with group genetic algorithm. *Omega*, 57, 238–248.

- Panneerselvam, R. & Kumar, S. (2015). A time-dependent vehicle routing problem with time windows for E-commerce supplier site pickups using genetic algorithm. *Intelligent Information Management*, 7, 181-194.
- Papageorgiou, L.G. (2009). Supply chain optimisation for the process industries: Advances and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 33(12), 1931-1938.
- Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 3065-3081.
- Parker, J., Glew, D., Fletcher, M., Thomas, F. & Gorse, C. (2017). Accounting for refrigeration heat exchange in energy performance simulations of large food retail buildings. *Building Service Engineering Research and Technology*, 38(3), 253–268.
- Petersen, C. (1997). An evaluation of order picking routeing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11), 1098–1111.
- Petersen, C. (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(10), 1053–1064.
- Petersen, C. & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11–19.
- Purnamasari, C. & Santoso, A. (2018). Vehicle Routing Problem (VRP) for courier service: A review. *MATEC Web of Conferences*. Malang, Indonesia.
- Raouf, O. & Metwally, M.-B. (2013). A survey of harmony search algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 70(28), 17–26.
- Rochman, A., Prasetyo, H. & Nugroho, M. (2017). Biased random key genetic algorithm with insertion and gender selection for capacitated vehicle routing problem with time windows. *AIP Conference Proceedings*, 1855.
- Roodbergen, K. & de Koster, R. (2001a). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research*, 39(9), 1865–1883.
- Roodbergen, K., Sharp, G. & Vis, I. (2008). Designing the layout structure of manual order picking areas in warehouses. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 40(11), 1032–1045.

- Roodbergen, K. & Vis, I. (2006). A model for warehouse layout. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 38(10), 799–811.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G., Mantel, R. & Zijm, W. (2000). Warehouse design and control: framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533.
- Schoen, M., Fine, S., & Gowen, M. (1999). Controlling methane. *World Wastes*, 42(1), 44-48.
- Seuring, S. & Muller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1699-1710.
- Shahrakia, A. & Ebrahimib, S. (2015). A new approach for forecasting enrollments using harmony search algorithm. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28(1), 279–290.
- Shapiro, J. (2006). Modeling the supply chain. USA: Cengage Learning.
- Siebers, P-O., Aickelin, U., Celia, H., & Clegg, C.W. (2009). Modelling and simulating retail management practices: a first approach. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 5(3), 215–232.
- Simchi-Levi, D. (2005). Designing and managing the supply chain. USA: McGraw-Hill College.
- Sun, Y., Wang, D., Lang, M. & Zhou, X. (2018). Solving the time-dependent multi-trip vehicle routing problem with time windows and an improved travel speed model by a hybrid solution algorithm. *Cluster Comput.*, 1-12.
- Tassou, S., Ge, Y., Hadawey, A. & Marriott, D. (2011). Energy consumption and conservation in food retailing, *Applied Thermal Engineering*, 31(2-3), 147-156.
- Ubeda, S., Arcelus, F.J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at Eroski: A case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51.
- Unione Nazionale Cooperative Italiane (2015). Contratto collettivo nazionale di lavoro per i dipendenti e i soci lavoratori delle cooperative. <http://www.anpit.it/wp-content/uploads/2015/07/CONTRATTO-COOPERATIVE.pdf>
- Vandermeersch T., Alvarenga R.A.F., Ragaert P., & Dewulf J., (2014). Environmental sustainability assessment of food waste valorization options. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 57-64.

- van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A. & de Koster, R. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267, 1–15.
- Vaughan, T., & Petersen, C. (1999). The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. *International Journal of Production Research*, 37(4), 881–897.
- Wang, X. & Economides M. (2009). *Advanced natural gas engineering*. 1st ed. Gulf Publishing Company, Houston.
- Wang, C., Ordonez, F. & Dessouky, M. (2012). METRANS Project. A new approach for routing courier delivery services with urgent demand. <https://pdfs.semanticscholar.org/2595/641a8ae88325d9bd3a2633e8ce63d397d9ba.pdf>
- Wanga, L., Pan, Q.-K. & Tasgetiren, M. (2011). A hybrid harmony search algorithm for the blocking permutation flow shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 76–83.
- Weise, T. (2009). *Global Optimization Algorithms - Theory and Application*.
- Wiese, A., Kellner, J., Lietke, B., Toporowski, W. & Zielke, S. (2012). Sustainability in retailing – a summative content analysis. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 40(4), 318–335.
- World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future*. Brundtland report, University Press.
- World Economic Forum (2013) *Enabling trade valuing growth opportunities*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_SCT_EnablingTrade_Report_2013.pdf
- Yang, J., Li, J., Chen, Y. & Liu, X. (2013). Multi-objective distribution model and algorithm for online shopping express logistics. *Journal of Computers*, 8(10), 2558-2564.
- Yang, X.-S. (2009). Harmony search as a metaheuristic algorithm. *Studies in Computational Intelligence*, 191, 1–14.
- Zangeneh-Khamooshi, S., Zabinsky, Z. & Heim, J. (2013). A multi-shift vehicle routing problem with windows and cycle times. *Optim. Lett.*, 7(6), 1215-1225.