

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale e della Produzione

SVILUPPO DI UN MODELLO ANALITICO PER LA GESTIONE DELLE  
ATTIVITA' DI CONSEGNA NELL'ULTIMO MIGLIO IN AMBITO  
URBANO, SFRUTTANDO UN CENTRO DI CONSOLIDAMENTO.



## Politecnico di Torino

**Relatore:**

Prof. Ing. Giulio Mangano

**Correlatore:**

Prof. Ing. Giovanni Zenezini

**Candidate:**

Federico Barreca

Anno Accademico 2023/2024

# Sommario

<b>1.</b>	<b><i>INTRODUZIONE</i></b> .....	<b>5</b>
1.1	LA LOGISTICA URBANA.....	5
1.2	LE DIFFICOLTÀ DEL TRASPORTO DELL'ULTIMO MIGLIO .....	6
1.3	GLI STAKEHOLDER DELLA LOGISTICA URBANA.....	7
1.4	GLI OBIETTIVI ATTUALI DELLA LOGISTICA URBANA.....	8
1.5	IMPLEMENTAZIONI DI SUCCESSO E NUOVI APPROCCI ALLA CONSEGNA .....	9
1.6	MOTIVAZIONI E OBIETTIVI DELLA TESI .....	12
<b>2</b>	<b><i>REVIEW DELLA LETTERATURA</i></b> .....	<b>14</b>
2.1	APPROCCI INNOVATIVI ALLA LOGISTICA URBANA .....	18
2.1.1	<i>Ruolo dei Centri di Consolidamento nella Logistica Urbana</i> .....	20
2.2	MISURE DI PERFORMANCE NELLA LOGISTICA URBANA .....	23
2.2.1	<i>KPI del last milelogistics</i> .....	24
2.2.2	<i>Modelli di misura della performance della logistica urbana</i> .....	26
<b>3</b>	<b><i>FORMULAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO PER LE</i></b> <b><i>CONSEGNE NELL'ULTIMO MIGLIO</i></b> .....	<b>35</b>
3.1	OBIETTIVI DEL MODELLO E DEFINIZIONE DELLE VARIABILI E DEI PARAMETRI DEL MODELLO.....	35
3.1.1	<i>Formulazione matematica del modello per la gestione delle attività di consegna nell'ultimo miglio</i> .....	37
3.1.2	<i>Descrizione dell'algoritmo utilizzato</i> .....	48
<b>4</b>	<b><i>RISULTATI MODELLO E ANALISI DI SENSITIVITÀ</i></b> .....	<b>51</b>
4.1	IMPORTANZA DEL TRASPORTO VEICOLARE URBANO.....	51
4.2	ANALISI DI SENSITIVITÀ .....	56

4.3	RISPETTO DELL'AMBIENTE E SCELTE AZIENDALI .....	68
5	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>76</b>
	<b>OPERE CITATE</b> .....	<b>79</b>

## ABSTRACT

La logistica è da sempre oggetto di studio per vari aspetti legati sia alla soddisfazione del cliente che all'efficienza aziendale, con l'obiettivo di ridurre i costi e i tempi di consegna. Tuttavia, con l'aumento del commercio online, questo problema si è amplificato, dando origine a nuove sfide da affrontare, soprattutto durante il periodo della pandemia. In questo contesto, emerge la logistica dell'ultimo miglio, che rappresenta la fase più complessa e onerosa del processo di consegna. Il trasporto all'interno dei centri urbani è essenziale per la maggior parte delle attività economiche, ma sta diventando sempre più complesso, generando esternalità negative. Per affrontare queste sfide, si è cercato di trovare soluzioni efficienti per rendere più vantaggiosa dal punto di vista economico questa tipologia di consegna.

La mia ricerca si concentra sull'aspetto cruciale della logistica dell'ultimo miglio, con lo sviluppo di un modello matematico finalizzato a migliorare l'efficienza delle consegne. In particolare, esaminiamo un centro di distribuzione situato nell'area metropolitana di Torino. Questo centro di distribuzione riveste un ruolo fondamentale come punto di riferimento per la ricezione e la gestione temporanea delle merci, in attesa che i clienti le ritirino. Funziona come un efficace intermediario tra i corrieri responsabili delle consegne e i destinatari. L'obiettivo principale di questa strategia è ottimizzare il processo di consegna, evitando che i corrieri debbano affrontare perdite di tempo dovute al congestionato traffico cittadino. Inoltre, la soluzione è progettata per massimizzare l'efficienza e ridurre i costi associati ai consumi energetici e alle risorse impiegate nel processo di consegna.

Il nostro focus si concentra sull'analisi dell'effetto di specifiche variabili all'interno di un contesto più ampio, osservando le variazioni nei costi e nei benefici in relazione a tali variabili. L'obiettivo finale è promuovere un approccio più efficiente dal punto di vista del trasporto urbano.

Nel mio studio, ho valutato diversi scenari legati all'utilizzo di mezzi di trasporto differenti e con diversi tipi di carburanti al fine di verificare l'impatto sui costi che questi comportano e ho confrontato i risultati con la letteratura esistente sui modelli matematici già sviluppati.

# 1. Introduzione

## 1.1 La logistica urbana

Il termine "logistica" si riferisce a un argomento estremamente ampio e complesso. Oggi, secondo l'Associazione Italiana di Logistica, essa si definisce come "l'insieme di tutti quei processi di ordine organizzativo, gestionale e strategico interni a un'azienda, dalla fornitura alla distribuzione finale dei prodotti". In una visione più ampia, come affermato dal "Council of Logistics Management", *"il processo di pianificazione, realizzazione e controllo di flussi e stoccaggio, in modo da renderli efficienti ed economici, delle materie prime, dei prodotti in lavorazione e dei prodotti finiti dal luogo di origine al luogo di consumo, al fine di soddisfare le esigenze del cliente"* (Vitasek 2013).

Per alcuni, la concezione di logistica è incentrata su un approccio ampio che considera *"l'insieme delle attività organizzative, gestionali e strategiche che regolano il flusso dei materiali all'interno di un'azienda, dal momento dell'acquisto delle materie prime dai fornitori fino alla consegna dei prodotti finiti ai clienti, compreso il servizio post-vendita"* (Vignati 2002). Secondo quest'approccio, la logistica rappresenta un insieme di azioni finalizzate a garantire che il prodotto richiesto sia disponibile nelle quantità desiderate, nel luogo desiderato, al momento desiderato, il tutto mantenendo i costi allineati al livello di servizio richiesto. Pertanto, la logistica viene vista come una funzione di servizio, sia all'interno dell'azienda stessa, sia nelle interazioni con l'ambiente esterno, indipendentemente dal fatto che l'azienda sia coinvolta in attività produttive o in distribuzione commerciale.

Di conseguenza, la logistica urbana è un concetto che riguarda la gestione efficiente e sostenibile dei flussi di merci, servizi e persone all'interno di un ambiente urbano. Si concentra sulle attività di trasporto, distribuzione, movimentazione e logistica delle merci e delle risorse all'interno di città e aree urbane.

È stato solo con l'arrivo del nuovo millennio che il problema dell'ultimo miglio e la City Logistics hanno iniziato a ricevere attenzione pubblica. Prima di allora, l'interesse per questo argomento era limitato e le regolamentazioni erano state introdotte solo per i veicoli pesanti nei centri urbani. Con lo sviluppo del protocollo di Kyoto negli anni '90, volto a contrastare il riscaldamento globale e le emissioni di CO<sub>2</sub>, anche l'Unione Europea ha iniziato a interessarsi al problema, pubblicando il primo "green paper" sui trasporti. Nel 2000, Taniguchi ha fornito la prima definizione di City Logistics:

“City logistics is the process of totally optimizing the logistics and transport activities by private companies with support of advanced information systems in urban areas considering the traffic environment, the traffic congestion, the traffic safety and the energy savings within the framework of a market economy.” Da allora, la City Logistics è emersa come un concetto globale e in Europa è iniziata la condivisione di conoscenze e ricerche sulle migliori pratiche, con lo sviluppo di progetti su questo tema.

## 1.2 Le difficoltà del trasporto dell'ultimo miglio

Il trasporto all'interno dei centri urbani rappresenta un elemento essenziale per la maggior parte delle attività economiche, ma sta diventando sempre più complesso, generando esternalità negative. Gli studi focalizzati sul B2C hanno messo in luce la criticità dell'ultimo miglio. Diversi approfondimenti concordano sul fatto che la distribuzione dell'ultimo miglio sia tra le più onerose ( (Goodman 2005), meno efficienti (Commissione europea, 2011), e una delle fonti di inquinamento principali nella Supply Chain ( (Delle Site, Filippi e Nuzzolo 2013).

L'avvicinamento al consumatore comporta elevati costi, determinati dalle sfide nell'ottimizzazione delle consegne, dalla natura frammentata delle stesse, dalla diversificazione dei clienti finali, dall'incremento degli ordini di dimensioni ridotte, dalla necessità di una distribuzione logistica diffusa su vasto territorio e dai costi elevati associati alla gestione dei resi. Inoltre, i costi del trasporto nelle aree urbane superano quelli nelle periferie.

Ulteriori analisi condotte dalla studiosa Laetitia Dablanc (Dablanc 2009) forniscono dati significativi:

- ogni giorno un cittadino su 10 riceve o effettua una consegna (0,1 consegne/prese al giorno pro capite).
- il 34% del traffico globale è urbano, sottolineando l'impatto ambientale considerevole dei trasporti, con l'uso frequente di veicoli inquinanti e le congestioni nelle città che compromettono l'efficienza ( (Figliozzi 2010).

Nel 2012, secondo Nuzzolo (Nuzzolo, et al. 2015), il 30% del traffico era attribuibile ai trasporti merci, contribuendo al 23% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, mentre viaggi con mezzi vuoti diventavano sempre più comuni, occupando meno del 20% del volume. Il routing inefficiente dei veicoli,

specialmente da parte di piccole compagnie di trasporto o corrieri indipendenti, rappresenta una quota significativa delle consegne dell'ultimo miglio (Danielis, Rotaris e Marcucci 2010). A Roma, il 75% dei viaggi è finalizzato a una sola destinazione, accentuando la sfida della mancanza di aree di carico/scarico e l'accesa competizione per il parcheggio nelle città.

### 1.3 Gli stakeholder della logistica urbana

Il contesto urbano si caratterizza per la presenza di diversi stakeholder che interagiscono dinamicamente tra di loro. Ognuno di questi attori presenta caratteristiche e obiettivi distinti:

- **Third Party Logistic Service Provider (3PL) e Corrieri Espresso (LSP):** Grandi attori come Fedex, UPS o DHL svolgono un ruolo chiave in questo contesto. Questi cluster logistici investono pesantemente nelle loro infrastrutture, concentrandosi principalmente sulle consegne dirette ai privati e a determinati rivenditori. L'obiettivo primario è offrire un servizio di alta qualità in termini di tempi di consegna, ottimizzando le operazioni per ridurre i costi. L'efficienza operativa viene valutata attraverso misurazioni degli output operativi, considerando tonnellate trasportate, distanze annue percorse e utilizzo dello spazio, legate a parametri come dimensione della flotta, numero di dipendenti, ore lavorative, consumo di carburante, superficie e numero di magazzini (Crainic, Ricciardi e Storchi 2009) Boccia e al., 2010). Maggiore è l'efficienza di un 3PL, maggiore è la produttività, elemento cruciale per la redditività e la permanenza sul mercato.
- **Own Account:** Rappresentano piccole aziende locali che preferiscono gestire internamente il trasporto. Per queste aziende, il trasporto è considerato solo un costo, poiché non rappresenta un'attività a valore aggiunto. Spesso, a causa del focus su altre attività, vengono effettuati pochi investimenti nelle infrastrutture logistiche. L'obiettivo principale di queste aziende è mantenere il controllo sulle consegne e stabilire un contatto diretto con i propri clienti finali.
- **Retailer:** Si tratta di attori diversificati, compresi piccoli negozi indipendenti, catene di distribuzione con una vasta gamma di prodotti, e ristoranti con Supply Chain specializzate. La domanda di questi attori dipende spesso dalla disponibilità di spazio sugli scaffali o nei magazzini. L'obiettivo primario dei retailer è quello di ridurre i costi di consegna, garantendo un elevato livello di servizio. Cercano processi di consegna affidabili per evadere gli ordini al

momento giusto senza interferire con le operazioni quotidiane. Le operazioni di carico/scarico e controllo della merce in entrata dovrebbero essere efficienti per consentire al personale di concentrarsi sulla vendita effettiva dei beni. Di solito, i rivenditori stabiliscono rigorosi tempi di consegna per ricevere la merce.

- **Public Authorities:** Questi enti emanano normative e prendono decisioni strategiche sulla mobilità, cercando di promuovere comportamenti sostenibili dal punto di vista ambientale.
- **Consumer:** Sono i generatori della domanda, coloro che vengono soddisfatti a seguito di un ordine effettuato. Da una parte, influenzano la pressione operativa richiedendo consegne più rapide; dall'altra, subiscono gli effetti delle esternalità negative. Si prevede che entro il 2050, tra il 65% e il 70% della popolazione vivrà in città, con un aumento delle consegne dell'e-commerce. Questo comporterà la necessità di spedizioni sempre più veloci, rendendo sempre più critica la gestione della logistica inversa. Questa complessità crescente introdurrà nuovi stakeholder nella catena logistica.

#### 1.4 Gli obiettivi attuali della logistica urbana

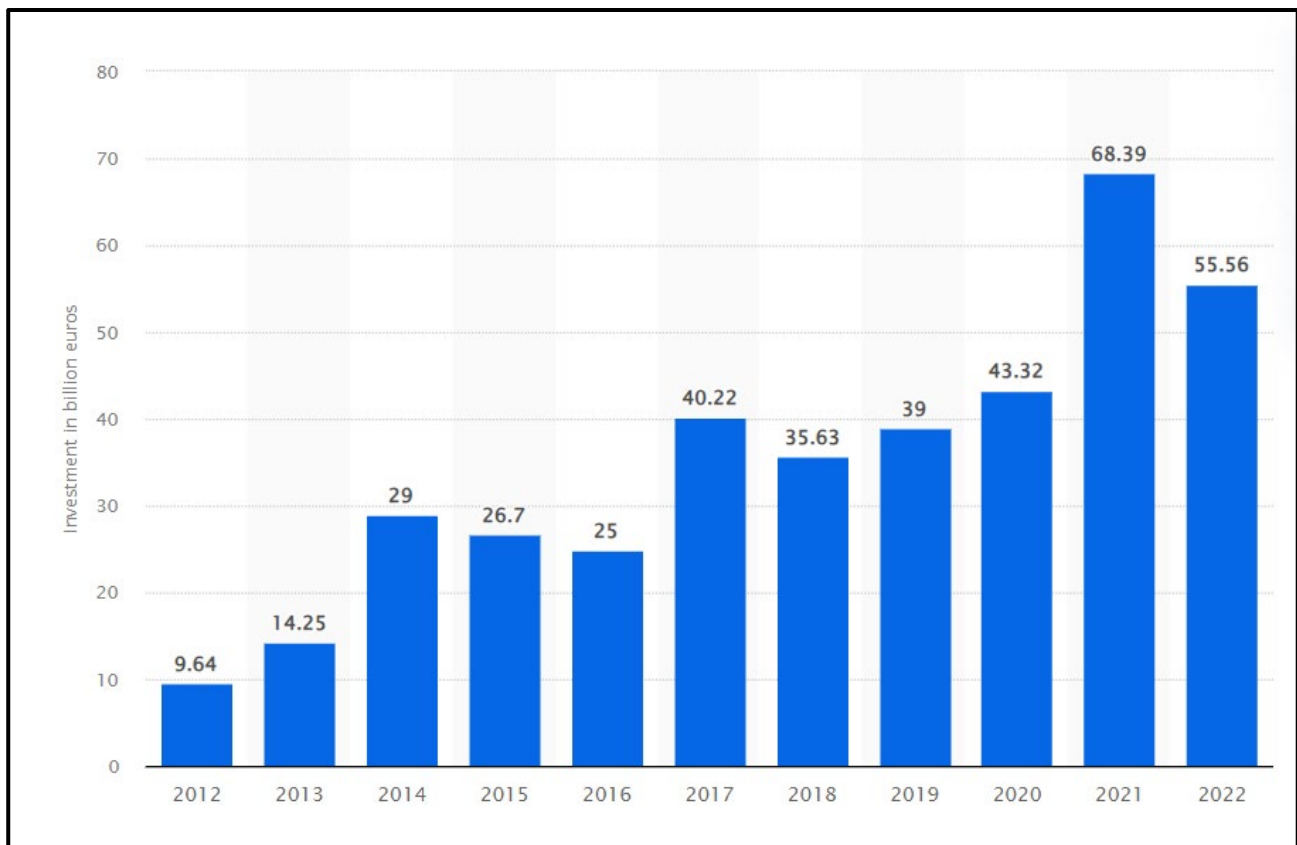
Oggi, l'attenzione è rivolta all'coinvolgimento degli stakeholder e alla redditività per garantire il successo a lungo termine dei progetti di City Logistics. L'intervento pubblico in questo ambito si manifesta attraverso misure economiche (incentivi, pedaggi orari, tariffazione della sosta) e regolamentazioni (limitazioni, normative sui veicoli, finestre temporali, ztl). Oggi, la necessità è quella di considerare la logistica urbana come un sistema integrato, piuttosto che come la somma di attività individuali. Sono quindi necessari il consolidamento e il coordinamento. Il consolidamento si riferisce alla spedizione di molti prodotti su un unico veicolo e alla riduzione dei viaggi a vuoto, soprattutto per i piccoli rivenditori. Il coordinamento, che presenta molteplici difficoltà (informative, comunicative e conflitti di interesse), consisterebbe nel migliorare il flusso informativo attraverso i centri di gestione del traffico o le telecamere. Gli obiettivi principali degli studi su questo argomento sono la riduzione dell'impatto ambientale, il miglioramento delle condizioni di vita dei cittadini, l'aumento dell'efficienza, la limitazione delle emissioni di gas serra riducendo il numero di veicoli, il rumore e la congestione per aumentare la sicurezza. Tuttavia, spesso gli stakeholder hanno esigenze diverse ed è difficile soddisfare tutti. Le soluzioni adottate sono principalmente tre: regolamentazioni



(come limitare il numero di accessi ai veicoli inquinanti per la distribuzione urbana o non permettere l'accesso ai veicoli di grandi dimensioni nei centri città), road pricing (pagamento di un pedaggio per l'accesso a determinate aree della città, allo scopo di alleggerire il traffico nei grandi centri urbani) e centri di distribuzione e piattaforme. Se si limitano le zone di carico/scarico, il tempo necessario per servire un cliente e il tempo medio di consegna aumenteranno, portando a un aumento dei costi. Inoltre, la tendenza attuale a ridurre la dimensione della spedizione, causata anche dai sistemi di produzione JIT, porterà a un aumento della frequenza delle consegne e, di conseguenza, potrebbe comportare un instradamento più inefficiente.

## 1.5 Implementazioni di Successo e Nuovi Approcci alla Consegna

La dinamica del settore logistico si evolve rapidamente, richiedendo alle aziende di adottare strategie innovative e tecnologiche. Gli investimenti nel campo della logistica (come evidenziato nella Figura 1, riportata in basso) sono cresciuti notevolmente in Italia dal 2012 al 2022 (fonte: Statista Estimates; CBRE Group). Come si evince dalla figura, nel 2020 (nonostante il covid abbia comportato degli assestamenti da un punto di vista del trasporto) gli investimenti sono aumentati in maniera proporzionale agli anni passati ma è nel 2021 che si ha l'esplosione degli investimenti nel settore logistico al fine di rispondere a una crescente domanda della vendita e-commerce.



**Figura 1** Valore totale degli investimenti industriali e logistici in Europa dal 2012 al 2022

Per rimanere competitivi, molte aziende stanno adottando nuovi metodi di consegna e implementazioni di successo.

Progressi Tecnologici e Infrastrutture ICT:

Grazie ai progressi tecnologici e alle infrastrutture ICT, come videocamere, centri di gestione del traffico, parcheggi intelligenti e unità di controllo on-board, le aziende possono migliorare l'efficacia dei trasporti. L'utilizzo di RFID, codici a barre, sistemi avanzati di gestione della flotta e monitoraggio in tempo reale consente una migliore gestione delle operazioni logistiche, riducendo i tempi di carico e scarico.

Monitoraggio in Tempo Reale per Migliorare l'Efficienza:

Il monitoraggio in tempo reale del traffico e l'ottimizzazione del routing dei veicoli permettono alle aziende di affrontare le sfide legate a ritardi imprevisti, come le condizioni meteorologiche o il

traffico. Ciò consente di mantenere i clienti informati su eventuali ritardi e di migliorare la precisione delle consegne.

#### Click-and-Collect:

L'opzione "Click and collect" consente ai consumatori di acquistare online, distribuire il prodotto in un punto di raccolta designato e ritirarlo in un momento conveniente. Questa opzione offre flessibilità e comodità, cambiando il comportamento dei consumatori e influenzando positivamente le aree urbane e suburbane.

#### Veicoli Elettrici e Soluzioni Collaborative:

Al fine di mitigare l'impatto ambientale, alcune aziende automobilistiche stanno sperimentando l'uso di veicoli elettrici per il trasporto dell'ultimo miglio in collaborazione con i fornitori logistici di terze parti (3PL). Tuttavia, le sfide legate all'autonomia e alla capacità di carico di questi veicoli rappresentano ancora delle limitazioni.

#### Nuovi Approcci alla Consegna:

Per ridurre il traffico nelle città, molte aziende stanno esplorando nuovi metodi di consegna, come la consegna tramite droni o robot, nonché l'opzione "click-and-collect". L'uso di punti di ritiro automatizzati e stazioni di imballaggio automatizzate (Packstation) è un approccio che risolve il problema delle mancate consegne quando il destinatario non è a casa.

#### Pick up Point e Automated Packstation:

Aziende come InPost, Bringme, stanno sviluppando un business intorno a punti di ritiro automatizzati. Questi armadietti sono collocati in luoghi facilmente accessibili, come centri commerciali, stazioni della metropolitana o uffici. Gli utenti possono ritirare i loro pacchi in autonomia, risolvendo i problemi legati al fallimento del primo tentativo di consegna.

In sintesi, l'adozione di nuovi metodi di consegna e l'uso di tecnologie avanzate stanno ridefinendo il panorama della logistica dell'ultimo miglio, migliorando l'efficienza operativa e la soddisfazione del cliente.

Infine, un altro importante concetto riguarda il concetto di "logistica 4.0". La logistica, comprendente diverse funzioni come trasporto, distribuzione, gestione del magazzino e inventario, ha subito una

trasformazione significativa negli ultimi anni con l'introduzione di tecnologie avanzate. Il concetto di Logistica 4.0, in linea con l'Industria 4.0, si riferisce all'integrazione crescente di Cyber Physical Systems (CPS), Internet of Things (IoT) e altre soluzioni basate sull'intelligenza artificiale (IA) nell'ambito logistico diretto e inverso.

La Logistica 4.0 si concentra sull'utilizzo di tecnologie basate su Internet per migliorare l'accuratezza, l'efficienza, la visibilità, la reattività e la flessibilità lungo l'intera catena del valore (Prause 2015). Questo approccio rende le supplychain più innovative, competitive e sostenibili. Per raggiungere tali obiettivi, è essenziale implementare processi avanzati non solo nella produzione ma anche nelle operazioni logistiche (logistica inversa al fine diminuire l'inquinamento ambientale e lo spreco di risorse tramite i loro riutilizzo) lungo l'intera catena di approvvigionamento (Solvang e Yu 2017).

La definizione proposta da Barretto et al. (Barretto e al. 2017) identifica la Logistica 4.0 come l'ottimizzazione delle attività logistiche attraverso l'uso di sistemi intelligenti incorporati in database o software. Questi sistemi consentono ai processi rilevanti di comunicare tra loro e con gli esseri umani, migliorando le capacità analitiche e operative. Tale comunicazione decentralizzata o autoregolamentazione (Hofmann e Rusch 2017) contribuisce alla sinergia tra i vari processi.

Alcuni esempi di iniziative di Logistica 4.0 includono l'uso di sistemi di gestione del magazzino (WMS), il monitoraggio in tempo reale dei flussi di materiale tramite tecnologie come i tag RFID e dispositivi di scansione. L'automazione della movimentazione e dello stoccaggio del materiale con l'utilizzo di robot, veicoli a guida laser o automatizzati e sistemi di stoccaggio automatizzati rappresentano ulteriori innovazioni. Processi di elaborazione autonoma degli ordini, monitoraggio e pianificazione in tempo reale della distribuzione tramite sistemi di trasporto intelligenti sono anch'essi parte integrante della Logistica 4.0.

## 1.6 Motivazioni e obiettivi della tesi

Affrontare le sfide della logistica urbana e del last mile è cruciale per migliorare l'efficienza delle consegne e garantire la soddisfazione dei clienti. Le aziende di logistica devono trovare il giusto equilibrio tra tempi di consegna rapidi, costi sostenibili e impatti ambientali ridotti.

Al fine di fronteggiare efficacemente i problemi della logistica urbana e del last mile, è necessario sviluppare nuovi approcci, strategie e modelli matematici. Questi modelli devono tenere conto di molteplici variabili, come il tipo di veicolo utilizzato, le preferenze dei clienti, il traffico, i costi di consegna e l'impatto ambientale.

Il mio studio si focalizza proprio sull'aspetto legato al last mile, con lo sviluppo di un modello matematico finalizzato a migliorare l'efficienza delle consegne sfruttando un centro di distribuzione situato nell'area metropolitana di Torino. Il centro di distribuzione svolge un ruolo cruciale come punto di riferimento per la ricezione e la gestione temporanea delle merci in attesa che i clienti le ritirino. Questo si traduce in un efficace intermediario tra i corrieri responsabili delle consegne e i destinatari, in modo simile a un parcel locker. Questa strategia mira innanzitutto a ottimizzare il processo di consegna, evitando che i corrieri debbano affrontare perdite di tempo dovute al congestionato traffico cittadino. Inoltre, questa soluzione è progettata per massimizzare l'efficienza e ridurre i costi associati ai consumi energetici e alle risorse impiegate nel processo di consegna. L'obiettivo è ridurre i costi e promuovere un approccio maggiormente efficiente dal punto di vista del trasporto urbano. In particolare, ci concentreremo sull'analisi dell'effetto di specifiche variabili all'interno di un contesto più ampio e sull'osservazione delle variazioni nei costi e nei benefici in relazione alle variazioni di tali variabili.

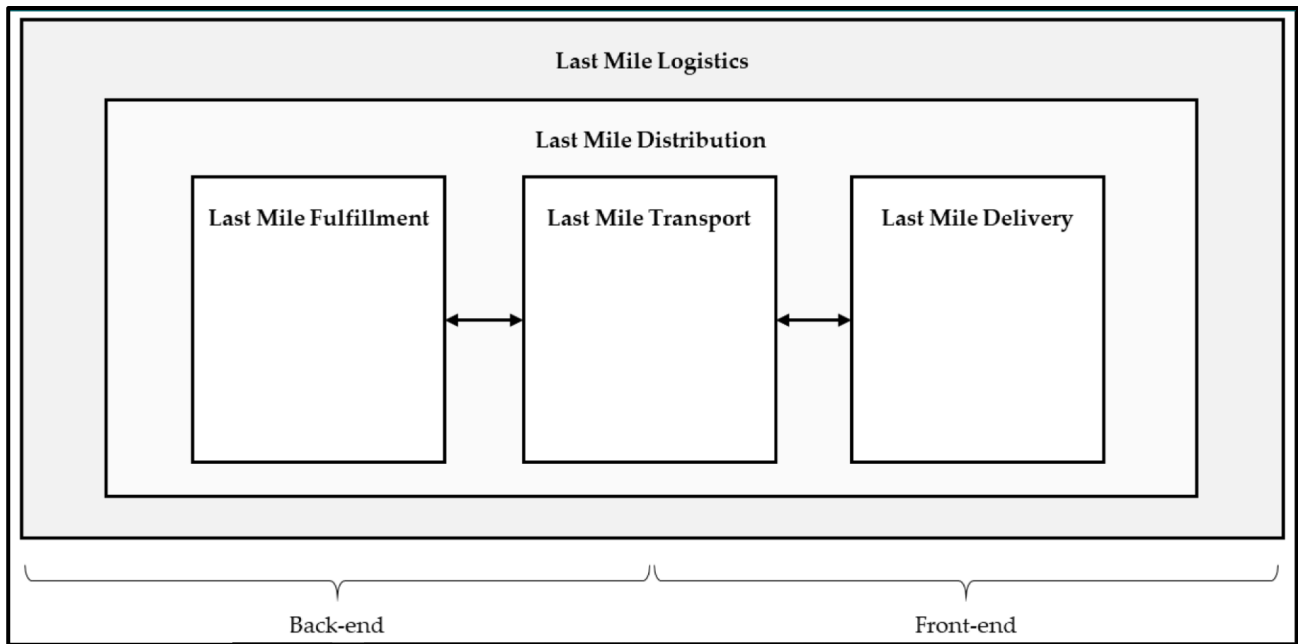
Per conseguire tale obiettivo, è fondamentale formulare un modello matematico che si adatti alle condizioni particolari dell'ambiente in cui sarà collocato il centro di distribuzione oggetto di studio. A tal fine, saranno prese in considerazione variabili specifiche attentamente selezionate in modo da essere congruenti con il contesto di riferimento. Per raggiungere questo obiettivo, ho fatto riferimento a una serie di testi letterari che esplorano sia il concetto del last mile da diverse prospettive sia le soluzioni apportate per efficientare tale processo.

## 2 Review della letteratura

Questa sezione è dedicata ad analizzare la letteratura esistente sul last mile in rapporto alla consegna merci. In particolare, verranno analizzati i concetti chiave che caratterizzano il settore della logistica nell'ultimo miglio, le tecniche (o gli approcci) attualmente in uso nella gestione delle attività di consegna nell'ultimo miglio, successivamente il ruolo che svolgono i centri di consolidamento della logistica urbana oltre agli ultimi sviluppi e le prospettive del settore.

Proponiamo un quadro per esplorare la logistica dell'ultimo miglio, riconoscendo la sua diversità e complessità attraverso un approccio sistemico. L'analisi si basa su cinque componenti interconnessi tra loro, di cui due riguardano la logistica e la distribuzione dell'ultimo miglio e le restanti tre tratteranno i componenti centrali ed in particolare l'adempimento, il trasporto e la consegna dell'ultimo miglio.

Tre sono le componenti fondamentali del framework ed esse sono distinte e sequenziate. La letteratura su questi componenti ci offre una pianificazione a breve termine, integrandosi poi nella distribuzione dell'ultimo miglio. La distribuzione dell'ultimo miglio viene successivamente ampliata nelle componenti fondamentali assumendo un carattere tattico con un orizzonte di pianificazione a medio termine. Infine, la letteratura dedicata alla logistica dell'ultimo miglio si occupa delle questioni di pianificazione strategica a lungo termine, fornendo un'ampia visione del sistema e del suo contesto ambientale (Figura 2).



**Figura 2.** Quadro generale composto da cinque componenti.

Volendo dare una definizione della logistica dell'ultimo miglio possiamo affermare che essa è il processo di pianificazione, implementazione, controllo del trasporto, stoccaggio delle merci in modo efficiente ed efficace che ha inizio dal punto di penetrazione dell'ordine al cliente finale. Questo tipo di approccio conferma il carattere strategico di questa componente. In particolare, gli effetti della collaborazione orizzontale o la qualità del servizio sono temi che vengono trattati all'interno della letteratura al fine di gestire la logistica dell'ultimo miglio nei centri urbani congestionati. Viene proposto il concetto di "controllore del traffico merci" (FTC - freighttraffic controller). La FTC sarebbe una terza parte fidata, incaricata di gestire equamente l'assegnazione del lavoro tra i vettori che collaborano e il passaggio dei veicoli nell'ultimo miglio quando potrebbero essere ottenuti vantaggi congiunti per le parti. La creazione di questo concetto FTC ha richiesto un approccio di ottimizzazione combinatoria per la valutazione delle numerose combinazioni di posizioni degli hub, configurazione di rete e opzioni di percorso per veicoli o spostamenti a piedi per trovare il vero valore di ogni potenziale collaborazione (Julian Allen 2017).

Da quanto detto si può affermare che La gestione della distribuzione nell'ultimo miglio comporta e coinvolge la movimentazione del trasporto assieme allo stoccaggio delle merci fino al punto di consumo attraverso diversi canali. La letteratura relativa a questa faseaffronta una serie di temi. In particolare, si evince una significativa enfasi sull'ottimizzazione operativa, spesso coinvolgendo più di una delle tre componenti centrali. Uno studio ha proposto una soluzione al problema del venditore

con l'impiego di droni, contribuendo così a ristrutturare il sistema di distribuzione in cui i camion collaborano sinergicamente con i droni (Campuzano, Lalla-Ruiz e Mes 2023). In particolare, questo testo sottolinea come gli avanzamenti recenti nell'intelligenza artificiale nei veicoli autonomi hanno catalizzato lo sviluppo di nuove tecnologie, apportando miglioramenti significativi nei sistemi di consegna dell'ultimo miglio. I veicoli aerei senza equipaggio (UAV), comunemente noti come droni, si distinguono per la loro mobilità, velocità e capacità di collaborare con altri mezzi di trasporto. Queste caratteristiche li rendono estremamente versatili, particolarmente adatti alle aree urbane dense, dove i clienti, sempre più esigenti, richiedono consegne tempestive. Di conseguenza, numerose aziende hanno manifestato un forte interesse in questi veicoli autonomi, investendo in progetti ambiziosi. Esempi includono Amazon con il progetto Air Prime, Google con il progetto Wing, DHL con Parcelcopter, e aziende come Walmart e FedEx, che stanno sperimentando soluzioni simili. Viene dunque presentato il problema tenendo conto dei differenti tempi di volo del drone, influenzati dalla velocità selezionata e dalle condizioni meteorologiche, riflettendo l'asimmetria naturale coinvolta nelle operazioni di consegna. Una variante aggiuntiva considera la decisione sulla velocità del drone, che impatta sul consumo energetico. Vengono formulati modelli di programmazione lineare mista intera (MILP), e sviluppati due approcci metaeuristici. I risultati evidenziano la sensibilità dei sistemi di consegna alle caratteristiche considerate, mostrando che l'approccio simmetrico fallisce nel trovare soluzioni fattibili considerando aspetti operativi come le condizioni del vento e il consumo di energia. Inoltre, la capacità di volare a velocità inferiori si traduce in una riduzione del makespan grazie a un maggior utilizzo del drone.

Il nucleo del sistema logistico dell'ultimo miglio è costituito da tre componenti centrali: “fulfillment” dell'ultimo miglio, trasporto dell'ultimo miglio e consegna dell'ultimo miglio. Il fulfillment dell'ultimo miglio è il processo di esecuzione di un ordine rendendolo pronto per la consegna. Tenzialmente, il fulfillment dell'ultimo miglio e il trasporto dell'ultimo miglio sono fortemente correlati e, pertanto, vengono spesso studiati in combinazione. La letteratura si concentra inoltre sugli scali merci e sui centri di distribuzione. Ad esempio, uno studio riprogetta il processo di evasione degli ordini di e-commerce nei centri di distribuzione (Leung, Choy e Siu 2018). Infatti, nell'attuale scenario di digitalizzazione, la crescente espansione del settore dell'e-commerce a livello globale ha provocato una significativa trasformazione non solo nelle abitudini di acquisto, ma anche nell'intero panorama della vendita al dettaglio e della logistica. Dati i modelli di arrivo degli ordini non regolari nell'e-commerce, la limitata finestra temporale per l'elaborazione degli ordini nei centri di evasione e i programmi di consegna garantita proposti dai rivenditori online (come la consegna il giorno stesso



o il giorno successivo all'ordine) i fornitori di servizi logistici (LSP) devono dimostrare un'elevata efficienza nella gestione degli ordini logistici dell'e-commerce affidati a loro in outsourcing. Considerando l'impellente necessità di potenziare l'efficienza nella gestione degli ordini di e-commerce, questo studio si propone di ristrutturare il processo di evasione degli ordini nei centri di distribuzione. Introducendo il concetto di rinvio del magazzino, viene sviluppato un nuovo sistema di pre-elaborazione dell'evasione degli ordini elettronici (CEPS) basato su cloud, che adotta l'approccio dell'algoritmo genetico (GA) per il supporto decisionale nel raggruppamento degli ordini di e-commerce. Inoltre, un motore di inferenza basato su regole è implementato per generare linee guida operative e suggerire l'impiego di attrezzature di movimentazione adeguate. Attraverso un caso di studio condotto presso un'azienda logistica, il CEPS dimostra soluzioni di gestione degli ordini altamente efficienti per l'elaborazione degli ordini logistici di e-commerce, con una significativa riduzione dei tempi di elaborazione e della distanza di viaggio. I risultati dello studio indicano una migliore efficienza operativa nella gestione degli ordini, che consente ai fornitori di servizi logistici (LSP) e ai rivenditori online di allineare meglio i propri obiettivi.

Il focus del trasporto dell'ultimo miglio è sulla movimentazione efficiente delle merci nell'ultimo tratto del percorso, e può avvenire attraverso una varietà di mezzi, tra cui veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, veicoli elettrici, biciclette, tricicli o droni.

Questa fase rappresenta l'interfaccia cruciale tra il fulfillment dell'ultimo miglio e la consegna dell'ultimo miglio, giocando così un ruolo fondamentale nell'ambito complessivo del sistema logistico dell'ultimo miglio. Come abbiamo visto, tale fase è collegata con il fulfillment dell'ultimo miglio ma si concentra molto anche sull'ottimizzazione operativa, in particolare sul routing dei veicoli elettrici, con droni o veicoli con luoghi di consegna in roaming in cui gli ordini vengono consegnati nel bagagliaio dell'auto del cliente. Inoltre, gran parte della letteratura si concentra sulle tecnologie e innovazioni emergenti, in particolare su soluzioni innovative per veicoli. Uno studio indaga l'integrazione di diversi tipi di veicoli in termini di consumo energetico, emissioni e costi.

Per il routing dei veicoli elettrici esistono vari testi, tra cui “The electric two-echelon vehicle routing problem” (Breunig e Baldacci 2019) che tratta la pianificazione del percorso nella logistica multilivello all'interno delle città densamente popolate con l'utilizzo di mezzi di trasporto più piccoli ed elettrici che permettono di raggiungere direttamente i clienti finali, riducendo dimensioni, inquinamento e rumore. Il testo introduce il problema del routing dei veicoli elettrici a due livelli (E2EVRP) come prototipo, affrontando il tema dell'utilizzo di una flotta elettrica che si deve

confrontare con due fattori determinanti come la limitata autonomia dei veicoli e le soste nelle stazioni di ricarica. Viene proposta una metaeuristica di ricerca di ampio vicinato (LNS) e un algoritmo esatto di programmazione matematica. Dallo studio emergono importanti risultati che mettono in evidenza come le deviazioni dovute alle ricariche diminuiscono proporzionalmente alla densità delle stazioni di ricarica, oltre alla valutazione del trade-off tra la capacità della batteria in relazione alle deviazioni di percorso. Questo aspetto risulta fondamentale nelle decisioni strategiche che prende in esame costi e sostenibilità ambientale.

La fase finale della consegna, comunemente nota come "consegna dell'ultimo miglio", comprende le operazioni necessarie per portare fisicamente un prodotto alla destinazione finale indicata dal destinatario. Questo stadio può essere considerato il front-end, dove l'ultima parte del percorso incrocia il destinatario. La "consegna dell'ultimo miglio", talvolta denominata semplicemente "ultimo miglio", come abbiamo accennato prima, rappresenta il trasferimento delle merci da un centro di trasporto all'indirizzo finale, solitamente la residenza di un cliente. Questa fase risulta così complessa perché le intricate reti di trasporto su rotaia, marittime, stradali e aeree gestiscono miliardi di pacchi in tutto il mondo ogni anno. Queste reti sono altamente controllate e orchestrare, utilizzando percorsi dedicati e veicoli specializzati per le lunghe distanze. Tuttavia, l'ultima tappa critica del viaggio, l'"ultimo miglio" da un hub locale o un centro di distribuzione alla casa o all'ufficio del cliente, manca del medesimo livello di controllo, coerenza e scalabilità. I conducenti dei furgoni per le consegne locali devono affrontare ostacoli imprevedibili come traffico intenso, chiusure stradali, sfide di pianificazione del percorso, e condizioni meteorologiche avverse. Dal punto di vista delle aziende di trasporto, questo rappresenta la fase meno efficiente del ciclo logistico: i conducenti devono effettuare numerose brevi soste, spesso consegnando un solo pacco alla volta (in contrasto con le migliaia di articoli trasportati da un aereo). Al fine di mitigare tale condizione

## 2.1 Approcci innovativi alla logistica urbana

Negli ultimi anni, sono stati sviluppati diversi approcci per migliorare la gestione delle attività di consegna nell'ultimo miglio:

- **Veicoli Elettrici e Sostenibili:** L'adozione di veicoli elettrici e a emissioni zero è diventata una priorità per ridurre l'impatto ambientale delle consegne.

- **Ottimizzazione del Routing:** L'uso di algoritmi di ottimizzazione avanzati per pianificare percorsi di consegna più efficienti.
- **Tecnologie avanzate:** L'uso di droni che permette una maggiore facilità di consegna evitando il traffico stradale.
- **Condivisione delle Consegne:** La condivisione delle consegne tra più destinatari con indirizzi vicini può ridurre i costi e l'impatto ambientale.
- **Consegne a Domicilio Locker:** L'installazione di casseforti per pacchi in luoghi accessibili ai clienti offre una maggiore flessibilità nella consegna.
- **Creazione di centri di consolidamento:** La presenza di stabilimenti la cui funzione è quella di ricevere singoli ordini da altri centri logistici o da diversi fornitori e riunirli in spedizioni più grandi per facilitarne il trasporto.

Gli sviluppi più recenti nel settore del last mile includono:

- **Droni per la Consegna:** L'uso di droni per le consegne di piccoli pacchi sta guadagnando popolarità, soprattutto in aree remote.
- **Automazione e Robotica:** La robotica avanzata sta rivoluzionando la consegna con l'introduzione di robot autonomi per la consegna di merci.
- **Consegne Parcel Locker:** La crescente domanda di consegne rapide sta spingendo le aziende a offrire questo tipo di servizio attraverso l'uso di armadietti posizionati all'interno delle città.
- **Logistica Verde:** Un maggiore impegno verso la sostenibilità ha portato a nuove iniziative per ridurre l'impatto ambientale delle consegne.

In questo capitolo, esamineremo in dettaglio ciascuno di questi aspetti, analizzando gli studi più rilevanti e le sfide chiave associate a ciascun concetto. Ciò ci fornirà una visione completa dello stato attuale della ricerca nel campo del last mile delivery e ci aiuterà a contestualizzare ulteriormente la nostra ricerca e i suoi obiettivi.

Durante il processo di review della letteratura, ci siamo concentrati sulla ricerca di articoli scientifici, libri, relazioni tecniche e studi di casi pertinenti all'argomento. Abbiamo utilizzato varie fonti di

ricerca, come banche dati accademiche e motori di ricerca specializzati, per identificare e selezionare gli studi più rilevanti e aggiornati.

La review della letteratura ci ha fornito una solida base di conoscenze per sviluppare ulteriormente la nostra ricerca, aiutandoci a delineare gli obiettivi e le domande di ricerca che guideranno il nostro studio.

Infine, evidenzieremo l'importanza della nostra ricerca nel contesto attuale della logistica urbana e del last mile. I risultati ottenuti dalla review della letteratura saranno fondamentali per contestualizzare il nostro lavoro e contribuire a colmare le lacune esistenti nella letteratura accademica.

### 2.1.1 Ruolo dei Centri di Consolidamento nella Logistica Urbana

I centri di consolidamento rappresentano un elemento cruciale nella logistica urbana. Questi centri agiscono come punti intermedi in cui le merci vengono consolidate e distribuite più efficientemente ai destinatari finali. Il ruolo dei centri di consolidamento include:

- **Riduzione del Traffico:** l'introduzione di un centro di consolidamento all'interno di una città rappresenta un passo significativo per migliorare la gestione del traffico urbano. Questo approccio offre diversi vantaggi cruciali nella riduzione della congestione stradale e nell'ottimizzazione dei servizi di consegna.

In primo luogo, la consolidazione consente di ridurre il numero complessivo di veicoli commerciali in circolazione all'interno della città. Questo si traduce in una riduzione della congestione stradale, consentendo un flusso di traffico più scorrevole e riducendo i tempi di percorrenza. Le strade diventano più sicure e il rischio di ingorghi diminuisce, migliorando la mobilità urbana.

Una conseguenza diretta della diminuzione del traffico veicolare è la riduzione delle emissioni inquinanti. Meno veicoli in circolazione significano una minore emissione di gas nocivi nell'aria, contribuendo a migliorare la qualità dell'ambiente urbano e ad affrontare le problematiche legate all'inquinamento atmosferico.

Inoltre, la centralizzazione delle consegne consente una migliore gestione delle risorse. I veicoli vengono utilizzati in modo più efficiente, riducendo gli sprechi di tempo e carburante. Questa ottimizzazione dei processi di consegna porta a un utilizzo più sostenibile delle risorse.

Un aspetto importante riguarda la pianificazione del traffico. La collaborazione tra il centro di consolidamento e le autorità locali permette di pianificare le consegne in modo più efficiente, tenendo conto delle condizioni del traffico e delle aree con una maggiore densità di utenti. Ciò contribuisce a evitare sovraccarichi stradali durante le ore di punta, migliorando ulteriormente la qualità della vita all'interno della città.

Infine, questa strategia supporta la mobilità sostenibile e favorisce l'adozione di modalità di trasporto più eco-compatibili, come il trasporto pubblico, la mobilità condivisa e la mobilità dolce come il ciclismo e la camminata. La riduzione del traffico e delle emissioni ha un impatto positivo sulle comunità urbane e sull'ambiente.

- **Efficienza nei Costi:** La condivisione delle risorse nei centri di consolidamento può portare a significative economie di scala.

Un centro di consolidamento offre un'economia di scala, in quanto permette di gestire un volume maggiore di merci. Questo può portare a vantaggi finanziari derivanti dalla negoziazione di tariffe di trasporto più vantaggiose con fornitori di servizi di spedizione.

Inoltre, la consolidazione delle consegne offre vantaggi economici sia per le aziende di consegna che per i consumatori. La razionalizzazione delle rotte e l'ottimizzazione dell'utilizzo dei veicoli riducono i costi operativi delle aziende, il che può tradursi in tariffe di spedizione inferiori per i clienti. Questo crea un rapporto win-win in cui le aziende risparmiano e i consumatori godono di prezzi più competitivi.

L'introduzione di un centro di consolidamento all'interno di una città ha un impatto significativo sui costi operativi delle aziende di consegna e, indirettamente, sui consumatori. Questo approccio porta diversi vantaggi finanziari che contribuiscono all'ottimizzazione dei costi. Vediamo come:

Se immaginiamo di gestire una flotta di veicoli per consegnare merci in una città, senza un centro di consolidamento, ogni veicolo deve gestire le consegne provenienti da diverse fonti,

seguendo percorsi separati e spesso in viaggi parzialmente vuoti. Ciò comporta un elevato consumo di carburante, usura dei veicoli e costi operativi più elevati.

Tuttavia, con un centro di consolidamento, puoi ottimizzare le rotte di consegna. Le merci provenienti da varie fonti vengono consolidate e raggruppate, riducendo il numero complessivo di viaggi necessari. Questa ottimizzazione delle rotte significa meno chilometri percorsi, meno carburante consumato e minori costi operativi.

Un altro vantaggio è l'efficienza nei carichi. I veicoli possono essere caricati in modo più efficiente, sfruttando al massimo la loro capacità. Questo riduce il numero di spedizioni con veicoli parzialmente carichi o vuoti, riducendo lo spreco di risorse e i relativi costi.

Grazie a una gestione centralizzata delle consegne, è possibile ridurre il numero di conducenti o di personale addetto alla consegna. Questo comporta una diminuzione dei costi legati alla manodopera.

Una flotta di veicoli meno numerosa ma più efficiente significa anche risparmi nell'acquisto di veicoli. Le aziende possono investire in veicoli di dimensioni adeguate alle esigenze effettive, evitando l'acquisto di veicoli in eccesso.

Questi risparmi nei costi operativi possono tradursi in tariffe di consegna più basse per i clienti. I consumatori beneficiano di prezzi più convenienti per i servizi di consegna, il che può incentivare l'uso di tali servizi e contribuire a una maggiore fidelizzazione dei clienti.

Inoltre, la centralizzazione delle consegne permette una manutenzione più efficace dei veicoli, riducendo i costi di manutenzione.

**Servizi Aggiuntivi:** Alcuni centri di consolidamento offrono servizi di smistamento e imballaggio aggiuntivi, migliorando la gestione delle merci.

## 2.2 Misure di Performance nella Logistica urbana

Affinché vi sia un adattamento allo scenario aziendale è fondamentale che vi sia una collaborazione per l'accesso alle informazioni sulle performance dei partner della Supply Chain (Ferreira e Borenstein, A fuzzy-Bayesian model for supplier selection 2012). Questo aspetto è fondamentale, poiché la gestione delle performance raggruppa tutta una serie di attività che vanno dall'elaborazione strategica, alla misurazione, fino a tutte le azioni mirate che portano ad un miglioramento della performance, il tutto considerato nell'insieme. (Forslund e Jonsson 2007) (Papakiriakopoulos e Pramataris, Collaborative performance measurement in supply chain 2010) (Ferreira e Borenstein, A fuzzy-Bayesian model for supplier selection 2012).

Le caratterizzazioni delle misure di performance possono essere sia esterne che interne, sia finanziarie che non finanziarie e sono sempre riferiti ai processi coinvolti. (Kaplan e Norton 1992) (Papakiriakopoulos e Pramataris, Collaborative performance measurement in supply chain 2010). Nel contesto della catena logistica, la gestione delle performance, centrata su elementi quali i tempi di consegna, l'accuratezza delle spedizioni e l'impatto ambientale, riveste un ruolo cruciale per garantire l'efficacia dell'intera catena logistica. La gestione delle performance è stata identificata come un elemento chiave per la competitività futura.

Hamister (Hamister 2012) ha messo in evidenza come sia estremamente importante e fondamentale il coinvolgimento dei rivenditori ed i produttori, poiché le loro conoscenze e le loro esperienze sono assolutamente fondamentali. Altri studiosi hanno sottolineato che le dimensioni aziendali influenzano la gestione delle performance. La misurazione della performance rappresenta il processo di quantificazione dell'efficacia e dell'efficienza delle azioni (Neely, Gregory e Platts 1995). Gli Indicatori Chiave di Performance (KPI) costituiscono una parte essenziale delle informazioni necessarie per valutare il progresso di un'organizzazione verso i suoi obiettivi aziendali e di marketing.

Scopo delle aziende è aumentare le entrate, oltre al controllo dei costi,utilizzando al massimo tutte le risorse, tutto ciò per migliorare la soddisfazione del cliente. Nell'ambito delle Supply Chain, infatti, l'attenzione è focalizzata sulla capacità di creare valore per il cliente finale, evidenziando la necessità di una collaborazione efficace tra le diverse aziende coinvolte (Brewer e Speh 2001).

## 2.2.1 KPI del last mile logistics

Gli obiettivi e gli indicatori di performance che si possono individuare per il last mile logistics sono:

- **Tempi di consegna ridotti:** si vuole diminuire i costi e aumentare la soddisfazione del cliente scegliendo la migliore localizzazione del magazzino o del centro di consolidamento e i mezzi di trasporto più adatti. L'indicatore è il tempo medio di consegna, dalla partenza alla destinazione finale.
- **Soddisfazione del cliente elevata:** si vuole consegnare al cliente un prodotto conforme, ben imballato, nei tempi stabiliti, a un prezzo giusto e con personale gentile. L'indicatore è il grado di soddisfazione del cliente, espresso direttamente da lui.
- **Costi ridotti:** si vuole limitare tutti i costi legati alle consegne, come quelli dei veicoli, del personale, delle consegne fallite, delle assicurazioni e delle manutenzioni. Gli indicatori sono la percentuale di consegne non andate a buon fine per danneggiamento o per assenza del cliente e la quantità di combustibile consumato in rapporto alle consegne effettuate.
- **Emissioni nocive ridotte:** si vuole usare veicoli ecologici e limitare l'inquinamento atmosferico e acustico, per proteggere l'ambiente e la salute dei cittadini. L'indicatore è la quantità di emissioni nocive prodotte dai veicoli.
- **Efficienza delle rotte massimizzata:** si vuole pianificare le consegne in modo ottimale, percorrendo il minor numero di chilometri possibile ed evitando il traffico e i rallentamenti. L'indicatore è la percentuale di consegne avvenute nei tempi previsti.
- **Capacità della flotta ottimizzata:** si vuole sfruttare al meglio la capacità di ogni veicolo, per ridurre il numero di veicoli necessari e i relativi costi e impatti ambientali. L'indicatore è il grado di utilizzo della capacità della flotta.

Per valutare le performance del last mile logistics, vengono considerati questi indicatori:

- **Tempo medio di consegna:** tempo che impiega una consegna dal centro di consolidamento al cliente finale. Permette di confrontare diverse opzioni di localizzazione e di mezzi di trasporto. Si calcola dividendo la somma dei tempi di tutte le consegne per il numero di consegne effettuate.



- Soddisfazione del cliente: grado di contentezza del cliente sul tempo di consegna. È un indicatore soggettivo, espresso direttamente dal cliente.
- Percentuale di consegne fallite per danneggiamento: consegne non andate a buon fine in un certo periodo di tempo, per beni o imballaggi rovinati durante il trasporto. Si calcola dividendo il numero di consegne fallite per danneggiamento per il numero di consegne totali, nel periodo considerato.
- Percentuale di consegne fallite per assenza del cliente: consegne non andate a buon fine in un certo periodo di tempo, perché il cliente non era presente nel luogo di ritiro del pacco. Si calcola dividendo il numero di consegne fallite per assenza del cliente per il numero di consegne totali, nel periodo considerato.
- Quantità di combustibile consumato: combustibile usato dai mezzi di trasporto, in relazione al numero di consegne effettuate. Si calcola dividendo i litri di combustibile consumato da tutti i mezzi di trasporto per il totale di consegne effettuate.
- Percentuale di consegne nei tempi previsti: consegne avvenute nei tempi stabiliti in un certo periodo di tempo. Si calcola dividendo le consegne nei tempi previsti per il totale delle consegne effettuate.
- Distanza percorsa: chilometri percorsi dai mezzi di trasporto, in rapporto alle unità consegnate.
- Indice di riempimento dei mezzi di trasporto: capacità dei veicoli utilizzata al meglio. Si calcola dividendo la capacità del veicolo realmente utilizzata per quella utilizzabile del mezzo.
- Costo al km percorso: costo di ogni chilometro percorso dai mezzi di trasporto. Si calcola dividendo la somma dei costi relativi al veicolo, al combustibile e all'autista per la distanza percorsa.
- Rapporto fra soste programmate ed effettuate: soste pianificate ed effettivamente fatte sulla tratta di riferimento. È espresso come percentuale e si calcola dividendo il numero di soste pianificate per il numero di soste effettuate.
- Numero di consegne per veicolo: consegne fatte da ogni veicolo.

## 2.2.2 Modelli di misura della performance della logistica urbana

Nell'ambito della logistica urbana, i modelli di misurazione delle performance consentono di valutare l'efficacia delle strategie di distribuzione, tenendo conto di variabili come i costi logistici, la puntualità delle consegne e l'impatto ambientale.

Nel contesto della logistica dell'ultimo miglio, l'efficienza e la sostenibilità rivestono un ruolo di fondamentale importanza. All'interno di molti testi si trattano tali argomenti e, in particolare, nel caso studio di (Kin, et al. 2018) viene presentato un modello matematico volto a valutare le performance al fine di migliorare la consegna delle merci in ambito urbano.

Il modello di misura delle performance sviluppato in questo studio si basa su una combinazione di input provenienti da modelli di costo specifici per le aree urbane e variabili di costo correlate ai processi logistici, alle caratteristiche dei destinatari e alle peculiarità delle città. Di seguito i punti chiave del modello:

1. *Costi delle alternative di distribuzione*: il modello calcola i costi associati a diverse configurazioni di distribuzione nell'ultimo miglio. Queste configurazioni tengono conto delle dimensioni ridotte e frammentate dei volumi di merce coinvolta. L'obiettivo è identificare soluzioni più efficienti ed economiche.
2. *Variabili di costo*: il modello considera variabili legate ai processi logistici, alle caratteristiche dei destinatari e alle specificità delle città. Ad esempio:
  - Costi logistici: come il carburante, i tempi di guida e gli oneri operativi.
  - Attributi dei destinatari: come la frequenza delle richieste di consegna e le preferenze di orario.
  - Caratteristiche delle città: come la densità del traffico, le restrizioni stradali e l'accessibilità.
3. *Applicazione pratica*: il modello viene applicato alla consegna di beni di consumo a rapido movimento (FMCG) verso piccoli rivenditori indipendenti in una megacittà. Attualmente, la fornitura a questi negozi è caratterizzata da costi elevati, inefficienza e insostenibilità.

4. *Scenari alternativi*: il modello esamina quattro diverse configurazioni di distribuzione. Ad esempio:

- Quando le dimensioni delle consegne sono ridotte e le distanze brevi, le spedizioni dirette con veicoli più piccoli superano l'attuale configurazione diretta.
- Quando le dimensioni delle consegne sono ridotte e le distanze lunghe, la collaborazione in un centro di consolidamento urbano (UCC) risulta vantaggiosa.

Uno dei fattori chiave da considerare, nell'ambito del last mile, per garantire la soddisfazione dei clienti e l'efficienza delle operazioni di consegna è rappresentato dalla scelta tra armadietti per pacchi (PLs) e la consegna tradizionale a domicilio (HD).

Lo studio di Seghezzi (Seghezzi, Siragusa e Mangiaracina, Parcel lockers vs. home delivery: a model to compare last-mile delivery cost in urban and rural areas 2021) si concentra su due scenari di implementazione: aree urbane e rurali. Per valutare le performance di queste opzioni, hanno sviluppato un modello di misura dei costi di consegna. Questo modello tiene conto di variabili cruciali, tra cui la densità degli armadietti, il tasso di riempimento e i costi annuali.

I risultati indicano che gli armadietti per pacchi presentano costi di consegna inferiori rispetto alla consegna a domicilio, indipendentemente dall'area di implementazione. Questo vantaggio è principalmente attribuibile alla maggiore densità di consegna e alla significativa riduzione delle consegne fallite. Tuttavia, è interessante notare che gli armadietti sono particolarmente vantaggiosi nelle aree rurali, dove gli investimenti in infrastrutture e i costi annuali sono inferiori, mentre i costi della consegna a domicilio sono più elevati.

In conclusione, la scelta tra PLs e HD deve essere basata su una valutazione attenta delle specifiche esigenze logistiche, delle caratteristiche del mercato e delle condizioni locali. Il modello di misura delle performance offre una base solida per prendere decisioni informate e ottimizzare la logistica dell'ultimo miglio nel settore dell'e-commerce.

Il servizio di caselle di ritiro per pacchi rappresentando un'importante soluzione nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio nelle aree urbane, viene trattato anche all'interno dello studio degli autori (Yu, Lian e Yang 2021), i quali esaminano il processo di tariffazione per questo servizio in Cina. Gli autori hanno identificato i valori associati ai destinatari che non si trovano nei siti di ricezione e ai corrieri che consegnano i pacchi alle caselle di ritiro anziché ai destinatari stessi. Per

analizzare la variazione dei costi della consegna dell'ultimo miglio in relazione alla disponibilità dei destinatari nei siti di ricezione designati, hanno sviluppato un modello del problema del commesso viaggiatore (TSP).

Basandosi su una valutazione dei costi, gli autori hanno stabilito le tariffe che i destinatari e i corrieri dovrebbero pagare, rispettivamente, secondo il principio del pagamento da parte del beneficiario. In altre parole, il costo del servizio di caselle di ritiro varia in base ai termini della consegna espresso e all'incertezza sulla presenza dei destinatari nei siti di ricezione designati.

Le analisi empiriche degli autori hanno rivelato che il valore del servizio di caselle di ritiro varia in base alla presenza dei destinatari e alle condizioni della consegna espresso. Questo studio fornisce una base fondamentale per la tariffazione dei servizi di caselle di ritiro, consentendo ai fornitori di addebitare i corrieri o i destinatari in modo equo.

In sintesi, il modello proposto offre una prospettiva preziosa per la gestione efficiente dei servizi di consegna dell'ultimo miglio nelle aree urbane, contribuendo a ottimizzare i costi e migliorare l'esperienza complessiva per i destinatari e i corrieri.

Il caso studio *“From home delivery to parcellockers: a case study in Amsterdam”* (Van Duin, et al. 2020), esplora l'implementazione di caselle di ritiro per pacchi come alternativa alla consegna a domicilio nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio.

L'azienda olandese **PostNL**, leader di mercato nella consegna di pacchi con una quota del 70% nei Paesi Bassi, si trova in un contesto di crescente concorrenza nel settore della consegna di pacchi. Per rimanere avanti rispetto ai concorrenti, è necessaria l'innovazione. La consegna dell'ultimo miglio, ovvero la fase finale della distribuzione dei pacchi, rappresenta l'attività logistica più costosa. La percentuale di consegne al primo tentativo di consegna è solo del 75%, contribuendo ai costi elevati.

Nel contesto della consegna dell'ultimo miglio, sono stati proposti diversi metodi innovativi, tra cui droni, veicoli a guida automatica (AGV) e biciclette. Uno dei metodi con il maggior potenziale è la consegna tramite caselle di ritiro per pacchi. Queste caselle, installate in punti strategici, consentono ai destinatari di ritirare i pacchi in modo autonomo, riducendo la necessità di consegne a domicilio.

La domanda di ricerca formulata nello studio è: *“Come può la consegna dell'ultimo miglio essere condotta in modo più sostenibile ed efficiente dal punto di vista finanziario utilizzando caselle di*

*ritiro per pacchi?*” Gli autori hanno esaminato il potenziale delle caselle di ritiro per pacchi come alternativa alla consegna a domicilio. Le caselle di ritiro riducono i costi associati alla consegna dell’ultimo miglio e minimizzano le possibilità di mancata consegna. L’implementazione di caselle di ritiro richiede una pianificazione accurata dei siti di installazione e una gestione efficiente.

In sintesi, lo studio dimostra che le caselle di ritiro per pacchi rappresentano una soluzione promettente per migliorare l’efficienza e la sostenibilità della consegna dell’ultimo miglio nelle aree urbane, offrendo vantaggi sia per i fornitori di servizi logistici che per i destinatari.

Il testo di (Seghezzi e Mangiaracina, Investigating multi-parcel crowdsourcing logistics for B2C e-commerce last-mile deliveries 2022), d’altro canto, esamina un modello di misura delle performance nel contesto della logistica dell’ultimo miglio per le consegne B2C nell’e-commerce. Questo settore riveste un’importanza cruciale, poiché coinvolge sia l’efficienza che l’efficacia delle consegne: i costi sono elevati e i clienti online hanno aspettative rigorose in termini di livello di servizio.

Una soluzione promettente per l’ultimo miglio basata sulla logistica di crowdsourcing (CL) è il paradigma del “multi-parcel”. In questo approccio, ogni corriere effettua diverse consegne nello stesso tour, ottimizzando l’utilizzo delle risorse e riducendo i tempi di consegna. Il testo sviluppa un modello analitico che, generando la domanda dei clienti e assegnando le consegne ai corrieri, calcola i costi sia per la CL che per la tradizionale consegna con furgone.

Questo modello viene poi applicato a un caso di studio a Milano, Italia. I risultati mostrano che la CL multi-parcel comporta vantaggi significativi rispetto alla consegna tradizionale con furgone, con un risparmio di circa il 11%. Dal punto di vista accademico, questo lavoro contribuisce alla letteratura proponendo un modello che indaga le prestazioni della CL multi-parcel. Dal punto di vista gestionale, può supportare i professionisti nell’implementazione di questa soluzione innovativa per le consegne.

In sintesi, il modello di misura delle performance considerato in questo studio offre una prospettiva chiara sulla redditività e l’efficienza delle strategie di consegna nell’e-commerce. La logistica di crowdsourcing multi-parcel rappresenta una via promettente per migliorare l’ultimo miglio, ottimizzando le risorse e soddisfacendo le esigenze dei clienti in modo più efficiente.

Un altro studio che tiene in considerazione i servizi di consegna business-to-consumer (B2C) è il testo di (Gevaers, Van de Voorde e Vanelslander 2014) che affronta le problematiche legate a una fase della logistica spesso costosa, inquinante e inefficiente.

L'obiettivo principale del testo è comprendere gli effetti dei cambiamenti nei driver di costo sull'ultimo miglio in aree urbane, sia dal punto di vista economico che ambientale. Utilizzando dati provenienti dalla letteratura accademica e interviste con esperti, è stato creato un modello di calcolo dei costi per stimare i costi dell'ultimo miglio per unità consegnata. Il modello tiene conto di variabili indipendenti legate alle caratteristiche dell'ultimo miglio; tali caratteristiche considerate dagli autori comprendono fattori come la densità urbana, la tipologia di consegna (a domicilio o presso un punto di ritiro) e l'uso di tecnologie innovative. Inoltre, il testo esplora come questi fattori influenzino le aree urbane. Ad esempio, la densità urbana può rendere più difficile la consegna, ma l'innovazione tecnologica potrebbe aiutare a superare queste sfide. Sono state svolte varie simulazioni e, tramite queste, è stato possibile stimare i costi totali dell'ultimo miglio per ciascuna unità consegnata e questo approccio consente di valutare gli effetti economici e ambientali dei cambiamenti nei driver di costo.

In sintesi, il testo offre un quadro completo delle sfide e delle opportunità nell'ultimo miglio della logistica B2C, con un focus sulle implicazioni urbane e sui costi associati.

Un altro aspetto riguarda l'esplosione del commercio elettronico che ha reso più complessa l'organizzazione delle operazioni di logistica dell'ultimo miglio negli ambienti urbani. In questo contesto, i veicoli aerei senza pilota (UAV), noti anche come droni di consegna, e i dispositivi di consegna autonomi a terra (GADDs) mostrano grandi potenzialità (come discusso all'interno dell'articolo (Lemardele, et al. 2021).

L'obiettivo di questo studio è fornire spunti strategici per abbinare adeguatamente queste tecnologie autonome a determinate caratteristiche delle città e definire variabili decisionali rilevanti. Utilizzando equazioni di approssimazione continua, vengono stimati i costi operativi e le esternalità indotte da:

- a) GADDs in associazione con un centro di consolidamento urbano (UCC)
- b) droni di consegna lanciati da camion.

Successivamente, le formulazioni matematiche sviluppate vengono applicate a due casi d'uso diversi: una parte della periferia di Parigi (Francia) e il centro storico di Barcellona (Spagna).

Nelle regioni di servizio meno dense e più ampie, come la periferia di Parigi, i droni di consegna lanciati da camion sono più adatti a ridurre i costi operativi dei corrieri. Nei quartieri più densi, come il centro storico di Barcellona, ci si aspetta che i GADDs siano più redditizi dal punto di vista economico. In entrambi i casi, i GADDs genererebbero meno esternalità. Infine, considerando l'alta

incertezza di alcuni parametri di input, viene effettuata un'analisi di sensibilità dei modelli al fine di verificare la robustezza delle conclusioni e identificare le variabili più significative.

Questo studio offre una visione chiara delle opportunità offerte dai droni e dai dispositivi di consegna autonomi a terra per migliorare l'efficienza della logistica dell'ultimo miglio nelle città moderne.

Il testo *“Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles”* (Miguel A. Figliozzi 2020) affronta una questione cruciale nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio: come ridurre le emissioni di carbonio associate alle consegne, soprattutto in un contesto di crescita esponenziale del commercio elettronico e delle consegne di pacchi.

L'autore esamina l'efficienza dei veicoli autonomi (senza conducente) sia nell'aria che a terra, concentrandosi su tre tipi di veicoli:

1. **Droni o veicoli aerei senza pilota (UAVs):** Questi piccoli veicoli aerei possono consegnare pacchi direttamente ai destinatari, riducendo la necessità di veicoli su strada.
2. **Robot di consegna autonomi sul marciapiede (SADRs):** Questi robot operano sulle strade pedonali e possono consegnare pacchi in modo efficiente.
3. **Robot di consegna autonomi su strada (RADRs):** Questi veicoli a guida autonoma operano su strade e possono gestire carichi più pesanti rispetto ai SADRs.

L'analisi si concentra su diversi aspetti:

- **Chilometri percorsi:** Gli UAV, SADRs e RADRs vengono confrontati con un furgone elettrico (e-van) e un furgone a motore a combustione interna tradizionale. I veicoli autonomi percorrono meno chilometri rispetto ai veicoli tradizionali.
- **Consumo di energia:** L'efficienza energetica dei veicoli autonomi viene valutata in termini di energia consumata per chilometro.
- **Emissioni di CO<sub>2</sub>:** Gli UAV, SADRs e RADRs emettono significativamente meno CO<sub>2</sub> rispetto ai veicoli convenzionali.

I risultati rivelano che i veicoli di consegna autonomi possono ridurre le emissioni di carbonio di oltre il 90% rispetto ai veicoli di consegna a motore a combustione interna tradizionali. Tuttavia, gran parte di questa riduzione è dovuta all'elettrificazione piuttosto che all'autonomia in sé. Inoltre, l'efficienza varia in base alla capacità del veicolo, alla distanza percorsa e al tipo di consegna.

In sintesi, l'adozione di veicoli autonomi per le consegne dell'ultimo miglio rappresenta una soluzione promettente per migliorare l'efficienza e ridurre l'impatto ambientale, contribuendo a soddisfare la crescente domanda di consegne più rapide e sostenibili.

Il testo di (Thomas Kirschstein 2020), trattando i veicoli senza conducente, affronta la questione della logistica nell'ultimo miglio, concentrandosi sulla comparazione tra servizi di consegna di pacchi basati su droni e quelli basati a terra. I droni sono stati oggetto di intensi studi nel settore della logistica negli ultimi anni. Questi veicoli aerei senza pilota combinano caratteristiche tecnologiche che rispecchiano le tendenze attuali nel settore dei trasporti, come l'autonomia, la flessibilità e l'agilità. Uno dei contesti di applicazione più popolari per i droni è la consegna di pacchi, soprattutto nell'ultimo miglio. Grandi aziende come Amazon stanno sperimentando l'uso dei droni per effettuare consegne rapide e ridurre i costi complessivi.

L'obiettivo principale dello studio è confrontare il consumo energetico dei droni con quello dei camion diesel ed elettrici, servendo gli stessi clienti da un deposito comune. In particolare, si analizza il sistema di consegna di pacchi stazionario basato su droni e si valuta se tale sistema sia vantaggioso dal punto di vista energetico rispetto a un sistema basato su camion.

### **Metodologia e Risultati:**

- **Modello di Consumo Energetico dei Droni:** Viene proposto un modello per descrivere la domanda energetica dei droni durante le consegne, considerando le condizioni ambientali e il percorso di volo.
- **Confronto con Camion Diesel ed Elettrici:** I risultati indicano che passare a un sistema di consegna di pacchi basato esclusivamente su droni non è vantaggioso dal punto di vista energetico nella maggior parte degli scenari. In particolare, in aree urbane con alta densità di clienti e percorsi relativamente brevi, il sistema basato su droni richiede più energia rispetto a quello basato su camion. Tuttavia, in contesti rurali con distanze maggiori tra i clienti, il



sistema basato su droni può richiedere una quantità di energia simile a quella dei camion elettrici, a condizione che le condizioni ambientali siano moderate.

Il testo in esame arriva a concludere che l'adozione di un sistema di consegna di pacchi basato solo su droni dovrebbe essere attentamente valutata, considerando sia gli aspetti energetici che quelli logistici. Sebbene i droni siano veicoli elettrici e spesso considerati ecologici, la loro efficienza energetica dipende dal contesto operativo. Pertanto, una soluzione ibrida che combini droni e camion potrebbe essere più vantaggiosa in termini di sostenibilità complessiva.

Il testo "A theoretical frame work to evaluate the traffic impact of urban freight consolidation centres" (Mepparambath, Cheah e Courcoubetis 2021) esamina la logistica nell'ultimo miglio, concentrandosi sulla logistica urbana e la movimentazione delle merci utilizzando il trasporto merci su strada. La logistica delle consegne stradali è un risultato delle attività economiche che sostengono la vita urbana, ma comporta esternalità negative come la congestione del traffico e l'inquinamento. Le aree urbane, come i centri commerciali e i distretti di vendita al dettaglio, sono particolarmente colpite dalle attività logistiche. Qui, i veicoli per le consegne spesso si scontrano con la scarsità di parcheggi, causando code di camion in attesa o parcheggio illegale sul bordo strada. Per mitigare questi impatti, sono stati proposti diversi interventi, tra cui le politiche di gestione delle consegne e i Centri di Consolidamento Urbano (UCC).

Un UCC è una struttura che consente di consolidare le consegne prima che i veicoli entrino in una zona commerciale affollata. L'obiettivo principale di questo studio è fornire un quadro teorico per prevedere l'impatto di un UCC sul numero di viaggi di consegna di merci in un distretto di vendita al dettaglio in qualsiasi città. A tal fine, viene sviluppato un modello matematico che analizza due possibili casi riguardanti la posizione di un UCC: uno in cui l'UCC è situato all'interno del distretto di vendita al dettaglio e un altro in cui è situato all'esterno.

### **Risultati e Conclusioni:**

- I risultati mostrano che il passaggio a un sistema di consegna di pacchi basato esclusivamente su droni non è vantaggioso dal punto di vista energetico nella maggior parte degli scenari. In particolare, in aree urbane con alta densità di clienti e percorsi relativamente brevi, il sistema basato su droni richiede più energia rispetto a quello basato su camion.

- Tuttavia, in contesti rurali con distanze maggiori tra i clienti, il sistema basato su droni può richiedere una quantità di energia simile a quella dei camion elettrici, a condizione che le condizioni ambientali siano moderate.
- Questo studio offre una spiegazione teorica sugli impatti del consolidamento delle merci in ambito urbano e contribuisce a una valutazione ex-ante degli UCC. Il modello può essere applicato a qualsiasi città che consideri questa iniziativa, adattando i parametri del modello alle condizioni locali.

### **3 Formulazione del Modello Matematico per le Consegne nell'Ultimo Miglio**

#### **3.1 Obiettivi del modello e definizione delle variabili e dei parametri del modello**

L'evoluzione delle dinamiche urbane e dei modelli di consumo ha posto nuove sfide nel campo della logistica dell'ultimo miglio. La consegna di merci ai destinatari finali richiede una pianificazione strategica che tenga conto non solo dell'efficienza operativa, ma anche dell'impatto ambientale e dei costi. In risposta a queste esigenze, il presente capitolo presenta un modello matematico progettato per ottimizzare le attività di consegna nell'ultimo miglio in un contesto urbano.

La formulazione del modello considera una serie di variabili e parametri, consentendo un'analisi approfondita delle complesse interazioni che caratterizzano le operazioni di consegna nell'ultimo tratto del percorso. L'obiettivo fondamentale di tale modello matematico è fornire una struttura di supporto decisionale per le operazioni di consegna nell'ultimo miglio.

Analizziamo nel dettaglio quali saranno le variabili principali e i parametri caratterizzanti il modello.

Come prima cosa, il modello mira a minimizzare il costo totale complessivo delle operazioni di consegna nell'ultimo miglio. Questo include i costi di trasporto, del personale, di utilizzo del centro di consolidamento e di altre voci di spesa variabili. L'obiettivo principale, quindi, è quello di sviluppare strategie che permettano di allocare in modo ottimale le risorse disponibili al fine di ridurre l'impatto finanziario complessivo delle operazioni di consegna.

Altro aspetto centrale da considerare nella definizione delle variabili di tale modello è l'efficienza delle rotte, e soprattutto la loro ottimizzazione. Questo obiettivo si può conseguire attraverso l'analisi delle variabili spaziali come l'area da servire e l'ubicazione del centro di consolidamento.

Il modello, quindi, si propone di individuare percorsi efficienti che minimizzino la distanza percorsa e il tempo impiegato, contribuendo così a un utilizzo più efficiente delle risorse.

Inoltre, il modello andrà a considerare un altro aspetto altrettanto importante e sicuramente di rilevanza attuale e sociale, come quello legato all'impatto ambientale. Considerando, infatti, l'attuale

attenzione per la sostenibilità ambientale, il modello cercherà di valutare l'impatto ambientale delle operazioni di consegna nell'ultimo miglio. Infatti, l'ottimizzazione delle rotte e l'efficiente utilizzo delle risorse possono contribuire a ridurre le emissioni di gas serra e il conseguente inquinamento atmosferico associati alle consegne.

Gli ultimi due aspetti di cui il modello andrà a tenere conto saranno:

- Pianificazione delle Risorse
- Miglioramento della Qualità del Servizio.

Per quando riguarda il primo punto, il modello sarà progettato per supportare la Pianificazione delle Risorse necessarie alle operazioni di consegna nell'ultimo miglio; ciò include la determinazione del numero ottimale di veicoli da impiegare, nonché l'allocazione efficace del personale e l'utilizzo del centro di consolidamento. In questo modo si andrà a massimizzare l'efficienza operativa riducendo al contempo i costi.

Per quel che concerne invece il punto legato al miglioramento della Qualità del Servizio, il modello si proporrà di migliorare la qualità complessiva del servizio di consegna. Ciò sarà raggiunto attraverso l'ottimizzazione delle variabili che influenzano direttamente l'esperienza del cliente, come il tempo di consegna e la percentuale di consegne al primo tentativo.

In sintesi, il modello matematico sviluppato ha come obiettivo principale la creazione di strategie operative e decisionali che ottimizzino le operazioni di consegna nell'ultimo miglio in modo da ridurre i costi, migliorare l'efficienza e minimizzare l'impatto ambientale.

Le prossime sezioni del capitolo presenteranno in dettaglio la formulazione del modello, le equazioni coinvolte e le implicazioni pratiche delle sue previsioni.

### 3.1.1 Formulazione matematica del modello per la gestione delle attività di consegna nell'ultimo miglio

Si intende procedere alla formulazione di tale modello matematico, sviluppando un modello analitico per la gestione delle attività di consegna nell'ultimo miglio in ambito urbano, sfruttando un centro di consolidamento.

Una prima assunzione molto importante da considerare è che il centro di consolidamento, che viene considerato nell'analisi, viene visto come una sorta di Parcel Locker.

Il Parcel Locker, o armadietto per pacchi, rappresenta una soluzione innovativa nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio. Si tratta di strutture automatiche e sicure, solitamente installate in luoghi accessibili al pubblico come centri commerciali, stazioni ferroviarie o aree residenziali.

L'obiettivo principale è semplificare e rendere più efficiente il processo di consegna e ritiro dei pacchi, migliorando l'esperienza complessiva del Cliente. Questi armadietti funzionano come punti di raccolta e distribuzione dei pacchi. I corrieri depositano i pacchi negli armadietti ed i destinatari ricevono un codice di accesso tramite SMS o e-mail. Utilizzando tale codice, i destinatari possono aprire l'armadietto corrispondente e ritirare comodamente il proprio pacco in qualsiasi momento, 24 ore su 24.

Nel contesto della logistica dell'ultimo miglio, l'utilizzo dei Parcel Locker offre diversi vantaggi:

1. contribuisce a ridurre i tempi di consegna, consentendo ai corrieri di raggruppare le spedizioni in un unico luogo accessibile e cioè ottimizza le operazioni di distribuzione dei pacchi specialmente in zone ad alta densità abitativa;
2. fornisce maggiore flessibilità ai destinatari, potendo questi ritirare i pacchi quando è più comodo per loro, evitando il rischio di mancate consegne;
3. migliora la sicurezza delle consegne, riducendo il rischio di smarrimenti o danneggiamenti dei pacchi, poiché vengono custoditi in ambienti sicuri e monitorati.

Questo sistema si inserisce perfettamente nella tendenza di digitalizzazione e automazione della logistica, migliorando l'efficienza complessiva delle operazioni legate all'ultimo miglio. In sintesi, il Parcel Locker si presenta come una soluzione logistica innovativa e orientata in modo pratico a beneficio sia dei corrieri che dei destinatari, migliorando l'intero processo di distribuzione delle merci.

Il modello che si svilupperà in questa sede è un modello che sostanzialmente va ad effettuare una valutazione del costo totale riguardo tutte le attività pertinenti alla fase di last mile.

Analizzando la parte del modello relativa al costo totale avremo che il costo totale sarà composto da tre voci principali:

- 1) Il costo relativo al trasporto **C\_ trasporto**, ovvero il costo che include tutti gli oneri dovuti al trasporto durante la fase di last mile.

Il costo legato al trasporto viene espresso dalla seguente relazione:

$$C\_trasporto = [\alpha (F\_trasporto * D)]$$

dove:

- C\_ trasporto è il costo totale per il trasporto dei pacchi nell'ultimo miglio
- Il fattore  $\alpha$  è un coefficiente denominato grado di congestione
- F\_ trasporto è il cosiddetto Fattore di costo per unità di distanza percorsa nel trasporto dei pacchi
- D è la distanza percorsa nell'ultimo miglio

Il costo di trasporto, infatti, sarà funzione del consumo del carburante, utilizzato per il veicolo con cui si effettua il trasporto. Di conseguenza, il costo varierà in funzione del carburante utilizzato dal veicolo per effettuare il trasporto delle merci e, pertanto, aumenterà in zone trafficate a causa della complessa circolazione in ambienti urbani.

- 2) la seconda componente del costo totale sarà determinata dal costo associato allo sviluppo ed all'utilizzo del centro di consolidamento, espresso quindi dalla seguente relazione:

$$C\_centro = \text{costi fissi} + \text{costi variabili}$$

dove:

- costi fissi: mantenimento dell'UCC in funzione e stipendio dipendenti all'interno dell'UCC
- costi variabili: costi di stoccaggio pacco

Pertanto, il costo totale sarà dato dalla seguente formula:

$$C_{\text{totale}} = C_{\text{trasporto}} + C_{\text{centro}}$$

Combinando, quindi, le varie relazioni legate alle quattro componenti, si otterrà la seguente relazione che regola l'andamento del costo totale, in funzione delle variabili appena descritte:

$$C_{\text{totale}} = (\alpha * D * \text{costo carburante}) + F_{\text{centro}} \text{ (€/al mese*pezzo)}$$

Riassumendo nella definizione del modello sul Costo totale per le attività di consegna dell'ultimo miglio, si sono assunte le seguenti variabili utili per lo sviluppo del modello stesso:

Definizione delle variabili:
$C_{\text{totale}}$ : Costo totale per le attività di consegna nell'ultimo miglio.
$D$ : Distanza totale percorsa per le consegne nell'ultimo miglio
$dc$ : distanza percorsa all'interno della zona per effettuare il giro di consegne

$d_{LH}$ : distanza necessaria a raggiungere la zona di competenza partendo dal deposito e per il ritorno
$d$ : distanza tra due consegne successive
$c$ : num consegne fatte da un veicolo nella zona considerata in esame
$V$ : Volume totale dei pacchi da consegnare nell'ultimo miglio.
$A$ : Area da servire con le attività di consegna nell'ultimo miglio.
$AM$ : Area UCC
$N_1$ : numero di veicoli
$N$ : Numero (domanda) di consegne al giorno
$C_{trasporto}$ : Costo totale per il trasporto dei pacchi nell'ultimo miglio.
$C_{personale}$ : Costo totale del personale coinvolto nelle attività di consegna.
$C_{centro}$ : Costo totale associato allo sviluppo e all'utilizzo del centro di consolidamento.
$p$ : costo in euro del pezzo
$n$ : numeri di pezzi gestiti in un giorno
$\delta$ : densità di consegna $\delta=N/km^2$



Tali variabili modificate possono determinare variazioni sul costo totale e possono portare a valutazioni diverse nell'ambito dell'efficienza del sistema.

Facciamo ora alcune assunzioni, riguardo i coefficienti che danno una stima dei carburanti utilizzati e dei loro costi, in base all'andamento dei prezzi sul mercato.

La tabella riporta i parametri ipotetici ed i rispettivi valori considerati:

Parametri ipotetici:
F_ trasporto elettrico: <b>costo elettricità (€/kWh) <math>\approx 0,24\text{€/kWh}/\text{consumo al kwattora} \approx 0,7\text{km/kWh}</math>--&gt;</b>
F_ trasporto benzina: Fattore di costo per unità di distanza percorsa nel trasporto dei pacchi. (Es: costo del carburante, manutenzione del veicolo, assicurazione del veicolo) --> <b>costo carburante (€/l) <math>\approx 1,89\text{€/l}/\text{consumo energetico (km/l)} \approx 3,3\text{km/l}</math>--&gt;</b>
F_ trasporto gas: Fattore di costo per unità di distanza percorsa nel trasporto dei pacchi. (Es: costo del carburante, manutenzione del veicolo, assicurazione del veicolo) --> <b>costo carburante (€/l) <math>\approx 0,61\text{€/l}/\text{consumo energetico (km/l)} \approx 3,3\text{km/l}</math>--&gt;</b>
F_ trasporto diesel: Fattore di costo per unità di distanza percorsa nel trasporto dei pacchi. (Es: costo del carburante, manutenzione del veicolo, assicurazione del veicolo) --> <b>costo carburante (€/l) <math>\approx 1,91\text{€/l}/\text{consumo energetico (km/l)} \approx 3,3\text{km/l}</math>--&gt;</b>
F_ centro: Fattore di costo per lo sviluppo e l'utilizzo del centro di consolidamento. (Es: 1000 euro/mese)
costo mantenimento in ucc: si è considerato un costo fisso.

$\alpha$ : grado di congestione (valore che può andare da 1= strada senza traffico a 2=strada bloccata dal traffico. 2 inteso come raddoppio del tempo di percorrenza).  $1 \leq \alpha \leq 2$

Inoltre, sono state fatte le seguenti assunzioni:

- La densità di consegna si misura come  $N/A$ , dove  $A$  è l'area di servizio totale, che assumiamo essere l'area sud del comune di Torino.  
Assumiamo inoltre che ogni distretto abbia la stessa densità di consegna, lo stesso numero di stop ( $C$ ) e quindi la stessa area  $C/\delta$ . Infatti, nel costo di trasporto viene inserita anche questa variabile perché viene reputato indicativo il fatto che, se si consegna in un'area densamente popolata, si avrà un carico maggiore all'interno del camion e, di conseguenza, un consumo maggiore nelle consegne al centro postale utilizzato.
- il costo di mantenimento dell'ucc si considererà per semplicità, come costo fisso
- **D: Distanza totale percorsa per le consegne nell'ultimo miglio.-->((2\* $\rho$ )/C)+(0,57/RADQ( $\rho$ )) (dipende da punto di partenza, quanto è grande l'area, quanti pacchi)-->modello analitico di Daganzo dove:**

**$\rho$ : distanza tra il centro di distribuzione ed i baricentri delle sotto-aree in cui suddividi l'area di servizio tra i vari mezzi.**

**C: numero di stop per mezzo o numero di fermate del mezzo durante il tragitto**

- **dLH: distanza necessaria a raggiungere la zona di competenza partendo dal deposito e per il ritorno-->viene calcolato tramite googlemaps ipotizzando i confini ed essendo noto il deposito**

Per il calcolo della distanza totale percorsa per le consegne nell'ultimo miglio  $D$  si è andato ad utilizzare il modello analitico di Daganzo (Daganzo 1984).

La formula di Daganzo è una formula che permette di calcolare la distanza tra punti di un percorso e, sotto certe specifiche ipotesi, consente di calcolare la distanza in una maniera veloce e semplice, avendo un risultato molto preciso.

Tale distanza, dipende dal punto di partenza, da quanto grande è l'area e dal numero di pacchi che dovranno essere consegnati nel periodo considerato.

La formula che è stata implementata nel modello è la seguente:

$$L(A) / N = 2 \rho / C + 0.57 \delta^{-1/2}$$

Avendo le seguenti grandezze:

A: area di servizio

L: distanza totale percorsa da tutti i mezzi che servono l'area di servizio A

N: numero di stop totale

C: numero di stop per mezzo o numero di fermate del mezzo durante il tragitto

N/C: numero di mezzi totali

$\rho$ : distanza tra il centro di distribuzione ed i baricentri delle sotto-aree in cui suddividi l'area di servizio tra i vari mezzi

$\delta$ : densità di consegna data dal rapporto tra numero di punti di consegna nella giornata e l'area di interesse (Torino sud)

Vediamo da dove nasce tale formula di Daganzo e sotto quale ipotesi essa si può applicare.

Tale formulazione nasce con l'intento di spiegare come la lunghezza attesa dei viaggi dei venditori itineranti cambi con la forma della zona. Per fare ciò, viene presentata una semplice strategia che produce tour ottimali del commesso viaggiatore. I tour risultanti sono subottimali, ma sembrano essere vicini a quelli che possono essere ottenuti a mano. Pertanto, le formule fornite possono anche essere indicative della lunghezza dei tour costruiti con strategie migliori.

Tali risultati sono molto utili per la progettazione dei sistemi di distribuzione.

La maggior parte della ricerca sui viaggi del commesso viaggiatore può essere classificata in due categorie ben definite.

- Gli sforzi di ricerca prescrittivi, che cercano di derivare algoritmi per la costruzione di tour ottimali o quasi ottimali

- gli sforzi descrittivi, che cercano, invece, di fornire formule della lunghezza in diverse condizioni (Eilon, et al.,1971).

Nonostante tutte queste ricerche, sembra che sia stato fatto poco per esplorare l'impatto che può avere la forma della zona sulle strategie di costruzione di un buon percorso seguito e sulla sua lunghezza.

Il lavoro di ricerca di Daganzo cerca proprio di andare a colmare questa lacuna, andando a considerare l'interazione tra la densità dei punti, la forma delle zone e la lunghezza del giro.

La formulazione emerge partendo da alcune teorie circa i viaggi e le approssimazioni che si possono fare sui percorsi dal punto di partenza al punto di arrivo.

Tra le teorie di partenza, vi sono le seguenti:

- viaggi unidirezionali in una striscia
- Lunghezza del giro in zone di forma diversa
- Formule di lunghezza del giro

Pertanto, tale teoria presenta una semplice strategia che può essere utilizzata per costruire buoni tour in zone di forma irregolare senza l'aiuto di una routine di calcolo. Il vantaggio principale della sua semplicità è che le lunghezze dei tour possono essere stimate con accuratezza in zone di forma diversa.

La teoria si concentra principalmente su rettangoli con densità uniforme di punti, ma si potrebbero esplorare anche altre forme e modelli. Le irregolarità nella forma delle zone o nella densità dei punti, non impediscono l'utilizzo della strategia, poiché la distanza tra i punti del giro è influenzata solo dalla larghezza.

Tra le possibili applicazioni della strategia e delle formule di questo modello vi sono:

- (i) Progettazione del percorso per una flotta di veicoli di distribuzione
- (ii) Progettazione di un sistema di trasporto a chiamata ai checkpoint
- (iii) Ottenere risultati di buoni tour iniziali per algoritmi di costruzione di tour più complessi.

Riassumendo quindi, nel paper di Daganzo, la formula centrale riguarda la lunghezza attesa  $D$  del percorso del venditore ambulante.

La formula base è:

$$D=N*d,$$

dove:

D: rappresenta la lunghezza attesa del percorso,

N: è il numero di punti nella zona,

d: è la distanza attesa tra due punti consecutivi nel percorso.

La distanza attesa “d” tra due punti dipende dalla forma della zona e dalla metrica utilizzata. In particolare, se consideriamo una striscia di larghezza W contenente punti distribuiti casualmente, la distanza attesa tra due punti consecutivi nella striscia è rappresentata da d e w.

Nel complesso, la formula di Daganzo si basa su concetti chiave come la lunghezza attesa, la distanza tra i punti in una striscia e l'ottimizzazione della larghezza della striscia, fornendo così una base teorica per comprendere come la forma della zona e la distribuzione dei punti influenzino la lunghezza attesa dei percorsi del venditore ambulante.

Pertanto, sotto certe ipotesi, considerando l'area di consegna come un rettangolo di lati x e X con  $x \leq X$  è possibile utilizzare la seguente formula:

$$d = (\sqrt{x})/6 + 2/(\sqrt{x}) * \psi(x/4) \quad \text{se } x < 12$$

$$d = 0,9 \quad \text{se } x \geq 12$$

il valore “12” rappresenta per Daganzo, la miglior distanza calcolabile ed è quella che contiene all'interno di un quadrato di lato “l” una media di 12 punti.

Tuttavia, il valore di 0.9 non è riferito alla distanza tra punti di consegna, ma ad una funzione  $\varphi(x)$  dove x è il rapporto tra densità di consegna e il quadrato della lunghezza del lato più corto del rettangolo.

0.9 si trova solo nel caso in cui  $\delta * 12 \geq 12$ .

In generale, come accennato in precedenza, è possibile applicare l'equazione più generale del paper di Daganzo, che vale per numeri molto elevati di N (numero di stop totali) e C (numero di stop per mezzo):

$$L(A) / N = 2 \rho / C + 0.57 \delta^{-1/2}$$

Avendo le seguenti grandezze:

A: area di servizio

L: distanza totale percorsa da tutti i mezzi che servono l'area di servizio A

N: numero di stop totale

C: numero di stop per mezzo o numero di fermate del mezzo durante il tragitto

N/C: numero di mezzi totali

$\rho$ : distanza tra il centro di distribuzione ed i baricentri delle sotto-aree in cui suddividi l'area di servizio tra i vari mezzi

$\delta$ : densità di consegna data dal rapporto tra numero di punti di consegna nella giornata e l'area di interesse (Torino sud)

Tale formula ha sicuramente una validità più generale e consente di avere una buona approssimazione sulla stima della distanza, in base al percorso seguito.

### 3.1.2 Descrizione dell'algorithmo utilizzato

In definitiva, il modello che si è andato a creare è stato il seguente:

Formulazione matematica di Daganzo per il calcolo della distanza
$L / N = 2 \rho / C + 0.57 * \delta^{-1/2}$
$(L/N) = (2 * \rho) / C + 0.57 * \delta^{-1/2}$

Formulazione matematica del costo totale:
$C_{\text{totale}} = C_{\text{trasporto}} + C_{\text{personale}} + C_{\text{centro}}$
$C_{\text{trasporto}} = [(F_{\text{trasporto}} * D)] \text{ --> (es. il consumo del carburante aumenta in zone trafficate)}$
$C_{\text{centro}} = F_{\text{centro}} * A$

Questa è stata la routine di calcolo che si è impostata:

- 1) Calcolo della distanza per mezzo della formulazione matematica di Daganzo.
- 2) Valutazione del costo di trasporto e quindi del costo totale, per mezzo della distanza di Daganzo.
- 3) Valutazione del costo di trasporto e quindi del costo totale, per mezzo della distanza dal centro di distribuzione di Grugliasco/Orbassano all'UCC.
- 4) Valutazione degli impatti ambientali tra veicoli che consegnano all'UCC e veicoli che effettuano il giro completo dei clienti finali.



Assunzione dei valori e calcolo delle grandezze appena descritte fino ad arrivare a dei risultati soddisfacenti.

I dati di input, rispettivamente, per il calcolo della distanza e del costo totale, sono stati i seguenti:

Parametri	Valori
abitanti nord ovest	15817057
pacchi al trimestre nord ovest	160000000
pacchi al mese nord ovest	53333333,33
pacchi a persona al mese	3,371887282
abitanti torino	844048
pacchi al mese a torino	2846034,716
pacchi al giorno a torino	94867,82388
HP: divido consegne nord e sud torino. pacchi consegnati al giorno sud torino	47433,91194
HP: tre provider che consegnano da grugliasco/orbassano. Pacchi a provider al giorno da consegnare	15811,30398
volume iveco daily (m <sup>3</sup> )	12
volume medio pacco da consegnare (m <sup>3</sup> )	0,092
numero pacchi trasportabile da iveco	130,4347826

DA DAGANZO: numero di veicoli/distretti per consegne al giorno	121,2199972
area torino sud (km <sup>2</sup> )	54,1
DA DAGANZO: area di servizio di un veicolo (km <sup>2</sup> )	0,446296001
densità di abitanti torino (ab. /km <sup>2</sup> )	6492,18
numero di abitanti nell'area di servizio di un veicolo	2897,433973
pacchi consegnati nell'area di servizio al mese	9769,820762
numero di pacchi al giorno per provider nell'area di servizio	108,553564

Andando quindi ad assumere i seguenti dati all'interno del modello, i risultati per il costo totale e per le varie componenti di costo sono riportati nell'analisi di sensitività svolta nel capitolo 4.

## 4 Risultati modello e analisi di sensitività

### 4.1 Importanza del trasporto veicolare urbano

L'analisi del trasporto veicolare costituisce un pilastro fondamentale nella comprensione degli aspetti legati ai costi e all'efficienza del trasporto su strada. Attraverso l'esame delle dinamiche veicolari, si delinea un quadro dettagliato delle variabili chiave che influenzano il successo e l'ottimizzazione delle operazioni logistiche. La varietà di veicoli, carichi e modalità di trasporto sottolinea l'importanza di considerare molteplici sfaccettature, specialmente nell'ultimo miglio. Ogni tipo di veicolo introduce elementi unici da ponderare per raggiungere una soluzione ottimale, mentre la diversità dei carichi aggiunge complessità alla pianificazione e all'esecuzione delle consegne.

La modalità di trasporto, che può variare da veicoli convenzionali a quelli elettrici, evidenzia la necessità di approcci innovativi per affrontare le sfide logistiche attuali. La tecnologia e la sostenibilità emergono come fattori determinanti nella progettazione di soluzioni efficienti, ponendo l'attenzione su veicoli a basse emissioni e modalità di trasporto più ecologiche.

Questo approccio integrato all'analisi del trasporto veicolare è particolarmente rilevante per l'analisi in questione, dove la complessità raggiunge l'apice a causa della vicinanza alle aree urbane, del traffico congestionato e della necessità di tempi di consegna rapidi. L'enfasi su veicoli di diverse dimensioni, capacità e propulsioni permette di adattare le strategie logistiche alle specifiche esigenze dell'ultimo tratto del percorso di consegna.

In un contesto più ampio, dove la logistica è cruciale per l'efficienza aziendale e la soddisfazione del cliente, questa analisi diventa ancora più rilevante. Con il crescente impatto del commercio online e le sfide aggiuntive introdotte dalla pandemia di SARS-COVID, comprendere le dinamiche del trasporto su strada è diventato essenziale per mantenere una catena di approvvigionamento efficiente e resiliente.

L'analisi del "F\_trasporto" (costo del trasporto) rivela un panorama intricato di variabili fondamentali nella gestione dei flussi di merci. La dipendenza da tipo di strada e carico trasportato offre una prospettiva critica sulla complessità del settore, fornendo un punto di partenza cruciale per strategie logistiche mirate ed efficienti.

La varietà di strade, che può spaziare da autostrade a strade urbane, implica differenze significative nelle condizioni di percorrenza. Le autostrade consentono velocità più elevate ma possono comportare pedaggi ingenti, mentre le strade urbane, con il loro traffico congestionato, influenzano il tempo di viaggio e di conseguenza il costo totale del trasporto.

La dipendenza dal carico trasportato aggiunge un ulteriore livello di complessità. La variazione nelle dimensioni e nei pesi delle merci comporta differenti richieste di risorse e potrebbe influire sulla scelta del veicolo più idoneo. La gestione di carichi più pesanti potrebbe richiedere veicoli con una capacità di carico maggiore, ma ciò potrebbe comportare costi operativi e di consumo più elevati, influenzando direttamente il "F\_trasporto".

Questo concetto riveste un'importanza particolare nell'attuale panorama logistico, caratterizzato, come affermato precedentemente, dall'impetuoso aumento del commercio online. La crescente domanda di spedizioni rapide e consegne su vasta scala ha posto sotto i riflettori l'efficienza della logistica, rendendo cruciale la comprensione dei costi associati al trasporto. Gli eventi storici e socio-culturali avvenuti negli ultimi anni, hanno ulteriormente accentuato questa importanza, imponendo restrizioni e generando impatti significativi sulle catene di approvvigionamento, evidenziando la necessità di strategie logistiche più agili e facilmente modificabili in breve tempo.

La considerazione del "F\_trasporto" acquisisce, quindi, un ruolo centrale nell'affrontare le sfide della logistica moderna. L'analisi delle variabili che lo compongono non solo fornisce una comprensione più approfondita delle dinamiche logistiche, ma apre anche la strada a soluzioni innovative e adattabili alle mutevoli condizioni del mercato. La flessibilità nell'approccio alla gestione dei costi del trasporto diventa cruciale per rimanere competitivi e soddisfare le esigenze crescenti del consumatore in un contesto sempre più complesso.

L'analisi del camion di medie dimensioni, pesante tra le 3,5 e le 7 tonnellate, costituisce un punto di partenza per esplorare le dinamiche del trasporto su strada. Le caratteristiche del veicolo, come il consumo di carburante e il costo associato, evidenziano una relazione diretta tra la velocità di spostamento e il costo del trasporto. La variabilità di questi parametri è cruciale, poiché la velocità influisce sui tempi di consegna e sui costi operativi, aspetti essenziali nel contesto logistico attuale.

L'utilizzo di un furgone di medie dimensioni, si presenta come un'alternativa più compatta ed efficiente. La riduzione dei consumi in veicoli più piccoli può essere analizzata da diverse prospettive, inclusa la minore massa del veicolo e la componente aerodinamica ridotta. Questi aspetti sono critici

nel contesto attuale, in cui la sostenibilità e l'efficienza ambientale sono centrali nelle strategie di trasporto e logistica.

In conclusione, l'analisi di furgoni di medie dimensioni rivela connessioni fondamentali tra il consumo di carburante, la dimensione del veicolo e il costo di utilizzo. Questa riflessione va oltre l'osservazione superficiale dei numeri, gettando luce sulle dinamiche complesse che definiscono il panorama del trasporto su strada. Tale comprensione è essenziale per adottare approcci più intelligenti e sostenibili nella gestione della logistica, specie quando si considera il sempre più rilevante contesto dell'ultimo miglio e la necessità di adattarsi alle sfide emergenti nel settore.

L'analisi del furgone specifico, l'Iveco Daily, aggiunge un ulteriore strato di profondità alla comprensione delle dinamiche del trasporto su strada, particolarmente rilevante quando si esplorano veicoli destinati al trasporto del last mile. Con un peso inferiore a 550 kg, l'Iveco Daily dimostra una significativa riduzione dei consumi, attestandosi a circa 12-13 km/l. Questa osservazione evidenzia con forza l'importanza cruciale del peso nel determinare l'efficienza del trasporto su strada, un concetto di fondamentale rilevanza in un contesto logistico in continua evoluzione.

La correlazione stretta tra il peso del veicolo e l'efficienza del consumo offre un insight prezioso, soprattutto quando si valutano veicoli destinati al trasporto. Questa connessione non solo sottolinea l'impatto diretto del peso sulla quantità di carburante necessaria per muoversi, ma solleva anche considerazioni importanti sulla sostenibilità e sull'efficienza operativa. La riduzione dei consumi nel furgone leggero come l'Iveco Daily può essere attribuita a diversi fattori chiave, anche in questo caso, come la minore massa del veicolo e la riduzione della resistenza dell'aria, critici nel contesto attuale in cui la sostenibilità ambientale è sempre più centrale nelle strategie di trasporto e logistica.

Questa analisi è particolarmente rilevante in condizioni logistiche legate ad aree urbane, che, unitamente alla necessità di effettuare consegne più frequenti rendono cruciale la massimizzazione dell'efficienza. Veicoli come l'Iveco Daily, grazie alla loro leggerezza e alle prestazioni ottimizzate in termini di consumi, si presentano come soluzioni ideali per affrontare le specifiche sfide di questa fase critica del processo di consegna.

Inoltre, nel contesto più ampio della logistica urbana, l'ottimizzazione del peso nei veicoli del trasporto può contribuire significativamente a ridurre l'impatto ambientale, limitando le emissioni e migliorando la sostenibilità complessiva delle operazioni di consegna.

In conclusione, l'analisi dell'Iveco Daily sottolinea la rilevanza critica del peso nel determinare l'efficienza del trasporto su strada, con implicazioni dirette sulle prestazioni ambientali e operative. Questo dettaglio è particolarmente cruciale quando si progettano strategie di trasporto nell'ambito del crescente focus sulla sostenibilità e nell'affrontare le sfide specifiche legate al trasporto del last mile. Veicoli leggeri e efficienti come l'Iveco Daily si presentano come risorse preziose per affrontare in modo ottimale queste sfide, fornendo un contributo significativo al panorama in evoluzione della logistica urbana.

L'esame del furgone elettrico IVECO, l'eDaily, rappresenta un cambio significativo, rispetto le precedenti soluzioni adottate, nell'analisi dei veicoli destinati al trasporto dell'ultimo miglio, portando in primo piano la sostenibilità e l'efficienza energetica come elementi chiave. Il passaggio del consumo da 0,7 km/kWh a circa 5 km/kWh, tenendo conto del peso massimo di carico di circa 530 kg, evidenzia in modo tangibile l'efficienza energetica distintiva dei veicoli elettrici.

Questa transizione indica una significativa riduzione nella quantità di energia richiesta per percorrere una determinata distanza, sottolineando il potenziale di risparmio energetico offerto dalla tecnologia elettrica. In particolare, la considerazione del peso massimo di carico diventa cruciale in questo contesto. Nonostante il carico aggiuntivo, questo furgone elettrico mantiene un elevato standard di efficienza, confermando che la propulsione elettrica è in grado di gestire carichi significativi mantenendo comunque un rendimento notevole.

Questo dettaglio è particolarmente rilevante quando si affrontano le sfide specifiche legate al trasporto, dove la capacità di trasportare merci in modo efficiente e sostenibile è essenziale. L'efficienza energetica dell'Iveco eDaily non solo dimostra i progressi tecnologici nel campo dei veicoli elettrici, ma offre anche un'opportunità significativa per affrontare le problematiche ambientali associate ai trasporti su strada.

La riduzione delle emissioni di gas serra e l'eliminazione delle sostanze inquinanti sono aspetti che si allineano con l'urgente necessità di adottare soluzioni di trasporto più sostenibili a livello globale. Nel contesto della logistica, dove l'accesso ai centri urbani e la limitata disponibilità di spazio impongono restrizioni significative, i veicoli elettrici come quello considerato si pongono come risorse preziose. La loro capacità di muoversi in modo silenzioso e con zero emissioni locali non solo contribuisce alla riduzione dell'inquinamento atmosferico, ma offre anche una soluzione ideale per operare in ambienti urbani densamente popolati senza compromettere la qualità dell'aria.

Inoltre, l'analisi del consumo energetico del veicolo analizzato sottolinea la necessità di un'infrastruttura di ricarica adeguata per sostenere l'adozione su larga scala di veicoli elettrici. Investimenti in stazioni di ricarica veloci e accessibili diventano cruciali per garantire un utilizzo ottimale di veicoli elettrici nella logistica urbana, riducendo i tempi di inattività e massimizzando l'efficienza operativa.

In conclusione, l'analisi condotta sull'Iveco eDaily indica la possibilità di una nuova fase evolutiva nella logistica, con un'evidenza delle potenzialità e dei benefici associati ai veicoli elettrici. La necessità di una transizione verso soluzioni sostenibili e ad alte prestazioni risulta cruciale per affrontare le sfide ambientali e operative connesse alla logistica urbana, confermando che la sostenibilità e l'efficienza energetica rappresentano fattori critici nell'evoluzione del trasporto su strada. I veicoli elettrici si configurano come protagonisti in questa trasformazione, offrendo una prospettiva promettente per il futuro della logistica.

Questa analisi manifesta degli evidenti limiti, poiché si concentra esclusivamente sull'ambito logistico. Come prossimi passi di analisi, sarebbe opportuno esaminare le possibili fonti di approvvigionamento energetico per la ricarica dei veicoli considerati. Le conclusioni risultanti potrebbero notevolmente differire nel caso in cui si analizzasse l'origine energetica dei combustibili utilizzati, magari mediante un'analisi del ciclo di vita (LCA), rappresentando un approfondimento essenziale per valutare in modo più completo l'impatto complessivo delle scelte energetiche. Si suggerisce lo spunto per ulteriori ricerche nell'ambito.

## 4.2 Analisi di sensitività

Al fine di verificare l'effettivo risparmio in termini di costi, chilometri effettuati durante l'anno per le consegne e di emissioni di CO<sub>2</sub> da parte dei veicoli utilizzati per la consegna, è stata svolta un'analisi di sensitività, andando a valutare il costo del trasporto, dapprima considerando la distanza calcolata tramite il metodo di Daganzo e, successivamente, considerando la distanza tra il centro di distribuzione presente a Grugliasco e l'ipotetico UCC posizionato nei pressi del politecnico di Torino. Per poter svolgere questa analisi è stato necessario reperire i dati relativi alla densità di popolazione nel centro urbano di Torino e i dati relativi al numero di pacchi consegnati nell'area; oltre alle assunzioni descritte in precedenza sono state fatte le altre seguenti assunzioni:

- poiché il politecnico si trova nell'area sud di Torino è stato preso in considerazione il centro di distribuzione che si trova nei pressi di Grugliasco / Orbassano nel quale si possono identificare i centri di distribuzione dei maggiori provider logistici (Amazon, Bartolini, GLS) che servono l'area sud di Torino.
- L'area sud di Torino è stata stimata tramite una ricerca sul web, considerando le aree di competenza delle circoscrizioni di Torino presenti nell'area sud; tale valore è risultato essere pari a 54,1 km<sup>2</sup>.
- Sono stati presi in considerazione tre provider logistici per i quali è stato possibile dividere la domanda di pacchi consegnati nell'area sud di Torino.
- È stato preso in considerazione come mezzo di trasporto per la nostra analisi il camion Iveco Daily da 3,5 t e con un volume pari a 12 m<sup>3</sup>.
- È stato assunto un costo medio del personale pari a 1644 € al mese.
- È stato considerato un pacco di medie dimensioni pari a 59 × 39 × 40 che occupa un volume pari a 0,092 m<sup>3</sup>

Per poter arrivare a stimare il costo del trasporto, sia utilizzando la distanza calcolata tramite Daganzo, sia utilizzando la distanza calcolata tra l'UCC e il centro di distribuzione di Grugliasco, è stato necessario considerare diversi aspetti; innanzitutto sono stati considerati il numero di pacchi consegnati nel nordovest, che risultano pari a 160 milioni nel primo trimestre del 2023; tale valore è stato diviso per tre trovando così il numero di pacchi mensili consegnati nel nord-ovest d'Italia. Al fine di identificare il numero di pacchi consegnati ad ogni persona al mese nel nord ovest dell'Italia



è stato fatto il rapporto tra i pacchi consegnati ogni mese nel nordovest e il numero di abitanti presenti nella stessa area, ottenendo un valore pari a 3,37 pacchi a persona. Per poter conoscere quanti pacchi al mese vengono consegnati a Torino abbiamo moltiplicato il numero di pacchi a persona, trovato precedentemente, per il numero di abitanti di Torino, il risultato è la consegna di 2.846.034 pacchi al mese. Tale valore è stato successivamente diviso per 30 al fine di ottenere numero di pacchi al giorno consegnati a Torino che risulta essere 94.867 pacchi, Come assunto in precedenza dividiamo le consegne effettuate dai vari provider tra il Nord e il Sud di Torino; pertanto, il valore precedentemente ottenuto è diviso per due e comporta 47.433 pacchi consegnati al giorno nelle rispettive aree di Torino (nord e sud). A questo punto, conoscendo il numero di consegne che vengono effettuate nell'area sud di Torino servito dal centro di distribuzione di Grugliasco, possiamo dividere questo numero di consegne per i tre provider che sono presenti presso il centro (Amazon Bartolini e GLS), ottenendo così 15.811 pacchi a provider al giorno da consegnare nell'area sud di Torino.

Per poter definire il numero di veicoli utilizzati per le consegne al giorno è possibile utilizzare la formula di Daganzo che ci permette di delimitare quelli che lui chiama distretti e che permetteranno di dividere l'area di nostro interesse (area sud di Torino) in sotto aree di interesse. Per poter far ciò è stato necessario definire il numero di pacchi trasportabile dal veicolo (in questo caso è stato preso in considerazione l'Iveco Daily) che risulta pari a circa 130 pacchi per veicolo; questo valore è stato ottenuto dividendo la capacità dell'Iveco Daily considerato ( $12 \text{ m}^3$ ) e il volume medio di un pacco da consegnare ( $0,092 \text{ m}^3$ ). Grazie a tale valore è stato possibile quindi ottenere il numero di distretti per consegne al giorno che risulta pari al rapporto tra il numero di pacchi di ogni singolo provider da consegnare al giorno e il numero di pacchi trasportabili dal veicolo Iveco Daily, il valore ottenuto è pari a 121 distretti (veicoli). Ottenuto questo valore è stato possibile definire l'area di servizio di un veicolo per Daganzo; tale valore è dato dal rapporto tra l'area di interesse, quindi l'area sud di Torino, e il numero di distretti per consegna al giorno che porta ad avere un'area di servizio pari a  $0,446 \text{ km}^2$ . Da questo valore è stato possibile definire il numero di abitanti nell'area di servizio utilizzata per la consegna da un veicolo, tale valore è pari a 2897 abitanti presenti nell'area di servizio, questo valore si è raggiunto moltiplicando l'area di servizio coperta da un veicolo per la densità di abitanti presenti. Tramite questo valore abbiamo anche definito il numero di pacchi consegnati nell'area di servizio ogni mese moltiplicando il valore appena ottenuto per il numero di pacchi a persona consegnati, ottenendo un valore pari a 9.769 pacchi consegnati nell'area di servizio al mese. Dividendo quest'ultimo valore per 3 e per 30 è possibile trovare il numero di pacchi al giorno per provider consegnati nell'area di servizio che è pari a circa 108 pacchi.

Dopo aver definito tali valori di base si è deciso di applicare una serie di scenari al fine di verificare la presenza di un effettivo risparmio in termini di chilometri costi e impatto ambientale. Per far ciò sono stati definiti vari scenari:

- Nello scenario baseline calcoliamo il costo del trasporto annuo di un veicolo e dell'intera flotta utilizzando il valore della distanza ottenuto applicando la formula di daganzo
- Nello scenario 2 vediamo come un veicolo serve un solo distretto dove è presente l'UCC mentre tutti gli altri veicoli consegnano nei propri distretti seguendo la legge di daganzo
- Nello scenario 3 si cerca di considerare la domanda di più sotto-aree (distretti) che possono consegnare direttamente all'UCC tutto ciò legato al vincolo di capacità dell'UCC

Come riportato nel capitolo precedente, adesso passiamo alla ricerca della distanza calcolata tramite la formula di Daganzo; per far ciò abbiamo considerato le seguenti variabili:

- **Rho** che rappresenta la distanza dal centro di distribuzione di Grugliasco all'UCC, pari a 9,5 km;
- **Delta** che rappresenta il rapporto tra i punti di consegna giornalieri per provider dell'area coperta (zona sud di Torino) pari a circa 292 stop per area coperta;
- **C** che rappresenta il numero di fermate per mezzo, assimilabile al numero di pacchi contenuti all'interno di un veicolo; pertanto, come già definito può essere pari a circa 130 pacchi.

Tramite i dati ottenuti, applicando la formula di Daganzo è stato possibile ottenere la distanza media tra uno stop e un altro che risulta essere pari a 0,179 km. Tale valore è stato moltiplicato per C ottenendo i chilometri percorsi da ogni veicolo al giorno 23,34 km. Al fine di ottenere una visione più completa del modello è stato calcolato il numero di chilometri percorsi da ogni veicolo all'anno pari a 8.405 km e il numero di chilometri percorsi dall'intera flotta di veicoli nell'area di servizio al giorno pari a 2830 km; quest'ultimo risultato è stato ottenuto moltiplicando la distanza media tra uno stop e un altro di un veicolo per il numero di pacchi a provider consegnati al giorno (N). Dopo aver definito i valori è stato possibile calcolare il costo del trasporto per un singolo veicolo e per l'intera flotta di veicoli utilizzando la distanza calcolata tramite la formula di Daganzo.

Come precedentemente definito il costo del trasporto è composto dal costo del veicolo, il quale corrisponde al costo dell'autista impiegato per effettuare le consegne, a cui si somma un costo chilometrico dato dal consumo di carburante oltre ai costi accessori del mezzo, dati

dall'ammortamento del veicolo (eventuale usura di gomme). Assumendo un consumo del veicolo pari a 8,1 l/100km e un prezzo medio della benzina pari a 1,9 €/l è stato possibile definire il costo del carburante al giorno per ogni veicolo, il quale è dato dal prodotto del consumo per il prezzo e per i chilometri percorsi da ogni veicolo al giorno (D-daganzo) fratto 100 e ottenendo un valore pari a 3,59 €/gg. Da qui è stato possibile ricavare il costo del carburante all'anno per un singolo veicolo pari a 1293 €/anno. Il costo dell'autista che guida il mezzo è stato stimato, attraverso una ricerca sul web, pari a 1.644 €/al mese, che corrisponde a 19.728 €/anno. Al fine di definire i costi accessori annui, come l'ammortamento, è stato preso in considerazione il costo di un Iveco Daily pari a 35.380 € a cui è stato sottratto la differenza tra il valore iniziale decurtato del 20%, il tutto fratto 5 che rappresenta gli anni di ammortamento del mezzo, il valore ottenuto è pari a 1.815 € per veicolo. In conclusione, è possibile ottenere il costo del trasporto annuo per un veicolo dato dalla somma delle componenti precedentemente calcolate (costi accessori annui, costo autista all'anno, costo del carburante per un veicolo all'anno), ottenendo un valore pari a 22.436 €/anno. Al fine di svolgere un'analisi più completa è stato effettuato lo stesso calcolo per l'intera flotta ottenendo un valore di costo del trasporto annuo pari a 2.719.791 €/anno.

Successivamente per lo scenario due è stato calcolato il costo del trasporto per un solo distretto che consegna all'UCC. La sostanziale differenza con il calcolo precedentemente effettuato è che la distanza non viene più calcolata attraverso la formula di Daganzo bensì semplicemente come il prodotto di  $Rho \cdot 2$ , che rappresenta il percorso di andata e ritorno dal centro di distribuzione situato a Grugliasco fino all'UCC, situato in zona politecnico di Torino. Tale valore è stato definito pari a circa 19 km. Gli stessi calcoli svolti precedentemente, sostituendo il valore della distanza da 23,33 km a 19 km, permettono di evidenziare come il costo del trasporto annuo per un veicolo diminuisce fino a un valore pari a 22.195 €/anno, mentre il costo del trasporto annuo dell'intera flotta risulta essere pari a 2.719.266 €/anno. In aggiunta a questo calcolo va fatta una considerazione in più; in questo caso è stata presa in considerazione una distanza totale per tutti i 120 veicoli che seguivano la distanza calcolata tramite Daganzo e un solo veicolo che seguiva la distanza pari a 19 km dall'UCC al centro di distribuzione di Grugliasco. Come si può notare dai risultati, si evince un risparmio da un punto di vista economico e da un punto di vista di chilometri effettuati da parte del veicolo che consegna all'UCC, pertanto, si può affermare come tale veicolo sia sottoutilizzato.

Un'altra considerazione che è stata fatta all'interno di questo studio riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub> all'anno per l'intera flotta considerata. In particolare, sono state messe a confronto le emissioni di CO<sub>2</sub> tra una flotta che presenta tutti i veicoli che consegnano nei vari distretti e una flotta che presenta

un veicolo che consegna all'UCC e i restanti ai vari distretti. Nel primo caso, attraverso delle tabelle di conversione, è stato possibile definire il fattore di emissione della benzina pari a 3,152 il quale è stato moltiplicato per il consumo di carburante di un veicolo in un anno che segue la formula di Daganzo e che presenta un consumo pari a 680 l/km e pertanto comporta delle emissioni di CO2 pari a circa 2.146 kg. Nel secondo caso, utilizzando lo stesso fattore di emissione, abbiamo moltiplicato tale valore per il consumo di un veicolo in un anno che consegna all'UCC (circa 554 l/km) ottenendo un valore di emissioni di CO2 pari a circa 1.746 kg di CO2 emessi in un anno. Come si evince anche da questa analisi, l'utilizzo di un UCC permette di avere un significativo risparmio in termini di emissioni di CO2 in un anno.

Un ultimo scenario che è stato preso in considerazione è quello relativo all'utilizzo di un UCC che possa accogliere la consegna dei pacchi per più veicoli. Quello che si cerca di valutare in questo scenario è che, aumentando il numero dei veicoli che consegnano all'UCC, si abbia una diminuzione dei chilometri effettuati da tali veicoli e vi sia, di conseguenza, un effettivo risparmio in termini di chilometri, emissioni e costi di trasporto. Tale scenario rappresenta una soluzione vincolata alla capacità dell'UCC, inteso che potremmo aumentare il numero di veicoli che consegnano all'UCC fino a quando quest'ultimo non è saturo. Anche in questo caso il calcolo effettuato è il medesimo visto nei precedenti scenari, dove però vengono considerati, in questo caso, due veicoli che presentano un consumo di carburante collegato alla distanza tra il centro di distribuzione di Grugliasco e l'UCC e i restanti veicoli della flotta che seguono sempre la formula della distanza di Daganzo per il calcolo del consumo di carburante. In questo specifico scenario è significativo il risultato ottenuto per il costo del trasporto relativo all'intera flotta; anche in questo caso, come notato precedentemente, il costo totale annuo del trasporto per l'intera flotta diminuisce; ottenendo infatti un valore pari a 2.719.025 €/anno.

Riporto di seguito i calcoli effettuati su un file excel.

Variabili di Daganzo	Valori
----------------------	--------

rho: distanza da Grugliasco/Orbassano all'UCC (km)	9,5
delta: rapporto tra i punti di consegna al giorno (per provider) e l'area coperta da ogni provider (sud torino) (N/A)	292,260702
C: numero di pacchi/numero di fermate per mezzo	130,4347826
L/N: distanza media tra uno stop e un altro per un veicolo (km)	0,325649539
D: km percorsi da ogni veicolo al giorno	21,16722
D: km percorsi da ogni veicolo all'anno nell'area di servizio	7620,199202
km percorsi da intera flotta nell'area di servizio	5148,943845
DUCC: distanza percorsa da Grugliasco/Orbassano all'UCC al giorno	19
DUCC: distanza percorsa da Grugliasco/Orbassano all'UCC all'anno	6840
km percorsi da intera flotta al netto di un veicolo che utilizza l'UCC	2559,066401
km percorsi da intera flotta al netto di 2 veicoli che utilizzano l'UCC	2556,89918

costo del trasporto (D - Daganzo)

consumo iveco (l/100km)	8,1
prezzo medio benzina (€/l)	1,9
costo carburante al giorno per un veicolo(€/gg)	3,257635159
costo carburante al mese per un veicolo(€/mese)	97,72905476
costo carburante all'anno per un veicolo(€/anno)	1172,748657
costo autista lordo (€/mese)	1644
costo autista lordo (€/anno)	19728
costo iveco daily (€)	35380
costi accessori annui (ammor.)	1415,2
costo del trasporto annuo per un veicolo	22315,94866
costo carburante al giorno per intera flotta (€/gg)	792,4224577
costo carburante al mese per intera flotta (€/mese)	23772,67373

costo carburante all'anno per intera flotta (€/anno)	285272,0848
costo autista lordo per intera flotta (€/mese)	199285,6754
costo autista lordo per intera flotta (€/anno)	2391428,104
costi accessori annui per intera flotta (ammor.)	171550,54
costo del trasporto annuo flotta	2848250,729

costo del trasporto (con UCC) per un solo distretto	
consumo iveco (l/100km)	8,1
prezzo medio benzina (€/l)	1,9
costo carburante al giorno per un veicolo(€/gg)	2,9241
costo carburante al mese per un veicolo(€/mese)	87,723
costo carburante all'anno per un veicolo(€/anno)	1052,676
costo autista lordo (€/mese)	1644
costo autista lordo (€/anno)	19728

costo iveco daily (€)	35380
costi accessori annui (ammor.)	1415,2
costo del trasporto annuo per un veicolo	22195,876
costo carburante al giorno per intera flotta (€/gg)	393,840319
costo carburante al mese per intera flotta (€/mese)	11815,20957
costo carburante all'anno per intera flotta (€/anno)	141782,5149
costo autista lordo per intera flotta (€/mese)	199285,6754
costo autista lordo per intera flotta (€/anno)	2391428,104
costi accessori annui per intera flotta (ammor.)	171550,54
costo del trasporto annuo flotta	2704761,159

Al fine di avere una visione completa del costo totale della catena logistica in presenza di un UCC si è reso necessario procedere al calcolo del fattore di costo del centro di distribuzione, così da comprendere l'incidenza che lo stesso acquisisce nell'ambito del costo complessivo dell'intera catena logistica.

Preliminarmente è bene premettere che il costo totale del centro di distribuzione è dato dalla somma tra i costi fissi ed i costi variabili: mentre i primi non dipendono dai volumi contenuti all'interno del centro, i secondi, invece, ne sono direttamente dipendenti, sicché l'ammontare dei costi variabili è destinato a cambiare al mutare dell'ammontare dei volumi contenuti all'interno del centro.

In tal senso vanno considerati costi fissi:



1. L'affitto, ossia il costo che l'azienda deve sostenere per la locazione dell'immobile adibito a magazzino
2. Il costo dei dipendenti, che si ipotizza fissato a monte e non condizionato dal volume delle merci che verranno stoccate all'interno del magazzino.

I costi variabili, invece, si individuano come i costi che l'azienda deve sostenere per stoccare e immagazzinare il pacco: è evidente come al variare del numero dei pacchi destinati allo stoccaggio, varino anche i relativi costi.

Come si è detto, al fine di calcolare il costo totale del centro di distribuzione, dunque, è necessario sommare i costi fissi ed i costi variabili: tale calcolo, tuttavia, presuppone delle assunzioni.

Innanzitutto, è necessario ipotizzare una capienza massima dell'UCC, che viene fissata nella misura di 260 pacchi. Come si è detto, i costi variabili mutano al variare del volume delle merci, con la conseguenza che si rende necessario calcolare il volume che tali pacchi assumono, al fine di stimare il volume massimo di capienza del centro.

Tale dato si ottiene moltiplicando il numero massimo di pacchi che l'UCC può contenere (che si è detto essere 260) per 0.092, ossia il volume medio stimato di un pacco: otterremo così il valore di  $23.92 \text{ m}^3$ , ossia il volume occupato da 260 pacchi.

Ipotizzando che lo stabilimento abbia un'altezza di circa 3.5 metri, mettendo in rapporto il valore sopra ottenuto con l'altezza dello stabilimento  $23.92/3.5$  si otterrà il risultato di  $6.83 \text{ m}^2$ , ossia la superficie occupata da 260 pacchi.

Al fine di ottenere il costo di stoccaggio ed immagazzinamento del pacco, tuttavia, è necessario calcolare il costo al  $\text{m}^2$  dell'immobile adibito a magazzino.

Anche in questo caso è necessario ricorrere a delle assunzioni: ipotizziamo, in particolare, che la superficie dell'UCC sia pari a  $50 \text{ m}^2$  e che il costo d'affitto nella zona urbana ove è collocato il magazzino sia pari a circa 1000 euro.

Dividendo il costo mensile dell'affitto del locale (1000 euro) per la superficie dello stesso ( $50 \text{ m}^2$ ), si ottiene il costo dell'affitto a  $\text{m}^2$  dell'immobile, pari a  $20 \text{ euro}/\text{m}^2$ .

Moltiplicando tale costo per la superficie necessaria a contenere 260 pacchi, che abbiamo detto essere pari a  $6.83 \text{ m}^2$  si otterrà il costo di stoccaggio/immagazzinamento dei pacchi, pari a 136 euro al mese.

Collegando le informazioni specifiche sul costo del trasporto e l'efficienza dei veicoli con una prospettiva più ampia sulla logistica dell'ultimo miglio, emerge un quadro dettagliato che sottolinea considerazioni cruciali per l'ottimizzazione di questa fase critica del processo di consegna.

Questa parte della logistica è universalmente riconosciuta come la fase più complessa e onerosa del processo di distribuzione. È qui che la ricerca si posiziona come un faro di innovazione, focalizzandosi sulla progettazione di strategie mirate a migliorare l'efficienza e ridurre i costi in questa fase cruciale della catena di approvvigionamento. Nel contesto specifico dell'area metropolitana di Torino, il centro di distribuzione assume un ruolo di primaria importanza, fungendo da fulcro per coordinare le molteplici attività che caratterizzano la fase di trasporto logistico analizzata.

Il centro di distribuzione non è semplicemente un luogo di transito per le merci; al contrario, si configura come un hub strategico in cui convergono e si sincronizzano le diverse componenti della catena logistica. Questo centro svolge un ruolo fondamentale nella ricezione delle merci provenienti da diverse fonti, nella gestione temporanea degli stock e, infine, nella distribuzione mirata ai destinatari finali. La sua posizione strategica nell'area nord occidentale della penisola contribuisce a ottimizzare le operazioni, riducendo i tempi di transito e massimizzando l'efficienza complessiva.

L'obiettivo primario della strategia di distribuzione in questo centro è ottimizzare il processo di consegna, mitigando le sfide associate al traffico congestionato e alle complessità urbanistiche. La ricerca si è posta l'ambizioso obiettivo di evitare che i corrieri debbano affrontare perdite di tempo considerevoli nel navigare attraverso le intricatissime reti stradali delle aree urbane. L'obiettivo perseguito è stato quello di minimizzare i ritardi, aumentare la precisione nelle consegne e ridurre al minimo l'impatto ambientale associato ai trasporti su strada.

Un aspetto chiave affrontato nella ricerca è l'analisi dell'effetto di specifiche variabili all'interno di questo contesto più ampio. Queste variabili includono la scelta dei veicoli, le modalità di trasporto e i carichi gestiti dal centro di distribuzione. L'obiettivo è comprendere come queste variabili influenzino i costi ed i benefici dell'ultimo miglio, fornendo così un quadro completo delle dinamiche logistiche e offrendo soluzioni mirate per ottimizzare il processo di consegna.

Questa prospettiva analitica avanzata e centrata sull'efficienza è particolarmente rilevante in un'epoca in cui la logistica dell'ultimo miglio è diventata una delle componenti più critiche e visibili della catena di approvvigionamento. La crescita del commercio diversificato rispetto i decenni precedenti

ha amplificato ulteriormente l'importanza di affrontare con successo le sfide di questa fase, rendendo essenziale l'adozione di strategie innovative e mirate come quelle proposte dalla ricerca.

In conclusione, il collegamento tra le informazioni sui costi del trasporto e l'efficienza dei veicoli con la visione più ampia sulla logistica dell'ultimo miglio delinea un approccio integrato e strategico. Il presente studio si inserisce in questo contesto fornendo un contributo significativo all'ottimizzazione di processi complessi e alla promozione di nuove soluzioni nell'ambito della distribuzione urbana.

Il contesto urbano, con il suo traffico intenso e imprevedibile, crea spesso ostacoli significativi per i corrieri nell'esecuzione tempestiva delle consegne. L'identificazione e l'affronto di questa sfida cruciale costituiscono un pilastro fondamentale della soluzione. Ridurre al minimo le perdite di tempo in città è un obiettivo di grande rilevanza, poiché impatta direttamente sulla puntualità delle consegne, sulla soddisfazione del cliente e sui costi operativi.

La soluzione si distingue per il suo approccio mirato alla massimizzazione dell'efficienza e alla riduzione dei costi associati ai consumi energetici e alle risorse impiegate. Questo implica una profonda analisi delle variabili coinvolte nel processo di consegna, dalla scelta dei veicoli alle modalità di trasporto, al fine di ottimizzare ogni aspetto operativo. La messa a fuoco su consumi energetici sostenibili riflette un impegno concreto verso la riduzione dell'impatto ambientale, fondamentale nell'attuale contesto di sensibilizzazione sulla sostenibilità.

Il passo avanti verso una logistica più efficiente è reso possibile attraverso la sinergia di diverse strategie implementate nella soluzione. L'utilizzo di veicoli più adatti al contesto urbano, la pianificazione di percorsi ottimizzati per minimizzare i tempi di transito e l'adozione di tecnologie avanzate per monitorare e coordinare le operazioni rappresentano elementi chiave. Questi sforzi combinati mirano a creare un ecosistema logistico resiliente, capace di adattarsi alle mutevoli dinamiche urbane e di superare le sfide intrinseche del trasporto dell'ultimo miglio.

La riduzione dei costi associati ai consumi energetici non solo contribuisce all'efficienza operativa, ma riflette anche un impegno tangibile verso la sostenibilità ambientale. La logistica dell'ultimo miglio, se ottimizzata in modo accurato, può diventare un agente positivo nella riduzione delle emissioni di gas serra e nell'adozione di pratiche di trasporto più rispettose dell'ambiente.

Questo approccio strategico rappresenta un passo importante verso una gestione più intelligente delle risorse, sia in termini di tempo che di energia. L'efficienza operativa derivante da una pianificazione

oculata e da una selezione mirata delle risorse si traduce in un impatto positivo sia sull'economia aziendale che sull'ambiente circostante.

In conclusione, la soluzione all'obiettivo di ottimizzare il processo di consegna nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio non solo affronta le sfide quotidiane associate al traffico congestionato, ma rappresenta anche una pietra miliare verso una gestione più efficiente, sostenibile ed efficace delle risorse. L'approccio strategico proposto offre un modello pratico per affrontare le complessità urbane, migliorando al contempo la qualità complessiva delle operazioni di consegna e riducendo l'impatto ambientale. Nel quadro della ricerca, assume un ruolo centrale l'analisi di diversi scenari legati all'utilizzo di mezzi di trasporto differenti e con varie tipologie di carburanti. Questo approccio multifattoriale emerge come un elemento chiave nell'ambito della metodologia adottata, poiché consente di esplorare in profondità l'impatto di varie variabili sui costi e sui benefici associati alla logistica dell'ultimo miglio. L'adozione di un approccio così articolato è essenziale per ottenere una comprensione completa e accurata delle dinamiche coinvolte in questo complesso processo.

### 4.3 Rispetto dell'ambiente e scelte aziendali

La decisione di valutare diversi mezzi di trasporto riflette la consapevolezza della diversità di veicoli disponibili sul mercato e delle specifiche esigenze logistiche connesse al trasporto urbano. Mezzi di trasporto di diverse dimensioni, capacità e fonti di alimentazione vengono analizzati per individuare le soluzioni più adatte a ottimizzare il last mile, tenendo conto di fattori quali la velocità, il consumo di carburante e la flessibilità nell'affrontare le sfide urbane. La considerazione di diverse tipologie di carburanti rappresenta un passo significativo verso una prospettiva sostenibile.

L'analisi dei veicoli alimentati a combustibili convenzionali rispetto a quelli che adottano soluzioni più ecologiche, come l'elettricità, il metano o altri carburanti alternativi, evidenzia l'importanza di valutare le opzioni più in linea con gli obiettivi di sostenibilità ambientale. Questo approccio rispecchia la consapevolezza crescente dell'industria verso la necessità di ridurre l'impatto ambientale delle operazioni di trasporto.

L'impatto ambientale della logistica nell'ultimo miglio è un aspetto cruciale da considerare, poiché questo segmento della catena di approvvigionamento è associato a sfide ambientali significative.

Il tema interviene pesantemente dovendo stimare il numero medio di veicoli necessari a soddisfare una certa domanda di trasporto in una determinata area; questo aspetto è influenzato da vari fattori, tra cui la densità di consegne richieste e la frequenza di consegna.

Dovendo valutare l'impatto ambientale, è essenziale considerare la tecnologia utilizzata per il trasporto. Alcuni fattori chiave da considerare includono:

1. **Veicoli a basse emissioni o zero emissioni:** L'utilizzo di veicoli elettrici o a basse emissioni può ridurre significativamente l'impatto ambientale rispetto a veicoli tradizionali a combustione interna.
2. **Routings intelligenti e ottimizzazione del percorso:** L'implementazione di tecnologie avanzate per l'ottimizzazione dei percorsi può contribuire a ridurre i chilometri percorsi e, di conseguenza, le emissioni di gas serra.
3. **Strategie di consegna consolidate:** La consolidazione delle consegne, ad esempio attraverso il raggruppamento di spedizioni, può contribuire a ridurre il numero complessivo di veicoli in circolazione.
4. **Uso di tecnologie intelligenti per la gestione del traffico:** L'implementazione di sistemi di gestione del traffico intelligente può contribuire a ridurre la congestione stradale e migliorare l'efficienza dei trasporti.
5. **Packaging sostenibile:** Il tipo di imballaggio utilizzato può influire sull'impatto ambientale complessivo. L'adozione di materiali riciclabili e la riduzione degli imballaggi eccessivi sono fattori importanti.

In sintesi, è essenziale considerare anche la tecnologia utilizzata per il trasporto al fine di mitigare l'impatto ambientale. L'adozione di soluzioni sostenibili e innovative è fondamentale per affrontare le sfide ambientali legate alla logistica e per contribuire alla costruzione di una catena di approvvigionamento più verde.

Per comprendere meglio come la tecnologia possa mitigare l'impatto ambientale nella logistica dell'ultimo miglio, possiamo esaminare alcuni esempi concreti e fornire alcune stime numeriche.

#### 1. **Veicoli Elettrici:**

- *Scenario:* Sostituire i veicoli tradizionali a combustione interna con veicoli elettrici.
- *Stima Numerica:* Supponiamo che una flotta di 100 veicoli tradizionali per la consegna consumi in media 30 litri di carburante per 100 km. Se questi veicoli percorrono mediamente 150 km al giorno per le consegne, il consumo giornaliero sarà di 500 litri di carburante.
- *Risultato:* Sostituendo questa flotta con veicoli elettrici con un consumo di energia equivalente a 20 kWh per 100 km, la stima giornaliera sarebbe di 30.000 kWh. Ciò rappresenterebbe una significativa riduzione delle emissioni di gas serra e una transizione verso un trasporto più sostenibile.
- Emissioni di CO<sub>2</sub> (considerando una media di 2,31 kg CO<sub>2</sub> per litro di benzina) = 23,1 kg CO<sub>2</sub>/100 km
- Qualora si optasse per un veicolo a metano: Emissioni di CO<sub>2</sub>= 15 kg CO<sub>2</sub>/100 km.

## 2. Ottimizzazione del Percorso:

- *Scenario:* Implementare algoritmi intelligenti per ottimizzare i percorsi di consegna.
- *Stima Numerica:* Supponiamo che, attraverso l'ottimizzazione del percorso, sia possibile ridurre del 20% la distanza totale percorsa dai veicoli. Se la distanza iniziale era di 150 km al giorno, la riduzione sarebbe di 30 km.
- *Risultato:* Questo si tradurrebbe in un risparmio di carburante e una riduzione delle emissioni, contribuendo ad una gestione più efficiente delle risorse.

## 3. Packaging Sostenibile:

- *Scenario:* Utilizzare materiali di imballaggio riciclabili e ridurre l'eccessivo imballaggio.
- *Stima Numerica:* Se, ad esempio, riduciamo l'utilizzo di materiali di imballaggio del 15% e passiamo a materiali riciclabili, considerando che l'imballaggio rappresenta il

5% del peso totale trasportato, avremo una riduzione significativa nel peso totale dei pacchi.

- *Risultato:* Questo si tradurrebbe in una diminuzione del carico totale trasportato, riducendo la necessità di risorse aggiuntive e diminuendo le emissioni associate al trasporto.

#### 4. Consolidazione delle Consegne:

- *Scenario:* Implementare strategie di consolidamento delle consegne per ridurre il numero di veicoli in circolazione.
- *Stima Numerica:* Se è possibile consolidare le consegne in modo che un veicolo possa coprire 20 destinazioni invece di 10, si ridurrebbe il numero complessivo di veicoli necessari del 50%.
- *Risultato:* Ciò comporterebbe una riduzione significativa delle emissioni legate al trasporto, oltre a benefici economici legati a una maggiore efficienza operativa.

Questi esempi illustrano come l'adozione di tecnologie e strategie sostenibili può influenzare positivamente l'impatto ambientale nella logistica dell'ultimo miglio. La transizione verso veicoli elettrici, l'ottimizzazione intelligente dei percorsi, l'uso di materiali di imballaggio sostenibili e la consolidazione delle consegne sono tutti elementi chiave per una logistica più verde e sostenibile.

Questi numeri illustrano chiaramente come l'adozione di veicoli elettrici possa contribuire significativamente a ridurre le emissioni di gas serra rispetto ai veicoli alimentati a combustibili convenzionali.

Questo confronto evidenzia come l'uso di veicoli a metano possa rappresentare un'opzione più sostenibile rispetto ai veicoli convenzionali a benzina, sebbene l'impatto sia ancora significativo rispetto ai veicoli elettrici.

In conclusione, la valutazione delle opzioni di trasporto in base al tipo di carburante o propulsione è essenziale per ridurre l'impatto ambientale delle operazioni di trasporto. Gli esempi numerici mostrano come le alternative più sostenibili, come i veicoli elettrici o quelli a metano, possano contribuire in modo significativo a mitigare le emissioni di gas serra nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio.

Il supporto di un modello matematico sviluppato per migliorare l'efficienza delle consegne sottolinea la robustezza scientifica e rigorosa della presente ricerca. L'adozione di modelli matematici consente di quantificare e ottimizzare i fattori coinvolti, fornendo una base solida per prendere decisioni informate. Questa metodologia avanzata offre un modo strutturato e sistematico per affrontare le sfide complesse logistiche, migliorando la precisione delle analisi e facilitando la progettazione di strategie ottimali.

L'approccio scientifico e metodologico evidenziato nel presente studio non solo contribuisce a comprendere le dinamiche specifiche della logistica dell'ultimo miglio, ma rappresenta anche un contributo importante alla letteratura esistente sui modelli matematici applicati al settore della logistica. La ricerca potrebbe costituire una base teorica preziosa per futuri sviluppi e ricerche nel campo, offrendo nuove prospettive e metodologie per affrontare le sfide in evoluzione del trasporto urbano.

L'analisi di vari scenari legati ai mezzi di trasporto e ai carburanti, unita all'adozione di un modello matematico, dimostra la complessità dello scenario analizzato.

Questo approccio multifattoriale non solo arricchisce la comprensione delle dinamiche del focus in analisi, ma rappresenta anche un passo avanti verso la definizione di soluzioni pratiche e sostenibili in continua evoluzione di questo settore.

L'effetto di specifiche variabili all'interno di un contesto più ampio rappresenta un passo fondamentale nell'approfondimento delle dinamiche complesse. Questo approccio mirato a esaminare le variazioni nei costi e nei benefici in relazione a variabili chiave sottolinea l'importanza di una visione completa e dettagliata per guidare l'evoluzione di soluzioni più efficienti nel contesto del trasporto urbano.

La logistica del last mile è un terreno intricato, in cui le variabili sono molteplici e interconnesse. Come più volte accennato, dal tipo di veicoli utilizzati alla scelta delle vie di transito, dalle dimensioni dei carichi al tipo di carburante impiegato, ogni elemento gioca un ruolo cruciale nel determinare l'efficienza complessiva del processo di consegna. Lo studio si è proposto di scrutare attentamente queste variabili, mettendo in luce il loro impatto specifico sui costi e sui benefici associati alla logistica dell'ultimo miglio.

L'analisi delle variazioni nei costi è di particolare rilevanza, poiché offre una prospettiva pragmatica sulle considerazioni finanziarie che influenzano direttamente l'efficienza operativa.



Esaminando come la scelta di veicoli diversi, percorsi ottimizzati o carichi variabili possano incidere sui costi di gestione, lo studio getta luce sulle opportunità di razionalizzazione finanziaria e di riduzione degli sprechi.

Questo approccio pragmatico è essenziale per promuovere una gestione finanziaria oculata, fondamentale nel contesto di un settore che richiede equilibrio tra prestazioni e sostenibilità economica.

Parallelamente, l'analisi delle variazioni nei benefici offre una prospettiva sui vantaggi operativi derivanti da scelte strategiche o ottimizzazioni. Questa parte dell'analisi consente di identificare le aree in cui le migliorie possono portare a vantaggi competitivi, sia in termini di tempi di consegna più brevi che di maggiore soddisfazione del cliente. Rivelare come specifiche variabili possano contribuire a migliorare l'efficienza operativa fornisce una guida preziosa per le decisioni strategiche e tattiche nel campo.

Lo studio, orientato a contribuire a un approccio più efficiente dal punto di vista del trasporto urbano, si inserisce in un contesto in cui l'ottimizzazione delle risorse è diventata una priorità critica. Nel tentativo di affrontare le sfide uniche associate alle consegne nelle aree urbane, la ricerca si pone nella direzione di una gestione più intelligente e sostenibile delle risorse.

In sintesi, il focus sull'analisi dettagliata delle variabili nel contesto della logistica dell'ultimo miglio costituisce un contributo significativo alla comprensione delle dinamiche complesse di questo settore. Analizzando attentamente le variazioni nei costi e nei benefici, lo studio promuove una prospettiva equilibrata che potrebbe plasmare in modo sostanziale l'evoluzione del trasporto urbano verso soluzioni più efficienti, sostenibili e orientate al cliente.

La valutazione approfondita di diverse alternative di trasporto e carburante emerge come un contributo notevole alla letteratura esistente nel campo della logistica dell'ultimo miglio. L'analisi comparativa dei risultati ottenuti, in particolare il confronto con modelli matematici preesistenti, fornisce un quadro esaustivo e significativo per valutare il valore aggiunto della proposta e la sua rilevanza nel panorama attuale.

Il settore della logistica è in continua evoluzione, spinto da una crescente complessità e dalla necessità di rispondere a sfide sempre più impegnative. La ricerca, con il suo focus sull'esplorazione di diverse alternative di trasporto e carburante, dimostra una consapevolezza approfondita delle molteplici

variabili coinvolte nelle dinamiche della logistica urbana. Questa diversificazione nelle opzioni di trasporto e nella fonte di energia evidenzia l'intenzione di affrontare la complessità del contesto attuale, riconoscendo che non esiste una soluzione universale per tutte le sfide della logistica.

La comparazione dei risultati ottenuti nella ricerca con modelli matematici preesistenti costituisce una metodologia robusta per valutare l'originalità e l'efficacia della proposta. Questo approccio fornisce un contesto di confronto con le conoscenze esistenti nel campo, permettendo di individuare specifiche aree di innovazione o miglioramento.

La diversificazione delle alternative di trasporto rappresenta un passo avanti nel tentativo di affrontare le sfide specifiche. Mezzi di trasporto più piccoli, efficienti e sostenibili possono offrire soluzioni su misura per i complessi contesti urbani. Il confronto tra vari modelli di veicoli e tipi di carburante evidenzia l'attenzione alla sostenibilità ambientale.

Inoltre, l'analisi non si limita alla mera presentazione dei dati, ma si estende a una riflessione critica sulla loro applicabilità e validità nel contesto della logistica dell'ultimo miglio. Questo approccio riflette una mentalità scientifica che cerca di comprendere non solo cosa funziona, ma anche come e perché funziona, un aspetto cruciale per l'applicazione pratica delle scoperte scientifiche nel mondo reale.

La valutazione delle diverse alternative di trasporto e carburante nel contesto della logistica dell'ultimo miglio non solo arricchisce la letteratura esistente, ma offre anche un contributo rilevante al dibattito in corso nel settore. La comparazione dei risultati con modelli matematici consolidati fornisce un quadro critico e completo, consolidando la validità e la rilevanza della proposta. La ricerca rappresenta dunque un tassello prezioso nell'evoluzione della logistica urbana verso soluzioni più efficienti, sostenibili e adattabili alle mutevoli esigenze del contesto contemporaneo.

Il lavoro si configura come un contributo fondamentale che offre una panoramica approfondita delle dinamiche del trasporto su strada, stabilendo connessioni significative tra le informazioni sui veicoli e i relativi costi. Questa ricerca, con il suo approccio completo e interdisciplinare, è destinata a svolgere un ruolo nell'evoluzione e nell'ottimizzazione delle operazioni di consegna, affrontando con efficacia le sfide emergenti nel panorama contemporaneo.

L'analisi dettagliata delle variabili chiave nel trasporto su strada, incluse le caratteristiche specifiche dei veicoli, i consumi associati e i costi operativi, ha gettato luce sulle complesse interconnessioni

che influenzano la logistica. La capacità di collegare questi dati a un contesto più ampio offre una visione completa e integrata, permettendo una comprensione più approfondita degli impatti operativi e finanziari sulle operazioni di trasporto urbano.

Il lavoro, focalizzato sull'efficienza delle consegne, si presenta come un elemento catalizzatore per migliorare le pratiche logistiche esistenti. La capacità di comprendere le dinamiche del trasporto su strada in modo dettagliato e articolato fornisce una base solida per l'implementazione di strategie mirate a ottimizzare i processi di consegna. Ciò non solo si traduce in tempi di transito più brevi e costi ridotti, ma anche in una maggiore affidabilità delle consegne, elemento cruciale per la soddisfazione del cliente in un contesto di crescente pressione e aspettative elevate.

Il collegamento tra le informazioni sui veicoli e i costi specifici, come evidenziato nella ricerca, offre un approccio pragmatico che può essere applicato direttamente nel mondo reale. I gestori logistici, basandosi su queste conoscenze dettagliate, possono prendere decisioni più informate sulla scelta dei veicoli, sulla pianificazione delle rotte e sull'allocazione delle risorse. Questa capacità di adattamento e ottimizzazione costante è fondamentale nell'ambito della logistica dell'ultimo miglio, dove la flessibilità è spesso la chiave per affrontare le sfide urbane mutevoli.

La ricerca, pertanto, non solo contribuisce all'acquisizione di conoscenze teoriche, ma offre anche un'utile base pratica per il miglioramento tangibile delle operazioni logistiche. La proposta può influenzare positivamente la progettazione e l'implementazione di strategie aziendali nel settore della logistica, contribuendo così a mitigare le pressioni economiche e le sfide logistiche connesse alla consegna delle merci nelle aree urbane.

In sintesi, la ricerca si distingue come un punto di vista per chi è coinvolto nell'ottimizzazione della logistica dell'ultimo miglio. Il suo impatto potenziale sulla riduzione dei costi, sull'efficienza operativa e sulla soddisfazione del cliente offre prospettive concrete per l'evoluzione positiva di questo settore. La dedizione a una visione completa e orientata all'applicazione pratica si riflette nel potenziale di trasformazione della logistica urbana, aprendo la strada a una gestione più intelligente, sostenibile ed efficiente delle consegne nel contesto contemporaneo.

## 5 Conclusioni

Il lavoro prospettato mira a verificare se vi è un effettivo risparmio da un punto di vista di km, costi e impatti ambientali, inserendo un centro di consolidamento all'interno di un'area di Torino, nei pressi del politecnico.

Il progetto prevede la collocazione dell'UCC nell'ambito dell'area sud di Torino nei pressi del Politecnico. Il luogo di installazione dell'UCC è importante perché va collocato in maniera più o meno equidistante rispetto alle aziende che sono destinati a servirsene. In particolare, nel nostro modello l'UCC è destinato a servire tre diverse aziende tutte impegnate nella consegna di pacchi nel last mile (Amazon Bartolini GLS) tutte situate nell'area di Grugliasco a circa 9,5 km dall'UCC.

Lo scopo del progetto è quello di verificare se la collocazione di un unico centro equidistante dalle aziende di riferimento che consente alle aziende di consegnare i pacchi direttamente all'UCC e non ai singoli clienti, possa determinare un risparmio in termini di trasporto e, quindi, un abbattimento dei costi complessivi. È quindi fondamentale andare a calcolare il costo del trasporto che, in tutti gli scenari ipotizzati, è dato dalla somma di due variabili principali il costo dell'autista il costo chilometrico. Quest'ultimo costo è a sua volta caratterizzato da due variabili: il consumo del carburante in senso stretto ed i costi accessori del veicolo: la determinante, che è destinata a variare nei diversi scenari, è costituita dal calcolo della distanza.

Nel primo scenario, baseline, in assenza di UCC, la distanza percorsa dai mezzi viene calcolata utilizzando la formula di Daganzo; in relazione a tale distanza viene calcolato il costo del carburante, da ciò si calcola il consumo di carburante in relazione ai km calcolati mediante la formula di Daganzo. In tale analisi è stato calcolato sia il costo di trasporto per singolo veicolo (comprensivo del costo dell'autista, i costi accessori, e il costo del carburante); per completezza l'analisi è stata estesa all'intera flotta, ossia all'insieme dei veicoli che servono l'intera area.

Nell'analisi, al fine di verificare se l'implementazione dell'UCC sia vantaggiosa, è stato effettuato un secondo scenario, considerando che solo un veicolo della flotta effettui le consegne direttamente all'UCC, a differenza del primo scenario ove tutti i mezzi della flotta provvedevano alle consegne presso i clienti finali.

La differenza rispetto al primo scenario si concretizza nel fatto che la distanza percorsa dal mezzo viene calcolata moltiplicando  $\rho \cdot 2$ , che rappresenta i km percorsi dal mezzo, partendo dal centro di stoccaggio dell'azienda (situato in zona Grugliasco) fino all'UCC e ritorno.

Effettuando gli stessi calcoli compiuti nel primo scenario si evince chiaramente come l'installazione dell'UCC comporti un risparmio evidente sotto il profilo dei km percorsi e della quantità di emissioni di CO<sub>2</sub>.

L'implementazione all'interno della catena logistica di un UCC impone una valutazione dei costi che la gestione dello stesso centro comporta. Si è quindi proceduto ad effettuare un calcolo dei costi complessivi dell'UCC. In particolare, sommando i costi di trasporto ed i costi connessi alla gestione del centro e, tenuto conto che il costo del centro va ripartito equamente tra le aziende che ne beneficiano, si è appurato che il costo complessivo risulta ridotto rispetto al costo ordinario sostenuto dalle aziende in assenza di UCC.

Conseguentemente, l'installazione di un UCC in una zona equidistante dalle aziende interessate, in grado di fare da centro di smistamento dei pacchi, oltre a consentire un risparmio temporale per l'azienda (che non sarà costretta a consegnare ogni singolo pacco al cliente finale ma effettuerà esclusivamente viaggi in direzione dell'UCC), consente altresì un risparmio in termini di costi di trasporto, un minor impatto ambientale (dovuto al minor numero di chilometri percorso) ed infine un risparmio in termini strettamente economici dovuti ad un abbattimento dei costi di trasporto e una ripartizione dei costi di gestione tra le aziende che usufruiscono dell'UCC.

È inoltre evidente come l'aumento di mezzi a capacità massima che consegnano presso l'UCC possono aumentare fino al vincolo imposto della capienza di pacchi che può accogliere l'UCC stesso.

È evidente che quante più aziende beneficiano dell'UCC quanto maggiore sarà il risparmio; infatti, il costo complessivo a seguito dell'installazione dell'UCC è data dai costi fissi dell'UCC, dai costi variabili relazionati al volume e dai costi di trasporto. Ebbene abbiamo verificato come i costi di trasporto per le singole aziende verso l'UCC, piuttosto che verso i singoli consumatori finali, risulta abbattuto di conseguenza le aziende avranno sicuramente un risparmio beneficiando dell'UCC quanto più aziende concorreranno all'UCC quanto più i costi fissi di questo verranno ripartiti tra più soggetti e dunque graveranno in misura sempre più ridotta all'aumentare dei soggetti beneficiari. I costi variabili ovviamente subiranno una leggera variazione all'aumentare del volume ma si ritiene che questo non possa incidere sul risparmio complessivo.



## ***Opere citate***

Barretto, L, e et al. «Industry 4.0 implications in logistics: an overview.» In *Procedia Manufacturing*, 1245-1252. 2017.

Breunig, U., e R. Baldacci. «The electric two-echelon vehicle routing problem.» *Computers & Operations Research*, 2019.

Brewer, P.C., e T. W. Speh. «Adapting the balanced scorecard to supply chain management.» *Supply Chain Management Review*, 2001.

Campuzano, Giovanni , Eduardo Lalla-Ruiz, e Martijn Mes. «The drone-assisted variable speed asymmetric traveling salesman problem.» In *Computers & Industrial Engineering*. 2023.

Crainic, T.G., N. Ricciardi, e G. Storchi. «Models for evaluating and planning city.» *Transportation science*, 2009.

Dablanc, L. «Freight Transport for Development Toolkit: Urban Freight Transport.» *Transport, Research, Support*, 2009.

Daganzo, C. F. «The length of tours in zones of different shapes.» *Transportation Research Part. B: Methodological*, 1984.

Danielis, R., L. Rotaris, e E. Marcucci. «Urban freight policies and distribution channels.» *European Transport*, 2010.

Delle Site, P., F. Filippi, e A. Nuzzolo. *Linee guida dei piani di logistica urbana sostenibile*. Maggioli, 2013.

Ferreira, L., e D. Borenstein. «A fuzzy-Bayesian model for supplier selection.» *Expert Systems with Applications*, 2012.

—. «A fuzzy-Bayesian model for supplier selection.» *Expert Systems with Applications*, 2012.

Figliozzi, M. «The impacts of congestion on commercial vehicle tour characteristics and costs.» *Transportation Research*, vol 46 parte E 2010.

- Forslund, H., e P. Jonsson. «The impact of forecast information quality on supply chain performance.» *International Journal of Operations & Production Management*, 2007.
- Gevaers, Roel, Eddy Van de Voorde, e Thierry Vanelslander. «Cost Modelling and Simulation of Last-mile Characteristics in an Innovative B2C Supply Chain Environment with Implications on Urban Areas and Cities.» In *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014.
- Goodman, Russell W. «Whatever You Call It, Just Don't Think of Last-Mile Logistics,» In *Global logistics & Supply Chain strategies*. 2005.
- Hamister, J. W. «Supply chain management practices in small retailers.» *International Journal of Retail & Distribution Management*, 2012.
- Hofmann, Erik, e Marco Rusch. «Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics.» In *Computers in Industry*, 23-34. 2017.
- Julian Allen, Tolga Bektaş, Tom Cherrett, Adriano venerdi, Fraser McLeod, Maja Piecyk, Marzena Piotrowskae Martin Zaltz Austwick. «Abilitazione di un controllore del traffico merci per la logistica urbana multidrop collaborativa: sfide pratiche e teoriche.» *Sage Journals*, 2017.
- Kaplan, R., e D. Norton. «The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance.» *Harvard Business Review*, 1992.
- Kin, Bram, Joeri Spoor, Sara Verlinde, e Cathy Machar. «Case studies on Transport policy.» 2018.
- Lemardele, Clement , Miquel Estrada, Laia Pages, e Monika Bachofner. «Potentialities of drones and ground autonomous delivery devices for last-mile logistics.» In *Transportation Research Part E*. 2021.
- Leung, Eric Ka Ho, K. L. Choy, e Paul Kai Yuet Siu. «A B2C e-commerce intelligent system for re-engineering the e-order fulfilment process.» *Expert Systems with Applications*, 2018.
- Mepparambath, Rakhi Manohar , Lynette Cheah, e Costas Courcoubetis. «A theoretical framework to evaluate the traffic impact of urban freight consolidation centres”.» In *Transportation Research Part E*. 2021.



- Miguel A. Figliozzi. «Carbon emissions reductions in last mile and grocery deliveries utilizing air and ground autonomous vehicles.» In *Transportation Research Part D*. 2020.
- Neely, A., M. Gregory, e K. Platts. «Performance Measurement System Design - A Literature Review and Research Agenda.» *International Journal of Operations & Production Management*, 1995.
- Nuzzolo, A., A. Comi, A. Ibeas, e J. Moura. «Urban freight transport and city logistics policies: indications from Rome, Barcelona and Santander.» *International Journal of Sustainable*, 2015.
- Papakiriakopoulos, D., e K. Pramataris. «Collaborative performance measurement in supply chain.» *Industrial Management & Data Systems*, 2010.
- Papakiriakopoulos, D., e K. Pramataris. «Collaborative performance measurement in supply chain.» *Industrial Management & Data Systems*, 2010.
- Prause, Gunnar. «SUSTAINABLE BUSINESS MODELS AND STRUCTURES FOR INDUSTRY 4.0.» *JOURNAL OF SECURITY AND SUSTAINABILITY ISSUES*, 2015.
- Sarkis, Giuseppe. «Sostenibilità della catena di fornitura: imparare dalla pandemia di COVID-19.» *Giornale internazionale di operazioni e gestione della produzione*, 2020.
- Seghezzi, Arianna , Chiara Siragusa, e Riccardo Mangiaracina. «Parcel lockers vs. home delivery: a model to compare last-mile delivery cost in urban and rural areas.» 2021.
- Seghezzi, Arianna, e Riccardo Mangiaracina. «Investigating multi-parcel crowdsourcing logistics for B2C e-commerce last-mile deliveries.» In *International Journal of Logistics Research and*. 2022.
- Solvang, Wei Deng, e Hao Yu. «A carbon-constrained stochastic optimization model with augmented multi-criteria scenario-based risk-averse solution for reverse logistics network design under uncertainty.» *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- Thomas Kirschstein. «Comparison of energy demands of drone-based and ground-based.» In *Transportation Research Part D*. 2020.

Van Duin, J.H.R., B.W. Wiegmans, B. van Arem, e Y. Van Amstel. «From home delivery to parcel lockers: a case study in Amsterdam.» In *Transportation research Procedia*. 2020.

Vignati, G. *Manuale di logistica*. Milano: Hoepli, 2002.

Vitasek, Kate. *Council of Logistics Management*. 2013.

Yu , Yaoqin, Feng Lian, e Zhongzhen Yang. «Pricing of parcel locker service in urban logistics by a TSP model of last-mile delivery.» *Transport Policy*, 2021.

*Carlos F. Daganzo, The length of tours in zones in different shapes, 1983*

### ***Sitografia***

[https://it.wikipedia.org/wiki/Circoscrizioni\\_di\\_Torino#cite\\_note-4](https://it.wikipedia.org/wiki/Circoscrizioni_di_Torino#cite_note-4)

[Tabella coefficienti standard nazionali \(assolombarda.it\)](#)

<https://www.packlink.it/consigli-utili/come-calcolare-le-misure-del-pacco/>

<https://www.aci.it/archivio->

[notizie/notizia.html?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=794&cHash=c29f151b5d0c72b53a6cf9efbd430b5](notizie/notizia.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=794&cHash=c29f151b5d0c72b53a6cf9efbd430b5)

[6](#)

<https://www.conorzionetcomm.it/ecommerce-160-milioni-di-pacchi-spediti-nel-primo-trimestre-del-2023-annunciati-i-primi-dati-del-delivery-index-di-netcomm/>