

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA

Ingegneria Meccanica Magistrale LM

TESI DI LAUREA

In

Impianti Meccanici e Logistica Industriale LM

Hub Location Problem e Site Selection: il caso FAAC Technologies

CANDIDATO:

Federico Cellini

RELATORE:

Prof. Emilio Ferrari

CORRELATORI:

Prof. Marco Bortolini

Ing. Pasquale Mascolo

Ing. Federica Cosenza

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Sessione Invernale

ABSTRACT

Questa tesi ha l'obiettivo di studiare e seguire la creazione un modello matematico che possa risolvere un problema logistico di *Hub Facility Location* reale, per l'individuazione del posizionamento ottimale di uno o più depositi all'interno di una rete distributiva europea e per l'assegnazione dei rispettivi clienti. Si fa riferimento alla progettazione della rete logistica per rispondere alle necessità del cliente, relativamente ad una domanda multiprodotto. Questo problema è stato studiato a partire da un caso reale aziendale per la valutazione della convenienza nella sostituzione di quattro magazzini locali con uno/due hub logistici che possano servire tutte le aree. Il modello distributivo può anche essere adoperato per valutare l'effetto della variazione, dal punto di vista economico, del servizio di trasporto e di tariffario. All'interno di questo elaborato ci si è soffermati sull'utilizzo di mezzi leggeri quali furgoni (per l'ultimo miglio servizio espresso) e mezzi pesanti quali motrici (servizio groupage) ed aeroplani (utilizzati nel servizio espresso).

Lo studio è cominciato dalla ricerca bibliografica di articoli presenti in letteratura fino alla creazione di un modello matematico attinente al problema specifico, ma applicabile anche a realtà differenti. La determinazione della posizione ottimale e del numero dei magazzini avviene tramite un modello matematico che considera al proprio interno sia costi fissi relativi alla gestione dei magazzini (quindi costo di stabilimento, personale e giacenza) e sia i costi relativi al trasporto e alla spedizione dei prodotti sulle diverse aree geografiche. In particolare, la formulazione matematica si fonda su un modello Programmazione Lineare Intera, risolto in tempi molto brevi attraverso un software di ottimizzazione, nonostante la grande mole di dati in input del problema. Questi ultimi sono stati ottenuti tramite un'attenta analisi e selezione delle informazioni che è possibile ritrovare all'interno del contesto aziendale. In particolare, si ha lo studio per l'integrazione di tariffari di trasporto diversi e delle economie di scala per dare consistenza ad un modello teorico. Inoltre, per ricercare la migliore soluzione di quelle ottenute sono poi emersi altri fattori oltre a quello economico, ad esempio il tempo di trasporto (*transit-time*) che è un fattore chiave per ottenere la soddisfazione e la fedeltà del cliente e attitudine dell'area geografica ad accogliere una piattaforma logistica, con un occhio sugli sviluppi futuri. Il primo problema è definito *Facility Location*, mentre il secondo prende il nome di *Site Selection*.

INDICE

Introduzione.....	4
1. La logistica.....	6
1.1 Introduzione alla logistica.....	6
1.2 Problematiche della Supply Chain.....	7
1.3 La Supply Chain Management.....	9
2. La logistica distributiva.....	11
2.1 La scelta del sistema di trasporto.....	14
2.2 Il canale logistico.....	15
2.3 I magazzini nella rete logistica.....	19
2.4 Elementi di progettazione delle reti distributive.....	20
2.5 Modellazione delle reti.....	25
2.5.1 Richiami di Programmazione lineare.....	25
2.5.2 <i>Capacity Allocation</i>	28
2.5.3 <i>Facility Location e Site Selection</i>	30
2.5.4 <i>Capacity Allocation & Facility Location</i>	31
3. Il caso aziendale.....	34
3.1 L'azienda.....	34
3.2 Il problema aziendale.....	35
3.3 Analisi della situazione AS-IS.....	36
3.3.1 Fatturato ICP.....	36
3.3.2 Consegne nell'anno rolling.....	37
3.3.3 Trasporto utilizzato.....	39
3.3.4 Transit time concordati per servizi express e groupage e KPI.....	40
3.3.5 Spedizione della merce dal magazzino.....	43
3.3.6 Costi di magazzino.....	45
4. Il modello matematico.....	48
4.1 Localizzazione di un hub logistico in letteratura.....	48
4.1.1 Introduzione.....	48
4.1.2 <i>Hub Location Problem</i> formalizzato da J.F. Campbell e M.E. O'Kelly.....	49
4.1.3 <i>Hub Location Problem</i> con costi fissi formulato da O'Kelly.....	52
4.1.4 Sviluppi successivi del problema.....	53
4.2 Prima versione del modello matematico per la risoluzione del caso aziendale.....	53
4.3 Popolamento degli insiemi e degli indici.....	58
4.3.1 Le origini i	58
4.3.2 Le destinazioni j	59
4.3.3 I possibili hub k	60
4.3.4 Le fasce di peso f	61
4.4 Popolamento dei parametri.....	61
4.4.1 Il numero di hub p	61
4.4.2 I costi fissi I_k	61

4.4.3	Le distanze d_{ik} e d_{kj}	62
4.4.4	Le richieste dei clienti di materiale R_{jif}	66
4.4.5	Le soglie di peso t_f e t_g	66
4.4.6	I valori W_f delle fasce di peso.....	67
4.5	Sviluppo delle funzioni di costo.....	68
4.5.1	I costi di trasporto $C_{group\ O-H}$, $C_{group/ex\ H-D}$, $C_{expr\ H-D}$, $C_{group\ H-D}$	68
4.5.2	I costi fissi in base al numero di hub.....	76
4.6	Risoluzione del problema col solver.....	78
4.7	Soluzioni.....	83
4.7.1	$p = 1$: un solo hub europeo.....	84
4.7.2	$p = 2$: due hub europei.....	85
4.7.3	$p = 3$: tre hub europei.....	87
4.8	Implementazione dei <i>transit-time</i> nel modello.....	88
4.8.1	Studio dei tempi di transito attuali.....	88
4.8.2	Integrazione del modello.....	90
4.9	Soluzioni con i tempi di trasporto.....	92
4.9.1	$p = 1$: un solo hub europeo.....	92
4.9.2	$p = 2$: due hub europei.....	94
4.9.3	$p = 3$: tre hub europei.....	95
5.	Site Selection	97
5.1	Metodo a punteggio.....	97
5.2	Cambiamenti nella distribuzione europea.....	101
	Conclusioni	105
	Riferimenti	107

INTRODUZIONE

Questo lavoro di tesi affronta il problema della riorganizzazione del sistema distributivo europeo di un'azienda leader nel settore del controllo accessi. La situazione attuale prevede, nell'area di interesse, la presenza di quattro magazzini locali che servono altrettante aree europee distinte. È stata studiata la convenienza economica nella sostituzione di questi magazzini con uno/due hub logistici europei in posizioni strategiche e specializzati nella distribuzione del prodotto finito su zone più ampie. La valutazione è stata fatta su una base di convenienza economica e prevede l'analisi di diversi fattori quali: il costo di stabilimento, il costo del personale, il costo di freight-in e freight-out (quindi il costo relativo al trasporto) e il costo di giacenza. Un fattore molto importante è dato dal trasportatore utilizzato, il modello sviluppato può essere anche utilizzato per la scelta dello spedizioniere a cui affidare la merce una volta che quest'ultimo ha fornito i propri listini e tariffari. In particolare, nell'analisi sono stati considerati due principali trasportatori, e tre diverse modalità di trasporto: espresso, groupage ed espresso economico, che si pone come una soluzione intermedia: garantisce tempi di transito inferiori rispetto al classico groupage, con costi ridotti rispetto all'espresso.

Il modello sviluppato dunque, basandosi sui dati relativi alle consegne effettuate dal gruppo nell'area sopra citata su un anno rolling che parte dal 01/03/2021 fino al 28/02/2022, valuta tutte le possibili combinazioni di posizionamento degli hub in diverse aree europee e restituisce la soluzione a più basso costo. La trattazione prevede delle grosse approssimazioni ed assunzioni su aspetti che verranno affrontati in seguito, ma che sono inevitabili quando si adatta un problema reale ad un modello matematico. La sua bontà è valutata dunque sul confronto della cifra assunta dalla funzione obiettivo (in euro all'anno) nella situazione AS-IS con i dati reali forniti dalla sezione controlling relativi ai magazzini già esistenti nel medesimo periodo. Successivamente è possibile valutare le soluzioni ottimali che restituisce il modello in modo tale da poter valutare l'entità del risparmio conseguente.

Le soluzioni ottenute vanno poi contestualizzate ed interpretate sulla base dei fattori reali che possono influenzare la scelta. Oltre all'aspetto economico, infatti, vanno considerati ulteriori fattori, quali il tempo per arrivare al cliente e l'attitudine della zona ad accogliere un centro logistico. Il primo aspetto è stato valutato attraverso una seconda versione del modello che semplifica il problema considerando una velocità del groupage per raggiungere il cliente (poiché l'espresso, per sua natura, ha un tempo di transito garantito di 1-2 giorni, non è stato considerato). Questa risulta essere una grossa approssimazione dato che come verrà analizzato nella tesi è impossibile assegnare un'unica velocità su tutta Europa e ci sono tantissimi altri fattori che influenzano il tempo di transito, quali ad esempio paese considerato o qualità delle infrastrutture.

L'aspetto relativo all'attitudine della zona ad accogliere un centro distributivo è stato ricercato in letteratura ed il più interessante ha portato all'utilizzo di un metodo a punteggio basato su fattori che influenzano la logistica, locale che ha permesso di validare alcune soluzioni ottimali che sono state ottenute, confermando ulteriormente la bontà del modello.

Per quanto riguarda i metodi utilizzati si cita la banca dati dell'Università di Bologna per la ricerca bibliografica di articoli e casi studio di facility location. Gli strumenti informatici utilizzati sono:

- SAP: il software gestionale ha permesso di reperire con maggiore velocità e precisione i dati sulle spedizioni su tutta l'area europea;

- Excel: per lo studio dei dati, sono stati utilizzati sia fogli di calcolo che la programmazione in Visual Basic. È stato necessario scaricare tutti i dati relativi alle spedizioni nell'anno rolling considerato dal gestionale SAP e filtrarli secondo determinati criteri. Inoltre, Excel è stato essenziale per la condivisione dei listini da parte dei trasportatori, la manipolazione dei dati sulle spedizioni per la creazione del file dati da inserire nel software di ottimizzazione;
- Matlab: in particolare l'applicazione Curve Fitter per la mappatura dei listini e dei tariffari;
- GeoGebra: utilizzato per la rappresentazione tridimensionale delle curve dei listini;
- Gurobi: il software di ottimizzazione scelto per la soluzione del modello. Il linguaggio di programmazione scelto è AMPL che ha permesso di riportare più velocemente il modello matematico di Programmazione Lineare sul solver. Software fornito dall'Università di Bologna.

Il lavoro di tesi si apre con un approfondimento generale sulla logistica e sul contesto distributivo, in modo da avere un'infarinatura sul contesto nel quale il progetto si colloca. È possibile addentrarsi nelle dinamiche che hanno portato verso molte decisioni, per poi addentrarsi sempre più nello specifico delle reti distributive fino ad arrivare al caso aziendale e allo studio sviluppato nel dettaglio. In seguito, sono esposti i risultati ottenuti ed un'analisi critica dei punti di forza e degli svantaggi che comportano. Successive versioni del modello, che considerano per esempio i tempi di transito hanno portato a soluzioni più concrete ed attuabili. Successivamente si ha un'analisi sulle zone europee più indicate all'accogliere un hub europeo per ragioni collegamento ed accesso ai mercati europei. Infine, si hanno delle considerazioni sugli sviluppi futuri della logistica distributiva in Europa, l'aumento del volume delle merci, dei costi di trasporto e della congestione stradale hanno portato l'UE a muoversi con una serie di iniziative infrastrutturali che mirano a migliorare l'efficienza del trasporto merci su strada e delle sue alternative. Questo ha portato alla creazione di nuove rotte commerciali europee che si affiancano al corridoio principale, chiamato "Blue Banana".

1. LA LOGISTICA

1.1 Introduzione alla logistica

La logistica è la disciplina che tratta in maniera organica e sistematica la gestione integrata dell'intero ciclo operativo dell'azienda, industriale o del terziario, attraverso le sue principali funzioni di gestione dei materiali (approvvigionamento delle materie prime e dei componenti), di gestione della produzione (programmazione, fabbricazione, assemblaggio, controllo) e di gestione della distribuzione fisica dei prodotti finiti (movimentazione, stoccaggio, trasporto, imballo, ricezione e spedizione, assistenza post-vendita ai clienti), con l'obiettivo fondamentale di garantire un elevato livello di servizio ai clienti, fornendo prodotti di alta qualità, con rapidi tempi di risposta e a costi contenuti. Nella realtà aziendale, le tre funzioni della logistica hanno spesso un peso relativo assai differente in base al settore. Strumenti essenziali per l'ottenimento di questo obiettivo sono l'integrazione, anche attraverso l'utilizzo mirato delle risorse dell'automazione, dei flussi fisici e dei flussi informativi relativi a tutte le attività operative dell'azienda e la flessibilità dei mezzi produttivi e logistici per far fronte, con rapidità e senza grossi oneri di adattamento, al continuo cambiamento della gamma produttiva, conseguente alla variabilità del mercato.

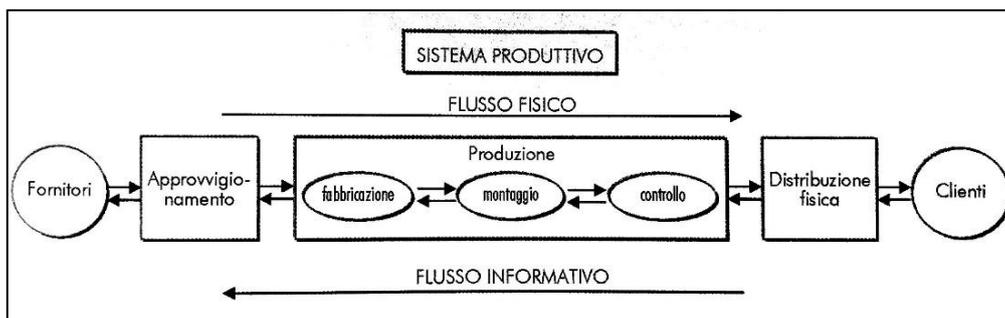


Figura 1.1: Schema della catena logistica.

All'interno della Supply Chain si possono individuare due flussi principali: quello fisico, ovvero dei materiali, prodotti o servizi dal fornitore verso il cliente e quello informativo, che ha senso opposto. La produzione di un bene o di un servizio deve essere realizzata quindi in accordo con le richieste dei clienti; questo deve avvenire sia nel caso di produzione su commessa e sia nel caso di una stima del potenziale comportamento della domanda di mercato (produzione per il magazzino) [1]. Deve essere presente un sistema informativo organico e completo. I flussi fisici comprendono: 1) il trasferimento del prodotto al cliente; 2) il controllo delle scorte dei materiali in lavorazione durante le fasi della produzione; 3) l'approvvigionamento con acquisto e movimentazione di materiali, semilavorati, prodotti finiti dal fornitore allo stabilimento di produzione/assemblaggio ai magazzini. I flussi informativi riguardano: 1) le previsioni del mercato: per stimare le vendite e dunque le scorte necessarie; 2) la gestione degli ordini: in modo da adattare i piani di produzione e di approvvigionamento dei materiali ai dati disponibili; 3) il programma generale di produzione: per l'ottimizzazione della capacità produttiva nel periodo considerato; 4) la pianificazione dei fabbisogni: per assicurarsi un adeguato approvvigionamento. Le informazioni necessarie per la gestione di un'azienda sono quindi molte e riguardano aspetti diversi, come le scelte sui prodotti (progettazione

e sviluppo), le scelte commerciali (vendite e marketing), quelle legate alla manutenzione degli impianti e quelle logistico-produttive.

Una corretta integrazione del flusso fisico deve essere anticipata e sostenuta dall'integrazione del flusso dei dati e delle informazioni, realizzando così un flusso logistico ottimale nelle sue componenti fisiche ed informative. L'aspetto informativo del flusso logistico diventa prevalente sull'aspetto fisico soprattutto nelle attività di programmazione della produzione e nelle connesse attività di approvvigionamento dei materiali. Perciò, le informazioni che fanno muovere i materiali provengono prevalentemente dai clienti, ovvero dal mercato. Per questo motivo si comincia con la previsione della domanda, sui periodi futuri, da cui, avvicinandosi al periodo attuale, discende tutta l'operatività. Sulla base delle informazioni di previsione della domanda sarà possibile elaborare i piani di produzione a lungo e medio termine e, infine, la programmazione delle singole lavorazioni. Parallelamente sarà possibile fissare il piano di rifornimento dei materiali e delle materie prime che consentono di alimentare il ciclo produttivo. In contemporanea, si potranno stendere i piani relativi alla distribuzione dei prodotti finiti, indicando modalità e tempistiche di consegna della merce.

1.2 Problematiche della Supply Chain

La complessità della Supply Chain rende il suo funzionamento piuttosto soggetto a complicazioni ed impedimenti. Una di queste criticità è legata al processo di previsione ed è conosciuto come "effetto Forrester", o effetto frusta (*bull-whip*). Negli anni '50, il professor Jay Forrester del Massachusetts Institute of Technology di Boston cominciò a studiare l'andamento della domanda, degli ordini e delle scorte all'interno della Supply Chain. Il fenomeno è conosciuto come effetto frusta per il tipo di oscillazione che un minimo movimento generato ad un estremo di una frusta porta all'altro, che risulta avere portata nettamente maggiore. Si assiste ad un'amplificazione della domanda lungo la catena di distribuzione, a volte con effetti disastrosi [2].

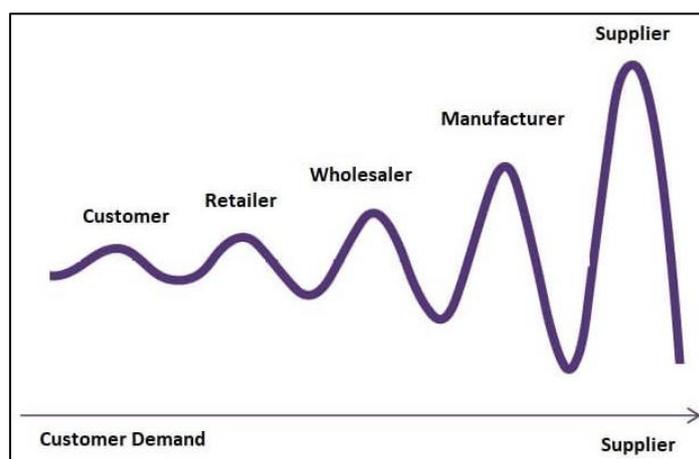


Figura 1.2: Rappresentazione della distorsione della domanda nella Supply Chain.

Per esempio, se la domanda dei rivenditori al dettaglio che si trovano a valle della catena varia del 10%, la domanda ai produttori (che si trovano a monte) può subire variazioni anche oltre al 40%.

Questo comportamento è una conseguenza dei tempi di reazione lenti dei diversi soggetti coinvolti. Le cause scatenanti possono essere più nel particolare:

- La distorsione delle informazioni;
- I ritardi nella propagazione dei dati;
- Le soglie di variazione massime per gli ordini ammesse dai diversi partner della Supply Chain;
- I tempi di risposta associati a queste variazioni degli ordini.

Si può affermare che questo effetto è generato perché i vari attori della Supply Chain utilizzano come indicatore del livello di domanda, i dati forniti da chi li precede lungo la filiera, anziché basarsi sul cliente finale. In altre parole, l'effetto Forrester non è generato solo dalla distorsione della domanda, ma anche dal desiderio dei singoli di ottimizzare localmente il proprio anello, evitando una migliore ottimizzazione globale. È un'inefficienza che non è dovuta al singolo, ma dell'intero sistema. Questa problematica provoca dunque evidenti oscillazioni nel livello delle scorte dei magazzini, penalizzando così tutti gli attori della catena. Si immagini che la domanda del prodotto X sia di 100 unità al giorno. Improvvisamente però il cliente ne richiede 200 unità:

- Un negozio richiede normalmente 100 unità del prodotto X. Normalmente possiede uno stock pari a 200: 100 per coprire la domanda normale e 100 unità adibite a scorta di sicurezza. Quando la domanda aumenta a 200 pezzi, il negozio utilizza la scorta di sicurezza, e sarà così obbligato a emettere un ordine al distributore pari a 300 unità: 200 per coprire la nuova domanda e 100 per rifornire le scorte di sicurezza.
- L'ordine di 300 pezzi arriva al distributore, che davanti a questo improvviso incremento della domanda utilizzerà parte dello stock a magazzino per coprire la domanda extra. Il distributore interpreta come un fattore costante e stabile tale aumento della domanda ed emette un ordine al fabbricante pari a 400 unità (ovvero aggiunge 100 unità per rifornire il proprio stock di sicurezza).
- Il fabbricante utilizzerà le proprie scorte di sicurezza per soddisfare la domanda di 400 unità, contemporaneamente inizierà a produrre di più poiché interpreta tale accelerazione della domanda come un aumento del consumo dei prodotti.

È bene considerare che nell'esempio sono stati considerati solamente tre passaggi, ma quanti più sono gli attori coinvolti, maggiori saranno i problemi generati dall'effetto *bullwhip*:

- Maggiori investimenti in inventario con aumento dei costi di stoccaggio;
- Si può generare stock-out, causato da un sovradimensionamento degli inventari che può produrre una rottura di stock a monte;
- La distorsione può indurre il fabbricante ad incrementare la produzione inutilmente. Una volta immessi sul mercato tali articoli non verranno venduti in quanto l'offerta non si appoggia sulla domanda reale;

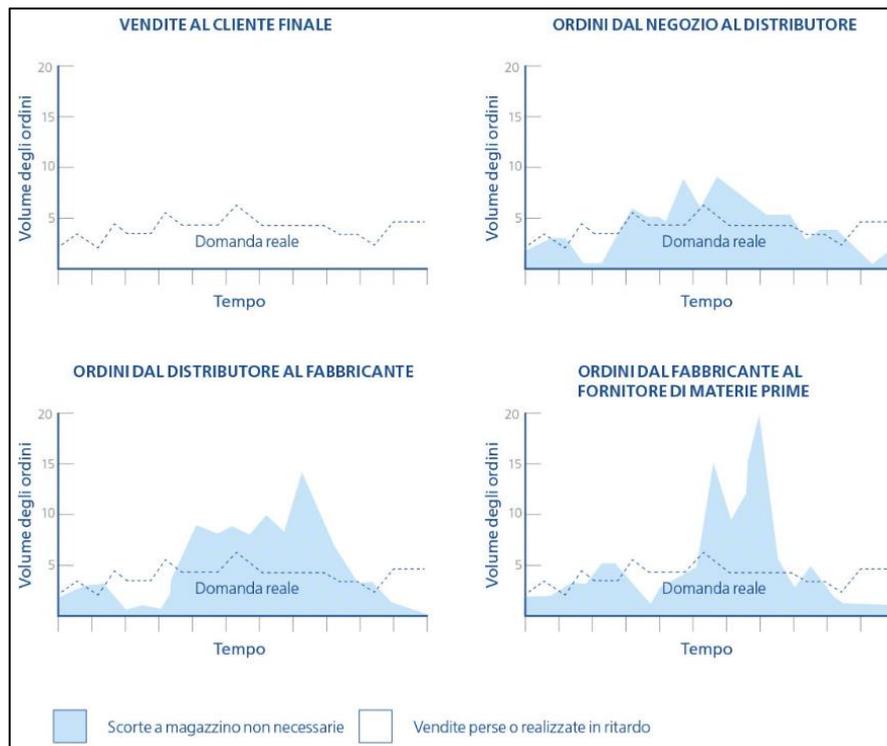


Figura 1.3: effetto frusta tra i vari attori della Supply Chain.

Senza una sostanziale revisione dell'intero processo, questo fenomeno contribuisce all'inefficienza del sistema che diventa via via sempre più difficile da sostenere. Emerge così l'importanza di una completa integrazione nella Supply Chain, intesa come costante condivisione e piena visibilità delle informazioni tra i diversi soggetti della filiera produttiva". Un altro punto importante è l'implementazione dei sistemi informatici in grado di rendere la pianificazione logistica più fluida: un sistema informativo trasversale può migliorare la visibilità dei dati e regola le previsioni di vendita a tutti gli attori coinvolti [3]. L'ultimo stadio del processo evolutivo della logistica conduce alla creazione del concetto di Supply Chain Management, che nasce dalla necessità di coordinare il più possibile le attività della propria azienda con quelle dei fornitori e dei clienti.

1.3 La Supply Chain Management

La SCM è definita: "The process of planning, implementing and controlling the efficient, cost-effective flow and storage of raw materials, in-process inventory, finished goods and related information flow from point of origin to point of consumption for the purpose to conforming to customer requirements" (Council of Supply Chain Management Professional). Il concetto di Supply Chain Management riguarda tutti i processi aziendali e non solo il processo logistico (sviluppo prodotti, customer service, ecc...). L'integrazione di tutte le attività operative, poiché permette di ridurre inefficienze e tempi di inattività, è il principale strumento per realizzare gli obiettivi che garantiscono un elevato livello di servizio al cliente:

- Rispetto della data di consegna e del tempo medio di consegna;
- Rispetto della quantità di prodotto ordinate;

- Rispetto della qualità delle merci nei confronti dell'ordine;
- Assenza di danneggiamenti durante la movimentazione e il trasporto.

Nel tempo è stato possibile assistere ad un'integrazione sempre più spinta dei flussi logistici, attraverso l'applicazione dell'automazione sia agli aspetti fisici che a quelli informativi, coinvolgendo anche altre attività di approvvigionamento e distribuzione, e quindi all'esterno, il sistema dei fornitori e dei clienti. Tuttavia, è bene specificare che l'integrazione e l'automazione logistica del ciclo operativo non sono sufficienti a far fronte alla variabilità del mercato odierno. Risulta necessario che il sistema di produzione acquisti adeguate caratteristiche di flessibilità. Le odierne esigenze del mercato richiedono una continua innovazione e personalizzazione del prodotto offerto. Questo ha un effetto diretto sulla produzione, che deve essere sempre più flessibile ed elastica per riuscire a seguire la variabilità della domanda. Un sistema produttivo flessibile si può ottenere oggi, con i migliori risultati, attraverso l'automazione flessibile dei sistemi e dei processi produttivi. L'economia di mercato è appunto la ricerca di nuove tecnologie di fabbricazione in modo tale da abbattere i costi e allo stesso tempo offrire una maggiore varietà di prodotti, con il risultato di lanci più frequenti di prodotti nuovi sul mercato e conseguente diminuzione del loro ciclo di vita.

La moderna fabbrica si caratterizza per questi aspetti:

- Elasticità del sistema di produzione, in modo da poter fronteggiare alle variazioni di quantità richieste dal mercato, dunque la possibilità di cambiare la propria capacità produttiva;
- Flessibilità del processo produttivo, in modo da fronteggiare le variazioni di qualità richieste dal mercato, quindi variare il mix di produzione.

L'impiego logistico risulta essere trasversale all'interno del sistema produttivo, i criteri di progettazione dei sistemi logistici sono strettamente legati a questi fattori:

- Evoluzione dei sistemi di produzione;
- Prodotto considerato e mix produttivo (strategia di mercato);
- Configurazione del lay-out, attrezzature per la produzione e l'assemblaggio, sistema di trasporto interno e metodo di stoccaggio del materiale;
- Metodologia di approvvigionamento dei materiali;
- Modalità di distribuzione ai clienti dei prodotti finiti;
- Modalità di gestione e controllo dell'avanzamento della produzione;
- Gestione dell'impianto e manutenzione delle strutture.

Nel capitolo successivo sarà affrontato più nel dettaglio l'argomento di distribuzione del prodotto finale verso i clienti, in quanto risulta essere molto importante per le trattazioni successive.

L'obiettivo finale della gestione logistica è quindi quello di fornire al cliente un servizio, ovvero il prodotto giusto al momento giusto e nel posto giusto con lo scopo di ottenere la soddisfazione del cliente, mantenendo al contempo i costi minimi.

2. LA LOGISTICA DISTRIBUTIVA

La logistica distributiva riveste un ruolo fondamentale nella catena produttiva (Supply Chain), i costi corrispondenti possono incidere sul costo del prodotto fino a qualche punto percentuale (mediamente 10-15%). L'obiettivo fondamentale è quello di permettere al prodotto di arrivare sul mercato di riferimento, nel rispetto del livello di servizio (LS) concordato con il cliente, al minor costo possibile. È possibile individuare questi aspetti operativi tipici della distribuzione:

- La durata del ciclo dell'ordine: questo è costituito dal tempo che intercorre tra il momento del ricevimento dell'ordine da parte del fornitore al momento della consegna al cliente del prodotto desiderato. Tanto più breve risulta essere questo intervallo di tempo e migliore è il servizio percepito dal cliente;
- La puntualità delle consegne: questo risulta essere sempre un parametro critico per le aziende di trasporto poiché il mercato diventa sempre più esigente. La puntualità viene misurata tramite dei KPI (Key Prestation Indicator), utili per stabilire se le prestazioni concordate in fase contrattuale vengono rispettate o meno dal trasportatore;
- La completezza delle consegne;
- L'affidabilità del fornitore: è importante misurare le prestazioni del fornitore in un tasso di tempo sufficientemente lungo. All'interno di queste misurazioni si tengono conto di consegne effettuate in ritardo, ordini che il venditore non è riuscito ad evadere per stock-out o le consegne rifiutate per consegna di un prodotto sbagliato;
- Il "Customer Service": è molto importante il servizio che l'azienda offre ai propri acquirenti anche post-vendita.

Le principali decisioni riguardano la scelta della modalità di trasporto, il consolidamento dei materiali stoccati, la pianificazione del carico dei veicoli e l'individuazione dei percorsi ottimali. Caratteristiche che influenzano maggiormente la scelta di una modalità di trasporto piuttosto che un'altra sono il costo del servizio offerto, rapidità e regolarità e il danneggiamento/smarrimento della merce trasportata. Quando il servizio di trasporto non costituisce un vantaggio competitivo, la scelta va fatta valutando la soluzione con il migliore compromesso tra il costo indiretto di giacenza del materiale, che dipende dalla prestazione di tale sistema di trasporto, e il costo diretto di utilizzo di tale sistema. Infatti, affidarsi ad un servizio più lento e meno affidabile significa introdurre più scorte nel canale distributivo e dunque se il costo di giacenza sale, deve diminuire il costo del servizio di trasporto. Pertanto, analizzando le diverse alternative che si hanno a disposizione, risulta vantaggioso scegliere la soluzione che permette di minimizzare il costo totale, compatibilmente con le richieste del cliente. Se invece, la modalità di trasporto costituisce un valido strumento competitivo tra le aziende, è bene ricordarsi che un compratore tenderà sempre a scegliere il fornitore sulla base del prezzo e del livello del servizio logistico offerto. Per l'acquirente una modalità di trasporto più affidabile, ovvero con bassi e poco variabili tempi di transito, permette di avere bassi livelli di giacenza e permette una maggiore affidabilità nella pianificazione delle operazioni. Per ottenere dal fornitore, nel caso sia lui a sceglierlo, il miglior mezzo di trasporto, il compratore può offrirgli la sua fedeltà. Dunque, il fornitore risulterà più incoraggiato ad intensificare l'impiego del servizio di trasporto più gradito al cliente grazie ad un aumento del volume di affari. All'interno di un ambiente dinamico e competitivo, dove ciascun fornitore può offrire al cliente i medesimi servizi di trasporto, è bene che il singolo fornitore non punti su un solo servizio di trasporto. È bene sottolineare, inoltre, che la cooperazione tra cliente e fornitore risulta essere favorita quando

ciascuno conosce i costi dell'altro. Se le entità fossero separate, infatti, è molto difficile condividere le informazioni. Conoscere o stimare le reazioni della controparte in caso di certe azioni intraprese, come l'utilizzo di un determinato servizio di trasporto o il grado di fidelizzazione, risulta assai utile per raggiungere la cooperazione [1]. Infine, come il compratore, anche il fornitore assiste a variazioni del livello di giacenza in base al tipo di trasporto utilizzato. Il venditore adeguerà dunque il proprio prezzo per tenere conto di questo aspetto.

Ruolo della logistica distributiva è quello del cambiamento di posizione di un prodotto che si trova in un punto di origine O e generico istante t, e che attraverso attività di trasporto giungono del punto di destinazione D al generico istante t'. Le attività legate al flusso del materiale che vengono attuate lungo il canale di distribuzione sostanzialmente riguardano lo stoccaggio della merce, la preparazione degli ordini per il "cliente" a valle del canale (non è detto che sia il cliente finale) e la separazione dell'ordine. Quest'ultima attività consiste nella "rottura" dell'unità di carico, in genere pallettizzata, in arrivo per la preparazione di una o più attività di carico, multi-codice, che contengano il materiale richiesto dallo step a valle.

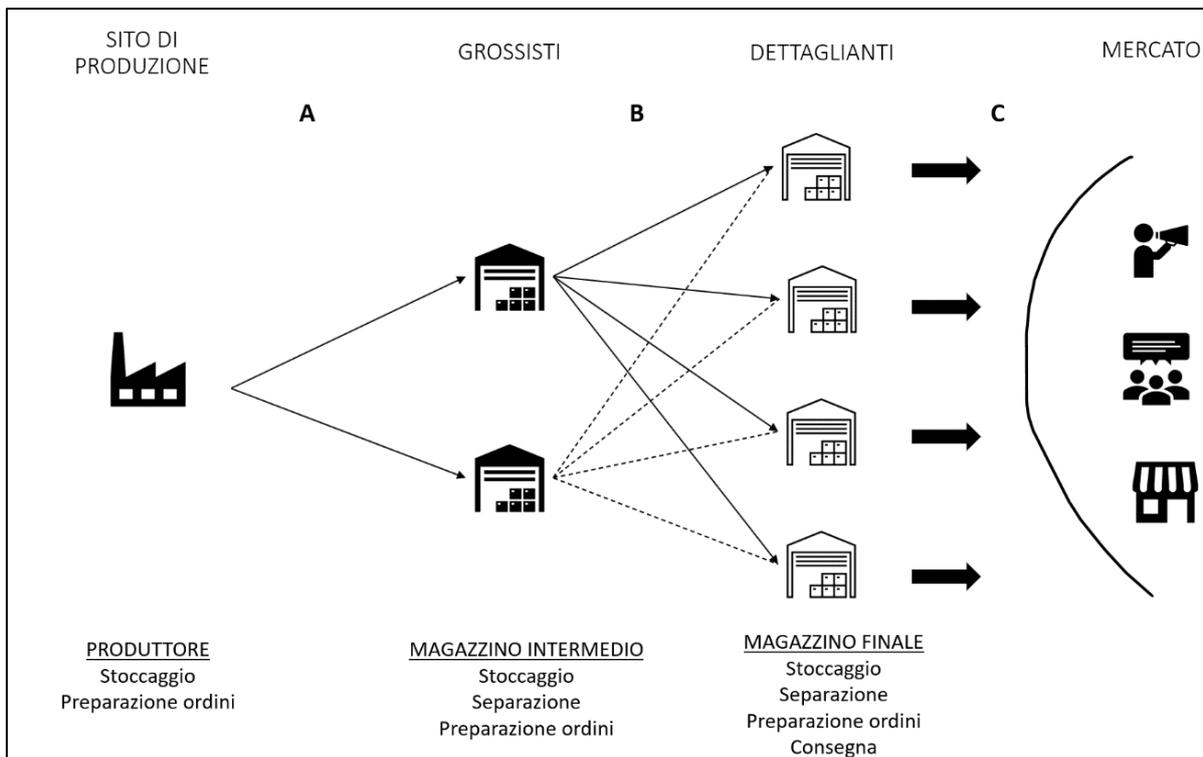


Figura 2.1: Attività tipiche lungo il canale distributivo.

La progettazione di un sistema distributivo richiede l'analisi di diversi fattori di differenti ambiti:

- La determinazione del livello di servizio da garantire al cliente. Generalmente risulta essere funzione del settore merceologico e del mercato a cui si fa riferimento;
- La pianificazione del canale distributivo, ovvero bisogna scegliere quanti punti di stoccaggio inserire, dove e di che dimensione;

- Selezione dei livelli delle scorte e scelta delle procedure per la gestione operativa e per il controllo delle stesse;
- La scelta del sistema di trasporto. I problemi della selezione delle modalità di trasporto, della selezione dei mezzi, della formazione dei carichi, della definizione dei percorsi e della schedulazione dei veicoli devono essere attentamente analizzati;
- Gli imballaggi. Devono risultare adeguati a essere facilmente impilabili e compatibili con ogni sistema di trasporto, devono permettere l'ottimizzazione degli spazi e allo stesso tempo si deve tenere conto del recupero dei materiali;
- La pianificazione del flusso informativo e la gestione degli ordini. Come già detto il flusso fisico dei prodotti è affiancato ad un adeguato flusso di informazioni. Risultano interessanti a questo proposito gli approcci basati sul DRP (Distribution Resource Planning).

Non esiste un'unica configurazione ottimale del sistema distributivo, ma a seconda delle diverse realtà e delle priorità specifiche si possono dover ricercare soluzioni diverse. In prima analisi si hanno due alternative possibili per il network distributivo: consegna diretta o consegna indiretta.

La consegna diretta prevede che i prodotti siano forniti dal venditore al cliente senza intermediari e può avvenire:

- con stoccaggio centralizzato presso il fornitore;
- con stoccaggio decentralizzato presso il cliente.

Il lead-time (ovvero l'intervallo di tempo tra il momento dell'ordine e l'arrivo del prodotto) è ridotto e si risparmia sui costi dell'utilizzo di un magazzino. Non è conveniente se le spedizioni sono piccole e i clienti sono sparsi, in quanto comporterebbe l'uso di una flotta di veicoli semivuoti. È invece comune in caso di volumi di consegna elevati, prodotti stagionali e prodotti fragili.

La consegna indiretta prevede invece la presenza di step intermedi tra fornitore e cliente:

- tramite deposito: il magazzino riceve i beni in ingresso, li stocca, e a fronte di ordini li spedisce. È possibile sia la soluzione con uno singolo centralizzato o di tanti regionali decentralizzati. Indicato quando i fornitori sono scarsamente affidabili e articoli di importazione;
- tramite *transit point* (cross-docking): avviene la cosiddetta distribuzione *just in time*. Il magazzino diventa una piattaforma logistica nella quale i prodotti rimangono per breve tempo, le merci vengono trasferite da trasporti sulla lunga distanza a trasporti sulla corta distanza. Ne risulta una minor gestione dello stoccaggio, ma una maggiore complessità di sincronizzazione delle fasi di ingresso e uscita. Questa strategia richiede volumi di beni elevati, a bassa variabilità, e facilmente maneggiabili, con la coordinazione dei flussi che avviene mediante un supporto informatico. Utilizzato soprattutto con fornitori affidabili e per articoli continuativi o in promozione.

Ciascuna di queste opzioni costituisce una valida alternativa e presenta vantaggi e svantaggi che devono essere valutati in base al caso in questione, che è influenzato dagli obiettivi strategici, delle caratteristiche dei prodotti, dai clienti e dal contesto in cui si opera, oltre naturalmente al tipo di performance che si vuole ottenere.

2.1 La scelta del sistema di trasporto

Nell'azione distributiva va inizialmente fatta una scelta sul tipo di trasporto da adottare e il suo impatto sull'organizzazione, dipende dalle caratteristiche del prodotto e dalle caratteristiche della consegna da effettuare.

Caratteristiche del prodotto: tipo, peso, ingombro, pericolosità, ...

Caratteristiche della consegna: origine, destinazione, urgenza richiesta, costo tollerabile, protezione del prodotto, ...

Le modalità di trasporto che un'azienda può adottare sono principalmente cinque, diverse per caratteristiche, costi e prestazioni:

1. trasporto via acqua;
2. trasporto su rotaia
3. trasporto su gomma;
4. trasporto via aerea;
5. trasporto in condotta.

La seguente tabella indica quale dei sistemi sopra citati è preferibile secondo i principali driver di scelta.

	VELOCITA'	IMPATTO AMBIENTALE	COSTO TRASPORTO	PROTEZIONE MERCE	MERCE PESANTE/VOLUME	MERCE DI VALORE
+	aereo	acqua	acqua	aereo	acqua	aereo
	gomma	rotaia	rotaia	strada	rotaia	gomma
	rotaia	gomma	gomma	rotaia	gomma	rotaia
-	acqua	aereo	aereo	acqua	aereo	acqua

Tabella 2.1: scelta del tipo di trasporto in base ai principali driver di scelta [4].

Le cinque modalità possono essere impiegate singolarmente od in modo combinato. Il costo del servizio offerto da uno spedizioniere è composto dalla voce del costo del trasporto più eventuali costi accessori per servizi addizionali, come operazioni di carico dal fornitore o scarico dal cliente, assicurazioni, ecc....

Una misura della prestazione del vettore è la variabilità del tempo di transito, su cui influisce notevolmente la distanza percorsa.

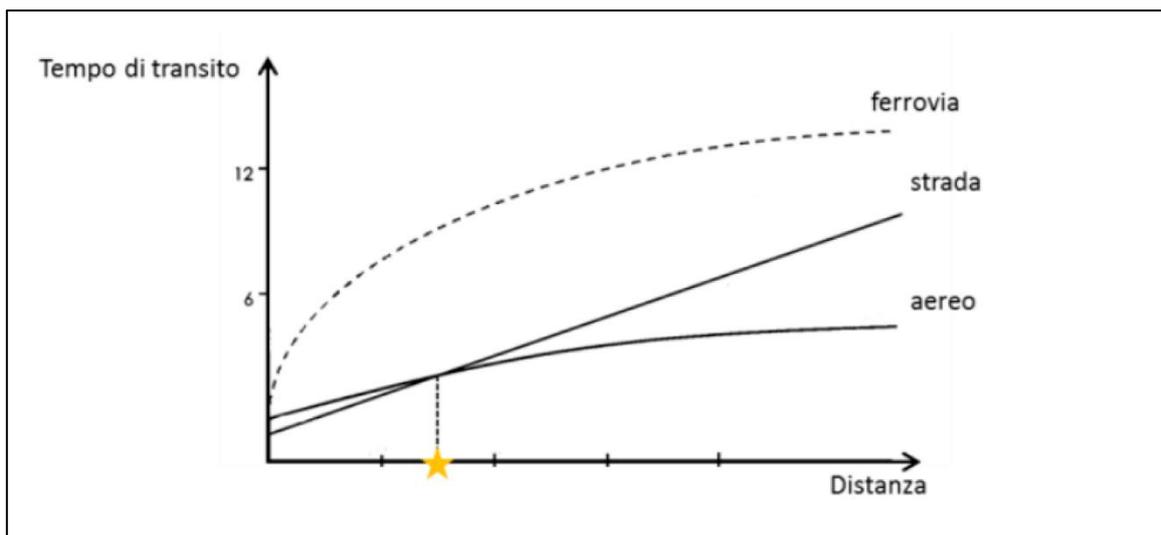


Figura 2.2: Andamento qualitativo del *transit-time* in funzione della distanza e del mezzo.

L'andamento del *transit time* è asintotico al crescere della distanza per il trasporto aereo o su rotaia, mentre risulta essere circa proporzionale alla distanza percorsa per il trasporto su gomma. È possibile notare che si ha una convenienza nel tempo di transito nel trasporto con aereo piuttosto che su gomma per distanze superiori a 900 km circa. Per distanze molto brevi risultano essere molto influenti i tempi per il carico/scarico piuttosto che il tempo di effettiva movimentazione. Il trasporto marittimo non viene rappresentato in quanto è indicato per distanze enormemente maggiori. È interessante notare come sfruttando una combinazione di più modalità, è possibile abbassare i costi. È proprio questa la logica del trasporto multimodale.

Poiché le operazioni di carico/scarico negli scali merci aeroportuali risultano essere molto lente, possono andare a limitare i vantaggi tempistici tipici del trasporto aereo. Alcune compagnie, per ovviare a questo problema, offrono dei servizi intermodali, aero-ferrovia-gomma garantendo una distribuzione door-to-door al cliente finale efficiente.

Per la distribuzione al cliente sono responsabili i corrieri, operatori di trasporto su percorsi fissi in ambito regionale o nazionale. I corrieri espressi sono un particolare tipo di corrieri organizzati con reti internazionali destinate al trasporto di piccole partite (di solito inferiori ai 20 kg), grazie alle loro strutture altamente automatizzate ed informatizzate riescono ad offrire spedizioni più rapide, affidabili ed a frequenza quotidiana (maggior livello di servizio).

2.2 Il canale logistico

Il canale distributivo è definito come l'insieme delle risorse e delle strutture, di proprietà dell'azienda o di terzi, mediante le quali i beni e i relativi servizi vengono venduti o trasferiti ai clienti. Esso è costituito da due componenti:

- *il canale logistico*: rappresenta la rete distributiva per il raggruppamento, la selezione, lo smistamento, il trasporto e la consegna delle merci. Di queste funzioni, le prime tre sono svolte nei magazzini;

- *il canale commerciale*: costituito dalle strutture atte alla vendita del prodotto.

Il canale logistico-produttivo è l'insieme delle risorse e delle strutture, idonee a consentire il flusso fisico delle merci dai produttori ai clienti, delle informazioni dai clienti ai produttori e viceversa (recupero degli imballaggi e dei prodotti dismessi, supporto tecnico all'assistenza post-vendita). Il canale logistico comprende:

- la rete distributiva, i cui NODI sono costituiti dai depositi (di fabbrica, centrali, periferici, transit point) e dai punti di vendita;
- i sistemi di trasporto (ARCHI) che connettono i nodi della rete e rappresentano i sistemi di trasporto (stradale, marittimo, ferroviario o aereo).

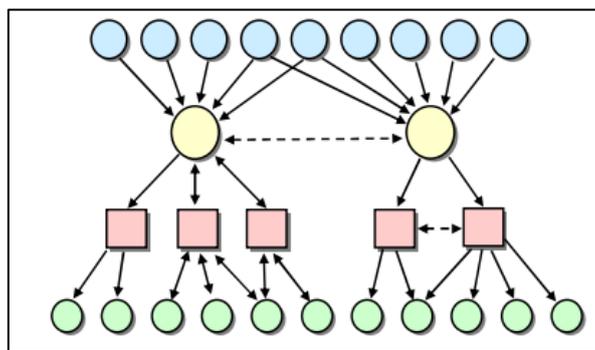


Figura 2.3: Rappresentazione di una rete costituita da nodi e archi.

La rete logistica comprende quindi flussi di materiali regolati dalla domanda dei clienti finali. I mezzi di trasporto rappresentano l'elemento fisico che permette il trasferimento dei prodotti dai nodi dei fornitori ai nodi degli acquirenti. Tra queste due tipologie di nodi, che vengono dette terminali, si collocano i nodi intermedi, che rappresentano stabilimenti e impianti di tipo logistico quali magazzini, centri distributivi, *transit point* o depositi periferici. L'inserimento dei nodi intermedi all'interno dei percorsi è necessario per due motivi: il primo consiste nell'innalzamento del livello di servizio al cliente in quanto il prodotto finito risulta essergli più vicino e dunque è più facile soddisfare la sua richiesta nei tempi desiderati; il secondo è dovuto al fatto che permettono di ridurre i costi logistici, in quanto è possibile raggruppare le spedizioni di diversi prodotti in modo tale da avere significative economie di trasporto.

Si definisce “*rete distributiva ad un livello*” quando si ha la presenza di un deposito centrale nel percorso del prodotto dal fornitore al cliente. Questo deposito garantisce la completezza di gamma nel caso di fabbriche e/o fornitori focalizzati su parte della gamma, garantisce un buon compromesso tra tempi di ciclo rapidi e scorte di sicurezza basse ed infine ottimizza il trasferimento della merce dai punti di origine ai punti di consegna. Infatti, il trasporto dal sito produttivo al deposito centrale avviene attraverso un veicolo tipicamente a carico completo (Full Track Load); saturando il più possibile il mezzo si riesce a ripartire il costo dell'attraversamento di quella tratta su più prodotti possibili, minimizzando il costo unitario di trasporto.

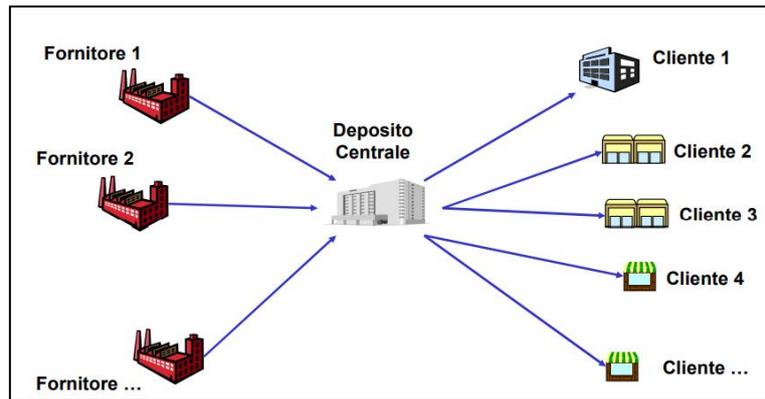


Figura 2.4: Rappresentazione schematica della rete ad un livello.

I flussi fisici gestiti dal deposito centrale possono essere:

- gestione a stock: l'ordine del cliente/punto di vendita viene soddisfatto a partire dallo stock di questo magazzino (*pick and pack*). Il cliente emette l'ordine e riceve la merce posseduta dal magazzino, quest'ultimo verrà poi rifornito dal sito produttivo;
- gestione *cross-docking*: l'ordine emesso dal cliente/punto vendita viene già preparato dal fornitore, il quale poi lo invia al magazzino centrale già imballato come unità di carico (UdC). Non avvengono nel magazzino attività di allestimento e preparazione degli ordini (*picking*), similmente ad un *transit point*. L'automezzo pieno e proveniente dal produttore giunge al magazzino centrale, nella baia di scarico avviene lo smistamento delle sue merci verso gli automezzi destinati alla consegna ai clienti, tramite le baie di carico. Per il *cross-docking* è necessario servirsi di fornitori affidabili, in quanto la puntualità delle consegne permette il coordinamento delle attività di carico e scarico da un mezzo all'altro.

Una soluzione molto diffusa per la rete distributiva ad un livello è quella del singolo EDC (European Distribution Center) localizzato in prossimità dei porti del "Northern Range". Un'alternativa è la soluzione con 2-4 DC, di cui uno nel Centro-Nord Europa (Benelux) ed uno a Sud per il bacino Mediterraneo (lungo l'asse Barcellona-Marsiglia-Milano-Trieste).

Si definisce "*rete distributiva a due livelli*" quando si ha la presenza nel percorso del prodotto dal fornitore al cliente di un deposito centrale seguito da un secondo livello di stock presso una rete di depositi periferici a esso collegata. Il ruolo dei depositi periferici è quello di consentire di razionalizzare i trasporti in ingresso dal livello superiore della rete e di essere maggiormente vicini alla distribuzione finale. Questi depositi hanno al proprio interno le scorte che permettono di far fronte alla richiesta dei compratori di loro pertinenza geografica. Il ripristino dello stock può avvenire sia in modalità *pull* sia in modalità *push* dal deposito centrale. Il trasporto dal magazzino centrale a quello periferico è svolto ancora con automezzi a carico completo con l'obiettivo di evitare lo stock-out (lo stock del magazzino non riesce a soddisfare la domanda) di quest'ultimo. Il trasporto finale, ovvero dal magazzino periferico al cliente, è difficile da ottimizzare in quanto è fortemente dipendente dalle richieste del cliente in termini di localizzazione e data di consegna.

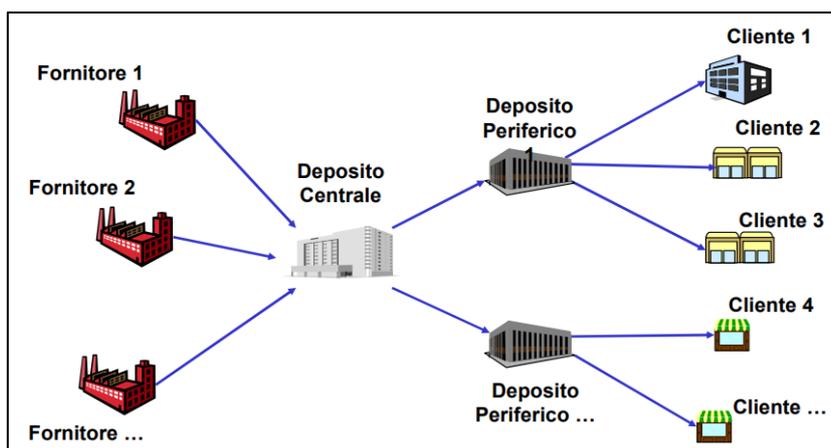


Figura 2.4: Rappresentazione schematica della rete a due livelli.

Una “rete distributiva mista a due livelli” si verifica quando l’azienda si serve contemporaneamente di depositi centrali, depositi periferici e/o *transit point* per far arrivare i prodotti ai propri clienti. In base alla posizione di destinazione e alle strategie è possibile che la consegna sia diretta, oppure indiretta, in cui il materiale passa per uno o più dei depositi sopra citati. La configurazione della rete è diversa sulla base delle distanze tra i singoli nodi, delle quantità o dei tempi per l’evasione degli ordini. Questa soluzione comporta una maggiore differenziazione del servizio e un maggiore riguardo verso le esigenze del mercato, a fronte di una maggiore complessità organizzativa.

I *transit point* consentono esclusivamente la razionalizzazione dei trasporti in ingresso. Non vi sono scorte di funzionamento, bensì solo scorte di transito. Nel *transit point* avviene esclusivamente lo smistamento delle merci (*cross-docking*) preparate nei nodi precedenti della rete sulla base degli ordini pervenuti.

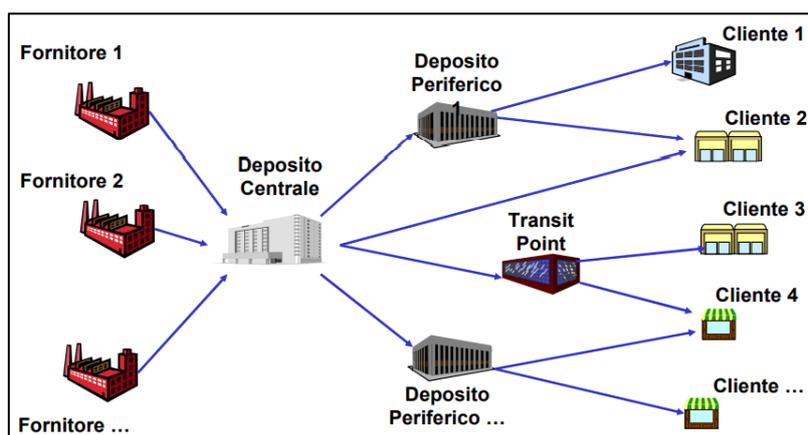


Figura 2.5: Rappresentazione schematica della rete mista a due livelli.

In generale si può distinguere tra il trasporto primario e secondario. Il primario si riferisce a traffici in-bound su tratte di lunga distanza (fabbrica verso deposito centrale, deposito centrale verso deposito periferico, deposito periferico verso *transit point*). I mezzi viaggiano a carico pressoché completo

(saturazione in peso/volume) ed i tempi di viaggio risultano essere preponderanti rispetto ai tempi fissi di carico/scarico, controlli ed attese. Il trasporto secondario si riferisce invece alla fase di distribuzione secondaria in aree urbane o aree geografiche circoscritte (dal deposito centrale verso punti vendita, dal deposito periferico/*transit point* verso i clienti tradizionali). I mezzi effettuano più fermate durante un singolo viaggio ed i tempi fissi del giro di consegna sono confrontabili ai tempi variabili di viaggio [5].

2.3 I magazzini nella rete logistica

I magazzini sono presenti all'interno di tutte le realtà industriali e commerciali per:

- contenere le scorte di materiali;
- permettere il riassortimento dei materiali e la formazione di nuovi lotti diversi per articolo/quantità.

Se prima il magazzino era visto unicamente come un contenitore per le scorte, quasi isolato dal contesto in cui si trovava ad operare, oggi rappresenta un nodo fondamentale all'interno della rete logistica. Esso acquista una specifica funzionalità che è dipendente dalla sua collocazione all'interno della rete, assumendo così un ruolo importantissimo per l'azienda.

Le ragioni per cui le aziende devono creare e mantenere scorte di materie prime, componenti, semilavorati e prodotti finiti sono:

- smorzare le irregolarità dei consumi;
- smorzare le irregolarità dei ricevimenti e di produzione;
- ottenere flessibilità rispetto alle variazioni del mix produttivo e alle variazioni di volumi;
- agevolare e velocizzare la distribuzione dei prodotti ed ottimizzare i trasporti;
- rimediare all'inaffidabilità degli impianti;
- attuire ad eventuali problemi dovuti a difetti di qualità;
- appianare l'inattendibilità delle previsioni della domanda;
- rimediare in parte ad una programmazione non adeguata;
- cautelarsi da fornitori non affidabili o poco flessibili.

Esistono principalmente quattro funzioni operative dei magazzini:

1. Stoccare e conservare i prodotti: la merce deve essere conservata in un luogo adeguato e progettato per ottimizzare gli spazi occupati e per evitare eventuali danneggiamenti (es. agenti atmosferici), degradamento o furto.
2. Rendere disponibile la merce per il cliente: il magazzino di distribuzione contiene le scorte di prodotto così da poter rispondere in modo celere alla richiesta del cliente. È importante un'attenta analisi sulle quantità da mantenere in modo che non si verifichi stock out e poter sempre soddisfare la domanda. Questo viene detto stoccaggio attivo e ha come scopo quello di assicurare la risposta alla domanda di mercato per i clienti di pertinenza geografica relativa a un determinato periodo. Inoltre, si definisce stoccaggio prolungato il mantenimento a magazzino delle merci per periodi superiori a quello necessario per il normale reintegro delle scorte stesse. Tale tipo di stoccaggio viene usato quando si è in presenza di prodotti stagionali

che vanno conservati in attesa della domanda, oppure nelle situazioni in cui la domanda da parte dei clienti finali è imprevedibile, o ancora quando si hanno dei prodotti particolari che necessitano di essere stoccati per un determinato periodo prima della vendita.

3. Movimentare e controllare la merce: è impossibile sincronizzazione i cicli di approvvigionamento, i cicli di produzione, i cicli di trasporto e cicli di consumo; infatti, ciascuno di essi è subordinato ai propri vincoli. Poiché bisogna garantire un determinato livello di servizio al mercato è quindi necessario accumulare scorte di prodotti nei magazzini, così da permettere che il bene sia disponibile al momento giusto e nel luogo giusto per il cliente finale. La scorta si crea “fisiologicamente” nel momento in cui vengono ricevute le merci con una frequenza diversa da quella in cui vengono consumate. Alcune metodologie di rotazione delle scorte utilizzano ad esempio la logica LIFO (Last In – First Out) o la logica FIFO (First In – First Out). La prima prevede che i primi beni a essere prelevati da magazzino siano anche gli ultimi ad essere stati inseriti, contrariamente alla logica FIFO, in cui i primi prodotti inseriti sono anche i primi ad essere prelevati.
4. Smistare, caricare/scaricare le merci.

I magazzini quindi significano capitali immobilizzati, con elevati interessi passivi, soggetti anche ad un progressivo deprezzamento, nel caso di deteriorabilità della merce stoccata; dunque, la scorta di merce e di prodotti deve essere ridotta al minimo indispensabile, adottando un’intelligente politica degli approvvigionamenti, standardizzando il più possibile le materie prime, i semilavorati ed i prodotti finiti. Molto importante riguardo alla gestione delle scorte è anche la relazione tra i diversi depositi appartenenti alla stessa rete distributiva. La produzione si basa sulla richiesta di mercato dei clienti in prima battuta, ma deve tenere anche in considerazione della situazione lungo la rete distributiva. La produzione e la consegna della merce in una certa quantità è “tirata” dalle richieste dei depositi centrali, che a loro volta risentono delle richieste dei depositi periferici, che a loro volta devono seguire le esigenze dei clienti/punti di vendita. Infine, è bene che il rifornimento dei magazzini avvenga con il mezzo saturo per ottimizzare i trasporti. Si dice quindi che la domanda è “dipendente” e ciò incide notevolmente sul dimensionamento dei magazzini e sulle politiche adottate per gestire i rifornimenti. In linea generale, più ci si trova a monte all’interno della rete logistica e più i lotti diventano grandi ed i lead time si allungano.

2.4 Elementi di progettazione delle reti distributive

Fissati i punti di origine (fornitori, stabilimenti, ecc....) e i punti di consegna (consumatori, depositi cliente, ecc....), note le caratteristiche del prodotto, le esigenze di servizio e il profilo della domanda è necessario prendere una serie di decisioni logistiche sull’organizzazione della rete distributiva. Lo scopo è quello di individuare la struttura della rete che consente di raggiungere gli obiettivi di servizio al minimo costo complessivo che è composto da:

- Costi di trasporto (primario, distribuzione secondaria);
- Costi di warehousing (stoccaggio, movimentazione, picking);
- Costi delle scorte (scorte di ciclo, di sicurezza, in transito);
- Altri costi (order processing, pianificazione, resi, ...).

	STRATEGICO	OPERATIVO
Rete / Depositi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ numero dei livelli della rete ▪ numero di depositi per livello ▪ localizzazione depositi ▪ tipologia, dimensione, automazione ▪ in-house vs. outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ layout, allocazione articoli ▪ sistemi di stoccaggio / handling ▪ allestimento degli ordini ▪ collegamenti intra-depositi
Trasporti	<ul style="list-style-type: none"> ▪ modalità di trasporto ▪ conto proprio vs. conto terzi ▪ dimensionamento della flotta 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensione lotti di consegna ▪ organizzazione dei trasporti primari ▪ organizzazione distribuzione locale
Scorte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ selezione fornitori ▪ politiche di gestione delle scorte ▪ allocazione scorte sicurezza ▪ centralizzato / decentralizzato 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ emissione degli ordini ▪ lotto / intervallo di riordino ▪ gestione dei back-order ▪ tecniche di previsione della domanda
Servizio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ definizione obiettivi di servizio ▪ architettura indicatori KPI ▪ strategie di servizio per canale 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ gestione urgenze ▪ gestione non conformità / azioni correttive

Figura 2.5: Architettura delle decisioni logistiche per la progettazione della rete distributiva.

Prima di formalizzare il problema distributivo, è necessario prendere in considerazione i seguenti elementi di progettazione:

- **Caratteristiche della merce:** ovvero è necessario tenere conto della densità, del valore (€/kg o €/m³), della deperibilità (quindi se si tratta di prodotti freschi, surgelati o meno), stato (solido, liquido, gas, polverulenti, ...), imballaggio (merce sfusa, su pallet, in colli, ...), pericolosità (materiale infiammabile, esplosivo, tossico, ...), sostituibilità (a parità di altre condizioni, il tempo di resa o la disponibilità di un prodotto presso un deposito ne determinano l'acquisto);
- **Caratteristiche spazio-temporali della domanda:** l'analisi temporale del profilo della domanda permette una valutazione sui profili di stagionalità, che può essere un fattore a favore di soluzioni di terziarizzazione logistica e costituisce comunque una causa di complessità della gestione operativa (come, per esempio, l'allocazione delle risorse). L'analisi del profilo spaziale della domanda consente la determinazione della sua distribuzione geografica nelle aree di consegna e risulta fondamentale sia nella stima delle percorrenze attese nelle operazioni di consegna locale, sia nella selezione degli operatori logistici. Importante può essere la costruzione della mappa dell'assorbimento della domanda, che dipende dalla distribuzione dei clienti;
- **Livello di servizio:** se il ciclo ordine-consegna risulta essere molto stretto, bisogna munirsi di magazzini vicini al mercato oppure di trasporti più veloci. Se i tempi sono più ampi (ad esempio una settimana), invece, e le consegne di grandi dimensioni, è possibile accorpate 2-5 consegne e inviare un mezzo completo che può eseguire più fermate direttamente ai punti di consegna. Anche la frequenza delle consegne/lotto di rifornimento influisce significativamente sul tipo di logistica. Se il quantitativo medio richiesto è grande (quindi con bassa frequenza) la consegna può avvenire direttamente dal deposito centrale (a carico completo); altrimenti si rende necessario una rete costituita da depositi periferici o *transit point* dove disaccoppiare il trasporto primario a lunga distanza e la distribuzione secondaria.

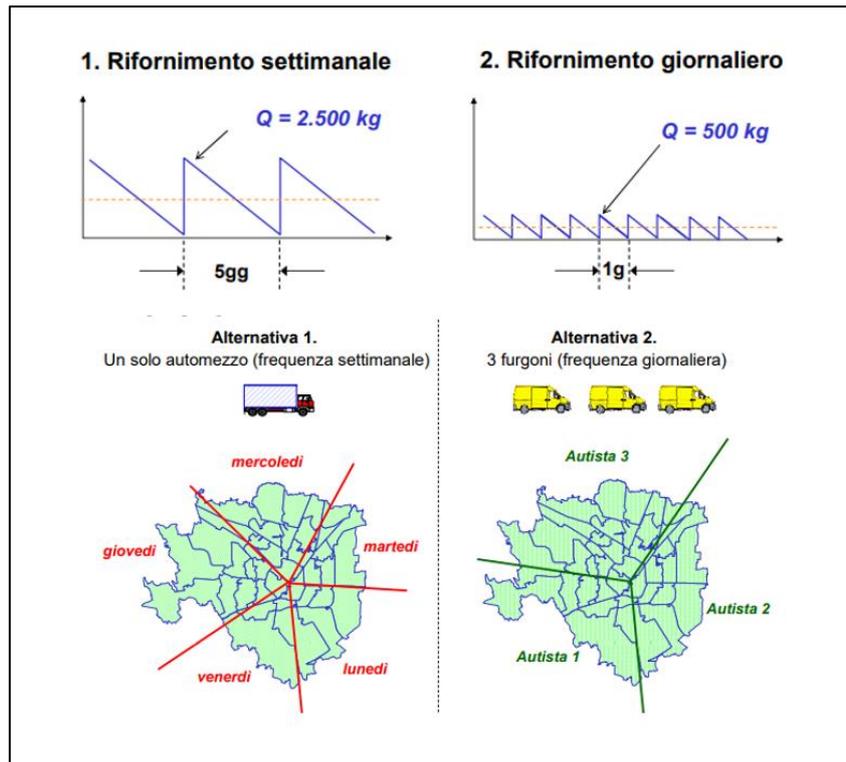


Figura 2.6: Esempio di soluzione in base alla frequenza di consegna/lotto.

Il dimensionamento della rete di depositi, dopo aver fissato il numero di livelli, può essere ottenuto minimizzando il costo complessivo di distribuzione nel rispetto dei vincoli di servizio. Il costo di trasporto primario (CTP) rimane sostanzialmente costante al crescere nel numero N dei depositi periferici, fintanto che i trasporti siano a carico completo. Infatti, se la rete diventa eccessivamente frazionata, i costi aumentano a causa di carichi non completi; quindi, aumenta l'incidenza dei costi fissi e maggiore rischio di ritorno a vuoto dei mezzi. Generalmente, è possibile individuare una funzione di costo per il trasporto primario che dipenda da tre fattori principali:

$$CTP = f(T_{km,kg}; d; P) \quad [€/anno]$$

dove:

- $T_{km,kg}$: tariffa unitaria del trasporto primario $[\frac{€}{km \cdot kg}]$, $[\frac{€}{km \cdot q}]$;
- d : distanza percorsa per il trasporto primario;
- P : $\begin{cases} portata\ utile\ automezzo \\ peso\ della\ merce\ trasportata \end{cases}$

Il costo del trasporto secondario (CTS), invece, è decrescente all'aumentare del numero N di depositi periferici, in quanto le distanze tra i magazzini e le zone di consegna risultano essere via via inferiori. Parallelamente, aumenta anche il tempo a disposizione dei veicoli per effettuare le consegne. Ciascun veicolo può visitare un numero maggiore di clienti, ossia aumenta la dimensione dell'area di consegna e si riduce il numero di viaggi/automezzi richiesti.

$$CTS = f(T_{km,kg}; d_k; GZ_k) \quad [€/anno]$$

dove:

- $T_{km,kg}$: tariffa unitaria del trasporto secondario $[\frac{€}{km \cdot kg}]$, $[\frac{€}{km \cdot q}]$;
- d_k : viaggio (andata e ritorno) dal deposito alla zona k [km];
- GZ_k : giro di consegna all'interno della zona k [km].

L'incidenza dei costi fissi dei sistemi di stoccaggio delle merci (costo di warehousing CW: ammortamento stabilimenti, personale, gestione, servizi, ...) cresce in maniera sensibile all'aumentare del numero N, dovuto alla progressiva riduzione delle economie di scala. Anche i costi delle attività di movimentazione delle merci all'interno dei magazzini, come carico e scarico, movimentazione interna e picking sono fortemente influenzati dalle economie di scala: all'aumentare del flusso di materiali è possibile adottare soluzioni tecniche più efficienti (ad esempio un magazzino centrale automatizzato).

La quantità delle scorte di ciclo (SC) rimane pressoché invariata al crescere di N se non varia la frequenza dei rifornimenti. In alternativa essa è inversamente proporzionale alla frequenza di rifornimento dei depositi. Le scorte di sicurezza (SS) dipendono dalle politiche di allocazione, dalla variabilità della domanda, dalla sua correlazione spaziale e temporale e dal lead time. Le scorte di sicurezza in una rete distributiva sono proporzionali alla radice quadrata del numero di depositi N (regola della \sqrt{N}) [6]; siano per esempio:

- Numero di depositi: N;
- Domanda media di ogni cliente al magazzino i-esimo: $\begin{cases} D_i \\ \sigma_i \end{cases} \forall i$;
- Correlazione geografica delle domande al deposito i e j : $\rho_{i,j} \forall i, j$.

Nel caso si consideri un solo deposito (N=1) che serve tutti i clienti (ad esempio 30 clienti) del territorio:

- Domanda del magazzino: $D_{DC} = \sum_i D_i = 30D_i$;
- Deviazione standard della domanda al magazzino:

$$\sigma_{DC} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2 + 2 \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \sigma_i \sigma_j} = \sqrt{30} \sigma_i$$

- Scorta di sicurezza totale: $SS(1) \propto \sigma_{DC} = \sqrt{30} \sigma_i$;

Se, invece, si decide di posizionare tre depositi (N=3) a cui si affida ciascuno 10 clienti:

- Domanda del magazzino i-esimo: $D_{DCi} = \sum_i D_i = 10D_i$;
- Deviazione standard della domanda al magazzino: $\sigma_{DCi} = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2 + 2 \sum_i \sum_j \rho_{i,j} \sigma_i \sigma_j} = \sqrt{10} \sigma_i$;
- Scorta di sicurezza totale: $SS(3) \propto 3 \cdot \sigma_{DCi} = 3 \cdot \sqrt{10} \sigma_i = \sqrt{3} \cdot SS(1)$.

È possibile dunque schematizzare il seguente andamento delle scorte di sicurezza in funzione del numero di depositi aperti:

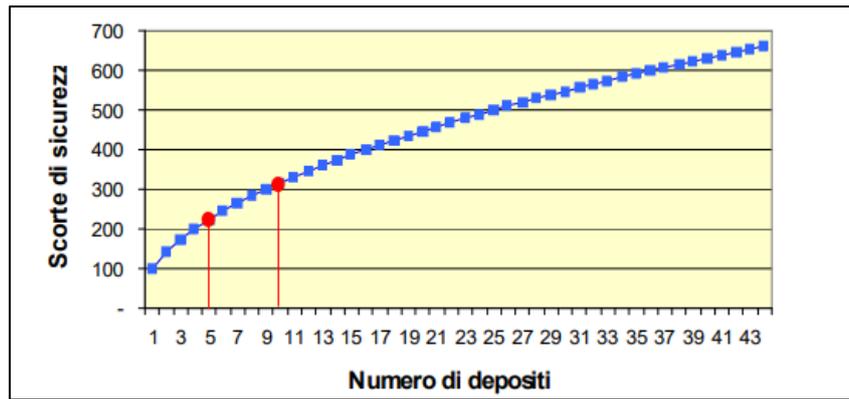


Figura 2.7: Andamento qualitativo delle scorte di sicurezza in una rete in proporzione al numero di depositi.

Le scorte in transito (ST), infine, dipendono solamente dal lead time e dalla domanda, quindi dalla frequenza di rifornimento e dal lotto di consegna. In generale, si può dire che non siano fortemente influenzate dal numero di depositi.

Se si indica con CMS il costo complessivo delle scorte, dato come la somma dei contributi delle scorte di ciclo, scorte di sicurezza e delle scorte in transito, allora è possibile schematizzare l'andamento dei principali fattori di costo che influiscono nella scelta del numero di depositi della rete. La soluzione scelta dovrà essere selezionata nell'intorno del punto di minimo della funzione di costo totale.

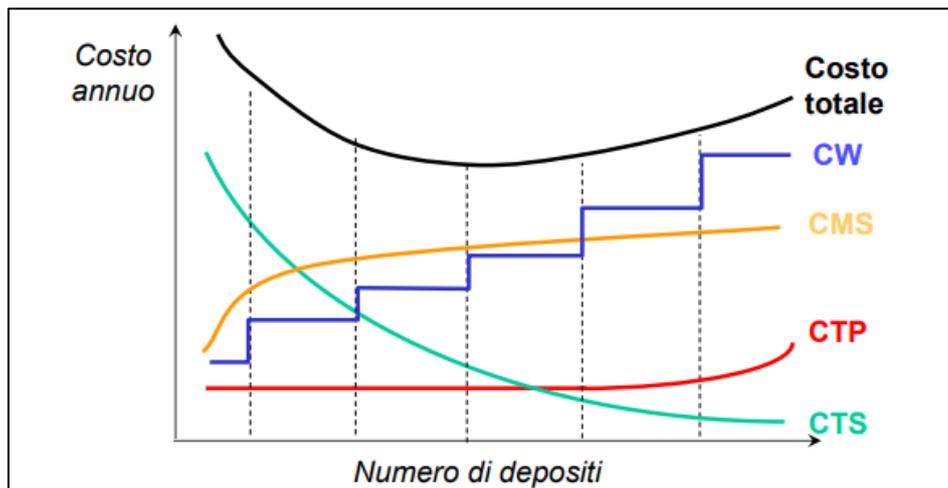


Figura 2.8: Rappresentazione dei principali fattori di costo in relazione al numero di depositi della rete.

E' bene ricordare che si può assistere in pochi anni alla variazione delle richieste dei mercati (nuova concorrenza, normativa, nuovi canali,...), delle richieste dei consumatori (riduzione dei lead time, maggior frequenza di rifornimento, puntualità delle consegne), delle condizioni operative (caratteristiche dei prodotti, fonti di approvvigionamento, stagionalità, dinamiche di espansione aziendale) o delle condizioni generali (caduta delle barriere doganali, liberalizzazione dei trasporti, nuove infrastrutture, tutela ambiente), che portano alla necessità di sostenere un processo di revisione periodico (in genere 5-10 anni) sulla rete distributiva.

2.5 Modellazione delle reti

È possibile individuare quattro principali metodologie di *network optimization* che permettono di poter risolvere i distributivi reali che ne costituiscono dei casi derivati [7]:

- *Capacity Allocation*: allocare la domanda agli impianti produttivi e logistici;
- *Facility Location*: trovare la localizzazione ottimale di un singolo impianto;
- *Site Selection*: effettuare la scelta di localizzazione ottimale da una breve lista di possibili posizioni;
- *Facility Location & Capacity Allocation* con rete ad un livello: si deve trovare la posizione ottimale degli impianti allocando contestualmente la domanda agli stessi;
- *Facility Location & Capacity Allocation* con rete a due livelli: si deve trovare simultaneamente la localizzazione degli impianti di produzione e dei centri distributivi.

2.5.1 Richiami di Programmazione Lineare

La Programmazione Lineare (PL) è una tecnica di Ricerca Operativa sviluppata per supportare le decisioni riguardanti ad esempio: il blending nelle industrie di processo, la pianificazione alla produzione nel settore manifatturiero, il cash flow matching in ambito finanziario e la pianificazione nel settore dell'energia e dei trasporti. Le risorse in gioco sono denaro, tempo, spazio, materie prime, manodopera, ecc..... Si tratta di un problema matematico in cui la soluzione ricercata è un vettore x di valori che possono assumere le variabili in gioco. Quindi corrisponde ad un punto nello spazio continuo ad n dimensioni, dove n è il numero di variabili del modello.

Un problema di Programmazione Lineare è caratterizzato da una funzione obiettivo (F.O.) da minimizzare o massimizzare nella forma:

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n = \sum_{j=1}^n c_jx_j$$

Gli indici (j) sono necessari per determinare gli elementi considerati. Le variabili decisionali x_j rappresentano le leve su cui il decisore può andare ad agire per trovarne il valore che permette di minimizzare o massimizzare la funzione. Nei problemi di Programmazione Lineare le variabili sono continue (in caso contrario si parla di Programmazione Intera). I vincoli a cui sono sottoposte le variabili definiscono il range entro cui sono ammesse le soluzioni e permettono di dare consistenza al problema, adattarlo ai vincoli reali. Possono evidenziare un limite superiore (\leq), inferiore (\geq) o una relazione fissata tra le variabili ($=$). Sia la funzione obiettivo che i vincoli devono essere formulate in forma lineare (non è ammesso quindi ad esempio x_4^2 oppure $x_2 \cdot x_3$). I vincoli sono un numero finito m nella forma:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n &\geq b_1 \\ a_{21}x_1 + \dots + a_{2n}x_n &\geq b_2 \\ \dots &\dots \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n &\geq b_m \end{aligned}$$

Sia la funzione obiettivo che le relazioni di vincolo sono formate da indici, dalle variabili decisionali e dai parametri. Questi ultimi costituiscono i dati che hanno un valore certo e fissato e possono essere utilizzati per inserire i dati del problema reale.

Interpretazione geometrica di un problema di Programmazione Lineare

Quando un problema di Programmazione Lineare contiene al suo interno solo due variabili, si può rappresentare efficacemente sul piano cartesiano ed è possibile determinare una soluzione in maniera elementare con semplici deduzioni geometriche. Preliminarmente si richiama il fatto che sul piano cartesiano Ox_1x_2 l'equazione:

$$a_1x_1 + a_2x_2 = c$$

Rappresenta una retta che partiziona il piano in due semipiani. Ciascun semipiano è caratterizzato da punti $P(x_1; x_2)$ che soddisfano la disequazione $ax_1 + bx_2 \geq c$ o la disequazione $ax_1 + bx_2 \leq c$. Quindi ciascuna di queste due disequazioni individuano univocamente un semipiano. È noto che data una famiglia di rette parallele: $a_1x_1 + a_2x_2 = d$ con $a_1, a_2, d \in IR$, allora il vettore $a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$ individua una direzione ortogonale alle rette di tale famiglia e risulta orientato dalla parte in cui sono le rette della famiglia ottenute per valori crescenti della d , ovvero verso il semipiano individuato da: $ax_1 + bx_2 \geq d$. Questo risultato è utile per esaminare anche la variazione di una funzione lineare che rappresenta la funzione obiettivo di un problema di Programmazione Lineare. In due variabili, la F.O. è un'espressione del tipo $c_1x_1 + c_2x_2$ che deve essere massimizzata o minimizzata. Per rappresentarla su un piano cartesiano Ox_1x_2 si considera la famiglia di rette parallele:

$$c_1x_1 + c_2x_2 = C$$

che si ottiene al variare di C , le cui rette rappresentano le curve di livello della funzione $f(x_1; x_2) = c_1x_1 + c_2x_2$. Se il problema è di minimizzazione, si cercherà di ottenere un valore più basso possibile per la C in corrispondenza di valori ammissibili per x_1 e x_2 ; viceversa, se il problema è di massimizzazione, si cercherà di ottenere un valore più alto possibile per la C . Sulla base di quanto esposto prima, valori superiori della C si determinano trasladando le rette nel verso individuato dal vettore $\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$ che rappresenta, quindi, una direzione di "crescita" per la funzione $c_1x_1 + c_2x_2$. La direzione opposta sarà quella di "decrecita". Quindi, geometricamente, un problema di massimizzazione consisterà nel considerare la traslazione nel verso della direzione della funzione obiettivo, mentre in un problema di minimizzazione la traslazione nel verso opposto:

- Il poligono delle soluzioni possibili è convesso in quanto ottenuto per successive eliminazioni di semipiani;
- La soluzione ottima si trova necessariamente sul confine del poligono (su un lato o un vertice): si potranno avere quindi una o infinite soluzioni ottime;
- Se la soluzione ottima è unica, essa è anche una soluzione base;

Esempio:

Si consideri il seguente problema di PL:

F.O.: $\max (7x_1 + 10x_2)$

Vincoli:

$$x_1 + x_2 \leq 750$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 1000$$

$$x_2 \leq 400$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$$

I vincoli di non negatività delle variabili x_1 e x_2 rappresentano rispettivamente il semipiano delle ascisse non negative e il semipiano delle ordinate non negative. Nella figura seguente è rappresentato la regione ammissibile delle soluzioni, che si trova dall'intersezione dei semipiani individuati dalle relazioni di vincolo e si può indicare come:

$$S = \{(x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2 \mid x_1 + x_2 \leq 750, x_1 + 2x_2 \leq 1000, x_2 \leq 400, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \}$$

Questa regione prende il nome di regione ammissibile ed è rappresentato nella Figura 2.9. Tutti i punti $P(x_1, x_2)$ appartenenti a questa zona sono delle soluzioni ammissibili del problema.

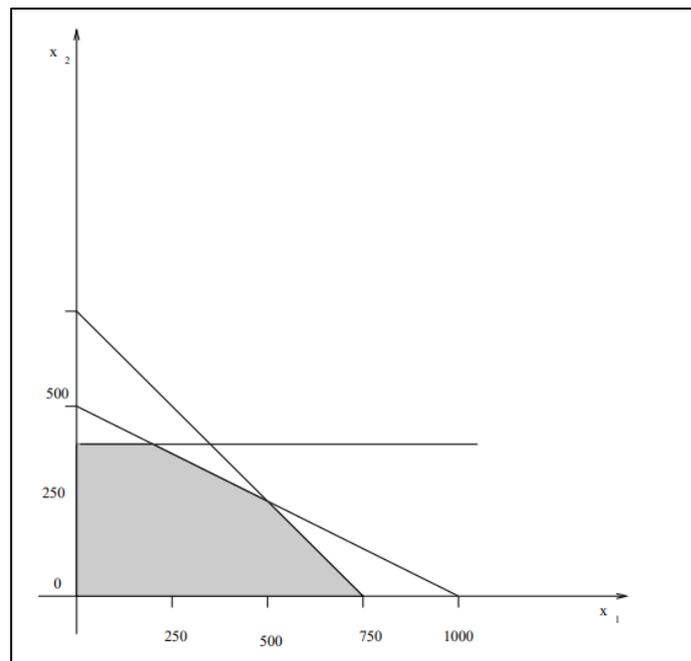


Figura 2.9: Regione delle possibili soluzioni S .

Si prende in considerazione ora la F.O. $7x_1 + 10x_2$, la famiglia di rette $7x_1 + 10x_2 = C$ si ottiene variando il parametro C . Queste rette sono le curve di livello della funzione in due variabili $f(x_1, x_2) = 7x_1 + 10x_2$ e sono rappresentate nella Figura 2.10.

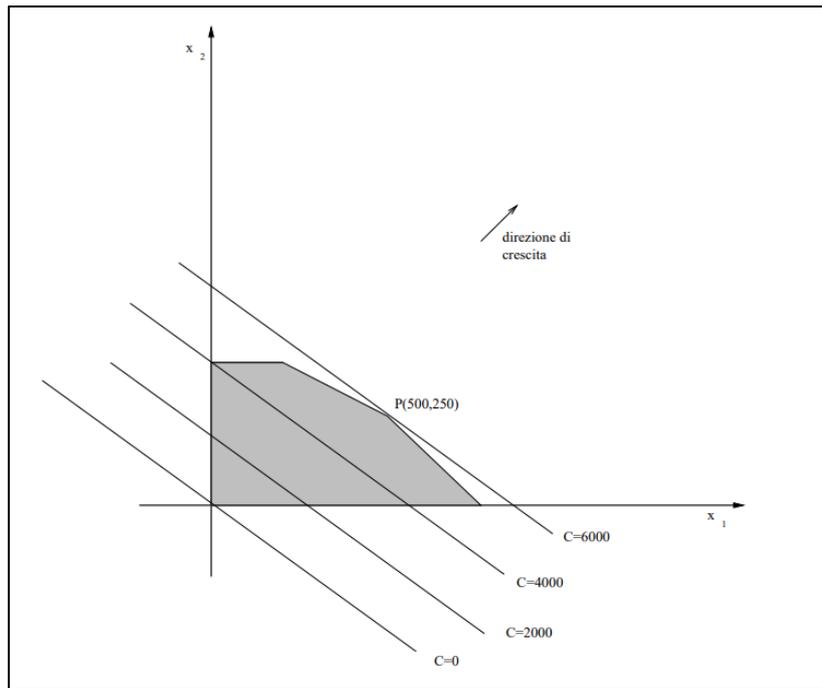


Figura 2.10: Rappresentazione grafica dell'esempio.

Poiché si vuole massimizzare la funzione obiettivo, si cercherà di ottenere il valore più alto della C che può essere raggiunto scegliendo i valori delle variabili all'interno della regione S . Osservando l'immagine si deduce che le curve di livello della F.O. intersecano la zona S finché $C \leq 6000$. Questo valore si ottiene per $x_1 = 500$ e $x_2 = 250$.

Analisi di Sensitività

Una volta che un problema è stato reso sotto forma di modello e si è determinata la soluzione ottimale, occorre allora validare la robustezza di tale soluzione variando i parametri del modello e i coefficienti di impiego. L'analisi di sensitività permette di introdurre il concetto di incertezza nel modello di Programmazione Lineare, in quanto quasi tutti i parametri sono in realtà delle stime e non dei valori deterministici (ad esempio il tempo che impiega un operaio per una determinata lavorazione). È importante partire da una soluzione base dalla quale si comincia mettendo in discussione via via i parametri chiave. Si analizza come cambia il valore ottimo e la soluzione ottima del problema in corrispondenza di queste modifiche, bisogna stabilire quanto è sensibile il risultato a perturbazioni di tali dati. Non è pensabile valutare tutte le possibili soluzioni derivanti dalla variazione di ogni parametro.

2.5.2 Capacity Allocation

Se la posizione dei nodi risulta già essere fissata, si vuole calcolare in modo ottimale la potenzialità degli archi che collegano questi nodi: dai punti di origine a quelli di destinazione, tenendo conto sia della disponibilità di prodotto nei primi e della domanda richiesta nei secondi. Il calcolo si basa sulla

minimizzazione dei costi complessivi di trasporto per l'ottimizzazione dell'allocazione della domanda. Il problema può essere schematizzato attraverso un modello di programmazione lineare.

Per la rete ad un livello:

Variabili:

n : numero di punti di origine (fabbriche o magazzini di fabbrica);

m : numero di punti di destinazione (clienti o punti vendita);

d_j : domanda nell'unità di tempo del nodo di destinazione j ;

k_i : capacità produttiva del nodo i di origine;

c_{ij} : costo unitario di trasporto della merce dal nodo i al nodo j ;

x_{ij} : quantità prodotta nel nodo i e trasferita in j ;

Funzione Obiettivo:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * x_{ij} \quad (\text{minimizzazione del costo di trasferimento})$$

Vincoli:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = d_j \quad (\text{l'intera domanda deve essere soddisfatta})$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq k_i \quad (\text{rispetto della capacità produttiva})$$

Per la rete a due livelli:

Variabili:

n : numero di punti di origine (fabbriche o magazzini di fabbrica);

p : numero di punti intermedi (magazzini periferici, centri distributivi, ...);

m : numero di punti di destinazione (clienti o punti vendita);

d_j : domanda nell'unità di tempo del nodo di destinazione j ;

k_i : capacità produttiva del nodo i di origine;

h_k : capacità del nodo intermedio k ;

$c1_{ik}$: costo unitario di trasporto della merce dal nodo i al nodo intermedio k ;

$c2_{kj}$: costo unitario di trasporto della merce dal nodo intermedio k al nodo j ;

x_{ik} : quantità prodotta nel nodo i e trasferita in k ;

y_{kj} : quantità arrivata nel nodo intermedio k e movimentata al nodo di destinazione j ;

Funzione Obiettivo:

$$\min (\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p c1_{ik} * x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^m c2_{kj} * y_{kj})$$

(minimizzazione del costo di trasferimento, sia primario che secondario)

Vincoli:

$$\sum_{k=1}^p y_{kj} = d_j$$

(l'intera domanda deve essere soddisfatta)

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq k_i$$

(rispetto della capacità produttiva)

$$\sum_{j=1}^m y_{kj} \leq \min (\sum_{i=1}^n k_i ; \sum_{j=1}^m d_j)$$

(rispetto della capacità dei nodi intermedi)

$$\sum_{j=1}^m y_{kj} = \sum_{i=1}^n x_{ik}$$

(bilanciamento tra materiale in ingresso e uscita dal nodo intermedio)

2.5.3 Facility Location e Site Selection

All'interno di una rete logistica assume particolare importanza lo studio della localizzazione dei siti in cui posizionare i depositi: la scelta deve essere accurata e coerente con il contesto di riferimento nel quale l'azienda si trova ad operare. Una volta che è stato fissato il numero di livelli della rete e il numero di impianti per ciascun livello, in primo luogo si procede alla scelta della posizione di massima (*facility location*), atta alla determinazione dell'area geografica che può portare ad un maggior vantaggio economico e strategico. In particolare, bisogna valutare il *trade-off* tra il posizionamento più vicino ai fornitori o al mercato finale (clienti). Infine, una volta che è ben definita la zona su cui incentrare i propri interessi, si passa alla ricerca puntuale del sito tramite valutazioni che tengono conto di numerosi altri fattori qualitativi (*Site Selection*) Infatti, i risultati ottenibili dalle tecniche quantitative, devono essere ritirati sulla base di elementi reali.

In un problema di ubicazione dei depositi, la selezione dei siti in cui devono essere allocate le nuove strutture è limitata ad un insieme finito di possibili posizioni. L'impostazione più semplice di un tale problema è quella in cui un numero P di strutture devono essere selezionate per ridurre al minimo le distanze totali percorse (o i costi di trasporto) per soddisfare le richieste di materiale del cliente. Questo

tipo di problema presuppone che tutti i siti candidati siano equivalenti in termini di costi di installazione della struttura.

Le tecniche quantitative vengono utilizzate per la risoluzione di due tipologie di problemi: 1) *Single-Facility Location*; 2) *Multi-Facility Location*.

Per la prima tipologia di problema si utilizza principalmente il metodo del centro di gravità, che partendo dalle coordinate dei punti di origine e destinazione, noti i flussi annui in uscita ed entrata, permette di calcolare il centro di gravità dei flussi.

Il *Multi-Facility Location* è un problema parecchio più complesso e riguarda, in aggiunta alla localizzazione relativa e assoluta di più depositi, anche la loro dimensione e potenzialità, nonché l'allocazione dei prodotti, della capacità produttiva degli impianti e dell'entità dei flussi dalla fabbrica ai depositi e dai depositi ai clienti (*Location-Allocation Problem*).

2.5.4 Capacity Allocation & Facility Location

Nel caso di rete ad un livello, è conosciuta la domanda dei nodi di destinazione (quindi dei clienti), mentre si ha a disposizione un certo numero di potenziali nodi di origine, di cui si conoscono anche i costi fissi di gestione. L'obiettivo è quello di individuare in maniera ottimale sia i nodi di origine da utilizzare (quanti e dove) sia le quantità che devono essere prodotte in ciascuno di questi nodi, nonché le quantità che vengono spedite dai nodi considerati a quelli di destinazione, tenendo sia in considerazione la disponibilità di prodotto nei primi che della domanda dei secondi. Bisogna minimizzare la somma dei costi fissi (apertura delle strutture nei nodi di origine) e variabili (produzione e consegna).

Variabili:

n : numero di possibili punti di origine (fabbriche o magazzini di fabbrica);

m : numero di punti di destinazione (clienti o punti vendita);

d_j : domanda nell'unità di tempo del nodo di destinazione j ;

K_i : capacità produttiva del nodo i di origine;

c_{ij} : costo unitario di trasporto della merce dal nodo i al nodo j ;

f_i : costo fisso di apertura del nodo di origine i ;

x_{ij} : quantità prodotta nel nodo i e trasferita in j ;

a_i : 1 se il nodo i risulta essere attivo, 0 altrimenti.

Funzione Obiettivo:

$$\min \sum_{i=1}^n f_i * a_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} * x_{ij}$$

(minimizzazione della somma di costi fissi e variabili)

Vincoli:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = d_j$$

(l'intera domanda deve essere soddisfatta)

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq k_i * a_i$$

(rispetto della capacità produttiva dello stabilimento solo se esso viene utilizzato, altrimenti è ≤ 0)

Nel caso di rete a due livelli, il problema si complica ulteriormente in quanto si ha una scelta sia su quali stabilimenti di produzione aprire, sia dei depositi intermedi da attivare tra quelli possibili. Bisogna decidere le quantità prodotte in ciascuno degli stabilimenti di origine, le quantità che vengono inviate ai nodi finali e attraverso quali nodi intermedi devono passare. Si tiene conto, inoltre, dei costi fissi di attivazione dei siti produttivi e sia dei depositi intermedi. Dunque, si tratta di minimizzare una funzione obiettivo che considera costi di trasporto (primario e secondario) e costi fissi dei plant e warehouse.

Variabili:

n: numero di possibili punti di origine (fabbriche o magazzini di fabbrica);

p: numero di possibili punti intermedi (magazzini periferici, centri distributivi, ...);

m: numero di punti di destinazione (clienti o punti vendita);

d_j : domanda nell'unità di tempo del nodo di destinazione j ;

k_i : capacità produttiva del nodo i di origine;

h_k : capacità di movimentazione del magazzino k ;

$c1_{ik}$: costo unitario di trasporto della merce dal nodo i al nodo intermedio k ;

$c2_{kj}$: costo unitario di trasporto della merce dal nodo intermedio k al nodo finale j ;

fp_i : costo fisso di apertura del nodo di origine i ;

fw_k : costo fisso di apertura del nodo intermedio k ;

x_{ik} : quantità prodotta nel nodo i e trasferita nel nodo intermedio k ;

y_{kj} : quantità movimentata nel nodo k e trasferita al cliente j ;

a_i : 1 se il nodo i risulta essere attivo, 0 altrimenti;

b_k : 1 se il nodo k risulta essere attivo, 0 altrimenti.

F.O.:

$$\min (\sum_{i=1}^n fp_i * a_i + \sum_{k=1}^p fw_k * b_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p c1_{ik} * x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^m c2_{kj} * y_{kj})$$

(minimizzazione della somma di costi fissi e variabili)

Vincoli:

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq k_i * a_i$$

(rispetto della capacità produttiva dello stabilimento solo se esso viene utilizzato, altrimenti è ≤ 0)

$$\sum_{j=1}^m y_{kj} \leq b_k * h_k$$

(rispetto della capacità di movimentazione del deposito k solo se esso viene utilizzato, altrimenti è ≤ 0)

$$\sum_{j=1}^m y_{kj} = \sum_{i=1}^n x_{ik}$$

(bilancio della merce in ingresso e uscita dal warehouse k)

$$\sum_{k=1}^p y_{kj} = d_j$$

(la domanda del cliente j deve essere soddisfatta)

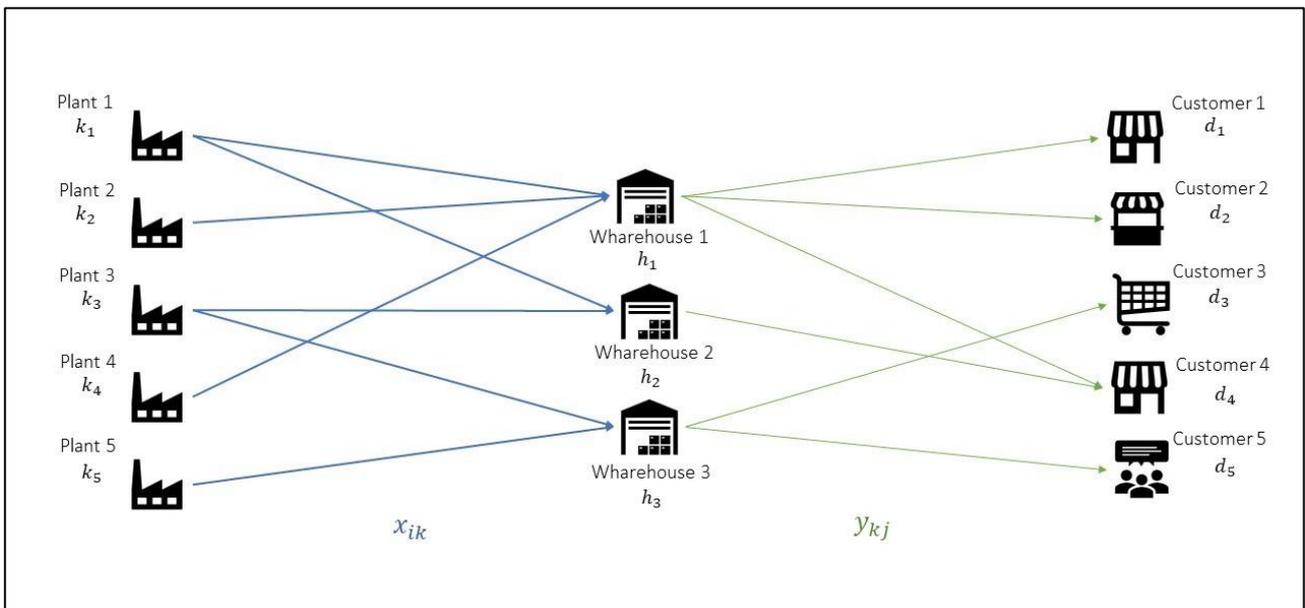


Figura 2.11: Rappresentazione del problema di Capacity Allocation & Facility Location (2 livelli).

3. IL CASO AZIENDALE

3.1 L'azienda

L'azienda che nacque nel 1965 con il nome di Fabbrica Automatismi Apertura Cancelli, oggi conosciuta come FAAC Technologies, è un gruppo internazionale leader nel settore dell'automazione e del controllo accessi ad uso veicolare e pedonale per applicazioni residenziali ed industriali. Il quartier generale, cuore tecnologico e direzionale dell'azienda, risiede in Italia, a Bologna, ma il gruppo vanta una fortissima presenza all'estero, dove sviluppa la maggior parte del proprio business con siti sia produttivi sia commerciali. L'azienda conta ricavi consolidati pari a oltre 600 milioni di euro e 3600 collaboratori in tutto il mondo.

FAAC è presente in tre segmenti chiave della gestione accessi e dei servizi della mobilità:

- **Access automation:** soluzioni di automazione per accessi veicolari, ingressi pedonali automatici, cancelli, porte, barriere e dissuasori per uso residenziale, commerciale e industriale. Rappresenta il cuore della ricerca e dello sviluppo di FAAC Technologies, in cui si uniscono idraulica ed elettromeccanica;
- **Access control:** tecnologie per il controllo degli accessi pedonali e veicolari (barriere e varchi pedonali);
- **Parking solutions:** sistemi fisici e digitali, per la gestione dei parcheggi con esazione pubblici e privati. Produzione ed installazione di sistemi di controllo dei ricavi dei parcheggi e servizi di pre e post-vendita.

Le numerose acquisizioni che si sono succedute negli anni hanno reso FAAC un gruppo solido e strutturato, che vanta una presenza capillare su scala globale. In particolare, si contano 53 società in 29 paesi, distribuite nei 5 continenti.

In ambito europeo, l'azienda comprende quattro principali siti produttivi situati in diversi paesi:

- FAAC S.p.a.: con sede a Zola Predosa (Bologna), produce e commercializza sia per il mercato domestico che per il mercato export tutti i prodotti della gamma del gruppo, e in quanto capogruppo, offre anche i servizi di direzione e coordinamento strategico e operativo per le filiali del gruppo;
- FAAC BG: situata a Tutrakan in Bulgaria, produce e commercializza sistemi per automazione e controllo accessi e per gestione aree di stazionamento con e senza esazione. È il più grande polo produttivo in Europa;
- MAGNETIC Autocontrol: con sede a Schopfheim in Germania, svolge attività di produzione e commercializzazione di prodotti per il controllo accessi pedonali e veicolari a marchio Magnetic;
- FAAC Eletronics: con sede a Dublino, Irlanda, produce componenti elettronici e schede elettroniche prevalentemente per le società del gruppo.

3.2 Il problema aziendale

Il problema consiste nella revisione del sistema distributivo europeo del gruppo in modo tale da valutare la possibilità di diminuire il numero di magazzini sul territorio per la distribuzione costruendo uno/due hub che permettano di conseguire sia un risparmio economico, sia una maggiore semplicità gestionale. Il progetto prevede l'utilizzo dei dati reperibili su un anno rolling che va dal 01/03/2021 al 28/02/2022. Per individuare l'area geografica all'interno della quale ci si è concentrati sono stati presi in considerazione diversi fattori che hanno definito il perimetro della ricerca:

- **Fatturato intercompany (ICP):** un'operazione intercompany è una transazione finanziaria o commerciale riguardante simultaneamente due società di uno stesso gruppo. Ad esempio, nell'emissione di una fattura, la società che la emette vi è sia la contabilizzazione di un credito commerciale a stato patrimoniale, sia la contabilizzazione di vendita di prodotti a conto economico, mentre nella società acquirente vi sarà un debito commerciale a stato patrimoniale e un costo a conto economico. Il bilancio comporta, al momento della chiusura, un attivo e un passivo risultanti da un'operazione reciproca che non esiste nel bilancio del gruppo. In parallelo, i ricavi e i costi del conto economico sono aggregati in base alla pluralità delle transazioni interne di tutto il periodo. Dall'analisi del fatturato ICP del gruppo è risultato che l'81,2% del totale rimane confinato all'interno dell'Europa, il 7,2% in America, il 6,6% nei paesi dell'Asia Pacifica (APAC) e solo il 5% nei paesi del Medio Oriente e dell'Africa (MEA). Dunque, la zona europea è stata valutata la più interessante su cui poter agire per l'ottimizzazione in quanto si è visto economicamente quanto vale il materiale dei siti produttivi venduto alle consociate;
- **Presenza della dogana:** facendo un focus sulla zona selezionata sono stati esclusi paesi quali UK e Svizzera, per i quali le spedizioni richiedono la dogana; quindi, tutte le procedure verso questi paesi verrebbero comunque gestite dalla sede principale di Zola Predosa e non da un ipotetico magazzino europeo;
- **Utilizzo di SAP:** il software gestionale SAP integra tutti i processi di business rilevanti di un'azienda e tutte le funzioni aziendali in un'unica fonte di informazioni. Operazioni come vendite, acquisti, gestione del magazzino, finanza, contabilità, ecc.... sono tutte integrate in un unico sistema per supportare al meglio il Management. I dati provenienti da molteplici parti dell'azienda vengono raccolti e gestiti in maniera centralizzata. Questo significa da un lato poter gestire agevolmente processi di business anche complessi, e dall'altro offrire ai dipendenti dei vari reparti un accesso semplificato e una visione interna in tempo reale sull'intera impresa.

Pertanto, sono stati esclusi dall'analisi i paesi in cui le aziende sussidiarie del territorio non utilizzano questo gestionale, in quanto sarebbe stato molto oneroso riuscire a ricavare informazioni certe e veloci riguardo alle spedizioni, ai pesi, ai clienti e all'origine dei materiali. Le aziende consociate dei paesi non considerati non rientrano nell'analisi e rimarranno invariate;

- **Centralità:** paesi come Irlanda e Spagna sono stati esclusi in quanto posizionati in zone periferiche e per i quali si ha interesse nel mantenimento di una struttura locale. I paesi periferici, infatti, risulterebbero più difficili da servire in tempi brevi. Lo stabilimento irlandese, invece, produce componenti essenziali per l'intero gruppo e non è stato

ritenuto opportuno variare le modalità distributive dei prodotti elettronici e delle schede agli altri stabilimenti produttivi.

I paesi selezionati risultano dunque Italia, Germania, Francia, Austria, Belgio, Olanda e Lussemburgo, che attualmente ospitano le strutture: 1) FAAC s.p.a.: sito produttivo italiano; 2) MAGNETIC Autocontrol: sito produttivo tedesco; 3) FAAC GMBH : magazzino che distribuisce i prodotti a marchio FAAC sul territorio tedesco, situato a Freilassing, in Germania; 4) FAAC France: sede distributiva per il territorio francese situata a Saint-Priest ; 5) FAAC Benelux: sede distributiva a Bruges (Belgio) che serve Olanda, Lussemburgo e Belgio. Per la corretta progettazione della rete distributiva, è necessario tenere in considerazione anche i prodotti finiti che provengono da FAAC BG perché distribuiti su tutto il territorio europeo.

Arrivati a questo punto è possibile formalizzare il progetto: l'analisi prevede la riprogettazione della rete distributiva sui paesi sopra citati, che richiedono prodotti fabbricati in tre diversi stabilimenti (FAAC s.p.a., MAGNETIC e FAAC BG), basandosi sulle spedizioni e i costi reperibili nell'anno rolling 01/03/2021 - 28/02/2022, per conseguire un risparmio economico rispetto alla situazione attuale, non intaccando in maniera significativa i tempi di transito verso i clienti. La posizione e la capacità dei siti produttivi rimane pressoché invariata, ma la nuova disposizione dei magazzini può portare ad una ridistribuzione dei flussi. Parallelamente all'analisi distributiva è stato dimensionato da parte degli ingegneri dell'Ufficio Logistica e dell'Ufficio Lean il magazzino equivalente nel caso in cui vi sia un solo hub gestisca tutto il materiale europeo, che costituirà l'informazione di base per la modellizzazione dei costi non dipendenti dai trasporti.

3.3 Analisi della situazione AS-IS

3.3.1 Fatturato ICP

Una volta individuata l'area su cui effettuare l'analisi è stato possibile studiare il fatturato intercompany dei siti produttivi verso le consociate francese, tedesca e belga. Nella Figura 3.1 non sono stati riportati i valori assoluti poiché costituiscono un dato privato del gruppo, mentre sono riportati, in termini percentuali, come i valori esaminati sono spaccettati rispetto alle consociate. In generale, è stato notato che i siti produttivi italiano e bulgaro hanno un mercato maggiore rispetto a quello tedesco. Circa il 50% del fatturato ICP dello stabilimento di Tutrakan proviene dalla vendita del materiale alla fabbrica bolognese. Questo materiale può essere sia un semilavorato utilizzato poi nei processi produttivi, oppure un prodotto finito che verrà venduto ai clienti. Un'altra importante osservazione riguarda il fatto che la gran parte del fatturato di FAAC s.p.a. deriva dalla vendita del materiale a stabilimenti minori sulla penisola italiana, meno del 35% deriva invece dalla vendita alle consociate europee.

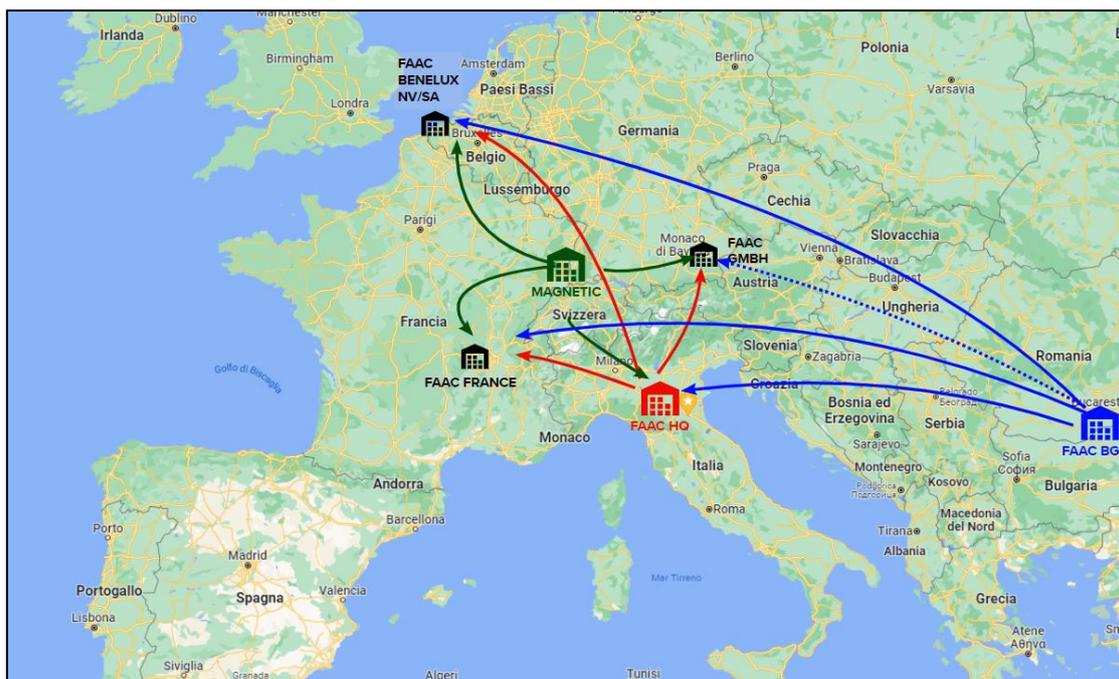


Figura 3.1: Composizione percentuale dei fatturati ICP dei tre siti produttivi.

3.3.2 Consegne nell'anno rolling

Per consegna si intende un singolo documento di trasporto, quindi una spedizione può essere composta da più consegna. Dall'analisi del totale delle consegne che sono partite dalle tre sedi produttive ai clienti durante l'anno considerato è possibile fare queste considerazioni:

- Le consegne da parte della sede italiana sono le più numerose (53.895 consegne) di cui la maggior parte vengono fatte sul territorio italiano (circa l'86%), le restanti hanno come destinatari i depositi francese, tedesco o belga o altri paesi. Il sito produttivo di FAAC s.p.a. funge dunque anche da distributore principale per tutto il territorio italiano e le consegne possono giungere o direttamente al cliente finale, oppure passare per dei piccoli magazzini periferici sparsi sul territorio;
- Il sito produttivo in Bulgaria (2.496 consegne) invia per la maggior parte (45%) materiale ad altri paesi non considerati nell'analisi, il 26% delle consegne vengono fatte FAAC s.p.a. di materiale che può costituire o un semilavorato, oppure di prodotto finito che verrà rigirato ad un cliente o ad una consociata. La restante parte di consegne è suddivisa nei tre magazzini europei considerati con una prevalenza verso il territorio francese. Da notare che le consegne a FAAC GMBH sono state interrotte da settembre 2021, il materiale per il territorio tedesco adesso passa prima dall'Italia;
- MAGNETIC ha come principali destinatari delle sue consegne (il 93% di 7.695 consegne) i paesi all'infuori dell'area di nostro interesse. Piccole percentuali sono dirette sia alla sede italiana sia alle sussidiarie europee.
- I clienti delle spedizioni possono essere o direttamente i clienti finali, oppure dei *transit point* di minore importanza. In alcuni paesi, come il Belgio o la Germania, nella maggior parte dei

casi la consegna al cliente finale avviene tramite sedizione, ma è possibile che una parte dei prodotti vengano venduti a banco;

- In generale, come si può notare dalla Figura 3.2, si evidenzia che il Belgio è il territorio su cui si effettuano più consegne (più di 10.000), seguito poi dalle regioni del sud della Francia e del nord Italia. Il 73% delle consegne italiane sono spalmate solamente su 7 regioni (Lombardia, Lazio, Piemonte, Toscana, Emilia-Romagna, Campania, Veneto). Il sud Italia e le isole risultano essere poco servite. Anche la Germania centro settentrionale non possiede un numero elevato di consegne sul territorio, questo può indicare la presenza di aziende competitor sul territorio tedesco;

Di seguito è riportato uno schema completo sui dati che sono stati raccolti nell'anno rolling presi in considerazione da cui è possibile avere una visione più accurata della situazione.

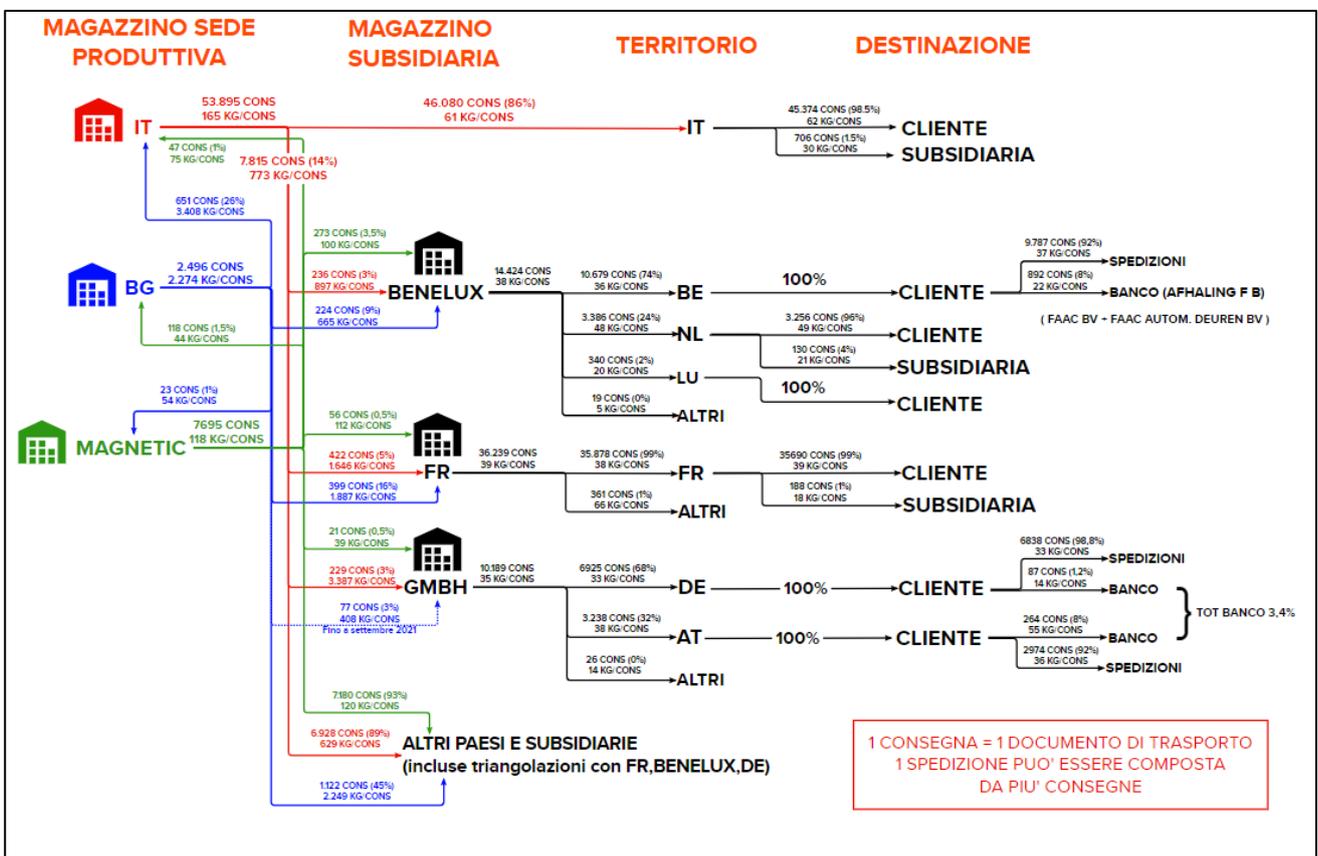


Figura 3.2: Dati relativi alle consegne effettuate dei tre siti produttivi nell'anno rolling 01/03/2021-28/02/2022.

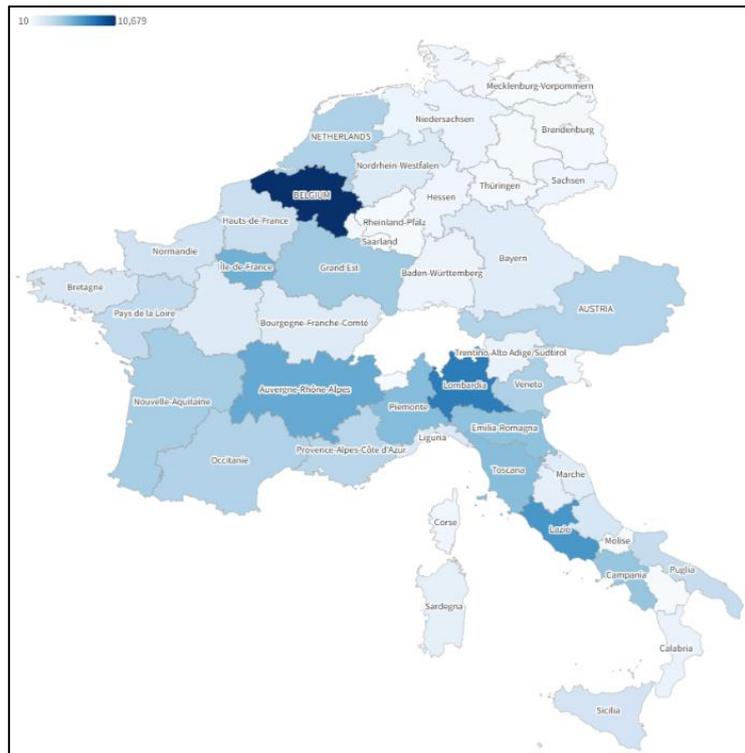


Figura 3.3: Mappa del numero di consegne effettuate sul territorio europeo.

3.3.3 Trasporto utilizzato

Esistono due principali modalità di trasporto individuate dal gruppo ed utilizzate per le spedizioni: trasporto groupage e trasporto express. Con groupage si intende un particolare tipo di spedizione che consiste nel raggruppare e consolidare merci provenienti da partite di clienti diversi di uno stesso paese in un'unica operazione di trasporto, realizzata con un unico mezzo allo scopo di ottenere tariffe di trasporto più convenienti. Il groupage serve per risparmiare sui costi di spedizione: significa acquistare singoli lotti di spazio in un camion o container, mediante il raggruppamento dei prodotti in una sola unità di carico, è possibile dunque ottimizzare il trasporto e risparmiare sui costi di invio. Le merci possono essere spedite in due modi: 1) invio di un carico completo (*full truck load FTL*), se un solo mittente occupa l'intero spazio di un rimorchio o di un container; 2) si raggruppano carichi provenienti da diversi mittenti allo scopo di riempire completamente il vettore. Il consolidamento delle merci riduce i costi di invio, specialmente se si tratta di spedizioni su lunghe distanze o internazionali. Quindi il groupage permette alle aziende con un elevato volume di prodotti da spedire di inviarli a costi contenuti. Un altro vantaggio non da poco è che risulta un servizio decisamente più sostenibile rispetto alle altre modalità di spedizione. Raggruppando infatti la merce cercando di saturare il vettore è evidente che le emissioni si riducono e dunque l'impatto ambientale risulta inferiore. Un fattore negativo è rappresentato dai tempi di ritiro e consegna che non risultano essere sempre precisi, in quanto il vettore deve fare il giro da diversi magazzini per caricare merci di clienti differenti.

Per trasporto espresso (*express*) si intende un servizio di trasporto, nazionale o internazionale, che avviene in tempi "rapidi". Questo tipo di servizio, per far sì che la merce arrivi in tempi più celeri, utilizza mezzi costantemente in funzione come camion, treni o aerei a seconda della destinazione

finale. La differenza tra il trasporto espresso e gli altri tipi di servizio sta nel fatto che non c'è la necessità di raggiungere delle dimensioni minime di merce. La merce viene semplicemente misurata e pesata e la tariffa sarà commisurata su questi valori. Visto che non è necessario un ingombro minimo, si adatta particolarmente a merci di piccole dimensioni. Con un trasporto espresso la consegna delle merci può avvenire entro 24/48 ore dal ricevimento da parte dello spedizioniere, la tempistica dipende soprattutto dalla distanza da coprire. Quando si ricorre a questo tipo di servizio si ha una necessità di consegna in tempi rapidi, quindi un costo importante. Nel campo dell'e-commerce, garantire una consegna in 24 ore con trasporto espresso è un grande punto a favore per tutti i consumatori che effettuano acquisti online.

Il gruppo FAAC utilizza principalmente questi due tipi di servizio per spedire verso le consociate o verso i clienti. In particolare, le spedizioni verso un centro distributivo o uno degli stabilimenti presi in considerazione avvengono tramite groupage o *full truck load*. Infatti, i volumi di merce da inviare sono elevati e i tempi richiesti non sono particolarmente brevi, quindi utilizzando le politiche di scala è possibile abbassare i costi. Le spedizioni verso i clienti finali possono avvenire con entrambe le modalità di spedizione, sulla base di diversi fattori che dipendono dal cliente, dalle tariffe, dalle distanze, dalla convenienza e tanti altri. In generale, è stato possibile notare dall'analisi dei dati che la quasi totalità delle consegne effettuate con trasporto espresso aveva peso inferiore ai 30 kg, dunque anche negli sviluppi del progetto si manterrà questa soglia sopra la quale non si utilizzerà il trasporto express. Per quanto riguarda i trasportatori, ciascuna consociata ne utilizza di propri di cui è stato difficile effettuare una ricerca riguardo a tariffe e logiche di scelta. Uno studio più accurato è stato possibile per quanto riguarda le spedizioni di FAAC s.p.a. visto che è la sede principale che ha avviato il progetto e l'intera logica di tariffe nel modello distributivo si baserà sui dati dei trasportatori della sede italiana. Principalmente i trasportatori sono tre:

- I. **trasportatore A:** offre quasi esclusivamente servizio groupage o *full truck*. Viene sia utilizzato per trasferire il materiale da Zola Predosa agli altri magazzini europei oppure per la consegna diretta sul territorio dell'Italia del nord;
- II. **trasportatore D:** si occupa delle spedizioni in Italia e in Europa con servizio express e garantisce sempre 24/48 ore come *transit time*. Si occupa anche del trasporto groupage o *full truck* per trasferire il materiale dal sito produttivo bulgaro alle altre consociate;
- III. **Trasportatore F:** trasportatore che fa del servizio express il suo punto di forza, come si vedrà in seguito non verrà preso in considerazione in quanto, come mostrato nei paragrafi successivi, risulta più svantaggioso rispetto a D;
- IV. **trasportatore N:** si tratta di un trasportatore groupage che offre tariffe particolarmente competitive per spedizioni nel centro-sud Italia.

3.3.4 Transit time concordati per i servizi express e groupage e KPI

Un fattore importante nell'analisi di un sistema distributivo è capire quali sono i *transit-time* promessi ai clienti e la rilevazione dei KPI per verificare l'affidabilità dei trasportatori. Infatti, nella riprogettazione della rete oltre a puntare all'ottimizzazione economica, si deve ricercare anche il rispetto dei tempi di consegna originali se non migliorarli. Come ricordato nel capitolo precedente, garantire un basso tempo di consegna è sempre più un fattore di vantaggio tra aziende competitor, mentre le richieste dei clienti si fanno via via più esigenti. Dalle informazioni che si è riusciti a

recuperare è possibile disegnare una mappa che, provincia per provincia, vada ad indicare il tempo di transito promesso al cliente del territorio.

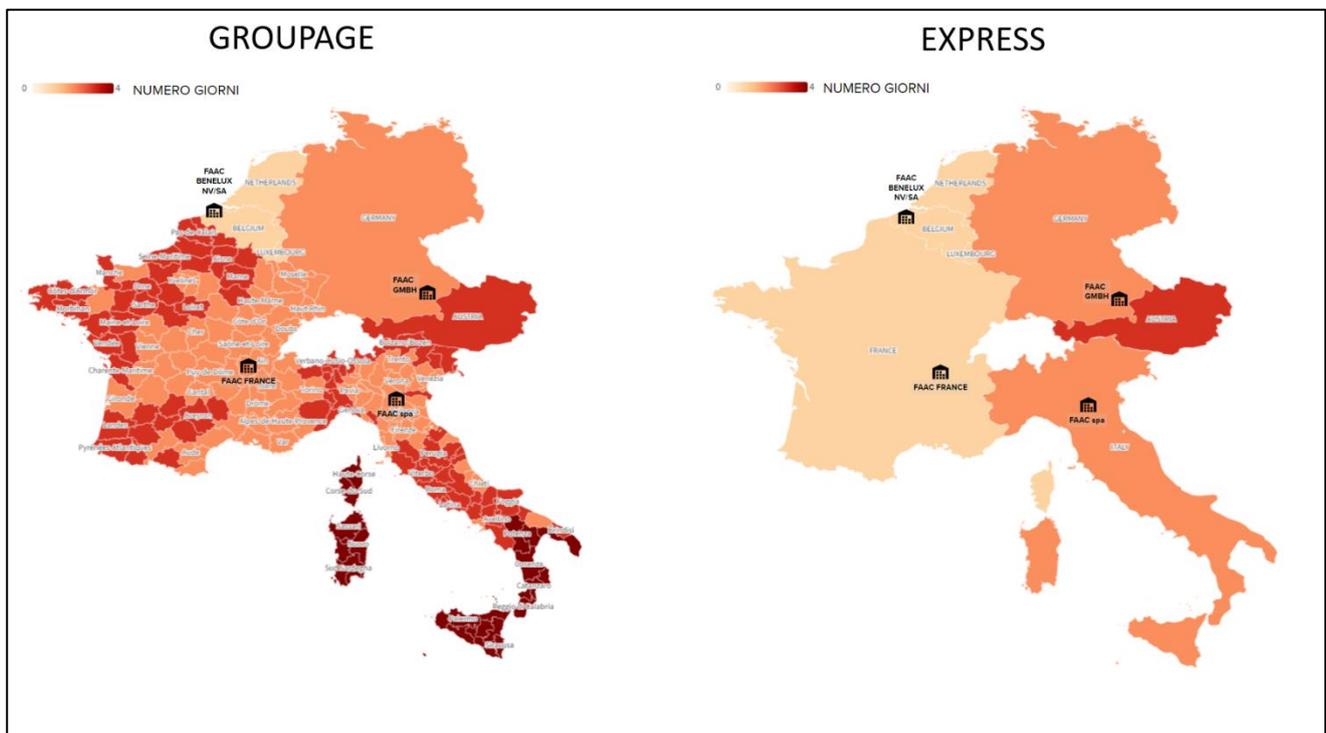


Figura 3.4: Mappa dei transit-time promessi ai clienti in Europa per trasporto groupage ed express.

Ovviamente, le aree che si trovano più in prossimità dei centri distributivi risultano essere quelle coi tempi inferiore a livello nazionale, ma sotto questo punto di vista è possibile confrontare i diversi paesi:

- Sul territorio italiano si hanno i tempi di consegna più alti per quanto riguarda il groupage rispetto al resto d’Europa. Per le provincie che si trovano più vicine allo stabilimento italiano si ha il tempo minimo di consegna che è pari a 48 ore. Più crescono le distanze e più si allungano i tempi fino ad avere 96 ore richieste per il meridione e le isole. Il trasporto espresso, invece, garantisce sempre un transit time di 48 ore. L’azienda raccoglie i KPI di ciascun trasportatore per quanto riguarda la percentuale di consegne *on time*, riportati in Figura 3.5:
 - 1) Trasportatore A: sono raccolti i dati del groupage sulle aree che serve questo trasportatore, si segnala che su tredici regioni servite, solo su quattro si hanno valori inferiori ad una percentuale di riferimento assunta dall’azienda pari all’85%;
 - 2) Trasportatore N: trasporta la merce verso le regioni più lontane dallo stabilimento e si abbassano i KPI, ben cinque regioni sulle sette servite presentano valori inferiori alla percentuale di riferimento;
 - 3) Trasportatore D: in questo caso, poco più del 95% delle consegne rispetta i tempi accordati.

- Le consegne che si effettuano in Belgio, Olanda e Lussemburgo da parte di FAAC Benelux sono garantite in un giorno sia con il groupage che con l'express. Lo stabilimento belga raccoglie anche i KPI dei giorni di ritardo: l'89% delle consegne totali non ha nemmeno un giorno di ritardo, come è possibile vedere in Tabella 3.1. Più nello specifico, nell'immagine 3.6 è possibile veder regione per regione in questi territori la percentuale di consegne *on-time*, le regioni più prossime allo stabilimento distributivo possiedono una percentuale che si aggira tra il 90 e il 95%, le regioni più lontane 85-90%. Dall'analisi dei dati raccolti è possibile già dedurre che si tratta di paesi non di grosse dimensioni, con trasportatori molto forti sul territorio e molto ben interconnessi dal punto di vista logistico;

Giorni di ritardo	0	1	2	3	4	5
%	89,88	6,88	1,61	0,51	1,05	0,07

Tabella 3.1: KPI dei ritardi delle consegne in Benelux.

- In Francia, se con il servizio espresso il tempo promesso è di 24 ore per la consegna, per il groupage si necessita sempre di 48/72 ore almeno. In generale, in prossimità dello stabilimento di FAAC France sono promessi due giorni per la consegna e man a mano che ci si allontana i tempi si allungano. Per quanto riguarda il groupage lo stabilimento raccoglie in modo molto preciso i KPI di rispetto dei giorni di consegna per ciascuna provincia, come mostrato in Figura 3.7. Le zone che presentano una maggiore criticità si trovano nella Francia settentrionale con addirittura provincie in cui meno dell'85% delle consegne risulta *on-time*;
- La Germania e l'Austria, servite dallo stabilimento distributivo FAAC GMBH, hanno un tempo promesso per il groupage che è analogo a quello dell'express. Per il territorio tedesco le consegne giungono a destinazione in 48 ore, mentre su quello austriaco 72. I ritardi risultano essere rari e per questo motivo i KPI non sono rilevati con precisione dallo stabilimento. È interessante notare come l'ottima connessione stradale/autostradale della Germania permetta di avere un tempo di consegna promesso che sia uniforme su tutto il paese e di appena due giorni anche col servizio groupage.

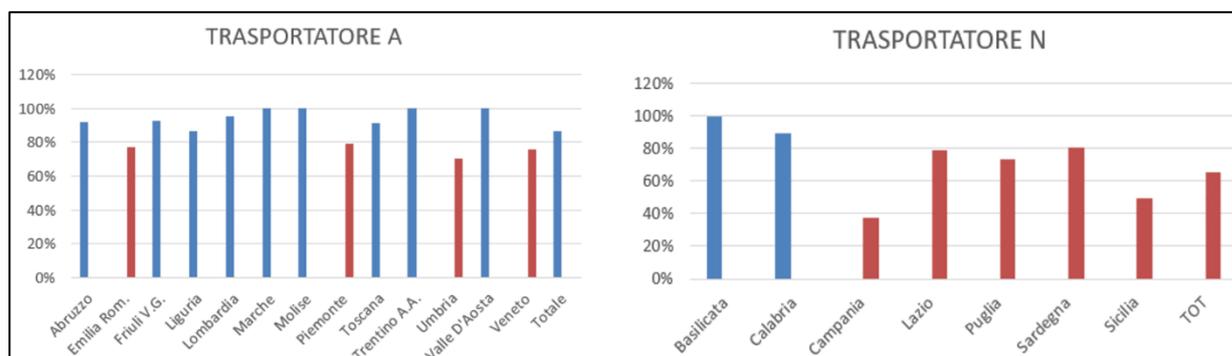


Figura 3.5: KPI raccolti dei trasportatori groupage sul territorio italiano.

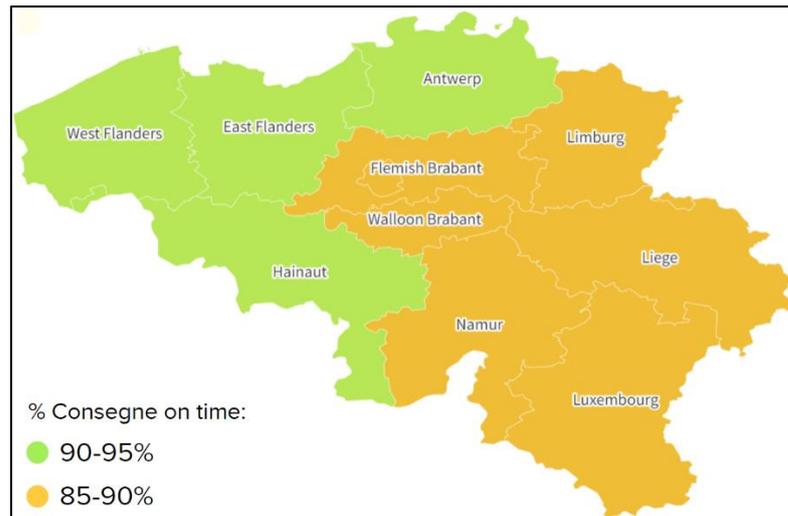


Figura 3.6: KPI raccolti dei trasportatori sul territorio del Benelux.

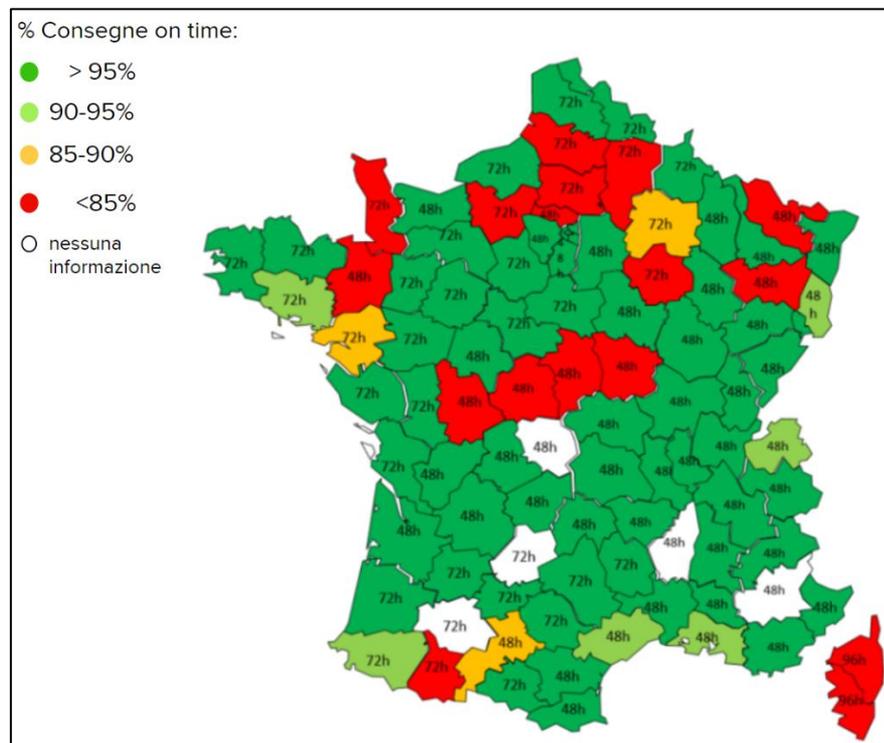


Figura 3.7: KPI raccolti dei trasportatori groupage sul territorio francese.

3.3.5 Spedizione della merce dal magazzino

L'operazione di spedizione della merce è un'operazione che prevede l'invio di una partita di merce per affidarlo al corriere o al trasportatore affinché giunga al cliente entro i tempi pattuiti. Si può suddividere il processo di spedizione in diverse fasi, alle quali corrispondono diverse attività. In particolare, si distinguono quattro attività necessarie per recapitare la merce al cliente:

- **La pianificazione delle consegne:** risulta essere essenziale per due motivi: da un lato permette di organizzare il lavoro e gli invii, dall'altro perché permette di integrare questo processo all'interno di tutte le altre operazioni svolte nel magazzino. In termini più pratici questa operazione consiste in: 1) conoscere e confermare gli ordini che saranno processati ed evasi; 2) ordinare la lista degli ordini; 3) assegnare i trasportisti e gestire gli slot temporali in cui verranno a ritirare le merci; 4) programmare l'utilizzo delle baie di carico e scarico; 5) prevedere lo spazio per un buffer per la spedizione. Sarebbe opportuno che gli ordini fossero organizzati in gerarchie basate sul percorso di consegna, tipo di veicolo, cliente, priorità di spedizione. Questi parametri risultano più facili da controllare se si è in presenza di programmi per la gestione delle scorte. È bene ricordare che un software WMS (Warehouse Management Software) è in grado di processare gli ordini in modo statico (all'inizio di ogni turno di lavoro con cadenza giornaliera) o dinamico (la pianificazione avviene in tempo reale, regolando i flussi di prelievo e spedizione man a mano che vengono ricevuti nuovi ordini). Una pianificazione che è in grado di tenere conto di tutti questi fattori consente di ottenere una perfetta coordinazione tra magazzino e corrieri;
- **Controllo dei documenti:** si ha il controllo della documentazione relativa ai prodotti e da consegnare al corriere. Esistono tantissimi documenti associati alla fase di spedizione delle merci quali la fattura commerciale, fattura dello spedizioniere, la bolla contenente l'ordine ricevuto, ecc.... Importante è che queste informazioni essenziali siano anche registrate nel software per gestione del magazzino;
- **Consolidamento delle merci:** consiste nel raggruppare i prodotti da diverse aree di picking o del magazzino per poter essere spedite. Solitamente il consolidamento è volto per accatastare le merci sui pallet o per la spedizione con groupage. Più il prelievo della merce avviene in modo preciso e puntuale, più le merci sono posizionate in maniera ordinata e meno difficoltoso risulta il consolidamento;
- **Caricamento della merce sul veicolo:** una volta che la merce è pronta si deve verificare che il rimorchio in attesa del carico sia quello corretto, caricare la merce nel camion cercando di distribuirne il peso e consegnare al trasportatore la documentazione da firmare [8].

È stato possibile raccogliere le tempistiche e le scadenze con cui queste operazioni vengono svolte dagli stabilimenti italiano, belga, francese e tedesco (magazzino) una volta ricevuto l'ordine. Nello stabilimento italiano, per gestire la grande mole di ordini si utilizza un software WMS in modo da coordinare al meglio tutte le attività ed aumentare l'efficienza nelle spedizioni. Si segnala l'efficienza di FAAC Benelux e FAAC GMBH nelle operazioni sia per quanto riguarda l'express che il groupage. Per Francia ed Italia la spedizione con groupage avviene uno o due giorni dopo l'emissione dell'ordine. Le operazioni per il servizio espresso risultano essere generalmente più celeri in quanto il tipo di servizio è usato per prodotti di piccole dimensioni che quindi non necessitano di un particolare consolidamento ed è possibile affidarli al corriere di giornata.

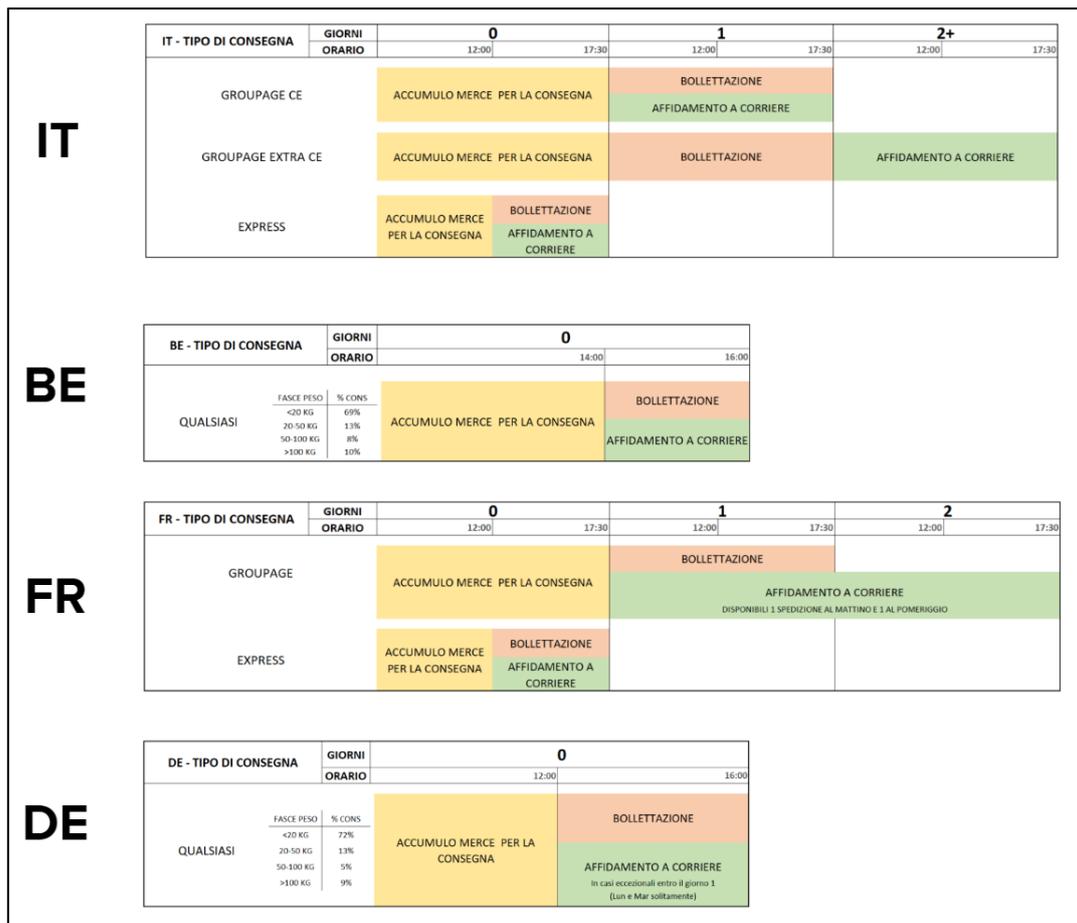


Figura 3.8: Tempistiche per le operazioni di spedizione delle sedi di FAAC considerate.

3.3.6 Costi di magazzino

I costi di gestione del magazzino sono costi di mantenimento del magazzino e delle scorte per un certo periodo di tempo. Vengono presentati i costi principali che interessano la nostra analisi e che impatteranno sulle scelte future di ricollocamento dei centri distributivi. Influiscono su queste scelte la convenienza economica nel costruire un magazzino in un paese piuttosto che su un altro, il costo del personale in quel paese, i costi del trasporto per ricevere la merce e per inviarla (è un costo variabile) e anche il costo di mantenimento a magazzino del materiale. È stata rilevata difficoltà nell'ottenere informazioni per quanto riguarda lo stabilimento MAGNETIC. Essendo un sito produttivo, rimarrà immutata sia in termini di posizione che di dimensione e pertanto non risulta essenziale conoscere questi aspetti.

Grazie ai file condivisi dall'azienda è stato possibile ricavare le informazioni riguardanti i costi sostenuti dai magazzini attuali lungo la rete logistica sia in termini di costo di stabilimento, costo del personale, costo di giacenza e costo di inbound ed outbound. Queste ultime due voci consistono essenzialmente nei costi che ciascuno stabilimento sostiene per farsi spedire materiale dai suoi fornitori (inbound) o per inviare materiale ai destinatari (outbound). Si tratta di costi variabili che dipende dal volume totale di merci ordinate e dal luogo di destinazione. Nella logica adottata dal gruppo, i costi sono sempre sostenuti dal destinatario se si parla di merce scambiata tra le sussidiarie, altrimenti è a carico del mittente:

- lo stabilimento produttivo bulgaro e tedesco, che non ricevono materiale dagli altri stabilimenti produttivi (FAAC BG riceve solo poche consegne da MAGNETIC), non sostengono alcun costo in ingresso; mentre i costi in uscita sono anche essi nulli in quanto segnati come costi di inbound dei magazzini destinatari;
- lo stabilimento italiano riceve principalmente materiale dalla Bulgaria, quindi tra i costi in ingresso sono segnati tutti i costi di trasporto necessari a ricevere la merce da FAAC BG, tra i costi in uscita si registrano tutti i costi in uscita verso i propri clienti sul territorio italiano + 0 € verso le sussidiarie in quanto il trasporto è a carico delle destinatarie;
- per quanto riguarda i magazzini del Belgio, della Francia e della Germania, essi sostengono in inbound tutti i costi dai siti produttivi per rifornire il proprio magazzino, in outbound i costi necessari alla spedizione degli ordini ai clienti del proprio territorio.

Per i costi di stabilimento sono state considerate solamente la parti del magazzino e delle aree adibite alle operazioni legate alla logistica come uffici, baie di carico/scarico, piccoli workshop. Per ogni sede è stata mappata l'area totale di queste zone e tramite dei valori indicativi di €/m² · anno) forniti dalla sezione controlling per ognuna di esse è stato possibile ricavare il costo di stabilimento annuale. L'area individuata per stabilimento italiano è nettamente quella più grande, circa tripla rispetto a quella tedesca che è la minore. In mezzo troviamo quelle di Belgio, Francia e il magazzino bulgaro. Per quanto riguarda il costo, si può notare una netta differenza territoriale, in quanto il costo annuale sul suolo bulgaro è assai basso e costituisce sicuramente un fattore che ha incentivato lo spostamento del sito produttivo in queste zone. Il magazzino in Germania risulta costare circa cinque volte tanto a parità di metratura, quello in Italia sei, in Belgio sette e in Francia nove.

Analogamente è stata svolta una ricerca per conoscere quante persone lavoravano in logistica in ciascuno stabilimento, divisi tra manager, white collar e blue collar (Tabella 3.2), e il costo totale del personale all'anno. Come prevedibile la sede italiana è quella con più personale, in quanto si tratta della sede principale e deve gestire un maggior numero di ordini e consegne. La sussidiaria francese spende annualmente poco meno della metà in personale, poi troviamo quella bulgara, belga e tedesca. I costi e il numero di operatori utilizzati seguono l'andamento del numero di consegne che la filiale deve gestire, tranne che per il magazzino bulgaro in cui il personale può sembrare sovradimensionato. La causa può essere ricercata tuttavia nel fatto che anche se viene gestito un numero meno elevato di consegne, esse hanno un elevato peso specifico (kg/cons.) e dunque contengono tanto materiale inviato in rifornimento agli altri magazzini, come è possibile vedere dall'immagine 3.2.

Il costo della giacenza di materiale è basato sullo studio di giacenza media del materiale: è importante usare la serie storica dei prodotti, costruita su un numero di anni significativo, nel caso in cui il mercato sia stabile possono essere sufficienti 2 anni, nel caso in cui sia dinamico 5 anni di dati potrebbero non bastare. Dall'analisi è possibile stimare la giacenza minima, quella media e la giacenza massima. Il dimensionamento del magazzino viene fatto sulla base di un valore che va ricercato nei valori compresi tra la giacenza media e quella massima correlando la capacità con il rischio di sottodimensionamento. I prodotti fermi sugli scaffali equivalgono ad una certa quantità di capitale immobilizzato e che potrebbe essere destinato a nuovi investimenti. Questi costituiscono i cosiddetti costi impliciti, in quanto costituiscono dei costi "nascosti", non rilevabili attraverso un'uscita di cassa. Un metodo tradizionale per determinare i costi di capitale è usare il WACC (*Weighted Average Cost of Capital*, costo medio ponderato del capitale) ossia il costo medio che l'azienda prevede di sostenere per raccogliere risorse finanziarie tra i finanziatori esterni. Secondo

alcuni esperti, solitamente i costi di capitale vengono perlopiù sottovalutati [9]: per gran parte delle aziende i costi di capitale raggiungono il 15%, ma molte imprese si limitano ad applicare un tasso del 5%. Per il caso aziendale ci è stato riferito di assumere un WACC = 8,48% del valore del materiale a stock. L'azienda ha fornito il valore della merce a magazzino basandosi sui calcoli di giacenza media annuale e, tramite il WACC, è stato ricavato il costo del capitale.

Paese	Dimensione magazzino (m²)	Mezzi di movimentazione	Numero di operatori
IT	3900	4 carrelli frontali 3 carrelli retrattili 7 commissionatori bassi 1 quadrvia 1 commissionatore verticale 1 transpallet elettrico	1 manager 6 white collar 14 blue collar
FR	2116	2 carrelli frontali	2 manager 2 white collar 3 blue collar
BG	2715	12 mezzi condivisi anche con la produzione	4 white collar 20 blue collar
BE	1508	1 carrello retrattile 1 transpallet elettrico 3 transpallet manuali	1 manager 3 white collar
DE	1159	3 carrelli frontali 3 transpallet	2,5 white collar (un operatore è condiviso con altre attività)
*tutti i costi dell'analisi non sono riportati per privacy.			

Tabella 3.2: Aspetti principali rilevati dei magazzini europei oltre ai costi.

4. IL MODELLO MATEMATICO

4.1 Localizzazione di un hub logistico in letteratura

4.1.1 Introduzione

L'anno 2021 ha segnato il 35° anniversario dall'inizio della ricerca nota come "*Transportation Hub Location*" come un'importante sotto branca della scienza della localizzazione. La localizzazione di un hub è diventato terreno fertile per diversi ricercatori interdisciplinari: dalla ricerca operativa, ai trasporti, geografia, progettazione di reti, telecomunicazioni, scienze regionali, economia, ecc....Il campo è ormai ben trattato sia con testi introduttivi che più approfonditi (vedi Taaffe, Gauthier, O'Kelly 1996; Daskin 1995; Drezner e Hamacher 2002, ecc....). Sebbene ci si soffermi nella localizzazione per il trasporto merci, esiste un ampio corpo di ricerche relative alla progettazione di reti nelle telecomunicazioni.

I problemi di posizionamento di un hub riguardano l'individuazione della posizione di una struttura attraverso la quale scorrono passeggeri o merci che devono andare da un punto di origine ad uno di destinazione (es. città). I viaggi origine-destinazione (OD) dal nodo i al nodo j possono essere viaggi diretti (quindi non tramite hub) oppure passare per un punto intermedio (hub). Il diagramma in Figura 4.1 mostra tre possibili percorsi dall'origine i alla destinazione j : il primo percorso è diretto, il percorso 2 va dall'origine alla destinazione passando via l'hub h , il percorso 3 vede un viaggio con due soste intermedie attraverso h_1 e h_2 . I problemi di posizionamento dell'hub cercano di posizionare in maniera ottimale una o più strutture che hanno due principali funzioni: 1) funzioni di smistamento, cernita e connessione (SSC: switching, sorting and connecting) che consentono ai flussi di essere indirizzati verso un hub (il flusso di materiale entra attraverso un collegamento e parte su un altro); 2) funzioni di consolidamento/spacchettamento della merce (CB: consolidation/breakbulk) che permettono ai flussi di essere aggregati e disaggregati. Le funzioni di tipo 1 consentono di reindirizzare i flussi in base alla destinazione e dunque consente a molte origini e destinazioni di essere legati, ma utilizzando molti meno collegamenti di quelli richiesti nel caso di percorsi diretti. Le funzioni di tipo 2 consentono costi ridotti per il consolidamento della merce sfruttando le economie di scala dei trasporti oltre che a concentrare o de-concentrare il traffico.

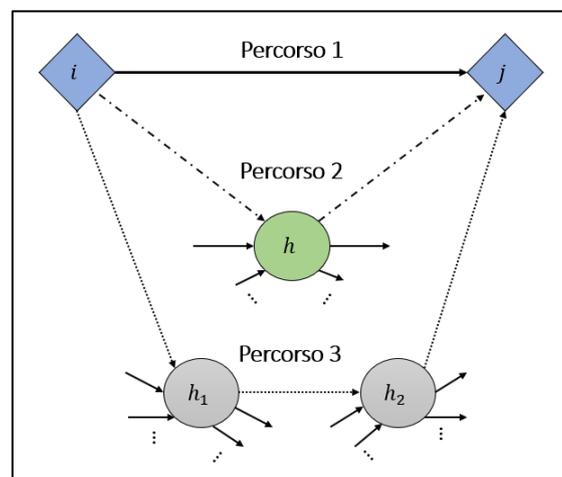


Figura 4.1: Percorsi alternativi Origine-Destinazione per il problema di *hub location*.

Le reti contenenti hub risultano essere molto comuni nei trasporti su larga scala e nei sistemi di telecomunicazioni in quanto possono aiutare a ridurre i costi di fornitura del servizio, aumentare le frequenze di servizio e proteggersi dalle incertezze di domanda. Si può notare che per molte reti di trasporto, i collegamenti sono infrastrutture pubbliche (strada, aria, mare), quindi l'istituzione dei collegamenti non è una preoccupazione fondamentale di chi costruisce l'hub. Il *main focus* è sul costo del trasporto lungo questi collegamenti e le opportunità di sfruttare le economie di scala. Nelle reti di telecomunicazioni non si hanno veicoli e i costi predominanti sono spesso associati alla creazione di collegamenti fisici (es. linee in fibra ottica).

4.1.2 Hub Location Problem formalizzato da J.F. Campbell e M.E. O'Kelly

Campbell (University of Missouri-St. Louis) e O'Kelly (The Ohio State University) forniscono informazioni sulle motivazioni per analizzare i problemi di posizionamento di un hub ed evidenziano alcune delle ricerche degli ultimi decenni, discutendo le carenze delle ricerche e suggerendo direzioni per il futuro. Le caratteristiche distintive di un problema di *Hub Location* che hanno individuato sono elencate di seguito:

1. La domanda è associata ai flussi O-D intesi come coppia, non come punti separati;
2. I flussi possono passare attraverso gli hub;
3. Gli hub sono strutture da localizzare;
4. Si ha un vantaggio nel far passare un flusso attraverso un hub (o un obbligo);
5. C'è un obiettivo che dipende sia dalla località in cui si decide di posizionare l'hub e sia dalla modalità in cui vengono distribuiti i flussi.

Si può considerare un insieme V di N nodi, che corrispondono alle origini, destinazioni e possibili posizioni in cui aprire un hub. Si può anche decidere di separare le posizioni dell'hub dall'insieme V , quindi costruire un secondo insieme di nodi. Ciascun arco (i, j) ha una lunghezza d_{ij} e W_{ij} è il relativo flusso che deve essere trasportato da i a j . Solitamente in tantissimi testi e ricerche vengono considerate le lunghezze euclidee (più realistiche in ambito extraurbano) o le distanze rettangolari (preferibili in ambito urbano).

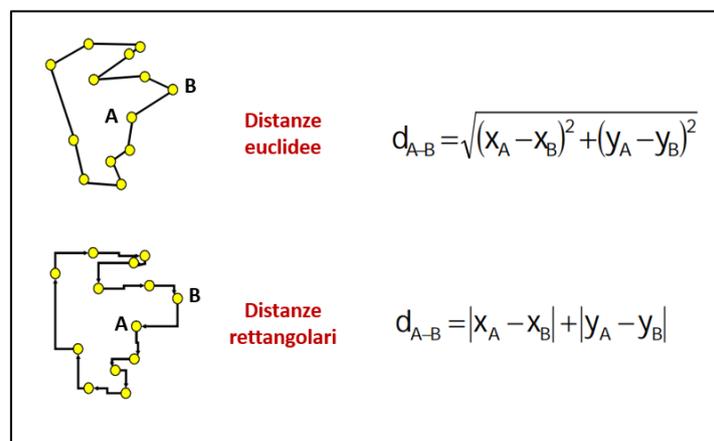


Figura 4.2: Calcolo della distanza euclidea o rettangolare tra due punti nel piano.

Se si decide che i flussi attraverso un hub sono consentiti, ma non obbligatori, l'incentivo ad utilizzarli deve essere dato dal punto 4, che potrebbe consistere in una riduzione del costo di trasporto per le economie di scala (tra hub o meno).

Dunque, le decisioni principali riguardano il posizionamento della/e struttura/e e la distribuzione dei flussi per servire la domanda dei clienti nei punti di destinazione. La rete risultante sarà composta da: 1) nodi di origine e destinazione; 2) nodi hub; 3) archi che collegano i nodi di origine e destinazione agli hub; 4) archi che collegano due nodi hub; 5) archi che collegano due nodi non hub. Queste decisioni seguono le teorie di *Capacity Allocation & Facility Location*, in cui si decide la posizione delle strutture e si assegnano i flussi di materiali ai vari archi. A seconda del problema specifico, inoltre, potrebbero aggiungersi anche altre decisioni, come ad esempio il tipo e la capacità dell'hub quando si hanno più opzioni tra cui scegliere. I problemi di posizionamento degli hub e di progettazione della rete possano essere definiti come sopra e, negli ultimi trentacinque anni, la maggior parte delle ricerche hanno affrontato problemi con al massimo due hub intermedi.

Le principali applicazioni di questo problema sono state nei trasporti e nelle telecomunicazioni (potrebbero verificarsi degli *Hub Location Problem* in ambiti più astratti, come i social network, dove la distanza non è una misura dello spostamento geografico). Nell'ambito dei trasporti si hanno dei veicoli che movimentano merci o passeggeri tramite strade, rotaie, aria o acqua, per i quali è previsto un costo/un tempo di percorrenza dipendente dalla distanza percorsa. Nell'ambito delle telecomunicazioni bisogna posizionare delle strutture (es. hardware come router o concentratori) per permettere la comunicazione tra un insieme di nodi (origini e destinazioni). Questi sistemi provvedono alla movimentazione di dati elettronici utilizzando collegamenti fisici (es. casi o collegamenti in fibra), e potrebbero esserci o meno costi significativi che dipendono dalla distanza percorsa dal segnale.

Le caratteristiche generiche dei punti 1-5 definiscono la maggior parte dei problemi, eppure, Campbell ha definito un insieme fondamentale di problemi di localizzazione dell'hub, che sono stati utilizzati come punto di partenza per ricerche successive. Campbell, pertanto, ha aggiunto due importanti caratteristiche:

6. I percorsi tra le coppie O-D visitano al massimo due hub;
7. Non sono consentiti flussi diretti O-D.

I problemi fondamentali generalmente assumono due diverse logiche: la prima consiste nel supporre che ciascun nodo non hub sia collegato ad un singolo hub, denominata allocazione singola; la seconda suppone che ciascun nodo non hub possa essere collegato a più hub, denominata allocazione multipla. Entrambe le situazioni possono verificarsi nella pratica: ad esempio nelle reti aeree per passeggeri generalmente si utilizza l'allocazione multipla (i voli che partono da una stessa città verso due mete differenti possono fare scalo in due aeroporti di differenti città), mentre alcune reti di telecomunicazioni impiegano un'allocazione singola (per ridurre i costi di costruzione della rete).

Il posizionamento definito da Campbell nel 1994 è detto "*P-Hub Median Problem*": dato un set di domande (flussi tra le coppie O-D), collocare un numero p di strutture hub tra i siti candidati per minimizzare il costo totale di trasporto per servire la domanda. Poiché la domanda è da un'origine ad una destinazione, il costo totale di trasporto è la somma ponderata della domanda coi costi necessari per servire la richiesta O-D. Pertanto, ciascun ordine O-D non è aggregato ad altri ed è instradato separatamente; per questo in tale modello si utilizza l'allocazione multipla. Quando si ha un solo hub,

la naturale definizione del costo di trasporto per unità di flusso per servire la coppia O-D (i, j) per l'hub k è $\delta(d_{ik} + d_{kj})$, dove δ è la funzione del costo di trasporto specifico (es. euro per unità di domanda per km). Con due o più hub nella rete, c'è la possibilità di movimentazioni tra di essi e il modo più semplice per simulare le economie di scala è inserire per esempio un fattore costante di sconto (questa idea è stata adottata indipendentemente anche da O'Kelly e da Goldman). Pertanto, il costo per unità di flusso per la coppia (i, j) può essere espressa in questo modo: $C_{ijkm} = \alpha d_{ik} + \beta d_{km} + \delta d_{mj}$, dove α , β e δ sono funzioni di costo dall'origine i all'hub k , da esso all'hub m , e dall'hub m al cliente j . Deve risultare che α e β siano più convenienti rispetto a δ , è possibile utilizzare la stessa funzione, scalata con un fattore di sconto inferiore a 1.

Utilizzando i punti 1-7, Campbell nel 1994 definì 4 problemi fondamentali, tra cui il *P-Hub Median Problem*, che utilizza delle variabili che tracciano i flussi lungo i tre tratti, ovvero *collection* (origine-hub), *transfer* (hub-hub) e *distribution* (hub-destinazione): X_{ijkm} : frazione di flusso che passa per i punti $i-k-m-j$ (in questo ordine). Una variabile binaria Y_k viene usata per individuare la posizione degli hub: la variabile è uguale ad 1 se il nodo k è un hub, 0 altrimenti.

$$\min \sum_{i,j,k,m} W_{ij} C_{ijkm} X_{ijkm} \quad (1)$$

Vincoli:

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j \in V \quad (2)$$

$$\sum_k Y_k = p \quad (3)$$

$$X_{ijkk} + \sum_{m \neq k} (X_{ijkm} + X_{ijmk}) \leq Y_k \quad \forall i, j, k \in V \quad (4)$$

$$Y_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in V \quad (5)$$

$$X_{ijkm} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m \in V \quad (6)$$

Si nota che con questa formulazione si adotta l'allocazione multipla. L'obiettivo è quello di minimizzare il costo totale di trasporto, diviso tra *collection*, *distribution* e *transfer*. Il vincolo 2 assicura la caratteristica 7, ovvero ciascun flusso deve passare per almeno un hub (se visita un solo hub: X_{ijkk}). Il vincolo 3 permette di scegliere il numero di hub da aprire (ovvero p). Il vincolo 4 assicura che per ogni direzione vi sia un collegamento con hub. 5 e 6 definiscono le variabili.

Il *P-Hub Median Problem*, ma con allocazione singola è stato invece formulato originariamente da O'Kelly (1987) come un problema quadratico ed utilizza le variabili $Z_{ik} = 1$ se il nodo i è collegato all'hub k , 0 altrimenti:

$$\min \sum_{i,j,k,m} W_{ij} (Z_{ik} C_{ik} + \alpha Z_{ik} Z_{jm} C_{km} + Z_{jm} C_{jm}) \quad (7)$$

Vincoli:

$$\sum_k Z_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \quad (8)$$

$$\sum_k Z_{kk} = p \quad (9)$$

$$Z_{ik} \leq Z_{kk} \quad \forall i, k \in V \quad (10)$$

$$Z_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i, k \in V \quad (11)$$

I vincoli 8-11 sono analoghi a quelli 2-6 (l'8 assicura l'allocazione singola), il costo di trasporto tra gli hub è moltiplicato per un fattore inferiore ad uno in modo da riflettere i vantaggi dell'economia di scala, dato dal consolidamento dei volumi lungo questi tratti [10].

I modelli fondamentali di localizzazione di un hub sono stati estesi in molte direzioni, ad esempio introducendo capacità, concorrenza, affidabilità, aspetti stocastici, ecc... È quindi possibile imbattersi in limiti superiori o inferiori nei flussi lungo gli archi, nei flussi entranti ad un hub da un determinato punto non hub o attraverso l'hub. Sono stati inclusi i collegamenti diretti (Aykin 1994), costi fissi di stabilimento (Venkataramanan 1998; Aykin 1994; O'Kelly 1992) e le capacità (Ebery 2000; Ernst e Krishnamoorthy 1999). Ricerche più recenti hanno affrontato i fattori di sconto tra hub (Bryan 1999; O'Kelly e Bryan 1998; podnar 1999) e fattori di competizione nelle reti (Marianov 1999).

4.1.3 Hub Location Problem con costi fissi formulato da O'Kelly

Nel 1992 O'Kelly decide di non ignorare, ma di introdurre nel problema i costi fissi di apertura delle strutture hub, rendendo così il numero di hub da aprire una delle variabili che possono influire sull'ottimizzazione. Il problema generale per questa ricerca include queste domande: (a) Per un dato insieme di interazioni tra i nodi fissi, qual è il numero ottimale di hub e dove dovrebbero essere posizionati? (b) Come i nodi devono essere collegati a queste strutture e come le interazioni devono essere distribuite sulla rete? L'articolo di O'Kelly del 1992 tenta di rendere endogena la scelta del numero di hub.

Il motivo per affrontare questa ricerca sta nel fatto che gli hub sono costosi sia da costruire, che da mantenere durante l'operatività, sebbene forniscano un mezzo efficiente per collegare le diverse città. È quindi ovvio che il numero di hub è una variabile critica. Un meccanismo per introdurre il numero di hub come variabile decisionale è quello di rendere espliciti i costi di gestione ed includere nel modello i costi di struttura.

La funzione obiettivo deve contenere un ulteriore fattore che tenga conto dei costi fissi f_k di operatività della struttura in k . O'Kelly modifica la scrittura della funzione obiettivo ed elimina il vincolo 9. Vengono individuati 4 casi in base ai valori assegnati [11]:

- **Caso 1: $\alpha = 0$.** Se si elimina la componente quadratica il problema diventa lineare;
- **Caso 2: f_k assumono valori elevati per $\forall k$.** Se i costi fissi sono assai alti comparati a tutti gli altri costi del sistema, il numero ottimale di hub da aprire risulta essere 1;

- **Caso 3:** $f_k = 0, \forall k$. Se non si hanno vincoli sul numero massimo di hub, risulta che in ogni potenziale posizione k conviene aprire una struttura;
- **Caso 4: caso reale.** Nella realtà i costi fissi giacciono in punti intermedi tra il caso 2 e il caso 3; dunque, il numero ottimo di hub da aprire sarà $1 \leq p \leq n$.

4.1.4 Sviluppi successivi del problema

La letteratura sul problema risulta essere ora molto estesa. Le tendenze attuali nella posizione degli hub includono lo sviluppo di nuove formulazioni che consentono di ottenere soluzioni buone o ottime in meno tempo e per problemi più grandi. Alcuni autori si sono concentrati su formulazioni più brevi e compatte (Marin, Canovas & Landete 2006; Garcia, Landete e Marin 2012) o approcci da un punto di vista differente, ad esempio con problemi di massimizzazione della domanda coperta con un numero fisso di hub da allocare. Il problema generale è stato esteso inoltre considerando la congestione causata dalla merce negli hub (Marianov e Serra 2003; Mohammadi, Jolai e Rostami 2011), o aggiungendo un termine non lineare nella funzione obiettivo e risolvendo il problema sia con metodi lagrangiani (Elhedi e Wu 2010) o algoritmi evolutivi Koksalan e Soylu 2010). Per quanto riguarda le economie di scala, risulta particolarmente rilevante è l'osservazione da parte di Campbell nel 2012: attraverso l'analisi di una grande quantità di casi, ha scoperto che i modelli di localizzazione condividono il problema sulla riduzione costi in base al flusso. Infatti, a seconda della distribuzione dei flussi O-D può risultare che il traffico verso certi hub sia così ridotto da non poter applicare le economie di scala. Il problema è rappresentato dal fatto che i modelli applicano un fattore di sconto fisso e costante per tutti gli archi inter-hub e non introducono alcuno sconto per gli archi ad alto traffico non tra due hub. Alcune soluzioni per le economie di scala sono state proposte tramite approssimazioni dello sconto non lineare tra gli hub con una funzione a tratti e sfruttando un numero minimo di archi tra gli hub (Podnar, Skorin-Kapov 2005, Campbell 2005). Tuttavia, rimane molto comune considerare uno sconto costante indipendente dalla quantità di flussi.

4.2 Prima versione del modello matematico per la risoluzione del caso aziendale

Negli studi presentati nei paragrafi precedenti vengono suggerite le strategie di base per poter impostare un modello per la localizzazione di uno o più hub logistici, tuttavia, quando si adatta un modello matematico ad un caso reale come il nostro, è bene fare ulteriori considerazioni:

- È importante tenere conto nel caso aziendale dei costi fissi di gestione delle strutture. Infatti, se si vuole trovare una soluzione migliorativa rispetto alla situazione attuale, bisogna valutare se la presenza di quattro magazzini europei è giustificata da un adeguato risparmio sui costi variabili. Il costo della struttura, non può essere inserito come un fattore costante, ma è dipendente dalla quantità di merce che lo attraversa, quindi dalla grandezza necessaria della struttura stessa. È possibile prendere in considerazione la possibilità di parametrizzare il costo fisso in base al numero di hub aperti, in base al numero di consegne, al peso che gestisce o altro ancora;
- Si può prendere in considerazione di utilizzare sia l'allocazione singola, che quella multipla. L'allocazione multipla risulta essere utile nel collegamento tra siti produttivi e hub, in modo tale da far sì che questi ultimi siano riforniti da diversi siti produttivi contemporaneamente.

Questa condizione è necessaria, dato che spesso i siti produttivi non fabbricano lo stesso prodotto;

- Considereremo invece, l'allocazione singola per quanto riguarda i collegamenti hub clienti. Ciascun destinatario riceverà la merce da un solo deposito distributivo. In questo modo si può seguire la logica che viene adottata oggi da FAAC, ovvero quella di specializzare ciascun magazzino su un'area specifica di clienti;
- Il costo di trasporto non può essere formulato come lo definì Campbell come una funzione dipendente esclusivamente dalla distanza percorsa. Nei casi reali si hanno varie logiche con cui vengono calcolate le tariffe di trasporto, che possono spaziare dal peso della merce trasportata, alla tipologia di trasporto (spedizione express o groupage), alla forza di un trasportatore su una determinata area;
- L'azienda riceve tariffe di favore per quanto riguarda il groupage che parte dai siti produttivi fino ai magazzini; quindi, per la tratta origine hub è difficile calcolare un fattore di sconto, ma è più realistico implementare listini di trasporto differenti.

In questo capitolo viene proposto un modello matematico di programmazione lineare intera che considera questi aspetti e che cerca di adattare il problema reale ad un problema matematico di minimizzazione di una funzione obiettivo basata sui costi. Sono considerati sia i costi fissi di stabilimento, che i costi variabili di trasporto della merce. L'utilizzo di tariffe più economiche per certe tratte, le differenze territoriali dei costi fissi e i flussi saranno alla base dell'ottimizzazione e della scelta del numero e della posizione degli hub. I flussi che devono arrivare alla destinazione sono le consegne che sono state mappate e mostrate nei capitoli precedenti e si riferiscono all'anno rolling considerato. Gli elementi necessari, essendo un problema di programmazione lineare, sono:

- **Insiemi:** contengono gli elementi degli insiemi, ovvero le diverse entità;
- **Indici:** importanti per la determinazione degli elementi di un insieme;
- **Parametri:** permettono di inserire gli elementi noti e i dati del problema;
- **Variabili decisionali:** sono il frutto dell'ottimizzazione e risultano essere il risultato finale;
- **Funzioni di costo:** per non appesantire la funzione obiettivo, si è deciso di scrivere separatamente le funzioni che permettono di calcolare i costi;
- **Funzione obiettivo:** funzione costruita per ottimizzare un aspetto, un obiettivo (in questo caso l'aspetto economico), ma non risulta un'ottimizzazione totale, sotto ogni punto di vista;
- **Vincoli:** danno consistenza al problema e permettono di calarlo all'interno dei casi reali.

Insiemi

- $I = [1, \dots, O]$: insieme dei siti produttivi;
- $J = [1, \dots, C]$: insieme dei clienti;
- $K = [1, \dots, H]$: insieme dei possibili hub;
- $F = [1, \dots, S]$: insieme delle fasce di peso.

Indici

- $i = 1, \dots, O$: indice sei siti produttivi dell'insieme I;
- $j = 1, \dots, C$: indice dei clienti dell'insieme J;
- $k = 1, \dots, H$: indice del sito in cui l'hub può essere costruito dell'insieme K;
- $f = 1, \dots, S$: indice della fascia di peso dell'insieme F.

Parametri

- p : numero di hub che si decide di aprire. Successivamente saranno spiegate le ragioni che hanno postato a scegliere di non renderla una decisione endogena del problema;
- I_k : costo fisso di mantenimento di un magazzino nella posizione k [€/anno];
- d_{ik} : distanza tra i e k [km/consegna];
- d_{kj} : distanza tra k e j [km/consegna];
- R_{jif} : numero di spedizioni richieste dal cliente j con materiale prodotto da i , appartenente alla fascia di peso f ;
- $t_f = \begin{cases} 1, & \text{se la fascia di peso } f \text{ richiede un trasporto espresso} \\ 0, & \text{se la fascia di peso } f \text{ richiede un trasporto groupage} \end{cases}$;
- $t_g = \begin{cases} 1, & \text{se si utilizza il tariffario groupage del trasportatore A in fascia } f \\ 0, & \text{se si utilizza il tariffario ibrido groupage – express del trasportatore D in fascia } f \end{cases}$;
- W_f : valore in kilogrammi della fascia di peso f [kg/consegna];
- M : numero molto elevato utile per il vincolo 6.

Variabili decisionali

- $X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{se si ha il flusso da } i \text{ a } k \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$;
- $X_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{se si ha il flusso da } k \text{ a } j \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$;
- D_{ikf} : numero di consegne da i a k nella fascia di peso f [consegne];
- D_{kjf} : numero di consegne da k a j nella fascia di peso f [consegne];
- $Y_k = \begin{cases} 1, & \text{se viene aperto l'hub in posizione } k \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$.

Funzioni di costo

- $C_{group\ 0-H}$ è la funzione di costo per le spedizioni dai siti produttivi verso gli hub. È una funzione di costo del groupage e la merce viene spedita dopo essere stata consolidata, per questo motivo si hanno dei costi ridotti ripartiti su ciascun prodotto. Si tratta di un'approssimazione dei tariffari del trasportatore A ed è definita in questo modo:

$$C_{group\ O-H} = \max\{0; a + 0, b \cdot d_{ik} - 0,00c \cdot W_f - 0,000e \cdot d_{ik}^2 + 0,000g \cdot d_{ik} \cdot W_f + h \cdot 10^{-7} \cdot W_f^2 + i \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^3 - l \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^2 \cdot W_f - m \cdot 10^{-9} \cdot d_{ik} \cdot W_f^2 - o \cdot 10^{-11} \cdot W_f^3\};$$

- $C_{group/ex\ H-D}$ è la funzione di costo per il trasporto dall'hub al cliente con il servizio ibrido. Rispecchia un tariffario speciale fornito dal trasportatore D appositamente per il progetto. Si pone in una posizione intermedia tra un servizio groupage ed uno espresso. In particolare, rispetto al primo è meno economico, ma garantisce tempi di consegna più veloci (circa due giorni in tutta Europa). Rispetto all'express risulta più a buon mercato, ma non garantisce la velocità di questo servizio. La funzione dipende solo dal peso della merce spedita se le destinazioni sono europee:

$$C_{group/ex\ H-D} = \max\{0; q + 0, r \cdot W_f + q \cdot 10^{-5}W_f^2 - s \cdot 10^{-9}W_f^3\};$$

- $C_{expr\ H-D}$ è necessaria per calcolare il costo delle spedizioni verso i clienti con modalità espresso, di cui si occupa il trasportatore D. È la funzione che porta ad avere dei costi maggiori, soprattutto per pesi della merce sopra i 20-30 kg. La funzione dipende solamente dal peso spedito ed è così definita:

$$C_{expr\ H-D} = \max\{0; t + u \cdot W_f - 0, v \cdot W_f^2 + 0,000z \cdot W_f^3\};$$

- $C_{group\ H-D}$ è la funzione di costo delle spedizioni groupage dagli hub ai clienti. Il tariffario fornito dal trasportatore A ha evidenti dipendenze da peso e distanza, che si riflettono nella funzione riportata di seguito:

$$C_{group\ H-D} = \max\{0; -\alpha + 0, \beta \cdot d_{ik} - 0,0\gamma \cdot W_f - \delta \cdot 10^{-5} \cdot d_{ik}^2 + 0,000\varepsilon \cdot d_{ik} \cdot W_f + \zeta \cdot 10^{-6} \cdot W_f^2 + \eta \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^3 - \theta \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^2 \cdot W_f + \lambda \cdot 10^{-9}d_{ik} \cdot W_f^2 - \mu \cdot 10^{-10} \cdot W_f^3\};$$

- $f(P)$ è una funzione che permette di calcolare il costo fisso di una struttura e dipende dal numero di hub che si decide di aprire. In particolare, permette di calcolare la percentuale di costo fisso che si paga per ciascun hub rispetto alla soluzione di un hub unico europeo:

$$f(p) = -0,0055 \cdot p^2 - 0,1231 \cdot p + 1,1286.$$

Funzione Obiettivo (F.O.)

La funzione da ottimizzare contiene tre fattori principali: 1) il costo di trasporto della merce consolidata dai siti produttivi agli hub con groupage; 2) il costo di trasporto dagli hub ai clienti europei con tre diverse modalità di trasporto; 3) il costo dei magazzini aperti:

$$\text{Min } \Psi = \sum_{i=1}^O \sum_{k=1}^H \sum_{f=1}^S C_{group\ O-H} \cdot D_{ikf} + \sum_{k=1}^H \sum_{j=1}^C \sum_{f=1}^S [C_{group/ex\ H-D} \cdot (1-t_f) \cdot (1-t_g) + C_{group\ H-D} \cdot (1-t_f) \cdot t_g + C_{expr\ H-D} \cdot t_f] \cdot D_{kjf} + \sum_{k=1}^H Y_k \cdot l_k \cdot f(p)$$

Utilizzando i termini t_f e t_g si riesce a utilizzare il tariffario corretto. In questo caso, come si vedrà in seguito, il fattore discriminante è il peso spedito, ma potrebbe essere utilizzato un parametro simile che risulta 1 per i clienti di un certo territorio e 0 altrimenti. In questo modo si avrebbe la possibilità di calcolare il costo nel caso si abbiano a disposizione diversi trasportatori in diverse regioni o paesi.

Vincoli

Il problema è soggetto a diversi vincoli per dargli consistenza e adattarlo alla realtà, come presentato di seguito:

$$D_{kjf} = \sum_{i=1}^O R_{jif} \cdot X_{kj} \quad \forall f, k, j \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^O \sum_{f=1}^S D_{ikf} \cdot W_f = \sum_{j=1}^C \sum_{f=1}^S D_{kjf} \cdot W_f \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^O X_{ik} \leq Y_k \cdot O \quad \forall k \quad (3a)$$

$$\sum_{j=1}^C X_{kj} \leq Y_k \cdot C \quad \forall k \quad (3b)$$

$$\sum_{k=1}^H Y_k = p \quad (4)$$

$$\sum_{f=1}^S D_{ikf} \cdot W_f = \sum_{f=1}^S \sum_{j=1}^C R_{jif} \cdot W_f \cdot X_{kj} \quad \forall i, k \quad (5)$$

$$\sum_{f=1}^S D_{ikf} \geq X_{ik} \quad \forall i, k \quad (6a)$$

$$\sum_{f=1}^S D_{ikf} \leq X_{ik} \cdot M \quad \forall i, k \quad (6b)$$

$$\sum_{f=1}^S D_{kjf} \geq X_{kj} \quad \forall j, k \quad (6c)$$

$$\sum_{f=1}^S D_{kjf} \leq X_{kj} \cdot M \quad \forall j, k \quad (6d)$$

$$\sum_{k=1}^H X_{kj} = 1 \quad \forall j \quad (7)$$

$$D_{kjf} = 0 \quad \forall i, k \text{ e } f = 1 \quad (8)$$

- 1) **Domanda:** la domanda dei clienti deve essere rispettata dalle spedizioni dell'hub che lo serve. Tutto il materiale richiesto arriva a destinazione e può provenire da plant produttivi differenti. Se un hub non serve un determinato cliente, X_{kj} risulterà essere uguale a zero e perciò non sarà inviata merce;

- 2) **Bilancio di materiale in ingresso e uscita:** per ciascun hub deve risultare che il quantitativo di merce che è in ingresso verrà a sua volta spedita verso le rispettive destinazioni;
- 3) **Esistenza del collegamento:** i flussi da o verso un hub esistono solamente se l'hub viene aperto ($Y_k = 1$). Nell'espressione 3a) si ha il vincolo per i collegamenti O-H e nella 3b) quello per i collegamenti H-D;
- 4) **Numero di hub:** la somma degli hub aperti deve essere uguale al parametro p deciso a priori. Nel caso si volesse rendere il numero di hub una scelta endogena, quindi anch'essa ottimizzata, si potrebbe mettere il simbolo di \leq , tuttavia, bisognerebbe modificare l'espressione del calcolo dei costi fissi. Se così non fosse la funzione obiettivo diventerebbe non lineare in quanto nell'espressione dei costi fissi non risulterebbe p , ma il numero di hub effettivamente aperti;
- 5) **Allocazione multipla:** nei collegamenti primari, per ogni produttore i -esimo e per ogni hub k -esimo, il materiale che va da i a k deve risultare uguale alla somma del materiale di quel produttore richiesto dai clienti di quell'hub. Quindi è necessario che ciascun hub k sia rifornito da più siti produttivi differenti (eventualmente tutti);
- 6) **Relazione tra D e X :** i percorsi $i-k$ e $k-j$ esistono solo se si creano consegne tra i punti considerati, e viceversa. Le relazioni 6a) e 6b) si riferiscono ai collegamenti primari, mentre 6c) e 6d) ai secondari. Per ciascun collegamento servono due vincoli:
 - *primo vincolo:* quando $X = 1$, allora si ha il collegamento e dunque si devono avere consegne tra punto di partenza e punto di arrivo. Viceversa, se $X = 0$, D non è vincolata. Dall'altra parte, se il numero di consegne da fare tra due punti è nullo perché non risulta conveniente ($D = 0$), allora anche X deve essere nullo (non si apre il collegamento). Se, invece, è opportuno fare delle consegne tra due punti, allora $D > 0$ e X può essere sia 1 che 0;
 - *secondo vincolo:* quando $D > 0$, allora X deve essere maggiore di zero, quindi uguale a 1. Se, invece, $X = 0$, il primo vincolo non fornisce ulteriori informazioni su D , mentre il secondo permette di fare in modo che anche $D = 0$;
- 7) **Singola allocazione:** ogni cliente può avere solo un flusso in ingresso, quindi un solo collegamento; quindi, può essere servito da un solo hub;
- 8) **Vincolo di funzionamento:** per il corretto funzionamento si evitano consegne produttore-hub in fascia 1 con 0 kg.

4.3 Popolamento degli insiemi e degli indici

4.3.1 Le origini i

Inizialmente sono stati considerati come origini i tre siti produttivi attuali che risultano all'interno dell'analisi, FAAC s.p.a., FAAC Bulgaria e MAGNETIC. Tuttavia, da un'analisi sulle origini dei prodotti all'interno delle consegne fatte ai clienti finali nell'anno considerato, si sono rilevate ingenti quantità di materiali che non provengono da alcuna di queste fabbriche. È stato scoperto che i magazzini di distribuzione acquistano dei materiali da aziende locali per poter costruire dei kit e per completare le spedizioni. Poiché ciascun deposito acquista questo genere di prodotti da aziende a

pochi chilometri di distanza, nel caso di apertura di eventuali hub, anch'essi acquisteranno materiale per la costruzione di kit da aziende del territorio nel quale saranno collocati. Dunque, ai tre siti produttivi iniziali, si è aggiunto una quarta origine denominata LOCALE, che rappresenta tutte le aziende limitrofe all'hub o ai magazzini, quindi a bassa distanza da essi (nel nostro caso assumeremo distanza nulla).

4.3.2 Le destinazioni j

Come clienti è stato scelto di considerare le regioni dei paesi europei considerati (con qualche eccezione). Ciascuna regione rappresenta tutti i clienti che raccoglie all'interno del proprio territorio e, le consegne che richiede dai siti produttivi sono la somma delle loro richieste. Questa è stata una scelta che ha permesso una buona precisione (in particolare territoriale), con una pesantezza di calcolo non eccessiva. Utilizzare le provincie sarebbe stato molto più oneroso in quanto avrebbe portato il numero di clienti ad essere più del quadruplo, appesantendo anche le operazioni successive (la matrice delle distanze hub-clienti, ad esempio, prevede già 2809 valori in questa situazione). I paesi francese, italiano e tedesco sono stati appunto suddivisi per regioni (20 italiane, 13 francesi e 16 tedesche), mentre Olanda, Belgio, Lussemburgo ed Austria, per le dimensioni ridotte e paragonabili alle regioni sopra citate, sono stati lasciati interi. Per individuare la posizione precisa della regione/paese che rappresenta un cliente, sono state adottate le coordinate delle città del territorio in questione con più consegne ricevute nell'anno dell'analisi. La maggior parte di queste città costituisce un ottimo baricentro, sia per la propria posizione centrale nel territorio, sia perché spesso il numero di consegne richieste era di gran lunga superiore alle altre città. Risultano dunque un totale di 53 clienti, segnati nella tabella seguente e rappresentati nella Figura 4.3.

REGIONE	CITTA'	REGIONE	CITTA'	REGIONE	CITTA'
<i>Valle d'Aosta</i>	<i>Aosta</i>	<i>Trentino A.A.</i>	<i>Trento</i>	<i>Niedersachsen</i>	<i>Hannover</i>
<i>Puglia</i>	<i>Bari</i>	<i>Friuli V.G.</i>	<i>Udine</i>	<i>Hessen</i>	<i>Francoforte sul Meno</i>
<i>Emilia-Romagna</i>	<i>Bologna</i>	<i>Grand Est</i>	<i>Strasburgo</i>	<i>Sachsen</i>	<i>Zwickau</i>
<i>Sardegna</i>	<i>Cagliari</i>	<i>Nuova Aquitania</i>	<i>Bordeaux</i>	<i>Rheinland-Pfalz</i>	<i>Alzey</i>
<i>Molise</i>	<i>Campobasso</i>	<i>Alvernia R.A.</i>	<i>Lione</i>	<i>Berlin</i>	<i>Berlino</i>
<i>Sicilia</i>	<i>Catania</i>	<i>Borgogna F.C.</i>	<i>Macon</i>	<i>Schleswig Holstein</i>	<i>Pinneberg</i>
<i>Calabria</i>	<i>Catanzaro</i>	<i>Bretagna</i>	<i>Rennes</i>	<i>Branderburg</i>	<i>Bad Belzig</i>
<i>Toscana</i>	<i>Firenze</i>	<i>Centro Valle L.</i>	<i>Orleans</i>	<i>Sachsen Anhalt</i>	<i>Sangerhausen</i>
<i>Liguria</i>	<i>Genova</i>	<i>Corsica</i>	<i>Ajaccio</i>	<i>Thuringen</i>	<i>Erfurt</i>
<i>Marche</i>	<i>Macerata</i>	<i>Ile-de-France</i>	<i>Evry</i>	<i>Hamburg</i>	<i>Amburgo</i>
<i>Lombardia</i>	<i>Milano</i>	<i>Occitania</i>	<i>Tolosa</i>	<i>Mecklenburg Vorpommern</i>	<i>Gustrow</i>
<i>Camopania</i>	<i>Napoli</i>	<i>Alta Francia</i>	<i>Lille</i>	<i>Saarland</i>	<i>Homburg</i>
<i>Veneto</i>	<i>Padova</i>	<i>Normandia</i>	<i>Evreux</i>	<i>Bremen</i>	<i>Brema</i>
<i>Umbria</i>	<i>Perugia</i>	<i>Paesi della Loira</i>	<i>Nantes</i>	<i>Austria</i>	<i>Linz</i>
<i>Abruzzo</i>	<i>Pescara</i>	<i>Provenza A.C.A.</i>	<i>Nizza</i>	<i>Olanda</i>	<i>s_Hertogenbosch</i>

<i>Basilicata</i>	<i>Potenza</i>	<i>Nordrhein West</i>	<i>Bergheim</i>	<i>Lussemburgo</i>	<i>Lussemburgo</i>
<i>Lazio</i>	<i>Roma</i>	<i>Bayern</i>	<i>Augusta</i>	<i>Belgio</i>	<i>Bruges</i>
<i>Piemonte</i>	<i>Torino</i>	<i>Baden Wurt</i>	<i>Ludwigsbg</i>		

Tabella 4.1: Regioni clienti e rispettive città scelte per le coordinate.

4.3.3 I possibili hub k

Le possibili collocazioni degli hub sono le 53 possibili città appartenenti alle regioni/paesi considerati. Tramite l'ottimizzazione sarà possibile collocare gli hub nelle aree più favorevoli. Sebbene possa sembrare una grossa approssimazione quella di individuare un'intera regione come collocazione per un hub, si sottolinea l'inutilità di fornire delle coordinate precise su cui andare a costruire un deposito. Se si ricercano risultati così precisi sarebbero da includere fattori territoriali molto complicati o addirittura impossibili da formulare matematicamente, come ad esempio la qualità dei collegamenti urbani e interurbani, congestione del traffico, tassazioni, i costi dell'energia e delle risorse, specializzazione del personale, scelta si affitto o costruzione del magazzino, ecc.....Può essere più utile individuare col modello una macroarea su cui andare ad applicare altri metodi e considerazioni qualitative (vedi *Site Selection*) per fare delle scelte che non possono essere affidate semplicemente ad un modello matematico che risulta pur sempre ideale.

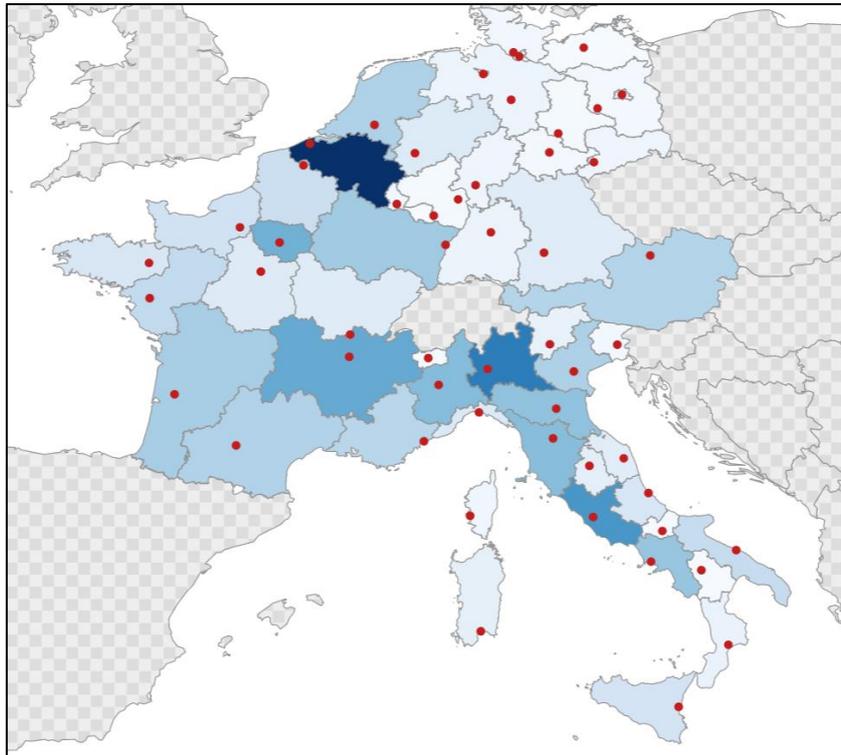


Figura 4.3: Posizione dei 53 clienti considerati e delle 53 possibili posizioni degli hub, sulla cartina che rappresenta le regioni, e quindi i clienti, più serviti.

4.3.4 Le fasce di peso f

Il numero delle fasce di peso è abbastanza arbitrario. Come per i clienti si è cercato di non appesantire in maniera eccessiva il risolutore, mantenendo contemporaneamente una buona precisione sui chilogrammi trasportati. Una volta definite le fasce di peso e i valori a cui ciascuna fascia corrisponde, è possibile approssimare il peso di ciascuna consegna reale alla fascia di peso più vicina. La scelta dei pesi delle varie fasce deve seguire poche logiche, ma che permettono di ottenere un buon risultato, come si mostrerà nel paragrafo dedicato (paragrafo 4.4.6). Inizialmente erano state considerate 50 fasce di peso e con varie prove sui valori da esse assunte si è deciso di aumentare questo numero a 70.

4.4 Popolamento dei parametri

4.4.1 Il numero di hub p

Il parametro p può essere variato per ottenere diverse configurazioni del problema. In particolare, saranno valutate le soluzioni in cui $p = 1, 2, 3$, che sono quelle che interessano all'azienda. Come è stato accennato precedentemente e sarà ulteriormente approfondito in seguito, la scelta di non renderlo un fattore di ottimizzazione è dovuto alla questione riguardante i costi fissi di magazzino. Questo non costituisce una limitazione in quanto valutando il caso con $p = 1$ è possibile ottenere l'ottimo in questa configurazione e, eliminando questa soluzione tra i papabili siti su cui porre l'hub, è facile trovare anche i diversi risultati sub-ottimi. Analogamente è possibile ripetere il procedimento con $p = 2, 3, \dots$. Confrontando le soluzioni si ottiene poi l'ottimo globale.

4.4.2 I costi fissi I_k

I costi fissi di magazzino si basano sui calcoli del magazzino equivalente (metri quadri, personale, costo della giacenza) effettuati dall'Ufficio Logistica e sui dati di costo raccolti dei magazzini attuali europei. Il costo I_k rappresenta in particolare quanto costerebbe all'anno mantenere un magazzino europeo nella regione k nel caso in cui esso sia l'unico hub, quindi gestisca tutto il flusso europeo. Una grossa approssimazione, che però necessaria per le informazioni a disposizione, è quella di considerare un costo fisso di magazzino diverso da nazione a nazione; quindi, le regioni dello stesso paese presentano i medesimi valori I_k . Per ciascun paese sono stati utilizzati i dati di costo dei magazzini attuali come base per i calcoli (es. $\text{€}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})$ o il costo dei white e blue collar). Per il calcolo di I_k nelle regioni italiane si sono utilizzati i dati del magazzino di FAAC s.p.a., per gli I_k francesi i dati del magazzino di St-Priest, per Austria e Germania i dati del magazzino che le serve (quindi quello tedesco) e lo stesso ragionamento per i paesi del Benelux.

Per il magazzino equivalente sono stati calcolati una superficie di 2253 m², 12 blue collar, 2 white collar, 1 manager e il costo della giacenza, che risulta lo stesso per tutte le regioni: non dipende dalla posizione del magazzino in sé. I valori I_k ottenuti sommando le voci di costo che si ottengono con i dati sopra citati vedono i paesi del Benelux come quelli più onerosi in cui aprire un magazzino a parità di metratura, personale e giacenza media, seguiti da Francia, Germania ed infine Italia. Questo risultato sottolinea inoltre il grande impatto del costo del personale, infatti, come si può notare dalle considerazioni fatte nel paragrafo 3.3.6, Francia e Italia hanno un costo al m² superiore rispettivamente di Belgio e Germania.

4.4.3 Le distanze d_{ik} e d_{kj}

Per l'introduzione nel modello dei valori di d_{ik} e d_{kj} , in letteratura non vengono fornite ulteriori indicazioni se non l'utilizzo di distanze euclidee o rettangolari. Entrambe risultano essere delle grosse approssimazioni dei percorsi reali, che possono portare ad errori molto importanti, soprattutto nel nostro caso in cui le distanze hanno ordini di grandezza del centinaio o migliaio di chilometri. Le distanze euclidee calcolano la distanza tra due punti come la lunghezza del segmento che le unisce; i percorsi reali non collegano due località in linea retta e sono sottostimati da questo tipo di calcolo. Le distanze rettangolari tendono invece a sovrastimare le distanze stradali/autostradali che i mezzi di trasporto devono percorrere per le consegne dei materiali.

L'obiettivo è quello quindi di ottenere un metodo che permetta di calcolare in maniera semplice, ma accurata le distanze stradali e autostradali che separano le città in questione. Nel caso in cui le distanze da calcolare fossero state in numero ridotto, sarebbe stato possibile cercarle una ad una tramite mappe o servizi internet geografici, ma le distanze di cui si necessita per il problema sono da una parte $4 \cdot 53 = 212$ distanze per i collegamenti dei siti produttivi verso le 53 possibili posizioni dell'hub (d_{ik}), da aggiungere poi alle $53 \cdot 53 = 2809$ distanze tra le località hub e i clienti (d_{kj}). Tramite uno studio su 50 distanze tra città scelte in modo casuale in Europa, si è valutato se esistesse una relazione tra distanza lineare (o euclidea) e la distanza stradale/autostradale. La scelta delle città è stata random in modo tale da mantenere generalità e non influenzare il risultato, mentre la decisione di considerarle in Europa è dovuta al fatto che era necessario considerare un territorio geograficamente attinente alle zone da noi considerate (senza particolari ostacoli come oceani tra un'origine e una destinazione). Le distanze che risultano all'interno dell'analisi possono essere molto brevi (quindi tra città appartenenti alla stessa regione) o molto lunghe (quindi città di paesi lontani fra loro) e ricoprono perciò un ampio spettro. Le città possono essere individuate con le loro coordinate di latitudine e longitudine: dato il punto A, individuato dalla coppia $(a_1; b_1)$, in cui a_1 è la latitudine e b_1 la longitudine, e il punto B con la coppia $(a_2; b_2)$, la distanza lineare tra A e B è data dalla seguente formula se latitudine e longitudine sono espresse in radianti:

$$d(A, B) = 6371 \cdot \arccos(\sin(a_1) \cdot \sin(a_2) + \cos(a_1) \cdot \cos(a_2) \cdot \cos(b_1 - b_2)) \quad [km]$$

Le distanze calcolate in questo modo possono essere comparate con le distanze reali ricavate ad esempio tramite un servizio di localizzazione (Google Maps).



Figura 4.4: Differenza tra distanza lineare e stradale tramite un esempio in Europa.

Se in un piano cartesiano si pone lungo l'ascissa la distanza lineare in chilometri e lungo l'ordinata quella reale anch'essa in chilometri, è possibile individuare dei punti che rappresentano le distanze tra le città considerate. Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica di regressione che permette di trovare una funzione, rappresentata da una curva ottima, che si avvicini il più possibile ad un insieme di dati (tipicamente punti del piano). In particolare, la funzione trovata deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati della differenza tra i dati osservati e quelli della curva, da cui il nome "minimi quadrati". Siano $(x_i; y_i)$ con $i = 1, 2, 3, \dots, n$ i punti che rappresentano i dati di ingresso. Si vuole trovare una funzione f che approssimi la successione di punti dati e può essere determinata minimizzando la quantità S :

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

In genere $f(x)$ è parametrica: il problema si riduce allora a determinare i parametri che minimizzano la distanza dei punti della curva. Se la funzione $f(x)$ che si desidera è una retta, allora si hanno due possibilità: 1) $y = bx + a$ rappresenta la migliore interpolante non passante per l'origine; 2) $y = bx$ rappresenta la miglior retta che passa per l'origine ed approssima i punti. Nel nostro caso, si è scelto di adottare la seconda formulazione, infatti, se si cerca la distanza tra una città e sé stessa, la distanza lineare è nulla, ma anche quella reale. In questo caso si ha solo il parametro b da determinare e si calcola nel modo seguente:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

Si può utilizzare la retta di regressione per prevedere così il valore di y da un dato valore di x non osservato. Se si prevedono valori interni all'intervallo osservato di x , allora si parla di interpolazione vera e propria, altrimenti si dice estrapolazione. L'accuratezza dell'estrapolazione dipende da:

- Quanto la retta si adatta bene ai dati;
- Quanto il valore x è lontano dai valori osservati: se ci si allontana molto dall'intervallo osservato, può diventare assurda.

Per determinare la bontà di adattamento della retta di regressione ai dati originali si devono introdurre i seguenti parametri:

- D_y : *devianza totale di y* , misura la variabilità dei valori di y osservati attorno alla loro media \bar{y} : $D_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$;
- D_{SL} : *devianza dei valori y previsti*, misura la variabilità dei valori y previsti dalla retta dei minimi quadrati attorno alla loro media che, per proprietà del metodo, coincide con \bar{y} : $D_{SL} = \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y})^2$;
- D_{RL} : *devianza residua rispetto alla regressione lineare*, misura la variabilità degli errori di regressione: $D_{RL} = \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2$.

Pertanto, si può notare che $D_y = D_{SL} + D_{RL}$: la varianza totale di y si divide in due parti, una data dalla relazione lineare con x e l'altra residuale. Il **coefficiente di determinazione (R^2)** è la proporzione della variabilità totale di y spiegata dalla relazione lineare con x : $R^2 = \frac{D_{SL}}{D_y} = 1 - \frac{D_{RL}}{D_y}$. Poiché dalle definizioni $D_{SL} \geq 0$ e $D_{SL} \leq D_y$, allora risulta che R^2 è un indice normalizzato, ovvero può assumere solo valori compresi tra zero e uno. Questo coefficiente misura la bontà di adattamento della retta di regressione: la retta si adatta ai dati tanto meglio quanto più piccola è la somma degli errori in D_{RL} , ovvero quanto più grande è il coefficiente di determinazione. La misura della bontà è cruciale per l'interpretazione e l'utilizzo dei risultati della regressione, infatti, la retta ottimizzata potrebbe comunque compiere un pessimo lavoro, cioè potrebbe fare enormi errori di previsione. Il metro di giudizio sul valore assunto dal coefficiente dipende dal contesto applicativo: in certi campi si attesta su valori compresi tra 0,15 e 0,30 mentre in altri supera 0,9 [12].

Dall'applicazione del metodo dei minimi quadrati con l'apposita funzione di Excel ai punti nel piano cartesiano in cui sulle ascisse si hanno le distanze euclidee tra città, mentre sulle ordinate le distanze starali, risulta che il parametro $b = 1,2612$ e la precisione della curva data dal coefficiente di determinazione vale $R^2 = 0,9723$. Il risultato può essere visualizzato in Figura 4.5. Pertanto, è possibile ottenere una buona stima della distanza stradale tra due punti in Europa calcolando la distanza euclidea attraverso le coordinate di latitudine e longitudine e moltiplicando il risultato per 1,2612. Si è notato, inoltre, che i punti più lontani dalla retta, che fanno quindi scadere l'indice R^2 , sono punti in cui la distanza è tra due città di cui una appartiene a delle isole (es. Palermo in Sicilia) e pertanto la presenza del mare allunga il percorso reale e fa differire maggiormente i due tipi di distanze.

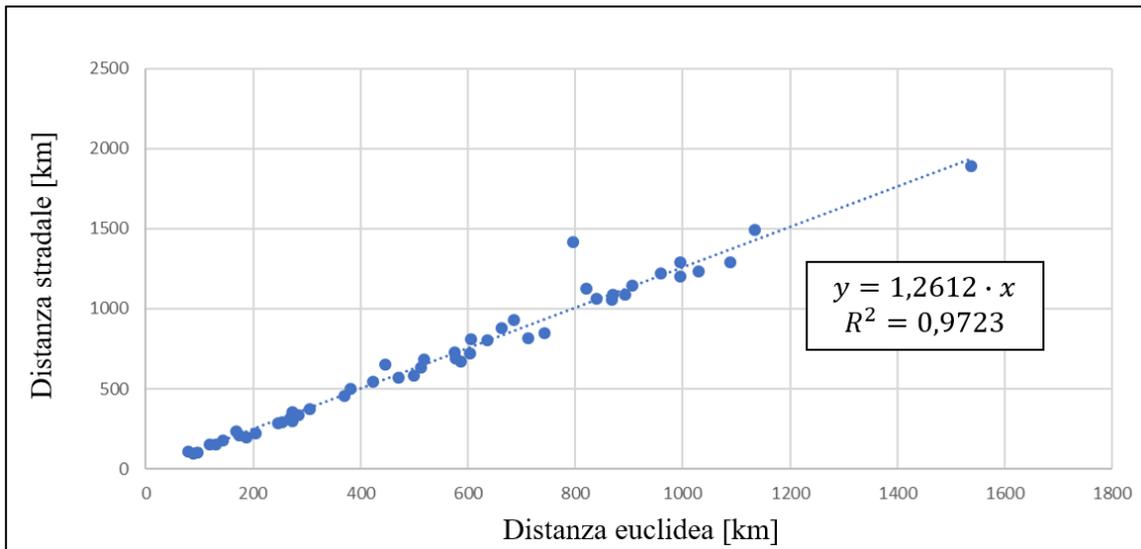


Figura 4.5: Retta di regressione della relazione tra distanze euclidee e reali in Europa.

Grazie a questo risultato è stato possibile ricavare tutte le distanze d_{ik} e d_{kj} . In particolare, ciò è stato possibile tramite l'introduzione in Excel di tutte le località con le relative latitudini e longitudini in radianti. Tramite dei semplici cicli "for" nell'ambiente di programmazione è stato possibile calcolare tutte le combinazioni di distanze euclidee moltiplicate per 1,2612; sono state costruite quindi le due matrici delle distanze da inserire nel file di dati del modello:

- I parametri d_{ik} si ricavano scorrendo le righe e le colonne della seguente matrice (4 x 53) che racchiude le distanze tra le origini i dei materiali e le possibili posizioni degli hub k :

d_{ik} [km]	Aosta	Bari	...	...	...	Lussemburgo	Bruges
FAAC s.p.a.	434,7	740,2	...	...	...	873,4	1209,9
FAAC BG	1928,4	1086,7	...	...	...	2106,6	2414,6
MAGNETIC	275,5	1287,7	...	...	...	316,5	650,2
LOCALE	0	0	...	...	...	0	0

- Le distanze d_{kj} tra i possibili hub k e le destinazioni j si ottengono analogamente dalla seguente matrice (53 x 53):

d_{ik} [km]	Valle d'Aosta	Puglia	...	...	...	Lussemburgo (paese)	Belgio
Aosta	0	1168	...	...	...	556,6	855,7
Bari	1168	0	...	...	...	1590,8	1932,2
...
...
...
Lussemburgo (città)	556,6	1590,8	...	...	...	0	341,8
Bruges	855,7	1932,2	...	...	...	341,8	0

4.4.4 Le richieste dei clienti di materiale R_{jif}

Grazie all'utilizzo del gestionale SAP è stato possibile mappare tutte le consegne effettuate ai clienti nell'anno rolling considerato. Per ciascuna consegna risulta fondamentale, per come è stato impostato il problema, individuare dove i prodotti sono stati fabbricati e la fascia di peso a cui appartengono le consegne stesse. Per le origini dei materiali è stato necessario fare una ricerca approfondita sulle origini delle migliaia di codici diversi presenti. Dunque, ad ogni materiale è stato assegnato uno dei quattro possibili siti:

- BO ($i = 1$) per il materiale prodotto in FAAC s.p.a. e dai suoi approvvigionatori locali;
- BG ($i = 2$) per il materiale prodotto in Bulgaria;
- MG ($i = 3$) per il materiale prodotto da MAGNETIC;
- LOCALE ($i = 4$) per il materiale comprato dalle sussidiarie presso fornitori locale.

Ciascuna consegna, poi, è stata assegnata alla fascia di peso che avesse il valore di peso corrispondente W_f più vicino al suo peso reale. Se una consegna ha un peso intermedio tra due valori W_f , ad esempio tra W_3 e W_4 , la consegna si assegna alla fascia 4 se ha peso maggiore o uguale a $\frac{W_4 - W_3}{2}$, altrimenti è assegnata alla fascia di peso corrispondente a $f = 3$. R_{jif} rappresenta, dunque, il numero di consegne ricevute dal cliente j , con materiale proveniente da i , nella fascia di peso f . Nel file di dati sono stati quindi inseriti per ciascuna destinazione (53), le consegne provenienti dai siti produttivi (4) in ciascuna fascia di peso (70), per un totale di 14.840 valori R_{jif} . Naturalmente molti di questi valori risultano nulli perché le consegne verso i clienti non ricoprono l'intero spettro dei pesi.

4.4.5 Le soglie di peso t_f e t_g

Il parametro t_f assume i valori zero e uno a seconda della fascia di peso a cui si riferisce: nel primo caso permette alla merce di essere trasportata con un servizio espresso, mentre nel secondo caso si utilizza il trasporto espresso. L'utilità di questo parametro è relativa solamente alle spedizioni di materiale dagli hub verso i clienti, in quanto per il trasporto primario è sufficiente il groupage della merce consolidata. In generale si nota dall'analisi delle spedizioni reali che non c'è una vera regola con cui utilizzare un servizio piuttosto che un altro: molte spedizioni, anche a basso peso, vengono effettuate tramite groupage, c'è una forte dipendenza dalle scelte e dalle esigenze dei clienti. Non potendo introdurre spedizione per spedizione (con relativo metodo di spedizione utilizzato) all'interno del file dati, l'azienda ha suggerito di adottare come soglia un dato proveniente dall'esperienza, ovvero 30 kg. Pertanto, a tutte le fasce f a cui corrisponde un valore di peso $W_f < 30$ kg sarà associato un valore $t_f = 1$, altrimenti $t_f = 0$. Questo dato rimane fisso e immutato in tutte le analisi poiché l'azienda mira a consegnare in tempi rapidi tutti i prodotti a basso peso.

Il parametro t_g assume i valori zero e uno a seconda della fascia di peso a cui si riferisce: nel primo caso permette alla merce di essere trasportata con un servizio ibrido del trasportatore D, mentre nel secondo caso si utilizza il trasporto groupage del trasportatore A. Anche in questo caso il parametro assume la funzione di una soglia di peso, che tuttavia varia da un'analisi all'altra e permette di configurare diversi scenari, come sarà mostrato nel paragrafo sui risultati. Questa scelta viene fatta

sopra i trenta chilogrammi, infatti al di sotto verrà sempre mantenuto il servizio espresso del trasportatore D.

4.4.6 I valori W_f delle fasce di peso

I valori di peso per ogni fascia sono stati scelti con uno studio sulla distribuzione reale dei pesi delle consegne, ne risulta quindi che le granulosità degli intervalli sono molto differenti: in generale, per bassi pesi si ha una minore granulosità, che poi aumenta con il peso. A questa scelta si è giunti tramite un'analisi sulle consegne reali: per vedere quali pesi delle consegne influivano di più sul totale del peso trasportato in un anno è stato costruito il grafico nella Figura 4.6 che, sull'ascissa presenta il peso della singola consegna P_c [kg/consegna], sull'ordinata è rappresentato il peso della consegna per il numero di consegne all'anno con tale peso [kg/consegna] * [consegne anno] = [kg/anno]. Un'analisi sul peso della consegna in ascissa e sul numero di consegne con tale peso in ordinata non avrebbe permesso di capire quali fasce influivano maggiormente sul peso totale trasportato all'anno.

È possibile notare come mantenere una granulosità fine nei primi 800 kg possa portare a bassi errori di approssimazione nell'utilizzo delle fasce di peso piuttosto che i pesi reali. In particolare, l'entità di questi errori dovuti alle approssimazioni è stata valutata tramite gli indicatori *Mean Absolute Deviation* (MAD) e *Standardized MAD* (SMAD). Il primo valuta l'errore medio che si commette durante l'approssimazione di tutte le consegne, il secondo tiene conto dell'entità dell'errore in proporzione ai pesi effettivi delle consegne:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{ri}}{n} = 46,71 \left[\frac{kg}{consegna} \right]$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |\varepsilon_{ri} - \varepsilon_{fi}|}{n} = 1,54 \left[\frac{kg}{consegna} \right]$$

$$SMAD = \frac{MAD}{A} = 0,03309 = 3,309 \%$$

Dove:

$i = 1, 2, \dots, n$: indice delle consegne;

ε_{ri} : peso reale della consegna i -esima;

ε_{fi} : peso approssimato con la fascia di peso della consegna i -esima (è il valore W_f che le viene assegnato).

Risulta pertanto che con le approssimazioni di W_f la somma degli errori impatta solamente di circa il 3,3% sul totale del peso spedito. In particolare, il peso totale spedito viene leggermente sottodimensionato e l'approssimazione risulta essere pari a 4.975.110 kg invece che 4.983.337 kg. La scelta dei valori di W_f è stata ottimizzata manualmente, con vari tentativi guidati dalla distribuzione dell'immagine 4.6 e tramite lo studio dei valori MAD e SMAD si è giunti ai pesi elencati in Tabella 4.2 che risultavano soddisfacenti. L'intervallo dei pesi è compreso tra un minimo di 0 kg ed un massimo pari a 8500 kg, che risulta essere il carico massimo trasportabile nel caso di Full Truck Load (FTL), ovvero se il mezzo di trasporto è completamente dedicato ai materiali di FAAC.

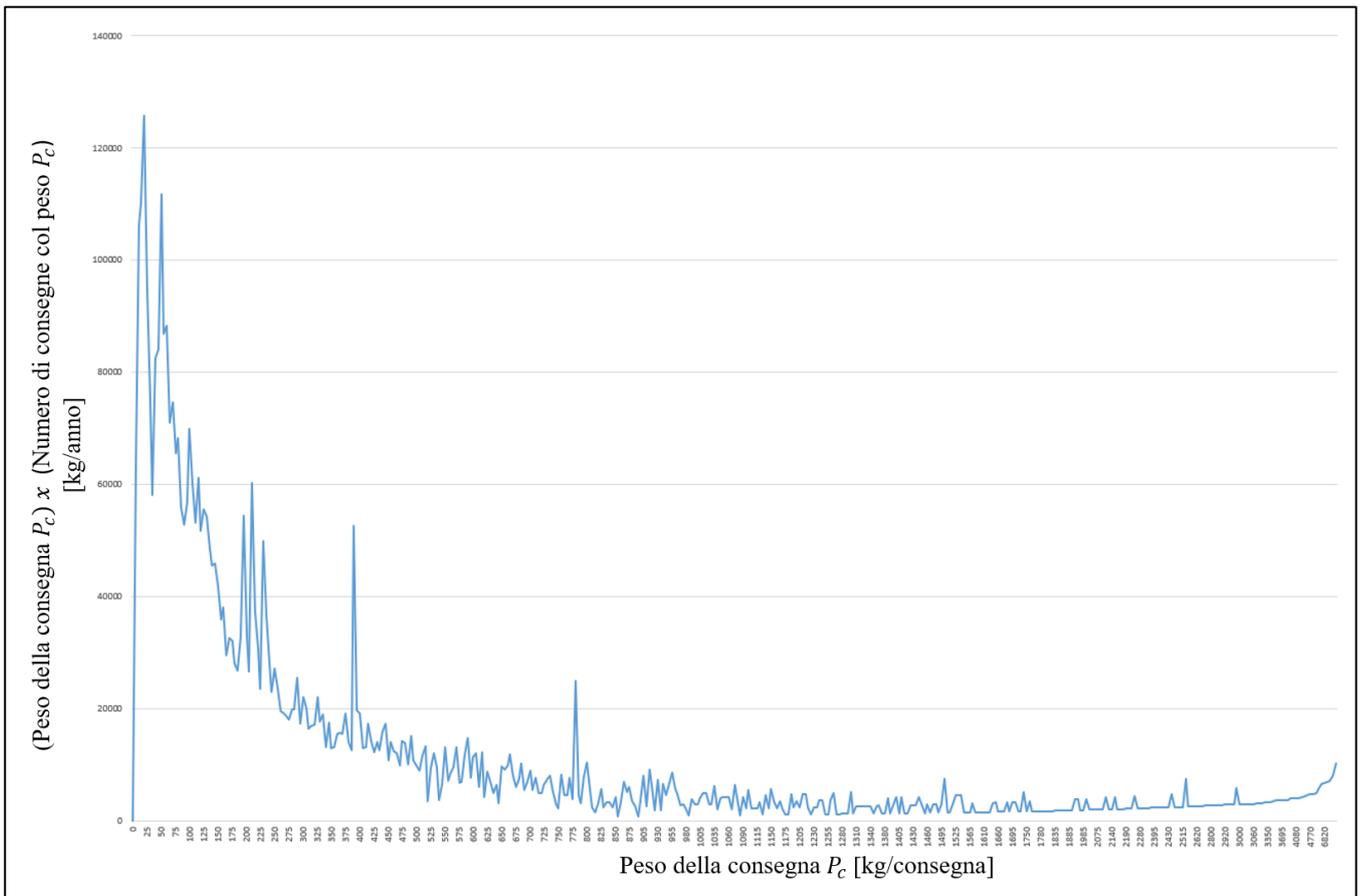


Figura 4.6: Analisi sulla distribuzione dei pesi spediti nell'anno considerato.

f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
W_f	0	1	2	4	6	8	10	13	16	19	22	26	28	32	36	40	44	48	52
f	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
W_f	56	60	65	70	75	80	85	90	95	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
f	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
W_f	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2250	2500	2750	3000
f	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70						
W_f	3250	3500	3750	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500						

Tabella 4.2: Valori dei pesi W_f associati alle fasce di peso f .

4.5 Sviluppo delle funzioni di costo

4.5.1 I costi di trasporto $C_{group\ 0-H}$, $C_{group/ex\ H-D}$, $C_{expr\ H-D}$ e $C_{group\ H-D}$

La tariffa di trasporto è il corrispettivo dovuto che il committente deve pagare al fornitore per il servizio di trasporto merci fornito. Il costo totale è valutato sulla base di tantissimi fattori che concorrono in maniera differente al calcolo di questo. Le voci principali possono essere:

- Percorrenza chilometrica: determina le voci di spesa variabili come il carburante, dei pedaggi autostradali e della manutenzione del mezzo. Il costo aumenta con l'aumentare della distanza della meta da raggiungere;
- Costi fissi: tra di essi si citano la rata dei mezzi, gli stipendi degli autisti, costi di struttura, costi assicurativi e amministrativi;
- Tempo impegnato del mezzo e dell'autista;
- Fattori relativi al prodotto: possono essere densità, ingombro, facilità di movimentazione, responsabilità del trasportatore sul prodotto, possibilità di impilaggio;
- Fattori relativi al mercato: come, ad esempio il grado di competizione tra diversi operatori del trasporto, volumi spediti, origini e destinazioni delle spedizioni, equilibrio o squilibrio del movimento delle merci trasportate in quel collegamento, stagionalità, affidabilità;
- Destinazione nazionale o internazionale;
- Tempo di consegna garantito.

Solitamente la tariffa di trasporto viene determinata valutando questi fattori, in modo tale da coprire i costi fissi e variabili del trasportatore, a cui verrà aggiunto un margine di profitto.

Come detto nei capitoli precedenti, FAAC utilizza diversi trasportatori in base alla sede considerata, al tipo di servizio e in base alle destinazioni. Per un determinato servizio il trasportatore mette a disposizione un tariffario che permette di calcolare il costo di una spedizione sulla base di uno o due fattori. Poteva essere molto complicato introdurre dei listini all'interno del modello matematico in modo tale da identificare esattamente il costo di ogni spedizione; quindi, si è cercato un modo per mantenere una buona precisione, ma che fosse più rapido. Poiché la tariffa viene determinata attraverso l'identificazione della destinazione, del peso della merce spedita o entrambe nel listino, la soluzione più scontata risultava quella di cercare l'esistenza di una funzione (in una o due variabili) che permettesse di calcolare la variabile dipendente (costo) date quelle indipendenti (distanza e peso). Questa intuizione richiama molto l'interpolazione lineare utilizzata per determinare la relazione delle distanze reali da quelle euclidee. Nel seguito è mostrato nel dettaglio il metodo di determinazione e il risultato delle analisi sui diversi listini:

- $C_{group\ 0-H}$: questa formula viene utilizzata per il calcolo del costo di trasporto primario, ovvero dalle origini agli hub. I listini che sono stati forniti prevedono l'utilizzo di due diversi trasportatori in base al luogo di partenza per la merce. In particolare, FAAC s.p.a. utilizza il listino del trasportatore A per spedire la merce verso le consociate in Bulgaria, Germania, Francia e Belgio. Analogamente, per il sito produttivo bulgaro è stato messo a disposizione un tariffario del trasportatore D. Per MAGNETIC non sono state fornite informazioni. Entrambi i tariffari hanno come partenza il luogo della sede a cui si riferiscono e la tariffa si determina in base alla destinazione ed in base alla fascia di peso in cui ricade il peso della merce. Dunque, per costruire una funzione di costo, le variabili indipendenti sono due: il peso e la distanza. Non si deve ricercare quindi una funzione nel piano cartesiano, ma una funzione sulle tre dimensioni. Per questa formulazione la distanza sarà la variabile x , il peso la variabile y e il costo sarà z . Si è deciso, per non appesantire il modello con un numero elevato di formule, di integrare i due listini a formare una formula generale che valesse per tutti i trasporti primari. Nulla vieta, utilizzando dei parametri binari, di scegliere il tariffario in base all'origine.

Per poter agire in modo analogo al caso delle distanze stradali, è necessario determinare alcuni punti nello spazio da poter interpolare. Questi punti hanno come valori in x sempre una delle distanze tra i luoghi a cui si riferiscono questi listini (es. da Zola Predosa a Freilassing: $x = 566 \text{ km}$), mentre si è scelto di prendere sempre gli stessi valori su y e di calcolare la variabile z di conseguenza. Per ciascuna distanza sono stati presi 25 valori di y per il listino A e 28 valori per il listino D (in base al peso massimo ammesso dal tariffario). Nell'immagine è mostrato uno dei due tariffari da cui è seguita l'analisi, con prezzi modificati o censurati, per dare l'idea della loro struttura.

TARIFFA AL Q.le - Consegna libera da vincoli				TARIFE EXPORT per EUROPA												
Trasporto da VS magazzino di Zola Predosa (BO) per consegna nelle Località degli Stati di seguito elencati:																
Prezzo x 100 Kg Reali // Min e FTL prezzo fisso																
Arrotondamento ai 100 kg superiori																
Depature	Zip Code	Nation	Destination	MIN	1400	2100	2800	3500	4200	4900	5600	6300	7000	7700	FTL	
Zola Predosa	40069	BULGARIA	TUTRAKAN	230,00	eulquintale	2200,00										
Zola Predosa	40069	GERMANIA	83 FREILLASING	110,00	eulquintale	1300,00										
Zola Predosa	40069	BELGIO	BRUGGE	150,00	eulquintale	1900,00										
Zola Predosa	40069	FRANCIA	69 ST.PRIEST	160,00	eulquintale	1550,00										

Figura 4.7: Listino censurato utilizzato per la tratta O-H con partenza Zola Predosa.

Come si può notare, si hanno delle soglie minime di costo da pagare ed una soglia massima nel caso in cui si raggiungesse il FTL. Pertanto, i punti considerati con $y < 1400 \text{ kg}$ avranno comunque un costo pari alla soglia minima corrispettiva (sono stati considerati valori $y = 10, 50, 100, 500, 1000$). Bisogna considerare, inoltre, che se si spedisce della merce a distanza nulla; quindi, in pratica non si esegue la spedizione, il costo del trasporto deve non esserci (punto fondamentale per il funzionamento del modello). Pertanto, sono stati inseriti anche i punti con $x = 0$, con i diversi pesi y tali che $z = 0$. In questo modo sono stati inseriti i punti da noi chiamati "condizioni al contorno".

Per trovare il piano adatto a questo compito è stata utilizzata l'applicazione *Curve Fitter* di Matlab che permette, inserendo i punti con relative coordinate x , y e z , di determinare un'equazione polinomiale ottimizzata per l'interpolazione di questi punti. Il grado del polinomio è stato scelto in modo tale che fosse il più basso possibile, ma garantisse comunque un ottimo valore di R^2 . È stata ottenuta dunque un'equazione di terzo grado sia per la variabile x che per la y , con un indice di precisione $R^2 = 0,9867$:

$$z = f(x, y) = a + 0, b \cdot x - 0,00c \cdot y - 0,000e \cdot x^2 + 0,000g \cdot x \cdot y + h \cdot 10^{-7} \cdot y^2 + i \cdot 10^{-8} \cdot x^3 - l \cdot 10^{-8} \cdot x^2 \cdot y - m \cdot 10^{-9} \cdot x \cdot y^2 - o \cdot 10^{-11} \cdot y^3;$$

Per coerenza, anche quando risulteranno delle buone approssimazioni equazioni di grado inferiore, per le formulazioni dei listini di trasporto si manterrà comunque il terzo grado. L'equazione si compone dunque di dieci coefficienti che vengono forniti dall'applicazione e che permettono di calcolarsi una tariffa z inserendo nella formulazione i valori conosciuti di peso trasportato e distanza.

Molto importante è fare una verifica che la curva non degeneri per punti che possono appartenere al nostro problema, ma le cui variabili x e y risultano oltre gli intervalli di x e y dei punti inseriti per il fitting. Per esempio, i punti inseriti per l'interpolazione aventi la distanza x più elevata risultano essere quelli che corrispondono al listino di trasporto di Tutrakan verso Bruges: 2385 km. Poiché si tratta del listino di trasporto O-H, se l'hub fosse posto a Bordeaux, la variabile x assumerebbe un valore pari a 2711 km nel caso di materiale proveniente dalla Bulgaria. Per i pesi, invece, nei listini si avevano pesi superiori ai 9000 kg, mentre le fasce di peso create non superano gli 8500 kg; quindi, non sono state necessarie ulteriori verifiche. È necessario fare le verifiche per valori più elevati di x e y che la curva non degeneri velocemente verso valori negativi di costo, che porterebbero a risultati totalmente errati. Fortunatamente la curva non presentava problemi, ma, come vedremo in uno dei seguenti listini, questo tipo di problematica è facile che accada nell'utilizzo di curve formulate con questo approccio.

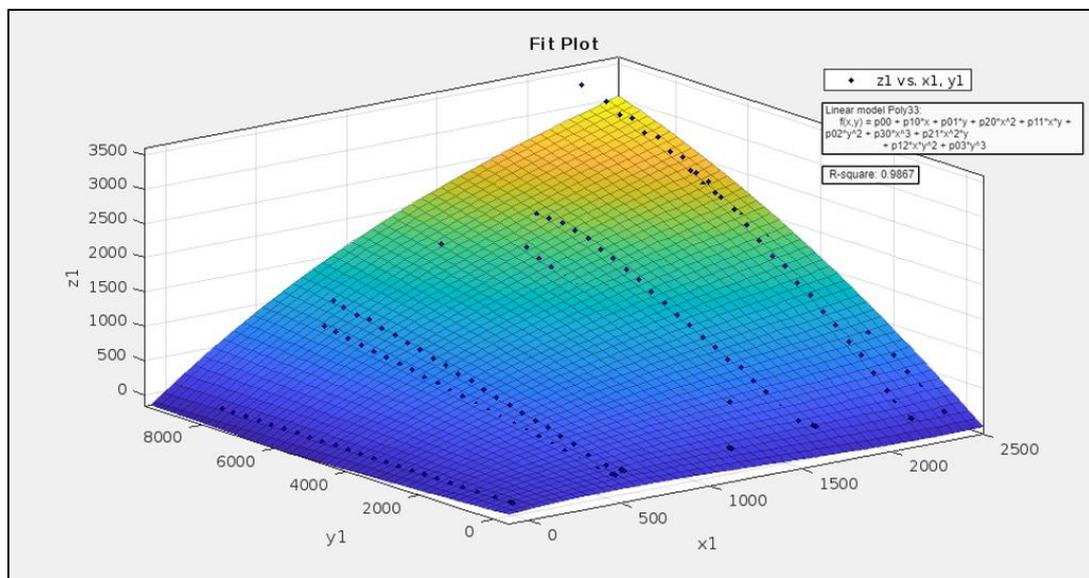


Figura 4.8: Piano che rappresenta il listino di trasporto origine – hub.

- **$C_{group/ex H-D}$** : questa equazione rappresenta il listino per il trasporto secondario che si pone come via di mezzo tra un espresso ed un groupage. Questo tariffario è stato fornito dal trasportatore D che si occupa principalmente di trasporto espresso, e analogamente ad un servizio espresso si hanno delle tariffe che variano in base al peso del materiale trasportato in tutta l'Europa (detta zona 1). Poiché la nostra analisi si concentra proprio su quest'area geografica, si perde la dipendenza dei costi dalla distanza, la funzione risultante conterrà pertanto una sola variabile indipendente (peso) e una dipendente (costo). Il listino è formulato in maniera differente rispetto a quello visto in precedenza, ovvero per ciascun possibile peso è fornito il costo associato (come si può veder nell'immagine); pertanto, i punti da interpolare risultano già forniti e sono più di mille.

peso	costo	extra peso	fuel	tariffa finale
30	26	0	2,86	28,86
31	26,59	0	2,9249	29,5149
32	27,1	0	2,981	30,081
33	27,6	0	3,036	30,636
34	28,1	0	3,091	31,191
35	28,64	0	3,1504	31,7904
36	29,1	0	3,201	32,301
...
...

Figura 4.9: listino con valori variati per il servizio ibrido del trasportatore D.

I pesi massimi trasportati arrivano fino a 8000 kg, quindi, sarebbe opportuno valutare che la curva non degeneri tra gli 8000 e gli 8500 kg. Tuttavia, questo listino, come si vede da un confronto successivo, risulta essere molto dispendioso e dunque verrà utilizzato solo su basse fasce di peso. Per trovare l'equazione con solo una variabile dipendente è sufficiente utilizzare Excel per ottenere dei buoni risultati. Come si nota dalla Figura 4.10 i punti si dispongono quasi perfettamente su una retta, la cui equazione permetteva già di ottenere un ottimo indice R^2 . Come spiegato prima, per coerenza si mantengono tutte le formule di costo di trasporto con il terzo grado, è stata ottenuta dunque la seguente formulazione, con $R^2 = 1$ e contenente quattro parametri forniti dal calcolatore:

$$z = f(y) = q + 0, r \cdot y + q \cdot 10^{-5} \cdot y^2 - s \cdot 10^{-9} \cdot y^3;$$

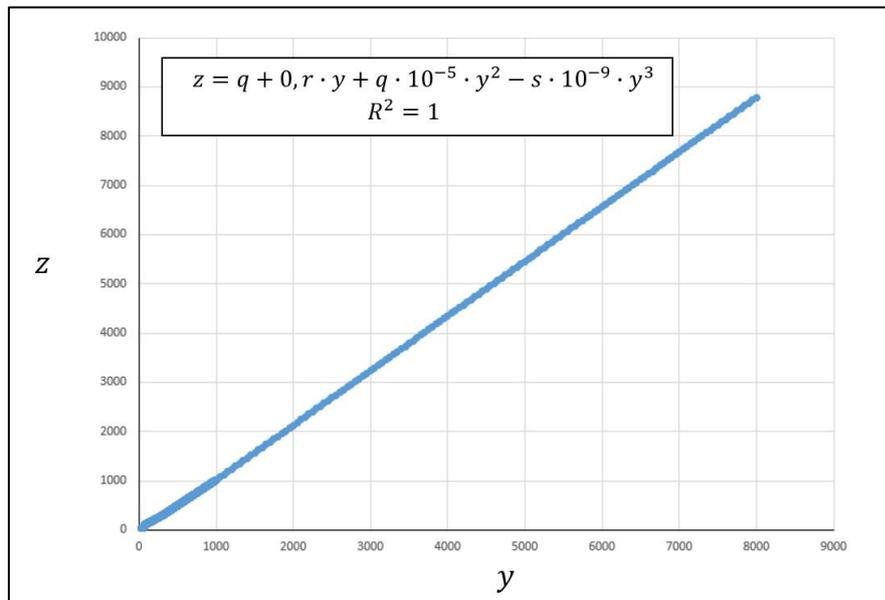


Figura 4.10: Curva che rappresenta il listino ibrido per il trasporto hub–destinazione.

- $C_{expr H-D}$: si passa ora al costo del trasporto verso i clienti di tipo espresso. Il servizio è offerto dal trasportatore D e anche in questo caso le tariffe variano solo in base al peso della consegna all'interno di tutta la zona 1. In questo caso il tariffario risulta molto simile a quello della Figura 4.9 e il procedimento per ottenere la formulazione è analogo a prima.

Poiché risulta essere una scelta certa quella dell'utilizzo di questo servizio solamente per consegne di peso inferiore ai 30 kg, allora sono stati considerati per l'interpolazione solo i punti a peso inferiore. Questo non è stato fatto nel listino di prima perché la scelta dell'utilizzo di $C_{group/ex\ H-D}$ per il trasporto invece che di $C_{group\ H-D}$ deve essere valutata e a priori non si conosce fino a che peso convenga usare uno dei due. Utilizzando dunque i punti del listino con tutti i pesi da 0,5 a 30 kg associati ai relativi costi è possibile, tramite Excel, trovare la curva ottima di terzo grado (Figura 4.11):

$$z = f(y) = t + u \cdot W_f - 0, v \cdot W_f^2 + 0,000z \cdot W_f^3;$$

Come era stato menzionato in precedenza, FAAC utilizza anche il trasportatore E per il trasporto espresso, ma, dovendo alleggerire il più possibile il calcolo della funzione obbiettivo è stato scelto di inserire questo tariffario che risulta economicamente più vantaggioso per le fasce di peso da noi considerate.

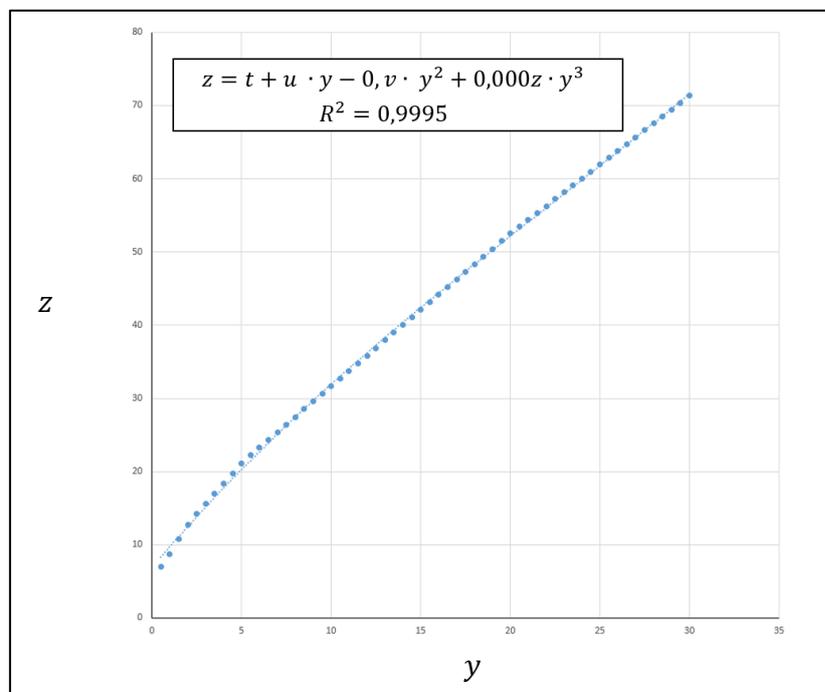


Figura 4.11: Curva che rappresenta il listino espresso per il trasporto hub-cliente.

- $C_{group\ H-D}$: per il trasporto groupage verso i clienti si è utilizzato principalmente un listino del trasportatore A che rappresenta il principale spedizioniere per FAAC s.p.a. Per l'Italia centro-meridionale l'azienda utilizza anche il trasportatore N che, tuttavia, non ha fornito tariffe per l'Europa. Pertanto, si è deciso di convertire in formula soltanto questo tariffario, che comprende spedizioni verso Italia ed Europa. È possibile aumentare la precisione e di conseguenza la pesantezza andando, con appositi parametri (simili a t_f e t_g), a selezionare le aree su cui utilizzare un listino piuttosto che un altro.

Questo listino è strutturato in maniera molto simile al primo groupage analizzato: come punto di partenza ha sempre FAAC s.p.a. e in base alla destinazione in Europa è possibile calcolare il costo della spedizione in base alla fascia in cui ricade il suo peso. Anch'esso presenta dei

costi minimi. Le destinazioni considerate sono tutte le città tipiche della nostra analisi e pertanto è stato possibile calcolare le distanze (valori x dei punti sono le distanze da Zola Predosa verso le altre 52 destinazioni) e sono stati scelti dei pesi (valori y dei punti) per trovare i costi, individuando così i punti nello spazio xyz . Poiché le distanze dei punti trovati erano tutte inferiori ai 1500 km, era possibile incappare in una curva che degenerasse o i costi fossero irreali per valori di distanze nettamente più elevate (quasi doppie) che ci si poteva ritrovare nel problema. Per ovviare a questo problema, ed in assenza di ulteriori informazioni, sono stati inseriti punti a distanze maggiori tipici del listino O-H. Sicuramente questa risulta essere una grossa approssimazione, in quanto quello analizzato in precedenza è un tariffario creato appositamente per sfruttare i grandi volumi e le economie di scala. Per ciascuna distanza (53 distanze Zola Predosa – destinazione) sono state presi 25 pesi su tutto il range dato dal listino formando dunque 1325 punti nello spazio tridimensionale. A questi sono stati aggiunti 25 punti di condizioni al contorno e altri 81 (25+28+28) punti provenienti dal listino O-H per un totale di 1431 punti su cui l'applicazione *Curve Fitter* poteva lavorare. Anche in questo caso è stata cercata una formula polinomiale di terzo grado sia lungo la variabile x che lungo y ; la soluzione approssima i punti con una precisione $R^2 = 0,99159$:

$$z = f(x, y) = -\alpha + 0, \beta \cdot d_{ik} - 0,0\gamma \cdot W_f - \delta \cdot 10^{-5} d_{ik}^2 + 0,000\varepsilon \cdot d_{ik} \cdot W_f + \zeta \cdot 10^{-6} \cdot W_f^2 + \eta \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^3 - \theta \cdot 10^{-8} \cdot d_{ik}^2 \cdot W_f + \lambda \cdot 10^{-9} \cdot d_{ik} \cdot W_f^2 - \mu \cdot 10^{-10} \cdot W_f^3;$$

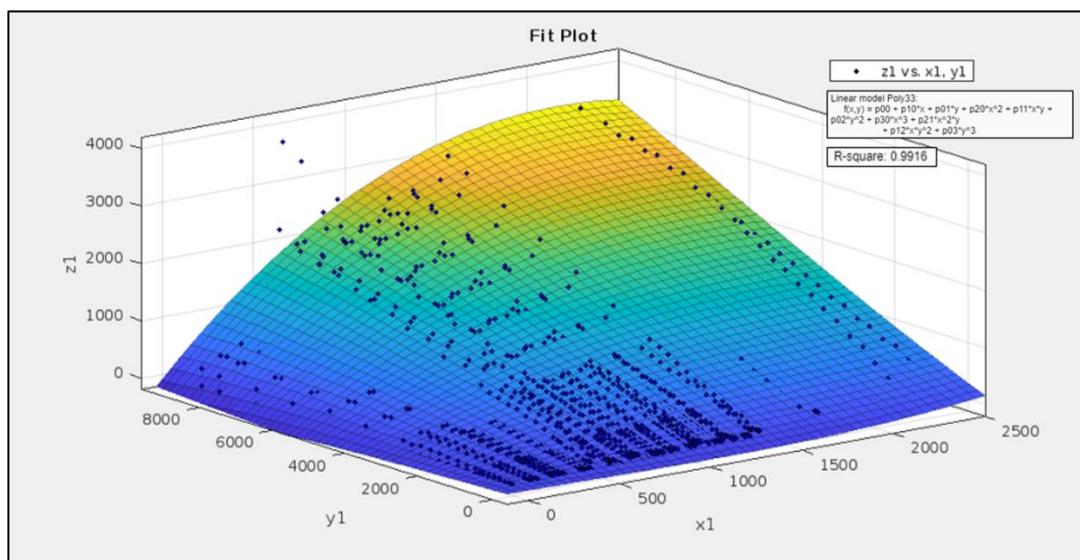


Figura 4.12: Piano che rappresenta il tariffario di costo di trasporto groupage hub–cliente.

Una volta ottenuti questi risultati è possibile fare alcune osservazioni. Innanzi tutto, si può notare come i listini del servizio express e di quello ibrido non dipendano dalla distanza, ma solo dal peso spedito. Questo fa intuire che le spedizioni fatte con questi servizi non influenzino il posizionamento geografico degli hub. Infatti, in qualsiasi zona vengano collocati i depositi, le consegne effettuate con queste modalità avranno lo stesso costo dipendente solo da quanto pesano. Ciò che influenza maggiormente la scelta è tutto il trasporto effettuato con groupage sia primario che secondari e i costi

di stabilimento. Per sua natura il listino di groupage O-H offre dei costi più economici, in particolare quando crescono i pesi e le distanze. Pertanto, il modello tenderà ad accumulare le diverse consegne del trasporto secondario in poche consegne nel primario, ma con pesi maggiori (quindi nelle fasce di peso più alte). Per quanto riguarda le consegne H-D è possibile mettere a confronto i diversi tariffari: esattamente come da definizioni, dal più economico al più costoso troviamo il groupage, l'ibrido e poi l'espresso. Si può concludere che se tutte le consegne fossero effettuate con questi ultimi due metodi il costo totale annuale relativo al trasporto sarebbe esorbitante. Pertanto, sembrerebbe conveniente utilizzare solamente il trasporto groupage, ma c'è da tener in considerazione la lentezza del servizio offerto e le richieste dei clienti: è necessario mantenere il giusto mix.

Dal confronto delle funzioni di costo contenute in $C_{group\ H-D}$ e $C_{group/ex\ H-D}$ si vede che quest'ultimo ha una piccola zona di convenienza economica, che vale per bassissime distanze e si ingrandisce man mano che il peso aumenta. Si deve inoltre tenere in considerazione la presenza di una piccola zona, per bassi pesi, in cui il listino groupage diventa negativo. Per questo motivo si ha la necessità di introdurre all'interno della definizione di costo di trasporto la funzione $\max(0; C_{group\ H-D})$, per evitare di pagare costi negativi che porterebbero ad un abbassamento della F.O. Questa funzione risulta essere necessaria solamente all'interno dei costi di groupage, in quanto le funzioni di costo espresso ed ibrido risultano sempre essere maggiori di zero; tuttavia, viene inserito per coerenza in tutte e quattro le formulazioni.

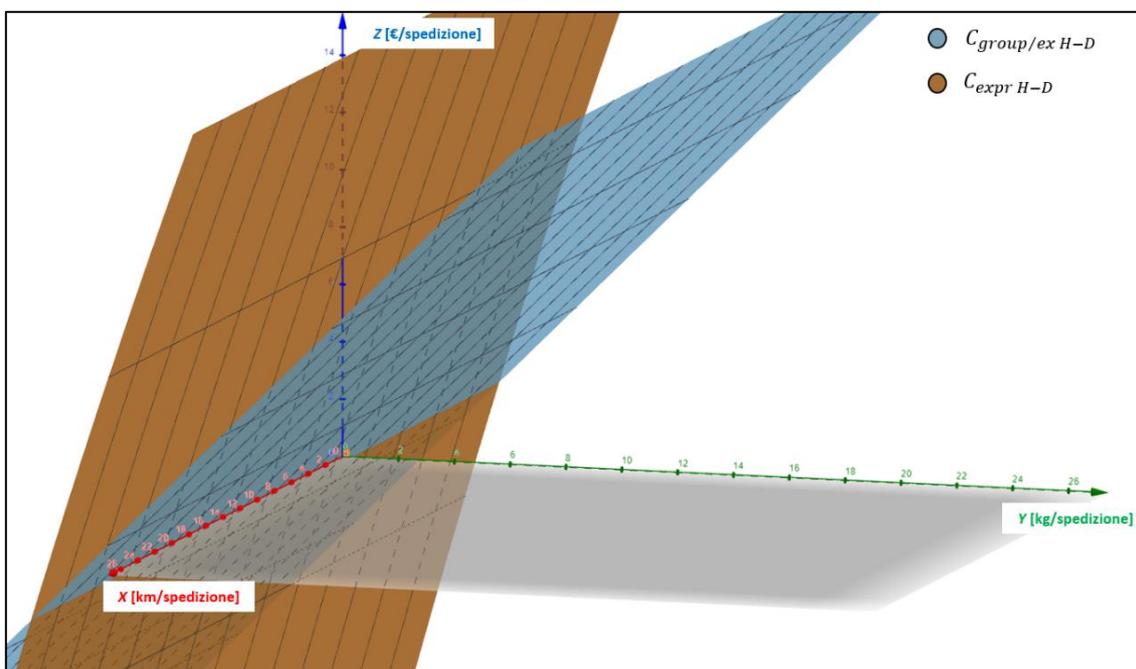


Figura 4.13: Confronto tra il costo del tariffario express e quello ibrido per le consegne al cliente al variare di peso e distanza.

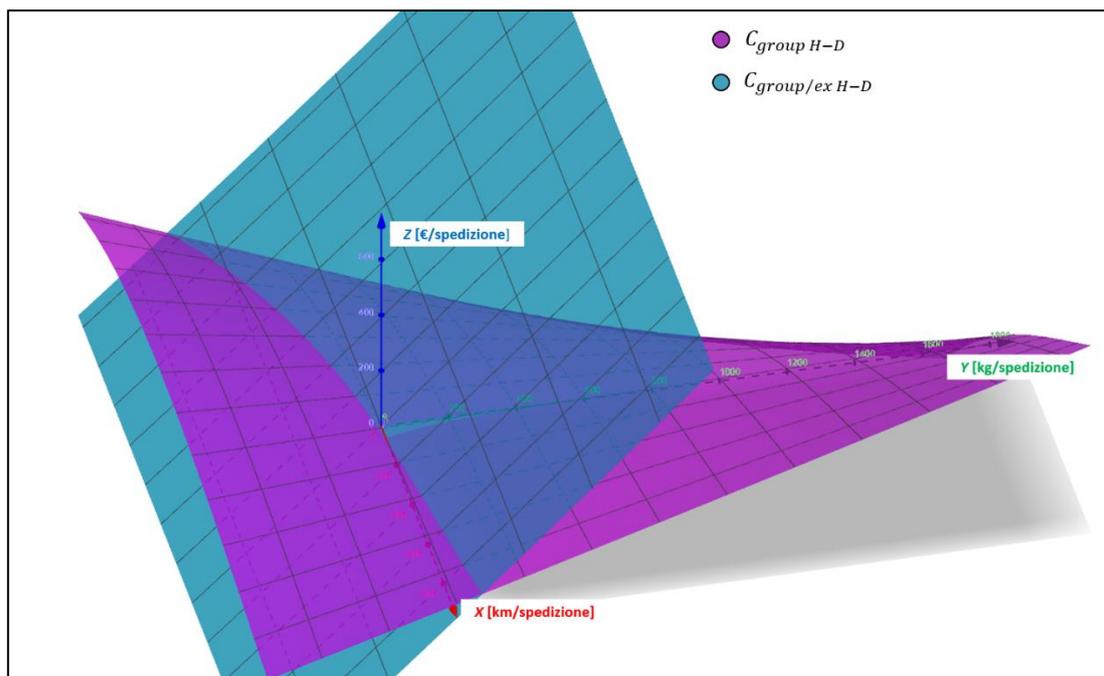


Figura 4.14: Confronto tra il costo del tariffario ibrido e del groupage per le consegne al cliente al variare di peso e distanza.

4.5.2 I costi fissi in base al numero di hub

Nella letteratura analizzata, quando si ha l'inserimento nel modello dei costi fissi si fa riferimento ad un termine che dipenda solamente dalla posizione dell'hub. Anche all'interno del nostro modello è stato inserito il parametro I_k che dipende dalla posizione dell'hub k . Tuttavia, il costo I_k è stato pensato e calcolato come un costo relativo ad un magazzino unico che gestisce l'intero traffico di merci europeo. La metratura, il personale e la giacenza di questo magazzino sono stati calcolati dal team affinché da solo potesse soddisfare le richieste di tutti i clienti. Se, tuttavia, si decidesse di aprire due hub, questi risulterebbero essere entrambi sovra dimensionati se mantenessero le dimensioni calcolate in questo modo e verrebbero pagati interamente i due costi I_k . Questo sarebbe errato, in quanto entrambi gestirebbero circa il 50% del materiale, ma risulterebbero essere dimensionati come il magazzino equivalente. Nella realtà, aprire più hub fa sostenere un costo fisso meno che proporzionale al numero di hub stessi. Come mostrato nella Figura 2.6, si ha un andamento qualitativo del costo totale di gestione del magazzino e della giacenza (CW+CMS) in relazione al numero di hub, che risulta essere meno che proporzionale. Perciò, con i dati a disposizione, si è cercato di ricreare questo andamento partendo dalla situazione attuale, in cui risultano esserci i magazzini italiano, francese, tedesco e belga, ovvero $p = 4$. Di questa situazione si conoscono tutti i dati delle voci di costo (vedi paragrafo 3.3.6) e pertanto il costo totale di questa situazione risulta noto. La situazione con $p = 2$ poteva essere facilmente calcolata in quanto dal team era stato dimensionato anche un magazzino equivalente per gestire il flusso solo fuori dall'Italia; perciò, i due hub risultano essere quello attuale italiano (con i suoi costi reali) e quello equivalente europeo (con i suoi costi calcolati). Il magazzino europeo, in particolare, ha un costo diverso in base alla nazione in cui è posizionato, si è scelto di utilizzare le voci di costo francesi che portano ad un costo dell'hub intermedio rispetto al posizionamento in Belgio e Germania. La quota parte di costo fisso italiano è calcolata come il costo di gestione annuale del magazzino italiano moltiplicata per 0,7 in modo da considerare solamente il servizio al mercato italiano. Questo valore è stato indicato dall'azienda e deriva dalla loro esperienza.

Quindi, posizionandoci su un piano cartesiano in cui sull'ascissa si ha il numero di hub e sull'ordinata il costo totale pagato, possiamo trovare i punti:

- $x = 4$, $y =$ costo di gestione totale dei quattro magazzini;
- $x = 2$, $y =$ costo di gestione del magazzino italiano e di uno per l'Europa in Francia;
- $x = 1$, $y =$ costo di gestione del solo magazzino equivalente, si considera in Francia per coerenza col valore preso precedentemente.

Questi punti seguono un andamento simile a quello dell'immagine 2.8 e che si stava ricercando. Poiché all'interno della F.O. si calcola il costo del singolo magazzino, bisogna scalare questi punti in base alla quota parte di I_k che viene a costare il magazzino in base al numero di hub. Pertanto, ciascun valore di y è stato diviso per il valore della variabile x (in questo modo si trova quanto costa ciascun hub della flotta) e poi per il valore $y(x = 1)$ (si ottiene la percentuale rispetto al magazzino equivalente che si pagherebbe per un hub della flotta). Tramite interpolazione di questi punti su Excel è stato possibile ottenere la funzione $f(p)$, che in base al numero di hub collocati individua la percentuale di costo rispetto a I_k che ciascun hub deve pagare:

$$f(p) = -0,0055 \cdot p^2 - 0,1231 \cdot p + 1,1286$$

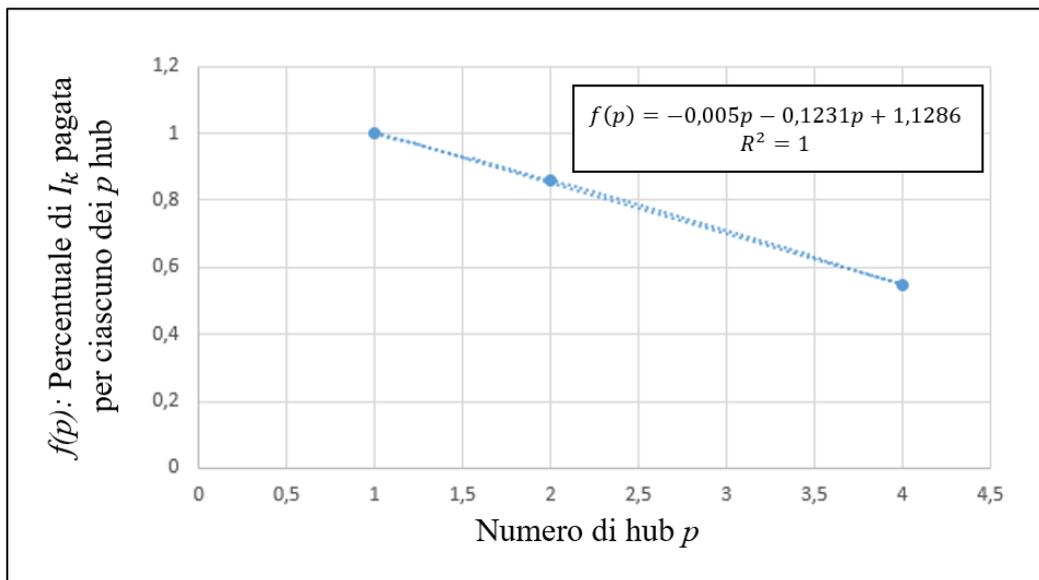


Figura 4.15: Studio dei punti noti per il calcolo della funzione $f(p)$.

L'andamento è in forma percentuale rispetto all'hub più grande che gestisce l'intero flusso di materiale. Il calcolo all'interno della F.O. vedrà la moltiplicazione della percentuale risultante dal numero di hub scelti per il costo I_k , relativo al paese dove viene collocato l'hub per trovare il costo annuale del singolo magazzino. Tramite questo procedimento si tiene sia conto della grandezza del magazzino in maniera più realistica e sia del territorio in cui viene posto (dipendenza di I_k da k , quindi dalla regione).

Bisogna tenere conto, tuttavia, che questo rappresenta un ragionamento semplificato, in quanto il dimensionamento di un hub non dipende soltanto da p , ma da tantissimi valori, tra cui i clienti

effettivamente serviti e la quantità di merce che richiedono. Se si introducesse nella funzione obiettivo una percentuale di I_k che si basa per esempio sul numero di consegne che effettivamente passano dal deposito rispetto al totale, essa non rimarrebbe lineare in quanto si avrebbe il prodotto tra variabili decisionali. Per questo motivo all'interno della F.O. è stata inserita questa funzione che dipende p , il quale diventa parametro e non un valore definito dall'ottimizzazione.

4.6 Risoluzione del problema col solver

AMPL è un linguaggio di modellazione algebrica completo e potente, che fornisce notazioni e concetti familiari per la formulazione di modelli di ottimizzazione e per esaminarne le soluzioni. Per la sua flessibilità e rapidità è considerato ideale per la prototipazione rapida e lo sviluppo di modelli. Se utilizzato con il risolutore Gurobi, AMPL consente di risolvere problemi di ottimizzazione lineare e quadratica con qualsiasi combinazione di variabili discrete (come nel nostro caso) o continue.

Per risolvere un problema scritto in AMPL è preferibile tenere separati il modello dai dati, costruendo:

- un *file di modello*, che descrive la struttura logica del modello (indici, variabili decisionali, funzione obiettivo e vincoli);
- un *file di dati*, che contiene i valori numerici del problema. È possibile modificare i dati generando problemi diversi, ma ciò avviene sempre a monte del processo risolutivo: il risolutore non può alterare i dati.

Mantenendo fisicamente separato il modello dai dati, è possibile applicare lo stesso modello a dati differenti, o cambiare i dati senza dover modificare il modello, evitando il rischio di introdurre errori.

Nel seguito viene riportato il *file di modello* coi valori di costo censurati indicati in rosso:

```
#Insiemi
set I ordered;
set J ordered;
set K ordered;
set F ordered;

#Parametri
param p;
param l_k {k in K};
param d_ik{i in I, k in K};
param d_kj{k in K, j in J};
param R_jif{j in J, i in I, f in F};
param t_f{f in F};
param t_g{f in F};
param w_f{f in F};
param M;

#Variabili
var x_ik {i in I, k in K} binary;
var x_kj {k in K, j in J} binary;
```

```

var D_ikf {i in I, k in K, f in F} >=0 integer;
var D_kjf {k in K, j in J, f in F} >=0 integer;
var Y_k {k in K} binary;

#Funzioni Obiettivo

minimize costo_tot: sum{i in I, k in K, f in F}(max(a + 0.b*d_ik[i,k] -
0.00c*w_f[f] -0.000e*(d_ik[i,k])^2 + 0.000g*w_f[f]*d_ik[i,k] +
0.000000h*(w_f[f])^2 + 0.000000i*(d_ik[i,k])^3 -
0.000000l*((d_ik[i,k])^2)*w_f[f] - 0.000000m*d_ik[i,k]*(w_f[f])^2 -
0.000000000o*(w_f[f])^3)* D_ikf[i,k,f])

+ sum {k in K, j in J, f in F}((max(0,-0.0000000s*(w_f[f])^3 +
0.0000q*(w_f[f])^2 + 0.r*w_f[f] + q)*(1 - t_f[f])*(1 - t_g[f]) + max(0, -α +
0.β*d_kj[k,j] + 0.0γ*w_f[f] -0.0000δ*(d_kj[k,j])^2 + 0.000ε*d_kj[k,j]*w_f[f] +
0.00000ζ*(w_f[f])^2 + 0.000000η*(d_kj[k,j])^3 -
0.0000000θ*(d_kj[k,j])^2*w_f[f] + 0.0000000λ*d_kj[k,j]*(w_f[f])^2 -
0.000000000μ*(w_f[f])^3)*(1 - t_f[f])*t_g[f] + max(0,0.000z*(w_f[f])^3 -
0.0v*(w_f[f])^2 + u*w_f[f] + t) * t_f[f]) * D_kjf[k,j,f])

+ sum{k in K} (1_k[k]*Y_k[k]*(-0.0055*p^2-0.1231*p+1.1286));

#Vincoli

subject to vincolo_1 {f in F, k in K, j in J}: sum{i in I} R_jif[j,i,f] *
X_kj[k,j] = D_kjf[k,j,f];
#rispetto della domanda dei clienti

subject to vincolo_2 {k in K}: sum{i in I, f in F} D_ikf[i,k,f] * w_f[f] = sum{j
in J, f in F} D_kjf[k,j,f] * w_f[f];
#conservazione del flusso negli hub

subject to vincolo_3a {k in K}: sum{i in I} X_ik[i,k] <= Y_k[k] * 4;
subject to vincolo_3b {k in K}: sum{j in J} X_kj[k,j] <= Y_k[k] * 53;
#correttezza dei flussi in ingresso ed uscita da un hub

subject to vincolo_4: sum{k in K} Y_k[k] = p;
#numero corretto di hub

subject to vincolo_5 {i in I, k in K}: sum{f in F} D_ikf[i,k,f] * w_f[f] = sum
{f in F, j in J} R_jif[j,i,f] * w_f[f] * X_kj[k,j];
#multipla allocazione sui produttori

subject to vincolo_6a {i in I, k in K}: sum{f in F} D_ikf[i,k,f] >= X_ik[i,k];
subject to vincolo_6b {i in I, k in K}: sum{f in F} D_ikf[i,k,f] <= X_ik[i,k]
* M;
subject to vincolo_6c {j in J, k in K}: sum{f in F} D_kjf[k,j,f] >= X_kj[k,j];
subject to vincolo_6d {j in J, k in K}: sum{f in F} D_kjf[k,j,f] <= X_kj[k,j]
* M;
#relazioni tra le variabili decisionali D e X

subject to vincolo_7 {j in J}: sum{k in K} X_kj[k,j] = 1;
#singola allocazione sui clienti

subject to vincolo_8 {i in I, k in K}: D_ikf[i,k,"f1"] = 0;
#per il corretto funzionamento si evitano consegne produttore-hub in fascia 1
con 0 Kg

```

Analogamente si ha il *file dei dati*, non si riporta completo in quanto comprende tantissime righe relative agli insiemi, alle distanze e alle richieste, che saranno per la maggior parte tagliate. I fattori di costo sono censurati e scritti in rosso, mentre i parametri p e t_g variano per trovare le diverse soluzioni:

```
#Insieme dei siti produttivi
set I:=
FAAC_SPA
FAAC_BLG
MAGNETIC
LOCALE
;

#Insieme dei clienti
set J:=
Valle_Aosta
Puglia
Emilia_Romagna
Sardegna
Molise
Sicilia
.....
.....
Bremen
Austria
Nederland
Lussemburgo_R
Belgio
;

#Insieme dei possibili hub
set K:=
Aosta
Bari
Bologna
Cagliari
Campobasso
Catania
Catanzaro
Firenze
...
.....
Berlino
Pinneberg
Bad_Belzig
Sangerhausen
Erfurt
Amburgo
Gustrow
Homburg
Brema
Linz
s_Hertogenbosch
Lussemburgo
Bruges
;
```

```

#Insieme delle fasce di peso #numero 70
set F:=
f1
f2
f3
...
...
f69
f70
;

#Numero di hub da aprire
param p:=2;

#Costo fisso di magazzino nella regione k
param l_k:=
Aosta      €
Bari       €
.....    ...
Udine      €
Strasburgo €€€
Bordeaux   €€€
Lione      €€€
.....    ...
Nantes     €€€
Nizza      €€€
Bergheim   €€
Augusta    €€
.....    ...
Ludwigsburg €€
Brema       €€
Linz        €€
s_Hertogenbosch €€€€
Lussemburgo €€€€
Bruges      €€€€
;

#Distanza tra i e k
param d_ik:=
FAAC_SPA      Aosta      434.7
FAAC_SPA      Bari       740.2
FAAC_SPA      Bologna    0.0
FAAC_SPA      Cagliari    774.6
FAAC_SPA      Campobasso  530.8
FAAC_SPA      Catania     1058.4
FAAC_SPA      Catanzaro   956.2
...           ...
...           ...
FAAC_BLG      Bergheim   2116.0
FAAC_BLG      Augusta    1638.7
FAAC_BLG      Ludwigsburg 1810.8
...           ...
...           ...
MAGNETIC      Alzey       292.7
MAGNETIC      Berlino    843.7
MAGNETIC      Pinneberg  858.9
MAGNETIC      Bad_Belzig  760.5
...           ...
...           ...
LOCALE        Lussemburgo  0
LOCALE        Bruges     0

```

```

;
#Distanza tra k e j
param d_kj:=
Aosta      Valle_Aosta      0.0
Aosta      Puglia          1168.0
Aosta      Emilia_Romagna  434.7
Aosta      Sardegna      931.7
Aosta      Molise        943.6
Aosta      Sicilia      1412.2
Aosta      Calabria      1355.0
Aosta      Toscana      478.7
Aosta      Liguria       246.4
Aosta      Marche        701.5
...
...
Bruges     Nederland      193.8
Bruges     Lussemburgo_R  341.8
Bruges     Belgio         0.0
;

#Numero di richieste di j con materiale proveniente da i nella fascia di peso
f
param R_jif:=
Alvernia_R_A  FAAC_SPA  f1  1363
Alvernia_R_A  FAAC_SPA  f2   49
Alvernia_R_A  FAAC_SPA  f3   0
Alvernia_R_A  FAAC_SPA  f4  257
Alvernia_R_A  FAAC_SPA  f5  178
...
...
Nederland    LOCALE    f69  0
Nederland    LOCALE    f70  0
;

#Binario, se la fascia di peso f richiede un trasporto espresso o groupage/ibrido
(1 espresso, 0 groupage/ibrido)
param t_f:=
f1  1
f2  1
...
...
f69  0
f70  0
;

#Binario, se la fascia di peso f richiede un trasporto groupage o ibrido (1
groupage, 0 ibrido)
param t_g:=
f1  0
f2  0
...
...
f70  1
;

#Valore di ogni fascia di peso
param W_f:=
f1  0
f2  1
f3  2
f4  4
...
...

```

```
f69 8000
f70 8500
;
#Valore M elevato
param M:= 10000000000;
```

4.7 Soluzioni

Per valutare la bontà delle tante approssimazioni che sono necessarie nell'adattamento di un problema reale ad un modello matematico, è stato necessario calcolare il costo annuale di gestione dei quattro magazzini attuali europei, in modo da confrontare il valore della funzione obiettivo con il costo totale reale rilevato. Il costo stimato, non essendo lo scenario attuale un ottimo, non può essere calcolato tramite il solver, ma bisogna seguire comunque le logiche del modello. Pertanto, i costi delle consegne ai clienti di un certo territorio sono state calcolate con le formule express o groupage del modello (sempre con soglia dei 30 kg) con punto di partenza il magazzino che serve quell'area. Per calcolare il costo del trasporto primario si è calcolato il numero di full truck che dai siti produttivi vanno verso i magazzini, sempre con la formula $C_{group\ O-H}$. Conoscendo, infatti le tonnellate trasportate dai siti produttivi ai magazzini e sapendo che un FTL ha carico pari a 8500 kg, è stato possibile ricavare la seguente tabella:

N° di consegne full truck stimate in un anno				
Da:	a: FAAC Benelux	a: FAAC France	a: FAAC s.p.a.	a: FAAC GMBH
FAAC BG	12	41	133	12
FAAC s.p.a.	49	100	46	49
Magnetic	1	0	0	0
Locale	0	4	0	2

Tabella 4.3: numero di consegne FTL stimate in un anno per il calcolo della situazione AS-IS.

Ciascun FTL rappresenta una consegna da 8500 kg il cui costo viene calcolato con la formula del groupage O-H. Le consegne a distanza zero (es. FAAC s.p.a. verso sé stessa) rappresentano delle consegne fittizie e grazie alla costruzione del listino, precedentemente spiegata, hanno un costo irrisorio. Quando si notano zero consegne FTL significa che da un determinato sito produttivo il peso totale non raggiunge gli 8500 kg; quindi, è stato calcolato il costo di una sola consegna con il peso risultante. Analogamente, quando il peso totale non è divisibile per 8500, il peso residuo costituisce una consegna con quel peso.

I costi fissi sono calcolati come da modello, ovvero utilizzando i quattro I_k tipici di ciascuna regione e moltiplicandoli per $f(p = 4) = 0,548$.

Sommando costi fissi di stabilimento e i costi del trasporto totali è stato trovato un valore Φ [€/anno] confrontato con la somma dei costi analizzati nel paragrafo 3.3.6, non considerando i costi dello stabilimento bulgaro che rimane invariato. Dall'analisi, dunque, della situazione AS-IS si ha che Φ sottostima di circa il 2% il costo reale annuale sostenuto dal gruppo, che è nell'ordine di grandezza dei milioni di euro. Il modello sembra pertanto comportarsi bene. Più nello specifico si sottolinea una sottostima per quanto riguarda il costo di trasporto O-H e H-D per il territorio francese. Le cause di

questo errore possono essere ricercate nel fatto che il tariffario che è stato mappato è un tariffario che ha come origine Zola Predosa, in quanto non è stato possibile reperire il listino che utilizza la sede francese. Un secondo fattore può essere dovuto al fatto che il materiale per la Francia è considerato transitante dal magazzino di Saint-Priest, mentre nella realtà si hanno altre due sussidiarie minori, distanti dalla prima, che gestiscono la merce. Inoltre, il calcolo sovrastima il costo H-D nel caso dell'Italia, questo è dovuto prevalentemente a due fattori:

- al fatto che nella realtà oltre al trasportatore A, per l'Italia centro-meridionale ci si avvale del servizio del trasportatore N che è nettamente più economico verso certe regioni;
- la soglia impostata di 30 kg per l'utilizzo o meno del servizio espresso. Il dato è veritiero per le regioni del Nord Europa, ma diversa è la situazione italiana, in cui le spedizioni sono quasi solo effettuate con groupage.

Una volta analizzata la situazione AS-IS e validato il modello si può passare alla risoluzione vera e propria del problema e all'analisi delle soluzioni TO-BE. I risultati sono stati ottenuti scegliendo il valore di p e variando volta per volta la soglia di peso che permette di utilizzare il tariffario ibrido dal groupage. Il valore della funzione obiettivo (che rappresenta il costo totale all'anno che il gruppo deve sostenere in quel determinato scenario) permetterà di capire il mix ottimo di trasporto e la posizione ottimale dei magazzini, oltre alla distribuzione dei flussi. Un fattore che può evidenziare la bontà nella costruzione del modello è rappresentato dal fatto che in ogni risultato, tutti i trasporti primari tendono ad accumulare la merce e saturare il più possibile i mezzi (ovvero tendono a fare poche spedizioni nelle fasce di peso più alte) a sottolineare la giusta implementazione delle economie di scala. In ogni configurazione si elencano le soluzioni a partire da quella che porta ad una funzione obiettivo più bassa alla più alta.

4.7.1 $p = 1$: un solo hub europeo

Mantenere un solo hub europeo significa che tutti i siti produttivi riforniscono quest'unico magazzino, che si trova a dover gestire l'intero flusso di materiali dei clienti europei. La dimensione dell'hub sarà quella del magazzino equivalente e il suo costo sarà l'intera quota I_k .

Soluzione 1:

- Hub situato a Bologna: $Y_3 = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3$;
- Tariffario ibrido utilizzato in fascia 30-40 kg, groupage sopra i 40 kg: $t_g = \begin{cases} 0, & f < 16 \\ 1, & f \geq 16 \end{cases}$;
- F.O. che garantisce un saving del 16,7% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- L'immagine 4.16 rappresenta schematicamente le variabili X_{ik} e X_{kj} , ovvero i collegamenti aperti tra siti produttivi, hub e clienti.
- Questa soluzione prevede l'inserimento dell'hub a Bologna, che dista pertanto 0 km dallo stabilimento produttivo: quindi il modello riconosce come vantaggioso il risparmio su tutto il trasporto primario del materiale di FAAC s.p.a.: questa soluzione si concretizza nel mantenere ed allargare il magazzino proprio della sede produttiva italiana.

Soluzione 2:

- Hub situato a Bologna: $Y_3 = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3$;
- Tariffario ibrido utilizzato in fascia 30-50 kg, groupage sopra i 50 kg: $t_g = \begin{cases} 0, & f < 19 \\ 1, & f \geq 19 \end{cases}$;
- F.O. che garantisce un saving del 16,6% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- La Figura 4.16 rappresenta schematicamente le variabili X_{ik} e X_{kj} , i collegamenti aperti tra siti produttivi, hub e clienti non cambiano rispetto alla *soluzione 1*;
- Questa leggera differenza è dovuta al fatto che per basse fasce di peso il listino groupage ed ibrido erano molto simili e la convenienza dell'ibrido dipende anche dalla distanza di spedizione.

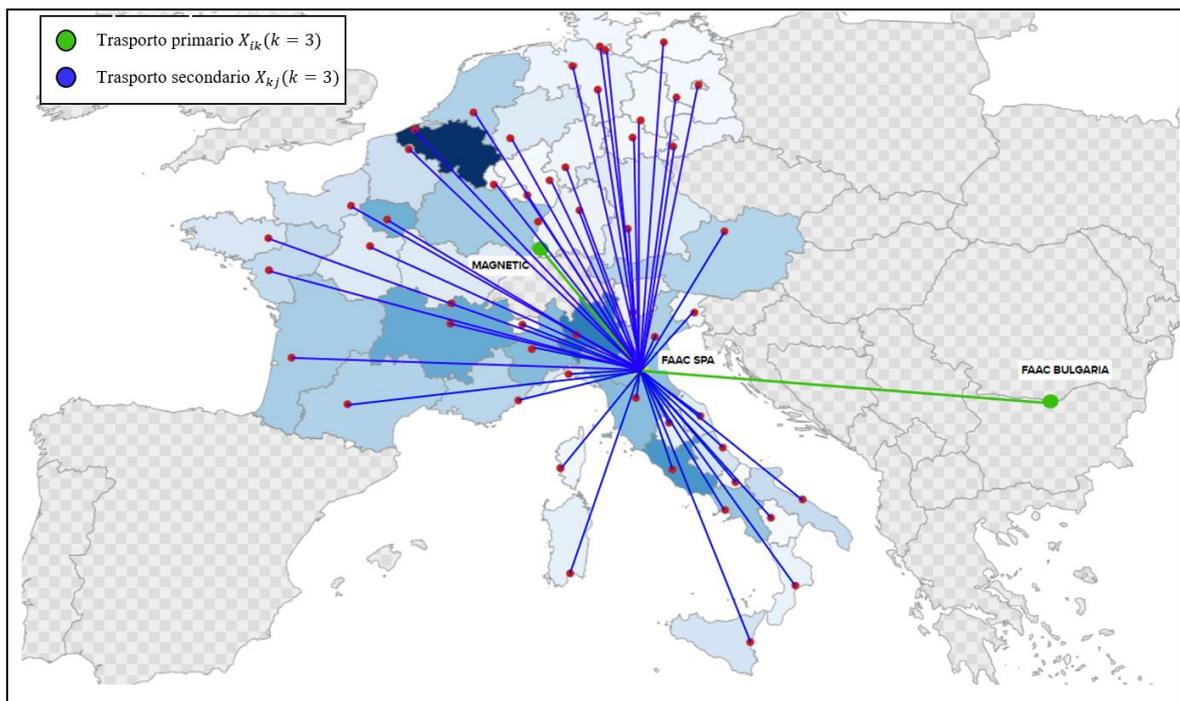


Figura 4.16: Rappresentazione dei collegamenti nella soluzione con un hub posizionato a Bologna.

4.7.2 $p = 2$: due hub europei

Nel caso in cui vengano aperti due hub, il modello apre due magazzini di dimensioni analoghe, come spiegato nel paragrafo 4.5.2, che sono entrambi minori del magazzino equivalente ($f(p = 2) = 83\%$). Come si vede dalle soluzioni è possibile che i due magazzini gestiscano un numero di clienti, e quindi un quantitativo di merce, differenti. Rispetto al caso di un solo hub, le soluzioni sono meno vantaggiose dal punto di vista economico poiché i costi fissi costituiscono una buona parte del costo totale, ma garantiscono una maggiore vicinanza al cliente e presumibilmente minori tempi di transito.

Soluzione 3:

- Hub situati a Bologna e Lille: $Y_3 = 1, Y_{30} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 30$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;

- F.O. che garantisce un saving del 9,8% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- L'immagine 4.17 rappresenta schematicamente le variabili X_{ik} e X_{kj} , ovvero i collegamenti aperti tra siti produttivi, hub e clienti.
- Analogamente a prima la soluzione prevede l'inserimento dell'hub a Bologna, che dista pertanto 0 km dallo stabilimento produttivo: è ancora vantaggioso il risparmio sul trasporto primario del materiale per i clienti dell'hub italiano. Il magazzino italiano deve essere allargato rispetto a quello attuale che è dimensionato solo per il mercato italiano. L'hub a Lille viene scelto per la posizione centrale e più prossima ai clienti più distanti da Bologna. Poiché Lille si trova molto prossimo a Jabbeke, la sede di FAAC Benelux, ci si è chiesti nella *Soluzione 4* se potesse essere un'opzione percorribile quella di utilizzare un magazzino già in possesso al gruppo.

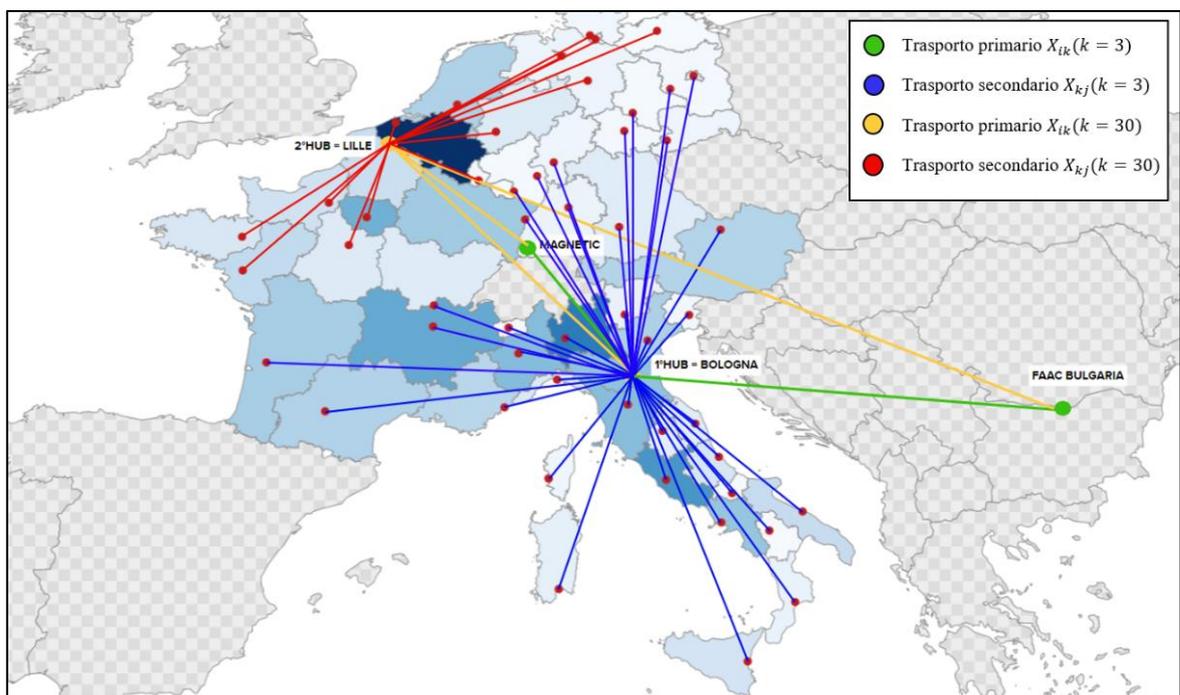


Figura 4.17: Rappresentazione dei collegamenti nella soluzione con due hub posizionati a Bologna e Lille.

Soluzione 4 (utilizzo del magazzino già esistente di Jabbeke oltre a Bologna):

- Hub situati a Bologna e Bruges (Jabbeke): $Y_3 = 1, Y_{53} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 53$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 7,66% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS.

Soluzione 5 (utilizzo del magazzino già esistente di Freilassing oltre a Bologna):

- Hub situati a Bologna e Augusta (stesa regione di Freilassing): $Y_3 = 1, Y_{35} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 35$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 6,85% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS.

Soluzione 6 (utilizzo del magazzino già esistente di Saint-Priest oltre a Bologna):

- Hub situati a Bologna e Lione (Jabbke): $Y_3 = 1, Y_{23} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 23$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 6,85% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS.

Con $p = 2$, poiché risulta essere altamente approssimativi considerare i costi fissi e del personale uguali all'interno dello stesso paese, è stata fatta un'analisi assegnando un costo uguale per l'apertura degli stabilimenti in ogni paese. Lo scopo di svincolarsi dall'influenza dei costi fissi e di concentrarsi solo sui trasporti è legato al fatto che due località molto vicine (es Lille e Bruges), anche se appartenenti a paesi diversi, possono avere costi molto simili in quanto appartenenti alla stessa area logistica. Si fornisce dunque una classifica delle migliori dieci città da utilizzare come secondo hub oltre a quello di Bologna, che si basa sulla convenienza del posizionamento del magazzino per quanto riguarda il trasporto di merci. Questa classifica è da intendere come una graduatoria su cui basare le scelte nel caso in cui l'azienda si trovasse ad ottenere costi al metro quadro o di personale simili per due o più zone di interesse:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lille	Bruges	Evry	Lussemburgo	S_Hertogenbosch	Evreux	Bergheim	Orleans	Homburg	Strasburgo

Si nota che Lille risulta comunque più favorevole rispetto a Bruges, ma in particolare dalla classifica si nota l'importanza dal punto di vista logistico dell'area rappresentata in figura. Maggiori considerazioni verranno fatte nel capitolo 5 sul *Site Selection*.

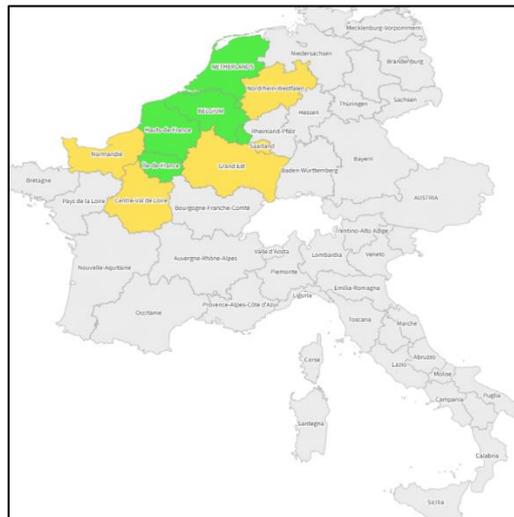


Figura 4.18: Area più vantaggiosa dal punto di vista dei trasporti per posizionare l'hub secondario.

4.7.3 $p = 3$: tre hub europei

Questa configurazione è la meno interessante in quanto si avvicina molto alla situazione AS-IS per quanto riguarda il numero di magazzini, ma fornisce degli importanti spunti di riflessione.

Soluzione 7:

- Hub situati a Bologna, Roma e Lille: $Y_3 = 1, Y_{17} = 1, Y_{30} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 17, 30$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 7% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS.
- La Figura 4.19 rappresenta schematicamente le variabili X_{ik} e X_{kj} , ovvero i collegamenti aperti tra siti produttivi, hub e clienti;
- È interessante notare come l'Europa venga divisa in tre fasce da servire con i diversi hub. Questa tendenza è molto differente rispetto alla configurazione attuale in cui tutti i depositi si trovano nelle aree centro-settentrionali. Nella realtà, infatti, è stata scelta questa disposizione in quanto il sud Italia non ha tempi di transito particolarmente spinti, mentre molte regioni belga e tedesche sì. Pertanto, un fattore che non è stato preso in considerazione, ma risulta fondamentale, è il tempo di transito della merce che influisce sulle scelte di posizionamento.

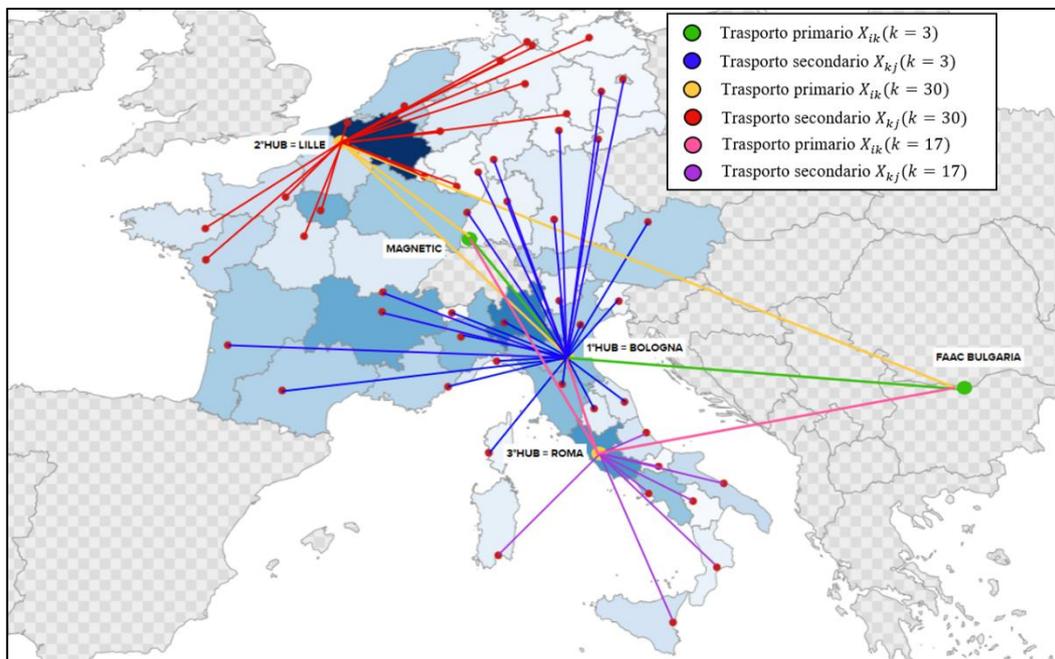


Figura 4.19: Rappresentazione dei collegamenti nella soluzione con tre hub posizionati a Bologna, Lille e Roma.

4.8 Implementazione dei *transit-time* nel modello

4.8.1 Studio sui tempi di transito attuali

Come esposto precedentemente, il tempo che la merce impiega per arrivare al destinatario costituisce un fattore fondamentale per ottenere la soddisfazione del cliente e garantire bassi tempi risulta un fattore necessario per essere competitivi sul mercato. È dunque evidente, dall'analisi critica di alcune delle soluzioni precedenti, che l'unico obiettivo non possa essere quello del risparmio economico,

ma bisogna tenere conto anche dei tempi. In particolare, si considereranno i tempi del groupage, in quanto il trasportatore espresso o ibrido (trasportatore D) garantisce in tutta Europa tempi celeri, peculiarità del tipo di servizio.

In letteratura non sono state trovate particolari indicazioni per quanto riguarda questo aspetto; dunque, il ragionamento è partito dagli elementi che si avevano a disposizione. Precedentemente è stata ricavata la mappa, distinta per provincia, che riportava i *transit-time* promessi nelle aree in questione dal punto di vista del groupage. Una prima soluzione pensata è stata quella di utilizzare queste informazioni includendo nella funzione obiettivo un costo di penale nel caso la consegna arrivasse in ritardo. Per calcolare il ritardo, conoscendo i tempi e le distanze, era necessario individuare una velocità di riferimento delle consegne groupage. Per il calcolo della velocità sono state considerate solo le regioni italiane, francesi e del Benelux, che utilizzano maggiormente questo tipo di servizio (le prime due) e hanno fornito indicazioni più dettagliate sui tempi e i KPI. Il calcolo è molto semplice ed approssimativo, ma è volto solamente a farsi un'idea delle caratteristiche del trasporto. Le velocità individuate risultano essere più basse in Italia, mentre leggermente superiori in Francia e Benelux. La velocità maggiore che si riscontra in Benelux è sintomo della qualità delle infrastrutture e dei collegamenti di queste regioni. Sul territorio italiano:

- Fino ad una distanza di 180 km da FAAC s.p.a. si ha una consegna garantita in 48h, dunque $V_{it1} = \frac{180}{48} = 3,75 \text{ km/h}$;
- Fino ad una distanza di 600 km da FAAC s.p.a. si ha una consegna garantita in 72h, dunque $V_{it2} = \frac{600}{72} = 8,3 \text{ km/h}$;
- Fino ad una distanza di 1050 km da FAAC s.p.a. si ha una consegna garantita in 96h, dunque $V_{it3} = \frac{1050}{96} = 11 \text{ km/h}$.

Per la Francia:

- Fino ad una distanza di 400 km da FAAC France si ha una consegna garantita in 48h, dunque $V_{fr1} = \frac{400}{48} = 8,33 \text{ km/h}$;
- Fino ad una distanza di 920 km da FAAC France si ha una consegna garantita in 72h, dunque $V_{fr2} = \frac{920}{72} = 12 \text{ km/h}$.

Per il Benelux:

- Fino ad una distanza di 410 km da FAAC Benelux si ha una consegna garantita in 24h, dunque $V_{be} = \frac{410}{24} = 17,08 \text{ km/h}$.

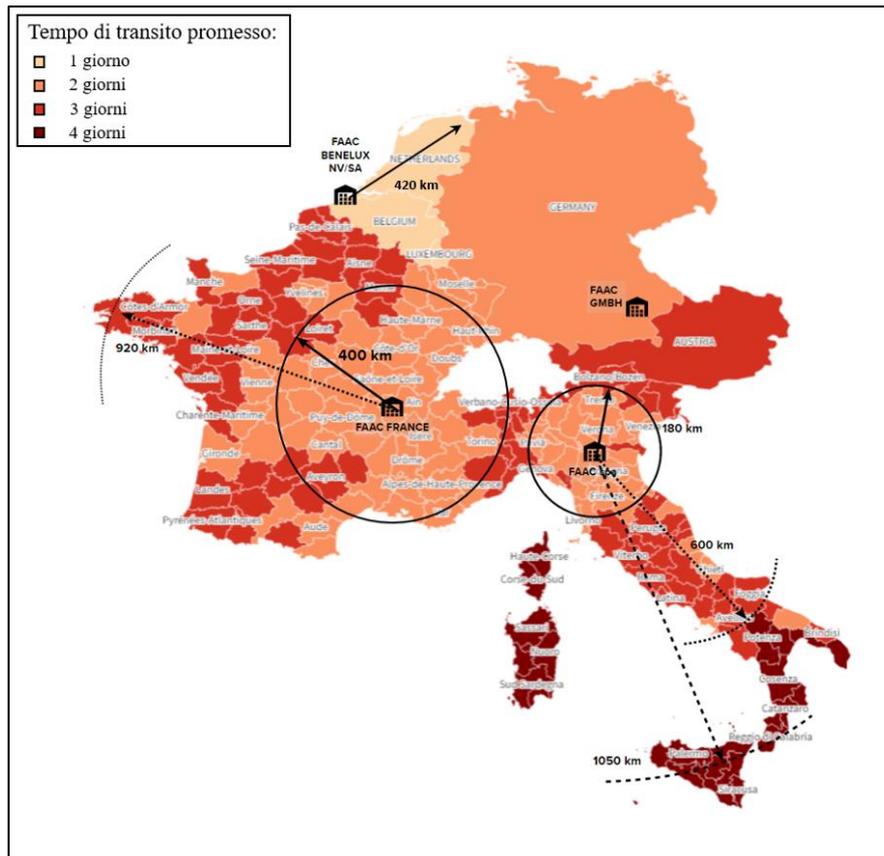


Figura 4.20: Studio dei tempi di consegna del groupage in Italia, Francia e Benelux.

Le velocità stimate non sono particolarmente elevate, questo non significa che i mezzi viaggiano a queste velocità, ma sono dovute al fatto che i corrieri non vanno da origine a destinazione in maniera diretta, ma eseguono un percorso molto complesso secondo le logiche del distributore. Poiché si hanno velocità così eterogenee, risulta difficile definirne una univoca e ancora più complicato è definire un fattore di penale da applicare. L'idea per l'implementazione è pertanto cambiata: si è pensato di inserire un vincolo che fa sì che inserendo la velocità, impone di inserire l'hub in modo tale da rispettare tutti i tempi di consegna. Per ogni configurazione ($p = 1, p = 2, p = 3$) si varierà la velocità fino a trovare la velocità minima che permette di risolvere il modello con l'ulteriore vincolo inserito. Si tratta di un approccio per tentativi, trovando le velocità minime che consentono di rispettare i tempi con uno, due o tre hub. La fattibilità della soluzione sarà valutata sul valore di velocità necessario.

Si hanno a disposizione i valori dei tempi di transito promessi per ogni provincia, ma i clienti del modello sono le regioni; pertanto, è necessario uniformare i valori all'interno di ciascuna regione.

4.8.2 Integrazione del modello

I dati sul tempo di transito possono essere inseriti tramite l'utilizzo di un ulteriore parametro o_j : per ogni destinazione j corrisponde alle ore di *transit-time* promesse attualmente ai clienti per la consegna. L'utilizzo di questo parametro e di quello di velocità si concretizzano nel nuovo vincolo che permette il rispetto dei tempi (vincolo 9).

Quelli elencati di seguito sono da intendere come integrazione del modello presentato nel paragrafo 4.2:

Parametri

- o_j : ore di consegne promesse al cliente j con il servizio groupage;
- V : velocità media di transito per il trasporto groupage (verrà cambiata per l'approccio per tentativi).

Vincoli

$$\frac{d_{kj} \cdot X_{kj}}{V} \leq o_j \quad \forall j, k \quad (9)$$

- 9) **Tempi**: se viene aperto un collegamento da un hub ad un cliente ($X_{kj} = 1$), allora l'hub non deve avere una distanza troppo elevata dal cliente che non permetta di raggiungerlo (con velocità V) entro il tempo promesso o_j . Si tratta di un vincolo molto rigido e stringente, perché riduce tutta la questione ad un ragionamento puramente geometrico.

Si riportano le integrazioni anche del *file di modello*:

```
#Parametri
param o_j{j in J};
param V;

#vincoli
subject to vincolo_9 {j in J, k in K}: d_kj[k,j] * x_kj[k,j] / V <= o_j[j];
#vincolo rispetto transit time
```

Si riportano le integrazioni del *file di dati*:

```
#Tempo in ore da rispettare per ogni regione j
param o_j:=
Valle_Aosta      72
Puglia           72
Emilia_Romagna  48
Sardegna        96
Molise          72
Sicilia         96
Calabria        96
Toscana         48
Liguria         72
Marche          72
Lombardia       48
Campania        72
Veneto          48
Umbria          72
Abruzzo         48
Basilicata       96
Lazio           72
Piemonte        72
Trentino_A_A    72
Friuli_V_G      72
```

Grand_Est	48
Nuova_Aquit	72
Alvernia_R_A	48
Borgogna_F_C	48
Bretagna	72
Centro_Valle_L	48
Corsica	96
Ile_de_France	48
Occitania	72
Alta_Francia	72
Normandia	72
Paesi_Loira	72
Provenza_A_C_A	48
Nordrhein_West	48
Bayern	48
Baden_Wurtt	48
Niedersachsen	48
Hessen	48
Sachsen	48
Rheinland_Pfz	48
Berlin	48
Schleswig_H	48
Brandenburg	48
Sachsen_Anhalt	48
Thuringen	48
Hamburg	48
Mecklenburg_V	48
Saarland	48
Bremen	48
Austria	72
Nederland	24
Lussemburgo_R	24
Belgio	24
;	
#Velocità media di transito	
param V:= 13.01;	

4.9 Soluzioni con i tempi di trasporto

L'approccio per tentativi consiste nel selezionare la configurazione da studiare ($p = 1, p = 2, p = 3$) ed individuare per tentativi la velocità minima del groupage che permette di ottenere una soluzione con uno, due o tre hub. Se la velocità che permette la soluzione è comparabile alle velocità analizzate prima, allora si tratta di una configurazione fattibile, altrimenti no. Per le configurazioni non fattibili verranno proposte delle alternative.

4.9.1 $p = 1$: un solo hub europeo

Soluzione 1

- Hub situato a Strasburgo: $Y_{21} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 21$;
- Tariffario ibrido utilizzato in fascia 30-40 kg, groupage sopra i 40 kg: $t_g = \begin{cases} 0, & f < 16 \\ 1, & f \geq 16 \end{cases}$;
- F.O. che garantisce un saving del 2,12% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Velocità minima richiesta: $V = 23 \text{ km/h}$;

- Questa soluzione risulta la soluzione più fattibile nel caso si volesse aprire un solo hub europeo; tuttavia, la velocità minima richiesta per rispettare i tempi è abbastanza più alta rispetto a quelle osservate e non è garantito un saving sufficientemente alto. Poiché la migliore soluzione dal punto di vista del costo della F.O. risultava quella che inseriva l'hub a Bologna, nella *Soluzione 2* è stata analizzata la velocità minima richiesta. Per fare ciò è sufficiente vincolare nel file modello $Y_3 = 1$.

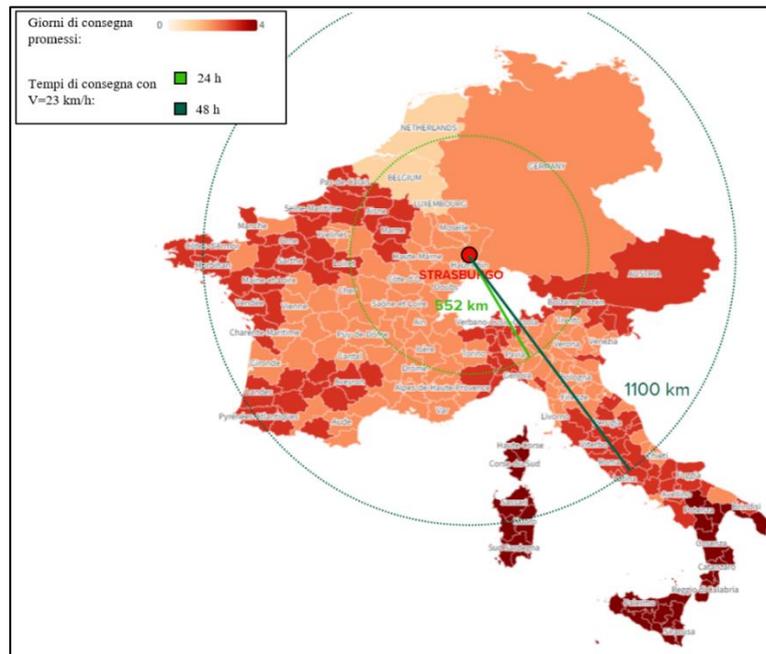


Figura 4.21: Rappresentazione della *Soluzione 1*.

Soluzione 2

- Hub situato a Bologna: $Y_3 = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3$;
- Tariffario ibrido utilizzato in fascia 30-40 kg, groupage sopra i 40 kg: $t_g = \begin{cases} 0, & f < 16 \\ 1, & f \geq 16 \end{cases}$;
- F.O. che garantisce un saving del 16,7% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Velocità minima richiesta: $V = 50,5 \text{ km/h}$;
- Risulta evidente l'infattibilità della soluzione che era la più vantaggiosa dal punto di vista economico. La velocità richiesta per servire tutte le zone entro i tempi promessi risulta troppo elevata rispetto ai dati reali. In particolare, le regioni del Benelux sono molto distanti dall'hub e richiedono consegne in 24 h. Come detto prima, Benelux e Germania ricevono merce prevalentemente tramite servizio espresso, tuttavia, poiché sono presenti anche consegne groupage, il vincolo impone il rispetto dei tempi. Visto che si ha a disposizione un listino ibrido che permette, a fronte di un costo maggiore, di avere tempi di consegna più rapidi, è stata proposta la *Soluzione 3*.

Soluzione 3

- Hub situato a Bologna: $Y_3 = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3$;
- Tariffario ibrido utilizzato non più in base alle fasce di peso, ma in base ai clienti. Utilizzando un parametro t_j si è potuto utilizzare il listino groupage per le regioni italiane (quindi situazione uguale a quella AS-IS) e il trasporto ibrido verso l'Europa (Francia, Germania, Austria e Benelux) in modo da garantire tempi celeri per il groupage;
- Le velocità sono quelle della situazione AS-IS in Italia perché si utilizza il groupage solo su questo territorio.
- F.O. che garantisce un saving del 2,5% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Questa soluzione può risultare un buon compromesso e fornisce anche degli spunti di riflessione per l'azienda. Si potrebbero ampliare le regioni servite tramite groupage (es. regioni meno esigenti come in Francia e Austria) in modo tale da abbassare ulteriormente la F.O. e aumentare il saving.

4.9.2 $p = 2$: due hub europei

Soluzione 4

- Hub situati a Genova e Bergheim: $Y_9 = 1, Y_{34} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 9, 34$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 6,37% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Velocità minima richiesta: $V = 13,2 \text{ km/h}$;
- Questa soluzione permette di ottenere un ottimo saving con velocità richieste molto simili a quelle osservate. Bergheim si trova all'interno di una posizione logistica ottimale chiamata "Blue Banana" (vedi capitolo 5) e a ridosso delle regioni del Benelux, che richiedono i tempi più stringenti. Bisogna inoltre tenere in considerazione che in questo modo ci si avvicina anche alla distribuzione in Polonia, che non è stata considerata nell'analisi per i motivi elencati, ma è una delle aree più importanti europee per FAAC per quanto riguarda il fatturato ICP. In generale le soluzioni con $p = 2$ costituiscono dei buoni compromessi tra risparmio economico e rispetto delle esigenze del cliente.

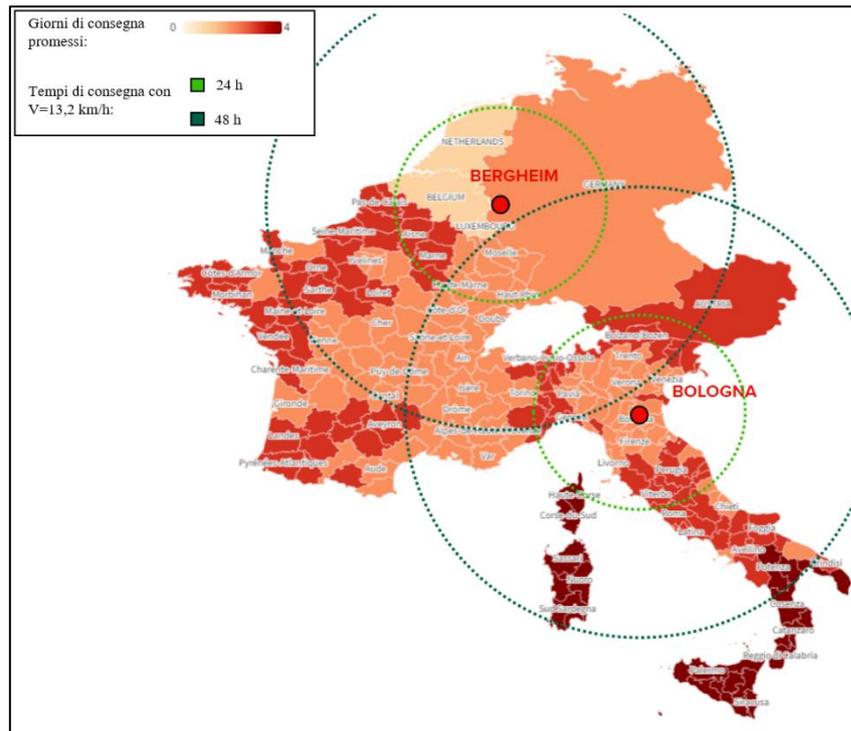


Figura 4.22: Rappresentazione della Soluzione 4.

Soluzione 5

- Hub situati a Bologna e Lille: $Y_3 = 1, Y_{30} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 3, 30$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 9,7% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Velocità minima richiesta: $V = 19,8 \text{ km/h}$;
- Questa configurazione viene inserita in quanto risultava la più conveniente sotto il punto di vista economico con due hub. Il saving è molto alto (comunque inferiore alla soluzione in cui non si erano inseriti i tempi perché si influenza la distribuzione dei clienti agli hub) ma le velocità richieste sono leggermente troppo spinte.

4.9.3 $p = 3$: tre hub europei

Soluzione 6

- Hub situati a Bologna, Aosta e Bergheim: $Y_1 = 1, Y_3 = 1, Y_{30} = 1, Y_k = 0$ per $k \neq 1, 3, 30$;
- Tariffario ibrido non utilizzato, quindi si utilizzano solamente i servizi espresso e groupage: $t_g = 1, \forall f$;
- F.O. che garantisce un saving del 5,6% rispetto al valore Φ della situazione AS-IS;
- Velocità minima richiesta: $V = 13,1 \text{ km/h}$;
- Il buon saving è accompagnato da valori realistici della velocità richiesta. Questa non risulta una possibilità da prendere in considerazione, in quanto ritenuta troppo simile alla situazione AS-IS rispetto al numero di magazzini e non comporta evidenti vantaggi se confrontata alla Soluzione 4, avendo anche velocità richieste simili.

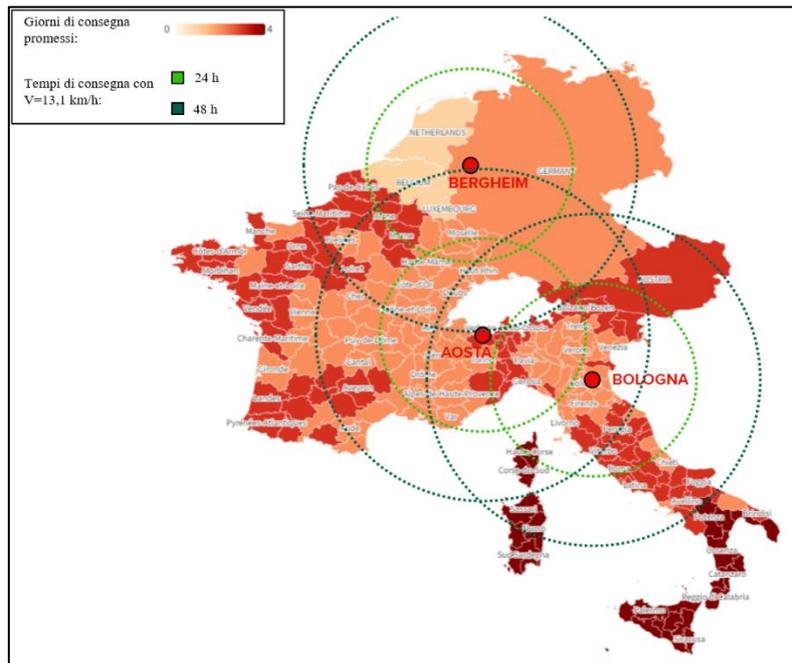


Figura 4.23: Rappresentazione della Soluzione 6.

5. SITE SELECTION

Grazie all'utilizzo di metodi che valutano informazioni di tipo quantitativo, si arriva a considerare un ristretto numero di potenziali luoghi da esaminare più nel dettaglio. Infatti, i risultati ottenuti sulla base delle tecniche quantitative di allocazione (modelli matematici) devono essere ritirati sulla base di elementi reali, che possono essere per esempio:

- Presenza di infrastrutture di trasporto, quindi si preferiscono luoghi vicini ad autostrade, ferrovie, porti, aeroporti. ecc....;
- Costo dell'area: valutare l'area, costi di costruzione, oneri di urbanizzazione, ecc....;
- Costo dell'energia, del telefono, dell'acqua ecc....;
- Costo e affidabilità della manodopera;
- Agevolazioni fiscali o restrizioni;
- Vicinanza ad altri siti aziendali;
- Condizioni meteo, qualità della vita, situazione politica, ecc....

5.1 Metodo a punteggio

È possibile prendere in considerazione gli aspetti qualitativi attraverso diversi metodi, in particolare in letteratura è stato individuati il "Metodo a punteggio", composto di sette passaggi [7]:

- 1) Considerare le diverse alternative di localizzazione individuate su cui concentrarsi;
- 2) Individuare i fattori di localizzazioni di tipo qualitativo che possono interessare e influire nell'analisi;
- 3) Per ogni possibile area, bisogna raccogliere informazioni relativamente a questi fattori individuati attraverso consulenti o camere di commercio;
- 4) Per ognuno dei fattori, si attribuisce un peso relativo di importanza rispetto agli altri, in modo che la somma totale dei pesi sia 1 (oppure 100);
- 5) Sulla base dei metodi a punteggio, si individuano dei punteggi per tutti i fattori di localizzazione. Bisogna definire una scala di valutazione, che va dal punteggio minimo a quello massimo;
- 6) Si calcola una media ponderata dei fattori di localizzazione, utilizzando appunto i pesi di importanza prima definiti. Risulta pertanto una classifica di location in base al punteggio finale ottenuto;
- 7) È possibile effettuare un'analisi di sensitività sui vari punteggi e valutazioni per validare le soluzioni.

L'espansione dell'Unione Europea, il continuo sviluppo delle infrastrutture e il mercato di massa stanno contribuendo a ridefinire nuove rotte del traffico merci. Questi sviluppi stanno a loro volta incidendo sui mercati logistici europei e portando alla nascita di nuovi poli industriali e distributivi. Alcuni di questi entrano in competizione con alcuni centri più consolidati dell'Europa Occidentale in quanto si pongono come ottime alternative per imprese manifatturiere o per attività di distribuzione. In questo contesto, esiste una ricerca di Colliers International che confronta tra loro le diverse aree europee rispetto ad una serie di parametri che svolgono un ruolo determinante nel *Site Selection* sia per localizzare siti produttivi e sia per la distribuzione. Ognuna delle 40 città nell'analisi viene considerata per i suoi parametri in modo specifico, in quanto città all'interno della stessa regione

potrebbero essere differentemente adatte alle esigenze aziendali. I fattori che sono stati considerati nella ricerca sono:

- **Infrastrutture ed Accessibilità:** valuta ogni posizione in termini di accessibilità a porti/punti di ingresso del mercato europeo e in termini di qualità delle infrastrutture di trasporto esistenti;
- **Accesso al mercato:** valuta il bacino di utenza a cui si ha accesso;
- **Costi operativi di base:** inclusa la manodopera, il noleggio e il costo del terreno;
- **Capacità del mercato del lavoro:** valuta il volume di disoccupazione e di popolazione attiva;
- **Competenza logistica:** valuta la forza lavoro specializzata e comprende anche indici logistici;
- **Ambiente aziendale:** valuta le potenzialità di business.

L'analisi applica diversi pesi ai diversi fattori secondo il metodo a punteggio e si valutano sia le possibilità dello scenario distributivo, sia dello scenario produttivo. Ciascuno scenario vede applicati pesi diversi per ricavare i risultati del rapporto. Per la localizzazione di una struttura distributiva, che è il caso da noi più di interesse, si applica un peso di 0,25 per il fattore Infrastrutture ed Accessibilità, 0,45 per l'Accesso al mercato, 0,15 per i Costi operativi di base, 0,05 per i restanti fattori. Per quanto riguarda le location per un impianto produttivo si hanno in ordine i pesi 0,15; 0,10; 0,45; 0,15; 0,05; 0,10.

Per l'attività di distribuzione la vicinanza ai consumatori finali e la presenza di una rete di infrastrutture affidabile e sviluppata risultano fondamentali per consegnare la merce in tempo. Per questo motivo si attribuiscono i pesi maggiori ai primi due fattori considerati nell'analisi. Le città della "Blue Banana" dominano le prime posizioni della classifica. Quest'ultima vede in cima la città di Anversa, seguita subito dopo da Rotterdam, Bruxelles, Düsseldorf e Amburgo. La prima città non appartenente alla Germania o al Belgio è Lille in nona posizione.

Posizione	Città
1	Anversa
2	Rotterdam
3	Düsseldorf
4	Bruxelles
5	Amburgo
6	Amsterdam
7	Liegi
8	Venlo
9	Lille
10	Francoforte

Tabella 5.1: Migliori località stimate da Colliers International per accogliere depositi distributivi in Europa.

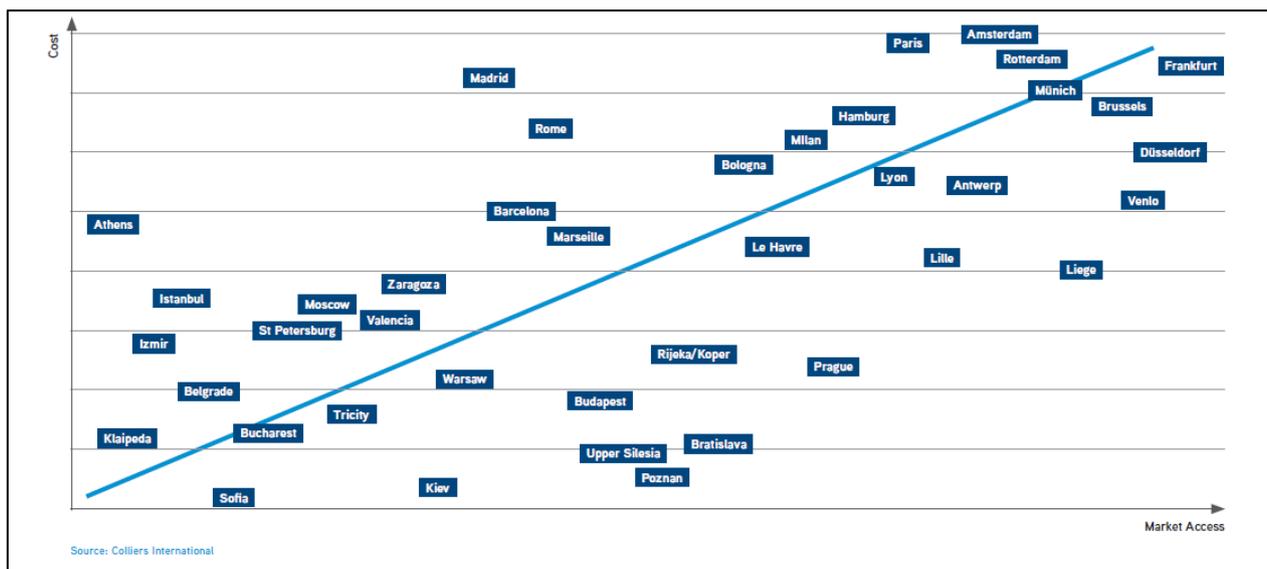


Figura 5.2: città europee nell'analisi di Colliers international valutate per costi ed accesso al mercato.

In generale, Belgio e Olanda sono considerati i luoghi più ambiti per i centri di distribuzione logistici. Dispongono infatti di infrastrutture tecnologiche e ben sviluppate e garantiscono un'eccellente qualità del servizio logistico. Il porto di Anversa e i suoi centri di distribuzione coprono un'area di 12.100 ettari e offrono una gamma di servizi all'avanguardia. Questo porto belga si trova nel nord del paese ed è il secondo porto europeo per grandezza. La posizione ottimale è alla base del suo successo in quanto si trova nel cuore produttivo dell'Europa, ben il 60% della produzione della produzione europea si trova nel raggio di 500 km. Il porto di Rotterdam è il più importante snodo merci sulla terraferma europea. Tramite le sue vie navigabili interne ha la più grande concentrazione di centri di distribuzione, sebbene si estenda per 40 km.

In quanto paese centrale dell'Europa, la Germania ha le migliori prestazioni logistiche del continente. Le infrastrutture di trasporto stradale, ferroviaria e marittime sono ben sviluppate e rendono il paese un luogo desiderabile per i centri distributivi europei. Düsseldorf (che si trova a 50 km dalla città individuata nella *Soluzione 4* nel paragrafo 4.9.2) è una città che offre un'accessibilità ottimale grazie alle infrastrutture di trasporto, all'aeroporto internazionale, ben quattro porti sul fiume Reno e diverse autostrade e stazioni ferroviarie. L'intera regione del Nord Reno-Westfalia risulta un'area molto attraente. Le grandi aziende globali come Amazon hanno i propri centri distributivi logistici in queste zone. Un altro importante polo distributivo tedesco è sicuramente il porto di Amburgo. È uno dei più grandi porti per container del mondo e il più grande in Germania. Le sue caratteristiche sono flessibilità e alte prestazioni [14].

Da un punto di vista distributivo il nord della Francia vanta costi di magazzino economici e la posizione permette di essere situati all'incrocio delle rotte commerciali tra Gran Bretagna, Europa settentrionale e meridionale grazie alla vicinanza al canale della Manica (vedi centro distributivo Amazon di 90.000 m² nella regione di Lille).

Il consumo interno è il principale driver per l'economia italiana, che ha legami limitati con le economie estere rispetto alle economie tipiche di Germania e Benelux. Tra le città spiccano Milano

e Bologna, che beneficiano della propria posizione centrale, multimodalità e possibilità di raggiungere anche mercati esteri.

I risultati chiave dell'analisi, per quanto riguarda la distribuzione della merce, sono pertanto:

- Le strutture nella “*Blue Banana*” restano quelle più indicate per l'attività di distribuzione verso la maggior parte del mercato europeo. Alcune location, per esempio Lille o Anversa offrono il miglior equilibrio tra accesso al mercato e costi operativi. Questo risultato è coerente con i risultati del modello sviluppato nei paragrafi precedenti, a conferma della validità delle valutazioni e delle approssimazioni inserite;
- Il Nord Italia ha buone potenzialità di crescita, in particolare il suo sviluppo è collegato all'incremento del traffico merci attraverso i porti dell'Adriatico;
- Posizioni come Praga o Bratislava possono insediare la scelta a causa dei bassi costi di struttura e di personale, che sta spostando l'attenzione anche verso paesi più a est;
- L'Europa Orientale è ottimale per la produzione a basso costo, ma per quanto riguarda la distribuzione i benefici sono comunque limitati;
- Il Sud Europa non ha chiari vantaggi competitivi, ma questo potrebbe cambiare sulla scia delle riforme strutturali in corso in alcuni paesi.

5.2 Cambiamenti nella distribuzione europea

Quella che originariamente era chiamata “*Blue Banana*”, ovvero il principale corridoio di distribuzione europea, sta pian piano venendo affiancata da più corridoi in risposta all'allargamento dell'UE, dell'aumento del volume delle merci, dei costi di trasporto, della congestione stradale, ecc.... Eurostat prevede che la domanda di trasporto delle merci risulterà triplicata (+182%) nel 2050 rispetto a quella del 2010. L'incremento dei costi operativi in aggiunta agli impatti ambientali del trasporto merci su gomma stanno portando le aziende ad adattare le proprie modalità di trasporto.

Mentre l'e-commerce diventa sempre più forte, la consegna di prodotti finiti sul totale delle merci trasportate è sempre in crescita. A causa dell'inasprimento delle normative europee e della congestione stradale lungo i corridoi principali, le catene di approvvigionamento sfrutteranno sempre di più metodi di trasporto combinati, che garantiscono maggiore disponibilità, flessibilità e anche un vantaggio economico. L'Industria 4.0 e le altre innovazioni tecnologiche offrono soluzioni flessibili, grazie a sistemi automatizzati di gestione e monitoraggio che funzionano tramite Internet e i processi Big Data renderanno possibile una produzione e distribuzione più decentralizzata in Europa.

Risorse ridotte, imprevisti disastri naturali e politici stanno contribuendo allo sconvolgente aumento del prezzo del petrolio, che pone più di una preoccupazione per il settore dei trasporti. L'inasprimento delle normative sul trasporto su strada per quanto riguarda le emissioni di CO₂, rumore, pedaggi e le tasse sulla congestione stradale aumenteranno ulteriormente i costi. Le spese sui trasporti rappresentano la metà dei costi logistici totali; pertanto, un settore competitivo come quello della logistica risulta motivato nel proporre nuovi modi per ridurre queste spese.

Le soluzioni verdi e la tecnologia permettono di essere ottimisti per una distribuzione più efficiente. Per affrontare la volatilità dei prezzi dei combustibili fossili, l'aumento dei pedaggi e altri costi legati agli impatti ambientali ci si sta concentrando sull'utilizzo di combustibili alternativi e trasporti multimodali. Tuttavia, esistono degli ostacoli che si frappongono al raggiungimento di questi

obiettivi: l'utilizzo di chiatte, navi marittime e treni richiedono infrastrutture dedicate e la loro capacità di raggiungere le destinazioni finali è limitata. Al contrario, il trasporto su strada può raggiungere praticamente qualsiasi destinazione e rispondere in maniera efficiente agli esigenti acquirenti online, che richiedono consegne celeri e precise. Attualmente, oltre il 70% del trasporto su strada, prevalentemente il trasporto secondario, non può essere sostituito con altre modalità e, dato l'e-commerce in continua crescita, è improbabile che la situazione cambi. Per questo motivo sono in corso una serie di iniziative infrastrutturali che mirano a migliorare il costo, la velocità, la disponibilità e l'efficienza del trasporto merci su strada e delle sue alternative. Di grande rilevanza per il trasporto merci è il Ten-T 2007-2013 *Core Network Corridor* (CNC), ovvero un progetto che ha investito otto miliardi di euro in progetti per facilitare la circolazione delle merci lungo i nove principali "Corridoi" europei. I progetti CNC prevedono il proprio completamento nel 2030 e mirano all'ampliamento e costruzione di autostrade, corsi d'acqua interni, porti e progetti per il trasporto su rotaia. La *Core Network* (rete centrale) è costituita da nodi urbani a maggiore densità abitativa, dai nodi intermodali di maggiore rilevanza e dalle relative connessioni. La priorità a livello europeo è quella di assicurare la continuità dei corridoi, realizzando i collegamenti mancanti, assicurando collegamenti tra le diverse modalità di trasporto, eliminando i colli di bottiglia esistenti. Il completamento delle reti trans-europee permetterà un'ulteriore interconnessione dei mercati, favorendo un processo di efficientamento, di sicurezza degli approvvigionamenti e di decarbonizzazione utile a realizzare gli obiettivi previsti dall'accordo di Parigi entro il 2030 [15].

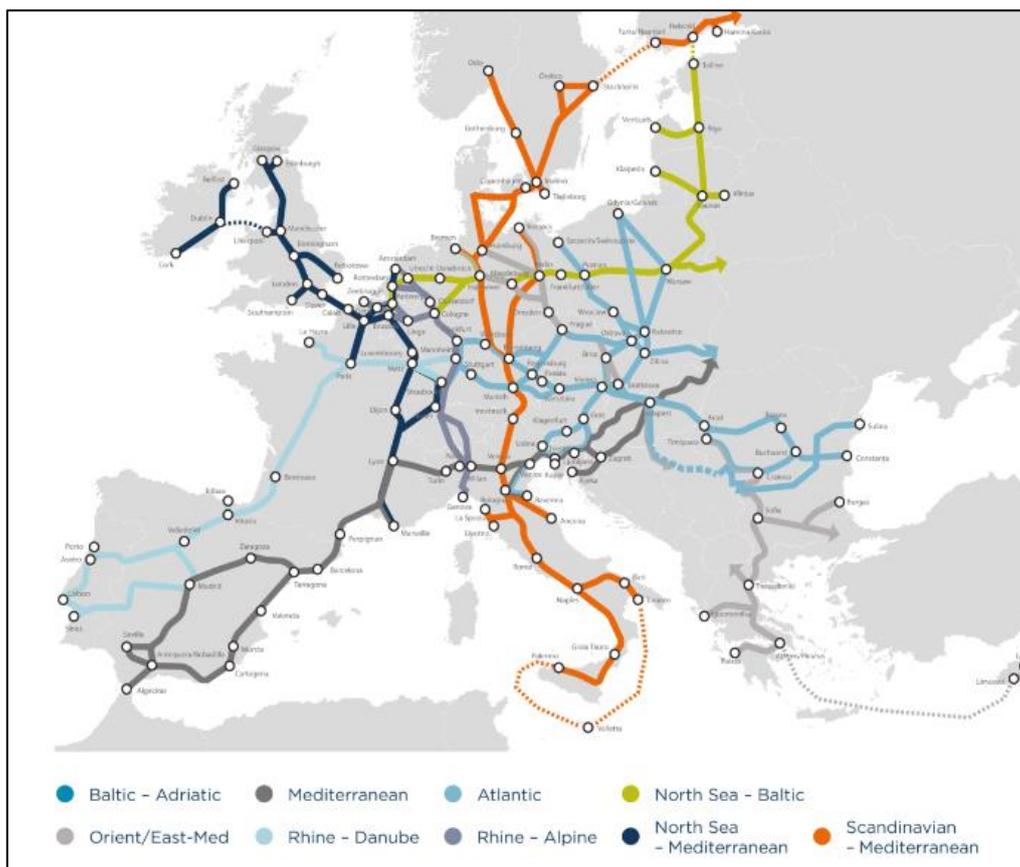


Figura 5.3: rappresentazione della rete centrale e dei corridoi europei.

Un'altra iniziativa è l' "Iron Silk Road" attiva dal 2014 che collega 35 città cinesi con 34 città europee. Questa lunga arteria ferroviaria veicola attualmente appena l'1% della merce annualmente trasportata dalla Cina, ma l'obiettivo è quello di arrivare al 30% del trasporto su strada ad essere assorbito dalla modalità via ferrovia e mare. Ganglio centrale di questo collegamento tra Cina ed Europa è il porto interno di Duisburg: da qui il 50% del materiale è distribuito tramite chiatta o treno, il resto su gomma.

Nel prossimo decennio, sarà possibile distinguere fino a otto diverse banane per la logistica. Alcuni corridoi (o banane) hanno già preso forma, mentre i tempi per la piena operatività degli altri dipendono dalla disponibilità ed affidabilità delle infrastrutture e dei collegamenti multimodali. L'originale, la "Blue Banana" si estenderà verso i porti mediterranei fino a Genova, in Italia. La Commissione Europea ha deciso di rimuovere la porzione dell'UK dal sistema dei corridoi Ten-T, tagliando via ogni collegamento con l'isola che richiede controlli alle frontiere. L'"Iberian Banana" sta nascendo a causa di un aumento del traffico merci lungo il tratto da Bordeaux a Valencia e Lisbona per collegare la penisola iberica a Germania, Benelux e Francia. Infatti, la presenza di manodopera qualificata e a basso prezzo in Spagna e Portogallo ha attirato diverse case automobilistiche tedesche verso questi territori. Grazie agli sviluppi autostradali e ferroviari Ten-T stanno migliorando i collegamenti nell'Europa Centrale e potrebbe esserci un'unione tra la "Blue Banana" e il corridoio che collega il porto di Venezia con la Grecia e l'Eurasia.

La crescita dell'importanza delle aree sul Mar Baltico come siti produttivi dipenderà anche dalla futura realizzazione dei corridoi Ten-T stradali e ferroviari che collegano Finlandia, Polonia, Repubblica Ceca e Germania. Questo corridoio è uno di quelli ancora in fase di sviluppo in quanto necessita di ingenti investimenti infrastrutturali. Un futuro corridoio si svilupperà lungo la rete autostradale e ferroviaria che collegano Budapest con il Mar Nero.

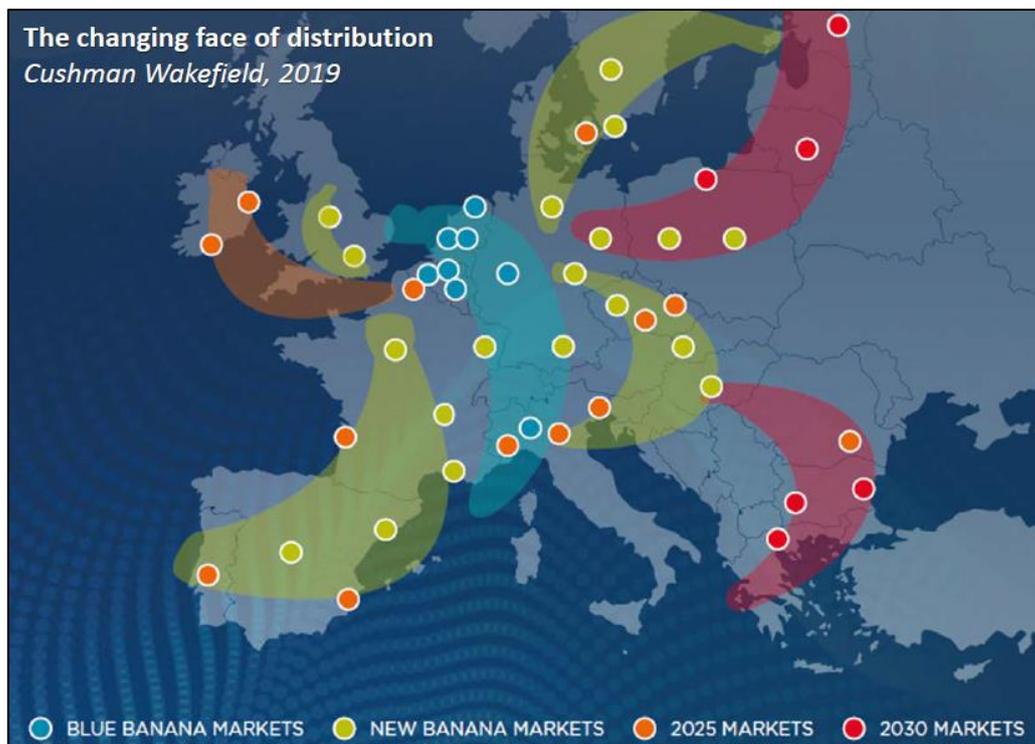


Figura 5.4: sviluppo dei nuovi mercati europei lungo i corridoi principali.

Poiché logistica e produzione sono in continua evoluzione, analogamente si rimodellano le mappe distributive in Europa ed emergeranno nuovi mercati, similmente, emergeranno nuovi hub logistici lungo le Banane. L'esperienza a Duisburg dimostra che le nuove rotte commerciali, supportate da infrastrutture multimodali, porteranno ad investimenti pubblici e privati a causa del graduale aumento dei volumi di merci e quindi di spazio magazzino [16].

CONCLUSIONI

Durante l'attività che ha portato alla stesura di questa tesi ho compiuto un percorso di apprendimento ed integrazione delle conoscenze pregresse, che sono state sfruttate per sviluppare il modello matematico di Programmazione Lineare Intera utile all'ottimizzazione della progettazione della rete distributiva per una situazione TO-BE dell'azienda FAAC Technologies. Questa esperienza è stata appunto svolta nella sede centrale di FAAC a Zola Predosa nella quale ho potuto frequentare un ambiente di lavoro per circa tre mesi, da Aprile 2022 fino alla fine di Luglio dello stesso anno.

L'elaborato di tesi ripercorre il lavoro che è stato svolto di studio e progettazione. All'interno dei primi due capitoli sono state fornite delle panoramiche sulla logistica e sulla distribuzione, in modo tale da accompagnare il lettore all'interno degli argomenti principali e delle problematiche di questo settore. Il terzo capitolo presenta la situazione e il problema dell'azienda dal punto di vista distributivo, in particolare sull'area europea. L'obiettivo è quello di riprogettare la rete distributiva sul suolo europeo, mediante l'individuazione di uno/due hub che gestiscano il materiale per i clienti del territorio. Vengono presentati dati e informazioni relativi alla gestione dei magazzini ed alla situazione AS-IS di cui si cercherà un miglioramento nei capitoli successivi. Il quarto capitolo si concentra in prima battuta su una ricerca bibliografica del problema e successivamente entra nel vivo del lavoro esponendo tutti i ragionamenti che hanno portato alla creazione del modello di Programmazione Lineare e delle sue peculiarità. Per adattare un problema reale ad uno matematico risulta necessario introdurre numerose approssimazioni e vengono mostrati in particolare quelle sulle distanze, i costi di trasporto e i costi fissi di gestione delle strutture e personale. Un primo modello che mira solo al miglioramento economico porta ad una soluzione ottima che prevede il mantenimento di un unico magazzino europeo posto a Bologna, quindi questa soluzione si concretizza nell'allargamento dello stabilimento di FAAC s.p.a. Mediante questa soluzione è possibile ottenere un ingente risparmio economico rispetto alla situazione attuale, oltre ad un accentramento dei materiali verso un'unica struttura, che comporta una maggiore facilità di gestione. Viene mostrato successivamente l'importanza del considerare anche i *transit-time* promessi ai clienti, che anche grazie alla crescita dell'e-commerce, sta diventando sempre più un fattore necessario per essere competitivi sul mercato e guadagnarsi la fedeltà del cliente. Pertanto, è necessario includere all'interno dell'analisi un vincolo che permetta di rispettare i tempi di transito attuali, se non migliorarli. A questo proposito la soluzione con un solo hub a Bologna risulta impossibile da percorrere nel caso si utilizzi il servizio espresso per consegne con peso inferiore ai trenta chilogrammi e il servizio groupage sopra. Interessante invece risulterebbe l'utilizzo del listino ibrido express/groupage in sostituzione al groupage verso le zone più remote rispetto all'unico hub, che permetterebbe di ottenere sia un risparmio economico se si riescono a massimizzare le aree servite dal groupage, sia un rispetto dei tempi AS-IS. Inoltre, le tariffe di questo ultimo listino non sono state assolutamente trattate e tramite negoziazione sarebbe possibile diminuire il valore della funzione obiettivo di questa soluzione, tutto a vantaggio del risparmio economico ottenibile.

Un'altra interessante soluzione è rappresentata dall'utilizzo di due hub europei. Il primo si mantiene sempre nell'area di Zola Predosa (BO) e il secondo va collocato in un'area a ridosso del Benelux. Il primo magazzino va mantenuto a Bologna in quanto risulta essere la sede principale di FAAC e si riuscirebbe a risparmiare nel trasporto O-H, come mostra il modello. Il collocamento del secondo stabilimento può avvenire in Belgio o nelle regioni dell'Alta Francia o del Nordrhein Westfalen a seconda delle scelte di dare più peso al vantaggio economico o al rispetto dei tempi. In generale, le

velocità richieste per i groupage nel caso dell'apertura di due magazzini europei non sono particolarmente spinte e permettono comunque ottimi saving in termini di euro all'anno.

Risulta chiara l'importanza, pertanto, che assume particolare rilevanza l'area della "Blue Banana", che è una zona appropriata per accogliere strutture logistiche sotto questi aspetti:

- Infrastrutture;
- Accesso al mercato;
- Costi operativi di base;
- Capacità del mercato del lavoro;
- Competenza logistica;
- Ambiente aziendale.

Per una corretta scelta del collocamento ideale dei magazzini è importante anche analizzare come si sta trasformando la situazione distributiva europea. Le soluzioni verdi e la tecnologia permettono di essere ottimisti per una distribuzione più efficiente. Per affrontare la volatilità dei prezzi dei combustibili fossili, l'aumento dei pedaggi e altri costi legati agli impatti ambientali ci si sta concentrando sull'utilizzo di combustibili alternativi e trasporti multimodali. Per questo motivo sono in corso una serie di iniziative infrastrutturali che mirano a migliorare il costo, la velocità, la disponibilità e l'efficienza del trasporto merci su strada e delle sue alternative. Di grande importanza è il progetto Ten-T 2007-2013 *Core Network Corridor* (CNC), che ha investito otto miliardi di euro per facilitare la circolazione delle merci lungo i principali "Corridoi" europei. I progetti CNC prevedono il proprio completamento nel 2030 e mirano all'ampliamento e costruzione di autostrade, corsi d'acqua interni, porti e progetti per il trasporto su rotaia. Grazie a questi investimenti stanno nascendo nuove rotte e si stanno consolidando nuovi mercati. Poiché logistica e produzione sono in continua evoluzione, analogamente si rimodellano le mappe distributive in Europa ed emergeranno nuovi mercati, similmente, emergeranno nuovi hub logistici lungo le Banane. Affianco alla Banana principale ne stanno nascendo di nuove e la rete europea sta diventando sempre più collegata anche per l'intermodalità. Con un occhio su questa situazione e riguardando le soluzioni proposte, può risultare interessante prendere in considerazione l'utilizzo di due hub, di cui il primo a Bologna, e il secondo nella regione del Nordrhein Westfalen (nel modello rappresentata da Bergheim), che permette: 1) risparmio economico; 2) rispetto dei tempi promessi ai clienti; 3) si colloca in un'area strategica che funge come punto di incontro tra la "Blue Banana", la "CE Banana", passante anche per la Bulgaria, e la "Baltic Banana", che può collocare l'hub anche con l'area polacca, che produce un alto fatturato ICP per il gruppo.

RIFERIMENTI

- [1] Pareschi A., Persona A., Ferrari E., Regattieri A., “*Logistica integrata e flessibile*”, Esculapio 2002;
- [2] Sciuto L., “*Logistica e Supply Chain Management: nuovi modelli tariffari per il ritiro e la distribuzione delle merci*”, 2017;
- [3] “*Bullwhip Effect: come controllare l’effetto Forrester o effetto frusta*”, sito web dell’azienda Mecalux, <https://www.mecalux.it/blog/effetto-frusta-bullwhip-effect>;
- [4] Regattieri A., “*Logistica Distributiva_integrazione*”;
- [5] Dallari F., “*Il sistema distributivo*”, slides del Corso di Progettazione dei Sistemi Produttivi e Logistici, Università Cattaneo Castellanza (LIUC);
- [6] Dallari F., “*Le reti distributive (1): elementi di progettazione*”, slides del Corso di Progettazione dei Sistemi Produttivi e Logistici, Università Cattaneo Castellanza (LIUC);
- [7] Dallari F., “*Le reti distributive (2): criteri di modellazione*”, slides del Corso di Progettazione dei Sistemi Produttivi e Logistici, Università Cattaneo Castellanza (LIUC);
- [8] “*Spedizione merce: fasi e strategie*”, sito web dell’azienda Mecalux, <https://www.mecalux.it/blog/spedizione-merce>;
- [9] Timme S.G., Williams-Timme C., “*The Real Cost of Holding Inventory*”, Supply Chain Management Review, 2003;
- [10] Campbell J.F., O’Kelly M.E., “*Twenty-Five Years of Hub location Research*”, 2012;
- [11] O’Kelly M.E., “*Hub Facility Location With Fixed Costs*”, 1992;
- [12] Grilli L., “*Regressione (modello lineare)*”, slides del Corso di Statistica, Unifi, 2019;
- [13] “*Top European Logistics Hub*”, Colliers International, 2013;
- [14] Skender H.P., Zaninović P.A., Lolić A., “*The Importance of Logistic Distribution Centers as Nodes in Logistics Networks*” 2019;
- [15] “*Infrastrutture: un game changer delle relazioni internazionali*”, ISPI dossier, 2018;
- [16] “*The Changing Face of Distribution*”, Cushman&Wakefield, 2019.