

Utilizzo di ambienti applicativi per le strategie di pianificazione dei percorsi nella GDO¹

Valentina Alloisio, Anna Sciomachen

Sommario: 1. La logistica nelle imprese della Grande Distribuzione Organizzata – 2. Problemi di routing nella distribuzione delle merci – 3. Tipologie di Vehicle Routing Problem – 4. Formulazione matematica del problema di VRP – 5. Presentazione dell'azienda di riferimento: Sogegross S.p.a. – 6. Primo caso di studio: MPL applicato alla realtà operativa della Piattaforma Surgelati – 7. Secondo caso di studio: Travel applicato alla realtà operativa della Piattaforma di Genova Bolzaneto – 8. Considerazioni conclusive – Bibliografia.

Abstract

Logistics within large-scale retailing companies is both an extremely complex activity and of great significance for the attainment of business objectives.

In the last decade there has been an increasingly significant effort within Operations Research in the field of optimization techniques in various stages of outbound logistics planning and monitoring. The abundant number of applications developed in many company situations show that the use of automated techniques for distribution process planning allows radical rationalization of resources dedicated to transport and handling of goods, leading to savings as relevant as 5% to 20% of total transportation costs.

In this article we focus the problem of distribution of goods from warehouses to customers, also known as Vehicle Routing Problem (VRP). We evaluate the performance of some optimization tools on the daily deliveries planning of a large-scale retailing companies, well known in Liguria, and the impact that the use of such tools could have on the final logistics costs.

¹ Il presente lavoro è frutto di una attività di stage svolta nell'ambito del Premio di Laurea Magistrale "Augusto Gattiglia" indetto da Sogegross S.p.a. in collaborazione con la Facoltà di Economia dell'Università degli Studi di Genova.

1. La logistica distributiva delle imprese della Grande Distribuzione Organizzata

A partire dagli anni '80, la logistica ha assunto un ruolo di grande rilievo nel sistema di management aziendale. La materia è stata ampiamente sviluppata dalla dottrina con la formulazione di definizioni, teorie e modelli che sono stati via via approfonditi ed aggiornati in forme sempre più sofisticate. Alla logistica sono stati riconosciuti compiti sempre più ampi, non solo relativi alla gestione delle mere operazioni di trasporto e stoccaggio dei beni fisici, ma anche centro funzionale nelle fasi del ciclo di approvvigionamento, produzione e vendita.

Con il termine logistica si intende l'insieme delle decisioni e delle attività relative alla pianificazione, organizzazione, gestione e controllo di un sistema finalizzato ad ottimizzare l'efficienza e l'efficacia del flusso fisico dei materiali e dei prodotti, e del flusso informativo ad essi relativo, dai fornitori degli input del processo produttivo fino agli utilizzatori finali degli output (Luceri, 1996).

La logistica delle imprese della Grande Distribuzione Organizzata (GDO) costituisce un'attività assai complessa e di assoluta rilevanza per gli obiettivi d'impresa. Particolarmente importante, e momento cruciale del processo produttivo delle imprese della GDO, è la logistica della distribuzione delle merci. Il presente lavoro si focalizza su quest'ultimo aspetto del processo logistico (Lugli e Pellegrini, 1995).

In termini generali, un'impresa della GDO ha per oggetto il trasferimento di beni e servizi dal produttore all'utilizzatore e pertanto svolge un'attività di intermediazione tra produzione e consumo. L'attività produttiva dell'impresa della GDO, mancando di un processo di trasformazione fisica dei prodotti, è costituita da una "trasformazione economica" dei beni; essa arricchisce i beni prodotti dall'industria, garantendone la disponibilità, nei tempi, nei luoghi e nelle modalità desiderate dal consumatore (Pellegrini, 1990).

Dalla funzione essenziale dell'attività distributiva discendono i contenuti stessi delle singole attività svolte dalla GDO, che consistono nel trasferire i beni dai luoghi di produzione a quelli di consumo, nel conservarli nel tempo in modo da immetterli nel mercato in ragione della graduale richiesta degli acquirenti e nel portarli a disposizione di questi ultimi secondo le modalità di assortimento, di pagamento e di consegna ad essi gradite (Sciarelli, 1969).

Alla luce di tutte queste considerazioni, l'efficacia e l'efficienza con cui si svolge l'attività commerciale sono strettamente correlate alla "qualità" con cui vengono gestite le attività logistiche.

La rilevanza della logistica nell'ambito del sistema di management delle imprese commerciali e, in particolare, in quelle della GDO operanti nel largo consumo, dipende dal fatto che la logistica diventa un'area privilegiata in cui possono essere ricercate importanti fonti di vantaggio competitivo². Numerosa

² Porter nel suo lavoro *Il vantaggio competitivo* (1985) ha illustrato l'importanza della logistica nella catena del valore di una generica azienda. La logistica aggiunge valore ad un bene: il valore che scaturisce dalla trasformazione di materie prime e assemblaggio di

letteratura ha evidenziato il ruolo della logistica nella creazione del vantaggio competitivo ed il suo supporto all'implementazione delle strategie aziendali; alcune indagini, ad esempio, hanno fatto emergere che i costi logistici del distributore incidono circa del 5% sul prezzo finale del prodotto (Penco, 2007).

Nel complesso processo logistico, che include tutte le operazioni di movimentazione e di stoccaggio, il trasporto rappresenta dunque una fase particolarmente critica e delicata; in un'ottica logistica il trasporto non può essere isolato dal resto del processo logistico ed il suo costo non può essere isolato dagli altri costi della logistica.

I problemi di pianificazione e gestione del trasporto merci su strada si pongono quindi, soprattutto in un'ottica di logistica integrata³, come problemi complessi, che possono essere efficacemente affrontati attraverso l'utilizzo di tecniche di Management Science.

Come già accennato, il trasporto vero e proprio è solo una delle fasi della distribuzione fisica delle merci dal produttore al consumatore. La logistica distributiva, ovvero l'organizzazione e l'implementazione della distribuzione fisica delle merci, deve comprendere anche la gestione di possibili magazzini intermedi, la movimentazione da magazzino a vettore e viceversa, la contrazione dei tempi e dei modi di consegna della merce al cliente.

I modelli matematici per questo tipo di problematiche devono quindi dare una descrizione, in qualche modo integrata, di tutto il processo di distribuzione fisica e considerare, oltre ai costi di trasporto, anche altri costi logistici, quali quelli legati alla permanenza della merce nei magazzini (*inventory costs*) ed alla movimentazione dei materiali (*handling costs*).

I problemi legati al processo distributivo sono caratterizzati dai seguenti aspetti:

1. la necessità di definire i percorsi da effettuare per trasportare fisicamente la merce tra diversi luoghi geografici, tipicamente i depositi, i magazzini o le piattaforme dei produttori o dei rivenditori e i punti di vendita;
2. l'esistenza di costi legati alla quantità, o al valore della merce considerata, che rendono non trascurabili le problematiche di gestione della merce, anche quando essa non viene trasportata;
3. la presenza di aspetti dinamici che impongono ripetute decisioni in un determinato intervallo di tempo.

parti; il valore che proviene dall'aver il bene a disposizione per il consumo nel luogo giusto e al momento giusto; il valore che proviene dal possedere/consumare il bene; il valore che è supportato da tutti i servizi connessi e soprattutto dall'insieme delle informazioni collegate.

³ La logistica assume un ruolo sempre più centrale e il suo obiettivo diventa quello di governare tutte le fasi del processo produttivo secondo una visione sistemica. In quest'ottica, la logistica integrata rappresenta un nuovo approccio di management in cui la singola azienda diventa parte di una rete di entità organizzative che integrano i propri processi di business per fornire prodotti, servizi e informazioni che creano valore per il consumatore.

I problemi di distribuzione fisica delle merci che rientrano nel contesto appena definito vengono indicati come problemi *Dynamic Routing and Inventory* (DRAI). Essi riguardano la gestione dell'approvvigionamento dei punti di vendita, distribuiti in un dato territorio, in un orizzonte temporale definito, considerando le problematiche relative sia al trasporto sia alla gestione dei magazzini. I decisori che affrontano un problema DRAI devono pertanto trovare risposte alle seguenti domande (Pallottino e Sciomachen, 1999):

- *quando* devono essere effettuate le spedizioni;
- *quanta* merce caricare in ogni veicolo e *quanto consegnare* al singolo cliente;
- *quale percorso* deve essere seguito da ogni veicolo per servire i propri clienti.

Naturalmente, i modelli proposti in letteratura possono considerare anche altre problematiche, come, ad esempio, quali e quanti veicoli utilizzare.

2. Problemi di vehicle routing nella distribuzione delle merci

L'ultimo decennio ha visto un crescente utilizzo di strumenti di ottimizzazione basati su metodi di Ricerca Operativa e tecniche di programmazione matematica per la gestione della fornitura di beni e servizi all'interno di sistemi distributivi. Il gran numero di applicazioni condotte in realtà aziendali, sia nel Nord America che in Europa, ha ampiamente dimostrato come l'utilizzo di procedure informatizzate per la pianificazione dei processi di distribuzione consenta una percentuale rilevante di risparmio sui costi totali di trasporto.

Il successo dell'utilizzo di tali metodi in questo settore è principalmente dovuto allo sviluppo dei sistemi informativi, sia hardware che software, ed alla loro crescente integrazione nei processi produttivi e commerciali. Un altro fattore di successo è rappresentato dal notevole sviluppo di modelli e strumenti algoritmici che si è verificato nell'ultimo decennio. Infatti, i modelli ora proposti consentono di riflettere molte delle caratteristiche dei problemi di distribuzione emerse nelle applicazioni al mondo reale, mentre gli algoritmi corrispondenti sono in grado di trovare buone soluzioni in tempi di calcolo accettabili.

Nell'ambito dei problemi di ottimizzazione presenti nella logistica distributiva, il presente lavoro si focalizza sul problema della distribuzione dei prodotti dai depositi ai punti di vendita, conosciuto come *Vehicle Routing Problem* (VRP).

La soluzione di un VRP richiede la determinazione di un insieme di viaggi, ciascuno effettuato da un solo veicolo, ciascuno avente origine e destinazione presso un deposito, e tale da soddisfare le richieste dei punti di vendita; devono inoltre essere rispettati diversi vincoli operativi imposti nella definizione dei viaggi, e propri della tipologia del servizio in oggetto. Obiettivo della soluzione del problema è principalmente la minimizzazione del costo totale di trasporto.

La rete stradale utilizzata per il trasporto è rappresentata da un *grafo*, in cui gli archi rappresentano i tratti stradali percorribili, e i nodi corrispondono ai punti della rete in cui sono localizzati i punti di vendita e i depositi. Gli archi del grafo

possono essere orientati o non orientati, a seconda che sia definito o meno il senso di marcia; a ciascun arco è associato il *costo di transito* (generalmente la lunghezza dell'arco e/o gli eventuali pedaggi) e il *tempo di viaggio* (dipendente dal tipo di veicolo e dall'orario in cui l'arco viene attraversato).

Ciascun punto di vendita è caratterizzato da:

- nodo del grafo in cui è localizzato;
- quantitativo di merce, anche di tipo diverso, che deve essere consegnata e/o raccolto;
- intervallo di tempo, detto *finestra temporale* in cui può essere servito (ad esempio orario di apertura, oppure orario in cui è ammesso l'accesso a zone a traffico limitato);
- tempi di carico/scarico della merce, eventualmente dipendenti dal tipo veicolo;
- eventuale sottoinsieme di veicoli che possono essere utilizzati per servirlo (ad esempio, in un centro storico urbano possono circolare solo veicoli di piccola dimensione).

I viaggi per rifornire i punti di vendita hanno origine e destinazione in uno o più depositi localizzati in nodi della rete stradale. Il numero e le tipologie dei veicoli di ciascun deposito, così come la quantità di merce che ciascun deposito è in grado di trattare, possono dipendere dal deposito stesso. In alcune applicazioni, ciascun deposito agisce in modo indipendente dagli altri; in questo caso i punti di vendita sono distribuiti tra i depositi, e i veicoli partono e ritornano allo stesso deposito.

Il trasporto della merce avviene servendosi di una flotta di veicoli che può avere dimensione prefissata o variabile nel caso sia possibile, se necessario, utilizzare anche veicoli di terzi. Ogni veicolo è caratterizzato da:

- deposito di appartenenza ed eventuale necessità di ritorno al deposito al termine del servizio;
- capacità di carico in peso, volume, numero di unità di imballaggio della merce (scatoloni, pallet, roll, ecc.);
- eventuale scomposizione in scomparti ed idoneità al carico di determinati tipi di merce (ad esempio merce deperibile su veicoli non refrigerati);
- modalità di carico/scarico e disponibilità a bordo di dispositivi per la movimentazione della merce (transpallet, pianali mobili, ecc.);
- impossibilità di transito in alcuni tratti stradali;
- costi (per km, ora, viaggio, ecc.).

I viaggi devono rispettare numerosi vincoli operativi, originati dalla natura del trasporto effettuato, dalle caratteristiche dei clienti e dei veicoli e dai contratti di lavoro del personale. Ad esempio, gli autisti utilizzati per la guida dei veicoli sono soggetti a vincoli di tipo sindacale diversi, ad esempio: orario di lavoro, numero e durata delle pause e possibilità di straordinario. Inoltre, è possibile considerare vincoli legati alla qualità del servizio, secondo quanto richiesto dai punti di vendita, ad esempio: rispetto dei tempi di consegna, preferenza di orario, evasione della richiesta, tipo d'imballaggio desiderato, eventuali supporti per la

movimentazione delle merci. È opportuno osservare, al riguardo, che i vincoli di tipo qualitativo, che spesso comportano un aggravio dei costi, sono generalmente inseriti in un modello a seguito di valutazioni specifiche del management, atte a valutare il trade-off tra costo logistico e qualità del servizio. Altri vincoli molto frequenti sono:

- i viaggi possono comprendere sia raccolta (pickup) che consegna (delivery) di merce, oppure una sola di tali attività;
- la visita ai punti di vendita deve avvenire entro le relative finestre temporali;
- può essere stabilita la durata (o lunghezza) massima del viaggio;
- possono essere stabilite delle precedenze nell'ordine di consegna dei punti di vendita; in particolare, può essere richiesto che un punto di vendita sia servito nello stesso viaggio, e dallo stesso veicolo, in cui vengono serviti altri specificati punti di vendita, oppure può essere richiesto che un punto di vendita sia visitato prima di altri.

La valutazione del costo complessivo dei viaggi e la verifica dei vincoli operativi imposti richiedono la conoscenza della distanza, o tempo di viaggio, che separa tra loro una qualunque coppia di punti di vendita oppure un punto di vendita e un deposito. A tal fine, considerando la rete stradale in oggetto, si definisce un grafo completo $G = (V, A)$, i cui nodi sono i nodi della rete stradale corrispondenti ai punti di vendita ed ai depositi. Per ciascuna coppia i e j di nodi del grafo esiste dunque un arco il cui peso c_{ij} rappresenta il costo del percorso minimo, in termini di distanza o tempo di percorrenza, tra i due nodi, misurato sulla rete stradale originaria. Si noti che per ogni arco $(i, j) \in A$ il costo c_{ij} viene calcolato come somma dei costi di viaggio degli archi che appartengono al cammino minimo da i a j nella rete stradale; tale costo può essere simmetrico o asimmetrico a seconda che il percorso minimo tra i due nodi sia o meno uguale nelle due direzioni di percorrenza.

Gli obiettivi perseguiti nella soluzione di un VRP sono diversi, e spesso in contrasto tra loro. In particolare, obiettivi frequentemente considerati sono:

- minimizzazione del costo di trasporto complessivo, espresso come funzione della distanza totale percorsa, e/o del tempo di viaggio, e dei costi fissi associati all'utilizzo dei veicoli e degli equipaggi;
- minimizzazione del numero di veicoli, e/o autisti, necessari per garantire il servizio richiesto dai punti di vendita; omogeneità dei viaggi, in termini di distanza totale percorsa o del carico di lavoro associato;
- minimizzazione delle penalità associate a mancate consegne.

Sono trascorsi più di 50 anni da quando Dantzig e Ramser hanno introdotto il VRP, proponendone una prima formulazione di programmazione matematica ed il relativo approccio algoritmico. Alcuni anni dopo, nel 1964, Clarke e Wright hanno proposto un'efficace euristica di tipo "miope", che ha migliorato l'approccio originariamente proposto. Facendo seguito a questi due lavori embrionali, sono stati proposti centinaia di modelli ed algoritmi per determinare soluzioni sia

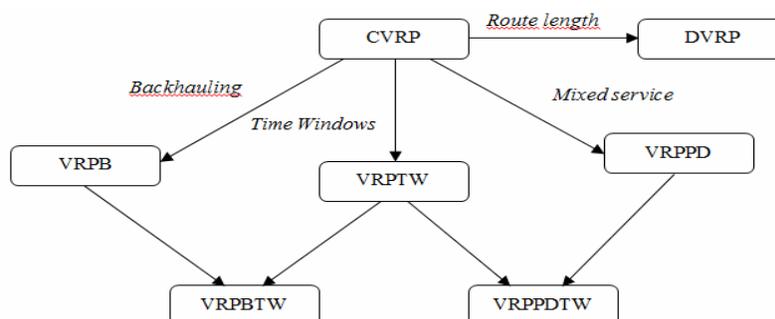
ottimali che approssimate alle diverse versioni del VRP. In particolare, i metodi comunemente utilizzati per la risoluzione di questa classe di problemi sono: *Branch-and-Bound* (Laporte et al 1986; Dell'Amico e Toth 2000); *Branch-and-Cut* (Padberg e Rinaldi 1991, Jünger et al. 1995a; Jünger et al. 1995b; Caprara e Fischetti 1997); Algoritmi di *Set-Covering* (Balinski e Quandt 1964, Agarwal et al. 1989; Bixby 1998; Hadjiconstantinou et al. 1970); *Euristiche* (Christofides et al. 1980; Bodin et al 1983; Golden e Assad 1988; Fisher 1995; Aars e Lenstra 1997) e *Metaeuristiche* (Goldberg 1989; Davis 1991; Reeves 1993; Dorigo et al. 1996; Osman e Kelly 1996; Osman e Laporte 1996).

Gli ambienti software attualmente in commercio per la risoluzione di VRP applicati al mondo reale si basano principalmente su metodi euristici e metaeuristici; tali strumenti consentono di trovare soluzioni di buona qualità per problemi di grandi dimensioni in tempi di calcolo abbastanza contenuti. È opportuno osservare, però, che ad oggi è possibile avere la certezza di risolvere in modo esatto un'applicazione di VRP in cui sono presenti solo qualche decina di punti di vendita (nodi).

3. Tipologie di Vehicle Routing Problem

Una classificazione delle diverse tipologie di problemi di VRP che hanno ricevuto una grandissima attenzione nella letteratura scientifica è riportata in Figura 1. Tra questi citiamo, dandone una breve descrizione: il *Capacitated VRP* (CVRP), che è il caso più semplice e studiato di questa famiglia di problemi; il *Distance-Constrained VRP* (DVRP); il *VRP con Time Windows* (VRPTW); il *VRP con Backhauls* (VRPB) e il *VRP con Pickup and Delivery* (VRPPD). Per una trattazione più completa sull'argomento si rimanda al volume di Toth e Vigo "The Vehicle Routing Problem".

Figura 1 – Classificazione dei problemi di base del VRP e loro interconnessioni.



Fonte: Toth P., Vigo D., *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, 2002.

Capacitated Vehicle Routing Problem.

Nel CVRP tutti i clienti (punti di vendita) corrispondono ad una consegna e le loro domande sono indivisibili e deterministiche, ossia note in anticipo. I veicoli sono omogenei, partono da un unico deposito centrale e presentano solamente vincoli di capacità. L'obiettivo del problema è la minimizzazione del costo totale, rappresentato da una funzione pesata del numero di percorsi e della loro lunghezza per servire tutti i clienti.

Formalmente, il CVRP è definito nel modo seguente. Sia $G = (V, A)$ un grafo completo, dove $V = \{0, \dots, n\}$ è l'insieme dei nodi; i nodi $i = 1, \dots, n$ corrispondono ai clienti, il nodo $i = 0$ corrisponde al deposito. A ogni cliente i , $i = 1, \dots, n$, viene associata una domanda nota (di merce) d_i che deve essere soddisfatta.

Un insieme di K veicoli omogenei, ciascuno con capacità C , è disponibile presso il deposito; si assume che $d_i \leq C$ per ogni cliente e che il numero di veicoli a disposizione presso il deposito sia sufficiente a garantire le consegne richieste da tutti i clienti. Ciascun veicolo può compiere un solo viaggio.

Il CVRP consiste nel trovare un insieme di K circuiti di costo minimo (ognuno corrispondente al percorso di un veicolo), definito come la somma dei costi associati agli archi appartenenti al circuito, e tale che:

- ciascun circuito visiti il nodo deposito;
- ciascun nodo cliente sia visitato esattamente da un circuito;
- la somma delle domande dei nodi visitati da un circuito non ecceda la capacità C del veicolo.

In una variante molto diffusa del problema, il numero K di veicoli disponibili può essere superiore al numero K_{\min} sicuramente necessario per soddisfare l'intera domanda; viene perciò eseguita una fase di selezione dei veicoli in base al loro costo. È opportuno osservare che, in questo caso, spesso all'utilizzo dei veicoli è associato un costo fisso; pertanto, la funzione obiettivo, volta alla minimizzazione dei costi totali di trasporto da sostenere, tende anche a minimizzare il numero dei percorsi, ovvero il numero dei veicoli utilizzati.

Un'altra variante del problema si ha quando la flotta dei veicoli non è omogenea, avendo, ad esempio, capacità diverse C_k , $k = 1, \dots, K$.

Distance-Constrained VRP.

Nel *Distance-Constrained VRP* (DVRP) è presente un vincolo di lunghezza o tempo massimo per ogni viaggio, per cui la lunghezza totale di ogni viaggio, data dalla somma delle lunghezze l_{ij} di ogni arco (i,j) del percorso, non deve eccedere la lunghezza massima stabilita L . Nel caso di flotta dei veicoli non omogenea, è possibile fissare lunghezze massime differenti, date da L_k , con $k = 1, \dots, K$, secondo il tipo di veicolo utilizzato. Alternativamente, nel caso in cui si consideri il tempo di viaggio dell'arco t_{ij} , è possibile aggiungere il tempo di servizio s_i , che

indica il periodo di sosta necessario del veicolo k presso il cliente i ; In questo caso l'obiettivo del problema è minimizzare la durata totale dei viaggi.

VRP con Time Windows.

Il *VRP con Time Windows* (VRPTW) è l'estensione del CVRP in cui a ciascun cliente i è associata una *finestra temporale* $[a_i, b_i]$, all'interno della quale il cliente deve essere servito. Generalmente sono dati: l'orario in cui i veicoli lasciano il deposito; il tempo di viaggio t_{ij} per ciascun arco $(i,j) \in A$; il tempo di servizio s_i per ciascun cliente, che deve iniziare all'interno della finestra temporale associata. In caso di arrivo anticipato presso il cliente i , al veicolo viene concesso di aspettare fino all'istante a_i , ossia fino a quando il servizio può avere inizio.

Il VRPTW consiste nel trovare un insieme di K circuiti a costo minimo tali che:

- ciascun circuito visiti il nodo deposito;
- ciascun nodo cliente sia visitato da un circuito;
- la somma delle domande dei nodi visitati da un circuito non ecceda la capacità C del veicolo;
- presso ogni cliente i , il servizio inizi all'interno della finestra temporale $[a_i, b_i]$ ed il veicolo sostenga presso il cliente per il tempo di servizio s_i .

VRP con Backhauls.

Il *VRP con Backhauls* (VRPB) è l'estensione del CVRP in cui i nodi clienti $i, i = 1, \dots, n$, vengono suddivisi in due sottoinsiemi. Il primo sottoinsieme F , contiene i clienti da servire nel viaggio di andata; ciascuno di essi richiede la consegna di una determinata quantità di prodotto. Il secondo sottoinsieme B , contiene i rimanenti clienti del viaggio di ritorno, presso i quali deve essere raccolta una determinata quantità di prodotto. Nel VRPB è presente un vincolo di precedenza tra i clienti del viaggio di andata e quelli del viaggio di ritorno: ogni qualvolta un viaggio serva entrambe le tipologie di clienti, tutti i clienti del viaggio di andata devono essere serviti prima di quelli del viaggio di ritorno. Il VRPB consiste quindi nel trovare un insieme di K circuiti a costo minimo tali che:

- ciascun circuito visiti il nodo deposito;
- ciascun nodo cliente sia visitato da un circuito;
- la somma delle domande dei nodi visitati da un circuito non ecceda la capacità C del veicolo;
- in ciascun circuito tutti i clienti del viaggio di andata precedano i clienti del viaggio di ritorno, se esistenti.

VRP con Pickup and Delivery.

Nella versione base del *VRP con Pickup and Delivery* (VRPPD), a ciascun cliente i vengono associate due quantità d_i e p_i che rappresentano, rispettivamente, la domanda di beni omogenei che deve essere consegnata e quella che deve essere raccolta presso il cliente i . Per ciascun cliente O_i denota il nodo origine della domanda di consegna, mentre D_i denota il nodo destinazione della domanda di raccolta.

Si assume che, presso ciascun cliente, la consegna sia effettuata prima della raccolta; pertanto, il carico corrente di un veicolo prima dell'arrivo a un determinato nodo è definito dal carico iniziale al netto delle domande già consegnate con l'aggiunta delle domande già raccolte.

Il VRPPD consiste nel trovare un insieme di K circuiti a costo minimo tali che:

- ciascun circuito visiti il nodo deposito;
- ciascun nodo cliente sia visitato da un circuito;
- il carico corrente del veicolo lungo il percorso non ecceda la capacità C del veicolo;
- per ciascun cliente i , il cliente O_i , quando non coincide con il deposito, sia servito nello stesso percorso e prima del cliente i ;
- per ciascun cliente i , il cliente D_i , quando non coincide con il deposito, sia servito nello stesso percorso e successivamente al cliente i .

4. Formulazione matematica del problema di VRP

I problemi di distribuzione delle merci esaminati in questo lavoro fanno riferimento a un generico CVRP, in cui occorre determinare i piani di consegna giornalieri di una certa tipologia di merce dai depositi centrali ai punti di vendita, avendo a disposizione una determinata flotta di veicoli.

Per arrivare alla formulazione del modello matematico sottostante, è necessario per prima cosa stabilire quali e quante sono le variabili decisionali del problema. Come nel caso di tutta la tipologia di problemi di CVRP qui analizzati, si considerano allo scopo, per ogni coppia di nodi e per ogni veicolo disponibile, le variabili decisionali binarie x_{ijk} , aventi il seguente significato:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se l'arco}(i,j) \in A \text{ è attraversato dal veicolo } k \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Inoltre, per ogni nodo e per ogni veicolo, si definiscono le variabili binarie y_{ik} con il seguente significato:

$$y_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se il cliente } i \text{ è servito dal veicolo } k \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

L'obiettivo del problema consiste nel minimizzare i chilometri totali percorsi dai mezzi utilizzati per le consegne della merce ai punti di vendita, riducendo altresì i costi di trasporto, nel rispetto di tutti i vincoli associati ai veicoli, ai punti vendita e alle ore di guida degli autisti. Si ottiene pertanto la seguente formulazione:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j c_{ij} \sum_k x_{ijk}$$

dove: i e j sono, rispettivamente, il nodo origine ed il nodo destinazione di ogni tratta, rappresentata da un arco del grafo; k è l'indice del veicolo, mentre c_{ij} è il coefficiente di costo chilometrico da i a j .

I vincoli considerati sono i seguenti:

1. Ogni punto vendita deve essere visitato una sola volta da un solo veicolo:

$$\sum_k y_{ik} = 1 \quad \forall i \in V \setminus \{0\}$$

2. Il deposito deve essere visitato da tutti i veicoli utilizzati:

$$\sum_k y_{0k} = K$$

3. In ciascun nodo entra ed esce lo stesso veicolo:

$$\sum_j x_{ijk} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, K$$

$$\sum_j x_{jik} = y_{ik} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, K$$

4. La somma delle quantità richieste dai punti di vendita serviti da uno stesso veicolo non può eccedere la capacità del veicolo stesso:

$$\sum_k d_i y_{ik} \leq C_k \quad \forall k = 1, \dots, K$$

5. La capacità del veicolo che effettua la consegna presso un punto di vendita non può essere superiore alla capacità massima compatibile con il punto di vendita:

$$C_k y_{ik} \leq C_i$$

6. Le ore di guida consecutive di un autista non possono essere superiori a un limite massimo t fissato per legge (attualmente 10):

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ijk} \leq t^* v_k \quad \forall k = 1, \dots, K.$$

Si noti che per formulare questo vincolo è necessario calcolare il numero massimo di chilometri percorribili da un veicolo, e quindi da un autista, nel limite orario t , considerando una velocità media v_k del veicolo.

5. Presentazione dell'azienda di riferimento: Sogegross S.p.a.

Nei prossimi paragrafi viene valutata l'efficacia dell'utilizzo di due ambienti software di ottimizzazione e simulazione per la pianificazione dei percorsi in differenti scenari della realtà operativa di Sogegross.

Il Gruppo Sogegross, fondato da Ercole Gattiglia, nasce a Genova nel 1920 come semplice negozio di bar-drogheria nel quartiere di San Martino e si evolve negli anni fino a diventare una delle più importanti imprese della GDO sulla scena nazionale. Oggi il Gruppo mantiene il suo centro direzionale a Genova ed è attivo nella maggior parte delle regioni del Centro-Nord Italia, con oltre 2.450 addetti, 5 canali, 8 piattaforme (una a Serravalle Scrivia dedicata al No Food e alla frutta secca, una a Tortona dedicata ai Generi Vari e ai deperibili, una a Brignano d'Adda dedicata al grocery, una in Località Genova Struppa dedicata ai prodotti surgelati, e quattro a Genova Bolzaneto dedicate all'ortofrutta, alle carni, ai prodotti ittici e ai formaggi), più di 220 punti vendita, di proprietà e affiliati, e una presenza capillare in tutte le tipologie di canale distributivo. In particolare: Cash&Carry (marchio Sogegross), supermercati e superstore (marchio Basko), soft discount (marchio Ekom), supermercati e superette in franchising (marchio Doro), e-commerce.

Come primo caso di analisi, consideriamo il modello, e la soluzione corrispondente, relativo a una "piattaforma surgelati" di proprietà di terzi, sita in località Struppa nel Comune di Genova. Il modello è formulato utilizzando l'ambiente software di ottimizzazione "Mathematical Programming Language" (MPL), distribuito dalla Maximal Software.

Successivamente, valuteremo l'utilizzo del software TRAVEL, fornito da Optisoft S.r.l., per la pianificazione giornaliera delle consegne della merce dal deposito di Bolzaneto (IANUA) ai punti di vendita della rete.

6. Primo caso di studio: MPL applicato alla realtà operativa della Piattaforma Surgelati

Attualmente le consegne ai punti di vendita dei prodotti surgelati sono affidate ad un vettore esterno che, una volta raccolti gli ordini, provvede ad assegnare le merci ai propri mezzi, secondo criteri che consentano di soddisfare le richieste dei punti di vendita, contenendo il più possibile i costi.

I prodotti surgelati, diversamente dai freschi, sono una tipologia merceologica abbastanza flessibile per quanto riguarda l'orario di consegna, anche se i punti di vendita normalmente preferiscono ricevere questi prodotti prima dell'apertura al pubblico. Ciò nonostante, in un'ottica di minimizzazione dei costi di trasporto legati ai prodotti surgelati, questa richiesta di servizio, facilmente implementabile in un modello di CVRP, può essere trascurata se la conseguente riduzione di costo dovesse essere tale da giustificarne da parte del management il mancato soddisfacimento.

Altra peculiarità di questa tipologia merceologica consiste nel fatto che i prodotti surgelati devono essere mantenuti a determinate temperature per tutto il trasporto; conseguentemente, poiché l'apertura del camion a ogni consegna comporta un'alterazione della temperatura, con la possibilità di deterioramento delle confezioni, ad ogni mezzo possono essere attribuite solo un numero limitato di consegne, in modo da ridurre al minimo le aperture del portellone del camion. Anche questa problematica è tuttavia risolvibile attraverso alcuni accorgimenti, come la suddivisione dello spazio sul camion con l'introduzione di paratie che consentono di salvaguardare la temperatura delle consegne successive.

Le caratteristiche appena evidenziate, aggiunte al fatto che generalmente gli ordini dei prodotti surgelati sono composti da un numero esiguo di colli, fanno sì che molto spesso la saturazione dei mezzi sia decisamente bassa e che venga utilizzato un numero di camion superiore a quello che occorrerebbe se fosse affrontato meglio il problema della saturazione dei mezzi.

Caso di studio: Area del Piemonte, della Lombardia e della Valle d'Aosta.

Il caso di studio qui esaminato considera 18 punti di vendita (nodi cliente), dislocati nelle regioni del Piemonte, della Lombardia e della Valle d'Aosta, e il deposito dei prodotti surgelati situato nella località Struppa di Genova (Fig.2).

I veicoli utilizzati sono 3, aventi capacità pari a 21 roll, che corrisponde alla dimensione più piccola dei mezzi a disposizione del vettore che ha in gestione la piattaforma surgelati. Tale capacità è compatibile con tutti i punti di vendita considerati ed è sufficiente a soddisfare la domanda di tutti i clienti che, come si può osservare nella Tab.1, è costituita da pochi roll di merce (25 in totale).

In Tab.1 è riportato l'elenco dei punti di vendita appartenenti alla macro area oggetto dell'analisi con indicazione dell'indirizzo, della provincia di appartenenza, dei colli di merce richiesti, dei corrispondenti roll e della capacità massima del

veicolo che sono in grado di accogliere. Le distanze, in chilometri, tra il deposito e i punti di vendita e tra tutti i punti di vendita dell'area sono riportate in Tab.2.

Figura 2 – Visualizzazione dei punti di vendita.



Tabella 1 – Elenco punti vendita e rispettive caratteristiche.

CODICE PDV	INDIRIZZO	PROVINCIA	COLLI	ROLLS	CAPACITA' MAX MEZZO
366	CORSO UMBRIA	TO	39	1	36
508	STRADA SAN MAURO	TO	26	1	36
576	CORSO LODI	MI	99	2	36
602	VIA CLIVIO	VA	77	2	36
606	VIA PETRARCA	VA	29	1	36
607	VIA GARIBALDI	AL	14	1	36
620	VIA CORDARA	AL	15	1	24
657	VIA PAPA GIOVANNI XXIII	BI	35	1	54
671	VIA CAMBIANO	TO	31	1	27
709	VIA CHANOUX	AO	13	1	24
746	CORSO VERCELLI	TO	43	1	54
810	VIA ABBATE	AT	41	1	54
812	CORSO ASTI	AT	36	1	36
848	STRADA STATALE 457 ASTI-C	AL	128	3	54
1142	VIA MAGGIORA	AT	95	2	54
1143	STRADA PER BIANDRATE	NO	55	1	54
600020	VIA E. CHANOUX	AO	54	2	36
601040	VIA MADONNA DEL ROSARIO	TO	70	2	36

Si vuole verificare se, a parità di veicoli utilizzati nella realtà, sia possibile ottenere una razionalizzazione dei percorsi con un risparmio in termini di chilometri e, conseguentemente, di costo del trasporto.

Formulazione del problema con MPL.

MPL è un linguaggio di programmazione ad alto livello che permette di formulare in modo semplice ed intuitivo modelli di ottimizzazione lineare. Tramite MPL si possono definire modelli specifici con dati assegnati, oppure modelli più generali, che vengono associati di volta in volta ai dati acquisiti da file esterni.

La struttura di un file MPL è composta da due parti fondamentali, ognuna delle quali è suddivisa in diverse sezioni. La prima parte consiste nella definizione del problema e comprende il nome del modello, gli indici del problema, i dati, le variabili e le funzioni macro riutilizzabili nelle varie espressioni. La seconda parte descrive il modello vero e proprio, ovvero funzione obiettivo, vincoli del problema, estremi superiori e inferiori delle variabili, tipologia delle variabili (continue, discrete, binarie).

Tabella 2 – Matrice delle distanze.

	366	508	576	602	606	607	620	657	671	709	746	810	812	848	1142	1143	600020	601040	DEP
366	0,0	8,0	154,0	166,0	141,0	139,0	113,0	68,1	1,7	63,3	56,9	100,0	104,0	99,2	79,6	94,7	91,2	45,0	197,0
508	8,8	0,0	151,0	163,0	138,0	117,0	91,0	64,9	6,4	63,0	51,0	78,5	81,4	96,6	58,0	92,1	85,9	39,7	175,0
576	155,0	149,0	0,0	70,3	51,0	97,4	89,5	108,0	152,0	149,0	126,0	142,0	124,0	119,0	121,0	67,4	172,0	135,0	148,0
602	167,0	162,0	71,0	0,0	28,2	159,0	160,0	120,0	165,0	161,0	139,0	200,0	182,0	131,0	179,0	101,0	184,0	148,0	244,0
606	142,0	136,0	51,3	28,3	0,0	140,0	135,0	94,7	139,0	136,0	113,0	174,0	156,0	105,0	154,0	78,3	159,0	122,0	190,0
607	139,0	148,0	94,3	156,0	137,0	0,0	23,9	121,0	140,0	149,0	127,0	86,8	54,0	63,6	66,3	101,0	172,0	136,0	65,4
620	109,0	86,7	89,6	155,0	130,0	24,5	0,0	100,0	111,0	129,0	106,0	58,0	32,7	43,4	37,5	80,8	152,0	115,0	96,3
657	69,6	63,6	108,0	120,0	95,1	122,0	96,3	0,0	66,8	50,0	21,2	136,0	118,0	66,9	115,0	49,0	73,0	32,8	180,0
671	1,9	7,1	153,0	165,0	139,0	143,0	117,0	66,4	0,0	65,3	53,3	105,0	108,0	97,9	84,3	93,4	88,3	42,1	201,0
709	68,2	61,7	150,0	162,0	137,0	150,0	124,0	38,6	66,0	0,0	28,0	162,0	146,0	94,9	143,0	90,8	26,5	30,2	208,0
746	55,0	47,8	128,0	140,0	115,0	128,0	102,0	21,1	52,2	28,5	0,0	142,0	124,0	72,7	121,0	68,6	19,5	11,5	185,0
810	101,0	78,7	142,0	200,0	175,0	87,1	60,7	136,0	102,0	162,0	142,0	0,0	16,9	79,1	25,3	117,0	185,0	139,0	145,0
812	104,0	81,5	125,0	182,0	157,0	56,6	33,7	118,0	105,0	147,0	124,0	17,9	0,0	61,2	28,1	98,6	170,0	133,0	114,0
848	101,0	96,0	120,0	131,0	106,0	63,9	38,4	66,5	99,2	95,3	72,9	77,8	60,1	0,0	57,3	47,3	118,0	81,7	122,0
1142	80,4	58,2	121,0	179,0	155,0	66,6	40,2	115,0	81,9	144,0	122,0	24,9	27,7	58,6	0,0	96,0	165,0	119,0	124,0
1143	95,8	90,4	56,0	102,0	77,2	114,0	88,5	48,9	93,6	89,9	67,0	128,0	110,0	59,0	107,0	0,0	113,0	76,2	172,0
600020	93,7	87,1	175,0	188,0	162,0	175,0	149,0	76,0	91,4	29,4	19,4	187,0	171,0	120,0	167,0	116,0	0,0	55,6	233,0
601040	45,2	38,6	135,0	147,0	122,0	135,0	109,0	32,5	43,0	29,5	11,3	139,0	131,0	79,6	118,0	75,5	52,6	0,0	192,0
DEP	197,0	206,0	143,0	244,0	186,0	59,6	96,6	180,0	198,0	208,0	185,0	145,0	113,0	122,0	124,0	160,0	231,0	194,0	0,0

Dopo aver risolto il problema, MPL crea automaticamente un file contenente, nella parte iniziale, alcuni dati statistici relativi al modello; tra le informazioni riportate vi sono: il nome del file, la data e il tempo di calcolo impiegato per risolvere il modello, quale risolutore è stato usato, il valore della funzione obiettivo ed il numero totale di variabili e vincoli del modello. La parte successiva riporta i dati relativi alla soluzione del problema. A titolo esemplificativo, viene qui riportata la formulazione con MPL del problema di CVRP analizzato.

```
TITLE
Vehicle_Routing_Problem

INDEX
nodo:=(n1,n2,n3,n4,n5,n6,n7,n8,n9,n10,n11,n12,n13,n14,n15,n16,n17,n18,D);
i:=nodo;
j:=nodo;
k:=(v1,v2,v3);

DATA
domanda[nodo<D]:=DATAFILE("domanda3.dat");
chilometri[i,j]:=DATAFILE("chilometri3.dat");
capacita_pdv[nodo<D]:=DATAFILE("capacita_pdv3.dat");
capacita_veicolo[k]:=DATAFILE("capacita_veicoli3.dat");

X[i,j,k] WHERE (chilometri[i,j]>0);
Y[nodo,k];

MODEL
MIN km_tot:=SUM(i,j,k:chilometri*X);

SUBJECT TO
Vincolo_visita_cliente[nodo<D]:SUM(k:Y)=1;
Vincolo_visita_deposito[nodo=D]:SUM(k:Y)=3;
Vincolo_veicolo_entrante[nodo,k]:(SUM(i:X))=Y;
Vincolo_veicolo_uscente[nodo,k]:(SUM(j:X))=Y;
Vincolo_capacita[k]:SUM(nodo<D:domanda*Y)<=capacita_veicolo;
Vincolo_capacita_pdv[nodo<D,k]:capacita_veicolo*Y<=capacita_pdv;
Vincolo_km_max[k]:SUM(i,j:chilometri*X)<=550;

BINARY
X;
Y;

END
```

La soluzione ottenuta con MPL vede la presenza di sotto-cicli, tipici di questa tipologia di problema, che corrispondono a più viaggi disgiunti effettuati con lo stesso mezzo e non collegati al nodo deposito. Essendo tale soluzione non ammissibile, si è proceduto pertanto all'inserimento progressivo dei cosiddetti vincoli di eliminazione dei sotto-cicli, fino a quando il risolutore non ha fornito una soluzione ottimale, costituita da tre viaggi, ciascuno comprendente il nodo deposito. I sotto-cicli sono stati eliminati imponendo l'eliminazione di almeno un arco in ogni ciclo formatosi nella soluzione ottimale, nel nostro caso 102. Si è alla fine ottenuta la seguente soluzione ottimale:

MPL Modeling System - Copyright (c) 1988-2000, Maximal Software, Inc.

```
MODEL STATISTICS
Problem name:  Vehicle_Routing_Problem
Filename:      VRP.mpl
Date:          June 1, 2011
Time:          16:35
Parsing time:  4.39 sec
Solver:        CPLEX
Objective value: 1262.40000000
Iterations:    128584
Integer nodes: 16080
Solution time: 5 min, 6 sec
Constraints:   109576
Variables:     1083
```

Integers:	1083			
Nonzeros:	539442			
Density:	0.5 %			
SOLUTION RESULT				
MIN Z =	1262.4000			
MACROS				
Macro Name		Values		

km_tot	1262.4000			

DECISION VARIABLES				
VARIABLE X[i,j,k] :				
i	j	k	Activity	Reduced Cost

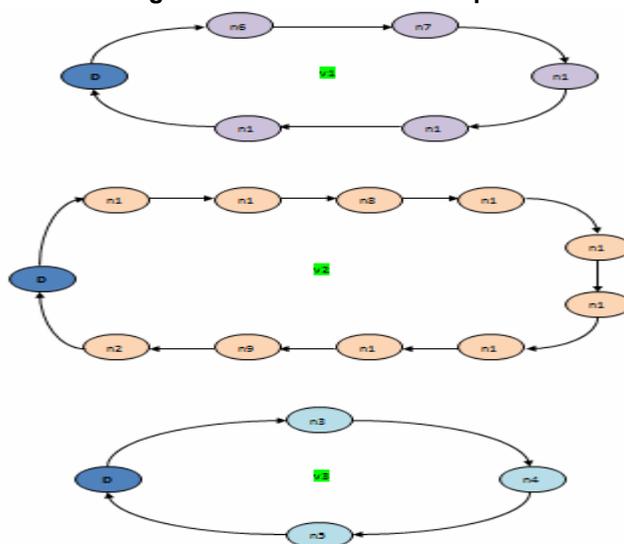
n1	n9	v2	1.0000	0.0000
n2	D	v2	1.0000	-6.2000
n3	n4	v3	1.0000	0.0000
n4	n5	v3	1.0000	0.0000
n5	D	v3	1.0000	17.2000
n6	n7	v1	1.0000	144.1000
n7	n13	v1	1.0000	0.0000
n8	n11	v2	1.0000	0.0000
n9	n2	v2	1.0000	276.7000
n10	n18	v2	1.0000	0.0000
n11	n17	v2	1.0000	0.0000
n12	n15	v1	1.0000	0.0000
n13	n12	v1	1.0000	0.0000
n14	n16	v2	1.0000	0.0000
n15	D	v1	1.0000	0.0000
n16	n8	v2	1.0000	0.0000
n17	n10	v2	1.0000	0.0000
n18	n1	v2	1.0000	0.0000
D	n3	v3	1.0000	24.0000
D	n6	v1	1.0000	0.0000
D	n14	v2	1.0000	54.5000

VARIABLE Y[nodo,k] :				
nodo	k	Activity	Reduced Cost	

n1	v2	1.0000	0.0000	
n2	v2	1.0000	0.0000	
n3	v3	1.0000	0.0000	
n4	v3	1.0000	0.0000	
n5	v3	1.0000	0.0000	
n6	v1	1.0000	0.0000	
n7	v1	1.0000	0.0000	
n8	v2	1.0000	0.0000	
n9	v2	1.0000	0.0000	
n10	v2	1.0000	0.0000	
n11	v2	1.0000	0.0000	
n12	v1	1.0000	0.0000	
n13	v1	1.0000	0.0000	
n14	v2	1.0000	0.0000	
n15	v1	1.0000	0.0000	
n16	v2	1.0000	0.0000	
n17	v2	1.0000	0.0000	
n18	v2	1.0000	-10.2000	
D	v1	1.0000	234.4000	
D	v2	1.0000	164.1000	
D	v3	1.0000	240.0000	

Guardando il file della soluzione prodotto da MPL nella parte “Model Statistics”, si evince che il modello relativo all’istanza del VRP analizzato ha 1.083 variabili e 109.576 vincoli; il risolutore CPLEX ha impiegato 5 minuti e 6 secondi per trovare la soluzione ottima, che corrisponde ad un percorso totale di 1.262,40 chilometri. Si noti che la soluzione ottima del problema fornita da MPL corrisponde a un vero e proprio piano di consegne, dove viene indicato per ciascun veicolo l’ordine con cui i clienti ad esso associati devono essere visitati, nel rispetto di tutti i vincoli imposti (Fig.3).

Figura 3 – Visualizzazione grafica della soluzione del problema.



Di seguito (Fig.4) viene riportato il confronto della soluzione fornita da MPL con le consegne attualmente effettuate da Sogegross.

Questo piccolo esempio di ottimizzazione dei percorsi dimostra come strumenti di questo tipo possano effettivamente aiutare a razionalizzare i tragitti dei viaggi di consegna, arrivando ad una diminuzione delle distanze totali e, quindi, ad una riduzione dei costi di trasporto. In particolare, il veicolo 1, che nella realtà ha percorso 286,30 km, nella soluzione proposta da MPL percorrerebbe 283,40 km; il veicolo 2 percorrerebbe 547,50 km rispetto ai 540,80 km effettivi, mentre il veicolo 3 percorrerebbe 431,50 km anziché 498,80.

Si noti che i tragitti determinati da MPL consentono un risparmio chilometrico di 63,50 km, corrispondente al 5%, rispetto a quelli effettivamente pianificati, con una conseguente riduzione dei costi di trasporto sostenuti per tali giri di consegna pari al 2,2%. In termini assoluti questi risparmi sembrano del tutto irrilevanti; considerando, però, la numerosità dei viaggi effettuati nell’arco dell’anno, ed i possibili risparmi derivanti da un’ottimizzazione dei tragitti dei viaggi di

consegna, il risparmio sul costo di trasporto annuo arriva ad essere sicuramente non trascurabile.

Figura 4 – Confronto tra realtà e simulazione.

Situazione Attuale			Simulazione		
ORDINE	PDV	LOCALITA'	ORDINE	PDV	LOCALITA'
1	657	CERRIONE	1	576	MILANO
2	746	IVREA	2	602	VIGGIU'
3	709	PONT ST. MARTIN	3	606	ALBIZZATE
4	600020	CHATILLON	1	607	NOVILIGURE
5	601040	STRAMBINO	2	620	ALESSANDRIA
6	366	TORINO	3	812	NIZZA MONFERRATO
7	671	TORINO	4	810	CASTAGNOLE DELLE LANG
8	508	TORINO	5	1142	ASTI
1	848	CASALE MONFERRATO	1	848	CASALE MONFERRATO
2	1143	NOVARA	2	1143	NOVARA
3	602	VIGGIU'	3	657	CERRIONE
4	606	ALBIZZATE	4	746	IVREA
5	576	MILANO	5	600020	CHATILLON
1	812	NIZZA MONFERRATO	6	709	PONT ST. MARTIN
2	810	CASTAGNOLE DELLE LANG	7	601040	STRAMBINO
3	1142	ASTI	8	366	TORINO
4	620	ALESSANDRIA	9	671	TORINO
5	607	NOVI LIGURE	10	508	TORINO

Km totali: 1.325,90
Costo totale: 1.086,50 €

Km totali: 1.262,40
Costo totale: 1.062,90 €

È opportuno, però, osservare che l'utilizzo di modelli esatti per la risoluzione di problemi della classe del VRP, formulati con uno strumento di ottimizzazione come MPL, benché porti a risultati positivi, non sia applicabile a tutti i contesti aziendali. Infatti, l'inserimento dei vincoli di eliminazione dei sotto-cicli (il cui numero cresce esponenzialmente con il numero dei nodi del grafo considerato) può richiedere molto tempo, e, soprattutto, necessita di una certa conoscenza dei modelli di ottimizzazione da parte del suo utilizzatore. Si ritiene, invece, consigliabile l'utilizzo di MPL in una realtà operativa complessa come quella di un'impresa della GDO nella pianificazioni di viaggi a medio termine.

7. Secondo caso di studio: Travel applicato alla realtà operativa della Piattaforma di Genova Bolzaneto)

Il centro distributivo localizzato a Genova Bolzaneto può essere definito come una "piattaforma nella piattaforma", essendo divisa in quattro sezioni, ognuna corrispondente ad uno specifico reparto merceologico. In particolare sono presenti:

- CEDEP: centro distribuzione prodotti deperibili;
- COF: centro distributivo dei prodotti ortofrutticoli;
- CEDI FISH: piattaforma distributiva dei prodotti ittici;
- CEDI CARNI: centro distributivo per le carni fresche.

Ogni giorno dalla piattaforma di Genova Bolzaneto i punti di vendita clienti di Sogegross vengono riforniti di tutte e quattro le tipologie merceologiche trattate (in aggiunta al grocery e alla frutta secca, soprattutto nel periodo natalizio, provenienti dalle altre piattaforme del Gruppo). Appare dunque evidente la complessità della gestione di questa attività e l'importanza di ben calibrare gli assegnamenti dei vari punti vendita ai giri di consegna.

Descrizione del caso di studio.

Il problema dell'instradamento dei veicoli è stato ricondotto a un problema di CVRP, caratterizzato da una serie di vincoli eterogenei che non sono di solito considerati in modo estensivo nei metodi diretti e che, esistendo nelle applicazioni reali, rendono il problema più complesso. In particolare, il problema descritto è caratterizzato da:

- una flotta eterogenea di veicoli con differenti dimensioni e diversi costi di viaggio;
- un elevato numero di punti vendita da servire (più di 220 clienti);
- vincoli legati agli orari di consegna specifici di ciascun punto di vendita;
- vincoli di caricamento del mezzo in funzione del percorso;
- vincoli di incompatibilità punto vendita visitato/tipologia di mezzi;
- vincoli di incompatibilità tipologia di merce/tipologia di merce;
- vincoli legati alle ore di guida degli autisti.

La progettazione della procedura risolutiva ha previsto l'elaborazione di un piano di spedizioni basato sugli ordini provenienti dai punti di vendita, al fine di stabilire un piano di viaggi dai magazzini ai punti di vendita nel rispetto di tutti i vincoli. In particolare, il piano dei viaggi fornito in output determina l'assegnamento degli ordini ai veicoli, la sequenza di consegna sui percorsi ed il mezzo più adeguato da utilizzare.

È opportuno osservare che il piano dei viaggi deve essere predisposto giornalmente con i dati relativi agli ordini, che si rendono disponibili solo con poco anticipo rispetto alle elaborazioni successive che l'azienda deve effettuare; per questo motivo, i tempi di calcolo per la determinazione dei piani di viaggio devono essere necessariamente molto rapidi. La procedura risolutiva prevede diversi criteri di ottimizzazione, tra i quali la minimizzazione del costo di trasporto, dei chilometri percorsi e del numero di veicoli utilizzati. Nel caso del problema in oggetto, l'obiettivo finale è massimizzare il numero di ordini consegnati, razionalizzando le risorse a disposizione nell'orizzonte temporale considerato e minimizzando i costi.

Formulazione del problema con Travel.

TRAVEL è un ambiente software sviluppato per pianificare i viaggi stradali di una flotta di automezzi utilizzati per la consegna di merci e per il successivo controllo dei costi e l'analisi delle operazioni coinvolte nel trasporto. Grazie ad un innovativo metodo di ottimizzazione, e ad una dettagliata mappa stradale, TRAVEL è in grado di ridurre significativamente i costi di trasporto, pur rispettando i vincoli esistenti nel contesto applicativo visti in precedenza.

L'algoritmo di ottimizzazione che presiede alla risoluzione del problema determina una serie di viaggi partendo dagli ordini da evadere, dai clienti da raggiungere e dai mezzi disponibili nel periodo di pianificazione.

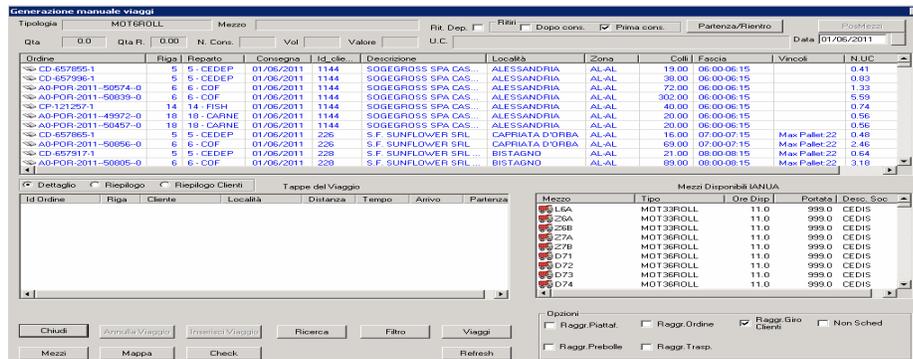
Per poter avviare la pianificazione è necessario impostare correttamente i dati necessari al funzionamento del software. I primi dati da selezionare per impostare il problema con TRAVEL sono la data ed il deposito per il quale è richiesta la pianificazione. È quindi necessario impostare i parametri relativi al risolutore, quali il tipo di funzione obiettivo e il tempo massimo per l'esecuzione dell'algoritmo. Ad esempio, si inserisce un valore da 0 a 9 per stabilire il peso che si vuole dare nella funzione obiettivo alla minimizzazione dei costi, alla ripartizione equilibrata dei carichi tra i mezzi, al rispetto delle consegne, alla ottimizzazione geografica del viaggio, alla minimizzazione del numero dei viaggi.

Una volta impostati correttamente tutti i dati relativi sia allo scenario operativo che al risolutore, si procede con l'esecuzione dell'algoritmo.

Grazie alla possibilità offerta da TRAVEL di predisporre manualmente i viaggi, è stato possibile effettuare alcune simulazioni ex post, necessarie per "tarare" il software sulla base delle peculiarità e delle esigenze della Sogegross, soprattutto in termini di conversione dei colli in pallet e roll effettivi. In particolare, nella modalità di pianificazione "manuale" dei viaggi (Fig.5) vengono visualizzati i mezzi a disposizione, le tappe del viaggio e le righe degli ordini che devono essere spediti. Innanzitutto, è necessario selezionare un mezzo, tra quelli presenti nell'elenco dei mezzi disponibili, che sia compatibile con le caratteristiche dei punti di vendita inseriti nel viaggio in via di definizione. Successivamente, si seleziona la riga d'ordine che si intende spedire dall'elenco dato. Infine, si "inserisce" il viaggio così programmato in modo da memorizzarlo.

Una volta inseriti i viaggi si passa alla fase di controllo della corrispondenza delle unità di carico effettivamente spedite con quelle proposte dal simulatore.

Figura 5 – Generazione manuale dei viaggi.



Dalle simulazioni effettuate è emersa con molta chiarezza la maggiore criticità di questo strumento software, ovvero la necessità di trovare i valori medi dei colli contenuti nei vari tipi di supporti. È comunque opportuno osservare che è molto difficile riuscire ad avere a disposizione un dato esatto relativo ai colli, in quanto molteplici fattori possono influenzarlo, come ad esempio: la tipologia merceologica, il tipo di confezione, la stagionalità, la dimensione del punto di vendita. In Tab3. sono riportati alcuni risultati ottenuti nella fase di test del software che evidenziano quanto appena affermato (Tab.3).

Tabella 3 – Esempio 1.

Piattaforma	Data partenza	Targa	Portata (ROLL)	Cod. P.d.V.	PAL reali	ROL reali	RBX reali	BIN reali	M CB reali
IANUA	03/05/2011	BR831ME	35	609		4			
				48		5			
				516	3	1	1		
				TOT	3	10	1	0	0

Piattaforma	Data partenza	Targa	Portata (ROLL)	Cod. P.d.V.	PAL travel	ROL travel	RBX travel	BIN travel	M CB travel
IANUA	03/05/2011	BR831ME	35	609		3			
				48		3			
				516	2	2	1		
				TOT	2	9	1	0	0

Da questi primi esempi emerge che TRAVEL fornisce un risultato simile a quello reale in termini assoluti con riferimento ai singoli punti di vendita; tuttavia, si sono verificati dei casi in cui è stata prodotta una conversione molto differente rispetto alla situazione reale (Tab.4).

Alla luce di questi risultati preliminari si è deciso di affinare le medie; in particolare, sono stati estratti i dati relativi ai colli movimentati ed ai supporti utilizzati nel 2010 da ciascun punto di vendita nei diversi mesi dell'anno, relativamente ad ogni tipologia merceologica. Una volta suddivisi i punti di vendita in quattro categorie in base alla dimensione, sono state calcolate le

medie mensili da importare nelle tabelle di calcolo del software TRAVEL. Si sono quindi effettuate altre simulazioni manuali ex post, per verificare la corrispondenza tra i supporti effettivamente spediti e quelli "simulati". Dai risultati ottenuti per le sezioni CEDEP, CARNE e FISH è emerso che le medie così calcolate, in generale, migliorano la conversione effettuata automaticamente dal software, con margini di errore dell'ordine di 1 supporto. Per quanto riguarda, invece, le medie calcolate per la sezione COF, non si sono ottenuti gli stessi risultati positivi. In questo caso, infatti, data l'elevata variabilità degli ordini e della tipologia di confezionamento di questa merce in ogni filiale, è particolarmente difficile trovare una media che porti la conversione del simulatore vicino alla realtà. Si è pertanto deciso di utilizzare una media colli generica, come nel caso della pianificazione manuale, in modo da limitare globalmente l'errore di conversione.

Tabella 4 – Esempio 2.

Piattaforma	Data partenza	Targa	Portata (ROLL)	Cod. P.d.V.	PAL reali	ROL reali	RBX reali	BIN reali	M CB reali
IANUA	03/05/2011	BT209HP	8	809		7			1
TOT					0	7	0	0	1

Piattaforma	Data partenza	Targa	Portata (ROLL)	Cod. P.d.V.	PAL travel	ROL travel	RBX travel	BIN travel	M CB travel
IANUA	03/05/2011	BT209HP	8	809	2	3			
TOT					2	3	0	0	0

Nelle tabelle seguenti (Tab.5, Tab.6, Tab.7, Tab.8) sono riportati, a titolo esemplificativo, alcuni risultati ottenuti, che danno evidenza di quanto detto precedentemente.

Tabella 5 – Risultati relativi ad alcuni punti vendita per il magazzino Cedep.

MAGAZZINO CEDEP				
PDV	COLLI	SUPPORTI REALI	SUPPORTI SIMULATI	ARROTONDAMENTO SUPPORTI SIMULATI
63	357	3	2,71	3
64	347,5	3	2,59	3
54	484,6	4	3,04	3
1136	104	1	0,56	1
1143	173,1	1	0,5	1
635	90,7	1	0,78	1

Tabella 6 – Risultati relativi ad alcuni punti vendita per il magazzino Fish.

MAGAZZINO FISH				
PDV	COLLI	SUPPORTI REALI	SUPPORTI SIMULATI	ARROTONDAMENTO SUPPORTI SIMULATI
33	15	1	0,62	1
39	5	1	0,21	1
69	37	2	1,54	2
1143	21	1	0,6	1
1144	10	1	0,29	1
506	25	1	1,04	1

Tabella 7 – Risultati relativi ad alcuni punti vendita per il magazzino Carne.

MAGAZZINO CARNE				
PDV	COLLI	SUPPORTI REALI	SUPPORTI SIMULATI	ARROTONDAMENTO SUPPORTI SIMULATI
69	116	3	3,1	3
72	27	1	1,03	1
187	43	2	1,56	2
53	136	4	3,54	4
1135	85	1	1,71	1
1136	41	1	0,97	1

Tabella 8 – Risultati relativi ad alcuni punti vendita per il magazzino Cof.

MAGAZZINO COF				
PDV	COLLI	SUPPORTI REALI	SUPPORTI SIMULATI	ARROTONDAMENTO SUPPORTI SIMULATI
75	487	9	18,04	18
127	279	11	12,26	13
857	1173	49	22,48	23
860	639	14	12,1	12
64	217	8	9,43	10
124	211	8	9,22	10

Fermo restando il monitoraggio, e la costante analisi delle medie colli/supporti, che continuerà necessariamente anche una volta presa la decisione di utilizzare TRAVEL come strumento di supporto alla pianificazione giornaliera dei piani di consegna, si è deciso di procedere con la fase di taratura dei parametri dell'algoritmo. A tal fine, è stata riprodotta ex post, con la procedura manuale, un'intera giornata di viaggi di consegna che è servita come database sul quale provvedere, in costante contatto con Sogegross per il pieno rispetto di tutte le esigenze, ad un affinamento dei valori dei parametri a cui fa riferimento l'algoritmo del simulatore. Messo a punto l'algoritmo di simulazione, si sono avviate le simulazioni dei piani di consegna di una generica settimana, confrontandoli con la situazione reale. In Tab.9 è riportato il confronto dei principali *Key Performance Index* (KPI), ovvero: costo di trasporto, chilometraggio, saturazione media dei mezzi, numero di viaggi.

Tabella 9 – Principali KPI.

Viaggi	Costo reale	Costo simulazione	km reali	km simulazione	Saturazione reale %	Saturazione simulazione %	n° viaggi reale	n° viaggi simulazione
Lunedì	13.621,70	11.850,20	8.068	7.592,00	83	89	58	53
Martedì	16.661,60	16.661,30	10.643	12.484,00	85	93	67	63
Mercoledì	15.866,30	13.966,60	9.797	10.222,00	77	89	64	57
Giovedì	15.443,80	14.060,00	10.833	10.833,00	81	86	62	56
Venerdì	16.915,80	16.639,00	11.393	12.128,00	87	91	66	66
Sabato	17.195,30	15.585,40	10.705	11.783,00	82	90	70	65
Totale	95.703,50	88.762,50	61.439,00	65.042,00	83	90	387	360

Come si evince dai dati riportati in Tab.9, i vantaggi dell'utilizzo di un modello per la pianificazione di viaggi sono evidenti. In particolare, la soluzione ottenuta comporta una riduzione del 7% sia del costo del trasporto, sia del numero dei viaggi, nonché un aumento dell'8% della saturazione dei mezzi impiegati. Si riscontra, invece, un aumento di circa 4.000 chilometri sul totale dei percorsi; quest'ultimo dato, di per sé non positivo, è dovuto al fatto che TRAVEL, nella ricerca della soluzione ottimale, predilige i mezzi di dimensione più piccola, essendo meno costosi. Dalla Tab.11 si può osservare, infatti, come il numero dei mezzi utilizzati di dimensione minore, che vanno dai 6 ai 33 roll, sia maggiore rispetto a quelli con portata superiore, dai 36 ai 54 roll (bilico).

Si nota che questa scelta metodologica comporta una rilevante criticità, dovuta al fatto che alcuni ordini possono rimanere inevasi, non essendo consegnati ai punti di vendita, per mancanza di disponibilità di un mezzo, che soddisfi i vincoli di portata massima, da associare agli ordini. Come dimostra la Tab.10, anche la soluzione qui riportata presenta questo inconveniente; infatti, il numero dei viaggi è notevolmente diminuito proprio a seguito della mancata consegna degli ordini in alcuni punti di vendita. Avendo dato, infatti, come prioritaria la minimizzazione dei costi, sono prevedibili soluzioni che consentono la possibilità di avere ordini inevasi. Nella realtà operativa, una soluzione che comporta degli ordini inevasi non può certamente essere considerata accettabile, anche se è lasciata al management, come già osservato in precedenza, la decisione finale di stabilire una priorità tra l'efficienza logistica e la qualità del servizio. Per risolvere questo inconveniente è comunque possibile inserire un vincolo che associa ad ogni punto di vendita un veicolo avente capacità uguale a quella massima compatibile con lo stesso punto di vendita.

Tabella 10 – Numero di mezzi per tipologia, confronto tra realtà e simulazione.

	6roll	18roll	21roll	24roll	27roll	30roll	33roll	36roll	39roll	45roll	Bilico
Realtà	12	16	7	41	63	31	8	117	26	6	60
Simulazione	17	24	18	51	73	51	9	76	15	6	20
Delta	5	8	11	10	10	20	1	-41	-11	0	-40

Un'analisi a posteriori della soluzione fornita da TRAVEL porta ad affermare che una riduzione effettivamente ottenibile in termini di numero di viaggi totali settimanali può essere circa del 3,5%, corrispondente a 2 mezzi al giorno, con un conseguente risparmio sul costo del trasporto.

È necessario precisare che la versione del software TRAVEL che è stata utilizzata per questa valutazione è limitata e a carattere dimostrativo, pertanto senza dubbio meno accessoriata e raffinata di quella potenzialmente utilizzabile da imprese della GDO. Tuttavia, TRAVEL risulta essere uno strumento sufficientemente flessibile e plasmabile rispetto alle esigenze operative, consentendo l'inserimento di vincoli specifici, qualora richiesti. Sicuramente sono necessarie ulteriori prove di validazione, e conseguenti miglioramenti, prima che possa diventare uno strumento realmente utilizzabile da un punto di vista operativo. Inoltre, come nel caso di MPL, anche l'utilizzo di TRAVEL per applicazioni di elevate dimensioni richiede tempo, soprattutto nella fase di tuning del modello, ed una notevole competenza delle problematiche del settore, anche se, dai risultati preliminari e dalle analisi funzionali svolte, è emerso che potrebbe sicuramente diventare un buono strumento di supporto alle decisioni di pianificazione delle consegne giornaliere.

La criticità maggiore di questo, e di tutti gli strumenti software ad esso assimilabili, rimane quella di riuscire a trovare un parametro "ottimo" che permetta la conversione dei colli ordinati in supporti effettivi sulla base dei quali effettuare la prenotazione dei mezzi necessari e gli abbinamenti dei punti di vendita per i viaggi di consegna.

8. Considerazioni conclusive

Gli ultimi dieci anni hanno visto un crescente utilizzo di ambienti software di ottimizzazione che si avvalgono di metodi propri della Ricerca Operativa, ed in particolare tecniche di programmazione matematica, per una gestione efficiente della fornitura di beni e servizi all'interno dei sistemi distributivi (Felici e Sciomachen, 2008). Il gran numero di applicazioni al mondo reale ha ampiamente dimostrato che l'utilizzo di ambienti software è in grado di migliorare notevolmente le performance delle aziende della GDO per quanto riguarda la pianificazione dei processi di distribuzione, producendo sostanziali risparmi sui costi totali di trasporto e, conseguentemente, sul sistema economico complessivo.

Sul mercato sono disponibili software sempre più specializzati e avanzati, in grado di rappresentare correttamente gli scenari distributivi con tutte le loro criticità e punti di forza. Tali ambienti software possono costituire un prezioso supporto alle decisioni di tipo operativo, di pianificazione delle consegne giornaliere, e possono altresì configurarsi come buoni strumenti idonei a

valutazioni di tipo tattico e strategico, consentendo di realizzare analisi di scenario diversificate.

Nel presente lavoro l'attenzione è stata rivolta alle problematiche strettamente legate alla logistica distributiva dai depositi ai punti di vendita, affrontando nello specifico problemi di instradamento dei veicoli volti alla riduzione dei costi logistici (legati alle scorte e al trasporto) di una azienda della GDO.

L'obiettivo del lavoro non è stato quello di analizzare l'integrazione logistica a monte e a valle dei CEDI, ma quello di analizzare una porzione della catena logistica, valutando l'utilizzo di strumenti e metodologie volte alla minimizzazione dei costi di trasporto, considerando la qualità del servizio in chiave di soddisfazione delle esigenze di consegna dei punti vendita.

In particolare, TRAVEL, uno degli strumenti oggetto di analisi di questo lavoro, ha dimostrato di poter diventare un buon strumento di supporto alla pianificazione giornaliera, pur presentando aspetti di debolezza, con riferimento alla possibilità di effettuare analisi di scenario, essendo necessario intervenire manualmente per la messa a punto di alcuni dati necessari per la pianificazione. L'altro strumento utilizzato, MPL, presenta il vantaggio di fornire piani di consegna ben definiti, ma necessita di conoscenze di base relative ai modelli matematici, non ancora assai diffuse nelle aziende della GDO.

In conclusione, alla luce della evidente possibilità di ridurre i costi di distribuzione utilizzando validi strumenti di ottimizzazione, il prossimo passo, che si ritiene ormai necessario, consiste nel cercare di ridurre il divario tuttora esistente tra gli ambienti software oggi disponibili in commercio e gli utenti degli stessi, molto spesso ancora poco disponibili, ed esperti, ad un approccio più quantitativo.

Bibliografia

- Aarts E.H.L., Lenstra J.K. (1997), "Local Search in Combinatorial Optimization", Wiley, Chichester, UK.
- Agarwal Y., Mathur K., Salkin H.M. (1989), "A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem", *Networks*.
- Balinski M., Quandi R. (1964), "On an integer program for a delivery problem", *Operations Research*.
- Bixby A. (1998), "Polyhedral analysis and effective algorithms for capacitated vehicle routing problem", *Ph.D. dissertation*, Northwestern University, Evanston, IL.
- Bodin L.D., Golden B.L., Assad A.A., Ball M. (1983), "Routing and scheduling of vehicles and crews, the state of the art", *Computers and Operations Research*.
- Caprara A., Fischetti M. (1997), "Branch-and-cut algorithms", in Dell'Amico M., Maffioli F., Martello S., *Annotated Bibliographies in Combinatorial Optimization*, Wiley, New York.

- Christofides N., Mingozzi A., Toth P. (1981), "Exact algorithms for the vehicle routing problem based on the spanning tree and shortest path relaxations", *Mathematical Programming*.
- Clarke G., Wright, J.W. (1964), "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", *Operations Research*.
- Davis L. (1991), "Handbook of Genetic Algorithms", Van Nostrand Reinhold, New York.
- Dell'Amico M., Toth P. (2000), "Algorithms and codes for dense assignment problems: The state of the art", *Discrete Applied Mathematics*.
- Dorigo M., Maniezzo V., Coloni A. (1996), "Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B*.
- Felici G., Sciomachen A. (2008), "Scienza delle decisioni in Italia: applicazioni della ricerca operativa a problemi aziendali", ECIG, Genova.
- Fisher M.L. (1995), "Vehicle routing", in Ball M.O., Magnanti T.L., Monma C.L., Nemhauser G.L., *Network Routing, Handbooks in Operation Research and Management Science 8*, North-Holland, Amsterdam.
- Goldberg D.E. (1989), "Genetic Algorithms in Search", *Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Golden B.L., Assad A.A. (1988), "Vehicle Routing: Methods and Studies", North-Holland, Amsterdam.
- Hadjiconstantinou E., Christofides n., Mingozzi A. (1970), "A new exact algorithm for the vehicle routing problem based on q-paths and k-shortest paths relaxations", *Annals of Operations Research*.
- Jünger M., Reinelt G., Rinaldi G. (1995), "The traveling salesman problem", in Ball M.O., Magnanti T.L., Monma C.L., Nemhauser G.L., *Network Models, Handbooks in operations Research and Management Science 7*, Amsterdam.
- Jünger M., Reinelt G. e Thienel S. (1995), "Practical problem solving with cutting plane algorithms in combinatorial optimization", in Cook W., Lovász L., Seymour P., "Combinatorial Optimization", DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, AMS, Providence.
- Laporte G., Mercure M., Nobert Y. (1986), "An exact algorithm for the asymmetrical capacitated vehicle routing problem", *Networks*.
- Luceri B. (1996), "La logistica nelle imprese commerciali del comparto grocery", *Trade Marketing*, n°16.
- Lugli G., Pellegrini L. (2005), "Marketing distributivo", Utet, Torino.
- Osman I.H., Kelly J.P. (1996), "Meta-heuristics: An overview", in Osman I.H., Kelly J.P., *Meta-Heuristics: Theory and Applications*, Kluwer, Boston, MA.
- Osman I.H., Laporte G. (1996), "Metaheuristics: A bibliography", *Annals of Operations Research*.
- Padberg M., Rinaldi G. (1991), "A branch-and-cut algorithm for the solution of large-scale symmetric traveling salesman problems", *SIAM Review*, 1991.
- Pallottino S., Sciomachen A. (1999), "Scienze delle decisioni per i trasporti", Franco Angeli, Milano.
- Pellegrini L. (1990), "Economia della distribuzione commerciale", Egea, Milano.

- Penco L. (2007), "La logistica nelle imprese della grande distribuzione organizzata. Trasformazioni tecnico-organizzative e nuovi modelli gestionali", Franco Angeli, Milano.
- Reeves C.R. (1993), "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", Blackwell, Oxford, UK.
- Sciarelli S. (1969), "Le Politiche distributive dell'impresa industriale", Giannini, Napoli.
- Toth P., Vigo D. (2002), "The Vehicle Routing Problem", SIAM.

Valentina Alloisio

Dott.ssa Magistrale in Economia e Management Marittimo e Portuale
Università degli Studi di Genova
e-mail: valentina.alloisio@gmail.com

Anna Sciomachen

Professore Ordinario di Ricerca Operativa
Dipartimento di Economia e Metodi Quantitativi
Università degli Studi di Genova – Via Vivaldi 5, 16100 Genova
e-mail: sciomach@economia.unige.it