

1.1 Il trasporto merci

La gestione e l'organizzazione dei trasporti è una delle attività logistiche più importanti poiché è proprio per merito di questa funzione che avviene in maniera concreta il trasferimento di merci e prodotti tra i diversi punti della rete di distribuzione. Parlando di gestione dei trasporti, l'obiettivo è quello di collegare tutti i punti di prelievo e di consegna presenti nella rete distributiva rispettando i vincoli quali-quantitativi e temporali richiesti, sfruttando al meglio le caratteristiche infrastrutturali del territorio e al minor costo possibile (Barrufatto 2016).

Il trasporto inoltre è un fattore che incide in maniera importante anche sul prezzo finale dei prodotti; in particolare per il settore alimentare questo incide per ben il 10% (Confcommercio 2009).

In Italia il trasporto su gomma continua ad essere la forma di trasporto commerciale di merci ampiamente più diffusa. Osservando il corrispondente dato italiano è possibile accorgersi come questo sia superiore alla media europea, anche in riferimento al trasporto di prodotti alimentari in generale. Analizzando infatti gli ultimi dati disponibili, è possibile constatare che il trasporto stradale di merci nel territorio italiano rappresenta ben l'84,9 % del totale (Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.** 1), risultato ben superiore al medesimo dato relativo agli areali UE 27 e UE 28 che riportano in entrambi i casi un valore del 75,8 % (Eurostat 2017).

Esistono diverse ragioni per le quali il traffico merci italiano risulta essere principalmente quello su gomma:

- In Italia il modello industriale è basato prettamente su piccole e medie imprese e centrato su distretti industriali circoscritti; ciò implica l'esistenza di trasporti prevalentemente a corto raggio i quali devono essere svolti per necessità su gomma;
- La progressiva introduzione del modello "*Just In Time*" (JIT) negli ambiti commerciali e distributivi ha comportato una progressiva riduzione delle scorte e consegne sempre più frequenti caratterizzate da volumi in consegna medio-bassi. Questi sono fattori fortemente responsabili della predominanza del trasporto stradale;
- Il ritardo manageriale delle aziende di trasporto e logistica del territorio, spesso di dimensioni ridotte e con una scarsa diversificazione delle offerte e dei servizi di trasporto.

(Carbonari et al. 2014).

Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**1 – Trasporto merci su strada.
Risultati in percentuale sul totale del trasporto commerciale merci (stradale + ferroviario + aereo).
(Eurostat 2017)

Roads

geo	time	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
EU (28 countries)		76.4	76.3	76.3	76.3	77.5	76.2	75.6	75.3	75.5	75.5	75.8
EU (27 countries)		76.4	76.3	76.3	76.3	77.5	76.2	75.6	75.3	75.5	75.4	75.8
Belgium		72.4	70.1	69.7	68.5	72.9	67.9	66.3	64.5 (e)	65 (e)	64.2 (e)	64.2 (e)
Bulgaria		70.8	69	70.1	66.9 (b)	67.4 (b)	68.1	73.6	74.7	75.9	76.6	77.7
Czech Republic		74.4	76.1	74.7	76.7	77.8	79	79.2	78.2	79.7	78.7	78.9
Denmark		92.2	91.8	92.2	91.3	90.8	87	86	88	86.8	86.8	87.2
Germany		66	65.9	65.7	65.5	67	64.9	65.8	64.6	63.9	64.4	64.7
Estonia		35.4	34.7	43.2	55.3	47.3	45.8	48.5	53	55.9	66	66.8
Ireland		98.3	98.8	99.3	99.4	99.3	99.2	99	99.1	98.9	99	99
Greece		97.5	98.1	97.1	97.3	98.1	98	98.3	98.7	98.8	98.4	98.5
Spain		95.3	95.4	95.8	95.7	96.4	95.9	95.6	95.5	95.4	95	95
France		80.5	80.8	80.9	80.7	81	82.2	81.1	80.6	80.5	80	78.2
Croatia		75.9	74.8 (e)	74 (e)	72.7 (b)	73.7	71.2	74	73.6	76.2	76.8	77.3
Italy		90.3	88.5	87.6	88.3	90.4	90.4	87.8	85.9	86.9	85.4	84.9
Cyprus		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Latvia		29.8	39	41.9	38.7	30.2	38.1	36.2	35.8	39.6	41.3	43.7
Lithuania		56.1	58.4	58.5	58	59.9	59.1	58.8	62.3	66.4	66.2	65.4
Luxembourg		92.3	91.5	91.2	93.3	94.6	92.7	93.7	93.8	94.2	95.1	95.2
Hungary		69.2	71.6	74.5	74.7	78.8	75.1	75.9	75.1	75.5	75.8	76.4
Malta		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Netherlands		63.6	63.1	59.4	59.9	63.8	59.4	58.8	56.6	56.9	56.6	55.6
Austria		64.1	63.2	60.9	58.6	59.5	56.3	56	54.6	52.8	51.7	52.5
Poland		69	70.4	73.5	75.9	80.5	80.6	79.4	81.9	82.9	83.3	83.7
Portugal		94.6	94.9	94.7	93.9	94.3	93.9	94	93.2	94.1	93.5	92.2
Romania		67.3	70.5	71.3	70.2	60 (b)	49.2	50.2	53.3	57.5	59.4	59.2
Slovenia		77.3	78.2	79.2	82.2	84	82.3	81.4	82.1	80.7	79.8	81.1
Slovakia		70.3	68.8	71.8 (b)	73.8	77.9	74.8	76.6	77.6	76	76.3	78.5
Finland		76.5	72.8	73.9	74.1	75.7	75	73.9	73	71.8	70.6	74
Sweden		64	64.2	63.6	64.9	63.2	60.7	61.8	60.3	61.5	66.3	66.8
United Kingdom		88.2	88.2	88.9	88.3	87.8	88.7	87.9	88	86.7	86.5	87.8
Iceland		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Liechtenstein		95.8	95	95	95.1	96.3	96.5	96.9	96.6	97.2	:	:
Norway		85.2	85.3	84.7	85	84	85	84.3	85.3	86.3	85.9	86.9
Switzerland		57.5	56.7 (e)	58.7 (e)	53.1	55.5	54.4	54.1	54	52	51.5	50
Former Yugoslav Republic of Macedonia, the		91.3	93.1 (e)	88.4 (e)	84.3 (e)	89	89	94.9 (b)	95.5	94.7	:	:
Turkey		94.8	94.9	94.9	94.5	94.6	94.4	94.7	95.1	95.4	:	:

:=not available e=estimated b=break in time series z=not applicable p=provisional

Source of Data: Eurostat

Last update: 02.10.2017

Date of extraction: 12 Oct 2017 12:41:37 CEST

1.1.1 Breve confronto tra le diverse modalità di trasporto merci

Le principali modalità di trasporto merci sono:

- Trasporto su strada (su gomma) che, come anticipato poc'anzi, è la modalità maggiormente diffusa in Italia;
- Trasporto ferroviario;
- Trasporto marittimo;
- Trasporto aereo.

In base al tipo di merce e di trasporto che bisogna compiere è opportuno confrontare attentamente le diverse modalità possibili, al fine di scegliere quella più adatta al contesto. Nello specifico è necessario analizzare per ogni modalità: punti di forza, limiti, impiego comune e caratteristiche del prodotto da trasportare (Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2**) (Coyle et al. 2011).

In via generale si può affermare che la convenienza delle diverse tipologie di trasporto può essere valutata in base a due fattori: il fattore “tempo” e il fattore “costi”.

Per quanto riguarda il fattore “tempo” analizzando l’andamento delle curve del tempo di transito (in giorni), per ognuna delle tipologie di trasporto (escluso il trasporto marittimo a causa della notevole differenza in eccesso rispetto alle altre modalità), in funzione della distanza (in chilometri) è possibile rilevare un punto di bilanciamento tra il trasporto su gomma e il trasporto aereo intorno ai 900 km di distanza (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1**) (Ferrari 2015).

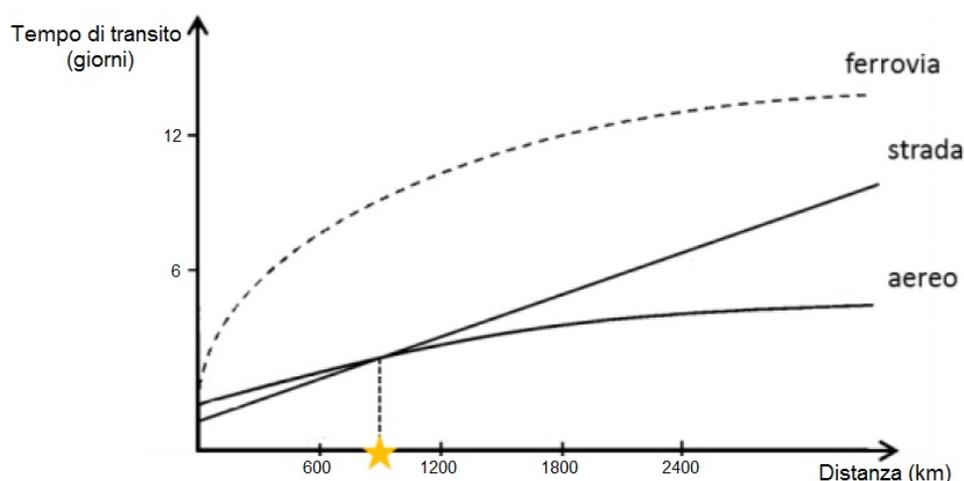


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1** – Curve del tempo di transito in funzione della tipologia di trasporto (Ferrari 2015)

Per analizzare il fattore “costi” è opportuno considerare gli andamenti dei costi di trasporto, relativi ad ognuna delle modalità di trasporto prese in esame, in funzione della distanza da percorrere (in chilometri). Ciò che emerge evidentemente dal confronto è che esistono delle distanze limite oltre le quali una modalità di trasporto risulti essere economicamente conveniente rispetto alle altre e nello specifico per distanze inferiori a circa 600 km il trasporto su gomma è la tipologia di trasporto che conviene di più (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2**) (Ferrari 2015).

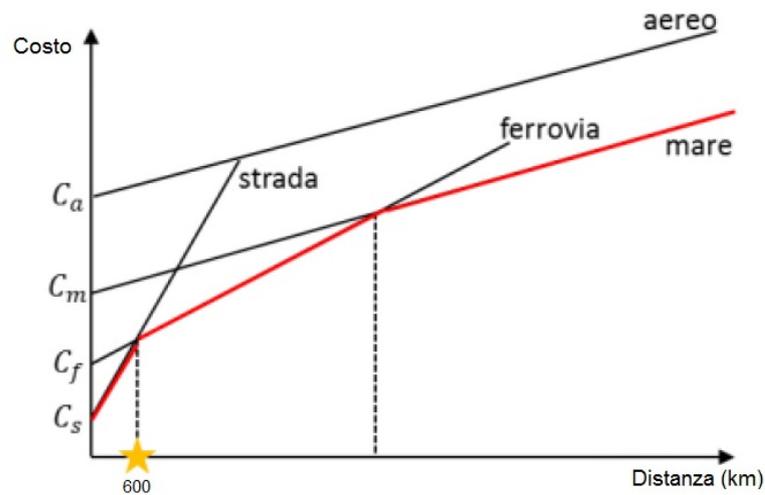


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2** – Curve dei costi in funzione della tipologia di trasporto. In rosso la curva relativa alla scelta della modalità di trasporto in funzione della minimizzazione dei costi (Ferrari 2015)

In base a quanto detto fin ora si evince che il trasporto merci su gomma rappresenta la metodologia di trasporto più conveniente, sia in termini di tempo che in termini di costo, se le distanze da coprire sono medio-corte (< 1000 km). Nell’ambito di questo elaborato verrà considerato solo il trasporto su gomma poiché, anche se lo studio è focalizzato sull’ottimizzazione di percorsi distributivi nell’ambito delle provincie di Torino e Cuneo per un’estensione superficiale totale di 13724 km², nella maggioranza dei casi si tratterà della copertura di più tratte brevi e successive con lunghezze inferiori a 100 km.

Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**2 – Confronto tra le principali modalità di trasporto merci tenendo conto di punti di forza, limiti, utilizzo comune e caratteristiche del prodotto
(Coyle et al. 2011)

MODE	STRENGTHS	LIMITATIONS	PRIMARY ROLE	PRODUCT CHARACTERISTICS	EXAMPLE PRODUCTS
Truck	<ul style="list-style-type: none"> • Accessible • Fast & versatile • Customer service 	<ul style="list-style-type: none"> • Limited capacity • High cost 	<ul style="list-style-type: none"> • Move smaller shipments in local, regional, and national markets 	<ul style="list-style-type: none"> • High value Finished goods • Low volume 	<ul style="list-style-type: none"> • Food • Clothing • Electronics • Furniture
Rail	<ul style="list-style-type: none"> • High capacity • Low cost 	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibility • Inconsistent service • Damage rates 	<ul style="list-style-type: none"> • Move large shipments of domestic freight long distances 	<ul style="list-style-type: none"> • Low value • Raw materials • High volume 	<ul style="list-style-type: none"> • Coal/coke • Lumber/paper • Grain • Chemicals
Air	<ul style="list-style-type: none"> • Speed • Freight protection • Flexibility 	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibility • High cost • Low capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Move urgent shipments of domestic freight and smaller shipments of international freight 	<ul style="list-style-type: none"> • High value • Finished goods • Low volume • Time sensitive 	<ul style="list-style-type: none"> • Computers • Periodicals • Pharmaceuticals • B2C deliveries
Water	<ul style="list-style-type: none"> • High capacity • Low cost • International capabilities 	<ul style="list-style-type: none"> • Slow • Accessibility 	<ul style="list-style-type: none"> • Move large domestic shipments via rivers, canals and large shipments of international freight 	<ul style="list-style-type: none"> • Low value • Raw materials • Bulk commodities • Containerized finished goods 	<ul style="list-style-type: none"> • Crude oil • Ores / minerals • Farm products • Clothing • Electronics • Toys

1.2 Piattaforme logistiche di distribuzione

La *supply chain* agroalimentare attuale è estremamente articolata e complicata, perciò è molto complesso organizzarla in modo efficace. La complessità e l'articolazione vige sia nelle fasi a monte ma ancor di più in quelle a valle (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**3) dove sono presenti canali di vendita ogni giorno più differenziati e caratteristici (Carbonari et al. 2014).

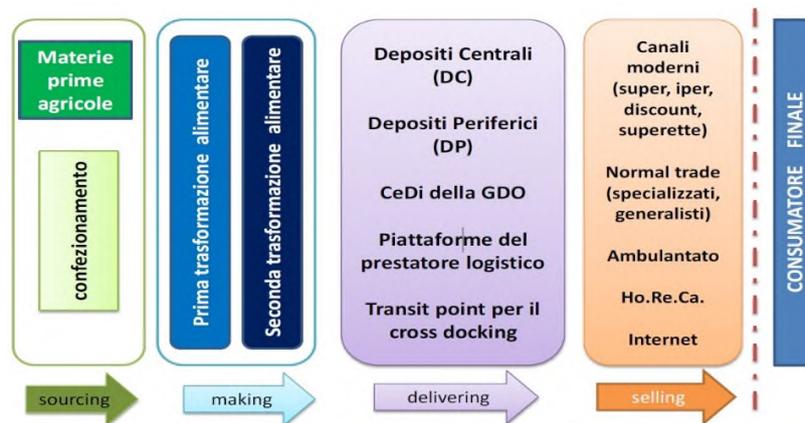


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**3 – Principali attori di una moderna supply chain agroalimentare (Carbonari et al. 2014)

In particolar modo la fase distributiva (*delivering*) comprende diverse piattaforme logistiche, le quali possono essere gestite:

- Direttamente dal fornitore e in questo caso ci si riferisce generalmente a depositi centrali o periferici, oppure a *Transit Point* (come nel caso trattato nell'ambito di questo studio);
- Dal distributore finale (i cosiddetti Ce.Di. o Centri di Distribuzione);
- Da operatori logistici.

1.2.1 Transit Point nella logistica

I *Transit Point* (noti anche con il nome di “nodi di *cross-docking*”) sono definibili come nodi delle reti logistiche dove le merci vengono ricevute in grandi quantità e vengono smistate e ricollocate in lotti più piccoli e funzionali, pronte per essere successivamente trasportate e consegnate ai diversi centri di distribuzione locali. Il *Transit Point* è differente rispetto a un magazzino classico poiché in genere non possiede scorte in loco (Logistica Efficiente 2017).

Lo smistamento delle merci mediante l'impiego del *cross-docking* porta a diversi vantaggi tra cui si sottolinea: un costo inferiore relativo ai sottosistemi per la gestione della merce, l'eliminazione delle necessità di stoccaggio, l'abbassamento o il totale azzeramento dei costi di manodopera al momento

del ricevimento merce, la quale viene smistata in carichi più piccoli spesso in modo automatizzato (Logistica Efficiente 2017).

Quindi le merci in arrivo transitano solamente nei *Transit Point*, senza che ci sia un vero e proprio deposito, per essere poi successivamente inviate verso le differenti destinazioni. I risultati ottenibili mediante l'impiego di questo sistema di gestione merci sono ottimi, sia per quanto riguarda la riduzione dei tempi necessari per lo smistamento delle merci, sia per quello che riguarda l'affidabilità e l'adattabilità dei servizi forniti ai clienti; inoltre i *Transit Point* consentono di ottenere una riduzione dell'incertezza dei processi distributivi, poiché permettono di aggregare un maggior numero di ordini (Logistica Efficiente 2017).

Il funzionamento di questi centri di distribuzione è semplice: la merce in arrivo viene scaricata su convogliatori, i quali trasportano le merci in una zona dedita allo smistamento, dove avviene la cernita e la divisione dei prodotti in base alla destinazione che devono raggiungere. È quindi evidente la mancanza delle fasi di stoccaggio e ri-provvigionamento che permette un sostanziale aumento dell'efficienza del processo di gestione delle merci. Si tratta perciò di un sistema ideale caratterizzato da un unico passaggio di smistamento (Logistica Efficiente 2017).

1.3 Metodologie per l'ottimizzazione dei trasporti, il Vehicle Routing Problem

La pianificazione dei percorsi di veicoli adibiti a consegne multiple è un problema assai noto e viene solitamente indicato con il nome di “*Vehicle Routing Problem*” (VRP). Il VRP è quindi un buon esempio di problema di *routing* tra i nodi di una rete; molto semplicemente si parla di un insieme di clienti presenti in più punti diversi nel territorio e ognuno di essi con una domanda di una certa quantità di prodotti; per servire i clienti si ha a disposizione una certa gamma di veicoli localizzati inizialmente in un deposito e caratterizzati dall'aver una capacità di carico definita e limitata. Il VRP prende in considerazione prettamente il trasporto su distanze medio-brevi, con singole richieste limitate da parte di ogni cliente. Nell'ambito del VRP bisogna quindi sostanzialmente risolvere due tipi di problemi:

- Decidere quanti e quali clienti deve servire ogni veicolo della flotta;
- Ottimizzare il percorso compiuto da ognuno dei veicoli per consegnare le merci ai clienti assegnati. Per fare ciò solitamente ci si serve di una matrice riportante le distanze tra i diversi nodi della rete, ovvero le distanze tra le sedi di tutti i clienti e le relative distanze dal deposito di partenza.

Nella risoluzione del problema possono essere considerati, oltre alle distanze, una serie di variabili di affinamento che lo articolano e lo complicano sempre di più, come ad esempio l'inserimento di finestre temporali utili per la consegna della merce nei punti vendita (Brandimarte and Zotteri 2004).

I principi trattati in questo capitolo dell'elaborato vengono generalmente considerati per la costruzione di euristiche complesse che vengono ampiamente impiegate nei *software* commerciali destinati alle aziende, utili per la risoluzione di problemi logistici distributivi reali.

1.3.1 Rappresentazione del routing su reti di distribuzione attraverso i grafi

Una rete distributiva reale può essere approssimata ad un grafo (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**4). Un grafo è quindi una rappresentazione semplificata di uno scenario reale e in esso possono essere distinti vertici e archi. I vertici, detti anche nodi, rappresentano i depositi e i diversi punti vendita in cui i veicoli adibiti al trasporto merci devono recarsi; gli archi invece sono le linee che uniscono tra loro i vertici e rappresentano i percorsi svolti dai mezzi di trasporto per spostarsi da un nodo all'altro (Diestel 2000)

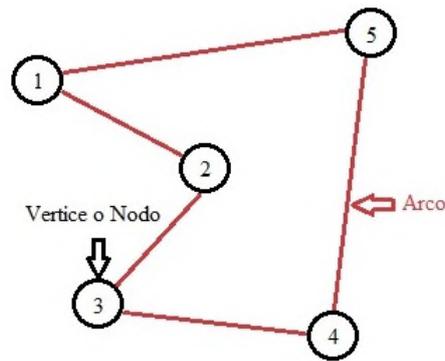


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**4 – Rappresentazione di un grafo. In nero i Nodi della rete e in rosso gli Archi

1.3.2 Il Traveling Salesman Problem o TSP

Il “*Traveling Salesman Problem*” (TSP) o meglio conosciuto come il problema del commesso viaggiatore è un prototipo del più ampio VRP. Il TSP riproduce la rete di distribuzione mediante la creazione di un grafo; quindi come detto in precedenza ogni vertice del grafo rappresenta un nodo della rete e quindi o un deposito o un cliente al quale è associata una certa domanda, mentre gli archi rappresentano gli spostamenti da un nodo all’altro e ai quali sono associate informazioni tra cui la distanza e il tempo di percorrenza della tratta (che dipendono dalle caratteristiche della strada che unisce i due punti). Le distanze tra i nodi generalmente vengono raccolte in una matrice; le matrici delle distanze sono simmetriche quando si considerano grafi non orientati, ovvero quando la distanza tra due nodi è uguale sia in un senso che nell’altro, mentre si parla di matrici asimmetriche (come nel caso studiato nel presente elaborato) quando la distanza tra due punti è variabile in funzione del senso di percorrenza. Quest’ultimo caso si verifica spesso nei contesti urbani dove vigono diversi sensi unici di marcia.

Nel TSP il commesso viaggiatore parte da un punto della rete e deve visitare tutti i suoi clienti una e una sola volta per poi tornare al nodo da cui è partito. Il percorso totale che deve compiere viene definito come “ciclo” e corrisponde quindi ad una permutazione dei nodi componenti il grafo di riferimento. Questa tipologia di ciclo è definita come “ciclo hamiltoniano” (definito come un ciclo che visita tutti i nodi di un grafo una e una sola volta). Come si può immaginare dato un numero di nodi, i possibili cicli hamiltoniani tracciabili per visitare tutti i nodi della rete sono molteplici; più nello specifico se si considera una rete generica composta da n nodi, i cicli hamiltoniani possibili corrispondono a “ $(n-1)!$ ”. Lo scopo del TSP è perciò quello di minimizzare la lunghezza del percorso complessivo necessario per visitare tutti i nodi della rete scegliendo il ciclo più conveniente. (Brandimarte and Zotteri 2004).

1.3.3 Il Vehicle Routing Problem o VRP

Il VRP può essere semplicisticamente definito come una generalizzazione del TSP caratterizzato dall'aver vincoli sui *route* dei veicoli; infatti nel VRP si ha a disposizione un certo parco di veicoli, con una capacità massima di carico definita, da impiegare per soddisfare la domanda dei clienti distribuiti sui nodi della rete. La soluzione del VRP è quindi un insieme di cicli (e non uno solo come nel TSP), chiamati "*route*", dei quali ognuno è assegnato ad un unico veicolo (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5**). Ogni veicolo può vedersi assegnato più *route*, ognuno dei quali ha la peculiarità di avere come nodo iniziale e nodo finale il punto di deposito merci. Lo scopo del VRP è perciò proprio quello di elaborare un insieme di *route* (ognuno dei quali comprende un sottoinsieme di clienti), ottimizzati secondo un criterio assegnato (ad esempio il tempo totale o la distanza complessiva coperta dai veicoli), in grado di soddisfare la domanda di tutti i clienti della rete. È opportuno inoltre ricordare che i diversi *route* possono essere svolti in parallelo da mezzi di trasporto diversi, ottimizzando il tempo totale di consegna. La soluzione del VRP quindi non consiste in altro che all'assegnazione di un sottoinsieme di clienti, ed uno o più relativi *route* di consegna, ad ogni veicolo e alla soluzione di un TSP relativo al sottoinsieme di clienti assegnati ai veicoli stessi. È doveroso comunque precisare che la scelta del modo migliore per la risoluzione del VRP è spesso assai complicata. (Brandimarte and Zotteri 2004).

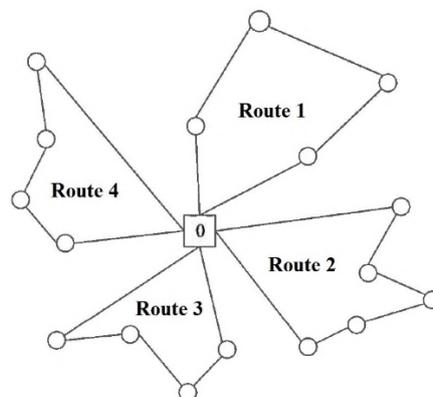


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5** – Esempio di soluzione ad un problema di *Vehicle Routing* (VRP). Lo 0 rappresenta il deposito merci (Brandimarte and Zotteri 2004).

A causa della limitata capacità di carico molto spesso ad ogni veicolo sono assegnati più *route*, in modo da rendere possibile il completamento di più cicli di consegna con un numero ridotto di mezzi di trasporto.

Per la risoluzione del VRP possono essere utilizzate diverse metodiche, tuttavia quelle più semplici ed utilizzate sono i metodi costruttivi e i metodi di decomposizione.

1.3.4 Risoluzione del VRP mediante l'impiego di metodi costruttivi

I metodi costruttivi per la risoluzione dei VRP stabiliscono la crescita dei *route* dei veicoli secondo dei criteri di base, tra i quali spiccano per importanza:

- Il “criterio dei risparmi” (*saving criterion*);
- Il “criterio delle extra miglia” (*extra mileage criterion*).

Il principio alla base del “criterio dei risparmi” è che nel caso si abbiano due clienti a e b che sono serviti separatamente da due veicoli di consegna differenti, questi ultimi dovranno percorrere il tragitto che separa il deposito dai clienti per due volte. Se invece si rimuove un veicolo e si considera che i due clienti vengano serviti quindi da un unico veicolo, si risparmia una coppia di viaggi (deposito-cliente e cliente-deposito) relativa al veicolo rimosso.

Questo criterio viene perciò usato in genere per fondere più *route* diverse (nel limite dei vincoli capacitivi dei veicoli) considerando prioritarie quelle fusioni che massimizzano i risparmi. Un'ulteriore vantaggio derivante da questo criterio è quello relativo al fatto che fondendo più *route* si può ridurre il numero di veicoli utilizzati per le consegne.

L'applicazione di questo criterio sta alla base del metodo classico di Clarke e Wright per la risoluzione di VRP, che ha come principio quello di avere come punto di partenza un insieme di *route* differenti, uno relativa ad ogni cliente; essendo questa soluzione iniziale assai svantaggiosa l'idea è quella di fondere i *route* tra loro in maniera progressiva, scegliendo solo le fusioni che massimizzano i risparmi fino a quando non si raggiungono i limiti di capacità di carico dei veicoli impiegati. (Brandimarte and Zotteri 2004).

Per quanto riguarda il “criterio delle extra miglia” invece il principio è quello di ricercare un cliente intermedio su un percorso preimpostato tra due clienti (ad esempio attraverso il criterio dei risparmi); per servire anche il nuovo cliente si assisterà perciò ad un incremento della lunghezza del *route* pari alle distanze tra i primi due clienti e il nuovo cliente intermedio appena inserito.

Con questo criterio il fine è quello di scegliere clienti di partenza e punti di inserimento (clienti intermedi) in modo tale da minimizzare le “extra miglia”, ovvero la distanza aggiuntiva da coprire per servire anche il/i nuovo/i cliente/i inserito/i (Brandimarte and Zotteri 2004).

Entrambi i criteri (i cui principi sono illustrati nella Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**6) prevedono quindi che i diversi *route* vengano dunque “costruiti” passo dopo passo attraverso delle procedure di affinamento successive.

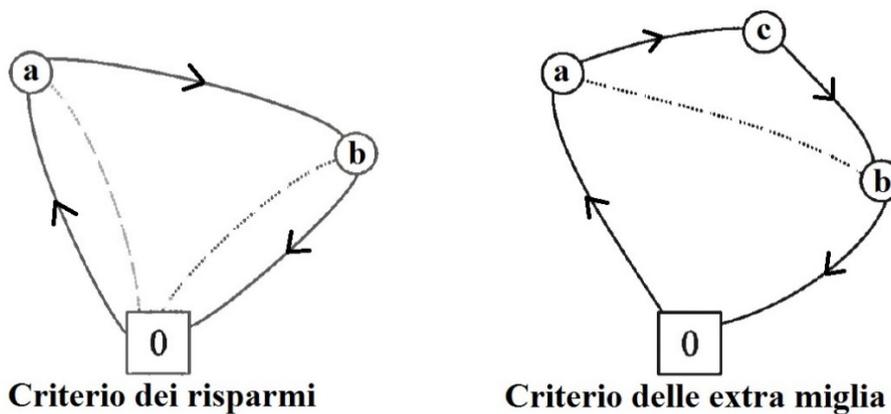


Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..6** – Rappresentazione del criterio dei risparmi e del criterio delle extra miglia. Il punto 0 rappresenta il deposito merci, mentre i punti *a* e *b* rappresentano i clienti iniziali mentre il punto *c* rappresenta il cliente di inserimento. Gli archi tratteggiati rappresentano le distanze risparmiate attraverso l’applicazione dei criteri (Brandimarte and Zotteri 2004)

1.3.5 Risoluzione del VRP mediante l’impiego di metodi di decomposizione

Osservando le caratteristiche del VRP si può notare che esso può essere decomposto in due tematiche principali:

- *Clustering* dei clienti, ovvero la creazione di più gruppi di clienti la cui domanda viene soddisfatta dallo stesso veicolo;
- *Routing* dei veicoli, e quindi l’ottimizzazione del *routing* di ogni veicolo risolvendo sostanzialmente dei problemi TSP per ogni *route*.

Nell’ambito dei metodi di decomposizione per la risoluzione del VRP è possibile differenziare due categorie che affrontano in maniera differente le tematiche principali del problema:

- Categoria “*route first – cluster second*”. In questo caso, come prima operazione, si elabora un percorso in grado di inglobare tutti i clienti e poi successivamente ci si preoccupa di suddividere tale percorso al fine di creare più *route*, ognuno da assegnare ai veicoli.
- Categoria “*cluster first – route second*”. In questo caso, al contrario di quanto detto per la prima categoria, vengono prima assegnati i gruppi di clienti da servire ad ogni veicolo e poi si risolve un problema di *routing* (tipicamente un TSP) relativo ad ogni veicolo della flotta. In questo caso è molto importante considerare la capacità di carico massima di ogni veicolo nel processo di assegnazione clienti.

Nella pratica esistono diversi metodi di decomposizione per la risoluzione del VRP; alcuni più semplici ed intuitivi come il metodo “*sweep*” di Gillet e Miller, basato su una osservazione visiva della posizione geografica dei clienti; sia più complessi (ma più robusti) basati sulla costruzione di algoritmi di ottimizzazione, come l’algoritmo di Fisher e Jaikumar basato sul principio dell’assegnamento generalizzato (Brandimarte and Zotteri 2004).

1.3.6 Il VRP con finestra temporale

Il VRP con finestra temporale, conosciuto anche come “*Time Window VRP*” (TW-VRP), è una particolare categoria di *Vehicle Routing Problem*, nella quale oltre ai classici vincoli imposti dal problema sono presenti anche dei vincoli temporali per quanto riguarda la consegna della merce presso i clienti. Nello specifico la consegna può essere effettuata solo nell’ambito di una precisa finestra temporale, caratterizzata da un orario di inizio e da un orario di fine consegna. Tale finestra temporale può anche essere variabile a seconda del cliente.

Possono essere distinte due tipologie di TW-VRP:

- *Soft Time Window VRP* (STW-VRP); caratterizzata dal fatto che la finestra temporale non rappresenta un vincolo assoluto. Ciò significa che la consegna della merce ordinata ai clienti può comunque avere luogo al di fuori dalla finestra temporale prestabilita ma con delle penalizzazioni, ad esempio sul prezzo finale della merce ricevuta;
- *Hard Time Window VRP* (HTW-VRP); in questo caso la finestra temporale rappresenta un vincolo assoluto inderogabile, perciò la merce in arrivo fuori orario presso i clienti viene respinta in toto.

(Miranda and Conceição 2016).

Di seguito, in questo paragrafo, viene presentata una breve spiegazione per l’approccio all’ HTW-VRP tratta dal testo di Brandimarte P. e Zotteri G., “*Routing di veicoli*” del 2004 : Si associa ad ogni cliente ($i = 1, \dots, n$) una specifica *time-window* ($[e_i, l_i]$ dove e_i rappresenta l’ “*earliest time*” o tempo di inizio, mentre l_i il “*latest time*” o tempo di fine della finestra temporale) supponendo che ogni cliente abbia una e una sola finestra temporale utile per la consegna.

Il parametro s_i rappresenta il tempo di scarico della merce presso i clienti.

Il parametro t_{ij} indica il tempo necessario per spostarsi dal cliente i al cliente j .

Si suppone inoltre che se il veicolo arriva in anticipo rispetto alla finestra temporale richiesta dal cliente, dovrà attendere sul posto; per cui indicando con b_i il momento di inizio dello scarico merci presso il cliente i e intendendo uno spostamento da i a j si può affermare che:

$$b_j = \text{Max}\{e_j, b_i + s_i + t_{ij}\}$$

Successivamente si può proseguire creando ogni *route* in maniera sequenziale, ad esempio applicando il principio del vicino più prossimo, il quale ha come fondamento sostanziale quello di aggiungere un nuovo cliente, in coda al *route* o al ciclo in costruzione, in maniera successiva.

Il parametro d_{ij} indica la distanza tra due clienti generici i e j ; supponendo perciò che i sia l’ultimo cliente servito è necessario costruire una misura definita come c_{ij} per stabilire quanto j sia relativamente prossimo a i :

$$c_{ij} = \lambda_1 d_{ij} + \lambda_2 T_{ij} + \lambda_3 v_{ij}$$

dove:

- I coefficienti λ_n sono tutti positivi e la loro somma vale 1 (i parametri da assegnare sono quindi solo 2, ovvero λ_2 e λ_3);
- $T_{ij} = b_j - (b_i + s_i)$. Il parametro T_{ij} rappresenta la differenza in termini temporali tra la fine dello scarico presso i e l'inizio dello scarico presso j ;
- $v_{ij} = l_j - (b_i + s_i + t_{ij})$. Il parametro v_{ij} rappresenta l'urgenza dello scarico presso j , cioè il tempo residuo utile per l'inizio di tale attività di scarico.

Sostanzialmente quindi il parametro c_{ij} fornisce un'indicazione per la priorità secondo la quale vanno inseriti i diversi clienti nel *route*, e questa regola dipende principalmente dai parametri λ da assegnare.

È opportuno adattare anche le procedure per l'inserimento sequenziale dei clienti. Considerando un *route* parziale $(0, i_1, i_2, i_3, \dots, 0)$, che inizia e termina presso il deposito, si può procedere: calcolando il punto di inserimento migliore nel *route* parziale per ogni cliente u ancora da inserire applicando un algoritmo; selezionando il cliente più conveniente da inserire, applicando un algoritmo anche diverso da quello appena preannunciato.

L'inserimento di un cliente nel *route* potrebbe causare lo spostamento dei tempi di inizio delle procedure di scarico merci presso i clienti successivi; perciò per valutare l'inserimento di un generico cliente u tra due clienti preimpostati i e j , un procedimento possibile è quello di minimizzare la seguente equazione:

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1(d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij}) + \alpha_2(b_{ju} - b_j)$$

dove:

- α_1 e α_2 sono dei coefficienti positivi la cui somma è pari a 1;
- μ è un coefficiente dato;
- Il primo addendo dell'equazione " $\alpha_1(d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij})$ " è relativo alle "extra miglia" (per cui $\mu = 1$);
- Il secondo addendo dell'equazione " $\alpha_2(b_{ju} - b_j)$ " contiene l'elemento b_{ju} relativo alla differenza tra il nuovo tempo di inizio scarico merce presso il cliente j valutando l'inserimento di u , e l'elemento b_j relativo al tempo di inizio scarico merce corrente presso il cliente j .

Risulta ben evidente perciò la mescolanza tra elementi spaziali e temporali nell'equazione. In ultima istanza per selezionare il nuovo cliente u da inserire si può procedere cercando di massimizzare l'equazione:

$$c_2(i, u, j) = \lambda d_{0u} - c_1(i, u, j)$$

dove:

- λ è un coefficiente da assegnare.

Si evidenzia che la scelta dei coefficienti “ $\mu = \alpha_1 = \lambda = 1$ ” e di “ $\alpha_2 = 0$ ” comporta che le equazioni enunciate siano legate al risparmio, in termini di distanza, ottenuto servendo il cliente u frapponendolo tra i clienti preimpostati i e j , rispetto al servizio diretto esclusivo di u partendo dal deposito 0.

Queste espressioni, equazioni e principi appena indicati, rappresentano un esempio di metodologie per la costruzione dei cicli di distribuzione, sono infatti relativamente semplici e sono in grado di fornire soluzioni con delle tempistiche ragionevolmente brevi; possono essere interpretati inoltre come un ottimo esempio dell’adattabilità dei principi del VRP a casi complessi. Nella pratica esistono molti algoritmi diversi che vengono implementati a più livelli nell’ambito di diversi applicativi *software* che si pongono l’obiettivo di risolvere il VRP. Occorre specificare che anche se questi *software* sono molto efficaci presentano spesso alcune importanti lacune; ad esempio molti di essi non permettono di impostare una velocità di spostamento variabile, per i mezzi di trasporto, in relazione alle diverse tipologie di percorso da affrontare o in relazione all’orario del giorno. A causa di queste mancanze può essere utile e fruttuoso l’affiancamento di modelli di simulazione che invece permettono la considerazione di tali parametri e altri. Si ricorda infine che non necessariamente uno specifico algoritmo o espressione restituisce un risultato migliore in assoluto per il VRP.