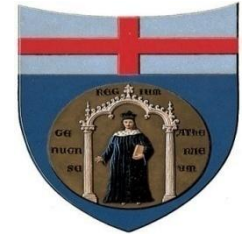




*Dipartimento di Economia
Università di Genova*



MODELLI DECISIONALI PER UNA LOGISTICA SOSTENIBILE

Anna Sciomachen

Prof. Ordinario di Ricerca Operativa- Diec

Coordinatore Corso di LM in "Economia e Management Marittimo Portuale"

Agenda

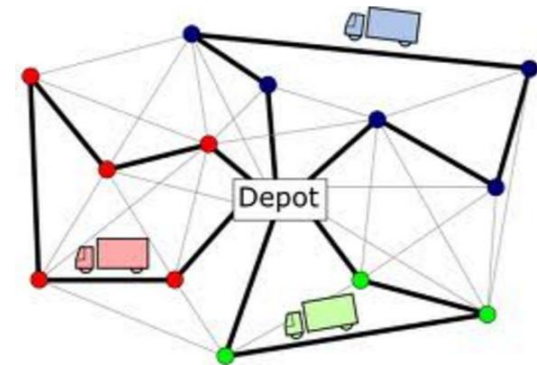
- Panoramica dei problemi decisionali per la logistica: modelli di routing e location
- Evoluzione dei modelli per adattamento a:
 - Infrastrutture e mezzi di trasporto
 - Domanda
 - Sostenibilità
- Presentazione di casi di studio
 - B2C grocery company
 - Rete di connessioni retro-portuali

Problemi decisionali

- A partire dagli anni '80 la comunità scientifica della Ricerca Operativa ha sviluppato modelli per la logistica distributiva
- Problemi di base:
 - VRP (vehicle routing)
 - Facility location } → Location - routing
- Lenstra JK, Rinnooy Kan AHG (1981) Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks* 11:221–227
- Cordeau J-F, Desaulniers G, Desrosiers J, Solomon MM, Soumis F (2002) The vehicle routing problem. In: Toth P, Vigo D (eds) Vol. 9 of SIAM monographs on discrete mathematics and applications 2002, Chap. 7, 157-193. SIAM, Philadelphia
- O'Kelly, M.E. (1987). A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research* 32, 393-404.
- Drezner Z. (1986). The p-covering problem. *European Journal of Operational Research*, 26,

Problemi di Vehicle Routing

- **Modello:** Grafo $G=(N,A)$
 - N = insieme dei clienti + nodo “deposito”
 - A = insieme delle possibili connessioni (archi)
- **Dati:** domande dei clienti e una flotta di veicoli (omogenea)
- **Variabili decisionali:** singole tratte percorse dai veicoli
- **Obiettivo:** Minimizzazione dei costi di distribuzione
- **Aspetti operativi** (vincoli del problema):
 - I veicoli ritornano al deposito
 - I clienti sono serviti da un solo veicolo
 - Massima capacità dei veicoli
 - Tempi di consegna fissati (finestre temporali)



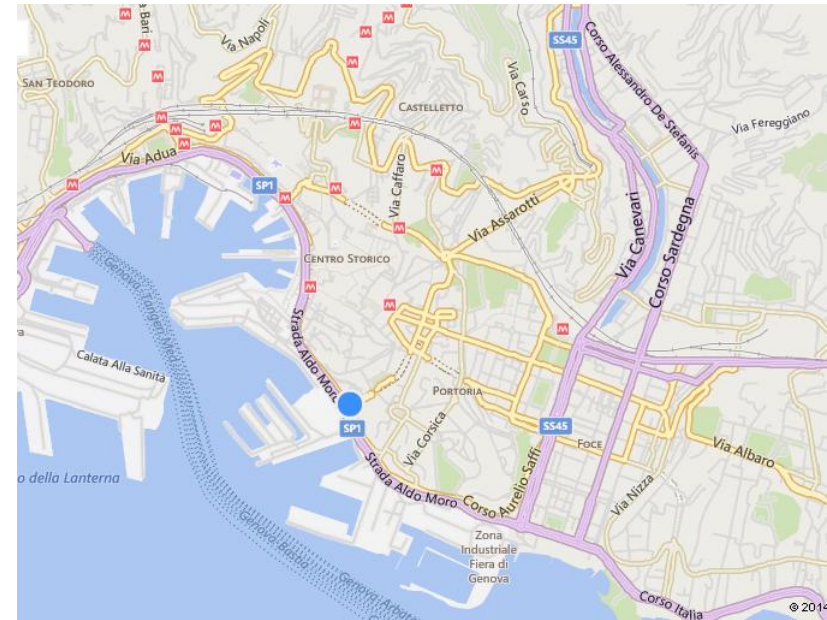
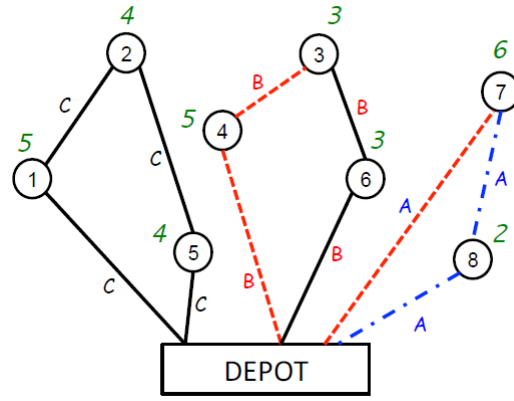
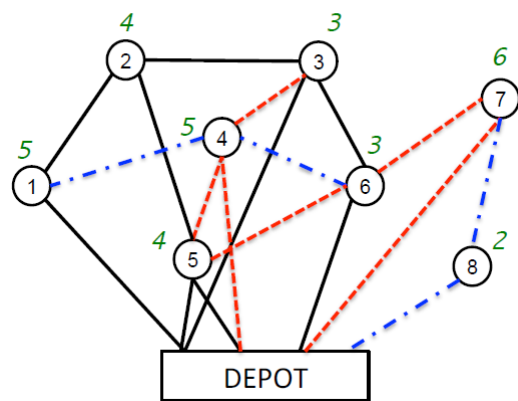
VRP: Evoluzione dei modelli

- **Nuove componenti di costo (esternalità) da considerare:**
 - Riduzione della congestione;
 - Riduzione delle emissioni inquinanti;
 - Riduzione dell'inquinamento acustico.
- **Nuovi aspetti operativi e nuovi vincoli da considerare:**
 - Flotta di veicoli non omogenea;
 - Finestre di consegna ristrette con richieste differenziate;
 - Zone a traffico limitato o strade ad accesso differenziato;
 - Orari di accesso differenziati;
 - Limiti di velocità;
 - Diverse modalità di trasporto;



Emissioni inquinanti dei veicoli.

Esempi di vincoli operativi



Strade \uparrow e orari \downarrow ad accesso differenziato

Emission order time	Delivery time (2 hours shift)	Allowed weight circulation	Allowed emission circulation
6 p.m.–12 p.m. the day before and 0 a.m.–7 a.m.	10 a.m.–12 a.m.	LCV, HGV1-2	EURO 4–6
7 a.m.–11 a.m.	1 p.m.–3 p.m.	LCV, HGV1-2	EURO 4–6
11 a.m.–1 p.m.	3 p.m.–5 p.m.	LCV HGV1-2	EURO 3–6 EURO 4–6
1 p.m.–4 p.m.	6 p.m.–8 p.m.	LCV, HGV1-2	EURO 3–6
4 p.m.–6 p.m.	8 p.m.–10 p.m.	LCV, HGV1-4	EURO 0–6

Problemi B2C

- La consegna dei beni ai clienti è l'operazione più critica e costosa dell'EC (spesso coinvolge beni di basso valore)
- I piani di consegna vanno determinati frequentemente (al giorno) → ordini numerosi e di volume ridotti
- La domanda cambia nel tempo, nell'area geografica a seconda delle caratteristiche socio-economiche dei clienti
- Elementi strategici distintivi di una impresa di EC:
 - numero e tipologia dei veicoli
 - capacità di adattamento agli ordini “last minute”
- Trade-off tra costi logistici e livello di servizio

Caso di studio B2C

- Domanda settimanale sul territorio
- Finestre temporali di consegna di 2 ore
- 5 veicoli con 2 differenti capacità
- Istanze differenziate per giorno della settimana e orario
- Tempo di calcolo: da 1' a 3 h

Node	Zip Code	Demand (Boxes)	Node	Zip Code	Demand (Boxes)
0 (depot)	16159	-			
1	16010	21	29	16142	77
2	16014	14	30	16143	168
3	16030	70	31	16144	91
4	16031	35	32	16145	230
5	16032	14	33	16146	120
6	16033	7	34	16147	180
7	16035	84	35	16148	133
8	16036	7	36	16149	141
9	16043	63	37	16151	94
10	16121	112	38	16152	56
11	16122	140	39	16153	132
12	16123	21	40	16154	28
13	16124	49	41	16155	63
14	16125	56	42	16156	139
15	16126	105	43	16157	56
16	16127	77	44	16158	14
17	16128	140	45	16159	140
18	16129	189	46	16161	28
19	16131	105	47	16162	7
20	16132	105	48	16163	7
21	16133	77	49	16164	14
22	16134	56	50	16165	28
23	16135	42	51	16166	63
24	16136	154	52	16167	42
25	16137	98	53	17011	7
26	16138	98	54	17012	14
27	16139	63	55	17019	7
28	16141	14	56	17100	28

Caso di studio B2C

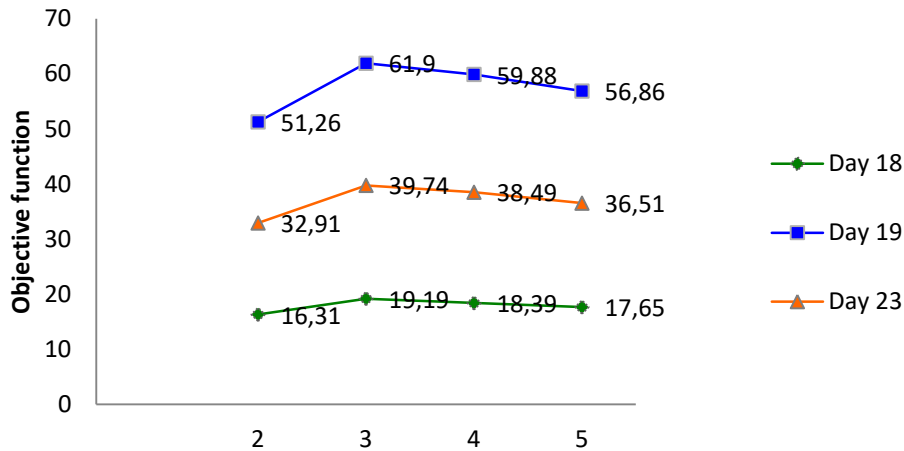
- **Valutazione di 5 scenari alternativi**
- **Funzione obiettivo:** $\min \sum_{ijv} (cv + av + mv) l_{ij} x_{ijv}$
 1. Minimizzazione della distanza percorsa
 2. Minimizzazione del costo della distribuzione, considerando I costi €/km dei veicoli
 3. Aggiunta dei costi delle emission inquinanti e dei cambiamenti climatici per veicoli di classe EURO III
 4. "" per veicoli di classe EURO IV
 5. "" per veicoli di classe EURO V-VI

- **Costi di impatto ambientale derivati da (Ricardo-AEA, 2014)**

	Air pollution cost a_v		Marginal climate change cost m_v	
	LCV	HGV-1	LCV	HGV-1
EURO III	0,046	0,061	0,028	0,029
EURO IV	0,032	0,038	0,028	0,027
EURO V-VI	0,011	0,017	0,028	0,025

Caso di studio B2C

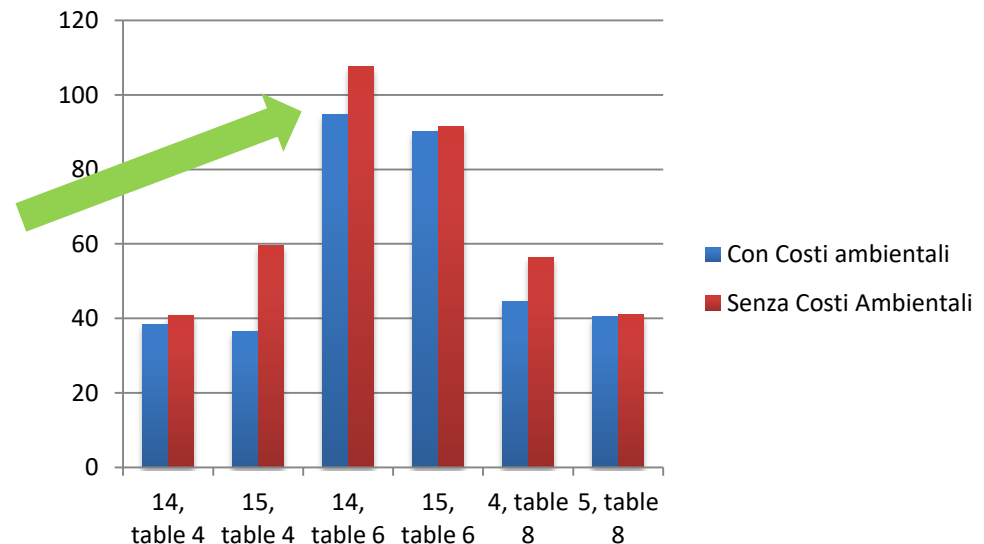
- Analisi delle soluzioni con / senza costi esterni



f.o.(1)	Case 6	$\delta\%$
38.49	40.91	7.47
36.51	59.54	23.04
94.61	107.52	12.94
90.07	91.62	1.55
44.65	56.38	11.73
40.52	41.03	0.51

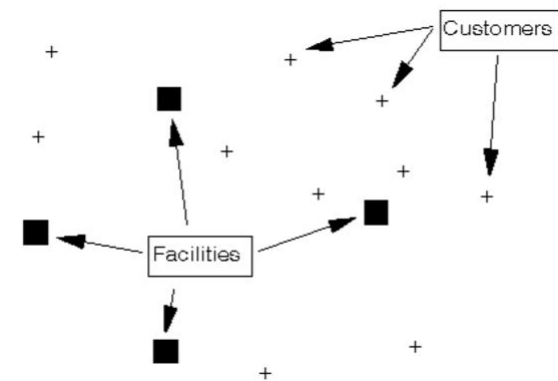
Valutazione costi esterni ex post (a partire dalla minimizzazione del percorso)

Costo emissioni inquinanti



Problemi di facility location & routing

- **Modello:** Grafo $G=(N,A)$
 - N = insieme dei nodi origine + insieme dei nodi destinazione + insieme delle potenziali facility
 - A = insieme delle possibili connessioni (archi) con modalità di trasporto e capacità note
- **Dati:** domanda di flusso o/d
- **Variabili decisionali:** singole tratte percorse dai veicoli e sedi delle facility
- **Obiettivo:** Minimizzazione dei costi di distribuzione (variabili) e dei costi delle facility (fissi)



$$\text{Min } \sum_h c_h y_h + \sum_{ij} c_{ij} x_{ij}$$

Location-routing: Evoluzione dei modelli

- **Nuove componenti di costo (esternalità) da considerare nella funzione obiettivo:**
 - Riduzione della congestione;
 - Riduzione dell'incidentalità;
 - Riduzione delle emissioni inquinanti;
 - Riduzione dell'inquinamento acustico;
 - Riduzione dell'impatto visivo;
 - Costo dell'infrastruttura.
- **Nota.** I costi di congestione per il trasporto su gomma e il costo per inquinamento acustico si considerano solo se sopra un valore di soglia



Caso di studio rete di connessioni retro-portuali

- Rete di trasporto intermodale con un sistema di dry port dai terminal marittimi per l'inoltro alle principali destinazioni
- **Incentivo a:**
 - Diminuzione dell'inquinamento
 - Diminuzione dei costi sociali
 - Aumento dell'efficienza portuale
 - Riduzione dell'incidentalità
 - Bilanciamento della ripartizione modale
- **Problemi coinvolti:**
 - Scelta dei nodi di scambio
 - Scelta della modalità di trasporto



Caso di studio rete di connessioni retro-portuali

- Grafo del problema: 3 nodi origine (porti), 13 destinazioni, 34 nodi di transito, 3 potenziali inland-port, 85 archi di modalità gomma, 75 archi di modalità ferro.
- Flusso containerizzato verso le destinazioni: ~ 432000 TEU
- Modello risultante (formulato e risolto con Excel: 165 variabili e 200 vincoli)



Caso di studio rete di connessioni retro-portuali

• Verifica di ammissibilità

- Flusso ai nodi = inflow–outflow;
- Inflow nodi destinazione = domanda;
- Outflow porti = offerta;
- Flusso nullo ai nodi di transito;
- Ripartizione modale;
- Conservazione del flusso per ciascuna modalità ad ogni nodo;
- Possibile cambio di modalità negli inland-port;
- Rispetto delle capacità.

FLOW ANALYSIS IN THE NETWORK										
nodes	Type (port/inland/destination/ transiction)	inflow - road	inflow - rail	total inflow (road + rail)	outflow - road	outflow - rail	total outflow (road + rail)	net flow (road + rail)		Demand /offer
Alessandria	d	0	3977	3977	0	0	0	3977	=	3977
Aosta	d	756	0	756	0	0	0	756	=	756
Brescia	d	114338	0	114338	0	0	0	114338	=	114338
Como	d	13759	0	13759	0	0	0	13759	=	13759
Cuneo	d	13575	0	13575	0	0	0	13575	=	13575
Genova	d	741	13167	13908	0	0	0	13908	=	13908
LaSpezia	d	41081	1373	42454	0	0	0	42454	=	42454
Milano	d	116325	0	116325	0	0	0	116325	=	116325
Parma	d	53995	0	53995	0	0	0	53995	=	53995
Savona	d	0	3136	3136	0	0	0	3136	=	3136
Torino	d	40130	0	40130	0	0	0	40130	=	40130
Varese	d	11505	0	11505	0	0	0	11505	=	11505
Verbania	d	0	15052	15052	0	0	0	15052	=	15052
AlessandriaInterporto	i	0	15809	15809	756	15052	15809	0	=	0
MilanoInterporto	i	0	0	0	0	0	0	0	=	0
TorinoInterporto	i	0	0	0	0	0	0	0	=	0
GenovaPorto	p	0	0	0	237600	32953	270553	-270553	=	-270553
LaSpeziaPorto	p	0	0	0	158400	1373	159773	-159773	=	-159773
SavonaPorto	p	0	0	0	9448	3136	12584	-12584	=	-12584
AcquiTerme	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Arona	t	0	15052	15052	0	15052	15052	0	=	0
Arquata	t	0	19786	19786	0	19786	19786	0	=	0
Asti	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Carrù	t	53705	0	53705	53705	0	53705	0	=	0
Chivasso	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Cinisello	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Fossano	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Gallarate	t	11505	0	11505	11505	0	11505	0	=	0
GenovaTransito	t	0	32953	32953	0	32953	32953	0	=	0
GenovaVoltri	t	63324	0	63324	63324	0	63324	0	=	0
Inrea	t	756	0	756	756	0	756	0	=	0
LaSpeziaTransito	t	158400	1373	159773	158400	1373	159773	0	=	0
Moncalieri	t	40130	0	40130	40130	0	40130	0	=	0
Monza	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Mortara	t	0	15052	15052	0	15052	15052	0	=	0
Novara	t	0	15052	15052	0	15052	15052	0	=	0
Pavia	t	255927	0	255927	255927	0	255927	0	=	0
Piacenza	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Rho	t	25264	0	25264	25264	0	25264	0	=	0
Rivalta	t	255927	0	255927	255927	0	255927	0	=	0
Rovato	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Rozzano	t	255927	0	255927	255927	0	255927	0	=	0
SanGiuseppe	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Sant'Ilia	t	756	0	756	756	0	756	0	=	0
SavonaTransito	t	53705	3136	56841	53705	3136	56841	0	=	0
Segrate	t	114338	0	114338	114338	0	114338	0	=	0
SettimoMilanese	t	25264	0	25264	25264	0	25264	0	=	0
Tortona	t	255927	0	255927	255927	0	255927	0	=	0
Trofarello	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Valenza	t	0	15052	15052	0	15052	15052	0	=	0
Veruno	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Vicollongo	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0
Voghera	t	0	0	0	0	0	0	0	=	0

Caso di studio rete di connessioni retro-portuali

• Valutazione dell'impatto dei costi esterni:

- costo di congestione sul flusso in uscita dai porti;
- costo per inquinamento acustico;
- costo per inquinamento dell'aria per la modalità gomma.

✓ inland opening and operative costs

$$\sum_{h \in V_H} C_f y_h + \sum_{h \in V_H} C_v y_h x_h$$

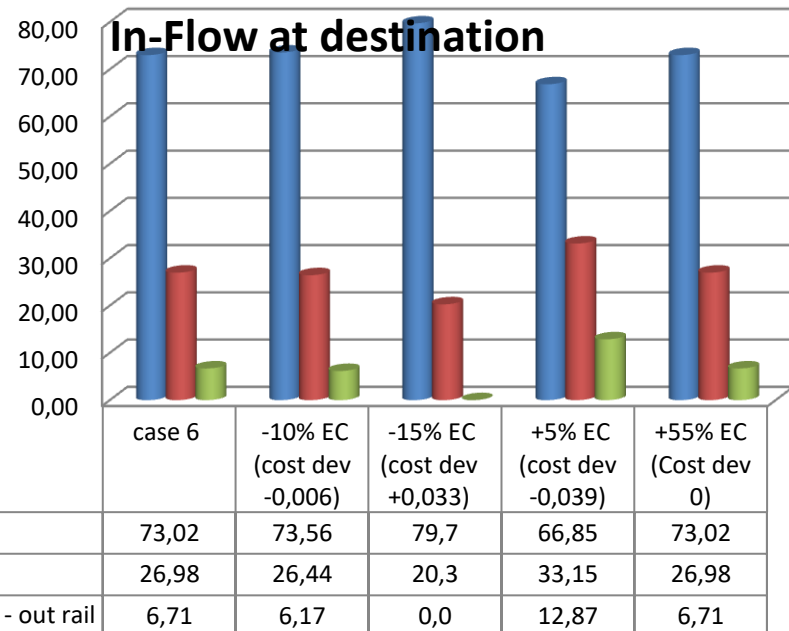
✓ transportation costs

$$\sum_{m \in M} \sum_{(i,j) \in E_m} c_{ij}^m x_{ij}^m$$

✓ externalities costs

$$\sum_{m \in M} \sum_{(i,j) \in E_m} c_p^m x_{ij}^m + \sum_{m \in M} \sum_{(i,j) \in E_m} c_n^m x_{ij}^m + \sum_{i \in V_O} C_e x_i^T$$

Handbook on estimation of external costs in the transport sector (Impact, 2008-2014).



Caso di studio rete di connessioni retro-portuali

- Analisi delle soluzioni con / senza costi esterni

	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Case 5		Case 6		
Inland port costs (IC)	x		x		x		x		x		x		
Transportation costs (TC)	x		x		x		x		x		x		
External costs (EC)			x				x				x		
Ce													
cp + cn -road					x		x		x		x		
cp + cn -rail									x		x		
<i>Scenario 1 (no inland ports)</i>													
Cost composition	% IC		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00		
	% TC		100.00		80.51		24.61		23.26		20.52		
	% EC		0.00		19.49		75.39		76.74		79.48		
Modal split	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	
	OUT- F- O	91.54	8.46	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28
	IN - F- I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	OUT- F- I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	IN - F- D	91.54	8.46	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28
<i>Scenario 2 (3 inland ports)</i>													
Cost composition	% IC		9.76		7.96		2.67		2.51		2.15		
	% TC		90.24		73.99		25.35		23.91		20.43		
	% EC		0.00		18.05		71.98		73.58		77.42		
Modal split	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	
	OUT- F- O	91.54	8.46	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28
	IN - F- I	0.09	3.31	0.09	3.31	13.41	0.00	13.41	0.00	12.87	0.00	12.87	0.00
	OUT- F- I	0.00	3.40	0.00	3.40	0.00	13.41	0.00	13.41	0.00	12.87	0.00	12.87
	IN - F- D	91.45	8.55	79.63	20.37	36.31	33.69	66.31	33.69	66.85	33.15	66.85	33.15
<i>Scenario 3 (optimal network)</i>													
	No inland ports		No inland ports		2 inlandp. (AL-MI)		2 inlandp. (AL-MI)		1 inlandp. (MI)		1 inland p. (MI)		
Cost composition	% IC		0.00		0.00		1.88		1.77		0.65		
	% TC		100		80.51		25.56		24.09		20.56		
	% EC		0.00		19.49		72.56		74.13		78.79		
Modal split	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	Road	Rail	
	OUT- F- O	91.54	8.46	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28	79.72	20.28
	IN - F- I	0.00	0.00	0.00	0.00	13.41	0.00	13.41	0.00	6.71	0.00	6.71	0.00
	OUT- F- I	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.41	0.00	13.41	0.00	6.71	0.00	6.71
	IN - F- D	91.54	8.46	79.72	20.28	36.31	33.69	66.31	33.69	73.02	26.98	73.02	26.98

Conclusioni e sviluppi futuri

- I modelli decisionali legati a problem della logistica a partire dagli anni '50 si sono evoluti sia a seguito dello sviluppo informatico - tecnologico e successivamente per far fronte alle nuove esigenze
- Esigenze di sostenibilità sono facilmente esprimibili in modelli quantitative
- Tali modelli sono implementabili in moltissime piattaforme sw (anche fogli elettronici)
- Soluzioni di tali modelli evidenziano come sia possibile quantificare il “costo”, che attualmente paga la collettività, per avere una logistica sempre più sostenibile

Bibliografia di riferimento

- Ambrosino D., Sciomachen A. (2012) Hub locations in urban multimodal networks. *European Transport* 51, 1-14.
- Ambrosino D. Sciomachen A. (2014). Location of mid-range dry ports in multimodal logistic networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 108, 118 – 128.
- Ambrosino D. Sciomachen A. (2016). A capacitated hub location problem in freight logistics multimodal networks. *Optimization Letters* 1, 1-27.
- Ambrosino D., Ferrari C. Sciomachen A., Tei A. (2016) Intermodal nodes and external costs: Re-thinking the current network organization. *Research in Transportation Business and Management*, 19, 106-117.
- Carrabs, F., Cerulli, R., Sciomachen, A. (2014) Environmental Sustainable Fleet Planning in B2C e-commerce Urban Distribution Networks. In *smart city. How to create public and economic value with high technology in urban space*, Dameri R, Rosenthal-Sabroux C. (eds.).Springer-Verlag, 183-192.
- Carrabs, F., Cerulli, R., Sciomachen, A. (2016) An Exact Approach for the Grocery delivery in urban areas. *Soft Computing*, in press. DOI: 10.1007/s00500-016-2406-5.
- Cerulli, R., Dameri P., Sciomachen, A. (2017). *IMA Journal of Management* press. DOI: 10.1007/s00500-016-2406-5