

XI Riunione Scientifica Annuale della Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica

**“Trasporti, logistica e reti di imprese:
competitività del sistema e ricadute sui territori locali”**

Trieste, 15 -18 giugno 2009

**Analisi economica e pianificazione della logistica
terrestre containerizzata del sistema portuale ed
interportuale campano**

Fedele Iannone

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR),

Istituto di Ricerche sulle Attività Terziarie (IRAT), Napoli

Indice

- Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata
- Presentazione generale del modello di analisi sviluppato
- Rassegna dei principali contributi della letteratura modellistica di riferimento
- Caratteristiche della rete logistica studiata
- Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato
- Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello
- Conclusioni

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata 1/11

Criticità:

- Saturazione della capacità terminalistica del porto di Napoli
- Congestione nel porto di Napoli determinata anche da vincoli di capacità doganale
- Saturazione della capacità terminalistica del porto di Salerno
- Sospensione dei collegamenti ferroviari da/verso il porto di Salerno
- Congestione sulla viabilità urbana determinata dai traffici portuali regionali containerizzati
- Bassa quota del trasporto ferroviario da/verso i porti campani sul traffico terrestre totale
- Bacino commerciale terrestre dei porti campani esclusivamente di tipo nazionale
- Assenza di un'area doganale vincolata a disposizione del terminal intermodale di Marcianise
- Lento sviluppo dei traffici ferroviari rispetto al traffico container complessivo da/verso gli interporti campani (basso utilizzo della capacità di movimentazione intermodale degli interporti)

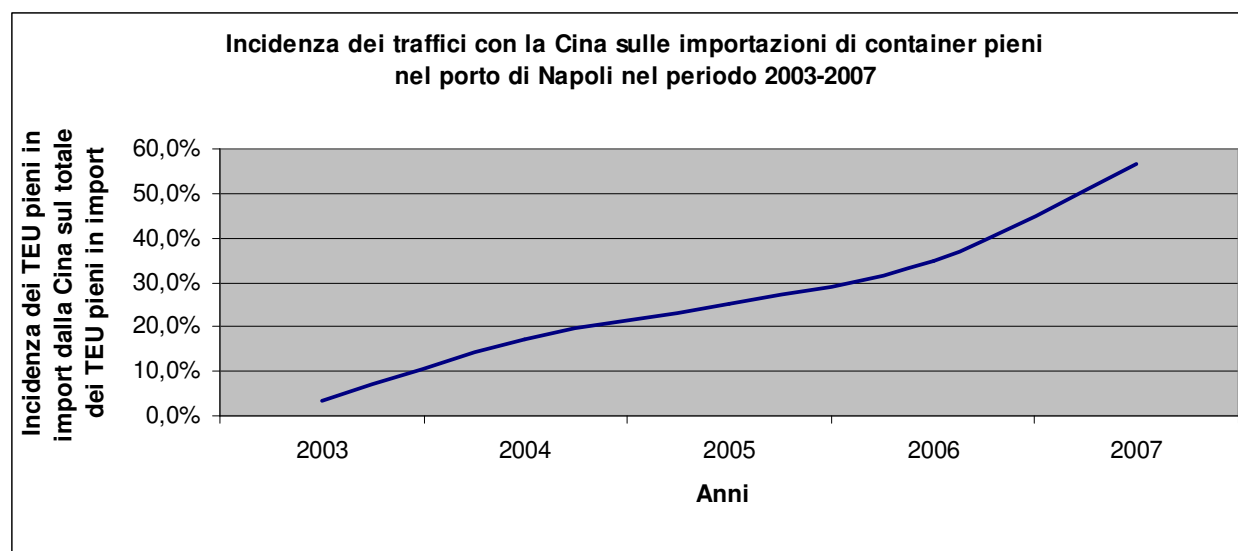
Una delle soluzioni di sviluppo individuate dalla politica regionale della logistica riguarda un sistema di incentivi per il finanziamento dei servizi ferroviari containerizzati Napoli-Nola.

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **2/11**

Incidenza dei controlli doganali sui container in import-export
sdoganati nel sistema portuale campano

Anno 2007	Porto di Napoli	Porto di Salerno
Ispezione fisica (VM) importazioni containerizzate	25,0%	4,0%
Scannerizzazione (CS) importazioni containerizzate	5,0%	1,0%
Controllo documentale (CD) importazioni containerizzate	11,0%	11,0%
Controllo automatizzato (CA) importazioni containerizzate	59,0%	84,0%
Ispezione fisica (VM) esportazioni containerizzate	15,6%	2,5%
Scannerizzazione (CS) esportazioni containerizzate	3,1%	0,5%
Controllo documentale (CD) esportazioni containerizzate	10,0%	10,0%
Controllo automatizzato (CA) esportazioni containerizzate	71,3%	87,0%

Fonte: ns. elaborazione su dati Agenzia delle Dogane – Roma, terminalisti e spedizionieri campani, 2008



Fonte: ns. elaborazione su dati Eurostat, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **3/11**

Dwell time unitari dei container in import sdoganati nel sistema portuale campano

Dwell time campionari dei container pieni in import - Anno 2007	Numero di giorni/TEU	Numero di ore/TEU
VM porto di Napoli - gomma	22,5	540,0
CS porto di Napoli - gomma	23,7	568,8
CD porto di Napoli - gomma	14,4	345,6
CA porto di Napoli - gomma	9,3	223,2
Media ponderata container pieni sdoganati porto di Napoli - gomma	13,9	333,1
VM porto di Napoli - ferro	22,7	544,8
CS porto di Napoli - ferro	23,9	573,6
CD porto di Napoli - ferro	14,6	350,4
CA porto di Napoli - ferro	9,5	228,0
Media ponderata container pieni sdoganati porto di Napoli - ferro	14,1	337,9
VM porto di Salerno - gomma	7,0	168,0
CS porto di Salerno - gomma	7,4	177,6
CD porto di Salerno - gomma	5,0	120,0
CA porto di Salerno - gomma	4,5	108,0
Media ponderata container pieni sdoganati porto di Salerno - gomma	4,7	112,4

Fonte: ns. elaborazione su dati Agenzia delle Dogane – Roma, terminalisti e spedizionieri campani, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **4/11**

Dwell time unitari dei container in import sdoganati nel sistema interportuale campano*

Dwell time campionari dei container pieni in import - anno 2007	Numero di giorni/TEU	Numero di ore/TEU
VM interporto di Nola - gomma	7,0	168,0
CS interporto di Nola - gomma	7,4	177,6
CD interporto di Nola - gomma	5,0	120,0
CA interporto di Nola - gomma	4,5	108,0
Media pieni sdoganati interporto di Nola - gomma	6,0	143,4
VM interporto di Nola - ferro	7,2	172,8
CS interporto di Nola - ferro	7,6	182,4
CD interporto di Nola - ferro	5,2	124,8
CA interporto di Nola - ferro	4,7	112,8
Media pieni sdoganati interporto di Nola - ferro	6,2	148,2

** Sebbene dal 2006 la Dogana sia anche operativa presso l'interporto di Marcianise, al momento il terminalista intermodale di tale interporto non è stato ancora autorizzato per la cosiddetta "area A3" in cui poter stoccare e movimentare i container allo stato estero in import ed export (Reg. 4, Reg. 1).*

Fonte: ns. elaborazione su dati forniti da terminalisti, spedizionieri e operatori logistici campani, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata 5/11

Numero di giorni necessari* per la verifica fisica (VM) dei container nell'interporto di Nola nel periodo gennaio – giugno 2008

mese	totale importazioni	totale VM import	% VM	difformi	% difformi	tot gg. x verifica	media gg. x verifica x container	VM esitate in giornata	% VM esitate in giornata	VM esitate in + di 7 gg.	% VM esitate in + di 7 gg.
gennaio	645	111	17,21%	4,00	3,60%	194	1,75	40	36,04%	0	0,00%
febbraio	592	95	16,05%	4,00	4,21%	234	2,46	19	20,00%	3	3,16%
marzo	578	91	15,74%	6,00	6,59%	181	1,99	18	19,78%	0	0,00%
aprile	455	51	11,21%	2,00	3,92%	84	1,65	23	45,10%	1	1,96%
maggio	550	77	14,00%	1,00	1,30%	114	1,48	29	37,66%	0	0,00%
giugno	421	73	17,34%	5,00	6,85%	185	2,53	33	45,21%	4	5,48%
totale	3.241	498	15,37%	22	4,42%	992	1,99	162	32,53%	8	1,61%

**compresi i gg. festivi*

Fonte: Ufficio delle Dogane di Napoli 2 - Sezione Operativa Territoriale di Nola, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata 6/11

Ripartizione modale dei traffici terrestri di contenitori da/verso il sistema portuale campano negli anni 2004-2008

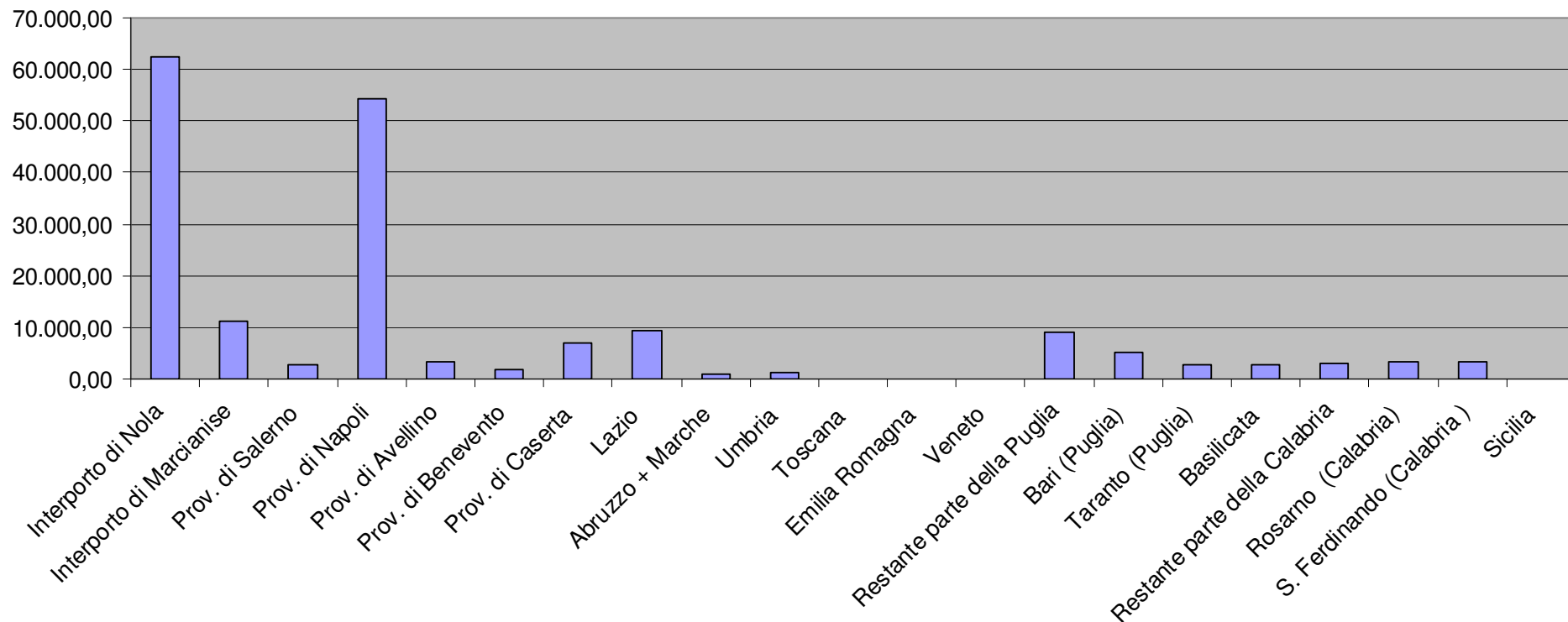
Porto di Napoli		
Anno	Trasporto su gomma	Trasporto su ferro
2004	88,2%	11,8%
2005	91,9%	8,1%
2006	92,9%	7,1%
2007	92,2%	7,8%
2008	94,4%	5,6%

Porto di Salerno		
Anno	Trasporto su gomma	Trasporto su ferro
2004	98,0%	2,0%
2005	98,8%	1,2%
2006	100,0%	0,0%
2007	100,0%	0,0%
2008	100,0%	0,0%

Porti di Napoli e Salerno		
Anno	Trasporto su gomma	Trasporto su ferro
2004	93,4%	6,6%
2005	95,4%	4,6%
2006	96,1%	3,9%
2007	95,7%	4,3%
2008	96,7%	3,3%

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **7/11**

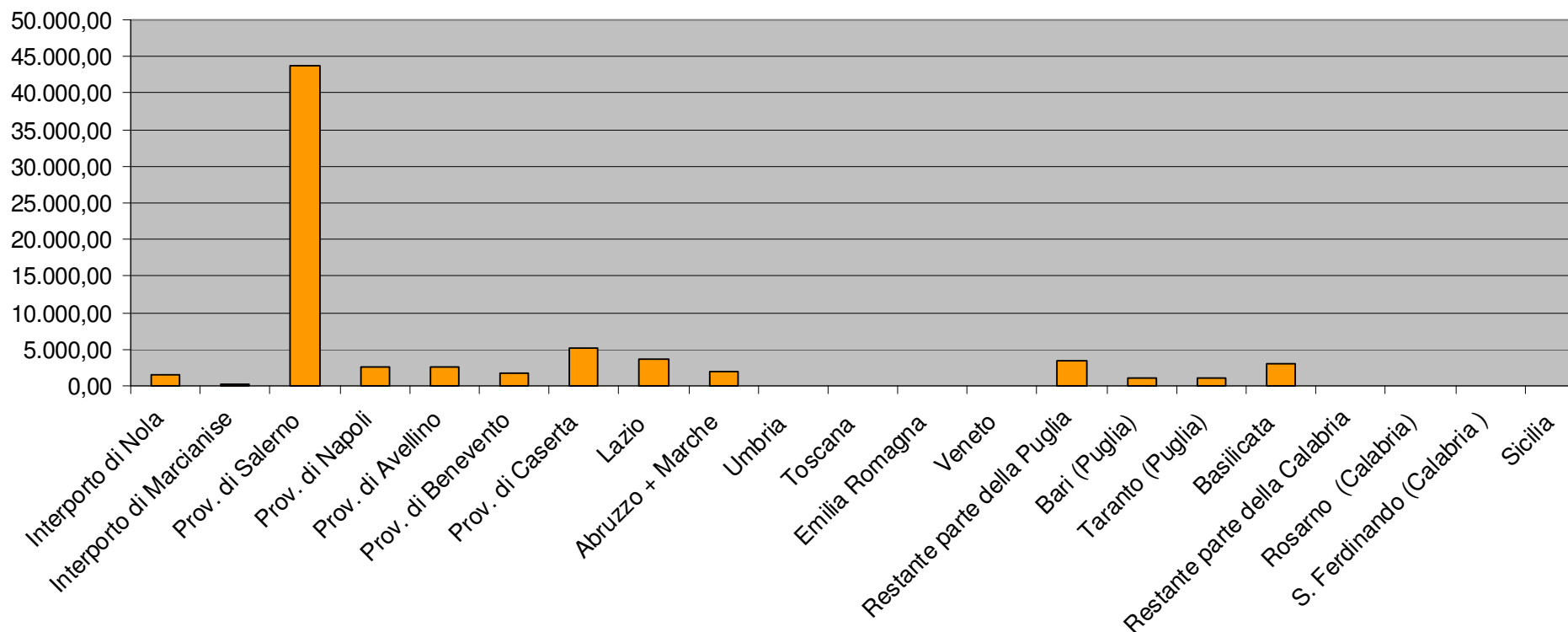
Assorbimento terrestre (gomma + ferro) dei contenitori marittimi pieni in import
(misurati in TEU) nel porto di Napoli – anno 2007 – totale: 183.622 TEU



Fonte: ns. elaborazione su dati Autorità Portuale di Napoli, Co.Na.Te.Co., Trenitalia, Ferport Napoli, spedizionieri e operatori logistici campani, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **8/11**

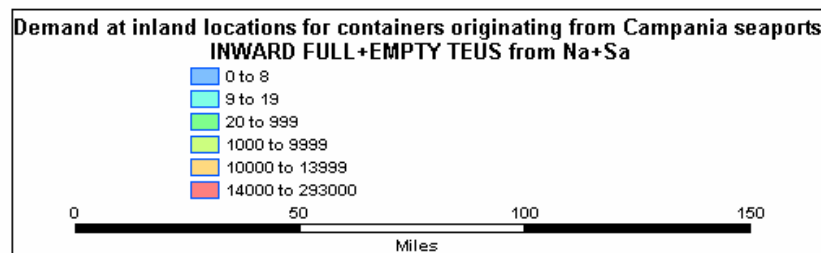
Assorbimento terrestre (solo gomma) dei contenitori marittimi pieni in import (misurati in TEU) nel porto di Salerno – anno 2007 – totale: 71.681TEU



Fonte: ns. elaborazione su dati Autorità Portuale di Salerno, S.C.T., spedizionieri e operatori logistici campani, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata 9/11

Domanda effettiva O/D di container pieni e vuoti sbarcati nel cluster portuale campano nel 2007 (escluso i transiti agli interporti e indipendentemente dalla modalità di trasporto)



Fonte: ns. elaborazione su dati Autorità portuali di Napoli e Salerno, Co.Na.Te.Co., S.C.T., spedizionieri e operatori logistici campani, 2008

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **10/11**

Traffici container in entrata e in uscita nel/dall'interporto di Nola

Traffici container in entrata e uscita nel/dall'interporto di Nola	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su gomma e ferro</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su gomma e ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su gomma e ferro</i>
2004	60.261	8.956	69.217	14.993	7.330	22.323	75.254	16.286	91.540
2005	61.183	8.448	69.631	9.832	4.022	13.854	71.015	12.470	83.485
2006	65.633	10.755	76.388	9.070	2.974	12.044	74.703	13.729	88.431
2007	70.830	11.700	82.530	11.205	5.561	16.766	82.035	17.261	99.296
Var.% 2004-2007	17,5%	30,6%	19,2%	-25,3%	-24,1%	-24,9%	9,0%	6,0%	8,5%
Var.% 2006-2007	7,9%	8,8%	8,0%	23,5%	87,0%	39,2%	9,8%	25,7%	12,3%
Crescita media annua 2004-2007	5,5%	9,3%	6,0%	-9,3%	-8,8%	-9,1%	2,9%	2,0%	2,7%

Traffici container in entrata e uscita nel/dall'interporto di Nola	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su ferro e gomma</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su ferro e gomma</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma di pieni sul traffico totale di pieni</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma di vuoti sul traffico totale di vuoti</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro di pieni sul traffico totale di pieni</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro di vuoti sul traffico totale di vuoti</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma sul traffico totale</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro sul traffico totale</i>
2004	87,1%	12,9%	67,2%	32,8%	82,2%	17,8%	80,1%	55,0%	19,9%	45,0%	75,6%	24,4%
2005	87,9%	12,1%	71,0%	29,0%	85,1%	14,9%	86,2%	67,7%	13,8%	32,3%	83,4%	16,6%
2006	85,9%	14,1%	75,3%	24,7%	84,5%	15,5%	87,9%	78,3%	12,1%	21,7%	86,4%	13,6%
2007	85,8%	14,2%	66,8%	33,2%	82,6%	17,4%	86,3%	67,8%	13,7%	32,2%	83,1%	16,9%

Fonte: ns. elaborazione su dati Trenitalia, Ferport Napoli, RTC, Interporto Campano, Gallozzi Group

Principali criticità ed aspetti del sistema portuale ed interportuale campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata **11/11**

Traffici container in entrata e in uscita nel/dall'interporto di Marcianise

Traffici container in entrata e uscita nel/dall'interporto di Marcianise	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni in entrata e uscita su gomma e ferro</i>	<i>Numero di TEU vuoti in entrata e uscita su gomma e ferro</i>	<i>Numero di TEU pieni e vuoti in entrata e uscita su gomma e ferro</i>
2004	10.406	968	11.374	1.309	164	1.473	11.715	1.132	12.847
2005	10.766	1.298	12.064	20	52	72	10.786	1.350	12.136
2006	11.727	1.355	13.082	117	0	117	11.844	1.355	13.199
2007	12.842	1.132	13.974	474	16	490	13.316	1.148	14.464
Var.% 2004-2007	23,4%	16,9%	22,9%	-63,8%	-90,2%	-66,7%	13,7%	1,4%	12,6%
Var.% 2006-2007	9,5%	-16,4%	6,8%	305,1%	-	318,8%	12,4%	-15,3%	9,6%
Crescita media annua 2004-2007	7,3%	5,4%	7,1%	-28,7%	-54,0%	-30,7%	4,4%	0,5%	4,0%

Traffici container in entrata e uscita nel/dall'interporto di Marcianise	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su gomma</i>	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su ferro</i>	<i>Incidenza dei pieni sul traffico totale in entrata e uscita su ferro e gomma</i>	<i>Incidenza dei vuoti sul traffico totale in entrata e uscita su ferro e gomma</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma di pieni sul traffico totale di pieni</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma di vuoti sul traffico totale di vuoti</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro di pieni sul traffico totale di pieni</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro di vuoti sul traffico totale di vuoti</i>	<i>Incidenza del traffico su gomma sul traffico totale</i>	<i>Incidenza del traffico su ferro sul traffico totale</i>
2004	91,5%	8,5%	88,9%	11,1%	91,2%	8,8%	88,8%	85,5%	11,2%	14,5%	88,5%	11,5%
2005	89,2%	10,8%	27,8%	72,2%	88,9%	11,1%	99,8%	96,1%	0,2%	3,9%	99,4%	0,6%
2006	89,6%	10,4%	100,0%	0,0%	89,7%	10,3%	99,0%	100,0%	1,0%	0,0%	99,1%	0,9%
2007	91,9%	8,1%	96,7%	3,3%	92,1%	7,9%	96,4%	98,6%	3,6%	1,4%	96,6%	3,4%

Fonte: ns. elaborazione su dati Interporto Sud Europa, Trenitalia e Ferport Napoli

- **Definizione teorica ed implementazione numerica** di un modello microeconomico lineare, multimodale e multiprodotto per l'ottimizzazione della logistica terrestre legata ai traffici containerizzati d'importazione attraverso il sistema portuale ed interportuale campano ("***interport model***").
- Obiettivi dell'*interport model*: 1) **individuazione dei flussi multimodali terrestri containerizzati di minimo costo logistico totale** (scelte nodali e modali ottime); 2) **valutazione di scenari alternativi di lungo periodo** in termini di offerta infrastrutturale e di servizi, caratteristiche della domanda, *policy* industriali e governative.
- Estensione dei tradizionali modelli di programmazione matematica su rete alle teorie ed evidenze logistiche e trasportistiche riguardanti la "***Port regionalization***", la "***Supply chain terminalization***" e l'"***Extended gateway concept***" (Notteboom e Rodrigue, 2005, 2009; Rodrigue e Notteboom, 2009; Visser ed altri, 2007).

- **Rappresentazione matematica del processo di sdoganamento** e più in generale di rilascio dei container nei nodi logistici di primo livello **e della possibilità di considerare gli interporti come prolungamento ("extended gate") dei porti** secondo un regime di continuità doganale basato sul trasporto ferroviario.
- **Dimensione temporale:** 1) ***dwelt time*** (tempi medi di permanenza) dei container nei nodi portuali ed interportuali (differenziati per modalità di trasporto terrestre in uscita, nonché tra container vuoti e container pieni secondo le varie possibilità di controllo doganale); 2) ***free of charge time*** (franchigie temporali) per la sosta dei container nei porti e negli interporti; 3) ***demurrage charge***, generalmente intese come spese di sosta da sostenere dopo il periodo di franchigia concesso nei nodi portuali ed interportuali; 4) **tempi di trasporto multimodale**; 5) **costi opportunità e di deprezzamento tecnico ed economico dei beni** containerizzati.

Rassegna dei principali contributi della letteratura modellistica di riferimento 1/2

Autori	Obiettivo del lavoro
Aversa ed altri (2005)	Individuare la localizzazione ottimale di un porto <i>hub</i> sulla Costa orientale del Sud America mediante un modello <i>hub-and-spoke</i> di programmazione mista intera multiprodotto.
Chang (2008)	Sviluppare un modello multimodale multiobiettivo e multiprodotto con finestre temporali e costi non lineari per la selezione di itinerari ottimali per le spedizioni su reti internazionali intermodali.
Choong ed altri (2002)	Analizzare l'effetto della lunghezza dell'orizzonte di pianificazione sulle scelte di gestione dei container vuoti in ambito terrestre mediante un modello di programmazione intera.
Crainic (2003)	Illustrare le principali problematiche relative alla pianificazione e gestione dei sistemi di trasporto merci, con particolare riferimento al trasporto di lungo raggio e ai modelli di analisi di sistemi multimodali e multiprodotto di tipo <i>hub-and-spoke</i> .
Crainic e Kim (2007)	Illustrare diverse problematiche del trasporto intermodale e diverse metodologie di modellizzazione matematica applicata.
Cullinane ed altri (2002)	Sviluppare un modello di programmazione matematica multiobiettivo, multimodale e monoprodotto con vincoli di capacità trasportistica per simulare l'ottimizzazione dei flussi d'importazione di container pieni in Cina secondo criteri di costo e di tempo.
Kim ed altri (2008a)	Sviluppare un modello di programmazione mista intera multimodale e monoprodotto per l'ottimizzazione dei flussi di container pieni in import ed export riguardanti la Corea.

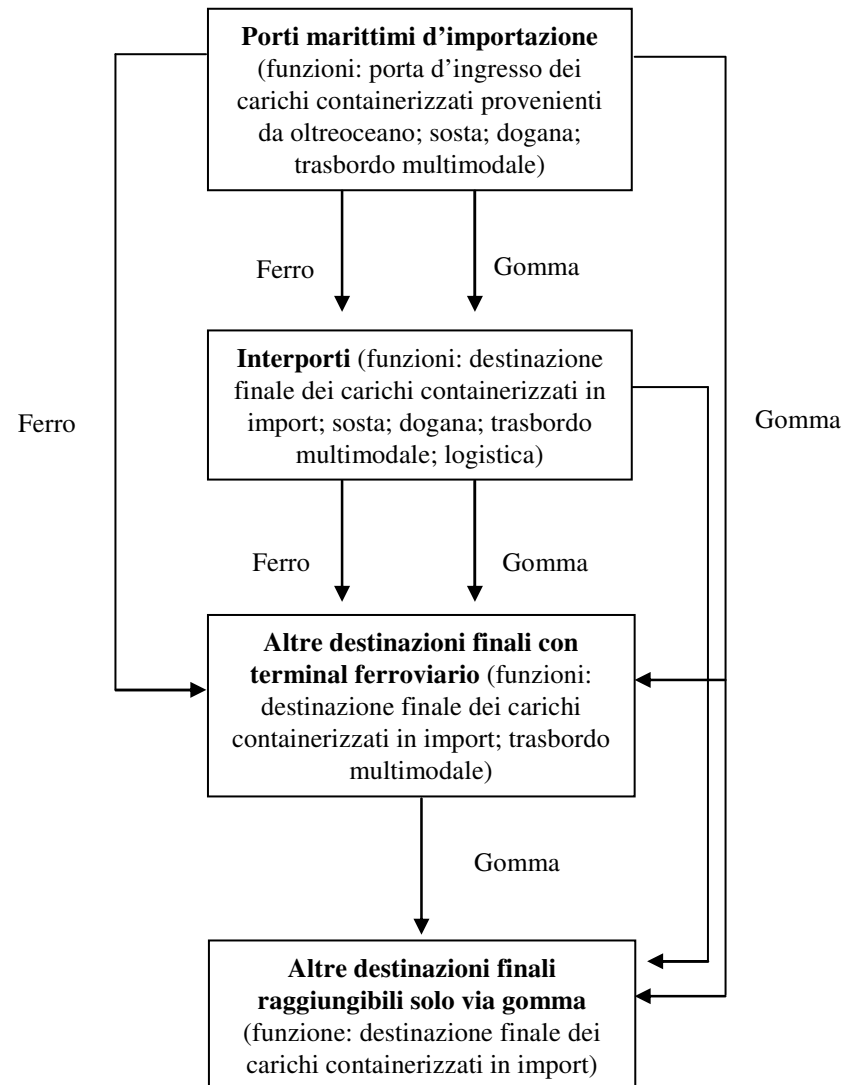
(continua alla diapositiva successiva)

Rassegna dei principali contributi della letteratura modellistica di riferimento 2/2

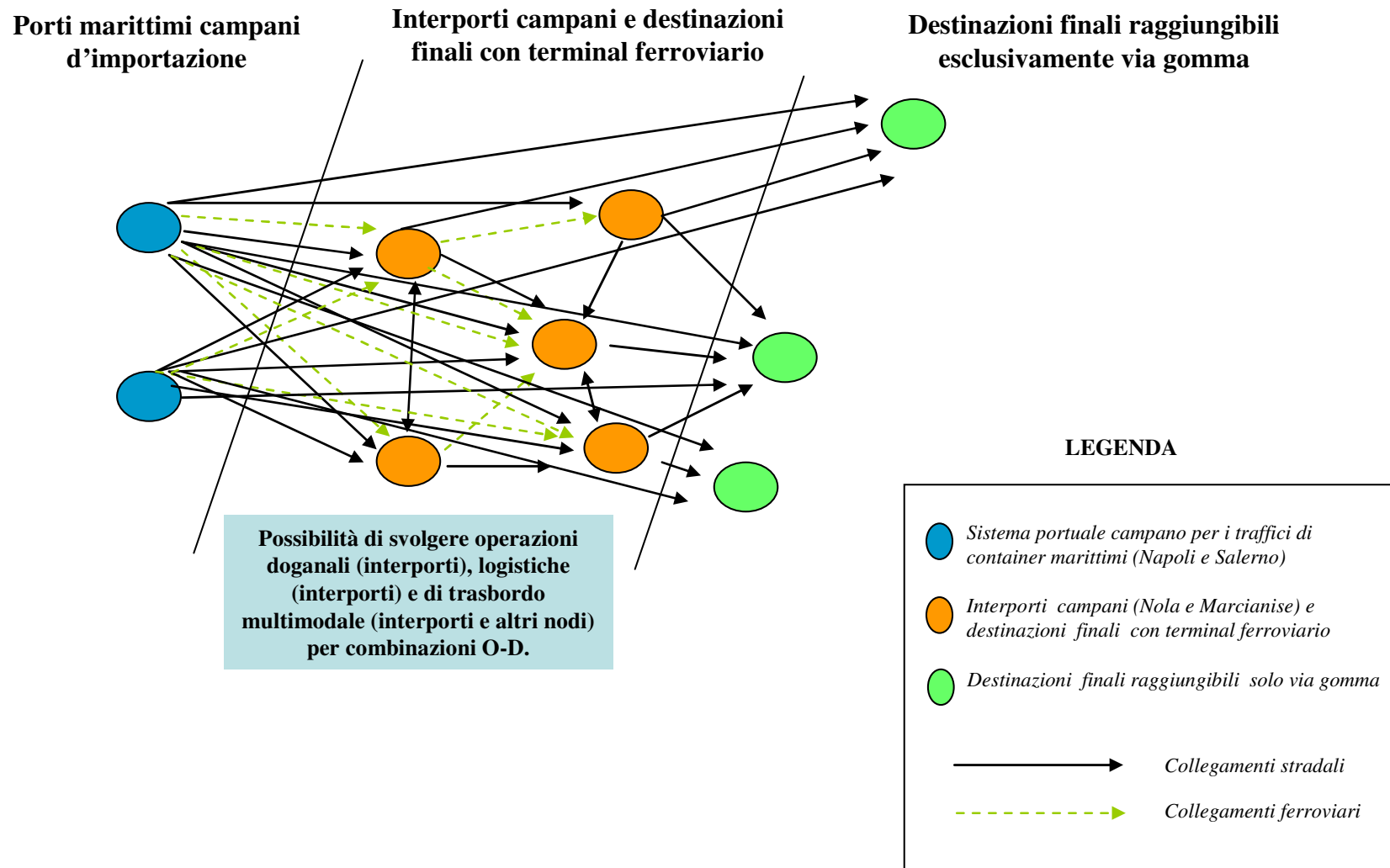
(segue)

Autori	Obiettivo del lavoro
Kim ed altri (2008b)	Sviluppare un modello di programmazione lineare multimodale e monoprodotta per l'ottimizzazione dei flussi di container pieni in import ed export riguardanti la Corea.
Lee ed altri (2006)	Sviluppare un modello di programmazione lineare di rete multiprodotta con vincoli di capacità trasportistica per analizzare i flussi marittimi containerizzati tra porti asiatici e sulle rotte bidirezionali USA-Far East e Europa-Far East.
Luo (2002); Luo e Grigalunas (2003)	Sviluppare un modello spaziale economico multimodale per il trasporto containerizzato di 30 categorie merceologiche in importazione ed esportazione attraverso i porti statunitensi.
Macharis e Bontekoning (2004)	Effettuare una rassegna della letteratura dedicata ai modelli di ottimizzazione per lo studio dei sistemi intermodali e delle principali tipologie di problemi da affrontare.
Rahimi ed altri (2008)	Sviluppare alcuni modelli di localizzazione di hub interportuali nelle cinque divisioni territoriali amministrative attorno a Los Angeles.
Racunica e Winter (2005)	Sviluppare un modello di ottimizzazione per affrontare il problema dell'incremento della quota di trasporto intermodale mediante l'utilizzo di reti <i>hub-and-spoke</i> nel trasporto ferroviario.
Thore e Iannone (2005)	Proporre un tutorial per affrontare i principali aspetti teorici e computazionali di base legati all'utilizzo della programmazione lineare e della programmazione mista intera per risolvere diverse tipologie di <i>transshipment problem</i> in configurazioni di rete di tipo <i>hub-and-spoke</i> .

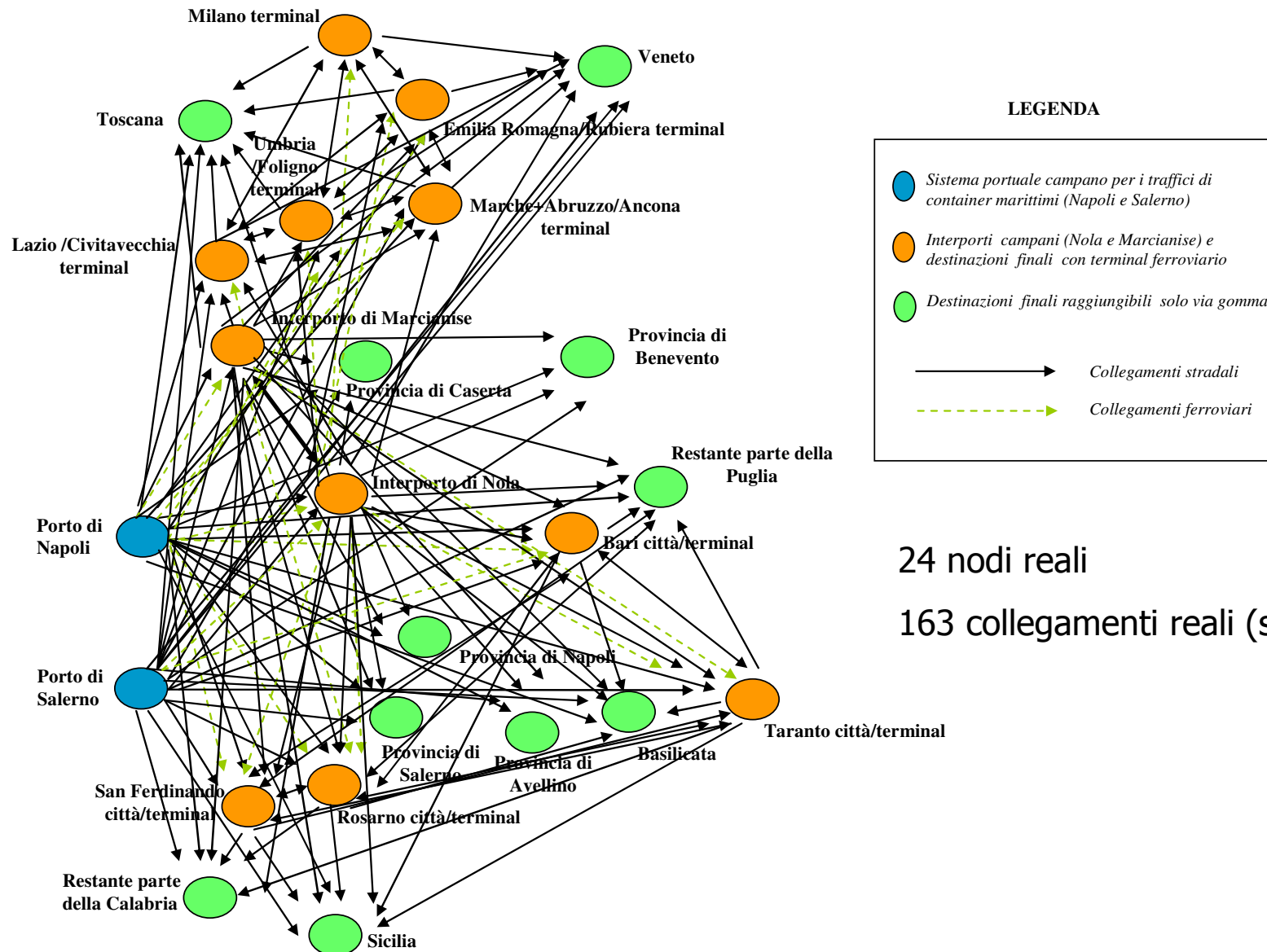
Distribuzione terrestre dei container marittimi in import nei porti di Napoli e Salerno:
uno schema concettuale



Distribuzione terrestre dei container marittimi in import nei porti di Napoli e Salerno:
caratteristiche topologiche teoriche del network reale studiato

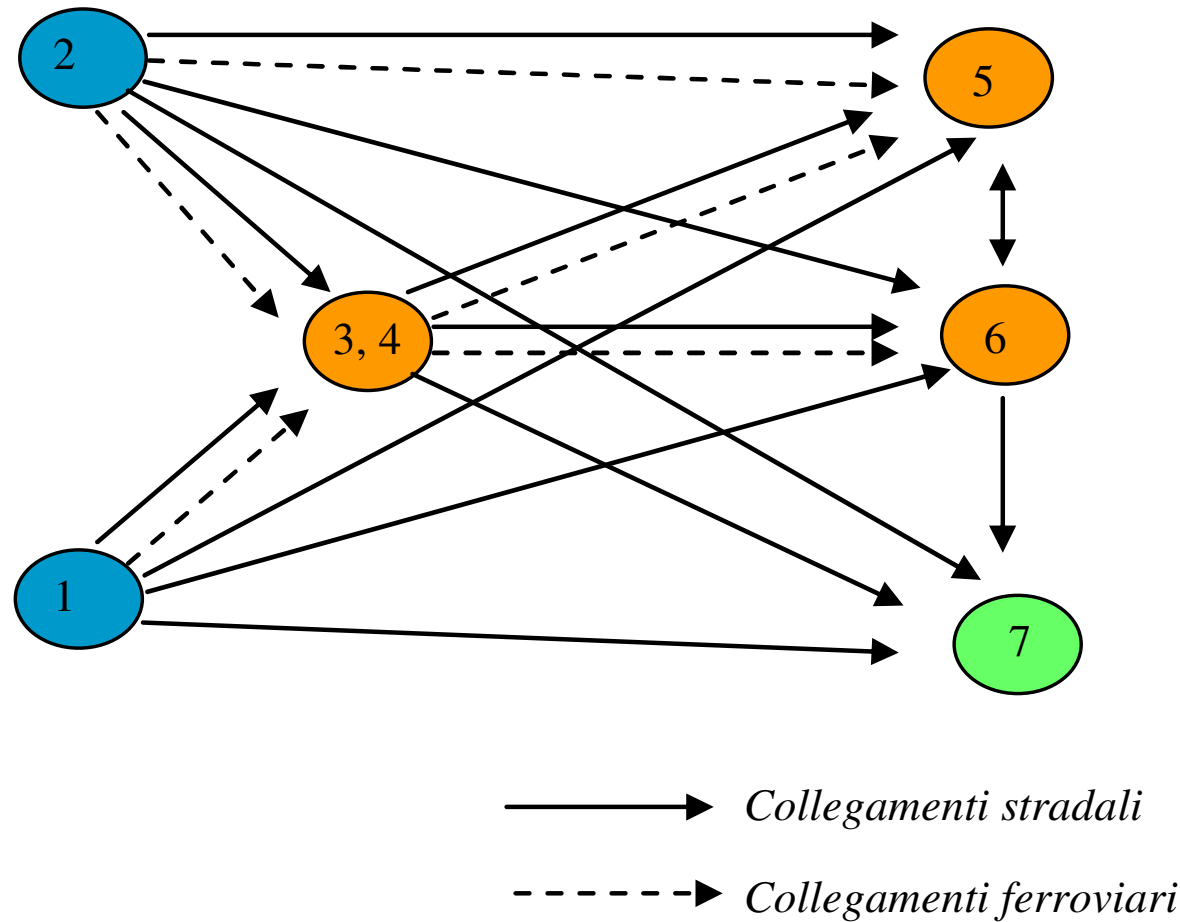


Configurazione della rete distributiva terrestre reale studiata



Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 1/10

Esempio stilizzato di rete logistica multimodale con nodi interportuali virtuali



Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 2/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 1/6

Insiemi del modello:

I : insieme di tutti i nodi della rete = $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$

$L(I)$: insieme dei nodi intermodali di primo livello del sistema logistico regionale per container sdoganati nei porti = $\{1, 2, 3\}$

$P(L)$: insieme dei nodi portuali del sistema logistico regionale = $\{1, 2\}$

$Q(L)$: insieme dei nodi interportuali virtuali senza funzione doganale = $\{3\}$

$D(I)$: insieme dei nodi interportuali virtuali con funzione doganale = $\{4\}$

$Z(I)$: insieme di tutti nodi di destinazione terrestre finale dei container in importazione nei porti del sistema logistico regionale = $\{3, 5, 6, 7\}$

$E(Z)$: insieme dei nodi di destinazione terrestre finale (escluso gli interporti) dei container in importazione nei porti del sistema logistico regionale = $\{5, 6, 7\}$

(continua alla diapositiva successiva) 22

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 3/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 2/6

(segue)

Insiemi del modello:

$R(E)$: insieme dei nodi di destinazione terrestre finale non dotati di terminal ferroviario
 $= \{7\}$

$H(I)$: insieme dei nodi con funzione intermedia di trasbordo terrestre
 $= \{3, 4, 5, 6\}$

M : insieme delle modalità di trasporto disponibili per la distribuzione terrestre dei container marittimi $= \{ferro, gomma\}$

T : insieme delle infrastrutture lineari stradali $\{autostrade, rimanente viabilità\}$

A : insieme dei collegamenti ferroviari $= \{1_{-(3+4)}, 2_{-(3+4)}, 2_5, (3+4)_5, (3+4)_6\}$

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 4/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 3/6

Parametri del modello:

$\begin{bmatrix} D_{pi} \end{bmatrix}$: vettore colonna di domanda container effettiva specificata in numero di TEU pieni per coppie di nodi origine-destinazione (cioè da ciascun nodo portuale $p \in P$ verso ciascun nodo $i \in I$)

$\begin{bmatrix} c_{ij}^m \end{bmatrix}$: vettore riga dei costi di trasporto unitari generalizzati (in Euro/TEU) per la modalità di trasporto terrestre $m \in M$ tra i nodi $i, j \in I$

$\begin{bmatrix} f_p^m \end{bmatrix}$: vettore riga dei costi generalizzati unitari medi ponderati (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche e doganali per container pieni in import sdoganati nel nodo portuale $p \in P$ e in uscita dallo stesso nodo portuale mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

$\begin{bmatrix} g_p \end{bmatrix}$: vettore riga di costi generalizzati unitari (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche e doganali per container pieni in uscita dal nodo portuale $p \in P$ su ferro sotto vincolo doganale e per conto delle compagnie di navigazione verso un nodo interportuale virtuale con funzione doganale

(continua alla diapositiva successiva) 24

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 5/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 4/6

(segue)

Parametri del modello:

$\left[h_d^m \right]$: vettore riga di costi generalizzati unitari medi ponderati (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche e doganali per container pieni in import in arrivo su ferro sotto vincolo doganale dal nodo portuale di Salerno ($1 \in P$) nel nodo interportuale con funzione doganale $d \in D$, e successivamente sdoganati nello stesso nodo interportuale e in uscita da questo mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

$\left[j_d^m \right]$: vettore riga di costi generalizzati unitari medi ponderati (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche e doganali per container pieni in import in arrivo su ferro sotto vincolo doganale dal nodo portuale di Napoli ($2 \in P$) nel nodo interportuale con funzione doganale $d \in D$, e successivamente sdoganati nello stesso nodo interportuale e in uscita da questo mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

(continua alla diapositiva successiva) 25

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 6/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 5/6

(segue)

Parametri del modello:

$\left[k_q^m \right]$: vettore riga di costi generalizzati unitari (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche per container pieni in import già sdoganati in un nodo portuale e in uscita dal nodo interportuale senza funzioni doganali $q \in Q$ mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

$\left[b_a \right]$: vettore colonna del numero massimo di contenitori trasportabili sul collegamento ferroviario $a \in A$ nell'orizzonte di pianificazione considerato

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 7/10

Notazioni matematiche del modello stilizzato (esempio monoprodotto) 6/6

Variabili endogene del modello:

$\begin{bmatrix} x_{ij}^m \end{bmatrix}$: vettore colonna di spedizioni di container pieni sbarcati nel nodo portuale $l \in P$ e inoltrati lungo il collegamento $i, j \in I$ mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

$\begin{bmatrix} y_{ij}^m \end{bmatrix}$: vettore colonna di spedizioni di container pieni sbarcati nel nodo portuale $2 \in P$ e inoltrati lungo il collegamento $i, j \in I$ mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 8/10

Procedura di calcolo utilizzata per il calcolo dei tempi regolamentari di sosta e fermata per il trasporto su gomma nell'ipotesi di viaggio con un solo autista

Indicando con $Road_driving_time_{ij}$ il tempo di guida (misurato in ore) tra un nodo $i \in I$ e un nodo $j \in I$ e dati:

$$S_{ij} = \text{int}\left(\frac{Road_driving_time_{ij}}{9}\right) \quad (1)$$

$$R_{ij} = Road_driving_time_{ij} - 9S_{ij} \quad (2)$$

Risulta che:

$$Numero_soste_{ij} = \begin{cases} S_{ij} & \text{se } R_{ij} > 1 \\ S_{ij} - 1 & \text{se } R_{ij} \leq 1 \text{ e } S_{ij} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$N_{fermate} = \begin{cases} Nsoste + 2 & \text{se } R \leq 1 \text{ e } S > 0 \\ Nsoste + \text{int}(R/4,5) & \text{se } R > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Dove N_{SOSTE} ed $N_{fermate}$ sono, rispettivamente, il numero di soste e di fermate da effettuare a norma del Codice della Strada.

In definitiva si ottiene che:

$$T_{SOSTA} = 11 N_{SOSTE} \quad (5)$$

$$T_{FERMATA} = (45/60) N_{FERMATE} \quad (6)$$

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 9/10

L'obiettivo del modello stilizzato di programmazione è il seguente:

min $W =$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{m \in M} c_{ij}^m \cdot (x_{ij}^m + y_{ij}^m) + \sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{m \in M} f_p^m \cdot (x_{pz}^m + y_{pz}^m) + \\
 & + \sum_{p \in P} \sum_{d \in D} g_p \cdot (x_{pd}^{\text{ferro} \in M} + y_{pd}^{\text{ferro} \in M}) + \sum_{q \in Q} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} k_q^m \cdot (x_{qe}^m + y_{qe}^m) + \\
 & + \sum_{d \in D} \left\{ \sum_{z \in Z} \left[(h_d^{\text{gomma} \in M} \cdot x_{dz}^{\text{gomma} \in M}) + (j_d^{\text{gomma} \in M} \cdot y_{dz}^{\text{gomma} \in M}) \right] + \right. \\
 & \left. \sum_{e \in E} \left[(h_d^{\text{ferro} \in M} \cdot x_{de}^{\text{ferro} \in M}) + (j_d^{\text{ferro} \in M} \cdot y_{de}^{\text{ferro} \in M}) \right] \right\}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Formulazione matematica del modello: un esempio stilizzato 10/10

Vincoli del modello:

- conservazione del flusso ai nodi di origine, intermedi e di destinazione finale;
- non-negatività delle variabili endogene;
- capacità dei collegamenti ferroviari;
- fissare ad un valore pari a zero le variabili endogene riguardanti i collegamenti non ammessi sulla rete logistica indagata;
- consentire il trasporto unidirezionale su gomma a costo generalizzato nullo di container pieni tra i nodi virtuali di ciascuna delle due coppie di nodi di riferimento per ciascun interporto regionale considerato dal modello.

La funzione obiettivo del modello completo che è stato numericamente formulato e risolto rappresenta una corretta generalizzazione della (7). Il modello completo include ulteriori parametri e minimizza il costo logistico totale per la distribuzione di container pieni e vuoti lungo gli itinerari di rete disponibili. Il modello presenta in totale 26 nodi e 219 collegamenti consentiti (considerando 2 nodi virtuali per ciascun interporto regionale e relativi collegamenti), nonché 866 variabili e 124 equazioni/disequazioni, ed è stato risolto mediante il solutore *CPLEX* di un software generatore algebrico di modelli basato su un linguaggio di programmazione ad alto livello (*GAMS*).

Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello 1/5

Flussi terrestri di equilibrio di contenitori sbarcati nei porti campani (TEU)

	<i>NOL</i>	<i>NCC</i>	<i>MAR</i>	<i>MCC</i>	<i>Altre destinazioni terrestri</i>
NAP					
Container pieni sdoganati in porto e in uscita su gomma (merchant haulage)	44.892		7.890		95.494
Container pieni sdoganati in porto e in uscita su ferro (merchant haulage)					17.346
Container pieni in uscita dal porto su ferro sotto vincolo doganale (carrier haulage)		15.000		3.000	
Container vuoti in uscita dal porto su gomma	4.034		772		12.846
Container vuoti in uscita dal porto su ferro					4.603
SAL					
Container pieni sdoganati in porto e in uscita su gomma (merchant haulage)			302		68.735
Container pieni sdoganati in porto e in uscita su ferro (merchant haulage)	1.493				1.095
Container pieni in uscita dal porto su ferro sotto vincolo doganale (carrier haulage)		56			
Container vuoti in uscita dal porto su gomma	149		199		94.762
Container vuoti in uscita dal porto su ferro	951				1.405
NCC					
Container pieni sbarcati a NAP, sdoganati nell'interporto e in uscita su gomma	15.000				
Container pieni sbarcati a SAL, sdoganati nell'interporto e in uscita su ferro					56
MCC					
Container pieni sbarcati a NAP, sdoganati nell'interporto e in uscita su gomma			3.000		
NOL					
Container vuoti sbarcati a SAL e in uscita su ferro dall'interporto					58
Località extra-regionali dotate di terminal ferroviario					
Container pieni sbarcati a NAP, in arrivo su ferro e in uscita su gomma					4.008
Container vuoti sbarcati a NAP, in arrivo su ferro e in uscita su gomma					37
Container vuoti sbarcati a NAP, in arrivo su gomma e in uscita su gomma					291
Container pieni sbarcati a SAL, in arrivo da NCC su ferro e in uscita su gomma					43
Container vuoti sbarcati a SAL, in arrivo da NOL su ferro e in uscita su gomma					58

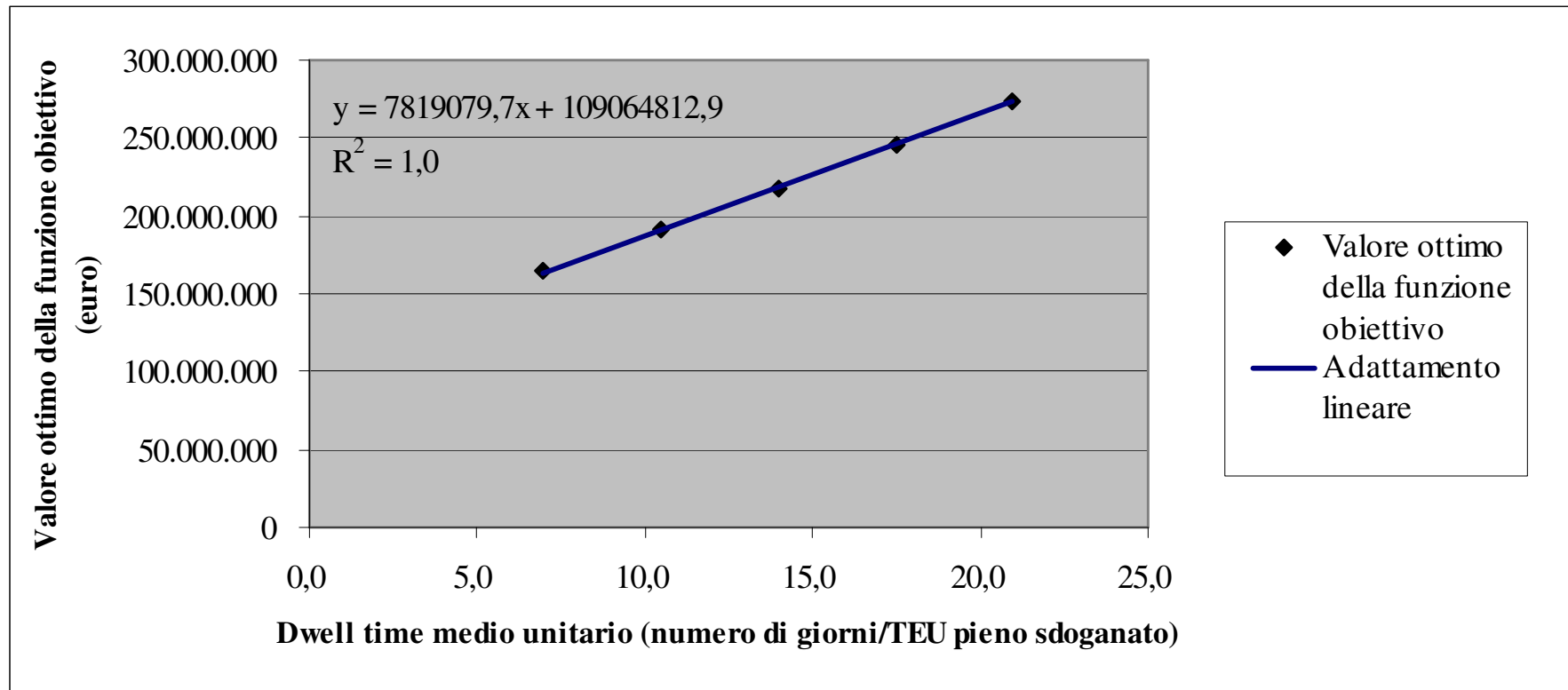
Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello 2/5

Dati di traffico ferroviario (osservati e da modello) e dati di utilizzo della capacità (da modello, inclusi i prezzi ombra dei vincoli di capacità)

Collegamento ferroviario	Numero di treni settimanali unidirezionali - modello	Numero massimo di container pieni e vuoti a viaggio (TEU/treno) - modello	Vincolo di capacità annua unidirezionale (numero massimo di TEU pieni e vuoti) - modello	Numero di container pieni e vuoti in partenza nell'ultimo anno statistico disponibile per il periodo 2005-2007 (TEU)	Numero di container pieni e vuoti in partenza (TEU) - da modello	Valore marginale del vincolo di capacità (euro/TEU) - da modello
Napoli-Nola	5	60	15.000	6.707	15.000	371,5
Napoli-Marcianise	1	60	3.000	481	3.000	371,5
Napoli-Bari	5	50	12.500	6.054	9.408	0,0
Napoli-Rosarno	3	50	7.500	2.408	7.500	313,3
Napoli S. Ferdinando	1	50	2.500	2.410	2.500	331,0
Napoli-Ancona	1	50	2.500	44	1.114	0,0
Napoli-Foligno	1	50	2.500	30	1.272	0,0
Napoli-Rubiera	1	50	2.500	129	155	0,0
Nola-Taranto	3	50	7.500	1.618	0	0,0
Nola-Rosarno	2	50	5.000	1.078	0	0,0
Nola-San Ferdinando	5	48	12.000	475	0	0,0
Nola-Foligno	1	50	2.500	51	0	0,0
Nola-Rubiera	1	50	2.500	66	0	0,0
Nola-Segrate Milan	5	12	3.000	750	114	0,0
Marcianise-Taranto	1	50	2.500	24	0	0,0
Marcianise-Rosarno	1	50	2.500	0	0	0,0
Marcianise-Civitavecchia	1	50	2.500	0	0	0,0
Salerno-Nola	1	50	2.500	395	2.500	43,2
Salerno-Bari	1	50	2.500	2.081	2.500	36,1

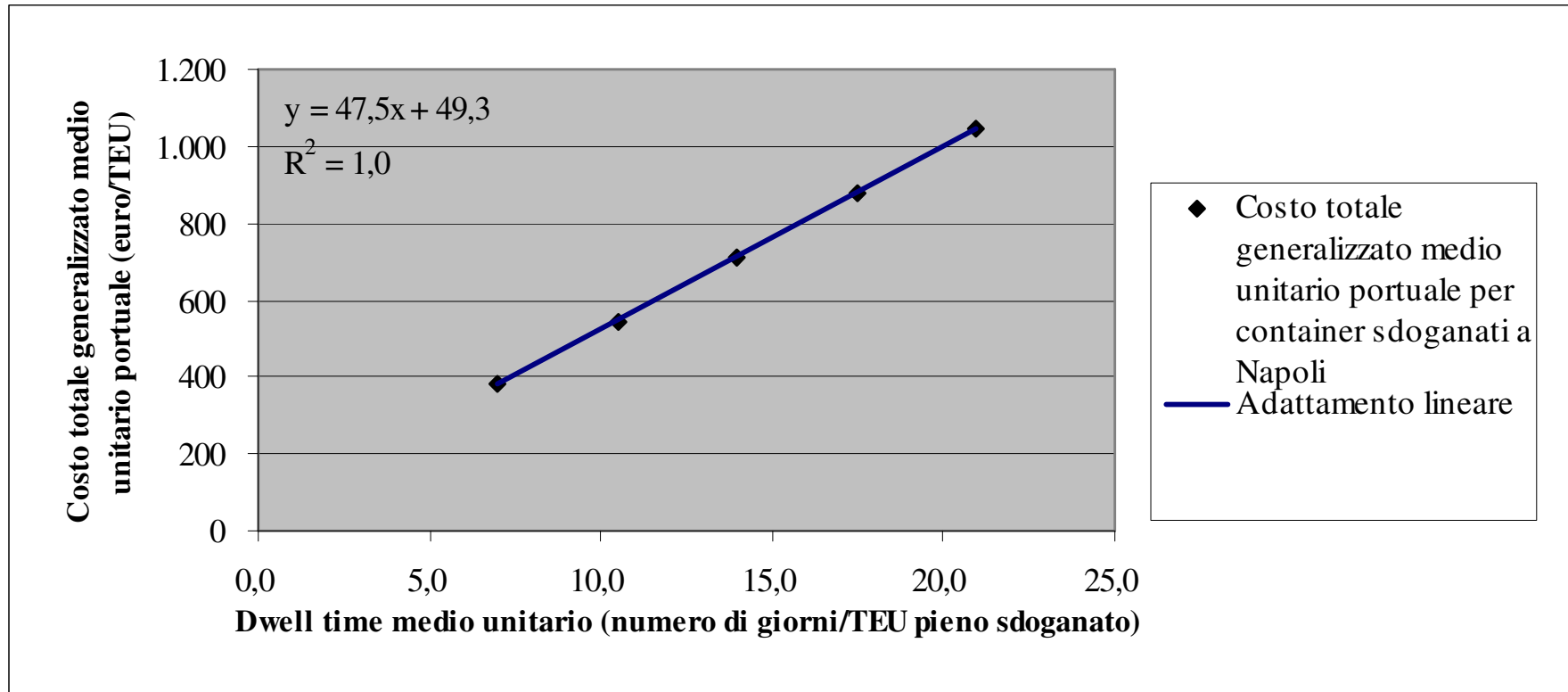
Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello 3/5

Valore ottimo dell'obiettivo in funzione del dwell time medio unitario dei container pieni sdoganati nel porto di Napoli



Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello 4/5

Costo totale generalizzato medio unitario portuale in funzione del dwell time medio unitario dei container pieni sdoganati a Napoli



Principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello 5/5

Analisi di sensitività di alcuni risultati del modello al variare della capacità dei collegamenti ferroviari tra il porto di Napoli e gli interporti di Nola e Marcianise

	<i>BASE case</i>	<i>ONE</i>	<i>TWO</i>
Numero di treni settimanali unidirezionali Napoli-Nola	5	10	15
Capacità annua del collegamento unidirezionale ferroviario Napoli-Nola (in TEU)	15.000	30.000	45.000
Numero di treni settimanali unidirezionali Napoli-Marcianise	1	2	3
Capacità annua del collegamento unidirezionale ferroviario Napoli-Marcianise (in TEU)	3.000	6.000	9.000
Quota del traffico ferroviario sul traffico totale terrestre dal porto di Napoli	19,4%	28,1%	36,9%
Valore ottimo della funzione obiettivo (in milioni di euro)	218,2	211,5	204,8
Traffico ferroviario sotto vincolo doganale dal porto di Napoli agli interporti (in TEU)	18.000	36.000	54.000
Utilizzazione della capacità dei collegamenti su ferro tra il porto di Napoli e gli interporti	100%	100%	100%

In definitiva, mediante l'*interport model* si è riusciti a dimostrare che con il sistema ipotizzato (continuità doganale tra porti ed interporti campani e ripristino delle connessioni ferroviarie del porto di Salerno):

- tutta la capacità disponibile ed oltre dei collegamenti ferroviari tra porti ed interporti regionali può essere utilizzata;
- tutta la capacità disponibile ed oltre dei collegamenti ferroviari del porto di Salerno può essere utilizzata;
- si può ottenere il raggiungimento di un utile equilibrio in termini di concorrenza fra gli interporti regionali;
- grazie all'utilizzo degli interporti è possibile espandere l'hinterland di riferimento dei porti campani in ambito nazionale ed extra-nazionale;
- emerge la convenienza nel perseguire strategie espansive della capacità infrastrutturale.

Ulteriori estensioni del modello potrebbero riguardare la considerazione:

- dei costi esterni delle attività di trasporto;
- delle scorte di sicurezza ("*reliability*");
- dei costi di *leasing* dei contenitori;
- della possibilità di svolgere negli interporti attività di *quasi-manufacturing* sulle merci containerizzate;
- dei traffici di importazione ed esportazione in maniera simultanea ("*inward-outward simultaneous interport model*").