



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

Fedele Iannone¹

¹ *Istituto di Ricerche sulle Attività Terziarie (IRAT), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Via M. Schipa, 115 – 80122 Napoli. E-mail: f.iannone@irat.cnr.it*

Abstract (in italiano)

Nel paper sono riportati i principali risultati di una ricerca volta a definire analiticamente e ad implementare numericamente un modello microeconomico per l'ottimizzazione della logistica terrestre legata ai traffici containerizzati d'importazione attraverso il sistema portuale ed interportuale campano. Il modello consente di individuare i flussi distributivi multimodali di minimo costo logistico totale riguardanti i container pieni e vuoti sbarcati nei porti di Napoli e Salerno e che possono transitare per gli interporti di Nola e Marcianise attualmente operativi, nonché per diversi terminal ferroviari nazionali, prima di raggiungere le destinazioni terrestri finali (scelte nodali e modali ottime). Il costo logistico totale include i costi di trasporto (su gomma e su ferro) tra i nodi della rete distributiva di riferimento, i costi dei servizi terminalistici e dei controlli doganali nei nodi, nonché i costi di mantenimento delle scorte in transito durante le operazioni di viaggio e terminali. Il problema di ottimizzazione è condizionato da vincoli di equilibrio dei flussi per tutti i nodi della rete, nonché da vincoli di non-negatività delle variabili endogene e da vincoli di capacità dei collegamenti ferroviari

Parole chiave: logistica terrestre containerizzata, trasporto multimodale, sistema logistico regionale, interporti, dogana, dwell time, costo logistico totale, programmazione matematica, nodi virtuali.

Abstract (in English)

The paper presents the main results of a research aimed to theoretically define and numerically apply an optimization model for the economic analysis and strategic planning of the inland logistics of maritime containers imported through the seaports of Naples and Salerno located in the Campania region (Southern Italy). The containers can transit through the regional interports at Nola and Marcianise, as well as through extra-regional locations equipped with a railway terminal, before reaching their final destinations.

The programming problem minimizes the total logistic cost of the container distribution operations over the port-hinterland network, subject to flow balance conditions at all origins, intermediate and destination nodes, as well as both to non-negativity restrictions on endogenous variables and capacity constraints over the railway links. It solves for the multimodal inland traffic demand among different nodes (seaports, interports, etc.) for full and empty units disembarked in Campania and, more generally, it estimates the modal split of inland distribution traffics of containers imported in Italy by sea through the Campania seaports. The total logistic cost includes transportation costs (by road and railway), terminal and customs operation costs, and in-transit inventory holding costs.

Keywords: inland container logistics, multimodal transport, regional logistic system, interports, customs, dwell time, total logistic cost, mathematical programming, virtual nodes.

1. Introduzione

Il presente lavoro approfondisce alcune problematiche riguardanti la distribuzione terrestre multimodale di container marittimi. In particolare, seguendo i contributi di Iannone (2006b, 2006c, 2008a, 2008b), Iannone ed altri (2009), Thore (2009), Thore e Iannone (2005, 2009), si è provveduto a definire teoricamente e a risolvere numericamente - sulla base di dati reali e mediante l'utilizzo del software "GAMS" (*General Algebraic Modeling System*) - un modello matematico per l'ottimizzazione della logistica terrestre legata ai traffici containerizzati d'importazione attraverso il sistema portuale ed interportuale campano.

Il problema dell'integrazione tra porti e retroporti rappresenta uno dei principali temi su cui pianificatori territoriali e studiosi di scienze economiche applicate alla logistica e ai trasporti si stanno attualmente concentrando¹. Il tema riveste particolare importanza nell'ambito di territori dotati di scali portuali costruiti all'interno di città storiche e/o di aree fortemente urbanizzate.

Infatti, l'espansione del traffico merci internazionale containerizzato derivante dalla specializzazione produttiva e dalla globalizzazione economica può determinare elevati livelli di congestione nei porti e sui sistemi di trasporto stradale attorno alle principali città. Inoltre, la tendenziale riduzione delle rate di nolo in ambito marittimo determina sempre più una maggiore incidenza della fase di inoltro terrestre da/verso i porti sul totale dei costi di trasporto internazionale containerizzato da origine a destino ("*door-to-door*"). Estrema importanza riveste, in definitiva, l'analisi economica e la pianificazione della logistica terrestre containerizzata ("*inland container logistics*") e delle innovazioni di rete caratterizzanti i terminali portuali e retroportuali, e più specificamente le funzioni intermodali, doganali e logistiche di questi ultimi e le mutevoli relazioni con le varie modalità di trasporto e aree di mercato di riferimento.

La containerizzazione e più in generale l'evoluzione dell'industria del trasporto merci e della logistica sono andate nel tempo caratterizzandosi per l'accresciuta importanza di terminali intermodali terrestri ed interporti quali "strumenti" per aumentare la capacità e le *performance* operative a livello portuale². Alcune attività, quali ad esempio lo sdoganamento e la sosta temporanea delle unità di carico, possono infatti essere trasferite dai nodi portuali a nodi logistici e intermodali *inland*, con benefici generalizzati per tutta la *supply chain* logistica e produttivo-commerciale. Inoltre, l'utilizzo di nodi retroportuali/interportuali può consentire il perseguimento di più elevati livelli di benessere sociale tramite il trasferimento di traffici dal sistema stradale alla ferrovia (e/o ai canali navigabili, dove disponibili), sulla base di servizi *shuttle* frequenti, veloci, economici e possibilmente anche ad elevata capacità.

Le operazioni doganali, in particolare, rappresentano le attività che meglio consentono d'integrare porti e nodi logistico-intermodali terrestri. Quando, infatti, un *inland terminal* o un interporto sono dotati di un'area doganale vincolata in continuità con un porto, le compagnie di navigazione che scalano quel porto potranno anche emettere polizze di carico indicanti come origine o destinazione finale il nodo localizzato nell'entroterra portuale e, in un'ottica *door-to-door*, le rate di nolo marittimo includeranno anche la fase di trasporto sotto vincolo doganale dal nodo logistico-intermodale terrestre al porto o viceversa ("*carrier haulage*"). In questo modo, le

¹ Una rassegna di alcuni dei principali contributi scientifici in merito, a livello nazionale ed internazionale, è ad esempio disponibile nel lavoro di Iannone ed altri (2009).

² Notteboom e Rodrigue (2009) hanno approfondito tale tema con riferimento alla situazione generale riscontrabile in Nord America e in Europa.

banchine dei terminal marittimi si “allungano” (concetto di “porto lungo” o “*extended gateway*”³), favorendo uno snellimento delle attività, la riduzione dei *dwell time*⁴ portuali e risolvendo quindi efficacemente, anche se spesso solo parzialmente, i fenomeni di congestione nei porti.

Il modello di ottimizzazione sviluppato con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata d’importazione attraverso il sistema logistico regionale campano è stato denominato “*interport model*” e rappresenta un’estensione della convenzionale modellistica di programmazione matematica su rete (*transportation model*, *transshipment model*, ecc.) alle teorie ed evidenze logistiche e trasportistiche riguardanti la “*Port regionalization*”⁵, la “*Supply chain terminalization*”⁶ e l’“*Extended gateway concept*”, includendo, in particolare, i principali fattori determinanti l’equilibrio dei flussi terrestri multimodali containerizzati attraverso un sistema logistico mare-terra caratterizzato da uno o più interporti.

Mediante la minimizzazione di una funzione economica lineare, il modello identifica la domanda di traffico terrestre tra localizzazioni di diverso tipo per contenitori marittimi sbarcati nei porti campani, e più in generale individua la ripartizione modale (“*modal split*”) ottimale dei traffici terrestri di distribuzione di container in import attraverso il sistema logistico campano nell’orizzonte temporale considerato (che sulla base dei dati empirici a disposizione è stato individuato in un anno di esercizio). Più specificamente, il modello consente di individuare i flussi distributivi multimodali di minimo costo logistico totale riguardanti i container pieni e vuoti sbarcati annualmente nei porti di Napoli e Salerno e che possono transitare per gli interporti di Nola e Marcianise attualmente operativi, nonché per diverse localizzazioni extra-regionali dotate di terminal ferroviario, prima di raggiungere le destinazioni finali (scelte nodali e

³ Analisi teoriche del concetto di “porto lungo” sono disponibili nei lavori di China Intermodal Transport Services to the Interior Project – ITSIP (2003), Hayut (1980), Rodrigue e Notteboom (2009), Tioga Group (2006), UNCTAD (1991), Visser ed altri (2007).

⁴ Il *dwell time* è il tempo di permanenza delle unità di carico in un nodo intermodale e può riguardare un’ampia quota del tempo totale di transito (“*transit time*”) di un processo di distribuzione *door-to-door*. Esso rappresenta un fattore critico per determinare la produttività di un nodo intermodale ed è a sua volta influenzato dalle procedure doganali ed amministrative, nonché dal livello di servizio degli stessi operatori terminalisti e da strategie di *supply chain management* dei caricatori che possono prevedere il trasferimento sui terminal dei costi di stoccaggio della merce. Alcuni approfondimenti in merito sono disponibili nei lavori di Iannone (2008a), Merckx (2006), Rodrigue e Notteboom (2009).

⁵ Notteboom e Rodrigue (2005) hanno identificato la “regionalizzazione portuale” quale nuova fase di sviluppo della portualità caratterizzata da una forte interdipendenza funzionale tra specifici nodi portuali e specifici poli logistici multimodali (terminal intermodali e/o interporti) localizzati nell’entroterra. In diversi casi, si può osservare un vero e proprio sviluppo congiunto di tali nodi marittimi e terrestri.

⁶ Rodrigue e Notteboom (2009) hanno introdotto il concetto di “terminalizzazione della catena di fornitura” per mettere in evidenza l’elevato livello d’integrazione dei terminali marittimi e terrestri nelle moderne pratiche di *supply chain management* a livello produttivo-commerciale. In particolare, i caricatori moderni tendono ad utilizzare le infrastrutture terminalistiche non più solo come luoghi di interscambio modale, bensì anche come luoghi di stoccaggio a basso costo delle merci, determinando un aumento del tempo medio di permanenza delle unità di carico in tali infrastrutture nodali, spesso con effetti negativi in termini di congestione. Soprattutto nei porti, dati gli elevati vincoli in termini di spazi disponibili, i terminalisti reagiscono solitamente ai fenomeni di *supply chain terminalization* riducendo le franchigie temporali (“*demurrage free time*”) ed aumentando le tariffe di sosta delle unità di carico (“*demurrage charge*”).

Di conseguenza, le pratiche più avanzate nei moderni sistemi portuali e più in generale nei moderni sistemi logistici regionali si basano sul fatto che, se i caricatori dovessero aver bisogno di un tempo di sosta prolungato per le unità di carico contenenti le loro merci, essi farebbero bene ad utilizzare infrastrutture terminalistiche localizzate al di fuori degli spazi portuali, in quanto i porti dovrebbero essere utilizzati solo come nodi di transito.

modali ottime).

La domanda finale effettiva di contenitori sulle relazioni origine-destinazione (O/D) della rete studiata dall'*interport model* (ovvero dai porti verso il loro *hinterland*) è esogena al modello stesso e indipendente dalla modalità di trasporto. Il modello stima però i flussi di traffico tra nodi. Alcuni nodi possono infatti essere interessati da flussi di transito per varie combinazioni O/D. Altro risultato del modello è anche l'individuazione delle modalità di trasporto più convenienti tra gomma, ferro e loro combinazioni per la distribuzione delle unità di carico lungo gli itinerari di rete disponibili.

Il costo logistico totale include i costi di trasporto (su gomma e su ferro) tra i nodi della rete distributiva di riferimento, i costi dei servizi terminalistici e dei controlli doganali nei nodi, nonché i costi di mantenimento delle scorte (containerizzate) in transito ("*in-transit inventory holding cost*") durante le operazioni di viaggio e terminali.

Il problema di ottimizzazione è condizionato da vincoli di capacità dei collegamenti ferroviari e dai tradizionali vincoli che vanno formulati per un qualunque modello di rete di questo tipo (Iannone, 2008b; Thore e Iannone, 2005), ovvero i vincoli di "conservazione del flusso" per tutti i nodi del modello e i vincoli di non-negatività delle variabili endogene.

Il modello consente di valutare, secondo i principi della statica comparata, scenari alternativi di lungo periodo in termini di offerta infrastrutturale e di servizi, caratteristiche della domanda, *policy* industriali e governative. Trattasi, quindi, di un modello spaziale di Logistica economica⁷, multimodale e multiprodotto⁸, con vincoli di capacità, per l'individuazione di possibili scelte ottime riguardanti l'economia portuale e retroportuale regionale legata alla distribuzione terrestre containerizzata. Inoltre, almeno nella formulazione originaria di seguito proposta, l'*interport model* è un modello statico e deterministico, in quanto si assume che tutte le componenti del problema, in particolare la domanda e la struttura dei costi, non varino durante il periodo di pianificazione.

L'equilibrio studiato dal modello rappresenta l'ottimo vincolato dell'agente economico rappresentativo di riferimento. Considerando che i principali soggetti decisori della logistica terrestre containerizzata, ovvero coloro che "controllano" la merce, sono i *merchant* (caricatori/spedizionieri/fornitori di servizi logistici) o i *carrier* (compagnie di navigazione), e che nello svolgimento delle loro attività logistiche, a volte anche in concorrenza, sono tutti guidati dagli stessi principi di razionalità economica, si è ragionevolmente assunto che tali operatori possano essere considerati nel modello, in particolare dal punto di vista dei costi sostenuti per l'inoltro terrestre, come "*irrelevant intermediate alternative*"⁹. Pertanto, l'agente economico di riferimento del modello può essere considerato come un generico agente od operatore logistico che seleziona le soluzioni distributive terrestri di minimo costo logistico totale in condizioni di concorrenza perfetta. Comunque, come verrà evidenziato nella sezione riguardante i

⁷ Uno degli ambiti d'interesse della Logistica economica è lo studio delle reti infrastrutturali e di servizi, dei flussi e delle movimentazioni di merci, nelle loro dimensioni spaziali, economiche e temporali (Forte ed altri, 2006; Thompson e Thore, 1992; Thore, 1991, 1995, 2009). I fondamenti teorici e gli strumenti di analisi della disciplina consentono di comprendere e valutare alcuni processi chiave della globalizzazione e il loro impatto territoriale attraverso la considerazione dei sistemi logistici secondo una gerarchia di ruoli e funzioni che legano il livello quantitativo dei flussi (domanda) - nel tempo e nello spazio - al livello dimensionale, funzionale e prestazionale delle reti infrastrutturali e di servizi (offerta).

⁸ Il modello considera contemporaneamente i traffici terrestri di container marittimi pieni e vuoti.

⁹ Un approccio simile è stato adottato, ad esempio, da Luo (2002) e Luo e Grigalunas (2003).

risultati empirici del presente lavoro, la soluzione del modello consente di distinguere tra flussi terrestri containerizzati di tipo “*merchant haulage*” e flussi di tipo “*carrier haulage*”.

Una caratteristica distintiva del modello consiste nella rappresentazione matematica del processo di sdoganamento e più in generale di rilascio dei container nei nodi regionali intermodali 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 effettuato sotto la responsabilità delle compagnie di navigazione (“*carrier haulage*”). Più specificamente, l’*interport model* è in grado di individuare le quantità di container da inoltrare su ferro, su gomma o mediante una combinazione di tali modalità sui diversi itinerari di rete disponibili, tenendo conto:

- delle varie possibilità di controllo doganale nei porti per quanto riguarda le unità di carico piene¹⁰;
- della possibilità di svolgere negli interporti operazioni logistiche (sosta container e controlli doganali) in alternativa a quelle che possono essere svolte nei porti.

In base agli orientamenti doganali attualmente vigenti in Italia, solo il trasporto ferroviario può consentire le indispensabili condizioni di sicurezza fiscale legate al *carrier haulage* di contenitori marittimi pieni allo stato estero senza necessità di rilascio del documento doganale di transito¹¹.

Naturalmente, l’integrazione tra porti ed interporti elimina le diseconomie che emergono in un porto all’aumentare del traffico oltre una certa soglia. Sistemi di questo tipo hanno cioè anzitutto un effetto sul fattore “tempo”. La dimensione temporale è inclusa nel modello mediante la considerazione:

- dei *dwell time* dei container nei nodi portuali ed interportuali differenziati per modalità di trasporto terrestre in uscita, nonché tra container vuoti, container pieni ispezionati (VM), container pieni scannerizzati (CS), container pieni sottoposti a controllo documentale (CD), container pieni sottoposti a controllo automatizzato (CA);
- del *dwell time* nei nodi portuali per i container pieni da trasferire verso gli interporti su ferro in modalità *carrier haulage* sotto vincolo doganale (ovvero nel caso in cui le polizze di carico indichino come destinazione finale gli interporti e non vi sia, quindi, la necessità di rilascio in porto del documento doganale di transito);
- dei *free of charge time* (franchigie temporali) per la sosta dei container nei porti e negli interporti;
- delle *demurrage charge*, generalmente intese come spese di sosta da sostenere dopo il periodo di franchigia concesso nei nodi portuali ed interportuali
- dei tempi di trasporto terrestre multimodale;
- dei costi opportunità e di deprezzamento tecnico ed economico dei beni containerizzati (costi di mantenimento delle scorte in transito). Tali costi

¹⁰ Si fa riferimento alle possibilità di verifica merce (VM), controllo scanner (CS), controllo documentale (CD) e controllo automatico (CA). Per ulteriori dettagli e relativi dati osservati nei porti italiani e campani si rimanda all’articolo di Iannone (2008a)

¹¹ Per la circolazione di merci ancora soggette a formalità doganali, l’Europa utilizza il regime di transito comunitario, che prevede due diverse possibilità: con il modello T1 sono trasportate le merci originarie di Paesi terzi che non hanno ancora assolto le formalità d’importazione; il T2 è invece utilizzato per le merci comunitarie (o che hanno già pagato i dazi doganali), nei pochi casi in cui siano ancora soggette a formalità doganali nella circolazione da un Paese comunitario all’altro. Per le spedizioni ferroviarie il documento di transito comunitario è sostituito dalla lettera di vettura internazionale Cim.

dipendono appunto dal tempo necessario per lo svolgimento delle diverse attività distributive e dal valore della merce.

Il meccanismo di equilibrio del modello (ovvero l'individuazione della soluzione ottima) si basa principalmente sulle *performance* in termini di costi logistici diretti ed indiretti delle operazioni di rilascio nei nodi portuali ed interportuali, e quindi sulla capacità terminalistica e doganale di questi ultimi e sulle specifiche strategie di *supply chain management* dei caricatori, riflesse nei livelli di *dwell time* osservati, nonché sulla capacità e sui costi diretti ed indiretti dei servizi di trasporto sulla rete multimodale considerata.

In definitiva, l'*interport model* consente di: 1) misurare i benefici logistico-economici derivanti dall'utilizzo di uno o più interporti regionali e di soluzioni intermodali nell'ambito delle attività di distribuzione terrestre dei container movimentati nei porti marittimi regionali; 2) simulare gli impatti di sistema derivanti dal cambiamento di fattori di tipo infrastrutturale, doganale, logistico e commerciale.

I principali dati empirici di input utilizzati per la soluzione numerica del modello sono stati direttamente forniti da diversi enti ed imprese coinvolti nell'industria del trasporto intermodale e della logistica a livello regionale, nazionale ed internazionale¹². Altri dati sono stati invece ricavati da siti internet, nonché dalla letteratura scientifica e da studi di settore. Ad esempio, per la quantificazione dei tempi di trasporto su gomma in ambito nazionale, è stato implementato un sotto-modello di offerta di trasporto utilizzando uno degli algoritmi riportati in Aponte ed altri (2009), Iannone (2006a), Papola e Marzano (2004), in particolare quello valido per il calcolo del tempo totale di viaggio nell'ipotesi di trasporto mediante 1 autista che rispetta il Codice della Strada. In generale, i dati numerici di input dell'*interport model* si riferiscono alla situazione osservata all'anno statistico 2007¹³.

L'applicazione numerica effettuata evidenzia diverse attuali carenze del sistema logistico campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata, in particolare: l'assenza di un'area doganale vincolata a disposizione del terminal intermodale dell'interporto di Marcianise, la sospensione dei collegamenti ferroviari del porto di Salerno, la congestione doganale e gli elevati livelli di *dwell time* nel porto di Napoli, i bassi tassi di utilizzazione della capacità dei collegamenti ferroviari dei porti e degli interporti. Essa fornisce quindi indicazioni per il miglioramento delle attuali *performance* del sistema stesso.

Di seguito, nel paragrafo 2 sono presentati i principali contributi della letteratura modellistica rilevante di riferimento, evidenziando anche le specifiche caratteristiche di originalità dell'*interport model* rispetto a tali contributi. Nel paragrafo 3 sono illustrate le caratteristiche funzionali e topologiche della rete studiata. Nel paragrafo 4 è riportata la formulazione matematica della funzione obiettivo del modello mediante un esempio stilizzato. Nel paragrafo 5 sono illustrate le caratteristiche matematiche e computazionali del modello completo che è stato effettivamente formulato e risolto

¹² Tra cui: l'Agenzia delle Dogane di Roma, l'Ufficio delle Dogane dell'interporto di Nola, le Autorità portuali di Napoli e Salerno, il Centro di Cultura Trasportistica dell'Ente Autonomo Volturno, le Società di gestione dei maggiori terminal container marittimi campani (Co.Na.Te.Co. e SCT), le Società di gestione degli interporti (Interporto Campano e Interporto Sud Europa) e dei terminal intermodali campani (T.I.N. e NAOS), imprese ferroviarie (Trenitalia, Rail Traction Company) ed altri noti operatori di diverso tipo (FERPORT Napoli, Logship, Italcontainer, DHL Global Forwarding Italy, Schenker, Omnialogistica, De Crescenzo e Sticcoped).

¹³ Fanno eccezione i dati riguardanti i collegamenti ferroviari portuali ed interportuali attivi in Campania in anni precedenti al 2007 e inclusi comunque nel modello (Napoli-Foligno, Salerno-Nola, Salerno-Bari, Nola-Foligno, Nola-Rubiera, Marcianise-Taranto, Marcianise-Rosarno e Marcianise-Civitavecchia).

sulla base di dati reali. Nel paragrafo 6 sono illustrati i principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello. Infine, nel paragrafo 7 sono evidenziate le possibili soluzioni di *policy* per il sistema logistico campano e le possibili future estensioni del modello.

2. Rassegna dei principali contributi della letteratura modellistica rilevante di riferimento

“L’intermodalità è un tema - quasi per naturale definizione terminologica - interdisciplinare. Tocca aspetti tecnici legati alle caratteristiche delle infrastrutture (porti, interporti, terminali, linee ferroviarie, ecc.), dei mezzi (veicoli stradali, locomotive ed altro materiale rotabile, navi e chiatte, aerei, macchine per la movimentazione, contenitori, casse mobili, ecc.), aspetti ingegneristici e gestionali, aspetti geografici, scelte economiche, scelte istituzionali e politiche, aspetti psicologici e ricadute sull’energia e sull’ambiente. Data la complessità del tema ogni disciplina deve interagire con le altre...” (Danielis, 2006).

A livello strettamente modellistico, l’*interport model* rappresenta un problema di programmazione matematica su rete che include i principali fattori determinanti l’equilibrio dei flussi terrestri containerizzati attraverso un sistema logistico regionale mare-terra caratterizzato da porti marittimi, interporti ed altre località terrestri.

I modelli spaziali di ottimizzazione disponibili in letteratura per quanto riguarda l’industria dei traffici containerizzati non sono numerosi. I lavori ritenuti maggiormente significativi e/o in qualche modo affini al lavoro modellistico presentato in questo lavoro sono quelli di Aversa ed altri (2005), Chang (2008), Choong ed altri (2002), Crainic (2003), Crainic e Kim (2007), Cullinane ed altri (2002), Kim ed altri (2008a, 2008b), Lee ed altri (2006), Luo (2002), Luo e Grigalunas (2003), Macharis e Bontekoning (2004), Racunica e Winter (2005), Rahimi ed altri (2008), Thore e Iannone (2005).

Aversa ed altri (2005) hanno utilizzato un modello “*hub-and-spoke*” di programmazione mista intera multiprodotto, implementato nel linguaggio di programmazione ad alto livello *GAMS*, per individuare la localizzazione ottimale di un porto *hub* sulla Costa orientale del Sud America tra un insieme di 11 porti che servono la domanda di traffico container (da 20 e 40 piedi pieni e vuoti) dell’area.

Chang (2008) ha affrontato il problema della selezione di itinerari ottimali per le spedizioni su reti internazionali intermodali, sviluppando ed applicando su dati ipotetici un modello multimodale, multiobiettivo e multiprodotto con finestre temporali e costi non lineari. La soluzione del problema si basa su tecniche di rilassamento e decomposizione, che prevedono la suddivisione del problema in un insieme di problemi di minore dimensione e più facili da risolvere.

Choong ed altri (2002) hanno effettuato un’analisi computazionale dell’effetto della lunghezza dell’orizzonte di pianificazione sulla gestione dei container vuoti nell’ambito di reti intermodali di trasporto. Tale analisi si basa su un modello di programmazione intera che minimizza i costi totali per la logistica dei vuoti tenendo conto delle necessità legate alla movimentazione dei pieni. Il costo totale include il costo di trasporto dei vuoti tra le varie localizzazioni, il costo di mantenimento dei vuoti presso i depositi e il costo di approvvigionamento dei vuoti dall’esterno (*leasing*, acquisto, noleggio). Un caso studio riguardante potenziali operazioni di trasporto containerizzato su chiatte sul fiume Mississippi è stato implementato utilizzando il linguaggio di programmazione ad

alto livello *AMPL* ed illustra gli effetti dell'orizzonte di pianificazione sulla scelta modale.

Crainic (2003) ha presentato 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 *hub-and-spoke* a livello regionale, nazionale e globale. A tal proposito sono state illustrate le formulazioni dei modelli di localizzazione e di configurazione di rete che sono spesso associati con l'evoluzione di lungo periodo dei sistemi di trasporto e rivestono un ruolo significativo anche per quanto riguarda i problemi di progettazione dei servizi. Particolare attenzione è dedicata a modelli e metodi operativi per l'allocazione e il riposizionamento di risorse quali i veicoli vuoti.

Crainic e Kim (2007) hanno illustrato diverse problematiche del trasporto intermodale containerizzato e diverse metodologie di modellizzazione matematica applicata. In particolare, i modelli proposti affrontano importanti aspetti strategici, tattici e operativi di pianificazione e gestione in ambito logistico-transportistico: configurazione di sistema e della rete di servizi, gestione del parco container (con particolare riferimento al problema del riposizionamento dei vuoti), pianificazione delle operazioni terminalistiche e pianificazione a scala nazionale.

Cullinane ed altri (2002) hanno analizzato le principali caratteristiche della rete distributiva continentale cinese per il traffico container, utilizzando 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. L'esempio numerico utilizzato per illustrare le caratteristiche del loro modello è molto semplice e comprende 7 nodi e 14 archi. Due nodi rappresentano due ipotetici porti d'importazione, altri due nodi rappresentano ipotetiche destinazioni finali, mentre i restanti nodi rappresentano ipotetici centri di trasbordo intermodale. Le modalità di trasporto terrestre considerate sono la strada, la ferrovia e le vie d'acqua interne. Il modello è stato inoltre risolto mediante uno specifico algoritmo appositamente implementato dagli autori mediante l'ausilio del pacchetto *CPLEX*.

Kim ed altri (2008a) hanno utilizzato un modello di programmazione mista intera multimodale e monoprodotto per l'ottimizzazione dei flussi di container pieni in import ed export riguardanti la Corea. In particolare, il modello determina le quantità ottime di container e le modalità di trasporto (gomma, ferro e loro combinazioni) sui vari possibili itinerari nell'orizzonte temporale considerato (annuale), tenendo conto dei vincoli in termini di quantità domandata e offerta nei porti esteri e nelle città coreane, nonché di vincoli di capacità nei porti e vincoli in termini di numero di treni disponibili e di tempo disponibile per attività di trasporto stradale. La funzione obiettivo da minimizzare è una funzione di costo logistico che include il costo monetario diretto delle attività logistiche (intese esclusivamente come trasporto e movimentazione) e il costo monetario indiretto legato al mantenimento delle scorte di merce in transito. Il modello è stato risolto mediante l'ausilio del pacchetto *CPLEX*.

Kim ed altri (2008b) hanno utilizzato un modello di programmazione lineare multimodale e monoprodotto per l'ottimizzazione dei flussi di container pieni in import ed export riguardanti la Corea. In particolare, il modello determina le quantità ottime di container e le modalità di trasporto (gomma, ferro, *short sea shipping* cabotiero e fluviale, e loro combinazioni) sui vari possibili itinerari nell'orizzonte temporale considerato (annuale), tenendo conto dei vincoli in termini di quantità domandata e offerta nei porti esteri e nelle città coreane, nonché di vincoli di capacità nei porti e

vincoli in termini di numero di treni disponibili e di tempo disponibile per attività di trasporto stradale. La funzione obiettivo da minimizzare è una funzione di costo logistico che include il costo monetario diretto delle attività logistiche (intese esclusivamente come trasporto e movimentazione) e il costo monetario indiretto legato al mantenimento delle scorte di merce in transito. Il modello è stato risolto mediante l'ausilio del pacchetto *CPLEX* ed inoltre sono stati effettuati diversi test di post-ottimalità per individuare opzioni di *policy* per lo sviluppo dello *short sea shipping*.

Lee ed altri (2006) hanno sviluppato un modello di programmazione lineare di rete multiprodotto con vincoli di capacità trasportistica per analizzare i flussi marittimi containerizzati tra porti asiatici e sulle rotte bidirezionali USA-Far East ed Europa-Far East. Le tre principali regioni analizzate sono l'Asia nord-orientale, l'Asia orientale (*range* dei porti cinesi) e l'Asia sud-orientale. Il modello, implementato numericamente mediante l'ausilio del linguaggio *AMPL*, è stato in particolare utilizzato per valutare l'impatto sul traffico portuale determinato dalla variazione delle tariffe di movimentazione container e dei tempi di permanenza delle navi in porto.

Luo (2002) e Luo e Grigalunas (2003) hanno sviluppato un modello spaziale economico multimodale per il trasporto containerizzato di 30 categorie merceologiche in importazione ed esportazione attraverso i porti statunitensi. Il modello individua la domanda annua di traffico container dei porti attraverso la minimizzazione del costo totale su una rete multimodale che include linee di navigazione, scali marittimi, ferrovie e autostrade. Gli autori hanno inoltre valutato l'impatto sulla domanda di trasporto derivante da cambiamenti nelle tariffe portuali (elasticità della domanda rispetto al prezzo). Lo strumento di ottimizzazione utilizzato è lo "*shortest path*", ovvero un algoritmo di cammino minimo, in particolare l'algoritmo di Dijkstra. Tale algoritmo è stato implementato con l'ausilio di un software autoprodotta utilizzando la programmazione *Java*. Inoltre, per facilitare la visualizzazione dei dati di simulazione, il software include anche uno strumento di rappresentazione grafica di tipo *GIS*.

Macharis e Bontekoning (2004) hanno individuato il trasporto merci intermodale come nuovo ambito applicativo di indagine, sebbene ancora in fase pre-paradigmatica, di rilevante interesse per la Ricerca operativa, tradizionalmente focalizzata in gran parte su modelli di trasporto unimodali. I due autori effettuano un'estesa rassegna della letteratura dedicata ai modelli di Ricerca operativa attualmente utilizzati in tale nuovo ambito di studio e delle principali tipologie di problemi da affrontare.

Racunica e Winter (2005) hanno presentato un modello di ottimizzazione per affrontare il problema dell'incremento della quota di trasporto intermodale mediante l'utilizzo di reti *hub-and-spoke* nel trasporto ferroviario. Il modello è una generalizzazione dei problemi di localizzazione di *hub*, in quanto è caratterizzato da funzioni di costo non lineari e concave su differenti segmenti. Inoltre, per la soluzione è stata adoperata una procedura di linearizzazione assieme ad altre euristiche, facendo in particolare riferimento ai recenti risultati raggiunti nella letteratura di matematica applicata per quanto riguarda le proprietà poliedriche di questa tipologia di problemi. L'applicazione computazionale ha riguardato un caso studio sulla rete merci intermodale transalpina ed è stata effettuata utilizzando i solutori di programmazione intera e lineare di *CPLEX*.

Rahimi ed altri (2008) hanno studiato un problema di localizzazione di *inland port* nelle cinque divisioni territoriali amministrative attorno a Los Angeles. Essi hanno utilizzato un *GIS* per effettuare una mappatura dei siti in cui sono movimentati i carichi internazionali in tali divisioni amministrative. Un modello di localizzazione di un singolo polo interportuale che minimizza i camion-miglio percorsi è stato presentato

assieme a sue successive estensioni che arrivano a considerare simultaneamente fino a 6 *inland port*.

Thore e Iannone (2005) hanno proposto un *tutorial* per affrontare alcuni aspetti teorici e computazionali di base riguardanti i modelli di analisi economica e pianificazione di rete. Il lavoro prende in considerazione configurazioni di rete di tipo *hub-and-spoke*, ma non sono stati modellizzati possibili fenomeni di economie di scala derivanti dalla concentrazione dei flussi negli *hub*. I modelli presentati possono quindi più propriamente essere considerati del tipo “*transshipment model*”.

Nel *tutorial* sono indicate le principali proprietà di questa classe di problemi, con particolare riferimento alla loro formulazione matematica primale e duale, all’interpretazione economica di tali formulazioni e delle loro soluzioni e alle condizioni di scarto complementare. Sono inoltre riportati esempi numerici con dati ipotetici riferiti al trasporto aereo di passeggeri in ambito europeo. Tali esempi sono stati formulati computazionalmente e risolti mediante il linguaggio *GAMS*. Di particolare rappresentatività è la formulazione e soluzione di un *transshipment model* di minimizzazione dei costi di trasporto aereo con domanda specificata per origine-destinazione e vincoli di capacità nei nodi. In tal caso, l’esigenza dei nodi di destinazione (domanda) non consiste nel ricevere un determinato quantitativo di traffico indipendentemente dal nodo di provenienza (offerta), come invece è assunto nei modelli di trasporto convenzionali. Il modello richiede invece che tutti gli utenti individuali siano soddisfatti, sia in origine che a destinazione. Si provvede quindi alla formulazione di tanti programmi matematici quanti sono i nodi di origine del modello. Di conseguenza, vi sono tanti vettori di variabili incognite quanti sono i nodi di origine. Tali programmi possono essere trattati congiuntamente all’interno di un unico programma matematico che può essere definito “*multicopy model*”, “*multipage model*” o “*master program*”. Per quanto riguarda i vincoli di capacità, essi sono in questo caso formulati come “*coupling condition*”, ovvero come disequazioni che legano i diversi traffici e quindi le diverse tipologie di variabili incognite del modello. Inoltre, l’ottimo del modello è caratterizzato dal fatto che lungo ciascun collegamento utilizzato l’incremento di valore ombra del flusso è pari al costo di trasporto più il prezzo ombra dell’eventuale vincolo di capacità del nodo di partenza. Le tecniche di analisi utilizzate da Thore e Iannone (2005) sono la programmazione lineare e la programmazione mista intera, quest’ultima utilizzata per la formulazione e soluzione di un problema di scelta localizzativa di un aeroporto.

L’*interport model* di seguito proposto per l’analisi economica e la pianificazione della logistica terrestre containerizzata del sistema campano “porti-interporti” rappresenta un’ulteriore estensione e un adattamento al settore dei traffici containerizzati di un particolare tipo di problema già individuato in Thore e Iannone (2005). La domanda container è infatti specificata per coppie O/D.

Lo scopo dell’*interport model* è quello di evidenziare e misurare i possibili vantaggi derivanti dall’utilizzo degli interporti campani e di soluzioni intermodali per la distribuzione terrestre di container marittimi pieni e vuoti movimentati nei porti regionali. Alcune specifiche caratteristiche distinguono l’*interport model* dai modelli attualmente disponibili in letteratura. In particolare, le problematiche doganali e le procedure di rilascio delle unità di carico nei nodi del sistema logistico regionale studiato sono state modellizzate esplicitamente. Il modello include inoltre un sotto-modello di offerta di trasporto stradale che consente il calcolo dei tempi totali di viaggio secondo le attuali norme del Nuovo Codice della Strada Italiano.

3. Caratteristiche funzionali e topologiche della rete logistica studiata

Il sistema logistico intermodale campano di primo livello include i porti tirrenici di Napoli e Salerno e gli interporti di Nola e Marcianise, rispettivamente localizzati in provincia di Napoli e in provincia di Caserta. Un terzo interporto è in fase di realizzazione a Battipaglia, in provincia di Salerno. Dall'analisi dei dati di traffico osservati, è emerso che, attualmente, il bacino geografico di distribuzione terrestre della merce containerizzata da/verso i porti campani è esclusivamente di tipo nazionale.

Si riporta in figura 1 uno schema concettuale riguardante gli insiemi dei nodi e dei collegamenti reali multimodali, nonché dei processi logistici containerizzati che possono essere analizzati mediante l'*interport model*, con particolare riferimento ai flussi in importazione attraverso il sistema logistico campano. Tale schema può essere tradotto nella figura 2, che consiste in una rappresentazione topologica della rete logistica terrestre reale studiata. Tale rete è formata da 24 nodi reali e da 163 collegamenti reali (strada + ferrovia). Più specificamente, la rete è caratterizzata dalle seguenti tipologie di nodi:

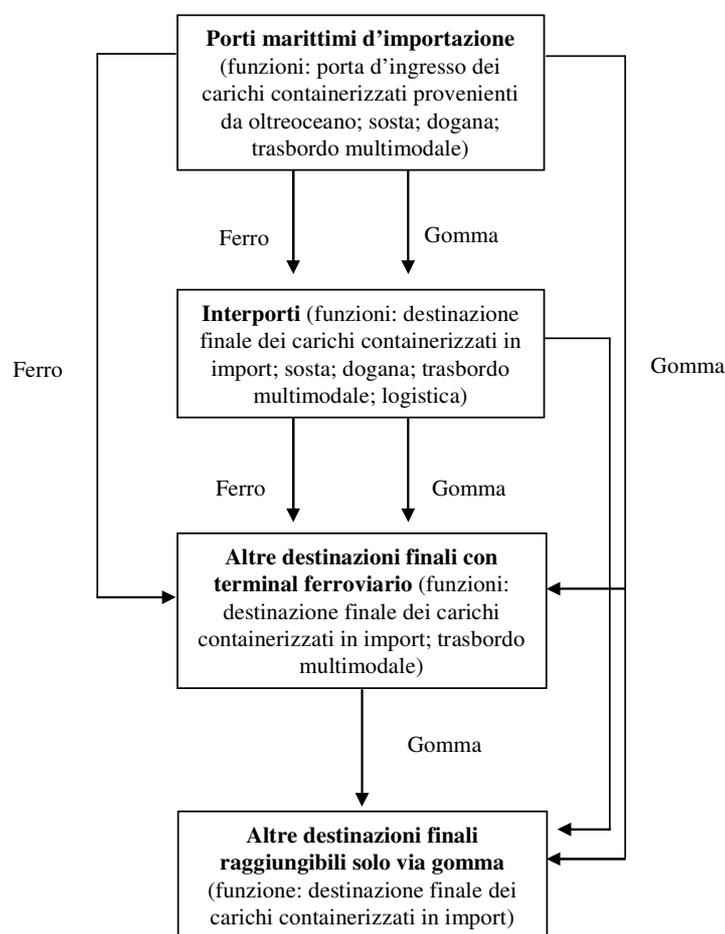


Fig. 1 - Distribuzione terrestre di container marittimi in import attraverso i porti e gli interporti campani: uno schema concettuale

- Nodi portuali¹⁴, che rappresentano i nodi di origine del modello, ovvero i punti d'ingresso dei flussi d'importazione di container pieni e vuoti da distribuire

¹⁴ Napoli e Salerno (rispettivamente indicati nel modello come NAP e SAL).

nell’*hinterland* nazionale su gomma, ferro e loro combinazioni. Ciascun nodo portuale ha funzioni terminalistiche e doganali.

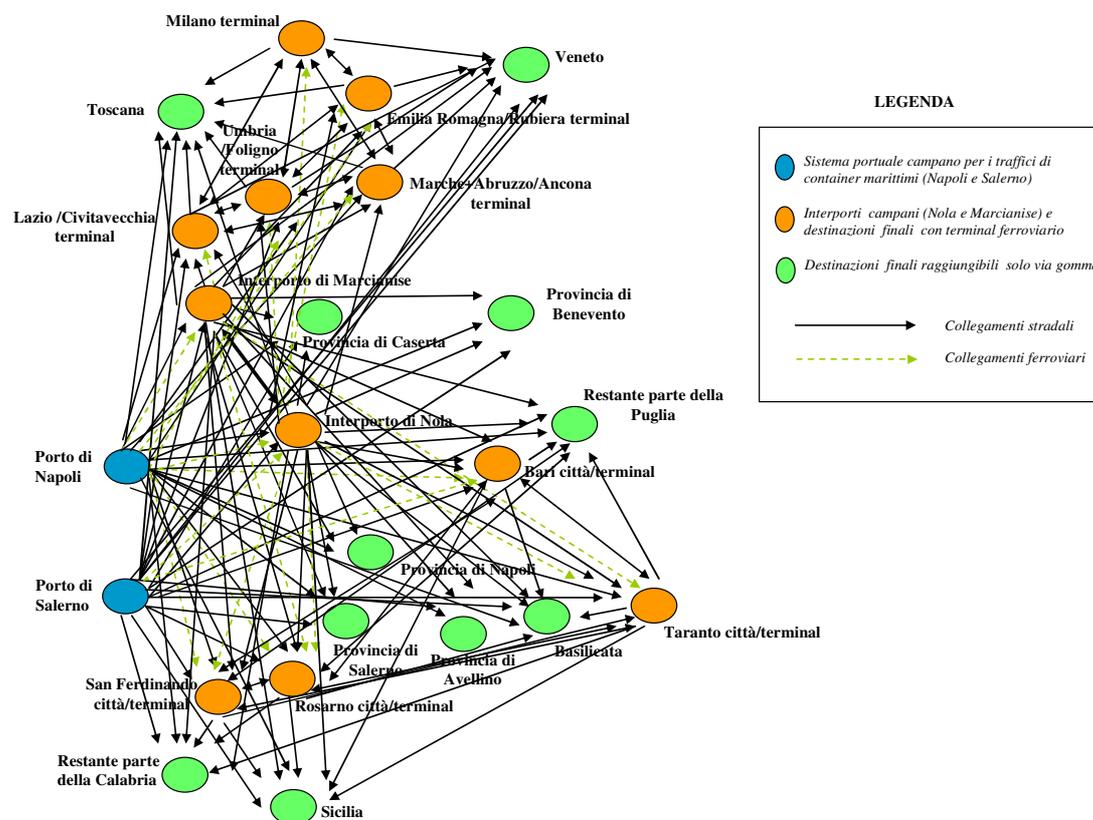


Fig. 2 - Configurazione della rete distributiva terrestre reale studiata dall’*interport model*

- Nodi interportuali¹⁵, che manifestano una domanda locale di container provenienti dai porti e sono serviti dalla gomma e dalla ferrovia. Essi possono anche essere utilizzati come nodi intermedi di trasbordo (ferro-gomma, gomma-ferro, ferro-ferro e gomma-gomma) per varie combinazioni di traffico container dai porti verso altre destinazioni terrestri finali. Negli interporti è inoltre possibile lo svolgimento di operazioni logistiche alternative a quelle portuali (sosta container e controlli doganali), nonché di attività a valore aggiunto sulla merce¹⁶.
- Nodi di destinazione finale dotati di terminal ferroviario¹⁷, che sono serviti via gomma e via ferro dal sistema logistico regionale campano e possono anche svolgere la funzione di nodi intermedi di trasbordo (ferro-gomma e gomma-

¹⁵ Nola e Marcianise. Come sarà meglio evidenziato di seguito, a ciascun interporto regionale corrisponde nel modello una coppia di “nodi virtuali”, di cui un nodo non ha funzione doganale e l’altro nodo ha invece funzione doganale. In particolare, i nodi virtuali interportuali senza funzione doganale sono indicati nel modello con NOL e MAR, mentre i nodi virtuali interportuali con funzione doganale sono indicati con NCC e MCC.

¹⁶ Come sarà meglio evidenziato nel paragrafo conclusivo, il ruolo degli interporti come nodi per lo svolgimento di operazioni di *quasi-manufacturing* sulla merce containerizzata può essere simulato nell’ambito di un modello con funzione obiettivo da massimizzare.

¹⁷ Taranto (TAR), Bari (BAR), Rosarno (ROS), San Ferdinando (SAN), Lazio/Civitavecchia (LAZ), Abruzzo+Marche/Ancona (ABR), Umbria/Foligno (UMB), Emilia Romagna/Rubiera (EMI), Lombardia/Milano Segrate (MIL).

gomma) per alcune combinazioni di traffico dai porti e/o dagli interporti verso altre destinazioni terrestri finali.

- Nodi di destinazione finali serviti solo via gomma¹⁸.

Si riporta invece di seguito un elenco generico riguardante i collegamenti sul network distributivo terrestre reale indagato:

- 44 collegamenti stradali totali dai porti di Napoli e Salerno;
- 42 collegamenti stradali totali effettivi dagli interporti di Nola e Marcianise (senza considerare i collegamenti dai nodi virtuali con funzione doganale);
- 58 collegamenti stradali totali da altri nodi intermedi di trasbordo (Taranto, Bari, Rosarno, San Ferdinando, Lazio/Civitavecchia, Abruzzo+Marche/Ancona, Umbria/Foligno, Emilia Romagna/Rubiera, Lombardia/Milano Segrate);
- 10 collegamenti ferroviari totali effettivi (cioè senza considerare i collegamenti con i nodi virtuali interportuali con funzione doganale) dai porti di Napoli e Salerno;
- 9 collegamenti ferroviari totali effettivi dagli interporti di Nola e Marcianise (senza considerare i collegamenti dai nodi virtuali con funzione doganale).

Entrambi i porti campani risultano naturalmente collegati via gomma a tutti gli altri nodi terrestri della rete. Inoltre, il porto di Napoli è collegato via ferro a entrambi gli interporti regionali, nonché ad alcune altre destinazioni finali dotate di terminal ferroviario. Il porto di Salerno è collegato via ferro all'interporto di Nola e a Bari. Gli interporti di Nola e Marcianise sono collegati via gomma a tutti gli altri nodi terrestri della rete e via ferro ad alcune altre destinazioni finali dotate di terminal ferroviario. Queste ultime, infine, possono servire via gomma alcune destinazioni finali che potrebbero essere alternativamente servite in maniera diretta dai nodi portuali ed interportuali campani.

Considerando quindi tale configurazione generale della rete, tutte le località terrestri del modello servite dalla ferrovia possono svolgere la funzione di nodo intermedio di trasbordo ferro-gomma e gomma-gomma dei container per combinazioni di traffico O/D. Negli interporti sono invece possibili anche operazioni di trasbordo ferro-ferro.

I container marittimi pieni in import sbarcati nei porti regionali e destinati alle varie località dovrebbero essere sdoganati prima di lasciare i porti. Il modello ipotizza la possibilità di svolgere le operazioni doganali nei porti oppure, in alternativa, negli interporti, dopo che sia stato effettuato il trasporto ferroviario sotto vincolo doganale e in regime di *carrier haulage* sulle tratte Napoli-Nola, Napoli-Marcianise e Salerno-Nola.

In realtà, la situazione operativa attuale degli interporti campani per quanto riguarda le autorizzazioni doganali concesse ai terminalisti intermodali è tale che risulta possibile trasportare via ferro da Napoli contenitori allo stato estero, senza la necessità di rilascio in porto del documento doganale di transito, solo verso Nola. L'*interport model* simula comunque questa possibilità anche con riferimento al trasporto ferroviario da Napoli a Marcianise¹⁹.

Inoltre, da dicembre 2005 i collegamenti ferroviari da/verso il porto di Salerno sono stati sospesi a seguito di un grave incidente ferroviario sulla tratta che attraversa il lungomare della città di Salerno per collegare Salerno porto e Salerno stazione.

¹⁸ Provincia di Napoli (NAP2), provincia di Salerno (SAL2), provincia di Caserta (CAS), provincia di Avellino (AVE), provincia di Benevento (BEN), restante parte della Puglia (PUG), Basilicata (BAS), restante parte della Calabria (CAL), Sicilia (SIC), Toscana (TOS) e Veneto (VEN).

¹⁹ La situazione operativa del terminal intermodale di Marcianise è destinata naturalmente a cambiare. Tra l'altro, solo dal 2006 è stato istituito un Ufficio della Dogana all'interno dell'interporto.

L'*interport model* prende quindi in considerazione la situazione operativa antecedente al suddetto incidente, simulando cioè la possibilità di trasporto ferroviario dal porto di Salerno verso l'interporto di Nola e verso Bari²⁰. Non è quindi possibile sdoganare a Marcianise container sbarcati a Salerno, in quanto tali nodi non erano collegati via ferro.

La rete presa in considerazione dal modello include poi anche i seguenti ulteriori collegamenti ferroviari attivi in Campania in anni precedenti al 2007: Napoli-Ancona, Napoli-Foligno, Nola-Foligno, Nola-Rubiera, Marcianise-Taranto e Marcianise-Civitavecchia. In definitiva, i servizi ferroviari containerizzati portuali ed interportuali inclusi nel modello sono tutti quelli risultati attivi in Campania nel periodo 2005-2007.

Un aspetto di originalità dell'*interport model* da un punto di vista logico-matematico riguarda l'utilizzo di "nodi virtuali" al fine di modellizzare/simulare agevolmente le diverse funzioni per i traffici containerizzati che possono essere svolte da ciascuno dei due interporti considerati. In particolare, nella formulazione del modello proposta nel presente lavoro si attribuiscono due nodi virtuali per ciascun interporto:

- 1) un nodo virtuale riguardante la movimentazione e l'inoltro su gomma o su ferro di container in arrivo dai porti su gomma o su ferro già sdoganati e/o vuoti;
- 2) un nodo virtuale riguardante la movimentazione e l'inoltro su gomma o su ferro di container pieni in arrivo dai porti esclusivamente su ferro sotto vincolo doganale per conto delle compagnie di navigazione (*carrier haulage*) e che vanno quindi sdoganati nello stesso interporto prima di essere inoltrati verso le destinazioni finali.

I due nodi virtuali di ognuna delle due coppie (che non sono state rappresentate nella figura 2) hanno identica localizzazione geografica, ma ciascun nodo riguarda appunto differenti funzioni interportuali. Più specificamente, entrambi i nodi virtuali della coppia riferita ad un singolo interporto possono comunque svolgere la funzione di nodo intermedio di trasbordo terrestre intermodale. Solo uno dei due nodi può svolgere però anche una funzione doganale, mentre all'altro è esclusivamente attribuita la domanda finale effettiva interportuale di contenitori pieni e vuoti provenienti dai porti. Inoltre, ciascuno dei due nodi virtuali di riferimento per ciascun interporto è caratterizzato dagli stessi collegamenti terrestri multimodali in uscita. Infine, per simulare la possibilità di sdoganare in ciascun interporto i container pieni provenienti dai porti e destinati ad operatori localizzati nello stesso interporto, si è ipotizzata una distanza stradale nulla e quindi un costo generalizzato di trasporto su gomma pari a zero tra il nodo interportuale virtuale con funzione doganale e l'altro corrispondente nodo interportuale virtuale senza funzione doganale.

4. Formulazione matematica del modello

L'*interport model* è un modello lineare di trasporto multimodale e multiprodotto con vincoli di capacità, per l'analisi economica e la pianificazione delle soluzioni logistico-distributive riguardanti i traffici terrestri dei container sbarcati nel *cluster* portuale campano e che possono essere movimentati anche negli interporti regionali, nonché in altre localizzazioni extra-regionali dotate di terminal ferroviario, prima di raggiungere le destinazioni finali. Il modello è "lineare", in quanto la funzione obiettivo e i vincoli

²⁰ Durante l'ultima assemblea annuale di Assologistica, tenutasi nell'ottobre 2008 presso la sede di Confindustria Salerno, alcuni imprenditori hanno manifestato un forte interesse verso l'eventuale ripristino delle connessioni ferroviarie da/verso il porto di Salerno.

contengono solo polinomi di primo grado nelle variabili decisionali²¹. Le variabili sono poi di tipo continuo e quindi il loro campo di variazione è dato da intervalli chiusi (eventualmente semirette se non addirittura rette). La linearità presenta diversi risvolti, alcuni di natura matematica, altri di natura logica²².

Il modello è inoltre “multimodale”, in quanto la sua soluzione consente di individuare la scelta modale ottima tra strada, ferrovia e loro combinazioni per il trasporto delle unità di carico standardizzate da origine a destinazione. È anche di tipo “multiprodotto”, in quanto riguarda simultaneamente le scelte logistico-distributive per container pieni e vuoti. Esso è caratterizzato, infine, da vincoli di capacità esplicitamente formulati per i collegamenti ferroviari.

L’impianto teorico sottostante è di tipo microeconomico e assume che gli agenti minimizzano il costo logistico totale delle attività di distribuzione terrestre di container marittimi da origine a destino in condizioni di concorrenza perfetta. In particolare, l’*interport model* prende in considerazione i costi di trasporto multimodale sulla rete, i costi di mantenimento delle scorte in transito sulla rete e nei nodi, i costi delle operazioni terminalistiche (carico/scarico e sosta) e dei controlli doganali (VM e CS) nei nodi. Uno degli scopi principali del modello è quello di misurare i benefici derivanti dall’utilizzo degli interporti per la distribuzione terrestre di container marittimi secondo una prospettiva di “*extended gateway system*” e quindi di continuità doganale basata sul *carrier haulage* ferroviario tra porti ed interporti.

Di seguito si riporta una formulazione matematica stilizzata della funzione obiettivo dell’*interport model* inteso quale ulteriore estensione e adattamento al settore dei traffici containerizzati mare-terra di un particolare tipo di modello matematico già individuato nel lavoro di Thore e Iannone (2005). Più specificamente, l’esempio in oggetto riguarda un modello con domanda specificata per coppie O/D, ovvero da singoli porti marittimi verso singole località terrestri, interporti inclusi. L’esempio include inoltre il nuovo concetto di “nodo interportuale virtuale” (vedi paragrafo precedente).

Nella figura 3 vi sono due nodi di origine 1 e 2 (che possono essere identificati come nodi portuali), un interporto formato dai due nodi virtuali intermedi 3 e 4 (rispettivamente il nodo virtuale senza funzione doganale e quello con funzione doganale), ed infine tre altre destinazioni finali 5, 6, 7, di cui due dotate di terminal ferroviario. Anche il nodo virtuale 3 presenta una domanda locale di container ed è quindi anche un nodo di destinazione finale del modello. Per quanto riguarda invece il nodo virtuale 4, esso è raggiungibile solo via ferro dai nodi portuali ed esclusivamente per il trasporto di container pieni in regime di *carrier haulage* sotto vincolo doganale. Infine, i nodi 3 e 4 hanno gli stessi collegamenti multimodali in uscita.

L’esempio stilizzato proposto è di tipo “monoprodotto”, ovvero riguarda esclusivamente la logistica dei container pieni sbarcati nei porti campani e da inoltrare alle destinazioni terrestri finali. La generalizzazione del modello al caso “multiprodotto”, e quindi anche alla logistica dei container vuoti, non necessita di

²¹ Nessuna variabile risulta quindi elevata a potenze diverse da 1, né è moltiplicata per un’altra variabile.

²² In particolare, dal punto di vista matematico si ha indubbiamente una tipologia di modello relativamente semplice, con la possibilità di utilizzare tecniche ampiamente consolidate di risoluzione, che consentono di trattare problemi complessi, con molti vincoli e molte variabili, giungendo alla soluzione esatta. Dal punto di vista della natura logica dei vincoli e dell’obiettivo, la linearità porta, ad esempio, ad escludere economie e diseconomie di scala. Ogni variabile è infatti moltiplicata per un coefficiente di proporzionalità fisso al variare della grandezza della variabile stessa.

particolari approfondimenti modellistici e descrittivi in questa sede, essendo tra l'altro facile ed immediata²³

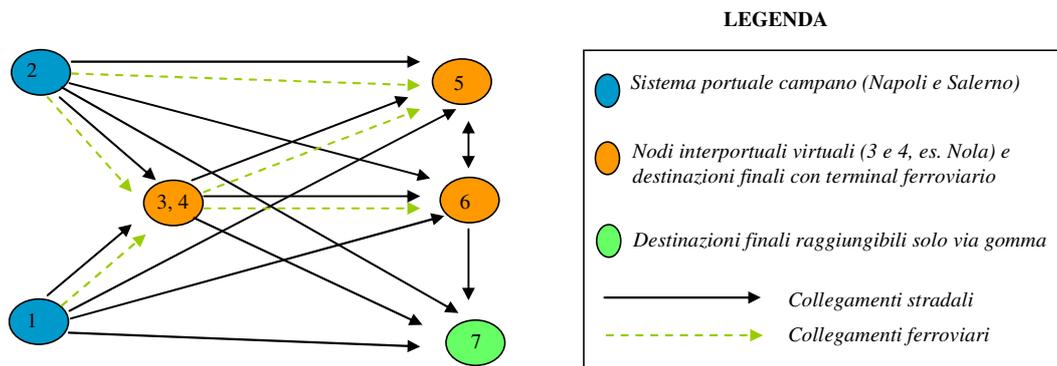


Fig. 3 - Modello stilizzato di rete logistica multimodale con nodi interportuali virtuali

In definitiva, l'obiettivo del modello di programmazione è il seguente:

min W =

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \sum_{m \in M} c_{ij}^m \cdot (x_{ij}^m + y_{ij}^m) + \sum_{p \in P} \sum_{z \in Z} \sum_{m \in M} f_p^m \cdot (x_{pz}^m + y_{pz}^m) + \\
 & + \sum_{p \in P} \sum_{d \in D} g_p \cdot (x_{pd}^{ferro \in M} + y_{pd}^{ferro \in M}) + \sum_{q \in Q} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} k_q^m \cdot (x_{qe}^m + y_{qe}^m) \\
 & + \sum_{d \in D} \left\{ \sum_{z \in Z} \left[(h_d^{gomma \in M} \cdot x_{dz}^{gomma \in M}) + (j_d^{gomma \in M} \cdot y_{dz}^{gomma \in M}) \right] + \right. \\
 & \left. \sum_{e \in E} \left[(h_d^{ferro \in M} \cdot x_{de}^{ferro \in M}) + (j_d^{ferro \in M} \cdot y_{de}^{ferro \in M}) \right] \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Dove:

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 i 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 = $\{5, 6, 7\}$

²³ Si ricorda, a tal proposito, che per l'inoltro dei container vuoti non occorre l'espletamento di formalità doganali.

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

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

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

$\left[g_p \right]$: vettore riga di costi generalizzati unitari (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche 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

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

$\left[h_d^m \right]$: vettore riga di costi generalizzati unitari medi ponderati (in Euro/TEU) delle operazioni terminalistiche e doganali per container pieni 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 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 $m \in M$

$\left[x_{ij}^m \right]$: vettore colonna di spedizioni mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$ lungo il collegamento tra i nodi $i, j \in I$ per container pieni sbarcati nel nodo portuale $1 \in P$

$\left[y_{ij}^m \right]$: vettore colonna di spedizioni mediante la modalità di trasporto terrestre $m \in M$ lungo il collegamento tra i nodi $i, j \in I$ per container pieni sbarcati nel nodo portuale $2 \in P$

Gli insiemi Q e D rappresentano i nodi virtuali interportuali, che hanno identica localizzazione ma svolgono funzioni diverse. Come anche evidenziato nella (1), un container pieno sbarcato in un nodo portuale $p \in P$ può essere sdoganato nello stesso nodo portuale e in tal caso può essere inoltrato verso un nodo di destinazione terrestre finale $z \in Z$, incluso uno dei nodi virtuali interportuali senza funzione doganale ($q \in Q \subseteq Z$). Oppure può essere inoltrato su ferro in regime di *carrier haulage* sotto vincolo doganale dal nodo portuale $p \in P$ verso un nodo virtuale

interportuale con funzione doganale $d \in D$. In tal modo, lo *shipper* potrà evitare la procedura di sdoganamento in porto ed ottenere il rilascio dell'unità di carico in un interporto.

Occorre infine precisare che i costi generalizzati unitari medi ponderati per le operazioni di rilascio nei nodi portuali ed interportuali sono calcolati prendendo in considerazione costi diretti e costi indiretti legati al tempo (costi di mantenimento delle scorte in transito), secondo le differenti probabilità osservabili/prevedibili per le differenti tipologie di controllo doganale (VM, CS, CD, CA).

5. Caratteristiche matematiche e computazionali del modello empirico

La funzione obiettivo del modello completo che è stato effettivamente formulato e risolto sulla base di dati reali rappresenta naturalmente una corretta generalizzazione della (1). In particolare, il modello empirico include ulteriori insiemi e parametri (tra l'altro più disaggregati) rispetto a quelli presentati con riferimento all'esempio stilizzato sopra riportato²⁴. La funzione obiettivo da minimizzare riguarda il costo logistico totale per la distribuzione di container pieni e vuoti lungo gli itinerari di rete disponibili. In sintesi, le voci di costo considerate riguardano:

- le operazioni di carico e scarico dei container su/da mezzi di trasporto nei nodi (“*container handling charge*”);
- la sosta dei container nei nodi portuali ed interportuali, ovvero i “*demurrage cost*” calcolati in funzione del *dwell time* nei porti per i container pieni da trasferire verso gli interporti in modalità di *carrier haulage* ferroviario sotto vincolo doganale, nonché calcolati in funzione dei *dwell time* dei container vuoti, dei container pieni ispezionati, dei container pieni scannerizzati, dei container pieni sottoposti a controllo documentale e dei container pieni sottoposti a controllo automatizzato nei porti e negli interporti, da inoltrare su gomma o su ferro;
- i possibili costi diretti doganali addizionali dovuti ai controlli doganali VM e CS nei nodi portuali ed interportuali²⁵;

²⁴ Un ulteriore insieme del modello completo riguarda, ad esempio, le tipologie di infrastrutture lineari stradali (autostrade, rimanente viabilità). Tale insieme è utilizzato con riferimento a parametri di distanza stradale considerati congiuntamente a parametri riguardanti le velocità di guida ipotizzate, al fine di calcolare i tempi di guida e, in definitiva, i tempi totali di viaggio sui collegamenti stradali della rete di riferimento del modello. Altro esempio di ulteriore insieme incluso nel modello completo riguarda invece i collegamenti ferroviari. Quest'ultimo insieme è utilizzato con riferimento ai vincoli di capacità ferroviaria, che rappresentano un ulteriore parametro del modello. Occorre a tal proposito evidenziare, che il vincolo di capacità di ciascun collegamento ferroviario da/verso ciascun interporto considera congiuntamente il collegamento ferroviario da/verso ciascuno dei due corrispondenti nodi virtuali. Infine, esempi di ulteriori parametri del modello completo riguardano i tempi di permanenza dei container pieni e vuoti nei nodi portuali ed interportuali (*dwell time*), nonché naturalmente la domanda container effettiva specificata in numero di TEU pieni e numero di TEU vuoti per coppie di nodi origine-destinazione (cioè da ciascun nodo portuale $p \in P$ verso ciascun nodo $i \in I$). I *dwell time* dei container pieni sono differenziati a seconda delle diverse tipologie di controlli doganali possibili (VM, CS, CD, CA) e delle diverse modalità di trasporto in uscita (gomma, ferro).

²⁵ Per scopi illustrativi ed esemplificativi, nell'*interport model* si assume che tutti i container pieni in transito nel sistema logistico regionale riescano a superare positivamente i controlli doganali. Inoltre, nel modello non è preso in considerazione il pagamento dei dazi doganali relativi al valore delle merci containerizzate. Con riferimento a tale aspetto, sulla base di fonti doganali, si può ad esempio segnalare che nel 2007 gli importatori italiani hanno pagato dazi sulle importazioni dalla Cina per un ammontare pari in media al 27-30% del valore dei prodotti. Gli importatori cinesi, invece, hanno pagato nello stesso

- i costi di mantenimento delle scorte in transito relativi ai *dwell time* dei container pieni nei nodi portuali ed interportuali²⁶;
- i costi interni generalizzati del trasporto stradale e ferroviario di container pieni lungo gli itinerari di rete disponibili (costo monetario diretto di trasporto + costo monetario indiretto di mantenimento delle scorte in transito durante il tempo di trasporto);
- i costi interni del trasporto stradale e ferroviario di container vuoti lungo gli itinerari di rete disponibili²⁷.

Il costo di trasporto su gomma o su ferro verso un generico nodo includono il costo dell'operazione terminale di scarico del container dal mezzo di trasporto al termine del viaggio. Il costo di trasporto stradale dai nodi di destinazione finale dotati di terminal ferroviario (esclusi i nodi interportuali) verso altri nodi di destinazione finale include, invece, il costo delle operazioni terminalistiche sia in partenza che in arrivo.

Il modello presenta inoltre vincoli di conservazione del flusso ai nodi di origine, intermedi e di destinazione finale, nonché vincoli di non-negatività delle variabili endogene e vincoli di capacità dei collegamenti ferroviari. Ulteriori vincoli sono anche inclusi nel modello al fine di: 1) fissare ad un valore pari a zero le variabili decisionali riguardanti i collegamenti stradali e ferroviari non ammessi sulla rete logistica indagata²⁸; 2) consentire il trasporto unidirezionale di container pieni su gomma a costo generalizzato nullo tra i nodi virtuali di ciascuna delle due coppie di nodi di riferimento per ciascun interporto regionale considerato dal modello (ovvero il trasporto su gomma tra $4 \in D$ e $3 \in Q$).

Il modello completo 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

anno dazi doganali sui flussi in arrivo dall'Italia per un ammontare pari in media al 6-8% del valore dei prodotti.

²⁶ In generale, il costo di mantenimento delle scorte in transito dipende dal valore della merce containerizzata (Euro/TEU), dal tempo impiegato per le operazioni logistiche e dal tasso di interesse utilizzato per indicare il costo opportunità del capitale immobilizzato nei beni containerizzati e il deprezzamento tecnico ed economico degli stessi beni. È stato ritenuto ragionevole l'utilizzo di un tasso del 35% su base annua, ottenendo quindi, sulla base del valore doganale medio dichiarato all'importazione in Campania nel 2007 (pari a 18.589 euro/TEU, secondo un calcolo effettuato su dati dell'Agenzia delle Dogane), un costo di mantenimento delle scorte in transito per container movimentati nei porti di Napoli e Salerno pari a 17,8 euro/TEU/giorno o 0,74 euro/TEU/ora. Naturalmente, tali valori hanno un significato puramente medio e prudenziale. Occorre infatti considerare l'eventuale possibilità di dichiarazioni in bolletta doganale non corrispondenti a quanto effettivamente trasportato e che riescono ad eludere i controlli. In tal caso, il valore medio unitario della merce containerizzata in import e il relativo costo di mantenimento delle scorte in transito potrebbero anche essere maggiori.

²⁷ In futuro, si potrebbe considerare la possibilità di inserire tra i parametri del modello anche il costo per il *leasing* dei contenitori, che è una componente del costo logistico totale legata al tempo.

²⁸ Come tutti i modelli di rete ad ampia scala, anche l'*interport model* presenta strutture dei dati di tipo "sparse". Le matrici hanno cioè solo pochi elementi diversi da zero. Più specificamente, nell'ambito dell'*interport model* esistono nodi tra cui non sono ammessi collegamenti stradali e/o ferroviari. Solitamente, si è soliti ovviare a tale problema assegnando un valore molto elevato agli attributi spaziali, temporali ed economici dei collegamenti non consentiti. In questo caso, la scelta di opportuni elevati valori degli attributi dovrebbe garantire che effettivamente nella soluzione ottima del modello non vi siano flussi su tali collegamenti. In fase risolutiva, il modello potrebbe però in questo modo divenire instabile. Per evitare tale inconveniente, i collegamenti non ammessi sono stati inseriti nell'*interport model* con attributi spaziali, temporali ed economici pari a zero; infine, mediante la formulazione di opportuni vincoli il modello esclude la possibilità di trasporto su collegamenti non consentiti.

programmazione ad alto livello (*GAMS*) che consente di descrivere e risolvere in modo semplice modelli reali anche molto complessi²⁹.

5.1 L'algoritmo utilizzato per il calcolo dei tempi regolamentari di sosta e fermata per il trasporto su gomma nell'ipotesi di viaggio con un solo autista

Nell'*interport model*, il tempo totale di viaggio su gomma tra nodi è pari al tempo di guida più i tempi di sosta e di fermata. Per quanto riguarda il calcolo di questi ultimi, si è essenzialmente considerata la disciplina normativa relativa agli obblighi di sosta e di fermata³⁰ nell'ipotesi di trasporto mediante un solo autista a bordo.

In tal caso, la struttura del viaggio può essere schematizzata come riportato in tabella 1. In particolare, si presenta la necessità di effettuare una sosta se il viaggio dura più di 10 ore, due soste se il viaggio dura più di 19 ore, tre soste se dura più di 28 ore e così via. In definitiva, nell'*interport model* il numero di soste e di fermate da eseguire nell'ambito di un trasporto stradale containerizzato e la loro durata complessiva in ore è stato calcolato in funzione del tempo di guida. La procedura di calcolo utilizzata è riportata in tabella 2 (Aponte ed altri, 2009; Iannone, 2006a; Papola e Marzano, 2004).

<u>1 autista che rispetta il Codice della Strada</u>
4 ore e mezza di guida
45 minuti fermata
4 ore e mezza di guida
<i>A questo punto sono trascorse 9 h e 45 minuti, quindi se il viaggio, cioè la somma dei tempi di arco, dura meno di 10 ore è possibile completarlo con un'altra fermata, viceversa la fermata non c'è perché è inglobata nella sosta necessaria.</i>
11 ore di sosta
...

Tab. 1 - Schema organizzativo della struttura del viaggio nel caso in cui sia presente a bordo un solo autista che rispetta le norme del Codice della Strada

Naturalmente, l'*interport model* potrebbe facilmente essere ampliato, tenendo anche conto di altre ipotesi di guida. In tal caso, altre modalità di trasporto stradale andranno considerate come elementi dell'insieme *M* riguardante le modalità di trasporto consentite nel modello; inoltre, ulteriori figure di prezzo di trasporto su gomma

²⁹ Non è risultato possibile riportare nel presente contributo i numerosi dati di input del modello numerico, così come il codice di programmazione *GAMS* sviluppato. Informazioni su tali aspetti del lavoro possono essere fornite su specifica richiesta da inoltrare all'autore.

³⁰ Il Nuovo Codice della Strada richiama il Regolamento CEE 20 dicembre 1985, n. 3820/85, relativo all'armonizzazione di alcune disposizioni in materia sociale nel settore dei trasporti su strada e che alla Sezione IV – Periodo di guida, art. 6, comma 1 stabilisce che: “Il periodo complessivo di guida tra due periodi di riposo giornaliero o tra un periodo di riposo giornaliero e un periodo di riposo settimanale, definito in appresso periodo di guida giornaliero, non deve superare 9 ore. Può essere esteso due volte in una settimana a 10 ore”. Inoltre, la sezione V - Interruzioni e periodi di riposo, art. 7, comma 1 stabilisce che: “Dopo un periodo di guida di quattro ore e mezza il conducente deve osservare un'interruzione di almeno 45 minuti, a meno che non inizi un periodo di riposo”; art. 8, comma 1 stabilisce che: “In un periodo di 24 ore il conducente deve avere un periodo di riposo giornaliero minimo di 11 ore consecutive che potrebbe essere ridotto ad un minimo di 9 ore consecutive non più di tre volte in una settimana, a condizione che in compenso sia concesso un periodo equivalente di riposo prima della fine della settimana successiva...”.

dovranno essere utilizzate come dati di input del modello e, in definitiva, il modello dovrà consentire il calcolo dei tempi e dei costi di trasporto su gomma secondo le differenti ipotesi di guida prese in considerazione.

<p>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:</p> $S_{ij} = \text{int}\left(\frac{Road_driving_time_{ij}}{9}\right) \quad (2)$ $R_{ij} = Road_driving_time_{ij} - 9S_{ij} \quad (3)$ <p>Risulta che:</p> $Numero_soste_{ij} = \begin{cases} S_{ij} & \text{se } R_{ij} > 1 \\ S_{ij} - 1 & \text{se } R_{ij} \leq 1 \text{ e } S_{ij} > 0 \end{cases} \quad (4)$ $N_{fermate} = \begin{cases} Nsoste + 2 & \text{se } R \leq 1 \text{ e } S > 0 \\ Nsoste + \text{int}(R/4,5) & \text{se } R > 1 \end{cases} \quad (5)$ <p>Dove N_{SOSTE} ed $N_{fermate}$ sono, rispettivamente, il numero di soste e di fermate da effettuare a norma del Codice della Strada.</p> <p>In definitiva si ottiene che:</p> $T_{SOSTA} = 11 N_{SOSTE} \quad (6)$ $T_{FERMATA} = (45/60) N_{FERMATE} \quad (7)$
--

Tab. 2 - Tempi e numero di soste e fermate regolamentari (1 autista che rispetta le norme del Codice della Strada)

6. I principali risultati ottenuti dalla soluzione numerica del modello

L'*interport model* individua i flussi multimodali containerizzati di minimo costo logistico totale dai nodi portuali campani (nodi di origine) ai nodi di destinazione terrestre finale. I traffici su gomma e/o su ferro tra i nodi della rete di riferimento rappresentano quindi le variabili da determinare, data la domanda effettiva tra nodi di offerta e nodi di destinazione finale indipendentemente dalla modalità di trasporto.

Gli interporti e le località dotate di terminal ferroviario possono svolgere la funzione di nodi intermedi di trasbordo terrestre delle unità di carico per varie combinazioni di traffico O/D. Inoltre, il modello tiene conto della possibilità di posticipare le operazioni doganali e di sosta dai porti agli interporti.

Di seguito è dedicata attenzione alla presentazione e al commento dei principali dati di output del modello riguardanti il traffico attraverso gli interporti (tab. 3). In particolare, dalla soluzione del modello risulta che la domanda di container pieni dal porto di Napoli all'interporto di Nola (59.892 TEU) è soddisfatta per il 75% sdoganando in porto le unità di carico e trasportandole successivamente su gomma all'interporto (*merchant haulage*), mentre il restante 25% è trasportato su ferro in regime di *carrier haulage* sotto vincolo doganale dal porto all'interporto. Per quanto riguarda la domanda di container pieni provenienti dal porto di Napoli espressa dagli operatori dell'interporto di

Marcianise (10.890 TEU), una quota pari al 28% è soddisfatta trasportando i container dal porto all'interporto su ferro in regime di *carrier haulage* sotto vincolo doganale, mentre il restante 72% è trasportato su gomma all'interporto dopo lo sdoganamento in ambito portuale.

	NOL	NCC	MAR	MCC	Altre destinazioni terrestri
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

Tab. 3 – Flussi distributivi di equilibrio di contenitori marittimi pieni e vuoti sbarcati nei porti campani (dati espressi in TEU)

I vincoli di capacità dei servizi ferroviari tra il porto di Napoli e gli interporti rappresentano una limitazione notevole per l'ottimizzazione dell'intero sistema. Secondo la soluzione del modello, infatti, tutta la capacità disponibile viene utilizzata sia tra il porto di Napoli e l'interporto di Nola, che tra il porto di Napoli e l'interporto di Marcianise (tab. 4), grazie alla possibilità di trasportare i contenitori allo stato estero su ferro in modalità *carrier haulage* e di ridurre così notevolmente il *dwell time* in porto, che risulta mediamente molto elevato³¹.

Si può inoltre osservare che anche i servizi ferroviari dal porto di Napoli verso le destinazioni calabresi (Rosarno e San Ferdinando, che sono le stazioni di riferimento per i traffici ferroviari del porto di Gioia Tauro) opererebbero al limite della capacità programmata (tab. 4). Per quanto riguarda invece i collegamenti ferroviari dagli interporti verso altre località sul territorio nazionale, si può osservare un basso utilizzo della capacità (tab. 4). Tali servizi sono in realtà utilizzati anche per traffici che non hanno origine nei porti campani e che non sono presi in considerazione dal modello.

In definitiva, il caso di Napoli mette chiaramente in evidenza i benefici derivanti da procedure doganali e intermodali moderne, attualmente adottate solo in pochi casi nell'ambito della pianificazione ed organizzazione del sistema logistico campano per la distribuzione terrestre containerizzata. Più specificamente, il caso analizzato prevede

³¹ A Napoli, il *dwell time* medio varia da 9,4 a 23,8 giorni nel caso di container pieni sdoganati in porto (medie tra valori per container in uscita su gomma e valori per container in uscita su ferro). Nel caso invece di container da sdoganare negli interporti, il *dwell time* portuale è pari a 1,7 giorni.

l'utilizzo di entrambi gli interporti regionali come retroporti nel vero senso del termine, e cioè secondo un regime di continuità doganale rispetto ai porti basato sul *carrier haulage* ferroviario³².

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

Tab. 4 - Dati di traffico ferroviario (osservato e da modello) e dati di utilizzo della capacità ferroviaria (da modello, inclusi i prezzi ombra dei vincoli di capacità nello scenario modellistico) per container pieni e vuoti

Addirittura, si potrebbe anche arrivare ad ipotizzare che, in particolari circostanze (caratterizzate, ad esempio, da elevata congestione portuale e da deficit di domanda e/o offerta di trasporto ferroviario), l'implementazione di un sistema di porto lungo basato su entrambi gli interporti campani renderebbe la scelta dell'interporto regionale da utilizzare indifferente con riferimento a carichi containerizzati in import destinati agli stessi interporti. In tal senso, potrebbero risultare convenienti anche le soluzioni distributive basate sul *carrier haulage* ferroviario sotto vincolo doganale verso un interporto, nonché sul successivo sdoganamento delle unità di carico nello stesso interporto e sul trasferimento finale su gomma verso l'altro interporto. Si rileva cioè un potenziale in termini di integrazione operativa nell'utilizzo delle due diverse infrastrutture retroportuali campane da parte degli operatori.

Per quanto riguarda invece i container sbarcati a Salerno, la situazione si presenta diversa, in quanto, dai dati di input del modello empirico (dati osservati al 2007) risulta che il porto è caratterizzato da *performance* simili a quelle degli interporti e quindi più competitive di quelle del porto di Napoli per quanto riguarda le operazioni di rilascio dei container. In particolare, nel porto di Salerno non si hanno gli stessi fenomeni di congestione doganale che caratterizzano lo scalo partenopeo. Salerno è infatti un tipico porto di esportazione e l'incidenza dei traffici d'importazione dall'Estremo Oriente è inferiore rispetto a quella che si registra nel porto di Napoli.

³² Nell'applicazione numerica effettuata, la funzione obiettivo non include i costi esterni delle operazioni di trasporto, ma è chiaro che il trasporto ferroviario, in questo caso esclusivamente favorito dalle facilitazioni doganali ipotizzate e non dalla internalizzazione delle esternalità negative nel processo di scelta modale, contribuisce ad aumentare il benessere sociale.

Comunque, secondo la soluzione del modello, la capacità dei collegamenti ferroviari dal porto di Salerno (verso Nola e Bari) può essere sfruttata integralmente (tab. 4). Il collegamento con l'interporto di Nola, in particolare, risulta utilizzato in gran parte per trasportare in regime di *merchant haulage* container già sdoganati in porto (1.493 TEU) (tab. 2). Questi costituiscono circa il 60% della capacità ferroviaria sfruttata, mentre una quota di capacità pari al 38% è invece destinata al trasporto dei vuoti (951 TEU)³³. Gli unici container pieni trasportati in regime di *carrier haulage* sotto vincolo doganale dal porto di Salerno all'interporto di Nola sono i container destinati al mercato di Milano, per un totale pari al 2% della capacità ferroviaria tra Salerno e Nola (56 TEU), e che verrebbero trasbordati nuovamente su ferro una volta sdoganati nell'interporto (tab. 2).

Le facilitazioni ipotizzate con riferimento alla continuità doganale tra porti ed interporti campani si rivelerebbero quindi un utile strumento per ampliare l'*hinterland* dei porti regionali e garantire, mediante il supporto di una ferrovia efficiente, la competitività del sistema logistico campano anche per carichi containerizzati destinati al Nord Italia e più in generale al Centro e Nord Europa³⁴.

La tabella 4 riporta, rispettivamente nella quinta e nella sesta colonna, i dati osservati e da modello riguardanti i traffici ferroviari containerizzati in uscita dai porti e dagli interporti campani. I dati osservati riguardanti i traffici verso Nola e Marcianise includono anche i flussi di transito dai porti campani verso altre destinazioni terrestri. Inoltre, i dati osservati riguardanti i traffici da Nola e Marcianise includono anche unità di carico non provenienti dai porti di Napoli e Salerno. I dati da modello riguardano invece esclusivamente i traffici di container che sono stati sbarcati nei porti campani,

³³ La futura realizzazione di lavori di dragaggio potrebbe attirare sul porto di Salerno servizi diretti effettuati con navi di grande capacità e determinare un maggiore utilizzo di eventuali collegamenti ferroviari da/verso il porto, anche per contenitori allo stato estero.

³⁴ L'interporto di Marcianise è potenzialmente servito da uno dei maggiori scali pubblici di smistamento ferroviario a livello europeo. Attualmente, i servizi di trazione ferroviaria da/verso tale scalo sono esclusivamente offerti dall'*incumbent* Trenitalia, che è la compagnia ferroviaria che appartiene al Gruppo FS di proprietà statale. Invece, il servizio ferroviario da Nola a Milano Segrate è stato inaugurato nel 2006 da Rail Traction Company (RTC) in partnership con Interporto Campano. RTC è tra le maggiori compagnie ferroviarie private sorte in Italia a seguito dell'avviamento del processo di liberalizzazione, mentre Interporto Campano è la società per azioni autorizzata dalla Regione Campania per la pianificazione, costruzione e gestione dell'interporto di Nola.

Il servizio bidirezionale tra Nola e Milano è programmato congiuntamente con i servizi che collegano Milano con la Germania e il Nord Europa. Secondo dati forniti da RTC nel 2008, il 10% dei carichi provenienti da Nola a Milano su ferro proseguono sempre via ferro verso il Nord Europa. Di questa percentuale, l'80% va verso Monaco, il 10% ad Amburgo ed il restante 10% si suddivide fra Ludwigshafen, Lipsia, Duisburg e Rotterdam. A settembre 2007 RTC ha anche avviato un servizio di collegamento tra Gioia Tauro e Nola, in precedenza offerto da Trenitalia. Attualmente, il 70% dei contenitori marittimi trasportati da RTC su ferro da Gioia Tauro a Nola viaggiano per conto delle compagnie di navigazione (Maersk, Hapag Lloyd, Hamburg Sud). Inoltre, il 10% dei contenitori provenienti a Nola da Gioia Tauro su ferro proseguono sempre via ferro per Milano Segrate. Da qui un 3% prosegue per Monaco.

In passato, l'interporto di Nola è stato collegato via ferro per il traffico container anche con Bari, Rubiera, Foligno, Salerno, Bari e Taranto. Ad esempio, il servizio tra Nola e il porto di Salerno, come già evidenziato in precedenza, è stato interrotto a fine 2005 a seguito di un incidente, mentre il collegamento con Taranto è stato sospeso nella seconda metà del 2008 a seguito dell'attivazione di un collegamento marittimo di tipo "*feeder*" tra il porto di Taranto e il porto di Napoli. L'*interport model* simula però la possibilità di collegamenti ferroviari tra Nola e tutte le località sopra indicate. Nel segmento container, infatti, la situazione è molto dinamica e potrebbero sicuramente emergere in futuro per il terminal intermodale dell'interporto di Nola e per le imprese ferroviarie opportunità legate alla riattivazione di servizi già offerti in passato, oltre che all'attivazione di nuovi collegamenti.

incluso i transiti di unità di carico destinate dai porti stessi ad altre destinazioni terrestri diverse dagli interporti regionali.

La tabella 4 riporta infine anche i dati riguardanti, rispettivamente, i vincoli della capacità dei collegamenti ferroviari containerizzati in uscita dal sistema logistico campano e i prezzi ombra di tali vincoli derivanti dalla soluzione del modello. Questi ultimi consentono di valutare la variazione del valore ottimo della funzione obiettivo a seguito di un potenziamento infrastrutturale e/o in termini di servizi. I valori ottenuti confermano l'importanza della retroportualità regionale per il traffico containerizzato d'importazione e in particolare delle risorse doganali e ferroviarie. In base alla soluzione empirica del modello, un potenziamento dei collegamenti Napoli-Nola, Napoli-Marcianise, Napoli-Rosarno, Napoli-San Ferdinando, Salerno-Nola e Salerno-Bari determinerebbe dei benefici di sistema. Ad esempio, la riduzione di costo logistico totale conseguente al rilassamento di un'unità del vincolo di capacità ferroviaria tra Napoli e ciascuno degli interporti è pari a 375,9 euro.

L'*interport model* applicato alla realtà campana conferma quindi la situazione critica reale attuale dell'interporto di Marcianise per quanto riguarda il traffico di container marittimi. Si rileva infatti un deficit di domanda e la conseguente sottoutilizzazione della capacità intermodale di tale interporto. Un potenziamento della funzione di retroporto (peraltro simulata dal modello) e dei collegamenti ferroviari è quindi auspicabile. In una situazione diversa si trova l'interporto di Nola, la cui capacità è maggiormente utilizzata³⁵.

Il modello non tiene conto dei vincoli di capacità in termini di numero massimo di verifiche doganali (VM e CS) fattibili nei porti e negli interporti nell'orizzonte temporale considerato. Comunque, per quanto riguarda i traffici in import, almeno in via preliminare tali vincoli sono stati stimati pari a:

- circa 15.000 TEU/anno per il porto di Napoli;
- circa 10.300 TEU/anno per il porto di Salerno;
- circa 9.000 TEU/anno/interporto regionale.

Provando a considerare tali vincoli, il modello diviene naturalmente "*infeasible*", confermando quindi l'enorme deficit di capacità doganale del sistema logistico

³⁵ Comunque, una valutazione più completa in merito all'utilizzo della capacità terminalistica degli interporti, e di Nola in particolare, potrà quantomeno derivare dall'analisi congiunta dei traffici containerizzati terrestri di import-export riguardanti il sistema logistico campano ("*import-export simultaneous interport model*") e da un'ulteriore estensione del modello che possa includere anche i traffici containerizzati terrestri di import-export dei porti di Gioia Tauro e Taranto, nei confronti dei quali Nola può sempre più svolgere la funzione di retroporto.

Con riferimento all'analisi complessiva dei flussi riguardanti gli interporti, si può ad esempio già in questa sede far notare che i dati osservati al 2007 per l'interporto di Nola indicano un livello di traffici in entrata e in uscita su gomma e su ferro pari a 99.296 TEU tra pieni e vuoti, di cui ben l'80% riguarda gli scambi con il solo porto di Napoli. Per quanto riguarda esclusivamente i traffici containerizzati dell'interporto in entrata e in uscita su ferro, nel 2007 questi sono stati pari a 16.766 TEU tra pieni e vuoti. In realtà, anche a Nola vi è quindi una sottoutilizzazione della capacità di *handling* intermodale. In particolare, con riferimento alla logistica containerizzata, il tasso di utilizzazione della capacità terminalistica intermodale complessiva dell'interporto osservato al 2007 è stato pari a circa l'11%. Infine, per quanto riguarda l'opportunità di includere nel modello anche i traffici containerizzati d'import-export di altri porti del Mezzogiorno continentale, occorre prendere in considerazione, ad esempio, le caratteristiche dei flussi sulla rotta bi-direzionale Gioia Tauro-Nola e la possibilità di *transshipment* ferro-ferro a Nola per carichi destinati al Nord Italia e al Centro e Nord Europa.

campano, soprattutto con riferimento alla situazione operativa che caratterizza il porto di Napoli e l'interporto di Marcianise³⁶.

6.1 Analisi di sensitività

Nelle figure 4 e 5 si riportano invece i risultati di alcuni test di sensitività. In particolare, si è valutata la variazione del valore ottimo della funzione obiettivo del modello, nonché la variazione del costo totale generalizzato medio unitario per le operazioni di rilascio nel porto di Napoli, al variare del *dwell time* medio unitario per i container pieni sdoganati in porto. Le variazioni di *dwell time* considerate rispetto al caso "BASE" sono:

- riduzione del 50%;
- riduzione del 25%;
- aumento del 25%;
- aumento del 50%.

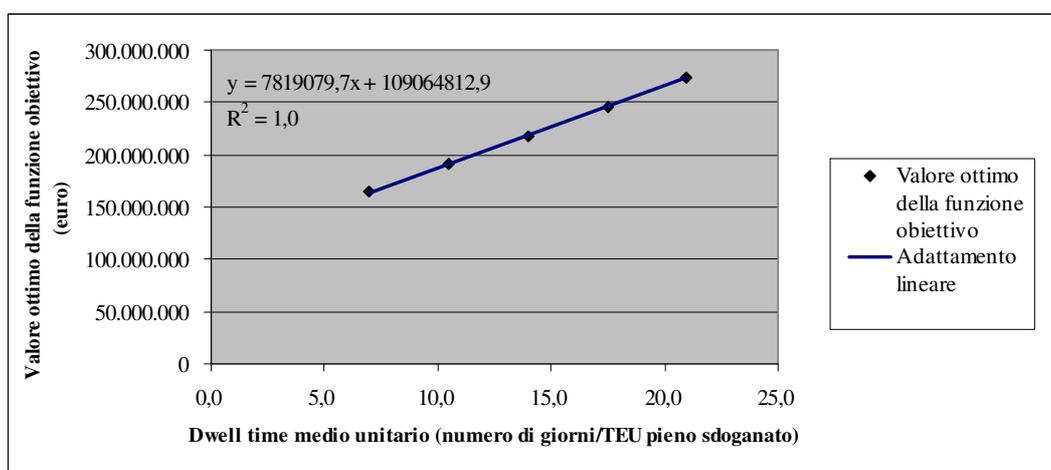


Fig. 4 - Valore ottimo dell'obiettivo in funzione del dwell time medio unitario dei container pieni sdoganati nel porto di Napoli

Si osserva, in particolare, una variazione meno che proporzionale del valore ottimo dell'obiettivo e una variazione quasi proporzionale del costo totale generalizzato medio unitario portuale.

Nella tabella 5 si riportano, infine, i risultati di alcuni test di sensitività effettuati per valutare la variazione di alcuni risultati del modello al variare della capacità ferroviaria tra il porto di Napoli e gli interporti di Nola e Marcianise. Le variazioni della capacità considerate rispetto al caso "BASE" sono:

- aumento del 100% (caso "ONE");
- aumento del 200% (caso "TWO").

È indicativo il fatto che le facilitazioni considerate per Nola e Marcianise in termini di continuità doganale rispetto ai porti regionali tendono a determinare una situazione di pieno utilizzo della capacità ferroviaria tra porti ed interporti, anche secondo ipotesi di forte potenziamento dei servizi.

³⁶ A livello modellistico, il problema doganale potrebbe inoltre essere affrontato anche con altri strumenti, come ad esempio la teoria delle code, la programmazione dinamica e la programmazione stocastica.

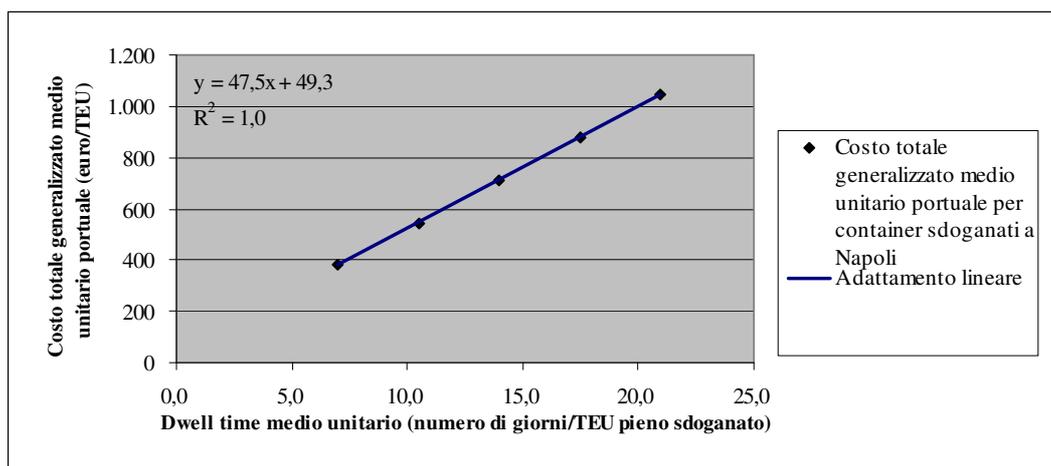


Fig. 5 - Costo totale generalizzato medio unitario portuale in funzione del dwell time medio unitario dei container pieni sdoganati a Napoli

	BASE case	ONE	TWO
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%

Tab. 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

6. Conclusioni

L'*interport model* è un modello spaziale di Logistica economica, intermodale e multiprodotto, che tiene conto di specifiche caratteristiche funzionali degli interporti come fattori che influenzano le scelte nodali e modali nell'ambito di attività di distribuzione terrestre containerizzata attraverso un sistema logistico regionale mare-terra. Esso può rivelarsi un utile strumento di supporto alle decisioni in ambito logistico industriale e territoriale, e in modo particolare per la pianificazione strategica.

Lo strumento potrebbe essere utilizzato dalle compagnie di navigazione come supporto per la valutazione di criticità ed opportunità legate alla rete intermodale utilizzata per servire il bacino commerciale terrestre dei porti campani. Un *merchant* potrebbe invece utilizzare il modello per individuare nuove soluzioni logistiche per i propri traffici o per migliorare le soluzioni già adoperate. Un interporto e/o un'impresa ferroviaria potrebbero valutare le conseguenze di sistema derivanti da proprie decisioni e/o da quelle dei propri *competitor*. Un ente pubblico potrebbe valutare gli impatti sulle infrastrutture e sul territorio di cambiamenti riguardanti i traffici oppure l'impatto sui traffici derivanti da decisioni d'investimento in infrastrutture, da politiche di regolamentazione/liberalizzazione e/o di incentivazione di servizi. E così via.

I risultati numerici dell'applicazione del modello evidenziano il potenziale latente ed inespresso del sistema logistico campano con riferimento ai traffici terrestri

containerizzati, confermando, in particolare, l'importanza della retroportualità. Tra l'altro, non potendo contare in tempi brevi sulla realizzazione e messa in esercizio di nuove infrastrutture e poli logistici (come ad esempio i *distripark*), la competitività futura del sistema portuale e produttivo regionale verrà sempre più a dipendere dall'offerta di servizi interportuali e dalle azioni intraprese per ridurre la congestione nelle aree portuali e aumentare l'accessibilità verso l'entroterra.

Attualmente, le principali criticità del sistema logistico campano con riferimento alla distribuzione terrestre containerizzata sono le seguenti:

- 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 livello di utilizzazione 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 (UE, 2009).

L'applicazione empirica dell'*interport model* dimostra che è possibile rendere più competitivi i trasporti ferroviari sulle brevi distanze (nel nostro caso Napoli porto-Nola interporto e Napoli porto-Marcianise interporto), incentivandoli, più che con sostegni economici, già solo con un'adeguata regolamentazione ed efficaci sistemi organizzativi, ovvero mediante l'assegnazione dello status doganale effettivo a Marcianise e l'estensione della possibilità di *carrier haulage* sotto vincolo doganale anche alla tratta Napoli-Marcianise.

Grazie alla riduzione del *dwell time* medio unitario portuale, e quindi dei costi generalizzati della *supply chain*, la capacità ferroviaria tra il porto di Napoli e gli interporti può essere pienamente utilizzata anche secondo ipotesi di forte potenziamento dei servizi rispetto alla situazione attuale. Inoltre, l'autorizzazione ad operare un'area doganale vincolata a disposizione del terminal intermodale dell'interporto di Marcianise contribuirebbe ad un significativo ri-equilibrio in termini di concorrenza fra gli interporti regionali. Si può addirittura ipotizzare che, in specifiche circostanze operative, gli interporti di Nola e Marcianise potrebbero iniziare ad essere considerati come indifferenti tra loro nelle scelte degli operatori. Questo stabilirebbe quindi una comune giustificazione dei due interporti. Risultati interessanti riguardano anche le simulazioni effettuate su Salerno.

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;
- è possibile 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.

Il modello presenta anche alcuni limiti, che si ritiene possano però costituire un potenziale per lo sviluppo di future nuove estensioni ed applicazioni. La formulazione dell'*interport model* potrebbe ad esempio prendere in considerazione anche la possibilità di internalizzazione delle esternalità di trasporto nella funzione obiettivo. In tal caso, il modello sarà quindi in grado di supportare valutazioni sul differenziale tra i costi esterni della gomma e i costi esterni del ferro, solitamente effettuate nell'ambito di iniziative collegate a politiche di riequilibrio modale.

È possibile inoltre includere nella funzione obiettivo del modello anche i costi delle scorte di sicurezza, i costi di *leasing* delle unità di carico e le economie derivanti dall'apertura dei container negli interporti e dalla manipolazione dei carichi prima della distribuzione finale. In quest'ultimo caso, sarà possibile ad esempio simulare l'incremento di valore della merce in import conseguente ad operazioni logistiche avanzate di "*quasi-manufacturing*" (assemblaggio, etichettatura, controllo qualità, confezionamento, ecc.) da effettuarsi nei nodi retroportuali di primo livello prima dell'inoltro ai mercati di destinazione. La funzione obiettivo dovrà quindi tener conto non solo dei costi interni ed esterni legati al funzionamento dell'economia logistica oggetto di studio, ma anche del valore aggiunto ottenibile dalle operazioni di *quasi-manufacturing*.

Il modello potrebbe naturalmente essere esteso anche a sistemi logistici territoriali più vasti e per di più considerando simultaneamente importazioni ed esportazioni ("*inward-outward simultaneous interport model*"). Infine, potrebbe essere adattato ed utilizzato anche per individuare le soluzioni localizzative distributive più adeguate rispetto ad uno o più porti e specifici bacini terrestri di mercato di riferimento.

Ringraziamenti

Pur restando l'autore unicamente responsabile di eventuali errori od omissioni, si ringraziano il prof. Sten Thore dell'Università di Austin (Texas, USA) per la collaborazione alla formulazione matematica del modello, e il dott. Alfonso Morvillo dell'IRAT-CNR di Napoli per le utili osservazioni su versioni precedenti di questo paper.

Riferimenti bibliografici

Aponte D., Iannone F., Papola A. (2009), "A Schedule-based Methodology Proposal for Sea Motorways Feasibility Evaluation", in Wilson N. H. M., Nuzzolo A. (eds.), *Schedule-Based Modeling of Transportation Networks. Theory and Applications*, Operations Research/Computer Science Interfaces Series, Vol. 46, Springer, pp. 251-266.

- Aversa, R., Botter R. C., Haralambides, H. E., Yoshizaki, H. T. Y. (2005), “A Mixed Integer Programming Model on the Location of a Hub Port in the East Coast of South America”, in *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-18.
- Chang T.-S. (2008), “Best Route Selection in International Intermodal Networks”, in *Computers & Operations Research*, Vol. 35, No. 9, pp. 2877-2891.
- Choong S. T., Cole M. H., Kutanoglu E. (2002), “Empty Container Management for Intermodal Transportation Networks”, in *Transportation Research Part E*, Vol. 38, No. 6, pp. 423-438.
- Crainic T. G. (2003), “Long Haul Freight Transportation”, in Hall R. W. (ed.), *Handbook of Transportation Science*, 2nd Edition, Kluwer, pp. 451-516.
- Crainic T. G., Kim K. H. (2007), “Intermodal Transportation”, in Barnhart C., Laporte G. (eds.), *Transportation*, Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 14, North-Holland, Amsterdam, pp. 467-537.
- Cullinane K., Ping J., Wang T.-F. (2002), “A Multi-Objective Programming Approach to the Optimization of China’s International Container Transport Network”, in *International Journal of Transport Economics*, Vol. 29, No. 2, pp. 181-199.
- Danielis R. (2006), “Il trasporto intermodale ferroviario: quale ruolo per l’analisi economica?”, in Polidori G., Musso E., Marcucci E. (a cura di), *I trasporti e l’Europa. Politiche, infrastrutture e concorrenza*, FrancoAngeli, Milano, pp. 159-171.
- Forte E., Iannone F., Siviero L. (2006), “Economic Logistics for Competitiveness and Development”, *Proceedings of the 3rd Scientific-Technical Conference "Science for Education, Industry and Economics"*, Faculty of Marketing, Management and Entrepreneurship, Belarusian National Technical University (BNTU), Minsk, Belarus, ISBN: 985-479-396-6, pp. 219-224.
- Hayut Y. (1980), “Inland Container Terminal - Function and Rationale”, *Maritime Policy & Management*, Vol. 7, No. 4, pp. 283-289.
- Iannone F. (2006a), “Analisi della domanda e valutazioni economiche per la pianificazione di un servizio di “Autostrada del mare” nel Mediterraneo occidentale”, in Polidori G., Musso E., Marcucci E. (a cura di), *I trasporti e l’Europa. Politiche, infrastrutture e concorrenza*, FrancoAngeli, Milano, pp. 301-335.
- Iannone F. (2006b), “Some Preliminary Research Notes Propaedeutic to the Study of the Regional Logistic System through Economic Logistics Equilibrium Models”, mimeo.
- Iannone F. (2006c), “Technical and organizational features of the Campania Logistic System and Relationships among Ports and Interports”, mimeo.
- Iannone (2008a), “Il ruolo delle dogane nell’ambito dei traffici marittimi containerizzati”, mimeo, disponibile sul sito <http://www.logisticaeconomica.unina.it>.
- Iannone F., Thore S. A., Forte E. (2009), “Inland Container Logistics and Interports. Goals and Features of an Ongoing Applied Research”, in Borruso G., Forte E., Musso E. (a cura di), *Economia dei trasporti e Logistica economica: ricerca per l’innovazione e politiche di governance*, Giordano Editore, Napoli, pp. 385-414.
- Kim H.-J., Chang Y.-T., Lee P. T.-W., Kim M.-J. (2008a), “Optimizing the Transportation of International Container Cargoes in Korea”, in *Maritime Policy & Management*, Vol. 35, No.1, pp. 103-122.
- Kim H.-J., Chang Y.-T., Lee P. T.-W. (2008b), “An Optimization Model for Short Sea Shipping and Multimodal Inland Transportation in Korea”, *2008 IAME Conference Proceedings*, 2-4 April, Dalian, China.

- Lee L. H., Chew E. P., Lee L. S. (2006), “Multicommodity Network Flow Model for Asia's Container Ports”, in *Maritime Policy & Management*, Vol. 33, No. 4, pp. 387-402.
- Luo M. (2002), *Container Transportation Service Demand Simulation Model for U.S. Coastal Container Port*, Ph.D. Thesis in Environmental and Natural Resource Economics, University of Rhode Island, USA.
- Luo M., Grigalunas T. (2003), “A Spatial-Economic Multimodal Transportation Simulation Model for US Coastal Container Ports”, in *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 5, No. 2, pp. 158-178.
- Macharis C., Bontekoning Y. M. (2004), “Opportunities for OR in Intermodal Freight Transport Research: A Review”, in *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 2, pp. 400-416.
- Merckx F. (2006), “The Impact of Dwell Times on Container Terminal Capacity”, in Notteboom T. (ed.), *Ports are More than Piers*, De Lloyd, Antwerp, pp. 399-422.
- Notteboom T., Rodrigue J.-P. (2005), “Port Regionalization: Towards a New Phase in Port Development”, *Maritime Policy & Management*, Vol. 32, No. 3, pp. 297-313.
- Notteboom T., Rodrigue J.-P. (2009), “Inland Terminals, Regions and Supply Chains”, in UNESCAP (eds.), *Dry Port Development in Asia and other Regions: Theory and Practice*, forthcoming.
- Papola A., Marzano V. (2004), “Studio sugli effetti derivanti dall'introduzione della patente a punti”, mimeo, Assessorato ai Trasporti della Regione Campania.
- Racunica I., Wynter L. (2005), “Optimal Location of Intermodal Freight Hubs”, *Transportation Research Part B*, Vol. 39, No. 5, pp. 453-477.
- Rahimi M., Asef-Vaziri A., Harrison R. (2008), “An Inland Port Location-Allocation Model for a Regional Intermodal Goods Movement System”, *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 10, No. 4, pp. 362-379.
- Rodrigue J.-P., Notteboom T. (2009), “The Terminalization of Supply Chains: Reassessing the Role of Terminals in Port / Hinterland Logistical Relationships”, in *Maritime Policy & Management*, Vol. 36, No. 2, pp. 165-183.
- Thompson G. L., Thore S. A. (1992), *Computational Economics: Economic Modeling with Optimization Software*, The Scientific Press, San Francisco.
- Thore S. A. (1991), *Economic Logistics: The Optimization of Spatial and Sectoral Resource, Production and Distribution Systems*, Quorum Books, Westport, Connecticut.
- Thore S. A. (1995), *The Diversity, Complexity, and Evolution of High Tech Capitalism*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Thore S. A. (2009), “Some Thoughts on the Past and the Future of Economic Logistics”, in Borruso G., Forte E., Musso E. (a cura di), *Economia dei trasporti e Logistica economica: ricerca per l'innovazione e politiche di governance*, Giordano Editore, Napoli, pp. 24-26.
- Thore S. A., Iannone F. (2005), “The Hub-and-Spoke Model. A Tutorial”, mimeo, disponibile sul sito <http://www.stenthore.info>.
- Thore S. A., Iannone F. (2009), “An Economic Logistics Model for the Inland Multimodal Distribution of Maritime Containers through Campania Ports and Interports”, mimeo.
- Tioga Group (2006), *Inland Port Feasibility Study – Task 1&2 Draft Report*, Study done for Southern California Association of Governments, August.
- UE (2009), “La Commissione dà il via libera a un aiuto di Stato dell'Italia per un nuovo servizio di trasporto combinato di merci”, IP/09/935, 17 giugno, disponibile

all'indirizzo:

[http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/935&format=HTML
&aged=0&language=IT&guiLanguage=en](http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/935&format=HTML&aged=0&language=IT&guiLanguage=en)

UNCTAD (1991), *Handbook on the Management and Operation of Dry Ports*, United Nations, Geneva.

Visser J., Konings R., Pielage B.-J., Wiegmans B. (2007), "A New Hinterland Transport Concept for the Port of Rotterdam: Organizational and/or Technological challenges?", paper presented at the *48th Annual Forum*, Transportation Research Forum, Boston, USA, March 15-17.