

VIII Riunione Scientifica
I trasporti ed il mercato globale
Società Italiana degli Economisti dei Trasporti

Trieste, 29-30 giugno - 1 luglio 2006
Facoltà di Economia, Università degli Studi di Trieste

Logistica Economica, intermodalità e modelli di rete¹

Ennio Forte e Lucio Siviero

Abstract

L'articolo intende fornire un contributo all'approccio di Logistica Economica all'intermodalità strada-ferro. Il modello di rete *hub and spoke* sta affermandosi anche nei sistemi terrestri (dopo le navigazioni) in particolare nel trasporto combinato ed intermodale strada-ferro, ciò implica una riflessione strategica sul ruolo delle infrastrutture per l'intermodalità e la localizzazione delle attività logistiche le quali perseguono obiettivi sostanzialmente diversi e che in molti casi non convergono con quelli della razionalizzazione e del più sostenibile equilibrio dei flussi nelle reti multimodali. Il ruolo del trasporto intermodale all'interno delle catene logistiche non è ancora ben definito ed il mercato non sembra considerarlo molto favorevolmente all'interno delle organizzazioni logistiche delle imprese, in specie per quanto concerne la trazione primaria tra magazzini e la distribuzione della merci. L'offerta di servizi ferroviari *shuttle* tra il nord ed il sud del paese può rappresentare un campo di grande interesse al fine di compiere valutazioni economiche comparative di utilizzo del combinato ferroviario rispetto al tutto-strada ed inoltre compiere confronti economico-operativi, anche in visione prospettica, tra modelli di infrastrutture

¹ L'articolo pur se nel suo insieme frutto di studio e riflessione comune da parte degli autori, può suddividersi nei paragrafi 1 da attribuirsi a Ennio Forte e 2,3,4,5 e 6 da attribuirsi a Lucio Siviero.

terminali del tipo centri/scali intermodali ed interporti. I primi, maggiormente incentrati sull'efficienza tecnico-economica ferroviaria, i secondi, maggiormente sulla contiguità di strutture logistiche e della distribuzione. Infine, è proposto un modello di ricerca economico-operativa orientato alla misurazione del potenziale di economie di densità e di scopo relative alla configurazione di reti intermodali strada-rotaia con terminali *hub* e servizi *feeder* su gomma (terminalizzazione stradale in origine e destinazione).

1. Approccio di Logistica Economica all'intermodalità

Un innovativo approccio di tipo sistemico, a cui fanno riferimento alcuni concetti economici fondamentali di Logistica Economica, riscontrabile in recente letteratura economica dei trasporti (Van Klink, Van den Berg G.C. 1998, Bontenkoning 2002, Groothedde, Ruijgrok, Tavasszy 2005, Hesse, Rodrigue 2004, Rodrigue, Slack, Comtois, 2001), considera la reti di trasporto non soltanto suddivise per modi (marittimo, aereo, ferroviario, stradale), ma piuttosto individua in ciascuna modalità un segmento, più o meno sostituibile, di una rete globale di produzione di beni e servizi fortemente integrata e strutturata sul modello di catene delle forniture (*supply-chain*). La catena intermodale composta da una sequenza di anelli può essere economicamente efficiente se esistono economie di scala derivanti dall'utilizzo ottimale di ogni modalità (per dimensioni e distanza) ed operatori in grado di organizzare efficacemente il servizio *door-to-door* integrando le diverse modalità. La valutazione della scala efficiente minima (*minimum efficient scale*), ovvero sia del più basso livello di produzione in cui la curva del costo medio totale (di lungo periodo) raggiunge il punto di minimo, è quindi necessariamente da compiersi considerando variabili trasportistiche e logistiche legate ad un processo produttivo composto da più segmenti interdipendenti ciascuno caratterizzato da una specifica funzione di produzione. I principali vantaggi offerti dal trasporto intermodale riguardano, soprattutto, le economie di scala conseguibili attraverso la concentrazione dei flussi di merce (o meglio di unità di trasporto intermodale) presso le strutture dedicate allo scambio modale. La logica dell' *hub and spoke* può rappresentare pertanto una alternativa

alla tradizionale configurazione di rete *point to point* che, in molti casi, meglio si adatta alle caratteristiche tecniche ed economiche del trasporto intermodale.

Negli ultimi anni si è compreso come sistemi anche molto diversi tra loro possono efficacemente essere descritti in termini di *network* o reti complesse. Gli esempi vanno da reti di tipo tecnologico come Internet, a reti di tipo sociale come la collaborazione in campo scientifico e non da ultimo il caso delle reti di trasporto. In generale, il concetto di rete è assimilabile ad una schematizzazione approssimativa di un sistema costituito da molti elementi, i nodi (che possono rappresentare a seconda dei casi: persone, computer, infrastrutture di trasporto, ecc.) legati tra loro e interagenti mediante connessioni (*link*). Al riguardo, l'affermazione di una teoria economica dell'intermodalità risulta essere auspicabile (Danielis, 2006). I due principali filoni di ricerca si sviluppano nell'ambito della teoria economica delle reti (*network*) e della teoria economica dei costi di transazione e delle catene dell'offerta (*supply chain*). Elemento fondamentale comune è il meccanismo di coordinamento tra gli attori; in un *network* e quindi in un processo concatenato, le imprese dipendono l'una dalle altre in quanto dove termina l'attività dell'una inizia l'attività dell'altra con conseguenti ripercussioni in termini economici sull'intero processo produttivo finalizzato alla ricerca della maggiore efficienza spaziale, verticale e temporale.

2. Funzioni e dimensioni della Logistica Economica applicate all'integrazione tra reti

La complessità del settore del trasporto merci e della logistica, la molteplicità e la diversità degli operatori e delle attività coinvolte, la differente combinazione di molteplici fattori all'interno della funzione produttiva, rendono difficile l'individuazione di azioni ed interventi tali da "mettere a valore" i caratteri distintivi geo-economici di un territorio. L'obiettivo generale di potenziare le infrastrutture di trasporto e logistiche, ponendole a sistema ed amplificando al massimo l'effetto rete che nell'insieme possono esprimere, rappresenta uno degli strumenti attraverso il quale incrementare il posizionamento competitivo del sistema economico

locale, ottimizzando gli effetti territoriali previsti con la realizzazione dei corridoi plurimodali dell'Unione Europea allargata, grazie al contributo che potranno dare al raggiungimento degli obiettivi di crescita e di occupazione prefissati nei più recenti documenti di politica regionale della Commissione europea (CE, 2006). Ma l'intento dovrebbe essere quello di superare la pianificazione condotta soltanto sull'individuazione dei siti dove sviluppare e potenziare infrastrutture di interscambio merci, e di considerare tutti gli elementi che stanno concorrendo a strutturare il mercato ed il sistema degli insediamenti logistici in Italia, negli Stati dell'Unione Europea e nel resto del mondo, considerando anche le logiche insediative, le modalità operative delle imprese ed le opportunità offerte dalle innovazioni di rete sia dal lato infrastrutturale sia dal lato dei servizi logistici integrati. Il fine è di perseguire la coerenza del sistema non solo per gli aspetti più strettamente trasportistici, ma anche rispetto alle logiche di funzionamento dei cicli logistici (produttivi e distributivi) nel loro insieme, orientandoli, se possibile, ad una maggiore integrazione e compatibilità con il territorio e con l'ambiente.

Si tratta di un approccio economico ad un sistema/mercato unitario, da inquadrare nella sua interezza ed al tempo stesso complesso perché risultante da diverse componenti (tratte terrestri nelle diverse modalità ferroviaria e stradale, tratte marittime, operazioni ai terminali, lavorazioni logistiche delle merci, ecc.). Tutte le componenti di questo servizio, tra loro coordinate e/o integrate dovrebbero poter generare un valore aggiunto complessivo superiore alla somma di quello producibile da ogni componente singolarmente considerata. Lo strumento/obiettivo di Logistica Economica della "trasversalità", intesa come strategia di sviluppo economico dei trasporti in chiave geografica, modale e settoriale, si pone come scopo di fondo l'analisi economica di itinerari/sistemi logistici alternativi al trasporto unimodale che possano concorrere all'equilibrio dei flussi nello spazio e nelle reti plurimodali (Forte, 2005). La trasversalità riguarda pertanto lo studio della fattibilità finanziaria, economico-sociale ed organizzativo-imprenditoriale di itinerari alternativi ed integrati che in genere sostituiscono al tuttostrada una sequenza intermodale di trasporto. In particolare, tali soluzioni innovative sono rese possibili dalla presenza di

corrispondenti infrastrutture dedicate (terminali ro-ro, terminal container, interporti, ecc.) e relative scelte di investimento pubbliche e private.

La struttura spaziale delle moderne reti logistiche (servizi di trasporto ed altri servizi logistici) è in molti casi espressione della struttura spaziale della produzione/distribuzione. La costruzione delle reti è sempre più orientata verso grandi *distribution center* che servono significativi territori aggregati, spesso transnazionali. Ciò non riduce comunque l'importanza di centri di distribuzione delle merci a livello nazionale e regionale, in particolare per i cicli logistico-distributivi di merci che richiedono strutture "ad albero" con centri di distribuzione regionali, nazionali ed internazionali. In Europa, moltissimi sono i casi di concentrazione spaziale di medio-grandi imprese di logistica che prevalentemente svolgono attività di distribuzione per vaste aree geografiche. Si tratta dei cosiddetti *European Distribution Center* (EDC) sviluppatasi dapprima in Olanda e via via andatisi diffondendosi in tutta Europa e, negli anni più recenti, nelle regioni europee dei nuovi paesi entrati con l'allargamento del 2004 e nelle regioni in ritardo di sviluppo che per il periodo 2007-2013 saranno oggetto dell'obiettivo "convergenza" nell'ambito della politica di coesione della UE27. La localizzazione di tali centri distributivi segue in qualche modo percorsi strategici condizionati e vincolati dalle catene logistiche internazionali sempre più "stressate" dalla accelerazione dello scambio di informazioni, dai cambiamenti delle preferenze dei mercati di consumo e dalla crescente competizione tra imprese. I fattori competitivi vincenti di tali strutture sono pertanto da ricercarsi nella eccellente accessibilità, nella avanzata tecnologia di supporto alla offerta di servizi di infrastrutture e terminal, al raggiungimento di livelli di minima scala efficiente per la offerta di funzioni logistiche integrate che consentano di operare in regime di rendimenti di scala crescenti. I maggiori attori del mercato nel settore della distribuzione globale, (compagnie di navigazione containerizzata, grandi spedizionieri, imprese di magazzinaggio, operatori di terminal, ecc.) sono quindi sempre più orientati al controllo di più anelli delle catene logistiche alla ricerca di economie di scala e di scopo. In tal senso si presenta nell'analisi economica logistica il problema del trasporto nella dimensione spaziale inteso come parte necessaria della funzione

produttiva strategica della teoria economica internazionale (Krugman, Obstfeld, 2003). La catena delle forniture (*supply chain*) può essere vista come sistema logistico a rete in cui risorse materiali ed immateriali in continuo movimento (flussi) vengono trasformate in prodotti e servizi che singolarmente e/o in modo aggregato vengono distribuiti a scala globale. Catene/reti logistiche che connettono produzione e consumo sempre più lunghe e complesse e, quindi, la soluzione operativa ricercata è la minimizzazione del costo unitario di trasporto soggetto alla condizione che la domanda nelle molteplici destinazioni sia soddisfatta attraverso l'ottima determinazione delle quantità trasportate nelle reti plurimodali con riferimento alla diversa capacità di infrastrutture, veicoli e unità standard (frazionamento dei flussi). Il problema economico (logistico) è determinare le migliori soluzioni possibili di trasporto nelle reti plurimodali, considerando risorse interne ed esterne alle imprese, soggette a vincoli di ordine spaziale, infrastrutturale e modale (efficienza spaziale).

La concorrenza modale viene superata dall'approccio collaborativo ed integrativo di *network* spaziale in grado di generare economie interne ed esterne di rete derivanti anche dagli innovati assetti geografici delle produzioni frazionate e della distribuzione organizzata. Anche i modelli di rete devono consentire l'equilibrio/efficienza dei flussi nella dimensione spaziale (al tempo giusto nella giusta quantità e nel giusto luogo) associato alla ricerca del minimo costo totale logistico (efficienza dei trasporti più altre attività logistiche). In figura 1 è riportata una generica curva di efficienza spaziale per livelli crescenti di fattore produttivo logistico trasversalità (livello di integrazione tra reti). La curva è crescente se vi sono rendimenti di scala crescenti, ossia a fronte di incrementi costanti dei livelli di fattore produttivo logistico impiegato, corrispondono incrementi del livello di efficienza raggiunto sempre più elevati. Ciò implica che la curva sia convessa, quindi: $dS > dT$ (S = efficienza spaziale, T = trasversalità) con rendimenti marginali crescenti del fattore trasversalità (integrazione tra reti).

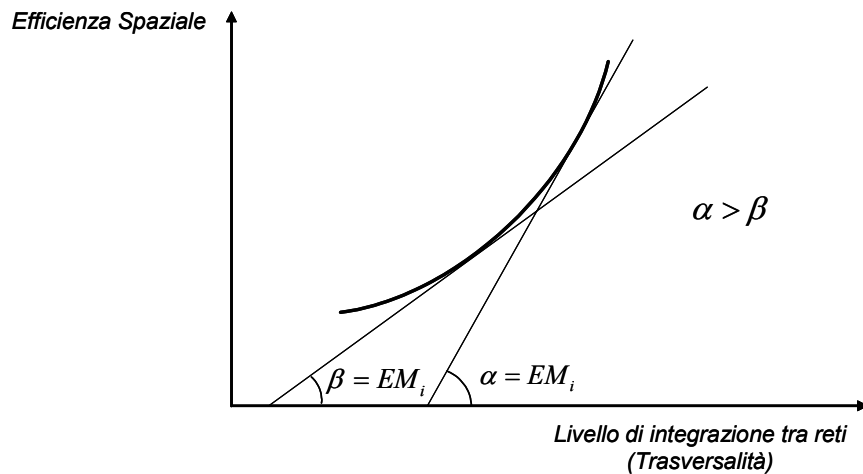


Fig. 1 - Curva di efficienza spaziale ed efficienza spaziale marginale

3. Curva di efficienza ed economie di scala, di densità e di scopo

La ricerca di equilibri sistemici in funzione della maggiore efficienza rappresenta l'obiettivo di fondo della Logistica Economica ove per efficienza può intendersi il minor costo totale di gestione dei flussi fisici e informativi lungo tutto il processo logistico, o il miglior risultato in termini di ricavi, da conseguirsi anche mediante un aumento dei costi logistici totali più che compensati da un maggiore incremento delle opportunità distributive che consenta alle imprese di conseguire maggiori profitti e rendere quindi conveniente il sostenimento di costi logistici anche più elevati purché funzionali alla migliore qualità del servizio. L'efficienza viene ad assumere fondamentale importanza con riguardo a tre dimensioni: spaziale, verticale e temporale (Thore, 1990). Per dimensione spaziale si può intendere la ricerca di possibili azioni migliorative del servizio dal lato delle economie geografiche e/o di relazione territoriale. Per dimensione verticale può intendersi in generale l'organizzazione produttiva del servizio di trasporto che per sua natura implica considerazioni di filiera integrata produzione-distribuzione-consumo, assumendo quindi funzioni produttive più complesse dal punto di vista logistico generale e di logistica del trasporto in particolare per i servizi che comportano l'uso di più modalità. Infine, per dimensione

temporale ci si può riferire agli aspetti economici dei cicli logistici del trasporto dipendenti non solo dalle caratteristiche interne del sistema dei trasporti (reti, servizi, livelli di utilizzo della capacità) ma anche dalla organizzazione delle catene produttive e distributive che assegnano al fattore "tempo ottimizzato" importanza strategica. Esempio eloquente è stato il forte sviluppo di forme organizzative delle produzioni con "magazzini viaggianti" (*just in time*), che hanno inciso fortemente sulle politiche di gestione scorte e degli investimenti ad esse relative (depositi, magazzini, centri di distribuzione, ecc.). Incrementi di risorse economiche destinate alle funzioni logistiche dovrebbero generare pertanto incrementi più che proporzionali dei livelli di efficienza raggiungibili (spaziale, verticale e temporale).

Con specifico riferimento alla efficienza spaziale, le economie di scala sono incrementi o decrementi di produttività che hanno luogo in seguito ad aumenti dei volumi dei fattori produttivi impiegati nel processo produttivo. I punti della curva convessa di figura 1, indicano le combinazioni dell'input trasversalità in corrispondenza delle quali si raggiunge il massimo livello di efficienza spaziale a parità di costo o si sostiene il costo minimo a parità di livello di efficienza. Vale a dire, ogni punto indica una quantità di input ed un livello di efficienza spaziale logistica in corrispondenza dei quali si sostiene il costo totale minimo, pertanto, l'integrazione tra reti/trasversalità dovrebbe assicurare il costo minimo possibile nell'espansione delle quantità offerte per ottenere livelli di efficienza spaziale più elevati.

L'efficienza spaziale di rete nei trasporti implica la considerazione di: a) economie di scala, derivanti dalla espansione del traffico e della dimensione della rete (impatto sui costi medi di incrementi di traffico e di dimensione della rete); b) economie di densità, derivanti dalla espansione del traffico con dimensione di rete costante (maggior sfruttamento della capacità esistente); (Oum, Waters, 1996). Il modello di rete *hub and spoke* è un tipico esempio di struttura finalizzata alla riduzione del costo medio per effetto sia di economie di densità sia di economie di scopo in caso di aggiunta di nuove relazioni (Racunica-Winter, 2005, Jara-Diaz, Basso, 2003, O'Kelly-Bryan, 1998).

L'espansione della rete deve essere analizzata con riferimento alle economie di scala derivanti dall'incremento dei flussi sulle date relazioni O-D e sulle economie derivanti dall'aggiunta di nuovi flussi ottenibili con l'espansione della rete (*economie spaziali di scopo*). Le economie spaziali di scopo (ad esempio la migliore rotazione delle flotte o il maggior fattore di carico medio) si riferiscono all'impatto sui costi medi dell'aggiunta di nuovi servizi all'interno di un'unica dimensione spaziale di rete (Jara-Diaz, Basso, 2003).

4. Un modello di ricerca economico-operativa Hub & Spoke intermodale

Una configurazione di rete integrata *hub and spoke* ferro-gomma può contribuire a migliorare il rapporto costo/livello del servizio di trasporto integrato offerto, riducendo le perdite di efficienza del trasporto intermodale dovute in molti casi a: bassa affidabilità, costi elevati, tempi elevati, bassa frequenza, ristretta penetrazione spaziale, mancanza di sincronizzazione operativa e gestionale, sistemi informativi e di comunicazione non connessi tra operatori/caricatori, sbilanciamento dei traffici per direzione, elevati "vuoti di capacità" (basso coefficiente di utilizzazione delle linee).

Un sistema integrato con nodi *hub* (terminal intermodale) e collegamenti *feeder* su gomma offerto in condizioni di unicità contrattuale/tariffaria di trasporto può determinare:

- un più alto coefficiente di utilizzazione medio di rete;
- una più elevata frequenza;
- una maggiore penetrazione spaziale dei servizi (incremento delle destinazioni);
- un più efficiente utilizzo dei rotabili e delle unità di carico.

Il modello proposto è orientato alla ricerca delle potenziali massime economie di densità e di scopo relative alla configurazione di una rete intermodale strada-rotaiia con terminali *hub* e servizi *spoke* su gomma (terminalizzazione in origine e destinazione).

La funzione di costo non-lineare scontata adottata sulle diverse relazioni e sulla somma di più relazioni (espansione di rete) è:

$$CT_{ij} = a [(x_{ij} cf)^b + (x_{ij} ch)^c + (x_{ij} cts)^d]$$

Dove:

CT_{ij} = Costo totale della relazione ij (origine-destinazione) €/ton

cf = costo ferroviario unitario €/ton

ch = costo di handling unitario (trasbordo) €/ton

cts = costo terminalizzazione stradale €/ton

x_{ij} = flusso sulla relazione ij

$a > 0$ costante di concavità della curva di costo totale (complessità logistica)

$0 < (b, c, d) < 1$ parametri esponenziali (esprimenti il potenziale di economie di scala e/o di scopo per singola componente di costo intermodale della singola relazione e/o di più relazioni della rete).

La funzione misura la decrescenza dei singoli costi unitari al crescere del flusso *door-to-door* strada-rotaia (adattamento da O'Kelly e Bryan, 1998).

Il programma (in MS Exel - Risolutore) è stato impostato per la ricerca della funzione-obiettivo che renda massima la differenza media tra costo totale unitario, calcolato con la funzione scontata precedente per un determinata scala produttiva (intervallo di capacità), ed il costo totale medio calcolato con una funzione lineare costante di costo totale (CT_{ij}^1). L'incremento di scala produttiva è stato considerato a partire dal minimo livello di fattibilità economica della relazione fino alla massima capacità programmata.

$$\text{Max } F(x,z) = \frac{\sum CT(x_{ij})(z_k)}{\sum(x_{ij})(z_k)} - \frac{\sum CT^1(x_{ij})(z_k)}{\sum(x_{ij})(z_k)}$$

soggetta a:

$\sum x_{ij} = d_{ij}$ (vettore della domanda O-D)

$0 \leq z_k \leq 1$ (vettore della scala produttiva, intervallo di capacità)

$x_{ij} \geq 0$

5. Applicazione del modello di ricerca economica-operativa Hub & Spoke intermodale

Il modello è stato applicato al nuovo "Servizio Espresso" di Trenitalia Cargo sulle relazioni con O-D Napoli-Marcianise. Il servizio, si basa sull'integrazione tra modalità ferroviaria, che

collega giornalmente due piattaforme logistiche di interscambio, con la modalità gomma per la copertura dei tratti terminali (nel raggio massimo di 200 km). I costi totali di equilibrio (RT = CT) per relazione, sono stati ricostruiti partendo dalle tariffe unitarie di Trenitalia (cassa mobile) prevedendo i seguenti elementi standard:

- Treno-blocco = 20 UTI (UTI = 18 ton)
- Terminalizzazione stradale = 400 Km (A/R ipotesi massima)
- Costo trasporto stradale = 0,5 €/km/UTI
- Costo handling al terminale = 80,0 €/UTI (2 tiri/gru)
- C.O. medio singola relazione = 0,8 (ipotesi equilibrio RT = CT)

Sulla relazione NA-MI (800 km) si è determinato un costo lineare di trazione ferroviaria di equilibrio pari a 0,68 €/Km.

La calibrazione dei parametri del modello è stata ottenuta al livello di flusso (tonnellate) corrispondente al numero di treni-blocco necessario per rendere il servizio *shuttle* sulla relazione fattibile (RT = CT per una direzione), dato un C.O. di equilibrio sulle singole relazioni, per ottenere la funzione di costo totale concava non-lineare. Il suddetto equilibrio per la calibrazione è esposto nella figura 2 ove è riportato l'andamento della funzione modellizzata (CT MOD) e della funzione lineare costante (CT COS). L'applicazione alle singole relazioni Napoli-Milano e Napoli-Bologna ha consentito di misurare potenziali economie di densità (maggiore utilizzo della capacità esistente e data). Nel caso della relazione Napoli (Marcianise) - Milano (800 km) è stato calcolato un potenziale di economie di scala di produzione medie (min 12 - max 30 treni/mese, *efficient scale*) pari al 13,8% rispetto ai valori-base della funzione lineare (figura 3). L'applicazione alla somma delle relazioni Napoli-Milano e Napoli Bologna ha consentito di misurare potenziali economie di scopo (maggiore utilizzo della capacità di rete con estensione della rete). Nel caso della relazione somma Napoli - Milano (800 km) e Napoli - Bologna (600 km) sono state calcolate economie di scopo medie alla data scala di produzione (min 24 - max 60 treni/mese per una direzione, *efficient scale*) pari al 16,2% rispetto ai valori-base della funzione lineare (figura 4).

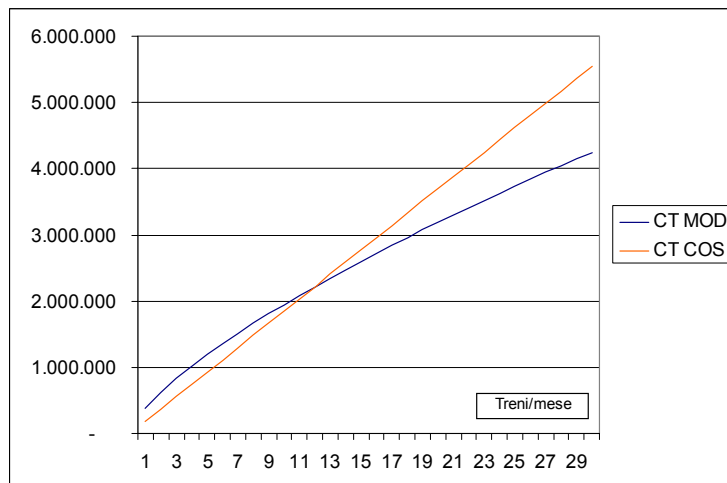


Fig.2 - Curve dei costi totali

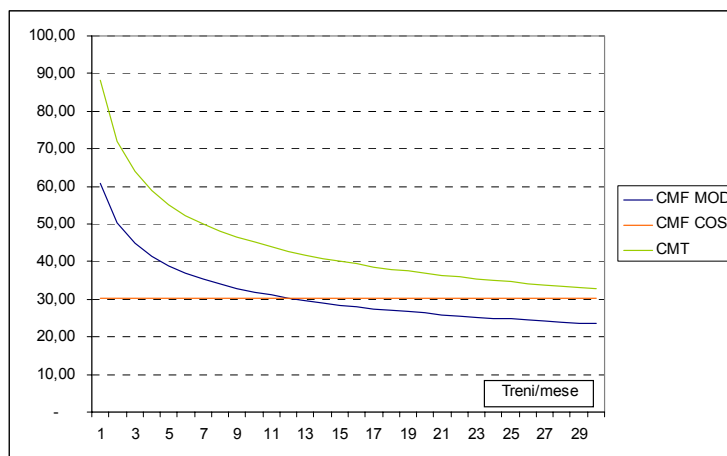


Fig. 3 - Curve dei costi medi di trazione ferroviaria e medi totali (singola relazione)

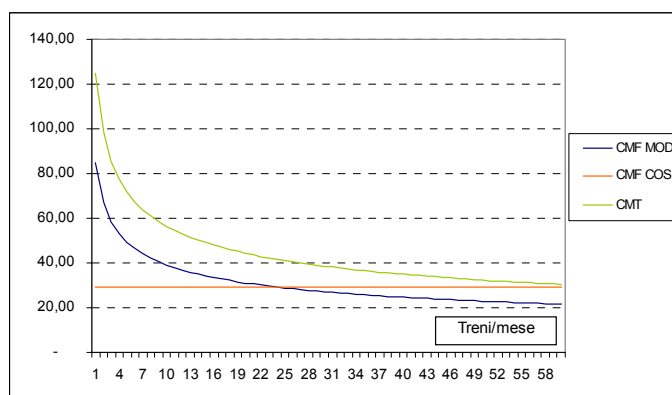


Fig. 4 - Curve dei costi medi di trazione ferroviaria e medi totali (relazione somma)

6. Conclusioni

La relazione *door-to-door* Napoli (Marcianise) - Milano (Smistamento) evidenzia un costo medio totale pari a 42,78 €/ton al punto di equilibrio tra le due funzioni, per poi decrescere alla scala massima al valore di 32,78 €/ton (competitivo rispetto al tutto-strada). Il costo tutto-strada medio di un'impresa di autotrasporto italiana è pari a 1,354 €/Km con un veicolo da 25 ton (fonte: Albo Autotrasportatori, 2005), quindi, su una relazione di 800 km un costo medio pari a 43,32 €/ton. L'espansione di traffico sulla singola relazione può generare economie di densità all'incremento delle quantità trasportate con distanza chilometrica fissa e quindi all'incremento delle ton-km. L'espansione della rete (aggiunta di nuove relazioni) può generare economie di scopo in particolare nel caso di una struttura di rete *hub and spoke* con utilizzo di treni *shuttle inter-hub*. Tali risultati sui costi unitari possono conseguirsi principalmente per effetto: del migliore utilizzo della capacità complessiva di rete; del possibile incremento del C.O. medio di rete; della più efficiente rotazione dei rotabili, dei veicoli stradali e delle unità di carico; della razionalizzazione delle operazioni terminali con riduzione dei movimenti operativi, della ottimizzazione dei percorsi stradali di presa e consegna, della riduzione di percorrenze stradali "a vuoto"; dei minori costi di manovra e composizione ferroviaria

(*shunting*); dell'ottimizzazione delle frequenze e dei collegamenti indiretti (es. internazionali); della riduzione dei "costi di transazione" con utilizzo di tecnologie e servizi avanzati (*ICT, call center, e-ticket, e-booking, tracking and tracing*, ecc.). Il modello, infine, può essere utilizzato anche come funzione-obiettivo "inversa". Prefissata una tariffa unitaria (€/UTI) si possono misurare potenziali recuperi di efficienza medi determinati per una o più delle tre componenti del Costo Totale: costo trazione e manovra ferroviaria; costo di *handling* ai terminali; costo di terminalizzazione stradale (es. economie di scala medie del 5% con l'incremento della produzione). Le economie di scala (di densità e di scopo) dipendono quindi dalla scala di produzione considerata all'interno della quale il modello massimizza la differenza tra costo medio lineare e costo medio decrescente (funzione non-lineare concava). L'aggiunta di più relazioni alla rete (maggiore capacità di rete), con la considerazione di un'unica funzione produttiva, genera maggiori economie rispetto alle singole relazioni, a parità di coefficiente di occupazione di equilibrio.

Bibliografia

CE (2006), *Regolamento 1083/2006 del Consiglio recante disposizioni generali sul Fondo europeo di sviluppo regionale, sul Fondo sociale europeo e sul Fondo di coesione*, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 31.7.2006.

Dalla Chiara B., Marigo D., Benzo G. (2002), *Interporti e terminali intermodali*, Hoepli, Milano.

Danielis R. (2006), "Il trasporto intermodale: quale ruolo per l'analisi economica?", in Polidori G., Musso E., Marcucci E. (a cura di) *I trasporti e l'Europa, Politiche infrastrutture, concorrenza*, Franco Angeli, Milano.

Del Viscovo M. (1990), *Economia dei Trasporti*, UTET Torino.

Forte E. (2005), "Logistica economica: globalizzazione ed urbanizzazione", in Borruso G., Polidori G. (a cura di) *Riequilibrio ed integrazione modale nel trasporto merci*, Franco Angeli, Milano.

Forte E. (2006), "Logistica economica e strumenti di analisi: obiettivi e condizioni per l'ottimo", in Polidori G., Musso E., Marcucci E. (a cura di) *I trasporti e l'Europa, Politiche infrastrutture, concorrenza*, Franco Angeli, Milano.

- Groothedde B., Ruijgrok C., Tavasszy L. (2005), "Towards collaborative, intermodal hub networks. A case study in the fast moving consumer goods market", *Transportation Research E*, 41: 567-583.
- Hesse M., Rodrigue J.P. (2004), "The transport geography of logistics and freight distribution", *Journal of Transport Geography*, 12/3: 171-184.
- Iannone F. (2005), "Economia della logistica e dello spazio-territorio: innovazioni organizzative ed approcci modellistica", in Borruso G., Polidori G. (a cura di), *Riequilibrio ed integrazione modale nel trasporto merci*, Franco Angeli, Milano.
- Jara-Díaz S., Basso L.J. (2003), "Transport cost function, network expansion and economies of scope", *Transportation Research E*, 39: 271-288.
- Krugman P.R., Obstfeld M. (2003), *Economia Internazionale*, Hoepli Milano.
- O'Kelly M.E., Bryan D.L. (1998), "Hub location with flow economies of scale", *Transportation Research B*, 32 (8), 605-616.
- Oum T.H., Waters II W.G. (1996), "A survey of recent developments in transportation cost function research", *Logistics and Transportation Review*, 32 (4): 423-463.
- Racunica I., Wynter L. (2005), "Optimal location of intermodal freight hubs", *Transportation Research B*, 39: 453-477.
- Recordit (2002), *Real cost reduction of door-to-door intermodal transport*, EU Commission DG TREN
- Rodrigue J.P., Slack B., Comtois C. (2001), "Green Logistics", in Brewer A.M., Button K.J., Hensher D.A. (a cura di), *The Handbooks in Transport*, vol. 2 Pergamon/Elsevier, London.
- Siviero L. (2005), *Economia dei trasporti intermodali e innovazione logistica*, Franco Angeli, Milano.
- Thore S. (1990), *Economic Logistics*, Quorum Books, New York.
- Trenitalia DG Operativa Logistica, dati disponibili al sito internet www.cargo.trenitalia.it
- Trip J.J., Bontekoning Y. (2002), "Integration of small flows in the intermodal transport system", *Journal of Transport Geography*, 10: 221-229.
- Van Klink H.A., Van den Berg G.C. (1998), "Gateways and intermodalism", *Journal of Transport Geography*, 6: 1-9.