

**SIET 2006 TRIESTE**

**VIII RIUNIONE SCIENTIFICA ANNUALE DELLA SOCIETA' ITALIANA DEGLI  
ECONOMISTI DEI TRASPORTI**

**“I TRASPORTI ED IL MERCATO GLOBALE”**

Trieste, 29, 30 giugno - 1 luglio 2006



Lucio Siviero

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Dipartimento di Economia

Economia dei Trasporti

**Logistica Economica, Intermodalità e modelli di rete:  
un applicazione ai servizi ferroviari intermodali “espressi”**

**[www.logisticaeconomica.unina.it](http://www.logisticaeconomica.unina.it)**

# Funzioni e Dimensioni della Logistica Economica

## Trasversalità (integrazione tra reti)

Individuazione e valutazione di itinerari/sistemi logistici **alternativi al uni-modo** che concorrono all'equilibrio dei flussi nello spazio e nelle reti plurimodali (es. corridoi europei plurimodali)

## Dimensione spaziale

Problema del trasporto inteso come necessaria funzione produttiva strategica della teoria economica internazionale (Nuova Geografia Economica). Reti logistiche che connettono produzione e consumo sempre più lunghe e complesse.

## Soluzione operativa ricercata

Minimizzazione del costo di trasporto soggetto alla condizione che la domanda nelle molteplici destinazioni sia soddisfatta.

Ottima determinazione delle quantità trasportate nelle reti plurimodali con riferimento alla **diversa capacità di infrastrutture, veicoli e unità standard**.

# Modelli di rete e sistemi complessi intermodali

La catena delle forniture (**supply chain**) può essere vista come sistema logistico a rete in cui risorse materiali ed immateriali sono in continuo movimento (flussi) che vengono trasformate in prodotti e servizi che singolarmente e/o in modo aggregato vengono distribuiti a scala globale.

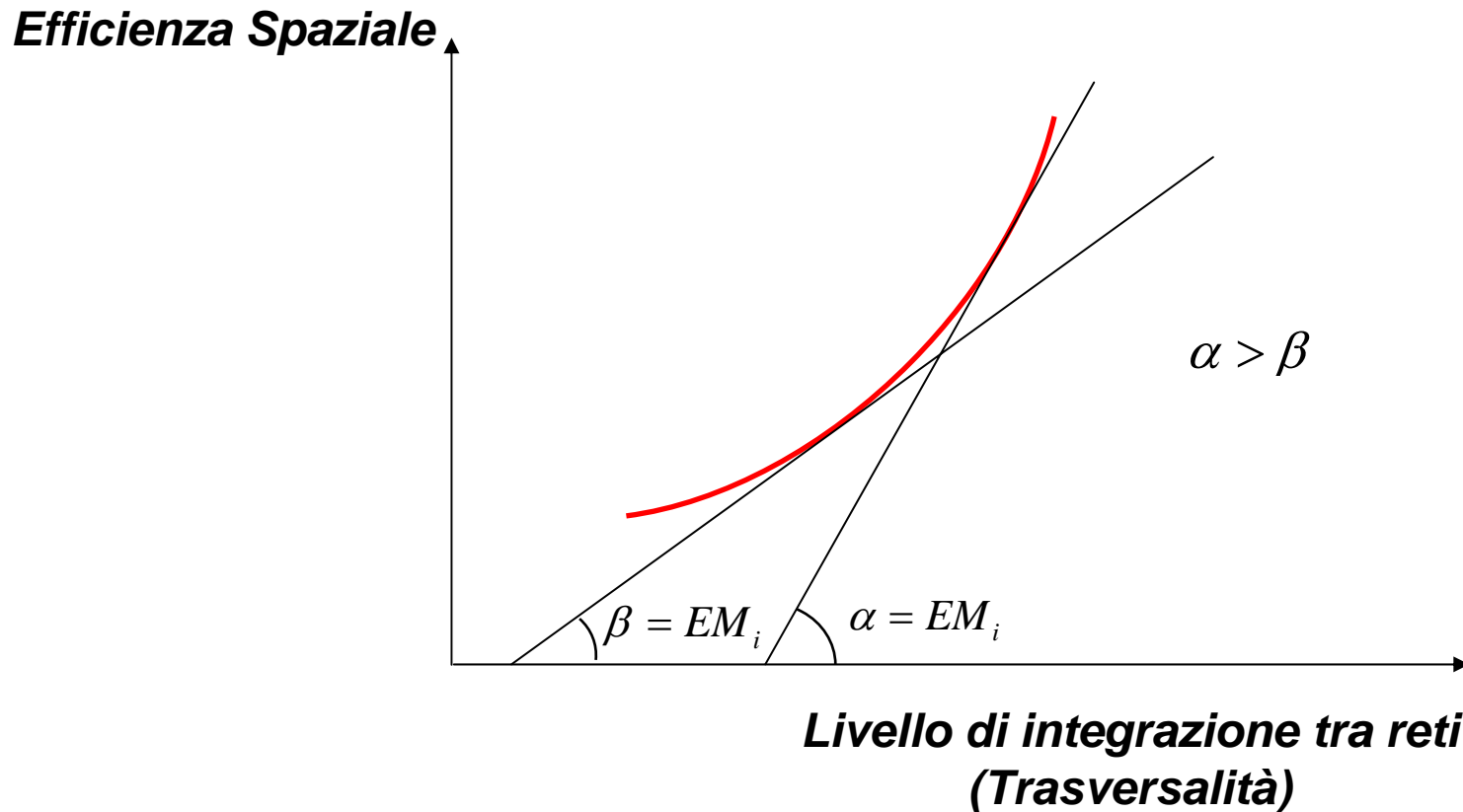
Il **problema economico (logistico)** è determinare le migliori soluzioni possibili di trasporto nelle reti plurimodali considerando risorse interne ed esterne alle imprese e soggette a vincoli di ordine spaziale, infrastrutturale e modale (efficienza spaziale).

# Modelli di rete e sistemi complessi intermodali

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 dai moderni assetti geografici delle produzioni frazionate e della distribuzione organizzata.

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 + altre attività logistiche).

# Curva di Efficienza e valori dell'Efficienza Marginale



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**.

# Curva di Efficienza ed Economie di Scala

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.

Incrementi di risorse tecnico-economiche destinate alle funzioni logistiche dovrebbero generare aumenti *più che proporzionali* dei livelli di **Efficienza (Spaziale, Verticale e Temporale)** raggiungibili.

I punti della curva indicano le infinite *combinazioni* dell'input in corrispondenza delle quali si raggiunge il *massimo livello di efficienza 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 logistica in corrispondenza dei quali si sostiene il **Costo Minimo**.

**L'integrazione tra reti-trasversalità** dovrebbe assicurare il costo minimo possibile nell'espansione delle quantità offerte per ottenere livelli di efficienza spaziale più elevati.

# Economie di Scala di Densità e di Scopo

L'efficienza spaziale di rete nei trasporti implica la considerazione di (Oum, Waters, 1996):

- **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);

- **Economie di Densità:** derivanti dalla espansione del traffico con dimensione di rete costante (maggior sfruttamento della capacità esistente). Il modello **Hub and Spoke** è un esempio classico di riduzione del costo medio a causa delle economie di densità.

**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).

# Strutture di rete e potenzialità economiche

La struttura di rete prescelta dall'operatore è funzione del Costo minimo totale ottenibile con il massimo sfruttamento della capacità esistente sulle singole relazioni O-D e tenendo conto delle possibili economie realizzabili con l'aggiunta di nuove relazioni O-D integrabili in una struttura **flessibile**.

La presenza di economie di densità sulle singole relazioni e la possibilità di aggiungere nuovi collegamenti integrati nella struttura di rete conseguendo economie di scopo, rende conveniente l'adozione di **Hub-Network** come ha dimostrato il mercato del trasporto aereo.

La struttura di rete è un importante **variabile endogena di efficienza spaziale** (minimizzazione dei costi) che si traduce in potenzialità di generazione di Economie di Scopo.



# Hub-Network Intermodale Ferro-gomma

Alla struttura di rete sono connessi i servizi in essa svolti che nel caso dell'intermodalità sono un elemento di determinazione della variabilità del costo totale medio al variare delle quantità prodotte ed offerte sulle singole relazioni O-D e sull'intera rete.

Nel caso del sistema ferroviario merci italiano l'ottimizzazione della configurazione di rete e l'articolazione dei servizi in essa svolti rappresentano **decisioni endogene** data la forma di mercato “semi-monopolistica” nell'offerta di servizi intermodali merci e di gestione delle infrastrutture.

Il processo di minimizzazione dei costi dipende quindi da decisioni endogene riguardanti (nel rispetto dei vincoli tecnici e della struttura O-D della domanda):

- la configurazione di rete;
- la struttura e la sequenza dei collegamenti;
- la capacità offerta;
- la tipologia di servizi intermodali e logistici offerta;
- la possibilità di cooperazione-integrazione con operatori di autotrasporto per offrire servizi **door-to-door**.

# Hub-Network Intermodale Ferro-gomma

La configurazione di rete integrata Hub and Spoke ferro-gomma contribuisce a migliorare il rapporto **costo/livello del servizio** di trasporto integrato offerto riducendo le perdite di efficienza del trasporto intermodale dovute a:

- scarsa 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.

# Modelli innovativi di trasporto ferroviario

La progressiva liberalizzazione del trasporto ferroviario europeo in atto (III pacchetto ferroviario) e le recenti innovazioni tecnologiche ed economiche riguardanti reti e servizi intermodali e combinati strada-rotaia e mare-rotaia, stanno determinando a livello europeo:

- intensificazione d'uso ed espansione della rete e dei servizi;
- concentrazione dell'offerta presso i più efficienti terminali (nodi logistici);
- specializzazione dei terminali (gateways, inland terminal, interporti, scali merci);
- riduzione dei costi ai terminali (manovra e trasbordo);
- servizi **shuttle** diretti da terminale a terminale a composizione bloccata;
- creazione di reti intermodali con pochi nodi principali ad alto traffico;
- sviluppo di corridoi tra nodi regionali principali e porti (land-bridges);
- sviluppo di servizi di terminalizzazione stradale (150-200 Km Max);
- creazione di accordi stabili tra diversi operatori modali e tra grandi caricatori e operatori ferroviari;
- incremento dell'intensità logistica intermodale dei processi produttivi e distributivi a scala globale;
- concentrazione di attività produttive e distributive in ambiti territoriali omogenei (distretti, megastore, nuclei industriali, centri ingrosso, ecc.);
- incentivi pubblici al trasporto combinato (del tipo ecobonus in Italia).

# Un modello di ricerca economica-operativa Hub & Spoke intermodale

Il modello è orientato alla ricerca delle massime **economie di densità e di scopo** relative alla configurazione di una rete intermodale strada-rotaia 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)

$b, c, d$  > 0 parametri esponenziali compresi (fissati in base al potenziale di economie di scala e/o di scopo della singola relazione e/o dell'intera 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)

# Un modello di ricerca economica-operativa Hub & Spoke intermodale

Il programma è stato impostato con la ricerca della funzione-obiettivo che renda **massima la differenza** media tra costo totale unitario calcolato con la funzione scontata precedente ed il costo totale medio calcolato con una generica funzione lineare ( $c^1$ ). L'incremento di scala produttiva è considerato a partire dal minimo livello di fattibilità economica della relazione fino alla massima capacità programmata.

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

soggetta a:

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

$0 \leq z_k \leq 1$  (vettore della scala produttiva)

$x_{ij} \geq 0$

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

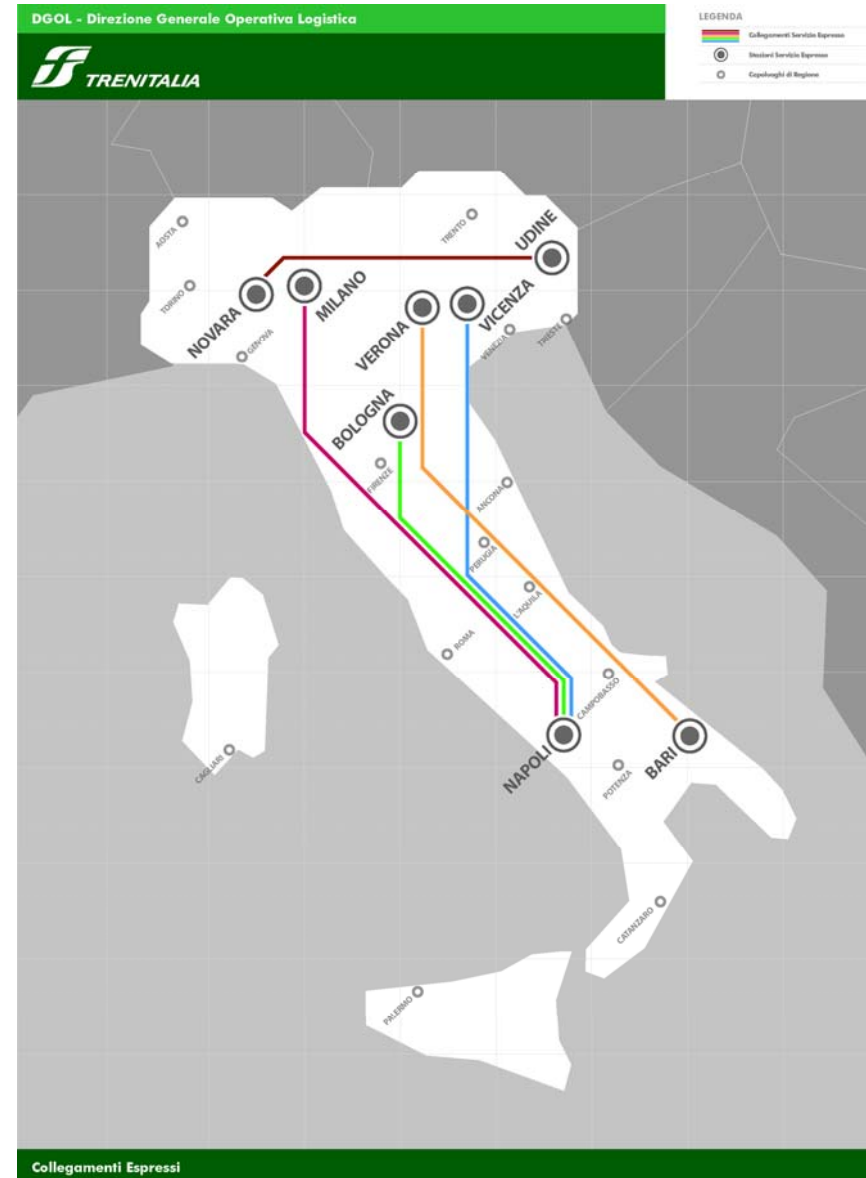
Il modello è stato applicato al nuovo “servizio espresso” di Trenitalia cargo sulle relazioni con O-D Napoli-Marcianise.

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 di equilibrio” ( $RT=CT$ ) per relazione sono stati ricostruiti partendo dalle tariffe unitarie (cassa mobile) prevedendo i seguenti standard:

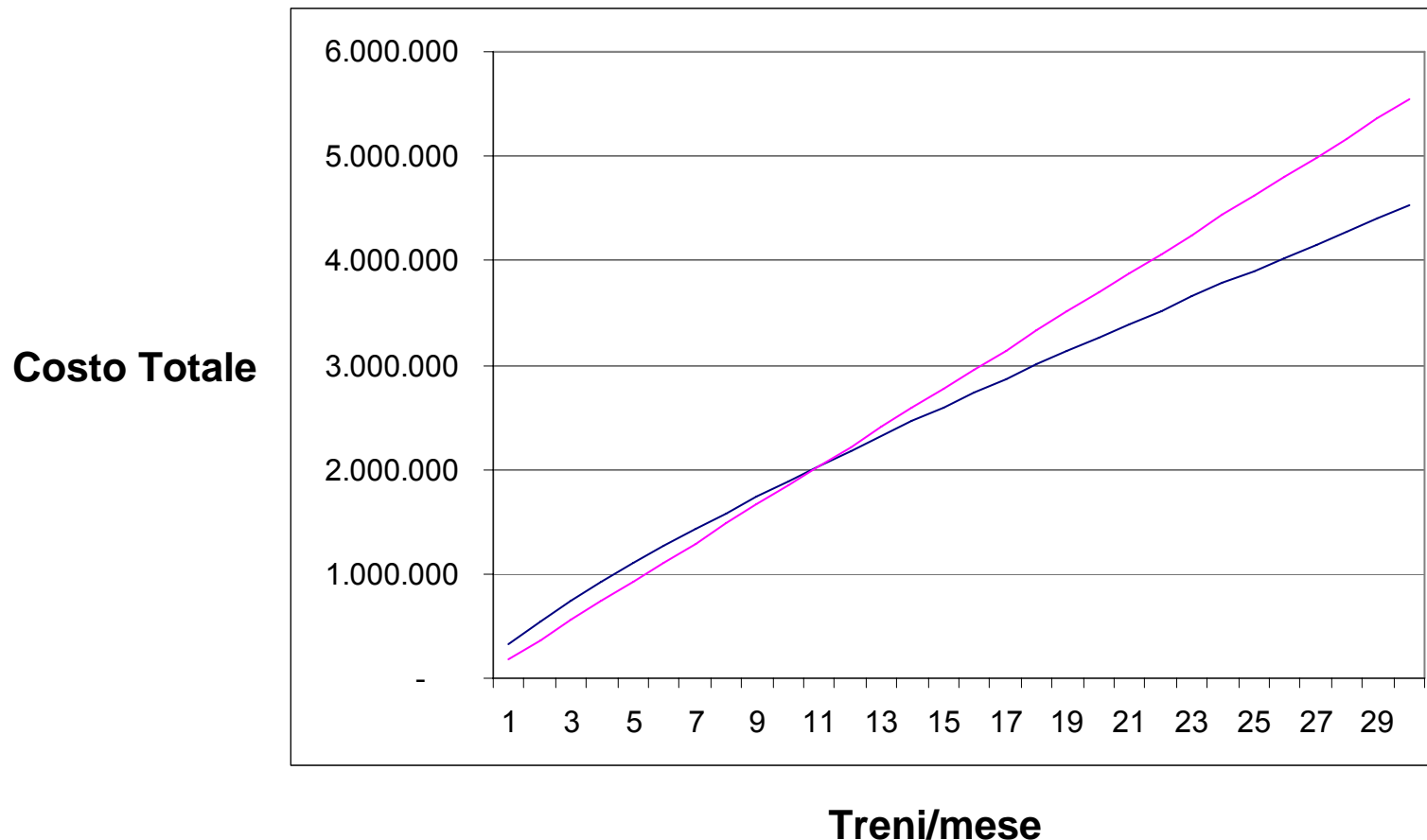
- Treno-blocco = 20 UTI (UTI = 18 ton)
- Termin. Strada = 400 Km
- Costo strada = 0,5 €/km/UTI
- Costo handling = 80,0 €/UTI (2 operazioni)
- C.O. medio singola relazione = 0,8

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



# Calibrazione del modello di ricerca economica-operativa Hub & Spoke intermodale

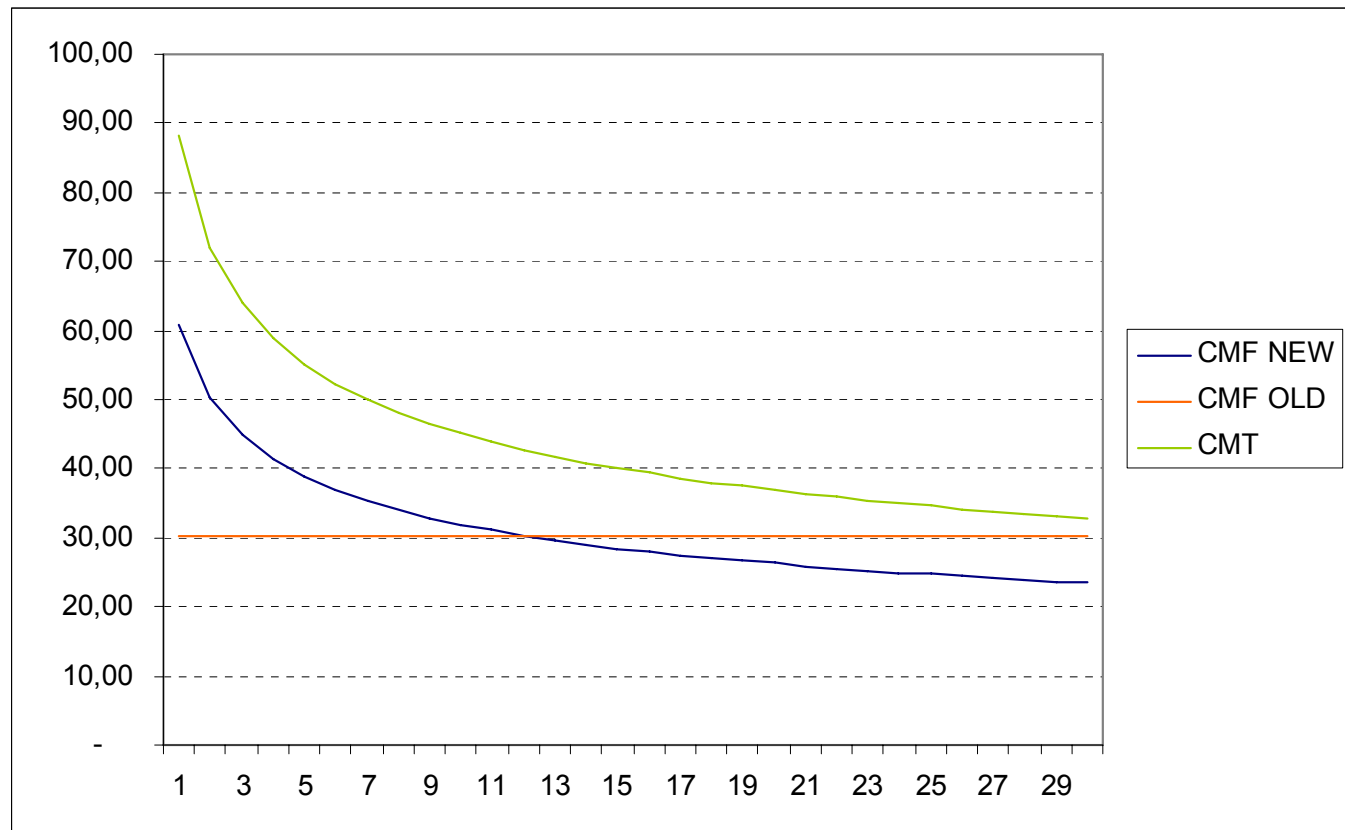
La calibrazione dei parametri del modello è stata ottenuta al livello di flusso (ton) corrispondente al minimo nr. di treni-blocco per rendere il servizio “shuttle” sulla relazione fattibile ( $CT = RT$  per una direzione), dato un C.O. di equilibrio sulle singole relazioni, per ottenere la funzione di costo totale concava (non-lineare).



# Alcuni risultati

L'applicazione alle singole relazioni Napoli-Milano, Napoli Bologna, Napoli Vicenza ha consentito di misurare **economie di densità** (maggiore utilizzo della capacità esistente e data).

Ad esempio, nel caso della relazione Napoli (Marcianise) – Milano (800 km) sono state calcolate economie di scala di produzione (min 12 – max 30 treni/mese) medie pari al 13,8%.

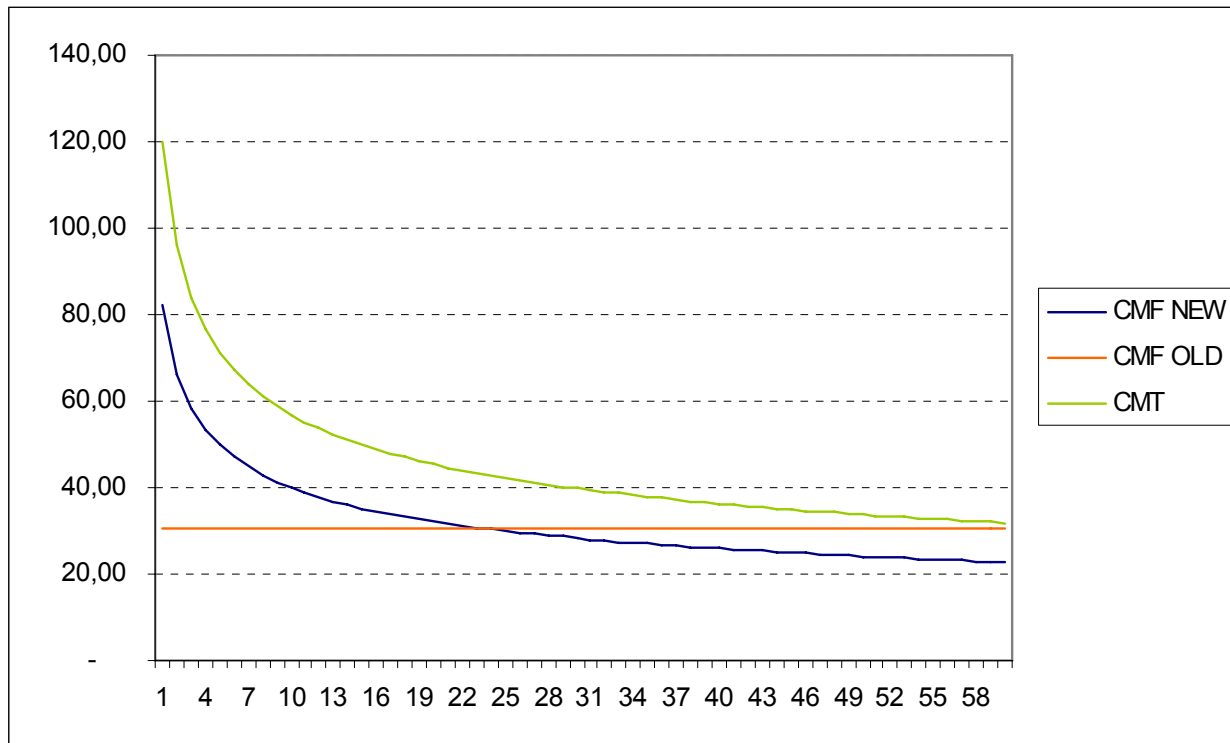




# Alcuni risultati

L'applicazione alla somma delle relazioni Napoli-Milano e Napoli Bologna ha consentito di misurare **economie di scopo** (maggiore utilizzo della capacità di rete con estensione della rete).

Ad esempio, nel caso della relazione-somma Napoli – Milano (800 km) e Napoli – Bologna (600 km) sono state calcolate economie medie alla scala di produzione (min 24 – max 60 treni/mese per una direzione) pari al 16,2 % rispetto ai valori-base della funzione lineare.



# Considerazioni finali

La relazione *door-to-door* Napoli (Marcianise) – Milano (Smistamento) evidenzia un costo medio totale pari a: **42,78 €/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 genera 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) genera economie di scopo in particolare nel caso di una struttura di rete Hub&Spoke (Racunica-Winter, 2005, Jara-Diaz, Basso, 2003, O'Kelly-Bryan, 1998) con utilizzo di treni "shuttle inter-hub" 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;
- dei minori costi di manovra e composizione ferroviaria (*shunting*);
- ottimizzazione delle frequenze e dei collegamenti indiretti (es. internazionali);
- riduzione dei "costi di transazione" con utilizzo di tecnologie e servizi avanzati (ICT: *call center, e-ticket, e-booking, tracking and tracing*, ecc.).

# Considerazioni finali: ulteriori avanzamenti

Il modello può essere utilizzato anche come **funzione-obiettivo “inversa”**

Prefissata una tariffa unitaria (€/UTI) si possono misurare recuperi di efficienza medi determinati per uno o più delle tre componenti di Costo Totale (es. economie di scala medie del 5% con l'incremento della produzione):

- a) costo trazione e manovra ferroviaria;
- b) costo di handling ai terminali;
- c) costo di terminalizzazione stradale;

Le economie di scala (di densità e di scopo) dipendono 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) e la considerazione di un'unica funzione produttiva genera maggiori economie rispetto alle singole relazioni, a parità di C.O. di equilibrio.