

**TRASPORTO SOSTENIBILE: UN MODELLO DI SCELTA MODALE MERCI PER
ANALIZZARE L'ALTA VELOCITÀ SULLE AUTOSTRADE DEL MARE**

Francesco RUSSO¹ e Giovanna CHILÀ²

1 DIMET, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Feo di Vito, 89060, Reggio Calabria

2 DIMET, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Feo di Vito, 89060, Reggio Calabria

SOMMARIO

L'introduzione, sulle rotte di cabotaggio, di navi Ro-Ro (Roll on – Roll off) di ultima generazione a doppio ponte, con capacità di carico e velocità notevolmente superiori rispetto alle precedenti, ha reso il trasporto marittimo un'alternativa capace di ridurre le aliquote modali attuali del tutto strada.

Nell'ambito di questo lavoro si intende verificare la possibilità di impiegare tali navi sulle autostrade del mare, per consentire, contestualmente alla riduzione dei tempi di movimentazione della merce nei terminali portuali, tempi di viaggio complessivi competitivi rispetto a quelli su strada.

L'obiettivo è quello di fornire una stima delle velocità minime che il servizio combinato strada-mare alta velocità dovrebbe garantire e quindi dei tempi e dei costi che l'utente sarebbe disposto a sostenere per usufruirne, individuando diversi scenari di trasporto.

1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, la prevalente diffusione del trasporto merci su strada, in Europa, ha causato un incremento del rischio di incidentalità, delle emissioni inquinanti e una riduzione, in generale, del livello di servizio. Benché economicamente efficiente per brevi distanze e per beni deperibili, questa modalità di trasporto non risulta competitiva in altri contesti.

In una prospettiva di trasporto sostenibile, è importante valutare come sia possibile indurre una modifica delle attuali aliquote modali fra le varie alternative.

Il trasporto marittimo rappresenta un'alternativa capace di ridurre le aliquote modali attuali del tutto strada, dopo che le navi Ro-Ro (Roll on – Roll off) di ultima generazione a doppio ponte, con capacità di carico e velocità notevolmente superiori rispetto alle precedenti, sono state inserite su nuove rotte di cabotaggio, significativamente denominate autostrade del mare. La Commissione Europea introduce il concetto di autostrade del mare nel Libro Bianco del 2001; nel 2003 il Progetto Europeo Autostrade del Mare viene inserito tra i progetti Ten prioritari (Rapporto Van Miert alla Commissione) e nel 2004 viene approvato in maniera definitiva tra i 30 progetti prioritari (Progetto 21).

Le Linee Guida del Piano Generale della Mobilità (Ministero dei Trasporti, 2007) indicano efficienza, sicurezza e sostenibilità quali obiettivi generali del Piano e individuano le autostrade del mare tra le aree di azione strategica, in relazione alla mobilità delle merci.

Nell'ambito di questo lavoro si intende verificare la possibilità di impiegare sulle autostrade del mare navi di nuova generazione, che consentano, contestualmente alla riduzione dei tempi di movimentazione della merce nei terminali portuali, tempi di viaggio complessivi competitivi rispetto a quelli su strada.

L'obiettivo di questo lavoro è quello di fornire una stima delle velocità minime che il servizio combinato strada-mare alta velocità dovrà garantire e quindi dei tempi e dei costi che l'utente sarà disposto a sostenere per usufruirne, individuando diversi scenari di trasporto.

Il lavoro proposto si articola in due fasi:

- specificazione, calibrazione e validazione, attraverso test formali e informali, di un modello di scelta modale merci a scala nazionale, tra alternative modali tradizionali (trasporto stradale e ferroviario) e alternative combinato (strada-ferrovia, strada mare accompagnato, strada-mare non accompagnato);
- valutazione della variazione di domanda causata dall'introduzione dell'alta velocità sulle autostrade del mare. L'alternativa combinato strada mare alta velocità è definita in funzione della velocità media di crociera e dell'incremento percentuale del prezzo di trasporto rispetto a quello attuale. Questa modalità può costituire, laddove disponibile, una valida alternativa per il trasporto di beni deperibili, garantendo una ripartizione più razionale del traffico merci, ed il superamento, di conseguenza, dei problemi di

congestione, di inquinamento e di incidentalità propri della rete stradale nazionale. Da un punto di vista comportamentale, viene assunto che l'utente non percepisca differenze sostanziali tra l'alternativa combinato strada/mare tradizionale e l'alternativa combinato strada/mare alta velocità proposta.

Di seguito vengono proposti: uno stato dell'arte sui modelli di scelta modale merci, i database utilizzati per la stima del modello, la descrizione del modo combinato strada/mare alta velocità testato e la descrizione dei principali risultati ricavati.

2 STATO DELL'ARTE

I modelli di scelta modale merci presenti in letteratura definiscono alcune strutture applicabili a scala regionale, nazionale e internazionale.

La maggior parte dei modelli sono riconducibili alla famiglia dei modelli di scelta discreta, che possono essere classificati rispetto a diversi elementi (Ben Akiva and Lerman, 1985; Train, 2003):

- molteplicità del soggetto decisore. In questo contesto è necessario considerare almeno tre soggetti decisori: la ditta mittente, la ditta destinataria o lo spedizioniere;
- unità di scelta, differente a seconda che si considerino modelli di scelta consignment o logistic; per i modelli consignment l'unità di scelta coincide con la singola spedizione, per quelli logistic con la quantità totale da spedire in un dato periodo di riferimento;
- aspetti statistici e probabilistici: quantità di varianza, presenza o assenza di covarianza; ipotesi in merito alla distribuzione dei residui aleatori;
- attributi, che possono essere più o meno rilevanti in funzione della scala geografica di riferimento e dell'insieme di scelta;
- parametri, che possono essere caratterizzati da diversi rapporti di sostituzione.

In questa nota vengono menzionati soltanto alcuni dei modelli presenti nella letteratura di settore, significativi rispetto alla classificazione precedentemente proposta.

A livello internazionale, modelli di scelta modale merci di tipo statistico sono proposti da Harker (1987) e Bayliss (1988); modelli di scelta modale merci di tipo comportamentale da Freight Transportation Group (1980), McFadden e Winston (1980), Picard e Gaudry (1993). A livello nazionale, modelli consignment di tipo comportamentale vengono proposti da: Di Gangi, Montella e Russo (1995); Nuzzolo e Russo (1995); Nuzzolo e Russo (1997b); modelli logistic di tipo comportamentale vengono proposti da Nuzzolo e Russo (1998).

I modelli possono inoltre essere classificati come aggregati o disaggregati.

Modelli aggregati, ad esempio, sono proposti da Cascetta e Iannò (2000), per la scala nazionale; da Russo e Assumma (2005), per la scala internazionale ed in particolare per la Zona di Libero Scambio Euro – Mediterranea.

Winston (1983) suggerisce una classificazione dei modelli rispetto al livello di aggregazione e alla scala geografica di riferimento dei dati. Regan e Garrido (2001) propongono un'analisi dei modelli che simulano la domanda merci ed il comportamento dello spedizioniere. La classificazione proposta è funzione della natura dei dati e della scala geografica di riferimento. Si rinvia al loro lavoro (Regan and Garrido, 2001) per un'analisi approfondita nel campo della modellizzazione della domanda merci e del comportamento degli spedizionieri.

3 DATABASE UTILIZZATI PER LA STIMA DEL MODELLO

Il problema oggetto di studio è quello del trasporto a scala nazionale. Si può ritenere omogeneo nelle decisioni. Il relativo modello si riferisce alla scala nazionale e può essere applicato a distanze medie superiori ai 350 km, fino a 1200-1300 km.

Il modello è stato stimato utilizzando:

- un database *strada*, che riporta i dati, relativi ai flussi di traffico merci mediante autotrasporto, ottenuti presso lo Stretto di Messina (Progetto di Ricerca SiNaVe);
- un database *ferrovia*, che riporta la quantità di merce spedita da e verso la Sicilia, in un anno di riferimento, con le modalità treno e combinato strada/ferrovia;
- un database *mare*, che riporta un campione di interviste relative al trasporto combinato strada/mare accompagnato e non/accompagnato, da e verso la Sicilia.

Tutti i database sono stati analizzati rispetto a:

- trasporto di unità cariche o vuote;
- quantità e tipo di merce trasportata, classificata secondo NST/R;
- origine e destinazione del carico;
- periodo di riferimento.

Di seguito viene proposta una sintetica descrizione dei database.

In merito al periodo di riferimento, essendo riferiti a diversi periodi temporali, viene descritta la loro estensione ad un periodo di un anno.

3.1 Il database strada

Il database *strada* è composto da 41006 interviste, svolte nel periodo compreso tra i mesi di giugno e novembre 2003, e include informazioni relative all'indagine, al modo di trasporto, al tipo di merce e alle caratteristiche della spedizione.

Nell'ambito di questo lavoro sono state analizzate tutte le interviste relative a veicoli carichi (21791, pari al 53% del totale), in funzione della classificazione NST/R e dell'origine/destinazione dei flussi (O/D). Rispetto alla natura della merce sono stati definiti 3 segmenti: beni deperibili, comprensivi della prima classe NST/R; beni di consumo,

comprensivi della quinta e della nona classe NST/R; beni industriali, comprensivi delle classi NST/R rimanenti.

Il restante 47% di interviste, relative al passaggio di mezzi vuoti, non è stato considerato nell'ambito di questo lavoro.

Dall'insieme totale di interviste relative al passaggio di mezzi pieni è stato estratto un sottoinsieme di interviste caratterizzate da:

- origine in Sicilia e destinazione in Italia, e viceversa;
- una sola origine ed una sola destinazione, identificate rispettivamente dal comune di origine e di destinazione rispettivamente;
- orario di consegna della merce noto;
- quantità di merce trasportata espressa in tonnellate (t) e superiore a 5 t;
- un solo autista;
- distanza O/D superiore a 350 km, al fine di poter considerare come alternative modali significative i modi combinato strada/ferrovia e strada/mare.

Si noti che, in base ai criteri di selezione introdotti, non si è applicata alcuna distorsione rispetto al campione originario.

Nella tabella 1 è riportato il numero di interviste verificate per criterio considerato; l'insieme risultante che soddisfa tutti i criteri considerati è costituito da 457 interviste.

Tabella 1 Numero di interviste per criterio/filtro

Criterio di selezione	Numero di Interviste
spedizioni con carico non nullo	21791
località di ritiro merce in Sicilia e località di consegna merce in Italia o viceversa	20651
una sola località di ritiro e di consegna merce	19214
orario di consegna della merce noto	914
quantità di merce trasportata espressa in tonnellate	20471
spedizioni con carico non inferiore a 5 Ton	16877
un solo conducente	18918
distanza O/D superiore a 350 km	14362

3.2 Il database ferrovia

Il database *ferrovia* si suddivide in due parti:

- *spedizioni dalla Sicilia*, che riporta la somma delle tonnellate annue spedite per tipologia merceologica dalla Sicilia, ed il corrispondente numero totale di carri, con le modalità treno o combinato strada/ferrovia, in un dato anno di riferimento;
- *spedizioni verso la Sicilia*, che riporta la somma delle tonnellate annue spedite per tipologia merceologica verso la Sicilia, ed il corrispondente numero totale di carri, con le modalità treno o combinato strada/ferrovia, in un dato anno di riferimento.

Trattandosi di dati aggregati, al fine di ottenere informazioni relative alle singole spedizioni, la somma delle tonnellate annue spedite per tipologia merceologica e per coppia di impianti

O/D è stata divisa per il corrispondente numero totale di carri. Noti il numero totale di carri annui spediti $N_{od,s}$ e la somma $D_{od,s}$ delle tonnellate annue spedite per coppia O/D, di data classe merceologica s , si è ipotizzato che ciascun carro corrispondesse ad una singola spedizione, di carico $q_{od,s}$ pari a $q_{od,s}=D_{od,s}/N_{od,s}$.

Si è proceduto secondo le modalità indicate sia per il modo treno che per il modo combinato strada/ferrovia.

Nella tabella 2 è riportata una sintesi delle osservazioni rilevate per tipologia di servizio.

Tabella 2 Numero di osservazioni rilevate

	Spedizioni dalla Sicilia	Spedizioni verso la Sicilia	Totale
Treno Tradizionale	13009	24317	37326
Combinato	6818	17175	23993
Totale	19827	41492	61319

3.3 Il database mare

Il database *mare* comprende 1543 interviste effettuate presso i porti siciliani nel mese di settembre 2003, relative al trasporto di merce mediante la modalità combinato strada/mare.

Dal totale di interviste considerate, è stato estratto un sottoinsieme che include:

- spedizioni relative a mezzi pieni;
- spedizioni con origine in Sicilia e destinazione in Italia, e viceversa;
- spedizioni con una sola origine ed una sola destinazione, identificate rispettivamente dal relativo comune di origine e destinazione;
- quantità di merce spedita superiore a 5 t.

È importante evidenziare che per distanze tra terminali intermodali superiori alle 200 – 250 miglia circa, l'aliquota di trasporto combinato strada/mare ro-ro non accompagnato diventa preponderante rispetto a quella relativa al trasporto accompagnato.

Al fine di considerare in modo adeguato tale aspetto, il database ottenuto dall'applicazione dei succitati criteri di selezione è stato analizzato in funzione della distanza O/D, suddividendo il totale delle interviste (461) in due classi, secondo lo schema riportato nella tabella 3.

Dai rilievi effettuati emerge che per la classe I il 30% delle spedizioni avviene mediante combinato strada/mare accompagnato, mentre la restante aliquota (70% del totale) avviene mediante combinato strada/mare non accompagnato; per la classe II soltanto il 3% delle spedizioni avviene mediante combinato strada/mare accompagnato, mentre il restante 97% del totale è effettuato con trasporto combinato strada/mare non accompagnato.

Nell'ambito di questo lavoro, si è tenuto conto delle diverse modalità di trasporto combinato strada/mare (accompagnato e non accompagnato) supponendo che:

- il trasporto combinato strada/mare sia accompagnato per il 70% del totale e non accompagnato per il restante 30%, per le interviste appartenenti alla classe I;
- il trasporto combinato strada/mare sia accompagnato per il 10% del totale e non accompagnato per il restante 90%, per le interviste appartenenti alla classe II.

Tabella 3 Analisi del database *mare* in funzione della distanza O/D

	Origine (Destinazione)	Destinazione (Origine)	Numero Interviste (%)
Classe I	Sicilia	Calabria, Puglia, Basilicata, Campania	231 (52 %)
Classe II	Sicilia	Molise, Lazio, Abruzzo, Umbria, Marche, Toscana, Veneto, Liguria, Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Veneto, Trentino Alto Adige, Friuli Venezia Giulia	210 (48 %)

Le informazioni relative al trasporto combinato strada/mare non accompagnato sono state ricavate mediante un'indagine diretta svolta presso aziende di autotrasporto siciliane, che sono state sottoposte ad un questionario appositamente messo a punto in questo lavoro, nel mese di luglio 2006.

Si noti che sono state preservate le originarie percentuali dei due database, sia in termini di natura merceologica che di direttrice dello spostamento.

3.4 Estensione temporale dei database

Poiché i database sono definiti rispetto a differenti periodi di riferimento (Tabella 4) è necessario ricavare fattori di espansione che consentano di estendere le informazioni contenute nei singoli database ad un periodo di un anno.

In questo lavoro, i database si sono riportati alle quantità annue spedite, ricavate dal confronto tra i valori presenti nel Piano Regionale Trasporti Sicilia (1999) e da una stima della domanda modale al 2003, sinteticamente riportate nella tabella 5.

Dal Piano Regionale Trasporti Sicilia (2003) è possibile desumere i valori annui di tonnellate di scambio Sicilia – Italia per le modalità autotrasporto e ferrovia, pari, rispettivamente, a 8572510 t e 2426709 t; per la modalità combinato strada/mare sono riportate le tonnellate globali di scambio Sicilia – Continente, pari a 3800000 t. Il totale annuo di tonnellate rispetto a tutte le modalità è pari a 14799219 t, valore confrontabile con quello ricavato dal Database Domanda Stimata (2003), i cui dati sono stati stimati considerando le variazioni percentuali subite dalle diverse modalità di trasporto negli ultimi anni.

Nell'ambito di questo lavoro, i database relativi alle modalità autotrasporto e combinato strada/mare sono stati estesi temporalmente considerando i totali annui riportati nel Database Domanda Stimata (2003); per le modalità treno tradizionale e combinato strada/ferrovia si assumono come valori di riferimento quelli riportati nel database *Ferrovia* (2002), che,

essendo riferito ad un periodo temporale pari ad un anno, non necessita di alcun fattore di espansione.

Tabella 4 Riepilogo database

Modalità di trasporto		Database filtrato	Database originario	
		Numero Interviste	Numero Interviste	Periodo Indagine Tasso Campionamento
Autotrasporto		457	41006	6 mesi 15 %
Treno		37000	37000	1 anno 100 %
Combinato Strada/Ferrovia		24100	24100	1 anno 100 %
Combinato	Accompagnato	183	1543	1 mese /
Strada/Mare	Non Accompagnato	258	27	1 mese /

Tabella 5 Analisi delle tonnellate annue di scambio Sicilia/Italia per modo di trasporto

Modalità di trasporto	Piano Reg. Trasporti Sicilia (1999) ¹	Database Domanda Stimata (2003)
Autotrasporto	8572510	7600000
Ferrovia	2426709	2200000
Combinato Strada/Mare	3800000*	5000000
Totale	14799219	14800000

*Tonnellate annue di scambio Sicilia/Continente

Dalla media delle quantità di carico riportate nelle interviste relative a mezzi pieni, contenute nel database strada (2003), è possibile ricavare il carico medio di trasporto per spedizione *CMVP*, pari a 21 t.

Se si indica con Ton_{as}^I il numero totale di tonnellate/annue scambiate dalla Sicilia con l'Italia, al netto delle rinfuse liquide e solide, con la modalità autotrasporto, è possibile ricavare il corrispondente totale annuo di spedizioni di veicoli pesanti NVP_{as}^I con la modalità autotrasporto, come:

$$NVP_{as}^I = \frac{Ton_{as}^I}{CMVP} = \frac{7600000}{21} = 361905.$$

Analogamente, indicando con Ton_{aCM}^I il numero totale di tonnellate/annue scambiate dalla Sicilia con l'Italia, al netto delle rinfuse liquide e solide, con la modalità combinato strada/mare, è possibile ricavare il corrispondente totale annuo di spedizioni di veicoli pesanti NVP_{aCM}^I con la modalità combinato strada/mare, come:

$$NVP_{aCM}^I = \frac{Ton_{aCM}^I}{CMVP} = \frac{5000000}{21} = 238095.$$

Si noti che il carico medio *CMVP* ricavato mediando le quantità di carico riportate nelle interviste, relative a mezzi pieni, del database mare (2003) è anche in tal caso pressoché pari a 21 t.

Nella tabella 6 è riportato il totale annuo di spedizioni nelle ipotesi succitate.

¹ I dati sono stati desunti da elaborazioni CNT (1999)

Tabella 6 Totale spedizioni per modo di trasporto

Modalità di trasporto	Numero totale spedizioni annue
Autotrasporto	361905
Treno	37000
Combinato Strada/Ferrovia	24100
Combinato Strada/Mare	238095

La calibrazione finale dei parametri è stata effettuata su un sottocampione estratto in maniera casuale dal campione originario (Tabella 7), le cui dimensioni rispettano le relazioni esistenti nell'universo campionario indicato nella Tabella 6, sulla base del rapporto 1:1000, pertanto non è necessario introdurre pesi nella calibrazione.

Inoltre, i database utilizzati per la calibrazione preservano le percentuali dei database originari, sia in termini di direttrice dello spostamento sia in termini merceologici.

Tabella 7 Struttura campione calibrazione

Modalità di trasporto	Numero record utilizzati per le calibrazioni	
	Classe I	Classe II
Autotrasporto		362
Treno		37
Combinato Strada/Ferrovia		24
Combinato Strada/Mare	Accompagnato	87
	Non Accompagnato	11
		103
Totale		661

Al fine di ottenere gli attributi di livello di servizio, è possibile utilizzare modelli statistici, sviluppati per alternative di tipo tradizionale e combinato (Russo, 2005). Gli attributi delle modalità combinato sono sviluppati come composizione degli attributi dei modi tradizionali, includendo alcuni attributi specifici derivati dall'uso integrato di differenti modi di trasporto.

4 SPECIFICAZIONE, CALIBRAZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO DI SCELTA MODALE

La stima di un modello di domanda richiede che esso sia: specificato, ovvero che ne sia identificata la struttura matematica; calibrato, determinando delle stime dei parametri di cui è funzione la scelta dell'utente; validato, verificando la ragionevolezza dei coefficienti stimati e la capacità del modello di riprodurre le scelte realmente compiute da un campione di utenti.

Il modello di scelta modale proposto appartiene alla classe dei modelli consignment, ed è basato sulle ipotesi seguenti:

- decisore della spedizione coincidente con il mittente;
- unità di riferimento della scelta considerata al massimo livello di disaggregazione, e quindi coincidente con l'unità di spedizione;
- approccio di tipo probabilistico – comportamentale;

- introduzione di attributi di livello di servizio (tempi e costi) e di attributi relativi alla natura merceologica della merce, alla dimensione della spedizione, alla disponibilità di servizi di trasporto combinato tra le località di origine e di destinazione delle spedizioni;
- dati disaggregati per singola spedizione.

L'insieme di scelta considerato è composto dalle seguenti alternative:

- autotrasporto (S);
- treno (T);
- combinato strada/ferrovia (CF);
- combinato strada/mare accompagnato (CMA);
- combinato strada/mare non accompagnato ($CMnA$).

Il modello proposto è specificato sulla base della teoria dell'utilità aleatoria (Domencich and McFadden, 1975), nell'ipotesi che ciascun individuo sia un decisore razionale n , che massimizza l'utilità relativa alle proprie scelte.

L'utilità della generica alternativa j è espressa come $U_j^n = V_j^n + \varepsilon_j^n$ con V_j^n utilità sistematica e ε_j^n residui aleatori.

Si assume che i residui aleatori siano indipendentemente e identicamente distribuiti secondo una Gumbel, di media zero e parametro θ .

La probabilità di scelta per il generico soggetto decisore n è ottenuta mediante un modello Logit Multinomiale.

L'utilità sistematica $V_j^n(X_{kj}^n)$ è specificata come funzione lineare, rispetto ai parametri β_k , di attributi X_{kj}^n o di loro trasformazioni funzionali $f(X_{kj}^n)$ relativi alle caratteristiche delle alternative e del soggetto decisore (Cascetta, 2006).

Nell'ambito di questo lavoro vengono presentate diverse specificazioni del modello, di tipo operativo ed esplicativo. Gli attributi introdotti sono:

T tempo di percorrenza, che è stato specificato per le varie alternative di scelta, e distinto, per le alternative combinato strada/ferrovia e strada/mare, in alcune specificazioni, in due aliquote:

- somma del tempo di accesso egresso ai terminali intermodali e del tempo di movimentazione ai terminali;
- tempo di percorrenza tra i terminali intermodali;

P prezzo;

NCD variabile ombra non disponibilità combinato (servizio diretto), pari a 1 se sussiste almeno una delle seguenti condizioni:

- la provincia di origine non è caratterizzata dalla presenza di un centro intermodale (combinato strada/ferrovia o strada/mare);
- la provincia di destinazione non è caratterizzata dalla presenza di un centro intermodale (combinato strada/ferrovia o strada/mare);

- le province di origine e di destinazione sono entrambe caratterizzate dalla presenza di un centro intermodale, ma tra i terminali non esiste un servizio diretto, in termini di combinato strada/ferrovia ovvero in termini di combinato strada/mare;

l'attributo è posto pari a 0 altrimenti;

CD variabile ombra complementare della variabile NCD , pari a 1 se $NCD=0$, pari a 0 altrimenti;

P_{30} variabile ombra massa trasportata, pari a 1 se la quantità trasportata nella spedizione è inferiore a 30 tonnellate, pari a 0 altrimenti;

$TRENO$ variabile ombra dell'alternativa treno tradizionale;

$DEPERIBILE$ variabile ombra merce deperibile, pari a 1 se la merce trasportata è deperibile, pari a 0 altrimenti, secondo la classificazione riportata nella tabella 3.4;

$CONSUMO$ variabile ombra merce consumo, pari a 1 se la merce trasportata è merce di consumo, pari a 0 altrimenti, secondo la classificazione riportata nella tabella 3.4;

$INDUSTRIALE$ variabile ombra merce industriale, pari a 1 se la merce trasportata è industriale, pari a 0 altrimenti, secondo la classificazione riportata nella tabella 3.4;

$CF_{M_{30}}$ variabile pari a 1 se l'alternativa modale è il combinato strada ferrovia e se la quantità trasportata nella spedizione è superiore a 30 tonnellate, pari a 0 altrimenti;

$CF_{M_{30}ND}$ variabile pari a 1 se l'alternativa modale è il combinato strada ferrovia e se si verifica che:

- la quantità trasportata nella spedizione è superiore a 30 tonnellate;
- la variabile NCD è pari a 1 per il combinato strada/mare;

l'attributo è posto pari a 0 altrimenti;

D_{AE} variabile che esprime la distanza di accesso/egresso dai terminali ferroviari e/o marittimi;

$CMnA$ variabile pari a 1 se l'alternativa modale è il combinato strada/mare non accompagnato e la distanza porto/porto è superiore a 230 miglia, pari a 0 altrimenti.

I parametri β sono stati stimati utilizzando il metodo della Massima Verosimiglianza, mediante l'ausilio del software Alogit (Daly, 1992).

Il modello è stato validato, verificando la ragionevolezza e la significatività dei coefficienti stimati, così come la capacità di riprodurre le scelte effettuate da un campione di utenti.

La bontà del modello è stata testata attraverso test informali e formali.

I primi si riferiscono alla ragionevolezza dei segni dei parametri calibrati, per cui si attendono segni negativi per i coefficienti dei parametri che rappresentano disutilità dell'utente, segni positivi per i coefficienti dei parametri che ne rappresentano utilità o convenienza.

I test formali consentono di verificare differenti ipotesi relative alle stime di massima verosimiglianza, utilizzando risultati asintotici. La statistica t-student, ad esempio, consente di verificare se i parametri sono significativamente diversi da zero; le statistiche rho-quadro e rho-quadro corretto la bontà del modello, ovvero la capacità di riprodurre le effettive scelte degli utenti.

Il VOT test consente di ricavare il valore monetario del tempo (€/h) dividendo il parametro β_T relativo al tempo di percorrenza per il parametro β_P relativo al prezzo, per ciascun modo di trasporto.

I modelli di utilità aleatoria possono essere considerati a tutti gli effetti delle funzioni di domanda ovvero delle relazioni che esprimono la dipendenza della domanda dalle variabili rilevanti. Nell'ambito di questa interpretazione, è possibile valutare l'elasticità di un modello intesa come variazione percentuale delle probabilità di scelta di un'alternativa rispetto a variazioni di attributi relativi alla stessa alternativa (elasticità diretta) o di un'altra alternativa (elasticità incrociata) (Cascetta, 2006).

Infine, la capacità del modello di riprodurre le scelte degli utenti è stata testata attraverso dei test finalizzati a confrontare le percentuali di scelta reali degli utenti con i valori ricavati dall'applicazione del modello; i test utilizzati sono:

- T1: somma delle probabilità di scelta per modo, rispetto a tutti gli utenti, rapportata al totale di utenti;
- T2: somma del valore 1 per il modo con probabilità massima, del valore 0 per gli altri modi, rispetto a tutti gli utenti, per modo, rapportata al totale di utenti.

Nella tabella 8 vengono presentati alcuni risultati derivati dall'applicazione dei test alla prima specificazione del modello, per testare l'alta velocità sulle autostrade del mare.

Tabella 8 Validazione del modello

	V.O.T. (€/h)	Elasticità rispetto al prezzo su strada	Percentuali aggregate	T1	T2
Strada	245.0	-0.312	54.76	55.12	54.77
Treno	2.0	0.318	5.60	5.25	6.35
Combinato Strada/Ferrovia	70.0	0.318	3.63	3.14	0.00
Combinato Strada/Mare Accompagnato	225.0	0.318	14.83	11.26	8.17
Combinato Strada/Mare non Accompagnato	95.0	0.318	21.18	25.22	30.71
Totale			100.00	100.00	100.00

5 COSTO DEL COMBINATO STRADA/MARE ALTA VELOCITÀ

In questo paragrafo viene proposta l'introduzione del modo combinato strada/mare alta velocità non accompagnato (CMnAHS), supponendo che sia disponibile presso i porti e lungo le rotte che attualmente consentono il trasporto combinato strada/mare tradizionale.

In particolare, viene analizzata la relazione Messina – Salerno, al fine di verificare se l'alta velocità sulle autostrade del mare può consentire una modifica nella distribuzione del trasporto merci.

Si suppone di utilizzare una imbarcazione equipaggiata con due motori propulsivi, che consentano di raggiungere una velocità massima pari a 38 kn. Un'imbarcazione con tali caratteristiche è, ad esempio, la Federico Garcia Lorca, costruita nel 2001 da Rodriquez

Cantieri Navali S.p.A.. Attualmente essa viene utilizzata dalla Balearia Eurolineas Maritimes, sulle rotte Denia – Ibiza e Ibiza - Palma. Si suppone una velocità di crociera pari a 16 kn nei pressi dei porti ed una velocità variabile tra 30 e 38 kn altrove.

Di seguito le tratte coperte a velocità di 16 kn vengono denominate tratte a bassa velocità (D_{LS}); quelle coperte a velocità superiori tratte ad alta velocità (D_{HS}).

Al fine di testare il modo combinato strada/mare alta velocità non accompagnato in differenti condizioni, vengono definiti quattro scenari in funzione della velocità nelle tratte D_{HS} :

- Scenario velocità 30;
- Scenario velocità 32;
- Scenario velocità 35;
- Scenario velocità 38.

Si suppone che, per ogni scenario, la tratta a bassa velocità si estenda per circa 10.0 miglia marine dal porto di origine e per circa 10.0 miglia in prossimità del porto di destinazione; la tratta ad alta velocità si estende quindi per le restanti 136.1 miglia marine. Si suppone inoltre che la tratta a bassa velocità venga percorsa in ogni scenario alla velocità di 16 kn.

Riguardo il consumo di combustibile, viene ricavata la curva di consumo in funzione delle miglia marine percorse e dei motori utilizzati, essendo noti: potenza, efficienza e consumo unitario dei motori, densità del carburante, tempi di percorrenza.

Il costo del modo combinato strada/mare alta velocità, per l'operatore, viene ottenuto considerando diversi attributi, relativi all'acquisto e alla manutenzione dell'imbarcazione, alle tasse portuali, al consumo, al numero di viaggi/giorno, ecc. Alcuni attributi vengono considerati esogeni rispetto all'analisi condotta, altri endogeni, perché ricavabili dalla combinazione di attributi esogeni oppure esogeni con endogeni.

Gli attributi esogeni sono relativi al costo di acquisto dell'imbarcazione, all'equipaggio, ai giorni lavorativi e alle tasse portuali.

Nell'ambito di questo lavoro si assume che:

- l'equipaggio sia composto da 10 membri, con una retribuzione media oraria ricavata da valori di letteratura;
- la retribuzione mensile sia funzione del numero di giorni lavorativi al mese e delle ore lavorative giornaliere, funzione del tempo di viaggio e del numero di viaggi/giorno.

Il costo di acquisto di un'imbarcazione dotata di queste caratteristiche si attesta intorno a 50 milioni di euro, che si ipotizza debbano essere ammortizzati in 5 anni, con un costo annuo di 10 milioni di euro. Per semplicità, non viene considerato il tasso di rendimento dell'investimento, assumendo che l'effettivo costo di acquisto sia inferiore a 50 milioni di euro, e che questo valore venga raggiunto attraverso incrementi annuali. Inoltre, viene considerato un costo annuo di manutenzione di circa 1 milione di euro. Si assume che la somma dei costi fissi portuali sia di circa 100 €. Infine, si suppone una capacità dell'imbarcazione di 60 TEU.

Nella tabella 9 sono indicati gli attributi esogeni considerati in questo lavoro.

Nella tabella 10 vengono indicati gli attributi endogeni.

Tabella 9 Attributi esogeni

Attributi		Unità di misura
E	Membri equipaggio	numero
COE	Retribuzione oraria dell'equipaggio	€/h
CA	Costo di acquisto dell'imbarcazione	10^6 €
AA	Periodo di ammortamento	anni
CM_a	Costo di manutenzione annuale dell'imbarcazione	10^6 €/anni
CC	Capacità	40 ft - container
V_{LS}	Velocità nella tratta D_{LS}	kn
V_{HS}	Velocità nella tratta D_{HS}	kn
CT	Costo dei consumi per viaggio	€/viaggio
CT	Tassa Portuale	€
GL_m	Numero di giorni lavorativi mensili	giorni

Tabella 10 Attributi endogeni

Attributi		Espressione	Unità di misura
T	Tempo di viaggio	$(D_{LS_o} + D_{LS_D})/16.0 + D_{HS}/v_{HS}$	h
MNV_g	Massimo numero di viaggi/giorno	$\text{int}(24/T)$	numero/giorno
NV_g	Numero di viaggi/giorno	$[1 ; MNV_g]$	numero/giorno
OL_g	Ore lavorative giornaliere	$NV_g \cdot T$	h
CE_m	Salario mensile dell'equipaggio	$COE \cdot OL_g \cdot GL_m$	€
GL_a	Giorni lavorativi annui	$12 \cdot GL_m$	giorni
CE_v	Costo dell'equipaggio per viaggio	$CE_m / (GL_m \cdot NV_g)$	€/viaggio
CA_v	Costo di acquisto dell'imbarcazione per viaggio	$CA / (AA \cdot GL_a \cdot NV_g)$	€/viaggio
CM_v	Costo di manutenzione dell'imbarcazione per viaggio	$CM_a / (GL_a \cdot NV_g)$	€/viaggio

In questo lavoro, in maniera schematica, si definisce costo ricavato per viaggio da modello il costo che risulta dalla seguente relazione:

$$CV^{BE} = (CA_v + CM_v + CE_v + CT + CP)/CC$$

con

CA_v costo di acquisto dell'imbarcazione, riportato al singolo viaggio;

CM_v costo di manutenzione dell'imbarcazione, riportato al singolo viaggio;

CE_v costo dell'equipaggio, riportato al singolo viaggio;

CT costo dei consumi, riportato al singolo viaggio;

CP tassa portuale;

CC capacità dell'imbarcazione.

Nella tabella 11 viene riportato il costo ricavato per viaggio da modello ed il costo attuale del biglietto, per il trasporto di un semirimorchio di 14 m, sull'autostrada del mare Messina–Salerno, circa pari a € 340.30. L'incremento del costo ricavato, rispetto al costo attuale varia tra il 46 % ed il 54 %, se il numero di viaggi/giorno è pari a 4.

Tabella 11 Incremento percentuale del costo di break-even rispetto al costo attuale, relativo al trasporto di un semirimorchio sull'autostrada del mare Messina – Salerno

Scenario velocità	Costo attuale del biglietto (€)	Incremento percentuale del costo da modello ($NV_g=4$)	Incremento del costo da modello ($NV_g=4$) (€)
30	340.30	45.92	156.27
32		48.83	166.07
35		53.15	180.87
38		53.52	181.04

6 VARIAZIONE DELLA DOMANDA SULL'AUTOSTRADA DEL MARE MESSINA – SALERNO A SEGUITO DELL'INTRODUZIONE DELL'ALTA VELOCITÀ

Al fine di stimare la variazione di domanda sull'autostrada del mare Messina – Salerno, sono considerate 6 alternative di scelta modale: autotrasporto; treno; combinato strada/ferrovia; combinato strada/mare accompagnato; combinato strada/mare non accompagnato e combinato strada/mare non accompagnato alta velocità.

Il modo combinato strada/mare non accompagnato alta velocità è definito in funzione della velocità massima V_{HS} e dell'incremento percentuale del relativo costo, rispetto al costo attuale del biglietto.

Sono considerati diversi scenari velocità_prezzo; per ognuno di essi sono stimate le variazioni di probabilità di scelta, per il campione di utenti considerato. Ciascuno scenario è definito in funzione degli attributi di livello di servizio del modo combinato strada/mare non accompagnato alta velocità, ovvero considerando:

- una velocità massima V_{HS} , variabile tra 30 kn e 38 kn;
- un incremento del costo di trasporto, variabile tra il 20% ed il 70%, rispetto al costo attuale del biglietto del modo combinato strada/mare non accompagnato.

Le probabilità di scelta del modo combinato strada/mare non accompagnato alta velocità sono valutate considerando le specificazioni ed i parametri ricavati per il modo combinato strada/mare non accompagnato attuale.

Da un punto di vista comportamentale, in questa fase si assume che l'utente non percepisca differenze tra le alternative combinato strada/mare non accompagnato alta velocità e attuale.

In questo lavoro, le variazioni di scelta modale vengono valutate applicando i test T1 e T2.

Nella figura 1 viene riportata la variazione della probabilità di scelta del modo combinato strada/mare non accompagnato alta velocità, in funzione dell'incremento percentuale del costo rispetto a quello attuale, per una velocità VHS pari a 38 kn. Nella stessa figura viene proposta la variazione di domanda merci che si sposta dal modo autotrasporto verso la nuova alternative introdotta, ottenuta come prodotto tra la variazione percentuale delle probabilità di

scelta e la domanda annuale merci, stimata, nelle ipotesi inizialmente assunte, circa pari a 76000000 t.

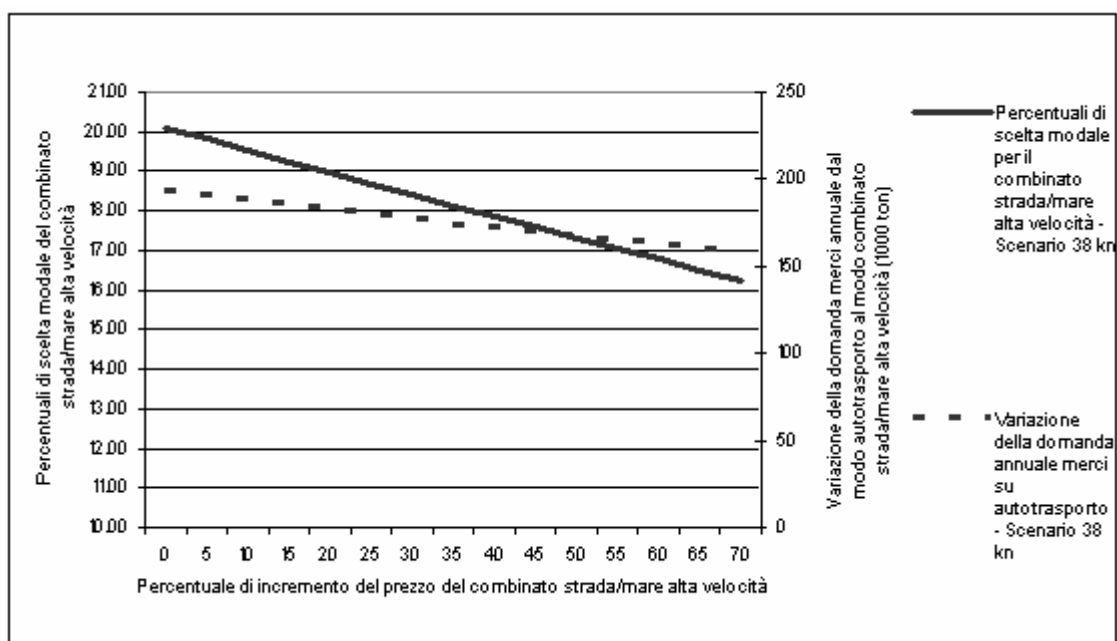


Figura 1 Variazione della percentuale di scelta del modo combinato strada/mare alta velocità in funzione dell'incremento percentuale del costo rispetto a quello attuale, considerando una velocità massima di 38 kn (Test T1)

7 PRINCIPALI RISULTATI RICAVALI

In questa nota è stato proposto un modello di scelta che consente di simulare le probabilità di scelta modale merci, a scala nazionale, introducendo, tra le alternative, il modo combinato strada/mare distinto in accompagnato e non accompagnato, e, testando, per quest'ultimo, gli effetti derivanti dall'introduzione dell'alta velocità.

In questo paragrafo vengono confrontati il costo ricavato da modello per il servizio proposto e i risultati ottenuti dai test T1 e T2.

Supponendo che il numero di viaggi/giorno sia pari a 4, l'incremento percentuale del costo del servizio introdotto, rispetto al costo attuale del biglietto, varia tra il 45% ed il 55% (45.92%, 48.83%, 53.15% e 53.52 % per velocità massime VHS pari a 30, 32, 35 e 38 kn, rispettivamente). Questi valori sono confrontabili con le ipotesi assunte negli scenari velocità_prezzo 30.45, 32.50, 35.55, 38.55. Pertanto, le percentuali di scelta modale per il modo combinato strada/mare alta velocità si attestano tra il 16.55% e il 25.57 % (Tabella 12). La domanda media annuale per il modo combinato strada/mare alta velocità è ottenuta moltiplicando la percentuale di scelta ricavata per la domanda merci annuale per il modo combinato strada/mare, circa pari a 5000000 t. I risultati ricavati sono presentati nella tabella

13, e confermano la competitività dell'alternativa combinato strada/mare alta velocità rispetto all'autotrasporto.

Il modello può essere considerato un utile strumento di supporto per le compagnie di navigazione, in merito a politiche di investimento e a natura dei servizi offerti.

Tabella 12 Confronto tra il costo ricavato da modello e il costo del biglietto attuale sull'autostrada del mare Messina–Salerno

Scenario velocità.prezzo	Numero di viaggi/giorno	Velocità massima VHS (kn)	Costo ricavato da modello per il combinato strada/mare alta velocità (€)	Incremento percentuale del costo (%)	Percentuale di scelta per il combinato strada/mare alta velocità	
					Test T1	Test T2
30.45	4	30.0	496.57	45.92	16.55	25.26
32.50	4	32.0	506.48	48.83	16.59	25.26
35.55	4	35.0	521.15	53.15	16.71	25.42
38.55	4	38.0	522.43	53.52	17.04	25.57

Tabella 13 Domanda annuale media per il combinato strada/mare non accompagnato alta velocità sull'autostrada del mare Messina – Salerno

Scenario velocità.prezzo	Numero di viaggi/giorno	Percentuale di scelta per il combinato strada/mare alta velocità	Domanda media annuale (Test T1) (10 ³ metric tonnes)
30.45	4	16.55	827.50
32.50	4	16.59	829.50
35.55	4	16.71	835.50
38.55	4	17.04	852.00

Bibliografia

- Ben Akiva M., Lerman S. (1985) *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. MIT Press Cambridge, MA.
- Daly, A.J. (1992) *ALOGIT 3.2 User's Guide*. The Hague: Hague Consulting Group.
- Bayliss B. (1988). *The measurement of Supply and Demand in Freight Transport*. Avebury, Aldershot, England.
- Cascetta E. (2006) *Modelli per i sistemi di trasporto. Teoria ed applicazioni*. UTET Università, Torino.
- Cascetta E., Iannò D. (2000) Calibrazione aggregata di un sistema di modelli di domanda merci a scala nazionale. In G.E. Cantarella and F. Russo (Eds.) *Metodi e Tecnologie dell'Ingegneria dei Trasporti.*, Franco Angeli, Milano, 156-178.
- Di Gangi M., Montella B., Russo F. (1994). Mode choice models for freight transportation: the italian market, Preprint of *IATBR-94* Valle Nevado. Santiago, Chile.
- Domencich T.A., McFadden D. (1975) *Urban travel demand: a behavioural analysis*. American Elsevier, New York.

- European Commission (2006) Motorways of the sea: Shifting freight off Europe's roads.http://ec.europa.eu/transport/intermodality/motorways_sea/projects_call2005_en.htm
- Freight Transportation Group, MIT(1980). Disaggregate Model of Modal choice in Produce Transportation.
- Harker P. T. (1987). Predicting Intercity Freight Flows. The Wharton School, University of Pennsylvania, USA VNU SCIENCE PRESS Utrecht, The Netherlands.
- McFadden D., Winston C. (1981). Joint estimation of Discrete and Continuous Choices in Freight Transportation. Presented at the *1981 Meeting of the Econometric Society*.
- Ministero dei trasporti (2007) *Piano Generale della Mobilità. Linee Guida*.
http://www.trasporti.gov.it/page/NuovoSito/mop_all.php?p_id=00175
- Nuzzolo, A., Russo, F. (1995). A disaggregate freight modal choice model. *Proceedings of 7th World Conference on Transport Research*. Sydney.
- Nuzzolo A., Russo F. (1997b). Modal split at international level: a system of models for italian-based freight. *Proceedings of 25th PTRC, European Transport Forum*. London.
- Nuzzolo A., Russo F. (1998). A logistic approach for freight model choice model. *Proceedings of 26th PTRC, European Transport Forum*. London.
- Picard G., Gaudry M. (1993). A Box-Cox Logit Model of Intercity Freight mode Choice. CRT Montreal, Publication no. 898.
- Regan A.C., Garrido R. (2001) Freight demand and shipper behavior modeling: state of the art, directions for the future, in Hensher, D.A., King, J. (eds.) *The Leading Edge of Travel Behavior Research*, Pergamon Press, Oxford.
- Russo (2005) *Sistemi di trasporto merci. Approcci quantitativi per il supporto alle decisioni di pianificazione strategica, tattica ed operativa a scala nazionale*. Franco Angeli, Milano.
- Russo F., Assumma V. (2005) Demand model at international level: a system of models for the Mediterranean Free Trade Zone. *Proceedings of AET Conference*. September 2005. Strasburg (France)
- Train K. (2003) *Discrete choice methods with simulation*. MIT Press Cambridge, Massachusetts.
- Winston C. (1983). The Demand for freight Transportation: Models and Applications. *Transportation Research*, 17A, 419-427.

ABSTRACT

In recent years, the prevalent use of road freight transport in Europe has led to higher accident risk, air pollution and a lower level of service. Though economically efficient for short distances and, to date, for perishable goods, this transport mode is not otherwise competitive. In a sustainable perspective it is important to find out why road transport is chosen and what factors can produce a readjustment among modal choices.

Recently new high speed ships have been produced for passenger transport that move with an average speed of 38-40 kn. Employment of these fast ships can represent an efficient alternative to road freight transport, supporting at the same time the development of motorways of the sea.

The European Commission introduced the concept of motorways of the sea in its 2001 transport White Paper, underlining that it is a really competitive alternative to land transport. The 2004 revision of the guidelines for trans-European transport networks (TEN-T) included the development of four marine corridors as one of 30 priority projects, which receive the bulk of EU funding under TEN-T (Project no. 21). At present, the European Commission is supporting the elaboration of master plans for the development of motorways of the sea in the Baltic, Atlantic and Mediterranean (European Commission, 2006).

The aims of our work are:

- to construct a consignment model to simulate modal choices for national freight transport, among alternative traditional modes (road transport and railway) and combined modes (road-railway and road-sea through short sea shipping, accompanied and unaccompanied);
- to assess variation in demand caused by the introduction of combined road-sea high speed mode; high speed on motorways of the sea, when accessible, gives a real alternative for perishable and high value goods for a large number of states, such as the Mediterranean countries, the Baltic, Persian Gulf, Gulf of Mexico, Japanese Islands, Chinese and so on.

Below, we are going to present state of the art freight modal choice models; the databases used for model estimation; the model specification, calibration and validation; the description of combined road-sea high speed mode tested; the break-even analysis and the main results obtained.