



ETEROGENEITÀ DELLE PREFERENZE E
RILEVANZA DEGLI INDICATORI PSICOMETRICI
NELLE DECISIONI DI SCELTA MODALE: LE
PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO INTERMODALE.
UN CASO DI STUDIO.

*Salvatore Amoroso¹, Angela S. Bergantino², Michel Bierlaire³,
Mario Catalano¹, Marco Migliore¹*

1. Introduzione

Questa ricerca ha un duplice obiettivo. Da un lato ottenere elementi conoscitivi utili alla pianificazione in ambito regionale di iniziative a supporto del trasporto intermodale, con particolare riferimento al trasporto strada-mare (Ro/Ro) e alla realizzazione di autoporti (piattaforme logistiche attraverso le quali ottenere un maggior consolidamento delle spedizioni e la promozione di servizi ad elevato valore aggiunto come controllo di qualità della merce, servizi di info-mobilità, etc.); dall'altro sviluppare strumenti analitici di supporto alla politica regionale. Il contesto geografico di riferimento è la regione Sicilia dove, nonostante la posizione geografica favorevole, l'intermodalità terra-mare stenta a decollare. A tal fine, è stata condotta una analisi di tipo *stated preference* su un campione di autotrasportatori, diretta a studiarne le principali caratteristiche e le

¹ Dipartimento d'Ingegneria dei Trasporti, Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, amoroso@unipa.it.

² Dipartimento di Scienze Economiche e Metodo Matematici, Università degli Studi di Bari, Via Camillo Rosalba 53, 70124 Bari, a.bergantino@dse.uniba.it; abergan@tin.it.

³ Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1015 Lausanne, michel.bierlaire@epfl.ch.

preferenze, ed è stato proposto un modello di analisi dei dati basato sul concetto di utilità aleatoria del tipo *mixed logit*. Per garantire una maggiore aderenza del modello alla realtà si è proceduto sia ipotizzando che gli operatori di trasporto percepiscano in modo eterogeneo l'importanza del tempo di viaggio, sia includendo, nella stima, variabili latenti relative alla percezione dell'importanza di alcuni rilevanti attributi di scelta.

2. Descrizione del quadro teorico di analisi

Questo lavoro si basa sulla letteratura scientifica relativa alla modellizzazione della domanda di trasporto tramite la teoria dell'utilità aleatoria, che rappresenta uno dei più consolidati approcci alla stima della funzione di domanda nel caso di contesti di scelta discreta (Ben Akiva e Lerman, 1985; Domencich e McFadden, 1975). Tra i modelli sviluppati più di recente, in grado di cogliere meglio la complessità delle dinamiche decisionali individuali, il modello *mixed logit* consente di tener conto dell'eterogeneità delle preferenze e della correlazione sia tra le alternative disponibili, sia tra i coefficienti delle variabili esplicative sia, infine, tra le preferenze di un medesimo soggetto che si manifestano in diversi istanti del tempo (dati *panel*) o in differenti contesti di scelta (dati *stated preference*) (McFadden e Train, 2000). In particolare, in un modello di scelta discreta, l'utilità percepita da un decisore n , per la generica alternativa j , in relazione ad un contesto di scelta s , può essere rappresentata dalla seguente funzione lineare:

$$U_{njs} = \beta_n' \cdot x_{njs} + \varepsilon_{njs} \quad (1)$$

dove:

x_{njs} = vettore delle variabili indipendenti (attributi delle alternative e caratteristiche socio-economiche del decisore);

β_n = vettore dei coefficienti delle variabili indipendenti;

ε_{njs} = termine aleatorio, distribuito come una variabile di Gumbel con media nulla.

Al fine di rappresentare l'eterogeneità delle preferenze, l'utilità dell'alternativa j si specifica assumendo che il vettore dei coefficienti β_n vari nell'ambito della popolazione di riferimento con densità di probabilità $f(\beta_n/\theta)$, dove θ rappresenta media e matrice varianza-covarianza del vettore aleatorio (si possono adottare diverse funzioni di densità). Per un dato valore di β_n , la probabilità condizionata (da β_n) che un rispondente scelga l'alternativa j , nel contesto di scelta s , può essere espressa tramite la formulazione *logit multinomiale* standard:

$$L_{njs}(\beta_n) = \frac{\exp(\beta_n' \cdot x_{njs})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_n' \cdot x_{njs})} \quad (2)$$

Poiché si è ipotizzato che β_n sia un vettore aleatorio, la probabilità di scelta incondizionata è l'integrale della probabilità $L_{njs}(\beta_n)$, in relazione a tutti i possibili valori di β_n , con pesi pari ai diversi valori assunti dalla funzione di densità di probabilità $f(\beta_n/\theta)$:

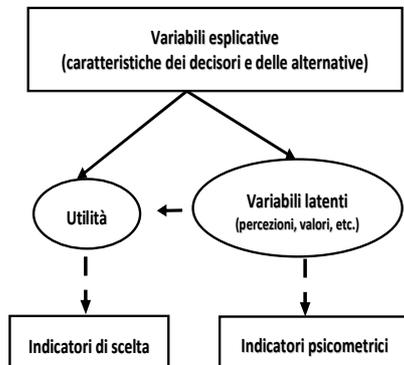
$$P_{njs} = \int L_{njs}(\beta_n) \cdot f(\beta_n|\theta) \cdot d\beta_n \quad (3)$$

La probabilità espressa dalla precedente relazione può essere approssimata con metodi di simulazione, effettuando estrazioni dalla densità di probabilità $f(\beta_n/\theta)$ e calcolando la media dei valori di probabilità di scelta che ne derivano.

Per considerare nel modello fattori in grado di cogliere l'influenza sulle scelte di alcuni aspetti dei processi cognitivi individuali, si possono integrare le variabili latenti, rendendo il modello (3) un cosiddetto "modello ibrido" (Walker, 2001; Morikawa *et al.*, 1996). I modelli ibridi sono costituiti da due parti fondamentali (Fig. 1):

- I parte: le note relazioni di un modello a scelta discreta, in cui delle equazioni strutturali mettono in luce l'influenza di variabili esplicative (osservate e latenti) relative al decisore e alle alternative sull'utilità percepita ed indicatori di scelta rivelano le preferenze dei decisori (che si possono considerare delle vere e proprie variabili latenti);
- II parte: caratterizzata da equazioni strutturali che esprimono il ruolo delle caratteristiche dei decisori (variabili socio-economiche) nelle dinamiche interiori che formano le variabili latenti. Inoltre, sono presenti relazioni tra i fattori latenti e gli indicatori psicometrici che ne forniscono una manifestazione, in quanto derivano da risposte a quesiti volti a far emergere conoscenze, valori, percezioni, ecc. dei soggetti intervistati.

Fig. 1 – Struttura di un modello a scelta discreta integrato con variabili latenti



3. La raccolta dei dati *stated preferences*

L'indagine ha coinvolto 90 imprese di autotrasporto merci siciliane, alle quali è stato proposto un questionario costituito da 4 parti. Nella prima sezione si richiede di descrivere l'insieme di scelta attuale, costituito dalle alternative "tutto strada" e strada-mare Ro/Ro, indicando per ciascuna il valore dei seguenti attributi di scelta: costo, tempo, percentuale di spedizioni in ritardo, percentuale di spedizioni con danni alla merce o ammanchi, frequenza del servizio. La seconda sezione del questionario contiene un'indagine sulle preferenze dichiarate (Louviere *et al*, 2000), in cui si propongono 8 scenari ipotetici di scelta tra le seguenti modalità di trasporto: "tutto strada", "tutto strada" avvalendosi dei servizi di un terminale logistico (autoporto), strada-mare Ro/Ro. Questi scenari sono stati elaborati selezionando il modo "tutto strada" come opzione di riferimento e considerando, per le due alternative rimanenti, due attributi bilivello (la differenza nel costo monetario (ΔC_{TL} e $\Delta C_{Ro/Ro}$) e nel tempo di viaggio (ΔT_{TL} e $\Delta T_{Ro/Ro}$)). Si è limitata così la dimensione del piano fattoriale completo a 16 esercizi di scelta (2, i livelli, elevato a 4, gli attributi) che, con l'applicazione di una tecnica di parzializzazione del piano fattoriale (*block design*), ha consentito la creazione di due blocchi di 8 scenari ipotetici da sottoporre a due diversi gruppi di imprese. La terza parte del questionario è finalizzata ad acquisire informazioni sulle caratteristiche del parco veicolare e delle attrezzature per la logistica. Nella sezione finale, il rispondente valuta, utilizzando una scala semantica a 5 livelli (1 = non importante, ..., 5 = molto importante), alcuni attributi di

scelta (tempo di viaggio, costo monetario del trasporto, rischio di ritardo, rischio di danni alla merce, frequenza del servizio).

4. Specificazione e stima del modello di utilità aleatoria e analisi dei risultati

Il comportamento di scelta degli autotrasportatori siciliani è stato modellato attraverso un *mixed logit*. La verifica, attraverso test statistici, dell'opportunità di considerare componenti aleatori per rappresentare l'eterogeneità delle preferenze dei decisori e le correlazioni tra le alternative di scelta ha condotto, infatti, a questa scelta (Amoroso *et al.*, 2010; Bergantino, 2009). Il modello stimato, dunque, da un lato, "cattura" le correlazioni tra le alternative e, dall'altro, assume che l'utilità marginale del tempo sia variabile. In particolare, il *mixed logit* in esame "cattura" una duplice forma di correlazione tra le opzioni di scelta: la correlazione tra "Strada" e "Terminale Logistico", che sono modalità terrestri, e la correlazione tra "Terminale Logistico" e "Ro-Ro", dovuta alla comune caratteristica di ridurre i costi unitari di trasporto attraverso operazioni di *transshipment*. Tale risultato è stato conseguito tramite l'inserimento nelle funzioni di utilità di componenti di errore con distribuzione normale, media nulla e deviazione standard da stimare ($\theta_1 \cdot E_1$ e $\theta_2 \cdot E_2$).

L'eterogenea percezione del "peso" del tempo di viaggio è colta sia con un approccio sistematico sia attraverso l'inserimento di una variabile aleatoria. In primo luogo, è stata esplicitata una relazione tra una parte del coefficiente del tempo e la dimensione dell'operatore, espressa attraverso una variabile categoriale ($Dim=0$ se la somma tra i veicoli e le unità di carico a disposizione dell'impresa è ≤ 20 , 1 altrimenti). In secondo luogo, si è introdotta un'altra componente del coefficiente del tempo pari alla somma tra una costante e una variabile casuale normale, che non dipende dallo scenario ipotetico di scelta, per tenere conto della correlazione intrinseca tra le osservazioni che riguardano lo stesso rispondente. Infine, oltre agli attributi tempo e costo, è stata inserita, specificamente nelle funzioni di utilità delle alternative modali terrestri, una variabile dummy ($Dep=1$ se la merce trasportata usualmente dal decisore è deperibile, 0 altrimenti).

La specificazione completa del modello stimato è riportata in Amoroso *et al.*, (2010).

Il modello è stato stimato con il *metodo della massima verosimiglianza simulata*, con estrazioni casuali dalla distribuzione normale del coefficiente

del tempo⁴. La Tabella 1 mostra i risultati della stima (con 2.500 estrazioni casuali⁵). I coefficienti hanno segni attesi. In particolare, il valore stimato del parametro relativo all'interazione tra "peso" del tempo e dimensione dell'operatore denota come al crescere della dimensione, l'utilità marginale del tempo si riduca: per un piccolo operatore, l'aumento del tempo di viaggio accresce in misura maggiore il rischio di perdere opportunità di lavoro, a causa della indisponibilità di risorse (veicoli, autisti). I parametri associati al tempo di viaggio devono essere interpretati tenendo presente che, nel caso di distribuzione normale, $\beta_T + \beta_{DimT} \cdot (Dim \cdot Tempo)$ rappresenta la media dell'utilità marginale del tempo e σ_T esprime la sua deviazione standard (cfr. Amoroso *et al.*, 2010). In particolare, il valore stimato di quest'ultimo parametro, da un punto di vista statistico, risulta significativamente diverso da zero, anche per un livello di confidenza pari al 99%, il che conferma fortemente l'ipotesi *a priori* di eterogeneità nella percezione dell'importanza del tempo di viaggio⁶.

Tab. 1 – Modello mixed logit

⁴ Le stime sono state effettuate utilizzando il software BIOGEME 1.8 (Bierlaire, 2008).

⁵ La stabilità delle stime è stata verificata in relazione a 5.000 e 10.000 estrazioni casuali.

⁶ In order to understand the magnitude of the results and to compare them at a geographical level, it is interesting to compare the outcomes with those of Bergantino and Bolis (2004, 2005 and 2009) and Bergantino (2007).

Atributi	Coefficienti	Errore Standard	t-test	p-value
<i>Dim (1/0) · Tempo (ore)</i>	0.368	0.214	1.72	0.09
<i>Tempo: β_T</i>	-0.944	0.177	-5.34	0.00
<i>Tempo: σ_T</i>	0.595	0.135	-4.4	0.00
E_1	1.72	0.39	4.41	0.00
E_2	10.1	1.64	6.14	0.00
<i>Costo (euro)</i>	-0.0247	0.00371	-6.66	0.00
<i>Dep_{Strada} (1/0)</i>	11.8	2.34	5.06	0.00
<i>Dep_{TL} (1/0)</i>	1.32	0.644	2.06	0.04
<i>ASA_{Strada}</i>	-4.64	1.46	-3.17	0.00
<i>ASA_{TL}</i>	-1.02	0.362	-2.81	0.01

Base dati: 632 osservazioni di scelta
 Log likelihood finale = -347.001
 Rho-quadro (no coefficients) = 0.500
 Rho-quadro corretto = 0.486
 Valore del tempo (medio) = 38.2 €/ora

5. L'integrazione di variabili latenti nel modello di scelta.

L'ultima fase del lavoro, ancora da approfondire, ha riguardato l'integrazione, nel modello di scelta sviluppato, di fattori in grado di cogliere l'influenza sulle scelte di alcuni aspetti dei processi cognitivi individuali come percezioni, orientamenti, etc. Si è utilizzato, a tal fine, l'insieme degli indicatori psicometrici raccolti su costo, tempo, rischio di ritardo, rischio di danno alla merce, frequenza del servizio. Dalle analisi preliminari per lo sviluppo del modello ibrido, si sono ottenute relazioni statisticamente significative con le scelte modali per l'importanza percepita della puntualità e del tempo. I risultati sembrano dimostrare che al crescere dell'importanza percepita del tempo (*IPS_Tempo*)⁷ ne aumenta, come atteso, l'utilità marginale. Inoltre, la crescita dell'importanza percepita della

⁷ In dettaglio, la variabile tempo è stata inserita nelle funzioni di utilità delle tre alternative impiegando la seguente formulazione: $(\beta_T + \beta_{IPS_Tempo} \cdot IPS_Tempo) \cdot Tempo$, dove $\beta_{IPS_Tempo} \cdot IPS_Tempo$ rappresenta la parte dell'utilità marginale del tempo spiegata dall'eterogenea percezione dell'importanza di tale attributo.

puntualità (*IPS_Punt*) favorisce la scelta dell'opzione Ro/Ro soltanto nel caso in cui questa alternativa sia confrontata con il modo "tutto strada", maggiormente soggetto al rischio di subire gli effetti dei fenomeni di congestione della rete di trasporto. I risultati della stima sono riportati nella Tabella 2.

Infine, dall'analisi delle relazioni tra gli indicatori psicometrici che si sono rivelati significativi e i vari attributi socio-economici, è emersa una relazione statisticamente significativa tra l'importanza percepita del tempo e la dimensione dell'impresa: come già evidenziato, più grande è l'operatore, meno importante è il tempo di viaggio. Da ultimo, l'importanza percepita della puntualità è risultata dipendere dalla dimensione della spedizione. Considerata la frammentazione del contesto economico-produttivo siciliano, un carico elevato postula attività di consolidamento volte ad aggregare più spedizioni; pertanto, ritardare l'espletamento di una consegna potrebbe provocare danni a diversi clienti, a causa di un "effetto domino".

Tab. 2 – Modello logit multinomiale con indicatori psicometrici

Attributi	Coefficienti	Errore Standard	t-test	p-value
<i>Tempo</i> (ore)	-0.113	0.0247	-4.57	0.00
<i>Costo</i> (euro)	-0.00234	0.000591	-3.95	0.00
<i>Dep_{strada}</i> (1/0)	1.23	0.273	4.53	0.00
<i>Dep_{TL}</i> (1/0)	0.498	0.266	1.87	0.06
<i>ASA_{strada}</i>	-1.85	0.289	-6.41	0.00
<i>ASA_{TL}</i>	-1.63	0.171	-9.53	0.00
<i>IPS_Punt_{strada}</i>	-0.245	0.112	-2.18	0.03
<i>IPS_Punt_{TL}</i>	0.274	0.134	2.04	0.04
<i>IPS_Tempo</i>	-0.0514	0.0188	-2.73	0.01

Base dati: 632 osservazioni di scelta
 Log likelihood finale = -427.066
 Rho-quadro (no coefficients) = 0.385
 Rho-quadro corretto = 0.372
 Valore del tempo = 48.2 €/ora

6. Riferimenti bibliografici

Amoroso, S., Bergantino A.S., Bierlaire M., Catalano M., Migliore M. (2010), *A random utility model with latent variables to simulate the choice behaviour of freight transport operators. An application to the Sicilian context*, Atti della XXXI Riunione dell' AISRE, Aosta, settembre 2010.

Ben Akiva M. E., Lerman S. R. (1985), *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press, Cambridge, Mass.

- Bergantino A.S. (2009), *An investigation of direct and indirect demand for transport and logistic services in transition countries: the case of Albania*, in R. Capolupo, S. Cani and G. Feri (ed.), *Towards European Integration: Cooperation and Development Across the Adriatic*, Radio, Bari.
- Bergantino A.S. (2007), Il valore dei servizi di trasporto: un confronto tra il nord e il sud del Paese, *Rassegna Economica*, LXX, 2, 63-80.
- Bergantino A.S., Bolis S. (2008), Monetary values of transport service attributes: land versus maritime ro-ro transport. An application using adaptive stated preferences”, *Maritime Policy and Management*, 35, 2, 159-174.
- Bergantino A.S., Bolis S. (2005), *An Adaptive Conjoint Analysis of Freight Service Alternatives: Evaluating the Maritime Option*, in Reggiani A. and Schintler L. (eds), *Methods and Models in Transport and Telecommunications: Cross-Atlantic Perspectives*, Springer-Verlag, Berlin, 181-198.
- Bergantino A.S., Bolis S. (2004), An Analysis of Maritime Ro-Ro Freight Transport Service Attributes through Adaptive Stated Preference: an Application to a Sample of Freight Forwarders, *European Transport*, 25/26, 33-51.
- Bierlaire M. (2009), *Estimation of discrete choice models with BIOGEME 1.8.*, available at: <http://biogeme.epfl.ch>, May 2010.
- Domencich T. A., McFadden D. (1975), *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*, Elsevier, New York.
- Louviere J., Hensher D., Swait J. (2000), *Stated Choice Methods: Analysis and Application*, Cambridge, Cambridge University Press.
- McFadden D., Train, K. (2000), Mixed MNL Models for Discrete Response, *Journal of Applied Econometrics*, 15: 447-470.
- Morikawa T., Ben-Akiva M., McFadden D. (1996), *Incorporating Psychometric Data in Econometric Choice Models*, Working paper, Massachusetts Institute of Technology.
- Walker J. L. (2001) PhD Thesis, *Extended Discrete Choice Models: Integrated Framework, Flexible Error Structures, and Latent Variables*, Massachusetts Institute of Technology.