R.E.Po.T.

Rivista di Economia e Politica dei Trasporti

Anno 2014, Numero 2

Rivista Scientifica della Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica

ISSN 2282-6599

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2014), n° 2, articolo 1, ISSN 2282-6599

La complessità della valutazione della CO_2 nella pianificazione dei trasporti

Silvio Nocera[1*], Stefania Tonin[1], Maurizio Murino[2], Federico Cavallaro[2+1]

[1] *IUAV University of Venice, Italy*
[2] *EURAC European Academy of Bozen/Bolzano - Institute for Regional Development and Location Management, Italy*

Riassunto

La riduzione delle emissioni di CO_2 è fondamentale per valutare la sostenibilità nella pianificazione dei trasporti. Tuttavia, la maggior parte dei piani di mobilità non è ancora riuscita a trovare una metodologia condivisa per internalizzare tali emissioni e renderle uno dei parametri in grado di influenzare attivamente le scelte finali sulle politiche e sulle misure da adottare. In particolare, risulta estremamente complesso dapprima quantificare, quindi attribuire un prezzo economico unitario alle emissioni di CO_2. Il presente contributo indaga le problematiche relative alla loro monetizzazione, mostrando le metodologie attualmente in uso e il vasto grado di incertezza scientifica ed economica che le caratterizzano. Attraverso una meta-analisi compiuta su una raccolta di circa settecento casi, si è arrivati a limitare l'enorme intervallo attualmente esistente (fino a sei ordini di grandezza) e predire un modello in grado di definire un valore economico basato sugli obiettivi stabiliti preliminarmente dai decisori politici. In tale modo, la CO_2 può essere inclusa attivamente nelle decisioni relative alle misure da intraprendere per una corretta allocazione delle risorse pubbliche, garantendo ai decisori una maggiore trasparenza nelle scelte.

Parole chiave: emissioni di CO_2, valutazione economica, politiche dei trasporti.

1. Introduzione: CO_2 e trasporti

Il cambiamento climatico è una delle principali conseguenze del riscaldamento globale, a sua volta causato dall'effetto serra. Quest'ultimo è un fenomeno naturale, che esprime la capacità dell'atmosfera di trattenere energia termica solare e garantire l'equilibrio termico di un pianeta. Responsabili dell'effetto serra sono i gas serra, sostanze permeabili alla radiazione solare (onda corta), ma riflettenti la radiazione infrarossa di ritorno dalla superficie del pianeta (onda lunga) (McNaught, 1997). In condizioni di equilibrio, il loro effetto radiativo permette di mantenere la temperatura globale media al suolo intorno ai 14°C. Viceversa, in loro assenza, l'energia termica irradiata dal sole verrebbe riflessa dalla superficie per poi disperdersi oltre l'atmosfera, facendo precipitare la temperatura media a -18°C.

L'anidride carbonica[1] (CO_2) rappresenta circa il 75% del totale delle emissioni di gas serra di origine antropica (IPCC, 2008). Essa non è un gas dannoso né per l'ambiente né

[*] Autore a cui spedire la corrispondenza: Silvio Nocera (nocera@iuav.it)

per la salute, almeno fino a quando non supera la soglia di 350 parti per milione/volume (ppmv) (Hansen et al, 2008; EEA, 2011). La sua concentrazione è passata da 288 a 370 ppmv tra il 1850 e il 2000 (CDIAC, 2014), con un'ulteriore crescita significativa negli ultimi dieci anni: nel 2014 il suo valore ha superato i 400 ppmv (NOAA/ESRL, 2014). A questa concentrazione, la CO_2 contribuisce attivamente al cambiamento climatico, ed è pertanto considerata a tutti gli effetti un gas inquinante (Sinha e Labi 2007; EEA, 2011).

I trasporti, che incidono per circa il 25% delle emissioni di CO_2, sono la seconda fonte di emissioni a livello europeo, superati solo dalla produzione di energia elettrica (EC, 2005). A livello urbano, tali cifre sono ancora più elevate, arrivando a circa il 40% delle emissioni complessive (Glaeser & Kahn, 2010). Secondo le previsioni dell'Unione Europea, la domanda di mobilità aumenterà di circa il 50% per le merci e del 35% per i passeggeri tra il 2000 e il 2020 (DGET, 2006). Se non gestita correttamente, questa crescita porterà ad un ulteriore aumento delle emissioni di CO_2, con conseguenze ancora più gravi in termini di concentrazione di gas serra: gli scenari elaborati dell'IPCC, il gruppo scientifico formato all'interno delle Nazioni Unite allo scopo di studiare il cambiamento climatico, prevedono possibili crescite di temperatura collegate all'effetto serra fino a 6°C.

Per queste ragioni, il concetto di efficienza trasportistica deve includere la valutazione delle emissioni di CO_2. Ciononostante, la determinazione di tale efficienza è un argomento critico e dibattuto. La quantificazione dei costi necessari per ripulire l'aria nei pressi della sorgente contaminante, metodo generalmente valido per gli inquinanti locali, si rivela insufficiente per un gas come la CO_2, le cui emissioni hanno effetti a livello globale. Si preferisce, pertanto, ricorrere a tecniche di valutazione più complesse. Tali tecniche sono estremamente eterogenee sia nei metodi, sia nei risultati: i valori unitari sono compresi in un intervallo pari a sei ordini di grandezza (Nocera e Tonin, 2014). Di fronte a risultati così eterogenei, i decisori politici preferiscono spesso trascurare la stima reale dei danni causati dall'aumento di emissioni di CO_2, trattandola genericamente come una esternalità negativa da minimizzare, ma che non rientra negli obiettivi primari dei piani di trasporto.

Tale approccio non è tuttavia coerente con le problematiche relative al riscaldamento globale. Si rende quindi necessario un metodo condiviso e replicabile per la valutazione dei costi da inquinamento e per la loro inclusione nei piani di trasporto. Il successivo paragrafo 2 descrive il ruolo secondario che la CO_2 assume attualmente all'interno dei piani di mobilità. Il paragrafo 3 illustra i principali strumenti politici e metodologie utilizzate per stimare il costo del diossido di carbonio, evidenziando al contempo l'ampio intervallo di stime che ne sono derivate. Il paragrafo 4 individua le principali criticità che affliggono questi metodi, che possono essere sintetizzate come incertezze economiche e scientifiche. Il paragrafo 5 propone un approccio per analizzare tali incertezze e fornire una soluzione ai problemi di stima. Infine, si conclude con una riflessione in termini di politiche dei trasporti, mostrando le conseguenze che derivano dall'includere una opportuna valutazione economica del diossido di carbonio nelle diverse forme di piano della mobilità.

---

[1] Comunemente, la CO_2 viene chiamata anidride carbonica. A titolo informativo, si riporta però che la nomenclatura stabilita dall'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), riserva il termine "anidride" solo a una specifica classe di composti organici. Si dovrebbe pertanto preferire l'espressione "diossido di carbonio", così come nella letteratura scientifica di lingua inglese ("*carbon dioxide*").

2. Il ruolo secondario della CO_2 negli attuali piani di trasporto

Nel tentativo di risolvere le problematiche legate al riscaldamento globale, storicamente si è preferito adottare un approccio di tipo top-down: si pensi ad esempio al protocollo di Kyoto, in cui tutte le nazioni si sono confrontate per trovare un accordo circa la riduzione di emissioni di gas serra a livello mondiale. Si pensi ancora ad Europa "20-20-20", lo strumento applicativo del protocollo di Kyoto a livello europeo. Quest'ultima strategia prevede di ridurre le emissioni del 20% entro il 2020, facendo ricorso ad almeno il 20% di energia prodotta da fonti rinnovabili. A tal fine, è prevista l'adozione di un pacchetto di misure complesse, tra cui la revisione dell'European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) e la promozione delle pratiche di Carbon Capture and Storage (CSS). I trasporti, in questo contesto, dovranno garantire una riduzione delle emissioni pari a non meno del 10% rispetto all'anno 2005 (EU, 2014). Per il lungo periodo, inoltre, vengono proposti obiettivi ancora più ambiziosi, auspicando una riduzione complessiva dei gas serra del 60-80% entro il 2050 (EC, 2011). Similmente al protocollo di Kyoto, anche in Europa "20-20-20" vengono posti degli obiettivi globali che ogni stato europeo aderente deve perseguire. Visti gli enormi interessi economici in gioco, tuttavia, è possibile l'emergere di notevoli difficoltà nel far rispettare tali accordi: la mancata firma degli Stati Uniti al protocollo di Kyoto ne è un esempio emblematico.

Per ovviare a questa criticità, la conferenza sui cambiamenti climatici organizzata dalle Nazioni Unite nel 2011 a Durban, ha segnato una svolta nella pianificazione di politiche per l'adattamento o la mitigazione degli effetti derivanti dal riscaldamento globale. In tale occasione, infatti, è stato evidenziato il ruolo attivo che i piani locali devono ricoprire nella riduzione delle emissioni climalteranti. Le città sono riconosciute come centri di innovazione economica, politica e culturale, parte attiva delle economie nazionali. Proprio nelle città si investono grandi quantità di risorse per le infrastrutture pubbliche. Per questo i governi locali devono rivestire un ruolo strategico nell'affrontare i cambiamenti climatici. Essi sono direttamente responsabili dei piani e dei regolamenti che possono influenzare attivamente adattamento e mitigazione, e in grado di introdurre soluzioni innovative. Il coinvolgimento delle città come attori permette di affrontare il problema delle emissioni anche a scala locale (approccio bottom-up), integrando gli sforzi compiuti a livello internazionale.

Per i trasporti, questo cambiamento di prospettiva significa includere attivamente la CO_2 nei piani di mobilità urbana. A tal proposito, uno degli obiettivi principali proposti da tale tipo di piano è quello di ridurre l'inquinamento, le emissioni di gas serra e il consumo di energia. Tuttavia, nella pratica, le misure relative alle emissioni di CO_2 sono spesso considerate secondarie (Nocera e Cavallaro, 2014b). Questo non significa necessariamente che esse siano ignorate. Significa tuttavia che le misure pensate per altri scopi (ad esempio, ridurre il traffico, promuovere l'utilizzo di mezzi di trasporto pubblico o alternativo) sono considerate sufficienti a garantire una riduzione delle emissioni di CO_2. Tale effetto secondario, però, non è generalmente quantificato né valutato. Ne consegue una mancanza di coerenza tra gli obiettivi fissati dal piano e le misure pensate per realizzarle.

Alcuni esempi a livello europeo testimoniano questa condizione. Il Plan de déplacements Urbains di Parigi (CRI, 2010) include lo "sviluppo delle forme di trasporto meno inquinanti", ma non fa alcuna menzione specifica circa come

raggiungere una riduzione delle emissioni di gas serra. L'allegato del piano relativo alle tematiche ambientali, anche se concentrato sulle esternalità dei trasporti relative alle sostanze inquinanti, si occupa della CO_2 emessa negli anni passati, e riporta le previsioni delle future emissioni (l'unica menzione sulle condizioni future riguarda i miglioramenti tecnologici e le riduzione in termini di emissioni specifiche previste per i nuovi veicoli). La condizione di Roma (Comune di Roma, 1999) o Vienna (Winkel, 2006) non è molto dissimile, con cenni solo marginali alla CO_2, perlopiù legati al miglioramento tecnologico veicolare, e nessuna previsione degli scenari futuri.

Le ragioni di questa situazione sono molteplici e spaziano dalle scelte politiche alle difficoltà metodologiche. Da un lato, i politici locali considerano i danni da emissioni di diossido di carbonio afferenti ad una scala globale, preferendo affrontare questioni locali ritenute più rilevanti, al fine di aumentare il consenso presso i propri potenziali elettori. Dall'altro lato, le numerose incertezze economiche e scientifiche rendono la valutazione delle emissioni di CO_2 estremamente complessa (Nocera e Cavallaro, 2014a), legittimando la scelta dei decisori politici di non affrontare attivamente il problema.

Per ottenere risultati concreti, è necessario adottare un approccio coerente nella fase di pianificazione e in quella di programmazione[2] dei trasporti (Sinha e Labi, 2007). A livello europeo, l'integrazione di queste due fasi è stata recentemente tentata attraverso la pubblicazione di linee guida per una nuova forma di piano di trasporto, il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS). Con tale forma di piano, si vuole creare un quadro unico e flessibile in grado di affrontare le problematiche di trasporto più rilevanti. Il PUMS si basa su pratiche di pianificazione già esistenti, e considera fondamentali l'integrazione, la partecipazione e i criteri di valutazione necessari per soddisfare le esigenze di mobilità delle persone di oggi e di domani, col fine di garantire una migliore qualità della vita nelle città e nei loro dintorni. Altri aspetti sono meno tecnici e più complessi da quantificare, come garantire a tutti i cittadini opzioni di trasporto che consentano l'accesso a destinazioni e servizi chiave, migliorare la progettazione, l'attrattività e la qualità dell'ambiente urbano a vantaggio dei cittadini, dell'economia e della società nel suo complesso. In questo senso, il piano non è concepito come lo sviluppo tecnico di uno specifico settore scientifico; esso è piuttosto il risultato di un processo multidisciplinare che comprende analisi del contesto, costruzione di un'ipotesi, definizione degli obiettivi, selezione di politiche e misure, comunicazione attiva, monitoraggio e valutazione. I gas serra sono uno degli elementi fondamentali di tale forma di piano. Tuttavia, la natura flessibile del PUMS rivela alcune criticità nel passaggio da linea guida a livello pratico. In particolare, per quanto riguarda le emissioni di CO_2, i documenti tecnici forniscono solo linee guida, ma non un metodo replicabile e scalabile da adottare nei diversi contesti. L'adozione concreta di tale metodo è lasciata alle amministrazioni locali o al futuro sviluppo di una metodologia condivisa (Wefering et al., 2013), di fatto rimandando il problema ad un'altra scala, ma non risolvendolo. Per comprendere quindi le criticità operative legate alla valutazione economica della CO_2, è opportuno illustrare gli strumenti e le metodologie attualmente in uso, argomento trattato nella prossima sezione.

[2] La programmazione dei trasporti è definita come la fase operativa che determina il lavoro da svolgere in un determinato periodo per raggiungere degli obiettivi prefissati, nel rispetto dato alla relativa urgenza del lavoro (TRB, 1978). Inoltre, deve selezionare i progetti economicamente più efficienti che riflettano i bisogni della comunità, nonché sviluppare una strategia di investimento pluriennale, entro i vincoli di bilancio, che vada oltre l'orizzonte di pianificazione precedentemente definito.

3. Strumenti economici e metodologie per la valutazione delle emissioni di CO_2

Includere nei piani i costi derivanti dalle emissioni di CO_2 rappresenta una sfida necessaria per una valutazione dei costi reali dei trasporti. A tale scopo, la monetizzazione dei danni derivanti dalle emissioni è un'operazione oggi frequentemente eseguita ma non è priva di complicazioni. Durante il processo di stima, le sostanze emesse vengono dapprima quantificate (solitamente in tonnellate di carbonio -tC- o di diossido di carbonio -tCO_2). Tale valore viene poi valutato in termini monetari moltiplicando la quantità per un prezzo unitario, generalmente espresso in dollari ($), sterline (£) o euro (€) per tC o tCO_2. Per quanto riguarda gli aspetti di quantificazione fisica delle emissioni prodotte da un sistema infrastrutturale, si rimanda a Nocera et al. (2012) e a Cavallaro et al. (2013). Questa sezione si sofferma sugli strumenti economici a disposizione dei politici per contrastare attivamente le emissioni di CO_2 (sezione 3.1) e sui metodi per attribuire ad esse un valore economico (sezione 3.2).

3.1 Gli strumenti economici

Tra gli strumenti economici per ridurre le emissioni di CO_2, assumono un ruolo primario lo scambio dei permessi di emissione (EU, 2012a), la tassa sulle emissioni di CO_2 e la tassa sul carbonio (Santos et al., 2010). I permessi sono regolamentati dalla Direttiva comunitaria del Parlamento europeo e del Consiglio 2003/87/CE, che ha istituito un sistema per lo scambio delle quote di emissioni di gas a effetto serra provenienti dalle attività minerarie e industriali. Nel 2005 tale direttiva è diventata operativa: l'Unione Europea ha varato l'*Emission Trading Scheme* (ETS) con lo scopo di minimizzare i costi economici derivanti dall'adozione del Protocollo di Kyoto, attribuendo un valore economico appropriato alle emissioni di gas serra. I permessi, rilasciati all'operatore di ogni impianto sulla base di un piano di allocazione nazionale, sono finora stati distribuiti in due periodi, dal 2005 al 2007 e dal 2008 al 2012 e una terza fase, prevista dal 2013 al 2020, è in fase di definizione. La tipologia fondamentale di commercio di emissioni è basata sul principio del "*cap and trade*", che stabilisce un limite massimo di emissioni ("*cap*"), suddiviso in un certo numero di permessi (diritti di emissione commerciabili, o *allowances*). Esistono diverse modalità di assegnazione dei diritti di emissione: tramite asta, in base alle emissioni in riferimento ad un periodo storico determinato (il 1990 nel caso del Protocollo di Kyoto), oppure in base alle emissioni in riferimento all'ultimo anno di rilevazione disponibile e soggetto ad aggiornamento annuale. Una volta assegnati, i permessi possono essere commercializzati liberamente tra i partecipanti, ma alla scadenza del periodo di riferimento ciascuno deve restituire un numero di permessi pari alle emissioni effettivamente prodotte. Per il calcolo di tali emissioni, si possono utilizzare due parametri diversi: le emissioni dirette (a livello di impianto) o la somma delle emissioni dirette e indirette, queste ultime legate al consumo di elettricità e riscaldamento (Costantini et al., 2013). Da un punto di vista economico, gli *ETS* sono convenienti e incentivano l'utilizzo di tecnologie avanzate soprattutto per le nuove aziende che si devono inserire nel mercato. In tal modo, il loro ingresso sarà avvantaggiato dal possedere immediatamente dei crediti di emissione da vendere alle imprese meno sviluppate tecnologicamente, contribuendo così a ripagare in parte l'investimento iniziale. La condizione di equilibrio del mercato determina il prezzo di mercato dei

permessi di emissione (Costantini et al., 2013). Nella pratica, tuttavia, tale sistema si è dimostrato soggetto a notevoli fluttuazioni di mercato: i valori delle emissioni sono crollati da un valore iniziale di circa €30/tCO_2 di oltre il 75%, con andamenti fortemente contrastanti e tali da rendere molto difficile l'adozione di un valore di riferimento. Anche da un punto di vista settoriale, il *cap and trade* è soggetto ad alcuni limiti applicativi. Può essere adottato efficacemente solo per settori quali industria e produzione di energia, in cui la quantificazione delle emissioni è tecnicamente possibile con una buona precisione. Per gli altri settori, quali ad esempio i trasporti, l'edilizia e l'agricoltura, sorgono difficoltà, vista la natura non stabile delle fonti di emissione e la problematicità nel calcolare le emissioni effettivamente prodotte.

Un secondo strumento economico per l'internalizzazione delle emissioni è la *tassa sulla CO_2* emessa durante il processo di combustione del carburante. Teoricamente, questa tassa rappresenta lo strumento più efficace per correggere le esternalità derivanti da inquinamento atmosferico, proprio perché si applica direttamente alle emissioni (Santos et al., 2010). Al momento, tuttavia, non è tecnologicamente possibile tassare direttamente le emissioni di tutto il parco veicolare circolante. L'alternativa più efficiente rimane quindi la *Carbon Tax*, che si basa sul contenuto di carbonio dei combustibili fossili. La tassa sul carbonio è in grado di generare ricavi significativi per i diversi governi nazionali, utilizzabili a livello generale per ridurre le distorsioni di mercato della propria economia (Aldy et al., 2008) e, in campo trasportistico, per favorire lo sviluppo di un sistema più orientato al servizio pubblico. Tuttavia, la tassa sul carbonio soffre di una grande impopolarità, ed è da molti considerata iniqua perché gravante sul ceto meno abbiente, quello cioè in possesso di un parco veicoli maggiormente inquinante. Una sua introduzione, in questo senso, può contribuire ad acuire ulteriormente gli squilibri in termini di tassazione e dovrebbero essere previste delle complicate forme compensative che inciderebbero su altri settori. Inoltre, una volta decisa l'adozione, l'importo unitario varia considerevolmente a seconda delle pressioni esercitate a livello politico. Sumner et al. (2009) riportano come casi emblematici i 105,00\$/tCO_2 e 0,045\$/tCO_2 di Svezia e California. Inoltre, i Paesi in cui si applica l'imposta in maniera rigorosa soffrono di grandi svantaggi economici rispetto agli altri in cui la medesima tassa è assente o è introdotta in misura limitata (Pearce, 1991). Nel primo caso, i costi di produzione sono inevitabilmente maggiori, contribuendo così all'aumento dei prezzi finali. In assenza di un sistema internazionale di regolamentazione, gli Stati preferiscono spesso puntare sulla crescita economica, lasciando quindi la tassa a valori sensibilmente inferiori rispetto a quelli reali. Infine, appare evidente come il limite temporale di validità sia legato indissolubilmente alla forza politica che ne sostiene l'adozione: di solito esso coincide con la singola legislatura. La *Carbon Tax* presenta quindi notevoli criticità a livello politico per affrontare in maniera chiara il problema, si deve fare ricorso in modo trasparente ai metodi di valutazione dei prezzi unitari. Ciò può avvenire sulla base delle metodologie illustrate nella prossima sezione.

3.2 I metodi di valutazione dei prezzi unitari

Tali metodi di valutazione non si limitano a stabilire il prezzo del solo settore dei trasporti, ma includono tutti i settori civili interessati attivamente dalle emissioni di CO_2. In letteratura, si fa riferimento principalmente a due tecniche: gli *Avoidance Costs* e i *Damage Costs*.

Le tecniche di *Avoidance Costs* quantificano i costi necessari per ridurre le emissioni o la concentrazione di CO_2 nell'atmosfera. Il metodo si basa sugli assunti dei programmi che mirano a ridurre le emissioni di una determinata percentuale in un orizzonte temporale fisso, quali i già citati Protocollo di Kyoto (UN, 1998) o "Europa 20-20-20" (EU, 2012b). I risultati sono espressi in termini di variazione percentuale rispetto al livello attuale di emissioni (%), di concentrazioni assolute di CO_2 (ppmv) e di variazioni di temperatura (°C). In questo senso, il prezzo di emissione di CO_2 è in gran parte una questione legata alle scelte compiute in fase di pianificazione e definizione degli obiettivi. Operativamente, gli *Avoidance Cost* si basano su un'analisi costi-efficacia: il valore finale rappresenta l'opzione meno costosa per raggiungere il livello desiderato di riduzione di emissioni. Esso viene determinato come intersezione delle curve di *Marginal Avoidance Cost* (MAC) e *Marginal Social Cost* (MSC): le emissioni sono al loro livello ottimale quando i costi sociali incrementali di riduzione supplementare (cioè la riduzione delle emissioni di 1 tonnellata) sono pari ai benefici sociali derivati dai danni evitati (Clarkson & Deyes, 2002). Per il calcolo degli *Avoidance Costs* si utilizzano diversi metodi. MARKAL, adottato dal ministero britannico del Commercio e dell'Industria (DTI) (Strachan et al., 2007) per previsioni a lungo termine nel settore dell'energia, è ancora uno dei principali programmi di riferimento per tali analisi. Questa famiglia di metodologie non è immune da un elevato grado di incertezza (ad esempio, i futuri costi energetici utilizzati nelle scelte tecniche e non per ridurre le emissioni di CO_2; Litman, 2011).

I *Damage Costs* stimano i costi derivanti dagli impatti fisici dei futuri cambiamenti climatici. Basandosi su un'analisi costi-benefici, il metodo dapprima quantifica, poi valuta le conseguenze ambientali, sociali ed economiche del cambiamento climatico. L'obiettivo è quello di stabilire il cosiddetto *costo sociale marginale del carbonio*, definito come il valore attuale netto degli impatti dei cambiamenti climatici nei prossimi 100 anni di una tonnellata supplementare di CO_2 emessa oggi in atmosfera (Watkiss et al., 2005). Il processo si sviluppa in diverse fasi. Dapprima, i futuri livelli di emissioni di CO_2 sono stimati secondo un numero di scenari con diverse prospettive di sviluppo economico, sociale e demografico (IPCC, EMF); quindi, viene determinato il rapporto tra emissioni e concentrazione atmosferica; in terzo luogo vengono ipotizzate le possibili conseguenze dell'aumentata concentrazione di gas serra sul cambiamento climatico; infine, vengono stimati i possibili impatti fisici del cambiamento climatico. Per rispondere a questa domanda, sono stati sviluppati specifici modelli, Integrated Assessment Models (o IAMs), in grado di determinare i costi del riscaldamento serra. La loro classificazione è basata su una distinzione tra tre sub-moduli: dinamiche di crescita economica, energia e danni. I cosiddetti *Fully Integrated IAMs* (o FIAMs) includono tutti e tre i moduli. I modelli *Non-Computable General Equilibrium Models* (NCGEMs) comprendono generalmente il modulo danni ed il modulo climatico. Solo occasionalmente includono un modulo energetico semplificato, che manca di una procedura di ottimizzazione economica e che adotta scenari forniti da terzi. Infine, i modelli *Computable General Equilibrium Models* (CGEMs) focalizzano la procedura di ottimizzazione economica su un maggior numero di settori, ma non includono il modulo climatico (tabella 1).

Da un punto di vista concettuale, i *Damage Costs* rappresentano il metodo più rigoroso per il calcolo di un prezzo unitario equo di CO_2, perché quest'ultimo viene legato alle conseguenze dei cambiamenti climatici causati dall'aumento di emissioni e non a generici obiettivi di riduzione di cui non sono tenute in considerazione, se non

indirettamente, le conseguenze. Tuttavia, il problema di tale metodo riguarda la presenza di molteplici incertezze, come diffusamente spiegato nella prossima sezione.

Tabella 1: Classificazione degli IAMs in funzione delle loro caratteristiche tecniche.

Tipo	*Caratteristiche*	*IAM*
Fully Integrated Impact Assessment Models	Modelli che includono le dinamiche di crescita economica (settore energetico compreso), modulo danni e modulo climatico.	DICE; ENTICE; RICE; FEEM-RICE; WITCH; MERGE; ICAM; MIND; DEMETER
Non-Computable General Equilibrium Models	Modelli che includono solo il modulo climatico e il modulo danni. Occasionalmente, sono composti anche da un modulo energetico, ma senza una proceduta di ottimizzazione economica e adottando scenari provvisti da terze parti.	FUND; PAGE; E3MG; DNE21+; GET
Computable General Equilibrium Models	Modelli che focalizzano la procedura di ottimizzazione economica su un maggior numero di settori ma non includono un modulo climatico.	AIM; EPPA; Imaclim-R; GREEN; ICES; GTAP-E

Fonte: Ortiz e Markandya (2009).

4. Il problema dell'incertezza

Per intraprendere una politica efficace volta a contrastare l'aumento di CO_2 è richiesta una visione, che consideri il legame tra emissioni, cambiamenti climatici e conseguenze economiche. Per questo motivo, nell'attribuire un prezzo alle emissioni, si preferiscono utilizzare i *Damage Costs* (Nocera e Cavallaro, 2014a): il loro tentativo di collegare impatti fisici e conseguenze economiche appare più rigoroso da un punto di vista scientifico, e quindi in grado di fornire risultati meno arbitrari. Tuttavia, una precedente analisi (Nocera e Tonin, 2014) rivela una gamma di valori oscillanti fra sei ordini di grandezza, da -10,00/tC a $7.243,73/tC. Tale intervallo è troppo vasto e non fornisce un valore economico condiviso delle conseguenze del riscaldamento globale, portando ad alcune riflessioni metodologiche circa l'effettiva utilità degli IAMs (Pyndick, 2013). La causa principale di questo ampio intervallo risiede nell'adozione di diversi valori di input, che concorrono a determinare un elevato grado di incertezza. Finora, l'incertezza è stata trattata prevalentemente come argomento marginale o come variabile fisica aggiuntiva (Funtowicz e Ravetz, 1993; Kuik et al, 2008), ma raramente come elemento sistematico e determinante il valore finale. Un'analisi più rigorosa appare pertanto necessaria, se si vuole ottenere un valore più affidabile. Di seguito sono analizzati due gruppi di incertezze, quella scientifica (paragrafo 4.1) e quella economica (paragrafo 4.2).

4.1 L'incertezza scientifica

L'incertezza scientifica comprende quattro aspetti principali. Il primo di essi riguarda la valutazione dei futuri livelli di emissione di CO_2 e la metodologia per quantificarla. Vanston (2003) indica cinque principali classi di metodi per predire configurazioni future: *extrapolation*, *pattern analysis*, *goal analysis*, *cunter-punchers* e *intuition*. Non esistono metodi giusti o sbagliati, ma solo più appropriati per quelli che sono gli obiettivi della ricerca. Considerando la futura domanda di traffico, lo scenario (uno dei metodi inclusi nella categoria *counter-punchers*) è considerato uno dei metodi più

validi. Uno scenario è definito come una 'rappresentazione di visioni/immagini del futuro e percorsi di sviluppo organizzati in modo sistematico e coerente' (EC, 2008). La metodologia si basa sull'utilizzo di ipotesi per generare dei risultati, che sono poi incrociati con la situazione iniziale per predire sequenze di eventi futuri, che sono implicite nelle ipotesi stesse. L'utilizzo di scenari differenziati non risolve il problema dell'incertezza, ma fornisce risposte razionali sotto determinate ipotesi (Salling, 2008). Più in dettaglio, questo valore è determinato da due parametri difficilmente prevedibili: in primo luogo, le future tecnologie; dall'altro, la futura domanda di mobilità. Per quanto riguarda il primo punto, lo sviluppo di veicoli ibridi e veicoli elettrici a batteria (VEB) può portare ad un sistema di trasporto con minore impatto sull'ambiente. Tuttavia, attualmente è molto difficile prevedere il mercato futuro di questi veicoli (per quanto riguarda i VEB, possono servire ancora decenni prima che diventino competitivi; Weiss, 2008). Inoltre, anche le tecnologie attualmente già in uso possono garantire risultanti più performanti grazie ad un continuo sviluppo tecnologico e agli obblighi di emissione imposti a livello europeo. Ne consegue che il parco auto, per i prossimi anni almeno, dovrebbe essere principalmente basato sul petrolio, ma non è dato sapere con precisione come la situazione evolverà.

La previsione della domanda futura di trasporto è una delle principali cause di errori nella fase di pianificazione infrastrutturale. Valutazioni sbagliate in questa fase possono portare ad un sottoutilizzo o ad una saturazione lungo le singole infrastrutture, con conseguenze gravi per tutta la rete di mobilità (Flyvbjerg et al., 2006). Anche in questo caso, risposte definitive non possono essere fornite, ma l'errore può essere controllato attraverso l'adozione e la calibrazione di metodi di previsione specifici, come il "modello a quattro stadi" (Cascetta, 2006), il modello "input-output" (Leontief e Costa, 1996) o un modello a scelta discreta (Marcucci, 2005). La scelta del modello, unita al parco veicolare futuro, ha significative conseguenze sulle variazioni di concentrazione e di temperatura, rispettivamente espresse in parti per milione/volume (ppmv) e in gradi (°C). L'adozione di diversi scenari (generalmente definiti dall'IPCC dall'EMF, o sviluppati dai modellisti) ne determina i livelli ipotetici.

La seconda grande fonte di incertezza scientifica riguarda la relazione fra emissioni e concentrazione atmosferica: non tutte le emissioni di CO_2 vanno ad aumentare la concentrazione atmosferica. Una certa quantità viene sequestrata dagli oceani e dalla vegetazione. L'incertezza consiste nel determinare la quantità di emissioni future che potrebbero essere assorbite in questo modo. Inoltre, in riferimento ai gas serra, il tentativo di trovare un'unica unità di misura appare alquanto complicato. L'adozione del Global Warming Potential (GWP), in questo senso, è emblematico: esso rappresenta il tentativo di convertire tutte le emissioni di gas serra in una unità misura comune. Tuttavia, v'è dibattito sui fattori di conversione, perché l'impatto di ciascun gas non è univocamente accettato, né la sua vita atmosferica, soprattutto in condizioni dinamiche e di costante aumento (Jensen e Thelle, 2001).

Il terzo problema è legato alla valutazione delle conseguenze della CO_2 sui cambiamenti climatici. Le relazioni più importanti sono raggruppate in 8 macrogruppi: aumento del livello del mare, uso di energia, impatto agricolo, approvvigionamento idrico, impatti sulla salute, gli ecosistemi e la biodiversità, eventi meteorologici estremi e grandi eventi, ma non si è ancora raggiunto un accordo circa la scelta e il peso da assegnare a ciascuno di essi (tabella 2).

La quarta fonte di incertezza riguarda la misurazione degli impatti fisici dei cambiamenti climatici su una determinata regione. Il rischio risiede prevalentemente nel

sopravvalutare o sottovalutare alcuni aspetti. Perché il rapporto tra i cambiamenti climatici e le conseguenze reali per l'ambiente sia chiaramente compreso, vengono utilizzati approcci molto diversi tra loro: per esempio, alcuni studi includono eventi catastrofici (es. decessi umani, il collasso della Corrente del Golfo, nonché della calotta glaciale della Groenlandia), mentre altri studi li escludono, considerando solo le conseguenze dell'innalzamento del livello del mare, o il consumo di energia, l'impatto agricolo, l'approvvigionamento idrico, l'impatto sulla salute, sugli ecosistemi e la biodiversità.

Tabella 2: Impatti derivati dalle emissioni di CO2. Fonte: Watkiss et al., 2005

Impatti derivanti dalle emissioni di Co_2	
Crescita del livello del mare	Costi per la realizzazione di misure di protezione – perdita di aree umide, crescita di aree aride – crescita della probabilità di tempeste marine – acqua salata in aree interne, rischi per gli ecosistemi costieri – effetti sociali e economici per gli abitanti di piccole isole e/o aree a contatto col mare – migrazioni
Consumo energetico	Crescita dei consumi nel periodo estivo, dovuta all'aria condizionata - riduzione invernale del consumo di riscaldamento
Impatti sull'agricoltura	Variazioni di temperatura e precipitazioni – cambi nelle colture – sviluppo di nuovi cultivar e altri aspetti legati all'irrigazione
Consumo di acqua	Cambi nelle percentuali di precipitazioni ed evapotraspirazione – modifica nella domanda, influenzata da variazioni climatiche (piogge, umidità) – crescita delle disparità e delle mancanze nelle aree povere di acqua
Impatti sulla salute	Crescita dei rischi da calura estiva- riduzione dei rischi da freddo invernale – Danni sociali alla salute causati dai punti precedenti – minacce a popolazioni con reddito pro-capite basso, specie nelle regioni (sub)tropicali
Impatti sugli ecosistemi e sulla biodiversità	Alterazione della produttività ecologica e della biodiversità - rischio di estinzione di specie vulnerabili - rischio per sistemi isolati, inclusi quelli specifici (es barriera corallina) - acidificazione degli oceani, impatti su ecosistemi marini - impatti su flussi di gas tra oceano e atmosfera
Eventi atmosferici estremi	Ondate di calore anomalo, siccità, alluvioni, uragani, cicloni tropicali
Eventi estremi	Perdita di ghiaccio nelle regioni artiche e antartiche; instabilità o perdita di superficie della foresta amazzonica - cambiamento nella circolazione termoalina, monsoni indiani, riduzione della vegetazione del Sahara ecc.

4.2 L'incertezza economica

L'incertezza economica è altrettanto complicata da gestire e la mancanza di analisi specifiche relative al cambiamento climatico è un problema che è ancora lontano da una soluzione soddisfacente (Pearce et al., 1991). Si tratta di due problemi principali: il primo aspetto è quello di determinare il costo unitario della CO_2. La misurazione degli impatti del cambiamento climatico in termini economici non è il denaro in sé, ma l'equivalente in denaro dell'utilità (Kuik et al., 2007). In questo senso, la ricchezza di una nazione è molto influente sulla monetizzazione degli impatti: l'emissione di una tonnellata di CO_2 non ha lo stesso impatto economico in ogni parte del mondo. Sia la disponibilità degli abitanti di un paese a pagare per evitare le conseguenze del cambiamento climatico, sia la volontà di pagare per adattarsi alle sue conseguenze, sono legate ai diversi prodotti interni lordi. Gli studi più datati non hanno incluso questo aspetto nelle loro analisi (Fankhauser, 1995; Tol, 1995), perché gli impatti regionali sono stati quantificati in valute locali, e solo successivamente convertiti in dollari senza

applicare coefficienti di trasformazione. Per evitare queste differenze, è stato introdotto il concetto di *equity weight* (Fankhauser et al., 1997), ovvero un coefficiente di adattamento che tiene conto della realtà geografica oggetto di analisi. Stime del prezzo della CO_2 che adottano l'*equity weight* sono sostanzialmente più elevate rispetto alle altre che non lo considerano, ma il parametro non è universalmente accettato, né –una volta stabilito di adottarlo- c'è accordo sul valore da attribuire (Hope, 2006b; Anthoff et al., 2006).

Il secondo aspetto di incertezza economica è dettato dalla scelta del tasso di sconto utilizzato per monetizzare le emissioni future. L'operazione di sconto serve per confrontare costi e benefici che si verificano in diversi periodi di tempo: essa si basa sul principio che le persone preferiscono ricevere beni e servizi adesso piuttosto che nel futuro, pagandoli il più tardi possibile. Il tasso di sconto è utilizzato per attualizzare tutti i costi e benefici, in modo che possano essere poi confrontati a partire da un'unità di misura comune (HM Trasury, 2003). I fondamenti di questo metodo generano alcuni importanti dubbi: Chichilnisky (1996), per esempio, considera il tasso di sconto come una dittatura della generazione presente sul futuro. Daly e Cobb (1994) sono convinti che l'attualizzazione sia un metodo per convertire in grandi numeri futuri delle cifre che ad oggi risultano piccole. Ciononostante, questo metodo continua ad essere adottato in tutto il mondo. Tassi di sconto più elevati portano ad abbassare i risultati delle stime e viceversa. Normalmente, il tasso è compreso tra 1% e 3%, ma la variazione del costo unitario è molto elevata anche in un intervallo limitato. In Watkiss (et al., 2005) per esempio, il valore diminuisce da €67,85/tCO_2 a €27,93/tCO_2 quando sono rispettivamente utilizzati i tassi di sconto dell'1% e 3%.

Un terzo elemento di incertezza deriva dalla funzione di danno prodotta dalle emissioni di CO_2. La funzione di danno esprime il danno economico come funzione della variazione della temperatura media globale. Alcune metodologie di stima, come gli IAM, si basano sul presupposto che il cambiamento climatico produrrà un danno economico, ma la scelta del coefficiente di funzione (spesso quadratico) influenza notevolmente il valore del danno. Il coefficiente di funzione esprime il rapporto con cui il danno economico varierà al variare della temperatura media. Nel modello PAGE, ad esempio, passando da una funzione di danno quadratica ad una cubica, il danno economico aumenta del 23% a fronte dello stesso aumento di temperatura (Dietz e Hope, 2007).

Infine, riveste un ruolo importante l'adozione di un approccio mitigatorio o adattativo. La mitigazione è "l'intervento antropico per ridurre le fonti o migliorare i tassi di assorbimento dei gas serra"; l'adattamento invece è "l'adeguamento dei sistemi naturali o umani, in risposta a stimoli climatici attuali o previsti, che modera danni o ne sfrutta le opportunità benefiche" (Klein et al., 2007). La mitigazione riduce tutti gli impatti (positivi e negativi) del cambiamento climatico, l'adattamento è invece selettivo: si può usufruire degli effetti positivi e ridurre quelli negativi. La mitigazione ha benefici globali, mentre l'adattamento lavora in genere sulla scala regionale/locale.

Durante il processo di stima, le diverse incertezze economiche e scientifiche precedentemente illustrate possono sovrapporsi e cumularsi: l'incertezza complessiva può quindi essere molto più alta, ma anche molto più bassa rispetto ai singoli punti descritti in precedenza. Si spiega in tal modo l'intervallo di sei ordini di grandezza, evidenziato in precedenza: tale intervallo è troppo ampio e non consente ai decisori

politici di attribuire un prezzo unitario. È necessario pertanto intervenire per rendere l'intervallo meno ampio.

5. La proposta di un modello di valutazione delle emissioni di CO_2

L'ampio intervallo delle stime ottenute dai diversi studi, e richiamato al paragrafo precedente, è stato indagato dai ricercatori attraverso la realizzazione di alcune meta-analisi, con l'obiettivo di spiegarne le ragioni e identificare le principali determinanti (Fischer e Morgenstern, 2003, Kuik et al, 2008). L'utilizzo, e in alcuni casi l'abuso, delle meta-analisi nella letteratura scientifica è stato più volte criticato (Nelson e Kennedy, 2009), soprattutto perché sintetizza in un unico valore grandi quantità di dati provenienti da studi molto eterogenei, costruiti su differenti ipotesi. Inoltre, sono state mosse critiche in relazione ad altri tre punti specifici: in primo luogo, l'uso di dati ottenuti da studi ascrivibili a un ristretto gruppo di autori e modelli (Stanton et al., 2009); secondo, la predominanza di studi più vecchi, che danno scarso rilievo a scenari di cambiamento climatico estremi (van den Bergh e Botzen, 2014); terzo, la scelta di un modello econometrico non corretto (Fischer e Morgenstern, 2003). Una delle meta-analisi di riferimento per gli studi sulla CO_2 è stata elaborata da Tol (2008; 2013). L'autore ha messo a disposizione diverse stime del costo della CO_2 e di alcuni valori che ne influenzano il risultato finale. Tuttavia, il lavoro di Tol ha un limite: il database comprende solo studi effettuati con i modelli PAGE, FUND e DICE, senza considerare altri IAMs: i valori riportati sono quindi solo parzialmente rappresentativi della molteplicità di studi effettuati. Ackerman (2009) critica questo aspetto già in riferimento alla prima versione del database di Tol (2008). Il problema non sembra essere stato risolto nemmeno nell'ultima versione del database (Tol, 2013).

Per queste ragioni, è stato realizzato un database nuovo e più completo (Nocera et al., 2015). Si basa su un più ampio numero di studi (60 autori e 699 valori), IAM (PAGE, FUND e DICE, ma anche Intera, Open Framework, RISO, UDEB, MAGICC, SCCRAM, SGM, WIAGEM, MiniCAM, MARKAL, MERGE, CETA, MARIA, IAM, AMIGA, COMBAT, EPPA, EDGE, GEMINI-E3, UVA, GTEM, GIM) e un maggior numero di variabili descrittive, raggruppate in cinque macro-gruppi:

1) Informazioni generali sullo studio e sul valore economico delle emissioni di gas serra: nome e anno dello studio, tipo di stima (ad esempio: SCC, *Carbon Tax*) e valore economico dei gas serra riportati all'anno 2010.

2) Descrizione dello scenario considerato nell'analisi: tipo di modello adottato, scenario di riferimento, caratteristiche in termini di aumento della temperatura, concentrazione, orizzonte temporale e scala geografica.

3) Valutazione degli impatti economici: analisi in termini di variazione del PIL, tasso di sconto, *equity weight*, funzione di danno e di altri parametri economici che influenzano il prezzo finale.

4) Analisi degli impatti fisici, ovvero delle categorie incluse nello studio, comprese tra i seguenti macro gruppi: aumento del livello del mare, consumo di energia, impatto agricolo, approvvigionamento idrico, impatto su salute, ecosistemi e biodiversità, eventi meteorologici estremi e grandi discontinuità eventi /grandi dimensioni.

5) Specifiche: altri aspetti rilevanti non compresi nei precedenti punti.

La tabella 3 riporta l'elenco delle variabili incluse nella nostra meta-analisi, mostrando la media e la deviazione standard per ognuna di esse.

Tabella 3: Statistiche descrittive delle variabili principali incluse nella regressione

Statistiche descrittive delle variabili incluse nella regressione		
Variabile dipendente	Definizione	Media (std dev)
$\ln_{cost2010}$	Logaritmo naturale di costo di emissione in $2010	4.16 (2.14)
Intercetta e variabili indipendenti	Definizione	Media (std dev)
Ypub	Anno di pubblicazione dello studio	2006 (6)
Prtp	Pure Rate of Time Preference scelto in ogni studio	1.46 (2)
geogrscale	Variabile Dummy = 1 se globale; 0 altrimenti	0.90 (0.30)
sealevel	Variabile dummy = 1 se si considera: costi per la realizzazione di misure di protezione – perdita di aree umide, crescita di aree aride – crescita della probabilità di tempeste marine – acqua salata in aree interne, rischi per gli ecosistemi costieri – effetti sociali e economici per gli abitanti di piccole isole e/o aree a contatto col mare – migrazioni; 0 altrimenti	0.69 (0.46)
energyuse	Variabile Dummy = 1 se si considera: crescita dei consumi nel periodo estivo, dovuta all'aria condizionata - riduzione invernale del consumo di riscaldamento; 0 altrimenti	0.75 (0.43)
agrimpact	Variabile Dummy = 1 se si considera: variazioni di temperatura e precipitazioni – cambi nelle colture – sviluppo di nuovi cultivar e altri aspetti legati all'irrigazione; 0 altrimenti	0.85 (0.36)
wsupply	Variabile Dummy = 1 se si considera: cambi nelle percentuali di precipitazioni ed evapotraspirazione – modifica nella domanda, influenzata da variazioni climatiche (piogge, umidità) – crescita delle disparità e delle mancanze nelle aree povere di acqua; 0 altrimenti	0.71 (0.45)
health	Variabile Dummy = 1 se si considera: crescita dei rischi da calura estiva- riduzione dei rischi da freddo invernale – Danni sociali alla salute causati dai punti precedenti – minacce a popolazioni con reddito pro-capite basso, specie nelle regioni (sub)tropicali; 0 altrimenti	0.77 (0.42)
ecosys	Variabile Dummy = 1 se si considera: alterazione della produttività ecologica e della biodiversità - rischio di estinzione di specie vulnerabili - rischio per sistemi isolati, inclusi quelli specifici (es. barriera corallina) - acidificazione degli oceani, impatti su ecosistemi marini - impatti su flussi di gas tra oceano e atmosfera; 0 altrimenti	0.65 (0.48)
extweathevent	Variabile Dummy = 1 se si considera: ondate di calore anomalo, siccità, alluvioni, uragani, cicloni tropicali; 0 altrimenti	0.43 (0.50)
majorevent	Variabile Dummy = 1 se si considera: perdita di ghiaccio nelle regioni artiche e antartiche; instabilità o perdita di superficie della foresta amazzonica - cambiamento nella circolazione termoalina, monsoni indiani, riduzione della vegetazione del Sahara ecc; 0 altrimenti	0.25 (0.44)
combined (sectors)	Media n° dei settori considerati nella funzione danno dei diversi modelli	5.11 (2.61)
Ewn	Variabile Dummy = 1 se viene adottato equity weight; 0 altrimenti	0.15 (0.35)
FIAM	Variabile Dummy = 1 se lo studio ha utilizzato un IAM completo; 0 altrimenti	0.62 (0.42)
CGE	Variabile Dummy = 1 se lo studio ha adottato un modello di equilibrio economico generale	0.15 (0.49)
tempincrease	Aumento medio di temperatura considerato	3.17 (1.84)

ppmv	Aumento medio delle concentrazioni di CO_{2eq}	535.15 (121.83)

Il valore economico medio è di $276,49/tC (standard deviation 668,78; tabella 4). L'intervallo, espresso in $\$_{2010}$, passa da -$10,00/tC a $7.243,73/tC. La deviazione standard elevata significa che vi è alta variabilità dei valori economici, e che questi valori sono distribuiti in un ampio intervallo. I rari valori negativi significano che il cambiamento climatico può inizialmente avere effetti positivi.

Tabella 4: Principali statistiche descrittive del valore economico dei gas serra

Principali statistiche descrittive del valore economico dei gas serra	
Media	276,49 $/tC
Mediana	85 $/tC
Std. Dev.	668,78
95%	1.101,59
N. obs.	699

Sulla base del modello sviluppato e discusso in Nocera et al. (2015), abbiamo ottenuto l'equazione di stima espressa nella formula sottostante. Essa permette di trovare un valore di riferimento per le emissioni di CO_2, una volta che il decisore politico abbia deciso quali sono i parametri di riferimento che vuole considerare, e in particolare, tra gli altri, l'utilizzo dell'*equity weight*, il *pure rate time of preference*, gli impatti fisici da includere nell'analisi, l'incremento di temperatura e di concentrazione previsti, l'adozione di una strategia mitigativa o adattiva.

$$\ln(cost2010) = 9.60 + 1.09fiam + 0.69cge + 0.4ew - 0.006ypub - 0.47peer_{rev} - 0.60prtp - 0.26comb + 0.03geogsc + 0.13temp + 0.001ppmv + 0.22adapt$$

In tabella 5 è riportata un'applicazione che mostra da un punto di vista pratico il funzionamento del modello. Il decisore politico, in questo caso, immagina una politica volta a limitare per il 2050 le concentrazioni atmosferiche di gas serra a 586 ppmv, con un incremento medio della temperatura pari a 3,17°C, un *pure rate time of preference* del 3% e l'adozione di *equity weight* e di strategie di adattamento. Lo studio tiene in considerazione la valutazione effettuata con un modello FIAM, che considera tre sole delle categorie di impatti illustrati in tabella 2.

Tabella 5: Stima del costo delle emissioni di gas serra in funzione dei cambiamenti di temperatura e concentrazione di gas serra

Const	17,1483	
FIAM	1,0917	1
cge	0,6867	0
ewn	0,3977	1
ypub	-0,0058	2006
peer_rev	-0,4740	0
prtp	-0,5932	3.00
combined	-0,2636	3
geogrscale	-0,0288	0
temp	0,1298	3.17

ppmv	0,0012	586
adaptation	0,2211	1
Unitary economic cost of GHG emissions ($/tC)		$191,77 ($189,16 - $194,37)

Il valore finale risulta pari a $191,77/tC, equivalente a circa $52,33/t$CO_2$. Se paragonato ad altri valori forniti a livello europeo, tale valore risulta piuttosto elevato: il già citato *EU ETS*, per esempio, fornisce valori oscillanti tra $144,85/tC e $19,88/tC (Strahan, 2013). Anche la *Carbon Tax* risulta un metro di paragone poco rappresentativo: con l'eccezione dei paesi scandinavi, dove è stata proposta una strategia coerente e di lungo periodo, in molti altri casi la tassa sul carbone o non è applicata, o presenta dei valori molto inferiori rispetto al reale valore delle emissioni (Sumner et al., 2009), confermando tutte le difficoltà a livello internazionale ricordate nella sezione 3.1.

6. Conclusioni: le politiche dei trasporti e la CO_2

Le politiche di trasporto riflettono le problematiche del tempo in cui sono state proposte. Considerando l'importanza a livello globale assunta dalle emissioni di CO_2, appare oggi necessario considerare attentamente tale parametro nelle nuove forme di piani per la mobilità. Eppure, benché tali piani generalmente includano la riduzione dei gas serra come uno degli obiettivi prioritari, spesso non arrivano a quantificarne e valutarne gli effetti. Si rivela così una notevole discrepanza tra obiettivi e indicatori utilizzati per definire l'efficacia di un piano. In altre parole, il modello di riferimento si concentra più sull'adozione di misure concrete, ricercando effetti in termini di decongestione del traffico o miglioramento dei trasporti pubblici, senza tuttavia valutare attivamente le conseguenze in termini di riscaldamento globale.

Questo non significa necessariamente che le politiche o le misure scelte siano inefficaci, quanto piuttosto che non è possibile valutarne direttamente gli impatti. Eppure, considerate le conseguenze fisiche prodotte dal cambiamento climatico (e l'elevato costo ad esse collegato), l'attuale condizione appare insostenibile: il rischio di una errata valutazione complessiva del piano, con scelte di allocazione delle risorse pubbliche non efficienti, è un rischio che la nostra società non può più permettersi – specialmente in questo periodo prolungato di austerità.

Per affrontare attivamente questo rischio, è fondamentale attribuire alle emissioni un valore economico condiviso, in modo tale che il decisore politico possa utilizzare uno strumento che permetta di internalizzare i costi derivanti dal riscaldamento globale. Il presente contributo, nell'evidenziare le metodologie attualmente in uso, i campi di applicazione e le principali criticità da esse derivanti, ha empiricamente indagato le cause della principale variabilità delle stime e, attraverso l'applicazione di una funzione di meta-regressione, ha proposto un modello per predire opportunamente il valore della CO_2. Adottando tale modello, i decisori possono comprendere la variazione del costo del carbonio in funzione degli obiettivi prefissi a livello politico (tra cui un esplicito riferimento a parametri quali la riduzione della concentrazione di gas serra, l'aumento della temperatura e il *pure rate time of preference*) e agire di conseguenza. Tuttavia, anche l'aver definito un prezzo equo per le emissioni di gas serra nei trasporti può essere inefficace, se non viene affiancato da un approccio rigoroso, non influenzato da un singolo legislatore o partito politico che salga al governo, ma legato a una certa stabilità di vedute. In questo senso, una visione di lungo periodo è fondamentale.

L'esempio dei paesi scandinavi conferma la validità di questo approccio. In Danimarca, la *carbon tax* è stata introdotta nel 1993. Il prezzo originariamente fissato non è mai variato in misura sostanziale, attestandosi intorno ai $16-17/tC (Sumner et al., 2009). Una parte dei ricavi è stata specificamente prevista per garantire sussidi nel campo del miglioramento energetico, che ha comportato una riduzione delle emissioni, per il periodo 1990-2005, pari a circa il 15%, in chiara controtendenza rispetto a molti altri Stati, anche europei. Questa è una dimostrazione ulteriore del fatto che solo adottando un approccio rigoroso, si possono ottenere risultati concreti. I piani della mobilità, se vogliono definirsi veramente sostenibili, non possono prescindere da queste valutazioni.

Bibliografia

Ackerman, F. (2009) "Comments on EPA and NHTSA, Proposed Rulemaking to Establish Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards", *Federal Register* 74 (186), 49454-49789.

Aldy, J.E., E. Ley, I.W.H. Parry (2008) "A tax-based approach to slowing global climate change", *National Tax Journal* 61(3), pp. 493–517.

Anthoff, D., Hepburn, C.J., Tol, R.S.J. (2006) "Equity Weighting and the Marginal Damage Costs of Climate Change" *FNU-121*, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science: Hamburg, 2006.

Cascetta, E. (2006) *Modelli per i Sistemi di Trasporto – Teoria e Applicazioni*, Utet Università: Milano, 2006.

Cavallaro F., Maino F., Morelli V. (2013) "A new method for forecasting CO2 operation emissions along an infrastructure corridor" European Transport\Trasporti Europei 2013 Issue 55, Paper n° 4, ISSN 1825-3997, 2013.

CDIAC, Carbon Dioxide Information Analysis Center (2011). Online at: http://cdiac.ornl.gov/ [01-02-2011].

Chichilnisky, G. (1996) "The economics of global economic risks". In *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2002/2003*, Tietenberg T, Folmer H (eds), Elgar: Cheltenham, 1996; 235–278

Clarkson, R., Deyes, K., (2002) *Estimating the Social Cost of Carbon Emissions*, Department of Environment, Food and Rural Affairs: London, 2002.

Comune di Roma (1999) *Il piano generale del traffico urbano di Roma*. Online: https://www.comune.roma.it/PCR/resources/cms/documents/delibera_84_28_06_1999.pdf [27.06.2014]

CRI, Conseil Regional d'Île-de-France (2010) *Île-de-france. plan de déplacements urbains*. Paris: Conseil Regional d'Île-de-France. Online at: http://debatspublics.iledefrance.fr/sites/default/files/liste_de_fichier_article/pdu.pdf [15.02.2014].

Costantini, V., D'Amato, A., Martini, C., Tommasino, M. C., Valentini, E., Zoli, M. (2013) "Taxing international emissions trading", *Energy Economics* 40, 609-621. Presentato online: http://host.uniroma3.it/docenti/costantini/LM_PARI_file/Costantini_PARI_2.pdf [02.08.2014]

Daly, H., Cobb, J. (1994) *For the Common Good*, Beacon Press: Boston, 1994.

DGET, Directorate-General for Energy and Transport (2006) *Mid-term review of the European Commission's 2001 White Paper on Transport*. Online at: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0314:FIN:EN:HTML [01-02-2011].

Dietz, S., Hope, C. (2007) "Reflections on the Stern Review (1)", *World Economics*, 8(1), 121.

EC, European Commission (2005) *The annual energy and transport review for 2004*, Luxemburg.

EC, European Commission (2008) *Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Backcasting Approach for Sustainable Mobility*, Office for official publications of the European Communities: Luxembourg, 2008.

EC, European Commission, (2011) *Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. Online at: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5db26ecc-ba4e-4de2-ae08-dba649109d18.0002.03/DOC_1&format=PDF

EEA, European Environment Agency (2011) *European Pollutant Release and Transfer Register*. Online at: http://prtr.ec.europa.eu/pgAbout.aspx [01-02-2011].

EU, European Union (2012b) *Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage*. Online at: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0265:FIN:EN:PDF [14.02.2012].

EU, European Union (2014) *Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage*. Online at: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0265:FIN:EN:PDF [14.05.2014].

EU, European Union (2012a) *Emissions trading system (EU ETS)*. Online at: http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm [07.02.2012].

Fankhauser, S., Tol, R.S.J., Pearce, D.W. (1997) "The aggregation of climate change damages: a welfare theoretic approach", *Environmental and Resource Economics* 1997; 10(3):249–266.

Fankhauser, S. (1995) *Valuing Climate Change—The Economics of the Greenhouse*, Earthscan: London, 1995.

Fischer C., Morgenstern, R. (2003) "Carbon Abatement Costs: Why the Wide Range of Estimates?" *Discussion paper*. Online at: http://www.globalurban.org/Carbon_Abatement_Costs_Wide_Range_of_Estimates.pdf [25.06.2014].

Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M.K., Buhl, S.L. (2006) "Inaccuracy in traffic forecasts" *Transport Reviews* 2006; 26(1):1–24.

Funtowicz, S.O., Ravetz, J.R. (1993) "The Emergence of Post-Normal Science". In: von Schomberg, R. (ed.), *The Emergence of Post-Normal Science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Glaeser, E. L., Kahn, M. E. (2010) "The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development", *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404-418.

Hansen, J. et al. (2008) "Target atmospheric CO2: Where should humanity aim?" In *Open Atmos. Sci. J.*, 2, pp. 217-231.

HM Treasury (2003) *The Green Book. Appraisal and Evaluation in Central Government*, London, 2003.

Hope, C. (2006b) "Discount rates, equity weights and the social cost of carbon", *Energy Economics*; 30(3):1011–1019, May 2008.

IPCC, Intergovernative Panel for Climate Change, (2008). Team, C. W., 2008. Pachauri, R. K., Reisinger, A. (Eds.). *Synthesis Report. Climate Change 2007. Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment. Climate Change 2007 Synthesis Report: Summary for Policymakers*.

Jensen, J., Hvidt Thelle, M. (2001) *What are the gains from a multi-gas strategy*? Online at: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.201.5976&rep=rep1&type=pdf [25.07.2013].

Klein, R.J.T., Huq, S., Denton, F., Downing, T.E., Richels, R.G., Robinson, J.B., Toth, F.L. (2007), *Inter-relationships between adaptation and mitigation. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 745-777.

Kuik, O., Brander, L., Nikitina, N., Navrud, S., Magnussen, K., Fall, E.H. (2007) *CASES cost assessment of sustainable energy UN systems*. Online at: http://www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D_03_2%20non%20human%20ext%20cost%20final.pdf [07.02.2012]

Kuik, O., Brander, L., Tol ., R.S.J. (2008) "Marginal Abatement Costs of Carbon-Dioxide Emissions: A Meta-Analysis", *Energy Policy*, 37(4), 1395-1403.

Leontief, W., Costa, P. (1996) *Il Trasporto Merci e L'economia Italiana. Modelli di Interazione e Scenari Oltre il 2000*. Marsilio: Venezia, 1996.

Litman T. (2011) *Climate change emission valuation for transportation economic analysis*. Research for Victoria transport policy Institute. Online at: http://www.vtpi.org/ghg_valuation.pdf [07.02.2012].

Marcucci, E. (2005) *I modelli a scelta discreta per l'analisi dei trasporti. Teoria, metodi ed applicazioni*. (eds), Carocci, Roma.

McNaught, A. D. (1997) *Compendium of chemical terminology (Vol. 1669)*, Oxford: Blackwell Science.

NOAA/ESRL, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Department of Commerce (2014) *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Online at: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends [01-08-2014].

Nocera, S., Cavallaro, F. (2014a) "A methodological framework for the economic evaluation of CO2 emissions from transport", *Journal of Advanced Transportation*, 48(2), 138-164.

Nocera, S., Cavallaro, F. (2014b) "The ancillary role of CO2 reduction in urban transport plans", *Transportation Research Procedia*, doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.055.

Nocera S., Maino F., Cavallaro F. (2012). "A heuristic Method for evaluating CO2 Efficiency in Transport Planning", *European Transport Research Review* 4: 91-106, 2012.

Nocera, S., Tonin, S. (2014) "A Joint Probability Density Function for Reducing the Uncertainty of Marginal Social Cost of Carbon Evaluation in Transport Planning", In *Computer-based Modelling and Optimization in Transportation* (pp. 113-126). Springer International Publishing.

Nocera, S., Tonin, S., Cavallaro, F. (2015) "The Economic Impact of Greenhouse Gas Abatement through a Meta-Analysis: Valuation, Consequences and Implications in terms of Transport Policy" *Transport Policy*, accepted for publication. Doi: 10.1016/j.tranpol.2014.10.004

Ortiz, R. A., Markandya, A. (2009) *Integrated impact assessment models of climate change with an emphasis on damage functions: a literature review*, Basque Centre for Climate Change, Spain.

Pearce, D.W., Cline, W.R., Achanta, A.N., et al. (1991) "The social costs of climate change: greenhouse damage and the benefits of control". In *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions—Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Bruce JP, Lee H, Haites EF (eds), Cambridge University Press: Cambridge, 1996; 179–224.

Pindyck, R. S. (2013) "The Climate Policy Dilemma" *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(2), 219-237.

Salling, K.B. (2008) "Assessment of transport projects. Risk analysis and decision support", *PhD doctoral thesis*.

Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., Teytelboym, A. (2010) "Externalities and economic policies in road transport", *Research in Transportation Economics* 2010; 28:2–45.

Sinha, K.C., Labi, S. (2007) *Transportation Decision Making - Principles of Project Evaluation and Programming*. John Wiley and Sons: New York, USA, 2007.

Stanton, E. A., Ackerman, F., Kartha, S. (2009) "Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics", *Climate and Development*, 1(2), 166-184.

Strachan, N., Kannan, R., Pye, S. (2007) *Final report on DTI-DEFRA scenarios and sensitivities, using the UK MARKAL and MARKAL-MACRO energy system models.* Final Report prepared by the Policy Studies Institute for the Department of Trade and Industry (DTI) and the Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).

Strahan, D. (2013) "Europe's carbon tax is down but not out" *New Scientist*, 01 July 2013, Magazine issue 2923. Online at: http://www.newscientist.com/article/mg21829230.200-europes-carbon-tax-is-down-but-not-out.html#.Ukk_zSTwCHt [25.07.2013].

Sumner, J., Bird, L., Smith, H. (2009) "Carbon taxes: a review of experience and policy design considerations" *Technical Report* NREL/TP-6A2-47312, 2009. Online at: http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/47312.pdf [14-02-2012].

Tol, R.S.J. (1995) "The damage costs of climate change: towards more comprehensive calculations", *Environmental and Resource Economics* 1995; 5:353–374.

Tol, R.S.J. (2008) "The Social Cost of Carbon: Trends, Outliers and Catastrophes", *Economics-The Open Access, Open Assessment E-Journal*, 2(25), 1-24.

Tol, R.S.J. (2013) "Targets for global climate policy: An overview", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 37(5), 911–928.

TRB, Transport Research Board (1978) *Priority programming and project selection. NCHRP Synthesis of Highway Practice 78*, Transportation research Board, National research council, Washington, DC.

UN, United Nations (1998) *Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change*. Online at: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf [01.02.2011].

van den Bergh, J.C.J.M., Botzen, W.J.W. (2013). *Monetary Valuation of the Social Costs of CO2 Emissions: A Critical Survey*. Online at http://www.icrea.cat/Web/GetFile.asmx/Download?idFile=AM780On0VH4%3D. [25.07.2014].

Vanston, J. H. (2003) "Better forecasts, better plans, better results", *Research-Technology Management*, 46(1), 47-58.

Watkiss, P., Anthoff, D., Downing, T., et al. (2005) *The social costs of carbon (SCC) review: methodological approaches for using SCC estimates in policy assessment*, Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), London.

Wefering, F., Rupprecht, S., Bührmann, S., Böhler-Baedeker S. (2013) *Guidelines. Developing and implementing a sustainable urban mobility plan*. Brussels. Online at: http://www.mobilityplans.eu/docs/file/guidelines_developing-and-implementing-a-sump_final_december_2013.pdf [19.02.2014]

Weiss, M., Patel, M.K., Junginger, M., Perujo, A., Bonnel, P., van Grootveld, G. (2012) "On the electrification of road transport - learning rates and price forecasts for hybrid-electric and battery-electric vehicles", *Energy Policy* 2012; 48:374–393.

Winkel, A. (2006) "Transport Master Plan Vienna 2003", In *Urban Development and Urban Planning Transport Planning and Regional Development Section* (Ed.). Abridged version. Stadtentwicklung Wien.

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2014), n° 2, articolo 2, ISSN 2282-6599

Modelli per la pianificazione logistica nei servizi sanitari di emergenza-urgenza

Fabio Carlucci[1*], Andrea Cirà[2], Giuseppe Quattrone[3]

[1]*Laboratorio di Economia Agroalimentare, Trasporti e Turismo (LABEATT), Università di Salerno*
[2] *Dipartimento SEAM, Università di Messina*
[3] *Dipartimento di Scienze Economiche e Sociali, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza*

Riassunto

L'individuazione di modelli decisionali per le scelte di natura logistica relative ai servizi sanitari di emergenza-urgenza negli ultimi tempi hanno assunto una maggiore importanza sia per motivazioni di carattere sociale, sia per motivi di carattere economico.

La concentrazione delle strutture sanitarie sul territorio e, quindi, l'eliminazione di molti centri di assistenza sanitaria, operata da parte delle Regioni italiane nel quadro della riduzione della spesa del servizio sanitario nazionale, ha fatto crescere l'attenzione degli utenti verso i servizi logistici di emergenza urgenza comunemente definiti come trasporti di pronto soccorso. Di conseguenza, anche i public policy maker devono ora affrontare il problema di conciliare le istanze sociali con quelle di minimizzazione della spesa della logistica per servizi di emergenza urgenza.

A quest'ultimo proposito occorre sottolineare che le specificità sociali ed economiche di tale servizio impongono un elevato livello di rigore analitico per quanto concerne, la valutazione, da un lato, dell'andamento tendenziale delle esigenze collettive, dall'altro, della capacità del servizio di rispondere al reale bisogno della domanda nella sua articolazione territoriale.

L'emergenza-urgenza costituisce un particolare segmento dell'offerta di servizi sanitari che si caratterizza per l'elevata complessità causata dell'aleatorietà degli eventi e dalla forte interazione spaziale tra il luogo di origine della domanda e il luogo in cui è possibile erogare il relativo servizio.

Se poi l'erogazione avviene in un contesto territoriale caratterizzato da una morfologia eterogenea (montana e collinare), appare evidente il grado di complessità a cui si va incontro nella progettazione e gestione del servizio stesso.

In tale ambito, il presente lavoro è teso ad illustrare un modello per ottimizzare la localizzazione e il livello di fornitura dei servizi in considerazione delle variabili territoriali (distanze e vie di comunicazione, etc.) e sociali (popolazione, attività economiche, etc.).

Il presente lavoro costituisce la base per una futura applicazione empirica relativamente al caso della Regione siciliana (per ora limitata alla sola provincia di Messina). La scelta di questo territorio come base di studio deriva dal fatto che esso presenta peculiarità tali da rendere i modelli di micro-simulazione, che si desidera utilizzare per ottimizzare le scelte decisionali nel campo della logistica di emergenza urgenza, generalizzabili ad altre realtà anche meno complesse di quella da noi presa in considerazione.

Parole chiave: Servizio di emergenza-urgenza, pianificazione dei servizi, modelli di trasporto.

[*] Autore a cui spedire la corrispondenza: Fabio Carlucci (fcarlucci@unisa.it)

1. Premessa

Nella spesa complessiva dei sistemi sanitari regionali, una delle principali voci è quella relativa all'offerta dei servizi di emergenza-urgenza.

Nonostante i due termini siano impiegati nel linguaggio comune per identificare un bisogno di assistenza prioritario rispetto ad altri, allo scopo di analizzare nei dettagli un modello organizzativo del sistema dell'emergenza-urgenza, sembra opportuno premettere una definizione più particolareggiata dell'argomento.

Nel 1994, secondo la Federazione Italiana di Medicina d'Urgenza e di Pronto Soccorso (FIMUPS), il termine urgenza indicherebbe situazioni di pertinenza esclusivamente clinica, per le quali occorre l'istituzione di provvedimenti immediati; il termine emergenza, invece, viene inteso più sul piano dell'analisi dell'organizzazione che su quello assistenziale, rappresentando, in tal caso, un meccanismo organizzativo complesso e strutture operative a rapida ed efficace attivazione, destinate ad affrontare situazioni più complicate, che richiedono l'apporto di più persone con professionalità specifiche.

Tali considerazioni rendono particolarmente arduo il compito di distinguere la fattispecie dell'urgenza da quella dell'emergenza, perché questi due vocaboli racchiudono una molteplicità di forme patologiche intermedie di difficile classificazione; entrambi però hanno in comune il fatto che dipendono da un bisogno di cure non programmato, il cui esito è strettamente correlato alla tempestività dell'intervento.

Per tale motivo, la letteratura scientifica, si è occupata più volte di fornire una chiara definizione dei termini "emergenza" e "urgenza", distinguendo i due sulla base delle condizioni di sopravvivenza del paziente. Tale classificazione prevede che si parli di emergenza, se sono compromessi i parametri vitali e se occorrono interventi immediati per garantire la sopravvivenza; laddove, invece, occorre un intervento pronto, ma non immediato (dilazionabile nel tempo) si parla di urgenza.

In ogni caso, poiché i servizi di emergenza-urgenza rientrano, da un punto di vista strettamente economico, fra le attività di intervento pubblico dirette alla salvaguardia della vita e della salute dei cittadini, non è possibile procedere ad effettuare delle semplici analisi costi benefici per valutare il livello ottimo di intervento. Queste scelte, infatti, appartengono alla sfera delle decisioni politiche , laddove le strategie di organizzazione e gestione dei servizi di trasporto di emergenza e urgenza dovrebbero rientrare nell'alveo delle competenze degli studiosi di economia dei trasporti. Se volessimo inserire il trasporto di emergenza e urgenza in una delle categorie tradizionali di beni potremmo utilizzare la sfera dei beni di merito (*merit goods*) e, come tali, da assegnare con criteri non economici ma di tipo paternalistico.

Inoltre, dato che la gestione di questa tipologia di servizi avviene in condizioni di assenza o scarsità di informazioni sulla probabilità del verificarsi della domanda, occorre trovare sistemi che permettano una razionalizzazione del servizio nel rispetto dei vincoli di bilancio che sono tipici di un sistema produttivo di tipo aziendalistico.

Si intuisce come le motivazioni che hanno spinto negli ultimi anni a una radicale trasformazione dei servizi di emergenza (DPR 27 marzo 1992, PSR 2011-2013), siano orientate al difficile passaggio da una tradizionale offerta "puntuale" di prestazioni, sia territoriali che ospedaliere, ad un vero e proprio "sistema emergenza" con tutte le sue articolazioni funzionali ed organizzative (Ottone, 1996). Secondo la FIMEUC (2012),

"il raggiungimento di un tale risultato è subordinato a investimenti strutturali, e organizzativi, risorse tecniche ed umane adeguate al volume di attività ed alla tipologia delle prestazioni cliniche offerte nel contesto della Rete della Emergenza". Va considerato altresì che, visti i vincoli di spesa da rispettare, risulta complesso pianificare un servizio in grado di raggiungere la massima copertura del territorio. Operazione ancora più complessa in caso di territori, come la Sicilia, caratterizzati da aree geografiche disomogenee e un'infrastruttura stradale che limita l'accessibilità in tempi brevi.

Ritenendo, quindi, di fondamentale importanza lo sviluppo di un metodo quantitativo a supporto della pianificazione del servizio d'emergenza-urgenza, viene proposto l'utilizzo di strumenti che permettono di rappresentare in modo dinamico il flusso di pazienti all'interno di un'area geografica, studiandone le interazioni tra domanda e offerta di servizio extra ospedaliero, tenuto conto dei tempi di percorrenza, dei diversi mezzi di soccorso per gli spostamenti fra luoghi di richiesta di assistenza e strutture ospedaliere presenti sul territorio. A tal fine, l'applicazione di un modello quantitativo permetterà di condurre simulazioni e analisi di scenario in modo da testare la risposta del sistema sanitario locale rispetto alle seguenti ipotesi:

- valutazione del servizio di trasporto d'urgenza nel caso di indisponibilità di mezzi in uno o più postazioni del 118;
- dimensionamento ottimale della flotta di mezzi;
- dimensionamento ottimale della dotazione di posti letto nei reparti, tenuto conto dell'accessibilità effettiva e potenziale alla struttura di ricovero.

Per la tipologia di ricovero verranno prese in esame solo strutture pubbliche poiché non risultano presenti nel territorio strutture private dotate di reparti di Terapia intensiva o Unità coronarica, ritenute indispensabili per interventi d'urgenza.

La ricerca pertanto, si sviluppa in tre fasi:

- Definizione e caratterizzazione del bacino d'utenza;
- Misurazione del grado di accessibilità al servizio d'urgenza;
- Conduzione di analisi di scenario con ipotesi di variazione dei dati di input.

Per questo studio si è deciso di non introdurre variabili non spaziali data la limitata influenza che queste esercitano sul comportamento dei pazienti che richiedono il servizio in condizioni d'urgenza.

2. Quadro territoriale e definizione del campione delle variabili da esaminare

La Sicilia è una regione con una popolazione di circa 5 milioni di abitanti con il territorio più esteso del Paese (25.711 Kmq). La densità abitativa è pari a 194 abitanti/Km2, distribuiti su 390 comuni. Tali caratteristiche si riflettono direttamente sui costi del sistema sanitario regionale che, nel 2011, sono risultati pari a 8.558 milioni di euro, finanziati per il 49% con fondi Regione siciliana, per il 24% con addizionali IRAP ed IRPEF, per il 26% con il fondo sanitario regionale e per il 1% con entrate proprie.

Nonostante l'attività di logistica sanitaria rappresenti, allo stato attuale, un costo minimo rispetto alla spesa complessiva del servizio sanitario regionale (circa l'1,7 %) costituito esclusivamente dall'attività di soccorso (nel 2013 si prevede una spesa complessiva per il servizio di emergenza urgenza di 130 mil. di euro), il legislatore regionale attribuisce un ruolo essenziale alla logistica sanitaria quale motore per la razionalizzazione della spesa complessiva del servizio sanitario regionale.

Al fine di razionalizzare tale spesa è stato redatto il piano sanitario regionale che individua, quale nodo centrale per il miglioramento dell'efficienza del sistema sanitario regionale, la logistica sanitaria, nonché i servizi di intervento di emergenza urgenza affidati ad una società regionale denominata SEUS 118.

La razionalizzazione del servizio di emergenza urgenza fa perno sull'attività di logistica sanitaria, in raccordo con le altre aree funzionali (presidi di continuità assistenziale, PTE, Ospedali ecc.); in tale ambito la Regione Siciliana, con D.A. n. 481 del 25 marzo 2009 "Linee guida generali sul funzionamento del Servizio di Urgenza Emergenza Sanitaria regionale S.U.E.S. 118", ha provveduto ad una prima regolamentazione degli obiettivi e dei compiti delle Centrali operative, del sistema di soccorso ospedaliero e territoriale dedicato al pronto soccorso, dell'accettazione e della successiva gestione del paziente in emergenza – urgenza.

L'attività dell'emergenza-urgenza è gestita e attualmente coordinata da quattro Centrali Operative del 118, allocate nei DEA, rispettivamente, per il bacino PA-TP nell'Azienda Ospedaliera ARNAS Civico, per il bacino di CT-SR- RG, nell'Azienda Ospedaliera Cannizzaro, per il bacino di ME, nell'Azienda Ospedaliera Papardo-Piemonte, per il bacino di CL-EN-AG, nel presidio ospedaliero S. Elia dell'ASP di Caltanissetta, attraverso la ricezione delle richieste di soccorso, la valutazione della criticità, l'attivazione e il coordinamento dell'intervento e il raccordo con la protezione civile.

Con convenzioni separate, successivamente, è stata affidato alla società SEUS 118 il compito di gestire gli altri servizi di mobilità del paziente, quali spostamenti all'interno dei complessi ospedalieri, distribuzione dei farmaci presso le farmacie degli ospedali, ecc.

Inoltre la Regione ha provveduto a definire la distribuzione dei mezzi di soccorso, nel rispetto degli standard stabiliti in sede di conferenza Stato-Regioni e secondo criteri di densità abitativa, distanze e caratteristiche territoriali. Il numero totale delle postazioni di Mezzi di Soccorso Avanzato (M.S.A.) previste è assegnato alla sede di Centrale Operativa, fatti salvi i principi di interscambiabilità del personale medico ed infermieristico.

È chiaro a questo punto che si rende necessaria una revisione della dislocazione tale che il sistema non sia statico così come previsto del legislatore regionale, ma muti in conformità con le esigenze del territorio che variano in funzione delle diverse stagioni dell'anno e nel corso degli anni.

Il nostro obiettivo sarà quindi quello di costruire un database di informazioni tali da ottimizzare l'utilizzo delle risorse disponibili dati i vincoli imposti dalla legge per garantire i servizi minimi essenziali.

Lo studio è stato limitato a una delle quattro centrali operative, pertanto le variabili che prenderemo in considerazione per esaminare il problema sono quelle di seguito riportate.

Dati in input

1. Popolazione

Per la determinazione della dimensione della domanda proveniente dai comuni della Provincia di Messina sono stati utilizzati i dati del Censimento Nazionale dell'ISTAT reperibili dal sito GEO-DEMO.

2. Strutture di ricovero

L'elenco delle strutture di ricovero attive nella Provincia di Messina nel periodo 2010 è stato acquisito dal sito del Ministero della Salute. Per ciascuna struttura, il Ministero fornisce indicazioni relative alla localizzazione territoriale.

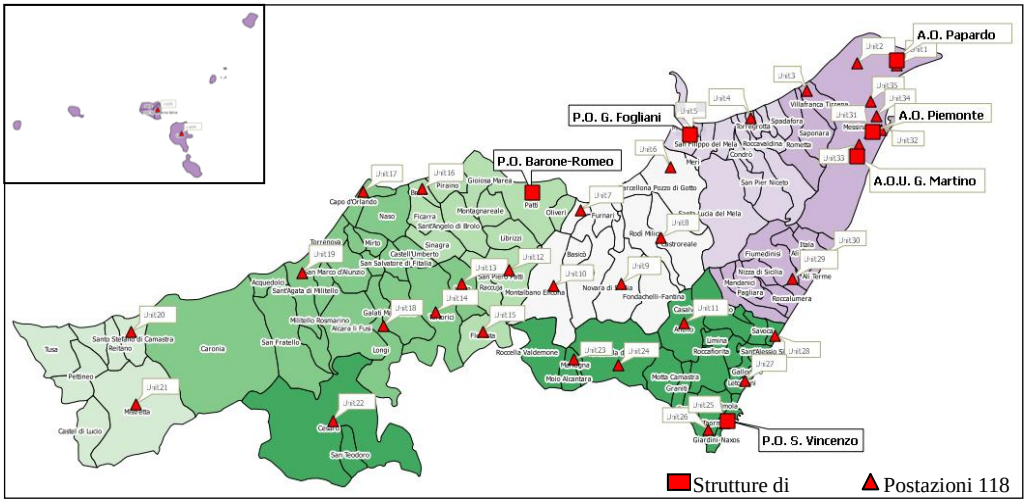


Fig. 1 - Strutture di ricovero d'urgenza e postazioni di 118 in provincia di Messina

3. Risorse per struttura

I posti letto, per i reparti d'urgenza, sono stati raccolti dal sito del Ministero della Salute.

4. Ricoveri ospedalieri d'urgenza

I ricoveri ospedalieri sono stati raccolti dal sito del Ministero della Salute sulla base delle SDO relative all'anno 2010. Per il seguente lavoro vengono presi in esame i soli ricoveri eseguiti in regime ordinario.

Le informazioni complessivamente raccolte, saranno analizzate per la costruzione di dati di input per il modello. I risultati saranno riportati in forma tabellare ed elaborati con il software di georeferenziazione QGis per la costruzione delle relative mappe territoriali.

3. Modelli per la pianificazione del servizio

Dal punto di vista metodologico, gli studi che si occupano di pianificazione del servizio sul territorio si concentrano su due tipologie di strumenti: *accessibility models* e *covering models*.

Sui primi, Guagliardo (2004) identifica i modelli più comunemente adottati nella misurazione del livello di accessibilità alle cure, classificandoli in quattro categorie: *Provider-to-population ratios*, *Travel impedance to nearest provider*, *Average travel impedance to provider*, e *Gravity models*. Questi ultimi, basati sulla legge di Newton, sono finalizzati a valutare l'equità nella distribuzione del servizio secondo un principio di interazione tra forze di attrazione. In questo tipo di modello, l'accessibilità alla struttura di servizio, è data dalla somma dei rapporti tra la domanda e l'offerta,

ponderata per la distanza che intercorre tra le stesse. Un coefficiente di impedimento rappresenta la relazione tra popolazione e servizio assumendo altri fattori costanti che influenzano l'interazione.

La maggior parte degli studiosi sostiene la validità del modello gravitazionale per la precisione con cui è in grado di descrivere il fenomeno (Fabbri e Robone, 2010) riconoscendo come elemento critico, per una valida formulazione del modello, la determinazione del coefficiente di impedimento (Luo & Qi, 2009). In tal senso, numerosi studi che misurano l'impedenza alla mobilità legata alla distanza, presentano risultati diversi a seconda che si tratti di aree urbane (Langford and Higgs, 2006; Yang et al., 2006) o aree rurali (McGrail and Humpherey, 2009). Ulteriore critica mossa a tale tipologia di modelli è dovuta alla loro limitata capacità di adattamento rispetto all'evoluzione del fenomeno studiato essendo basati su informazioni statiche attuali o pregresse (Daskin and Dean, 2004).

Un altro filone di ricerca, prevede l'uso di modelli di localizzazione, impiegati in ricerca operativa, con l'obiettivo di determinare il corretto posizionamento e il numero di strutture, minimizzando il relativo costo. I più comunemente adottati in ambito sanitario, rientrano nella famiglia dei modelli discreti e sono i *Covering-based models* ed i *Median based models* (Rahman and Smith, 2000). Mentre i primi sono orientati alla determinazione del numero minimo di unità di servizio, i secondi localizzano le strutture in base alla minima distanza percorsa. Esempi di applicazione sono: la pianificazione della copertura della rete ospedaliera (Daskin e Dean, 2004, Harper, 2005) e la localizzazione ottimale di unità mobili per il pronto intervento (Goldberg, 2004, Schmid, 2010, Knight, 2012). La principale critica mossa nei confronti dei Covering-based models è legata essenzialmente al fatto che trattano il servizio come una variabile binaria la cui distanza assume valore {0,1} a seconda che rientri o meno entro limiti predefiniti. Tale vincolo viene superato dall'applicazione dei *Median based models* la cui funzione obiettivo minimizza la distanza media ponderata tra la domanda e offerta.

3.2 Il modello di trasporto multi-modale per l'assegnazione dei flussi di ricovero

Il modello proposto in questa sede è frutto di una combinazione tra modelli gravitazionali, per la determinazione dell'attrazione e l'applicazione del metodo del simplesso per la risoluzione del problema di trasporto.

In questo studio, si assume un impianto logistico su due livelli, con la presenza di strutture fisse di pronto soccorso e unità mobili di pronto intervento dislocate sul territorio; ogni unità mobile è costituita da un'equipe di pronto intervento. Il paziente che origina da uno dei comuni della provincia di Messina raggiungerà la struttura di ricovero utilizzando tre possibili vettori di trasporto: 1) Elisoccorso, 2) Ambulanza o 3) Mezzi propri, secondo lo schema riportato in figura 2.

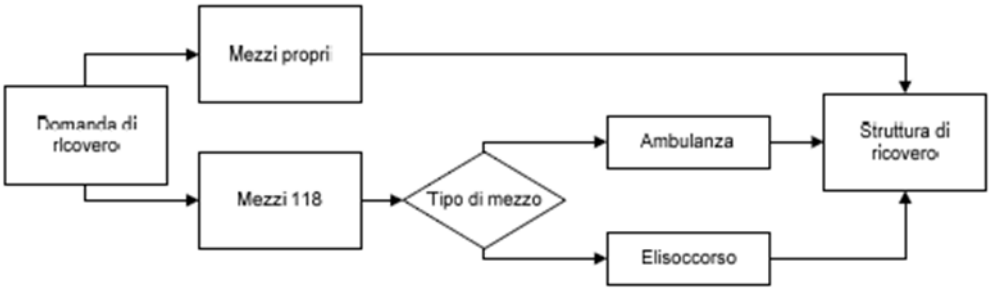


Fig.2 - Modalità di arrivo dei pazienti presso le strutture di ricovero

L'insieme delle informazioni alla base del modello è raccolto in due matrici: C_{ij} in caso di trasporto con mezzi propri e A_{iz} in caso di trasporto in ambulanza o con elisoccorso. Ciascuna matrice riporta la funzione di costo associata al mezzo di trasporto impiegato nel percorrere il tratto che separa i nodi di origine dai nodi di destinazione.

La notazione impiegata per la formulazione del modello di trasporto è tale per cui:

$$\min z = \sum_{ij} c_{ij} x_{ij} + \theta_p \sum_{zi} a_{zi} y_{zi} \qquad (1)$$

$$subject\ to: \sum_{j \in J} x_{ij} = R_i \qquad \forall i = 1,..,m \qquad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = L_j \qquad \forall j = 1,..,n \qquad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \forall ij \qquad (4)$$

$$y_{zi} \geq 0 \qquad \forall zi \qquad (5)$$

con

$$\begin{cases} \theta = 0 & se \quad p = 1 \\ \theta = 0.09 & se \quad p = (2,3) \end{cases}$$

La funzione obiettivo (1) impone che venga ricercato il minimo costo di trasporto per l'assegnazione dei pazienti che originano dai comuni della provincia. Nel caso di trasporto con i mezzi di soccorso, al costo di trasporto c_{ij} (comune/struttura) si aggiunge il costo di trasporto a_{iz} tra la postazione 118 e il comune, con probabilità ϑ che l'intervento necessiti del mezzo pubblico. Per quest'ultimo, la probabilità è stata fissata dagli autori pari al 9% dei ricoveri.

I vincoli (2) e (3) impongono che il numero dei ricoveri R_i che origina dai comuni i (1,…m) della provincia sia esattamente uguale al numero di pazienti L_j che le strutture localizzate nelle j (1,…n) destinazioni sono in grado di ricoverare nel periodo considerato. Infine, i vincoli (4) e (5) impongono che il flusso di domanda verso una struttura di ricovero sia non negativo.

In questo studio, il processo di assegnazione dei flussi di trasporto dai Comuni alle strutture di ricovero è funzione di un indicatore di accessibilità spaziale v_{ij} calcolato attraverso un modello gravitazionale la cui formulazione è espressa dalla notazione:

$$v_{ij}=\frac{\sum L_j}{R_i d_{ij}^{\beta\alpha_p}} \qquad (6)$$

Dove la variabile d_{ij} esprime la distanza temporale tra nodi di origine e nodi di destinazione ed è espressa come tempo medio di percorrenza. Il coefficiente di impedimento β indica la frizione spaziale tra i nodi della rete ed è funzione delle caratteristiche orografiche del territorio. Infine, il coefficiente α_p permette di regolare la frizione spaziale rispetto al mezzo di trasporto impiegato.

In particolare, il tempo medio di percorrenza d_{ij}, sarà calcolato:

- per pazienti che si muovono con mezzi propri, ipotizzando la scelta del percorso stradale più breve, nel rispetto dei vincoli di velocità definiti dal codice stradale;
- per pazienti trasportati con unità mobili terrestri, il tempo di percorrenza è dato dalla somma tra il tempo impiegato dall'ambulanza per raggiungere il luogo dell'infortunio, il tempo di recupero e il tempo di attraversamento del percorso stradale più breve verso la struttura di ricovero, nel rispetto dei vincoli di velocità definiti dal codice stradale;
- per pazienti trasportati con elicottero, il tempo di percorrenza sarà dato dalla somma tra il tempo necessario alle operazioni di attrezzaggio/decollo/atterraggio, il tempo di recupero del paziente, il tempo di volo e il tempo di ricovero nella struttura di destinazione.

In generale, per richieste di intervento in condizioni di urgenza, in zone geografiche con estensione provinciale e morfologia territoriale come quella considerata, risulta realistico ipotizzare una distanza massima accettabile pari a 60' di viaggio, tempo entro il quale un paziente che si trova in condizioni di emergenza, dovrebbe raggiungere una struttura di ricovero.

Va infine precisato, che la matrice che prevede l'uso di mezzi propri, incorpora una funzione di distanza il cui grado di affidabilità si ritiene sufficiente, nell'ipotesi di disponibilità immediata del mezzo di trasporto; nel caso delle matrici che prevedono l'impiego di unità mobili di pronto intervento, la variabilità circa la localizzazione e la disponibilità del mezzo al momento della chiamata tende a ridurre l'affidabilità della funzione sopraccitata.

La scelta del mezzo di soccorso, essendo funzione del costo di utilizzo, verrà opportunamente ponderata in modo da valutare la relazione tra tempi medi di soccorso e costo totale di trasporto. In questa prima fase si assume sempre disponibile almeno un'unità mobile localizzata in corrispondenza delle attuali postazioni 118.

Il modello così formulato, permette di valutare alternative decisionali riguardo la programmazione del servizio e il dimensionamento delle risorse sul territorio. In particolare la ricerca del minimo costo di trasporto globale, dato dalla combinazione dei costi di trasporto di ciascun automezzo, consentirà di pianificare il parco veicolare secondo un principio di equità nei livelli di accesso alle cure oltre che di economicità del servizio erogato.

4. Considerazioni conclusive

La riforma del servizio sanitario nazionale e il conseguente processo di aziendalizzazione (Legge n. 502 del 1992 che ha trovato applicazione circa sei anni dopo) del sistema di offerta ha portato, assieme ai vantaggi di una maggiore attenzione all'economia sanitaria, anche ad una serie di problemi gestionali di non facile risoluzione.

Di fronte alla richiesta del legislatore di una riduzione sostanziale delle risorse sanitarie, con una domanda stabile e, in determinati casi, incrementale rispetto al passato, l'equilibrio tra domanda e offerta viene gestito per approssimazioni successive e correzioni continue spesso considerate indipendenti l'una dall'altra. Nella realtà, fatta salva la consapevolezza di tali legami, il *decision maker* si trova di fronte a una rete di servizi interdipendenti, riconosciuta ma non formalizzata e di conseguenza difficilmente governabile.

L'offerta di cure, in particolare per i casi d'urgenza, non influisce in modo diretto sull'insorgenza delle patologie, ma modifica il comportamento dei pazienti che si muovono nello spazio nel tentativo di trovare risposta immediata al bisogno. In conseguenza di ciò non va trascurato il rapporto di interdipendenza che esiste tra le strutture, anche se questo non viene quasi mai formalizzato o regolato. La dotazione di risorse di una struttura, agisce in modo indiretto sul carico di tutte le strutture della rete ospedaliera, secondo un principio simile a quello dei "vasi comunicanti".

Con la costruzione di un modello che tiene conto sia della mobilità della domanda di cure sia della capacità di ricovero delle strutture di servizio, come quello proposto, siamo in grado di valutare in modo puntuale opportunità decisionali ex-ante, nell'ipotesi di scenari sia in termini di una variazione della domanda di cure sia in termini di una riorganizzazione delle risorse a disposizione.

La possibilità infine di inserire nel modello alternative di trasporto con un rapporto di costo/efficacia differenziato, consente di eseguire delle analisi di scenario con alternative di pianificazione delle risorse sia in termini quantitativi che di localizzazione nello spazio. Dal risultato di queste simulazioni, l'informazione messa a disposizione del management assume un carattere sistemico e funge da concreto supporto al processo decisionale di allocazione delle risorse.

Consapevoli della complessità delle variabili che concorrono al funzionamento del sistema sanitario, con questo lavoro, si intende mostrare uno strumento decisionale quantitativo e dinamico rispetto alla realtà osservata che tenga conto delle esigenze locali su cui è articolato il servizio. Un'estensione del modello da un livello provinciale ad uno regionale, può consentire una panoramica di più ampio spettro e una maggiore rappresentatività della realtà osservata.

Riferimenti bibliografici

Daskin, M. S. and Dean, L. K. (2004) "Location of Health Care Facilities," in: Sainfort, F.; Brandeau, M. and Pierskalla, W. (eds) *Health Care: A Handbook of Methods and Applications*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 43-76.

Fabbri, D. and Robone, S. (2010) "The geography of hospital admission in a national health service with patient choice" *Health Economics* 19(9), pp. 1029–1047.

FIMEUC, Lettera al Ministro della Salute, (2012) "Oggetto: Il sistema di Emergenza e Urgenza deve rappresentare un punto di forza del Servizio Sanitario Nazionale e deve essere inserito nel Governo Clinico". Accessibile on line dal link:

http://www.fimeuc.org/sites/default/files/LetteraAperta_Mistro_Balduzzi_GovernoClinico_SES_FIMEUC_2012.pdf

Goldberg, J. (2004) "Operations Research Models for the Deployment of Emergency Services Vehicles" *EMS Management Journal* 1(1), pp. 20-39.

Guagliardo M.F. (2004) "Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and Challenges" *International Journal of Health Geographics* 3(3), pp. 1-13.

Harper, P.R.; Shahani, A.K.; Gallagher, J.E.; and Bowie, C. (2005) "Planning health services with explicit geographical considerations: a stochastic location–allocation approach" *Omega: International Journal of Management Science* 33(2), pp. 141-152.

Joseph, A. E. and Bantock P. R. (1982) "Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study" *Social Science & Medicine* 16(1), pp.85-90.

Knight, V. A.; Harper, P. R. and Smith, L. (2012) "Ambulance allocation for maximal survival with heterogeneous outcome measures" *Omega: International Journal of Management Science* 40(6), pp. 918-926.

Luo, W. and Wang, F. (2003) "Measures of spatial accessibility to healthcare in a GIS-based environment: Synthesis and a case study in Chicago region" *Environment and Planning B* 30(6):, pp. 865-884.

Luo, W. and Qi, Y. (2009) "An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians" *Health & Place* 15(4), pp. 1100-1107.

Luo, W. (2004) "Using a GIS-based floating catchement method to assess areas with shortage of physicians" *Health and Place* 10(1), pp. 1-11.

Ottone G. (1996) "Pronto soccorso. Servizi di emergenza 118", Centro Scientifico Editore, Torino.

Rahman, S. and Smith, D. K. (1999) "Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations" *European Journal of Operational Research*; 123 (3), pp. 437-452.

Schmid, V. and Doerner, K. F. (2010) "Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times" *European Journal of Operational Research* 207(3), pp.1293–1303.

Shuurman, N.; Berube, M. and Crooks, V. (2009) "Measuring potential spatial access to primary health care physicians using a modified gravity model" *The Canadian Geographer* 54 (1), pp. 29-45.

Toregas, C.; Swain, R.; ReVelle, C. and Bergman, L. (1971) "The location of emergency service facilities" *Operations Research* 19(6), pp.1363-1373.

Viscusi, W. K. and Vernon, J. M. (2005) *Economics of Regulation and Antitrust*, Mit Press, Cambridge.

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2014), n° 2, articolo 3, ISSN 2282-6599

La logistica nazionale: analisi dei livelli di efficienza e produttività

Claudio Ferrari [1*], Andrea Migliardi[2], Alessio Tei[1]

[1]*Dipartimento di Economia, Università degli Studi di Genova*
[2]*Ufficio Analisi e Ricerca economica territoriale, Banca d'Italia*

Riassunto[1]

L'efficienza delle aziende che forniscono servizi logistici e ad alto valore aggiunto alle imprese manifatturiere risulta un elemento strategico nel possibile sviluppo futuro dell'economia italiana. Secondo numerosi studi (e.g. Confetra, Assologistica) la disparità tra costi "logistici" nazionali ed europei, risulta infatti una delle differenze che negativamente affliggono l'industria e l'export nazionale. Per tale motivo il presente studio ha lo scopo di analizzare l'efficienza delle aziende logistiche italiane, cercando di individuare eventuali criticità e proponendo possibili soluzioni al fine di incrementare la competitività del sistema paese. L'analisi si concentra sul periodo 2006-2011 e utilizza una metodologia d'indagine non parametrica (Data Envelopment Analysis - DEA) allo scopo di calcolare i punteggi di efficienza (con valutazione degli indici di Malmquist), le differenziazioni date dalla diversa dimensione aziendale, i rendimenti di scala ed il trend nel tempo di tali elementi. Le informazioni utilizzate sono derivate dai bilanci pubblicati dalle aziende stesse e contenute nel database CEBIL-CERVED. Al termine dell'analisi di efficienza, viene discussa la distribuzione spaziale delle aziende ed il relativo effetto sull'efficienza delle stesse e, quindi, vengono individuate possibili politiche atte a migliorare la situazione.

Parole chiave: Logistica, Efficienza, DEA, Malmquist Index.

[*] Autore a cui spedire la corrispondenza: Claudio Ferrari (claudio.ferrari@economia.unige.it)
[1] Le opinioni espresse in questo lavoro sono quelle degli autori e non coinvolgono la responsabilità della Banca d'Italia.

1. Introduzione

Seguendo il rapporto annuale di Confetra (2011), il settore logistico rappresenta attualmente circa il 7% del PIL nazionale, valore che potrebbe anche raddoppiare considerando l'indotto dell'industria logistica. Così come avviene per la dotazione infrastrutturale e i servizi di trasporto, la logistica non determina solamente effetti diretti sulla crescita di una regione ma ha anche un ruolo facilitatore per le altre attività economiche (Kirby e Brosa, 2011) essendo una funzione strategica anche per il commercio e la competitività del sistema produttivo nazionale (Confetra, 2009). Per tale motivo, diversi studi e rapporti – come, ad esempio, il Piano Nazionale della Logistica (Consulta per l'Autotrasporto e la Logistica, 2011) – sottolineano l'importanza del settore logistico e trasportistico per la crescita, evidenziando le criticità e le differenze, in termini di maggiori costi, che l'inefficienza di alcune operazioni causa al comparto nazionale. In particolare, Confetra (2009) evidenzia come la minor competitività dell'industria nazionale sui mercati globali possa essere parzialmente spiegata dal differenziale di performance e costi tra la logistica nazionale e quella internazionale

Infatti, l'introduzione dei sistemi di Information and Communication Technology (ICT), dei servizi ad alto valore aggiunto e di strategie volte al coordinamento dell'intera filiera produttiva, hanno accresciuto il ruolo del coordinamento logistico, e dei relativi servizi, come fattore competitivo ed elemento fondamentale per le strategie di sviluppo e crescita di diversi settori. Molti studi (ad esempio Wilmsmeier et al., 2006; Bottasso et al., 2013; Bergantino et al., 2013), infine, sottolineano lo stretto legame tra efficienza nel trasporto e crescita regionale o come regioni svantaggiate da un punto di vista trasportistico registrino un calo della competitività regionale ed un incremento dei costi di produzione.

Visto il ruolo crescente della performance logistica per la competitività dell'industria di una regione, lo scopo della presente ricerca è quello di studiare il livello di efficienza delle imprese operanti nel settore, al fine di predisporre idonei interventi di policy che possano incrementare la produttività attuale. Al fine di studiare il livello di efficienza, sono stati raccolti i dati di bilancio delle aziende logistiche nazionali per il periodo 2006-2011: tali dati sono stati usati per implementare un'analisi non parametrica (*Data Envelopment Analysis - DEA*) volta a determinare i punteggi di efficienza relativi delle singole imprese. Tale analisi è stata sviluppata assieme alla stima del *Malmquist index*, ovvero un indicatore che permette di scomporre e discutere i livelli di produttività delle aziende.

L'articolo è strutturato come segue: dopo questa breve introduzione, il secondo paragrafo introdurrà la metodologia utilizzata nel lavoro alla luce della principale letteratura di settore, mentre nel paragrafo 3 verrà descritta l'analisi effettuata con un'approfondita discussione dei risultati ottenuti. Il paragrafo 4 è dedicato alla discussione delle implicazioni di policy, mentre il paragrafo 5 contiene le conclusioni e alcune idee per il proseguo della ricerca.

2. Metodologia

In letteratura, risultano molti i contributi volti ad analizzare il settore logistico, sia dal punto di vista dei livelli di efficienza delle imprese (ad esempio, Wanke, 2012) sia con riguardo all'apporto dato alla produttività dei settori collegati (ad esempio, Partridge,

2008) e alla catena di produzione complessiva (cfr. Armstrong, 2004). Sebbene gli studi internazionali non manchino, il mercato logistico italiano è stato, invece, poco analizzato, salvo con poche eccezioni volte per lo più a stimare i sovra-costi – in termini di effetto sui trasporti – che una logistica inefficiente può portare al sistema produttivo complessivo (cfr. Cappelli, 2009). Proprio il collegamento tra efficienza del settore logistico e produttività complessiva è uno dei temi recentemente più approfonditi a livello internazionale, normalmente tramite approfondimenti specifici legati a singoli mercati nazionali, come nel caso di Wanke (2012) per le imprese logistiche brasiliane, Min e Joo (2006 e 2009) per la logistica cinese, Dayou (2010) per il legame tra logistica e quotazione dei mercati e Liu e Fu (2009) per il legame tra variazione tecnologica e efficienza logistica.

Nella maggioranza dei casi, al fine di ottenere i livelli di efficienza, il metodo di stima non parametrico (come la DEA) è stato preferito a metodi parametrici (come ad esempio la *Stochastic Frontier Analysis*) poiché l'eterogeneità delle imprese analizzate potrebbe indurre a ipotesi non corrette circa la funzione di produzione. La DEA, infatti, è un metodo di ottimizzazione lineare che permette il confronto tra le performance aziendali di ogni impresa (denominata DMU – *Decision Making Unit*) definendo la frontiera di efficienza a partire dall'ottimizzazione dei rapporti input/output di ogni DMU e, per questo motivo, non necessità di ipotesi a priori sulla forma funzionale da utilizzare (cosa che invece avviene nei metodi parametrici). In generale, la DEA, così come definita da Koopmans (1951), Farrel (1957) e Banker et al. (1984), stima un'efficienza relativa – rispetto alle aziende che meglio utilizzano i fattori produttivi – data dalla distanza tra i valori relativi ad ogni impresa e la frontiera di efficienza stimata dall'ottimizzazione dei rapporti input-output. Tale distanza permette di determinare un punteggio di efficienza relativa per ogni DMU rispetto al campione analizzato. La DEA può essere sia *input* che *output oriented*, a seconda dell'obbiettivo dell'ottimizzazione, ovvero a seconda che l'efficienza sia misurata nel senso della minimizzazione degli input utilizzati (dato un determinato output) oppure della massimizzazione degli output realizzati (data una certa quantità di input). I due metodi risultano, quindi, duali. Il punteggio di efficienza sarà pari a 1 nel caso di DMU efficiente – quando la DMU giace sulla frontiera – mentre sarà diverso da 1 nel caso di inefficienza[2]. Tanto più il valore è distante da 1, tanto più la DMU è inefficiente. Visto l'oggetto della presente ricerca si è preferito sviluppare un'analisi *input oriented*, ovvero volta a valutare la capacità aziendale di utilizzare al meglio le risorse impiegate. Inoltre, la metodologia utilizzata consente di ipotizzare sia rendimenti di scala costanti che variabili (così come dimostrato in Banker et al., 1984) e, date le caratteristiche delle aziende che compongono il settore della logistica e la presenza di economie di scala, si è scelto di privilegiare l'analisi a rendimenti di scala variabili (VRS), sebbene entrambi i modelli siano stati stimati.

Nonostante la flessibilità computazionale della DEA, essa non ammette l'esistenza di valori negativi di input o output. Per tale motivo, qualora si utilizzino valori finanziari che potrebbero essere in alcuni periodi inferiori a zero (come avviene nel caso di un'impresa che chiude l'esercizio in perdita) bisogna operare una trasformazione di tali variabili, che consiste nella "traslazione" dei valori. Così come descritto in Pastor (1996) tale trasformazione lascia inalterati i risultati della DEA solo in alcuni casi, come ad esempio nel caso di un'analisi a rendimenti di scala variabili, *input oriented*.

[2] Nel caso di modello input oriented, i valori sono compresi tra 0 e 1 mentre nel caso di DEA output oriented i valori delle DMU inefficienti saranno superiori a 1.

Laddove sia presente almeno una variabile negativa, quindi, si è scelto di utilizzare il solo metodo *VRS-input oriented*.

I risultati della DEA sono qui utilizzati per stimare l'indice di Malmquist, ovvero un indicatore che rappresenta l'evoluzione nel tempo della produttività. Tale indice è stato sviluppato da Caves et al. (1982) a partire dagli studi di Malmquist (1953) e applicato a diversi mercati (cfr. Pires e Fernandes, 2012 o Thore et al., 1994). L'utilità dell'uso dell'indice di Malmquist è sottolineata da Fare et al. (1994) e Lovell (2003), che evidenziano come l'indicatore permetta una scomposizione del valore di efficienza stimato dalla DEA in due componenti: il *technical shift* e l'*efficiency change*, ovvero i livelli di produttività possono essere determinati sia da un cambiamento tecnologico che di efficienza. Come evidenziato dalla formula sottostante, l'indice di Malmquist (M) può essere scomposto nel prodotto di due fattori: se dal periodo *t* al periodo *t+1* il cambiamento nel livello di efficienza – stimato tramite la DEA – sia da imputare ad un progresso nell'efficienza relativa (*catch up*) – corrispondente nella formula all'elemento tra parentesi – o ad un progresso in termini di produttività della singola DMU (*frontier shift*) – elemento fuori parentesi – indicando con D il valore della distanza tra la DMU e la frontiera di efficienza costruita tramite la DEA (considerata la frontiera e le caratteristiche aziendali nei due periodi di analisi *t* e *t+1*).

$$M = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t}(x^{t}, y^{t})} * \left[\frac{D^{t}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} * \frac{D^{t}(x^{t}, y^{t})}{D^{t+1}(x^{t}, y^{t})}\right]^{1/2}$$

3. L'analisi

L'analisi è stata sviluppata utilizzando una DEA a rendimenti di scala variabili, viste le caratteristiche del mercato oggetto di studio, così come suggerito anche in Dayou (2010) e Barros e Athanassiou (2004). La gran parte degli studi riguardanti le aziende logistiche, si rifanno a dati di bilancio, usando come output i ricavi (cfr. Dayou, 2010) o il *market share* (Wanke, 2012) ma molti di quelli utilizzanti solo dati finanziari utilizzano il fatturato, output scelto dal presente studio. Stante la definizione di logistica, un secondo output è stato affiancato al primo: il valore aggiunto. Poiché esso può avere anche valori negativi, il modello DEA a due output è stato impiegato solo per verificare la robustezza dei risultati. Per quel che riguarda gli input utilizzati, essi sono quattro: il costo del lavoro, il costo dei servizi, il costo delle materie prime e le immobilizzazioni (espressi in valori correnti). Tali variabili rappresentano, seguendo un rapporto di Confetra (2011), *proxy* degli elementi principali che definiscono la struttura delle aziende logistiche, così come discusso anche in letteratura (e.g. Dayou, 2010; Wanke, 2012).

3.1 La descrizione delle variabili

Secondo Confetra (2011) le aziende logistiche italiane operano tramite una struttura flessibile che consente loro di meglio adattarsi ai cambiamenti del mercato. Tale fattore risulta determinante perché il periodo analizzato (2006-2011) è a cavallo della crisi economico-finanziaria iniziata a fine 2008. I dati utilizzati sono riferiti alle informazioni pubblicate sul database delle Camere di Commercio Cebil-Cerved relativamente alle

aziende appartenenti nella categoria ATECO n. 522922, ovvero "Intermediari del Trasporto e Aziende Logistiche" (cfr. ISTAT, 2009).

Al fine di garantire la confrontabilità dei risultati nel corso degli anni, è stata utilizzata una DEA di tipo *time window*, ovvero per ogni anno di riferimento è stato usato lo stesso campione di aziende (Zhu, 2003). Poiché l'utilizzato di questo metodo è possibile solo per DMU presenti per tutto il periodo, il campione complessivo di aziende analizzate è stato ridotto dalle oltre 600 imprese presenti nel database alle 167 unità operanti per tutti i 6 anni di studio: la coorte studiata rappresenta comunque più di un quarto dell'intero universo in attività. La discrepanza tra i due valori è dovuta, per lo più, alla natalità e mortalità delle imprese o alla mancanza di dati di aziende comunque presenti per tutto il periodo. Per ovviare al limite rappresentato dallo studiare un campione di imprese che quanto meno non ha presentato risultati nel tempo così negativi da impedire di continuare a produrre[3], il modello è stato testato anche con il campione "aperto" di tutte le imprese ma la composizione delle DMU, in questo caso, non permette confronti tra i diversi anni. Ciononostante tutti i principali risultati del campione "chiuso" risultano coerenti anche con quelli del campione "aperto".

Le 167 imprese analizzate rappresentano, comunque, un buono spaccato della struttura industriale nazionale. Le imprese di maggiori dimensioni sono quasi tutte localizzate nella parte settentrionale (ed in particolare nel Nord Ovest) mentre la maggior parte delle imprese di piccole-medie dimensioni sono localizzate al centro Sud. La figura 1 riassume la distribuzione spaziale del campione.

La distribuzione del campione è leggermente sbilanciata a favore del Nord Ovest, con il 39%, e del Nord in generale (che raccoglie complessivamente il 66% delle imprese); lo stesso avviene guardando al campione "aperto". Tali differenze sembrano essere per lo più legate alle caratteristiche industriali delle diverse regioni italiane. La tavola 1, invece, mostra una statistica descrittiva delle variabili che alimentano la DEA.

[3] La coorte utilizzata rappresenta, quindi, un sottoinsieme dell'universo che potrebbe portare a risultati per costruzione "migliori" rispetto al campione aperto (*self selection bias*). Per tale motivo il modello è stato testato anche sull'intero universo. In quest'ultimo caso, però, i risultati dell'analisi non possono essere confrontati anno per anno, operazione invece possibile nel caso del campione "chiuso".

Figura 1: Distribuzione delle DMU analizzate

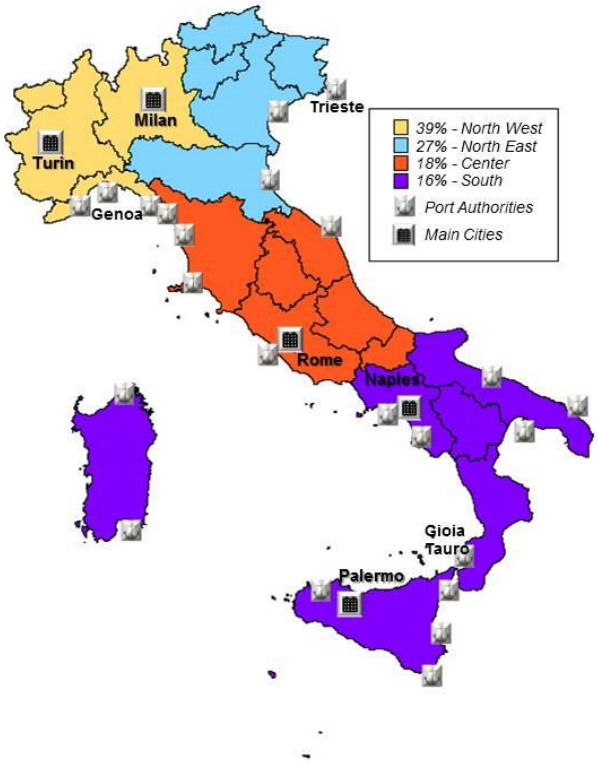


Tavola 1: Statistiche descrittive

Media	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**Media (2006-2011)**
Immobilizzazioni	1.476	1.638	2.594	2.564	2.616	2.241	2.188
Costo del Lavoro	1.777	1.939	2.074	2.044	2.173	2.227	2.039
Costo Mat. Prime	716	778	748	616	692	980	755
Costo per Servizi	7.338	7.811	8.493	7.875	8.984	9.596	8.350
Ricavi	9.981	10.796	11.602	10.910	12.249	13.080	11.436
Max	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**Max (2006-2011)**
Immobilizzazioni	25.160	29.484	61.446	62.013	63.416	35.254	63.416
Costo del Lavoro	65.624	65.349	66.792	62.811	86.033	80.660	86.033
Costo Mat. Prime	34.033	37.942	40.430	25.749	16.199	43.587	43.587
Costo per Servizi	347.413	332.200	367.000	325.298	481.524	500.015	500.015
Ricavi	406.088	401.836	442.597	403.745	587.597	589.516	589.516
Min	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**Min (2006-2011)**
Immobilizzazioni	1	1	1	1	1	1	1
Costo del Lavoro	2	5	2	1	1	2	1
Costo Mat. Prime	1	1	1	1	1	1	1
Costo per Servizi	5	9	11	12	11	9	5
Ricavi	42	75	74	76	94	83	42
Dev. St.	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**Dev St. (2006-2011)**
Immobilizzazioni	4.216	4.793	7.758	7.936	8.088	6.432	1.691
Costo del Lavoro	6.045	6.285	6.534	6.341	7.869	7.820	812
Costo Mat. Prime	3.201	3.478	3.389	2.282	1.947	3.820	737
Costo per Servizi	28.240	27.408	30.339	27.224	38.834	40.442	5.979
Ricavi	33.950	34.263	37.647	34.552	47.697	48.332	6.801

Fonte: Elaborazione propria su dati Cebil-Cerved.

Com'è possibile notare il fatturato medio registra un aumento tendenziale nel periodo oggetto d'analisi – nonostante l'effetto della crisi del 2008 – anche se tale aumento è più che contro-bilanciato dalla crescita dei costi che, in proporzione, sono cresciuti più dei ricavi. Un esempio di ciò è il valor medio del costo del lavoro o dei servizi, andamento ancor più evidente se si guarda alle immobilizzazioni (che però sono un valore patrimoniale) che registrano un tasso di crescita quasi doppio rispetto all'incremento dei ricavi. Quest'ultimo effetto può essere spiegato da un incremento generale degli investimenti nel periodo iniziale che, poi, non ha portato ad un aumento relativo dell'attività aziendale. Inoltre è da notare come il campione riporti elevati valori dello scarto quadratico, sottolineando la grande eterogeneità delle aziende presenti sul mercato.

3.2 I risultati della DEA

Al fine di elaborare tutte le analisi quantitative sono stati utilizzati sia il software DEA-Frontier Solver che il software statistico R. L'elaborazione della DEA ad un solo output - i ricavi - (Tavola 2), porta a interessanti conclusioni. Innanzitutto i punteggi medi di efficienza registrano chiaramente gli effetti della crisi, con una crescita nel primo periodo di studio, la caduta dei valori nel 2009 e poi una crescita successiva che però non permette alle DMU di raggiungere i livelli pre-crisi. La tendenza alla ripresa, in ogni caso, può segnalare un adattamento della struttura produttiva alle nuove caratteristiche del mercato e allo scenario macro-economico che si è andato via via determinando.

Tavola 2: Risultati della DEA con 1 solo output

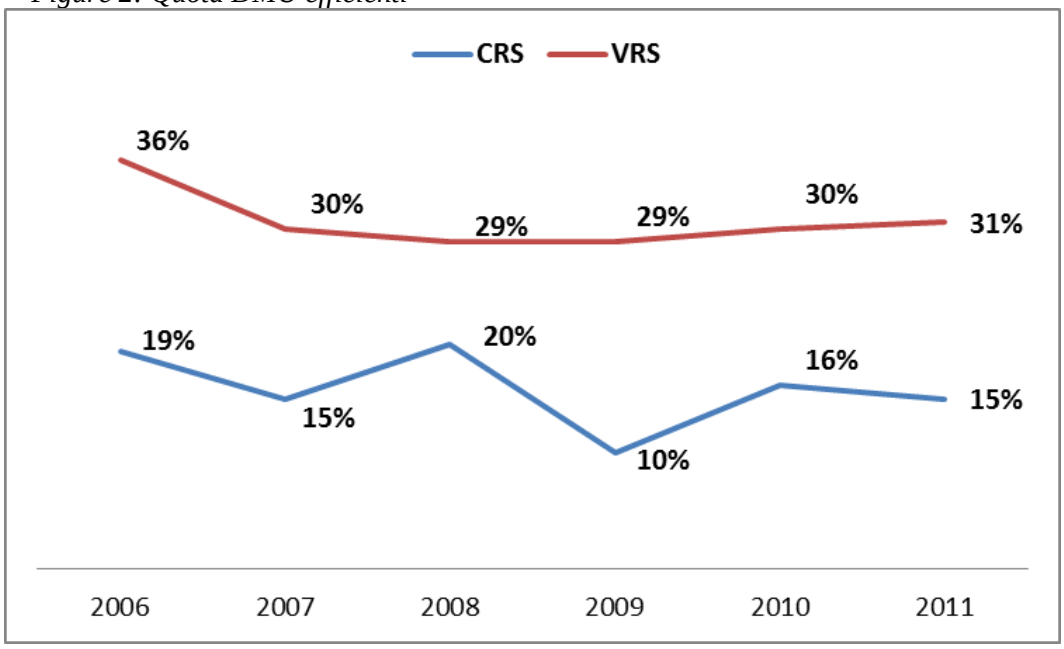
	2006	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
CRS	0,87	0,88	0,90	0,78	0,83	0,85
VRS	0,92	0,91	0,92	0,85	0,89	0,89
RTS - Increasing	29%	41%	43%	36%	20%	18%
RTS - Decreasing	50%	41%	35%	53%	63%	65%
RTS - Constant	21%	18%	22%	11%	17%	17%

Fonte: Elaborazione propria su dati Cebil-Cerved.

Come si può notare in tavola 2, poi, la stima sia del modello VRS che CRS permette l'analisi dei rendimenti di scala. Anche in questo caso la differenza tra il periodo pre-crisi ed il periodo successivo è evidente: dalla tendenza ad avere sempre più imprese a rendimenti di scala crescenti (si è passato dal 29% del 2006 al 43% del 2008) – in contrasto con le caratteristiche storiche del mercato – si è assistito ad un ritorno a rendimenti decrescenti (più del 60% delle imprese a partire dal 2010, contro il solo 18% delle imprese aventi redimenti crescenti nel 2011), legati ad una struttura aziendale sempre meno efficiente. Tali risultati possono essere legati all'andamento degli investimenti (ad esempio in immobilizzazioni) e alla contrazione del mercato.

Tali risultati influiscono anche sul numero di imprese efficienti, come mostrato in figura 2.

Figure 2: Quota DMU efficienti



Come si può notare dalla figura 2, il numero di DMU efficienti declina nel tempo, con una leggera ripresa nell'ultimo biennio. L'andamento nell'ipotesi VRS risulta meno fluttuante nel tempo e sempre posizionato sopra rispetto all'ipotesi CRS i cui valori sembrano risentire maggiormente dei cambiamenti occorsi nel periodo di analisi. Interessante è notare come un terzo delle imprese risultino efficienti per tutto il periodo mentre le imprese inefficienti ad inizio periodo risultino sempre inefficienti e la maggior parte di esse con punteggi in netto peggioramento: la crisi sembra aver quindi colpito più duramente le imprese meno efficienti del campione.

Studiando la distribuzione territoriale, per ogni anno analizzato circa la metà delle imprese efficienti si trova nel Nord Ovest e circa un quarto nel Nord Est: in questi due comparti non vi è solo un numero maggiore di aziende ma vi sono – sia in termini assoluti che in proporzione – anche più aziende efficienti rispetto al resto del Paese.

I risultati appena descritti sono anche confermati dal modello DEA a due output – ricavi e valore aggiunto - sviluppato tramite l'introduzione della traslazione del valore aggiunto (Tavola 3). Come si può vedere dalla tabella, l'andamento di tutti i risultati ripercorre quanto detto in precedenza anche se i punteggi medi di efficienza risultano leggermente più elevati rispetto a quelli determinati con il modello ad un solo output. Ciononostante i risultati appaiono confermare tutte le rimanenti asserzioni, compreso l'andamento delle DMU efficienti nel periodo analizzato e, soprattutto, la distribuzione geografica.

In maniera similare il modello DEA con campione aperto sottolinea risultati analoghi, anche se con punteggi di efficienza mediamente inferiori del 20%, ma non permette nessun confronto con i risultati appena mostrati stante le differenti DMU utilizzate per calcolare la frontiera di efficienza.

Tavola 3: Risultati della DEA con 2 output

	2006	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
CRS	0,88	0,89	0,90	0,80	0,84	0,86
VRS	0,92	0,91	0,92	0,87	0,89	0,89
RTS - Increasing	22%	32%	38%	16%	15%	13%
RTS - Decreasing	50%	42%	36%	65%	63%	66%
RTS - Constant	28%	26%	26%	19%	22%	21%

Fonte: Elaborazione propria su dati Cebil-Cerved.

3.3. I risultati del Malmquist Index

L'analisi dell'indice di Malmquist lungo il periodo di studio può aiutare a determinare le ragioni dell'andamento dei livelli di efficienza, tramite la scomposizione in due distinti effetti. L'indicatore è stato calcolato per il modello principale (1 output, campione chiuso), valutando le variazioni di efficienza anno per anno e per l'intero periodo.

La Tabella 4 mostra i risultati di tale scomposizione, riportando sia i valori medi dell'indicatore (M) sia il valore (medio) dei due elementi principali: *Technical Efficiency* e *Frontier Shift*. Com'è possibile notare il valore dell'indice M è, in media, sempre leggermente superiore all'unità, a indicare lievi miglioramenti dell'efficienza di sistema, con la sola eccezione del periodo 2010-2011.

Tavola 4: Risultati dell'indice di Malmquist[4]

2006-07	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*	**2007-08**	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*
Media	1,001	1,007	0,994	*Media*	1,001	1,032	0,967
Max	1,494	1,394	1,372	*Max*	2,205	1,667	2,205
Min	0,530	0,756	0,567	*Min*	0,150	0,432	0,348
St. Dev.	0,118	0,087	0,074	*St. Dev.*	0,169	0,121	0,121
2008-09	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*	**2009-10**	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*
Media	1,004	0,952	1,025	*Media*	1,053	1,105	0,971
Max	2,205	2,205	2,204	*Max*	2,589	2,595	2,589
Min	0,348	0,348	0,423	*Min*	0,319	0,565	0,319
St. Dev.	0,133	0,161	0,222	*St. Dev.*	0,240	0,268	0,195
2010-11	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*	**2006-11**	*M*	*Technical Eff.*	*Frontier shift*
Media	0,996	1,029	0,967	*Media*	1,010	0,989	1,017
Max	2,483	1,750	2,127	*Max*	3,178	2,241	1,608
Min	0,451	0,639	0,630	*Min*	0,328	0,551	0,340
St. Dev.	0,178	0,121	0,124	*St. Dev.*	0,263	0,182	0,113

Productivity values

	2006-07	*2007-08*	*2008-09*	*2009-10*	*2010-11*	*2006-11*
M>1	86	63	90	101	77	77
M=1	0	0	0	0	0	0
M<1	81	104	77	66	90	90

Fonte: Elaborazione propria su dati Cebil-Cerved.

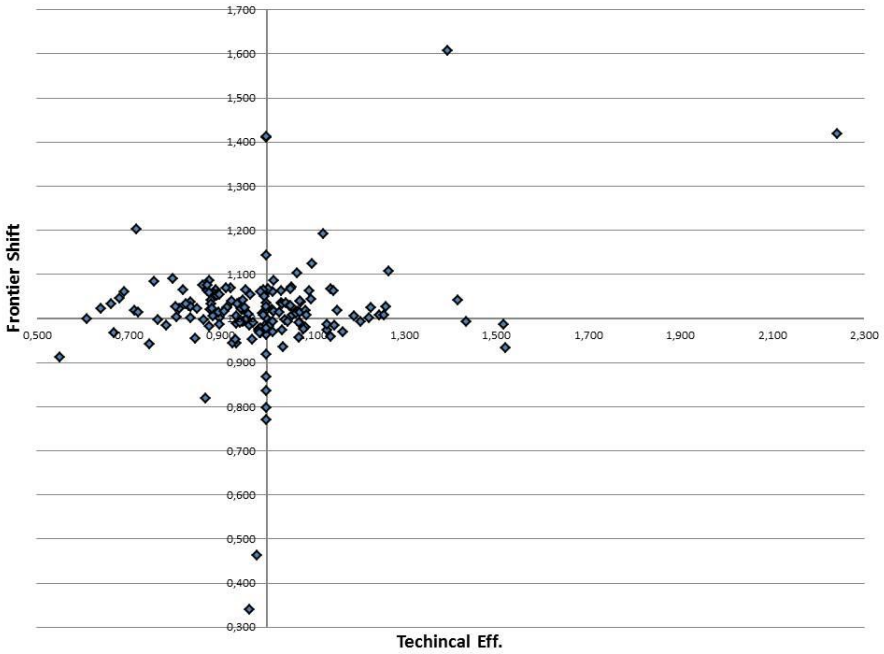
[4] In tabella, il prodotto dei due effetti non corrisponde al relativo valore di M in quanto vengono qui esposti valori medi ed approssimati.

In generale è possibile notare come i valori medi di *technical efficiency* siano di norma superiori a quanto fatto registrare dal *frontier shift* con un incremento del divario tra i due elementi crescente nell'ultimo biennio (l'unica eccezione è il periodo 2008-2009). Ciò indica una produttività del settore in crescita (risultato dei valori di M superiori ad 1) maggiormente legata a ragioni tecnologiche che non ad un reale efficientamento delle singole DMU analizzate (ad es. un miglioramento nell'uso degli input).

Tali conclusioni preliminari possono essere confermate dalla figura 3, in cui i valori della scomposizione sono inseriti in un sistema di assi cartesiani dove sull'asse delle ascisse sono riportati i valori di *technical efficiency* e su quello delle ordinate i valori di *frontier shift*: valori superiori ad 1 indicano un effetto positivo sulle performance aziendali; le DMU che giacciono sopra la bisettrice del secondo e quarto quadrante presentato pertanto un indice di Malmquist positivo (dato dal prodotto dei due fattori di scomposizione).

Com'è possibile notare dalla figura 4 (che include sul grafico i valori, per il periodo 2006-2011, dei due effetti) la maggioranza delle aziende si trova nel secondo quadrante, ovvero quello in cui il valore di *technical efficiency* è inferiore ad uno mentre il *frontier shift* è superiore ad uno. Quest'ultimo valore esprime il ruolo delle innovazioni nel modificare la frontiera di produzione; nel caso specifico indica che le innovazioni che sono intervenute nel periodo hanno contribuito a rendere una parte consistente delle aziende esaminate più vicine alla frontiera di produzione.

Figure 3: Distribuzione delle DMU nel 2006-2011



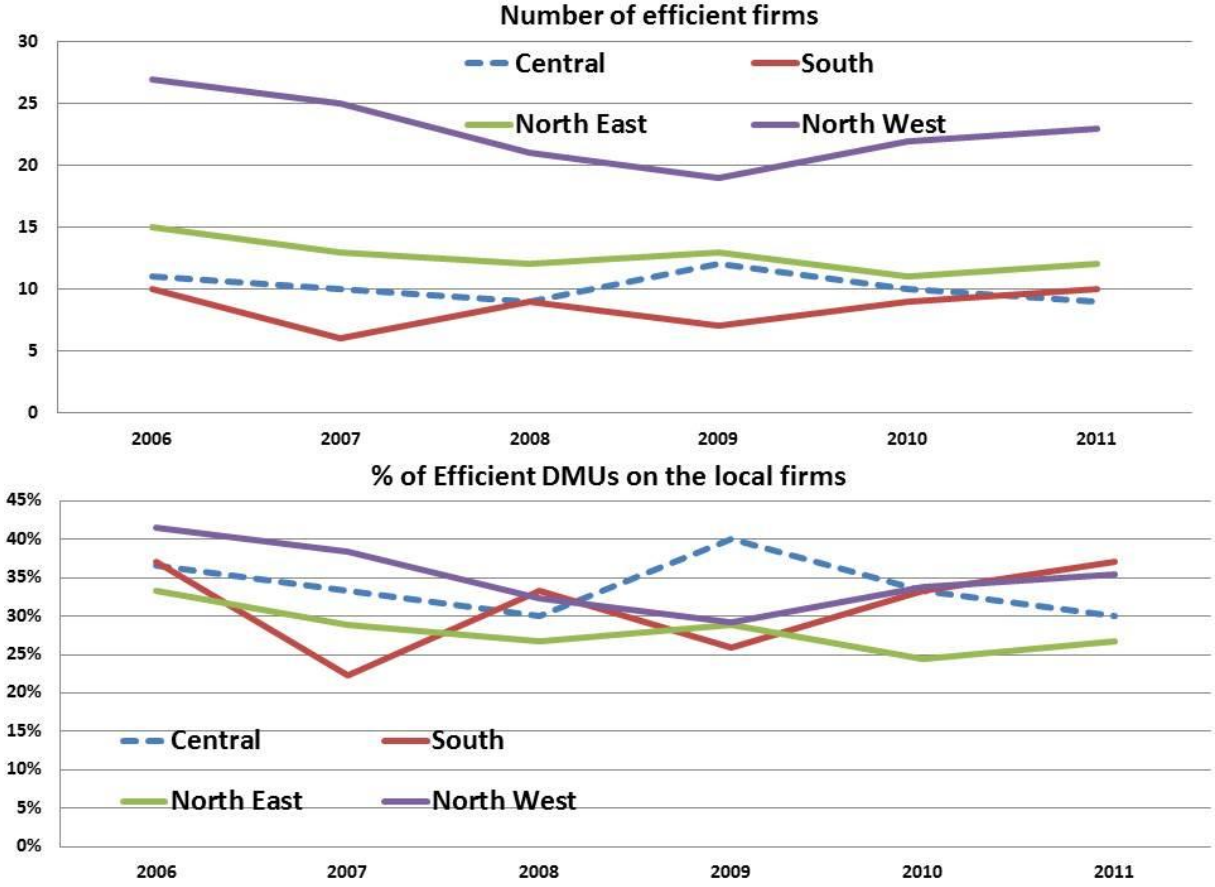
Inoltre è da notare come, per tre periodi, quasi il 50% delle DMU riporti per entrambi gli effetti valori inferiori ad 1, evidenziando problematiche strutturali che impediscono la crescita della produttività. I risultati, inoltre, sono caratterizzati da un livello di deviazione standard relativamente basso che sembra confermare una certa omogeneità del settore, anche relativamente alla difficoltà a migliorare la propria produttività.

4. Implicazioni di politica dei trasporti

L'analisi sopra descritta mette in evidenza alcuni elementi critici del settore logistico italiano, sia in termini di efficienza sia di evoluzione delle performance lungo il periodo 2006-2011. Infatti, l'analisi DEA ha consentito di evidenziare una flessione tendenziale dell'efficienza aziendale, confermata dall'analisi sulla produttività che mostra un legame debole tra efficienza e gestione aziendale. L'analisi dei rendimenti di scala, inoltre, sottolinea uno squilibrio nel settore con imprese che, in media, mostrano una dimensione verosimilmente non adeguata alle esigenze del mercato.

Al di là degli aspetti negativi, alcuni risultati positivi possono essere riscontrati. Il primo è relativo alla distribuzione geografica delle imprese efficienti, come mostrato in figura 4. Infatti, anche se la maggioranza di esse è localizzata al Nord, il Sud e il Centro registrano comunque un numero costante di imprese efficienti che, inoltre, sembrano aver meno risentito della crisi. Inoltre anche valutando la composizione percentuale del campione, la quota di imprese efficienti risulta pressoché costante, dimostrando una grande resistenza di queste aziende rispetto alla crisi economica. Unica area che – sotto il profilo dell'efficienza logistica - sembra essere stata colpita più delle altre dalla crisi economico-finanziaria del 2008 risulta essere il Centro. I risultati dell'indice di Malmquist confermano sostanzialmente quanto ritrovato dall'analisi DEA

Figure 4: Andamento delle imprese efficienti per comparto territoriale



Osservando la figura 4 si nota l'esistenza di un legame tra dimensione aziendale e minor effetto della crisi: laddove vi siano imprese più grandi (ovvero al Nord Ovest) l'effetto sulle DMU efficienti risulta inferiore, mentre laddove sono maggiormente presenti aziende più piccole (ad esempio al Centro), l'effetto anche sulle DMU efficienti risulta maggiore. Tali risultati sono confermati dall'indice di Malmquist che conferma che poche aziende riescono a migliorare le proprie performance a seguito di uno spostamento verso la frontiera invece che essere guidate da necessari cambiamenti tecnici del mercato.

In un periodo di difficoltà economica, il ruolo della logistica come facilitatore delle attività industriali non può che essere strategico, per questo il livello di efficienza delle aziende non può che essere un elemento fondamentale nell'analisi economica nazionale. Al di là dei gap infrastrutturali, più volte evidenziati dalla reportistica sul settore (cfr. Piano Nazionale della Logistica) l'analisi dei problemi strutturali delle imprese appare strategica al fine di incrementare l'efficienza e l'efficacia del settore. A tal fine il presente studio conferma la maggiore efficienza delle imprese di maggiori dimensioni, conseguentemente potrebbe essere approfondita la possibilità di disporre incentivi per il raggiungimento di dimensioni aziendali più adatte a servire il mercato, allo sviluppo di servizi avanzati – che possano influire anche sull'utilizzo di nuovi mix produttivi – nonché ad una migliore ridistribuzione territoriale. Infatti, lo sviluppo delle performance appare per lo più legato a fattori dimensionali e a salti tecnici e l'elaborazione di idonee politiche potrebbe, anche nel breve periodo, avere effetti strutturali sul settore.

5. Conclusioni

Un moderno sistema logistico ha la necessità di soddisfare le esigenze dei settori industriali, proponendo servizi non solo quantitativamente ma anche qualitativamente avanzati, al fine di risultare un valore aggiunto per le imprese nazionali. La ricerca presentata si concentra sullo studio dei livelli di performance delle imprese logistiche e sulle criticità che l'eventuale inefficienza apporta al comparto industriale. Secondo il *Council of Logistics Management* (1998) la logistica è infatti quell'insieme eterogeneo di attività collegate all'efficiente scambio di flussi materiali ed immateriali – di materie prime, prodotti ed informazioni – da siti produttivi al mercato di consumo. Tali attività si estendono dal trasporto alla gestione e produzione dei servizi ad alto valore aggiunto, creando complementarietà e necessità di coordinamento tra tutti gli attori coinvolti nel ciclo di produzione e consumo. La ricerca ha sottolineato come le imprese del settore nazionali possano presentare qualche problema di dimensionamento che influenza sia il livello dei servizi offerti sia l'efficienza aziendale. In generale si osservano situazioni molto differenti nei comparti territoriali analizzati del Paese, con il Nord Ovest che concentra le aziende con migliori performance ed anche di dimensioni maggiori. Al contrario, il Centro-Sud registra talune criticità.

Nonostante gli aspetti negativi, lo studio ha anche evidenziato un gruppo di aziende – circa un terzo delle DMU efficienti – che registra costanti livelli di efficienza durante tutto l'arco temporale preso in considerazione. Per tale motivo la politica nazionale potrebbe incentivare l'ampliamento dimensionale e del mercato di riferimento delle imprese (anche attraverso fenomeni di aggregazione) che sarebbero così in grado di investire maggiormente ed utilizzare meglio il proprio mix produttivo, così come confermato dallo studio sulla produttività.

Riferimenti bibliografici

Armstrong, R. (2004) W*ho's Who in Logistics? Armstrong Guide to Global Supply Chain Management*, Stoughton, Armostrong and Associates.

Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies, *Management Science*, 39, pp. 1078-1092.

Barros, C., Athanassiou, M. (2004) Efficiency in European Seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal, *Maritime Economics and Logistics*, 6, pp. 122–140.

Bergantino, A.S., Capozza, C., De Carlo, A. (2013) "The Role of Transport Infrastructures in determining Technical Efficiency in R&D activity of Italian regions. A double-bootstrapped DEA procedure", *Atti della XXXIV Conferenza AISRe*, Palermo.

Cappelli, A. (2009) Il costo sociale del trasporto e della logistica in Italia, *Economia dei Servizi*, 3, pp. 361-376.

Caves, D.W., Christensen, L.R., Diewert, W.E. (1982) The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity, *Econometrica*, 50, pp. 1393–1414.

Confetra (2009) *Analisi strutturale delle imprese nel settore dei servizi logistici e di trasporto*, www.confetra.it.

Confetra (2011) *La Logistica Italiana*, Rapporto della 66° Assemblea Annuale, Roma.

Consulta per l'Autotrasporto e la Logistica (2011), Il Piano Nazionale della Logistica, www.mit.gov.

Council of Logistic Management (1998) http://www.clm1.org/mission.html.

Dayou, C. (2010) "Evaluating the Profitability and Marketability of Logistics Companies in China Based on Two-stage DEA", *Proceedings of the 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering*, Xi'an, China.

Fare, M., Grosskopf, S., Norris, M. (1994) Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries, *American Economic Review*, 84, pp. 66-83.

Farrell, M.J. (1957) The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, 120, pp. 253-281.

Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT (2009) "Classificazione delle attività economiche Ateco 2007", Metodi e Norme n. 40, Roma.

Kirby, C., Brosa, N. (2011) "Logistics as a Competitiveness Factor for Small and Medium Enterprises in Latin America and the Caribbean", *Inter-American Development Bank Report*.

Koopmans, T.C. (1951) "Activity analysis of production and allocation", *Cowles Commission for Research in Economics*, 13, Wiley, New York.

Liu, B., Fu, S. (2009) "Efficiency Measurement of Logistics Public Companies Basing on the Modified DEA Model", *Proceedings of the 2009 International Conference on Computational Intelligence and Security*, Beijing, China.

Lovell, K.C.A (2003) The Decomposition of Malmquist Productivity Indexes, *Journal of Productivity Analysis*, 20, pp. 437-458.

Malmquist, S. (1953) Index numbers and indifference surfaces, *Trabajos de Estatistica*, 4, pp. 209–242.

Min, H., Joo, S. (2006) Benchmarking the operational efficiency of major third party logistics providers using data envelopment analysis, *Supply Chain Management: An International Journal*, 11, 3, pp. 259-265.

Min, H., Joo, S. (2009) Benchmarking third party logistics providers using data envelopment analysis: an update, *Benchmarking: An International Journal*, 16, pp. 572-587.

Partridge, A. (2008) 3PL elements: outsourcing = a formula for change, *Inbound Logistics*, 28, 7, pp. 107-135.

Pastor, J. (1996) Translation invariance in data envelopment analysis: A generalization, *Annals of Operations Research*, 66, pp. 93-102.

Pires, H.M., Fernandes, E. (2012) Malmquist financial efficiency analysis for airlines, *Transportation Research part E: Logistics*, 48, pp. 1049–1055.

Thore, S., Kozmetsky, G., Phillips, F. (1994) DEA of Financial Statements Data: The U.S. Computer Industry, *Journal of Productivity Analysis*, 5, pp. 229-248.

Wanke, P. (2012) Determinants of Scale Efficiency in the Brazilian Third-Party Logistics Industry from 2001 to 2009, *Brazilian Administration Review*, 9, 1, pp. 66-87.

Wilmsmeier, G., Hoffmann, J., Sanchez, R.J. (2006) The Impact of Port Characteristics on International Maritime Transport Costs, *Research in Transportation Economics*, Vol. 16, pp. 116-140.

Zhu, J. (2003) *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets and DEA Excel Solver*, Kluwer Academic Publishers.

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2014), n° 2, articolo 4, ISSN 2282-6599

LA MOBILITÀ UNIVERSITARIA: ESPERIENZE INTERNAZIONALI E ITALIANE A CONFRONTO

Lucia Rotaris[1*], Romeo Danielis[2]

[1] *Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche, Università degli Studi di Trieste, V. Valerio,4, 34127 Trieste*
[2] *Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche, Università degli Studi di Trieste, V. Valerio,4, 34127 Trieste*

Riassunto

Le università generano un duplice effetto sul contesto urbano in cui sono inserite. Da un lato contribuiscono al prestigio e all'attrattività della città, dall'altro generano flussi di traffico che congestionano la rete di trasporto e contribuiscono a deteriorare l'ambiente urbano.
Dal confronto tra alcune esperienze significative di gestione della mobilità universitaria, in Italia ed all'estero, esaminate in questo lavoro si evince che:

- sia in Italia sia all'estero, tanto per i dipendenti quanto per gli studenti, l'automobile privata è mediamente il mezzo più diffuso per raggiungere l'università, sebbene esistano ampie differenze nella ripartizione modale tra università e tra diverse sedi di uno stesso ateneo;
- la variabilità nella ripartizione modale è l'effetto congiunto di una molteplicità di fattori e di politiche di cui non è facile identificare l'importanza relativa, ciononostante, la nostra impressione è che la localizzazione della sede universitaria giochi un ruolo d'importanza preminente;
- l'analisi della destinazione d'uso delle aree e degli edifici di proprietà delle università ha mostrato come le università italiane dispongano di un numero inferiore: a) di aree per il parcheggio della autovetture, soprattutto quando le sedi sono collocate nei centri storici; b) di depositi coperti, videosorvegliati ed attrezzati per le biciclette, e c) di piste ciclabili che si inseriscano con continuità nel tessuto urbano fino a raggiungere i nodi centrali delle reti di trasporto;
- all'estero ed in particolare negli Stati Uniti la tariffazione delle aree di parcheggio è altamente differenziata e premiante per chi utilizza prevalentemente il mezzo pubblico, o per chi utilizza il mezzo privato nella forma del carsharing o carpooling, in Italia, invece, i parcheggi di proprietà delle università sono quasi sempre gratuiti ed ad uso esclusivo del corpo docente o del personale tecnico amministrativo;
- la sussidiazione del trasporto pubblico non è una pratica molto diffusa in Italia e riguarda prevalentemente i dipendenti delle università, si tratta, invece, di uno strumento molto utilizzato all'estero, non solo negli Stati Uniti, ma anche in Germania;
- il carsharing, il bikesharing ed il carpooling sono diffusi ed attivamente sostenuti dalle università estere prese in esame, mentre in Italia sono ancora sono ancora ad un livello si sviluppo iniziale.

Infine si sottolinea come il ruolo del Mobility Manager necessiti di essere rafforzato nelle università italiane.

[*] Autore cui spedire la corrispondenza: Lucia Rotaris (lucia.rotaris@econ.univ.trieste.it)

Parole chiave: politiche di gestione della mobilità; spostamenti casa-lavoro\studio; scelte localizzative; università.

1. Introduzione

La capacità di bilanciare i vantaggi e gli svantaggi della localizzazione urbana degli atenei italiani è fondamentale tanto per il loro successo quanto per la vivibilità delle città. Le università, infatti - così come altri tipi di enti pubblici (ospedali, tribunali, scuole, teatri), o privati (centri commerciali, banche, uffici direzionali ed amministrativi di grandi imprese) che alimentano la vita culturale, economica e sociale della città - sono grandi generatori\attrattori di traffico.

In Italia le sedi universitarie si collocano storicamente nei centri storici delle città, cui garantiscono forza lavoro altamente qualificata, stimolo al mercato immobiliare e commerciale ed indubbio prestigio. La localizzazione urbana arricchisce i servizi offerti dall'università di una molteplicità di servizi accessori e di attività ricreative che sono tanto più numerosi e variegati quanto maggiori sono le dimensioni della città. In questo modello insediativo la coesistenza di università e di altre funzioni urbane genera sinergie economiche, culturali e sociali che ne valorizzano reciprocamente il ruolo e le funzioni.

A partire dagli anni '90, lo spazio urbano monocentrico occupato dall'università è stato sostituito o, più spesso, integrato dalle sedi policentriche, periferiche ed extra-urbane delle così dette "università regionali" (Fedeli, 2014). Nelle aspettative del decisore pubblico la nuova collocazione delle sedi avrebbe, da un lato, assecondato e stimolato lo sviluppo economico locale, che, nel nostro paese, si configura, infatti, come policentrico e diffuso sul territorio, e, dall'altro, avrebbe alleggerito la pressione che la crescente comunità universitaria esercita sugli ambiti urbani in cui si colloca. Problemi di accessibilità delle sedi urbane, causati dalla congestione delle reti di trasporto e dalla scarsità delle aree da adibire al parcheggio, ma anche problemi d'insostenibilità economico-finanziaria dovuta ai costi di locazione e manutenzione degli immobili di particolare pregio storico architettonico che tipicamente ospitano facoltà e dipartimenti, hanno indotto molti atenei a delocalizzare le proprie sedi in aree più periferiche della città, quando non addirittura in aree extra-urbane. L'impatto è stato notevole, se si pensa che si passa da 55 università organizzate in 62 sedi agli inizi degli anni '90, a 79 università e 342 sedi nel 2006 (Dotti, 2007).

In realtà non tutte le esperienze di decentramento delle sedi universitarie hanno prodotto gli effetti sperati, principalmente a causa dell'incapacità del territorio di offrire quei servizi del terziario avanzato necessari per trattenere in loco la comunità universitaria (D'Alpaos *et al*., 2014). Non solo, l'impatto di queste scelte localizzative è risultato spesso negativo per la mobilità dei dipendenti e degli studenti, vincolati all'uso del mezzo privato a causa dell'isolamento delle sedi e della carenza dei servizi di trasporto pubblico necessari per raggiungere gli ambiti urbani più prossimi. Se da un lato, quindi, una scelta localizzativa periferica alleggerisce i centri storici dai problemi di congestione del traffico e, più in generale, delle esternalità negative del trasporto, dall'altro vincola gli utenti all'uso del mezzo privato. Questo risultato muove, quindi, in direzione opposta rispetto all'obiettivo prioritario delle politiche della gestione della mobilità e cioè la riduzione dell'uso individuale del mezzo privato a favore delle modalità "attive", ovvero degli spostamenti a piedi o in bicicletta.

La gestione della mobilità universitaria è particolarmente complicata. Le sedi localizzate in aree densamente abitate soffrono del problema della sovrapposizione con la mobilità e la sosta dei residenti, mentre quelle periferiche sono difficilmente raggiungibili se non con il mezzo privato. Ogni sede, peraltro, si caratterizza per una diversa offerta di servizi di trasporto pubblico e di aree adibite alla sosta del mezzo privato. A complicare ulteriormente la gestione di questo particolare tipo di mobilità c'è, poi, l'eterogeneità di coloro che danno origine alla domanda di trasporto: studenti, docenti e personale tecnico amministrativo, che si caratterizzano per vincoli temporali, frequenza degli spostamenti, disponibilità economica e preferenze molto diverse.

Le politiche di gestione della mobilità, peraltro, non possono che essere costruite in funzione del tipo di utenza considerata e della sede di riferimento. Queste includono, nel medio-lungo periodo, oltre alla scelta localizzativa, la pianificazione e costruzione delle aree adibite al parcheggio, la costruzione degli stalli e delle corsie preferenziali per le biciclette e la pianificazione dei servizi di trasporto pubblico. Si tratta di politiche che dovrebbero coinvolgere, quindi, non solo l'ente universitario, ma anche il Comune e gli enti gestori dei servizi di trasporto pubblico. Purtroppo, l'esperienza italiana ha dimostrato come il dialogo fra questi tre attori sia spesso discontinuo, conflittuale, se non del tutto inesistente. Più realisticamente realizzabili, quindi, sono le politiche di breve periodo, che rientrano più direttamente nella sfera delle competenze delle università, fra cui si annoverano: la tariffazione ed il contingentamento delle aree di parcheggio di proprietà dell'università, l'erogazione di sussidi per l'acquisto del biglietto o dell'abbonamento del servizio di trasporto pubblico, gli incentivi all'uso della bicicletta, del *carpooling* o del *carsharing*.

Il presente lavoro dà conto delle politiche adottate in alcuni atenei esteri e italiani, mettendoli a confronto. Inoltre, riporta i risultati di uno studio condotto nel 2010 presso l'Università di Trieste sull'efficacia della tariffazione dei parcheggi e del sussidio del trasporto pubblico. Le principali conclusioni ed i suggerimenti di politica dei trasporti che se ne derivano sono illustrati nell'ultima sezione dell'articolo.

2. Casi di studio esteri

I casi di studio esteri presi in considerazione sono molto diversi fra loro tanto in termini di scelte localizzative, alcune molto decentrate e periferiche (Università di Princeton), altre molto integrate nel tessuto urbano (Università di Glasgow), quanto in termini di ripartizione modale dell'utenza e delle politiche utilizzate per guidare la scelta modale dei dipendenti e degli studenti. Nella Tabella 1 sono riassunte le principali caratteristiche delle università prese in esame. In particolare, le tre università americane sono state scelte perché citate nella letteratura dedicata come fra le più virtuose ed innovative nella gestione della mobilità universitaria negli USA, mentre i due casi del Regno Unito sono stati inclusi perché più simili a quelli italiani in termini di scelte localizzative delle sedi universitarie all'interno dei centri storici. Evidentemente, data l'eterogeneità dei casi presi in esame, ogni confronto sulla ripartizione modale e sulle politiche utilizzate va fatto con cautela. Viene comunque riportato perché fornisce interessanti spunti di riflessione sul *mix* di politiche utilizzate e sull'impatto congiunto delle stesse.

Per quanto attiene alle scelte localizzative tutte le università analizzate gravitano attorno a, o si collocano all'interno di, centri urbani di media o grande dimensione.

L'unica eccezione è costituita dall'Università di Princeton che ha di fatto dato vita all'omonima "città-campus" che è, infatti, di piccole dimensioni (30.000 abitanti).

L'uso del mezzo privato è relativamente più diffuso fra i dipendenti che fra gli studenti, anche se la ripartizione modale è estremamente varia e presenta situazioni particolarmente virtuose, come l'Università di Washington, dove complessivamente il 30% della comunità universitaria si sposta a piedi o in bicicletta, o come l'università di Glasgow, dove il 33% dei dipendenti ed il 53% degli studenti opta per modalità di trasporto "attive", ma presenta anche casi di successo solo parziale, come l'Università di Princeton dove, a fronte di un 45% degli studenti che scelgono di spostarsi a piedi o in bicicletta, si registra anche un 84% dei dipendenti che continua ad optare per il mezzo privato.

Le scelte modali riportate sono il frutto di una serie di politiche attuate da queste università. Non solo la scelta localizzativa, quindi, ma anche scelte di medio periodo di tipo infrastrutturale e che prevedono la costruzione di aree adibite al parcheggio delle autovetture, da un lato, e la costruzione di stalli videosorvegliati, di depositi coperti attrezzati con armadietti e docce, e di corsie preferenziali per le biciclette, dall'altro. Alcune università offrono anche servizi gratuiti di assistenza e riparazione delle biciclette (Università di Princeton), servizi di *bikesharing* con flotta di proprietà dell'università (Università di Leeds) e servizi di rigenerazione e condivisione di biciclette usate (programma Recycles, Università di Chicago).

Tabella 1: Casi di studio esteri

Localizzazione	Ripartizione modale	Bicicletta	Parcheggi auto	Sussidi abbonamento TP	*Carsharing*	*Carpooling*
Washington, Seattle, 600.000 ab.	22% piedi; 8% bici; 41% TPL; 6% *carsharing*; 21% auto	Stalli (5.500) in parte coperti e videosorvegliati; sconti su ricambi ed accessori	Tariffe differenziate per distanza, status e modalità tipica utilizzata: da $423 per quadrimestre a $7 al gg	Abbonamento quadrimestrale: $76 per studenti, $132 per dipendenti. (U-PASS)	Flotta disponibile in campus (da $22 a $36 in funzione del tipo di veicolo) Sconti per chi usa U-PASS	Sconti tariffe parcheggio ($423 per quadrimestre) + U-PASS gratuito + portale formazione flotte
New Jersey, Princeton, 30.000 ab.	Studenti: 45% piedi o bici; 45% TPL; 10% auto Dipendenti: 3% piedi o bici; 3% *carpooling*; 10% TPL; 84% auto	Stalli (3.600); Servizio di bike-sharing; Cyclab riparazioni gratuite 2 volte la sett.	Gratis per dipendenti e studenti che non vivono in campus; €200 all'anno per studenti che vivono in campus	50% sconto sia a studenti sia a dipendenti	Auto disponibili in 8 siti nel campus; tariffe per studenti da $8/h a $48 al gg.; tariffe per dipendenti da $6/h a 36 al gg.	Servizio formazione flotte gratuito, bonus $50 per carburante ogni trimestre, aree parcheggio dedicate, per 5 o + pax *Van* gratuito
Illinois, Chicago, 2,7 mil ab.	n.d.	Parcheggi video sorvegliati, armadietti, docce; bikesharing programma Recycles	$4 all'ora; $20 per 4 o + ore nei parcheggi privati in campus	Bus navette gratuite sia per studenti sia per dipendenti	Tariffe indifferenziate da $6.75 a $8.5/h in funzione del tipo di veicolo (Zipcar)	Servizio formazione flotte gratuito, sconti tariffe parcheggio; *Van* gratuito per 5 o + pax
Regno Unito, Glasgow, 1,2 mil ab.	Studenti: 48% piedi; 5% bici; 36% TPL; 11% auto Dipendenti: 23% piedi; 10% bici; 26% TPL; 41% auto	Stalli disponibili in tutte le sedi	£200 per dipendenti; £120 per studenti al mese, tariffe orarie differenziate per sede.	n.d.	n.d.	Sconti tariffe parcheggio + portale formazione flotte
Regno Unito, Leeds, 450.000 ab.	Studenti: 69% piedi; 7% bici; 19% TPL; 5% auto Dipendenti: 16% piedi; 10% bici; 36% TPL; 38% auto	2.200 stalli in tutte le sedi; 290 bici a disposizione di studenti e dipendenti	1.600 parcheggi; £5 al gg.	Sconti abbonamento solo per dipendenti	n.d.	Sconti costo abbonamento annuale parcheggio

Fra le politiche più diffuse tanto negli USA quanto nel Regno Unito e reputate più efficaci al fine di indurre uno *shift* modale, vi è la tariffazione del parcheggio nelle aree di sosta di proprietà dell'università. Le tariffe sono estremamente differenziate in funzione dello status dell'utente (studente, docente, personale tecnico amministrativo), della distanza fra il parcheggio e la sede di afferenza, della frequenza di utilizzo del parcheggio (occasionale o quotidiana), della fascia oraria di utilizzo (solo durante il giorno o anche durante la notte), dei giorni della settimana (solo nei giorni feriali o anche in quelli festivi) e del periodo dell'anno (le tariffe sono differenziate in funzione del quadrimestre considerato). Le tariffe variano dai $7 al giorno (Università di Washington), ai $3.000 all'anno (per i soli dipendenti della Northeastern University, non riportata in tabella per indisponibilità di ulteriori dati). Alcune università non prevedono la possibilità di acquistare permessi annuali parcheggio, fra queste Glasgow e Leeds, proprio per evitare che il costo del parcheggio venga percepito come costo fisso e quindi induca un uso maggiore del mezzo privato. La differenziazione della tariffazione del parcheggio viene spesso usata anche per incentivare l'uso del mezzo pubblico: ad esempio nell'Università di Washington chi possiede l'abbonamento al servizio di trasporto pubblico ha diritto ad uno sconto consistente sull'uso occasionale del parcheggio.

L'altra politica estremamente diffusa negli USA ed invece meno utilizzata del Regno Unito, è la sussidiazione del pagamento del servizio di trasporto pubblico. Ad esempio nell'Università di Washington, già a partire dal 1991, è entrato in vigore il programma U-PASS, che prevede l'acquisto centralizzato dei titoli di viaggio da parte dell'università e la distribuzione ai dipendenti ed agli studenti degli abbonamenti previo addebito del costo sulla busta paga o a maggiorazione delle tasse universitarie. Il vantaggio economico per chi acquista in questo modo l'abbonamento al trasporto pubblico è duplice: da un lato, infatti, il gestore del servizio concede all'università generosi sconti sul valore degli abbonamenti in virtù della grande quantità di titoli di viaggio acquistati, dall'altro l'università finanzia ulteriormente l'acquisto con fondi propri, riducendo ulteriormente o talvolta addirittura annullando il costo in capo all'utenza. Nel caso dell'Università di Washington il contributo richiesto ai dipendenti è pari al 33% del valore del titolo di viaggio, mentre gli sconti garantiti agli studenti sono ancora più alti, ed in generale sono tanto maggiori quanto più lungo è il tragitto effettuato per raggiungere l'Università. L'Università di Princeton offre sconti del 50% sia ai dipendenti che agli studenti. L'università di Chicago, invece, fornisce servizi gratuiti di bus navetta sia agli studenti sia ai dipendenti. A Leeds, invece, sono previsti degli sconti solo per i dipendenti, mentre alla Technische Universität di Berlino (rispetto alla quale non si dispone di molte altre informazioni ragion per cui non è stata inclusa in Tabella 1) sono previsti sconti del 20% per i dipendenti e la quasi gratuità del servizio per gli studenti, che, infatti, possono acquistare l'abbonamento annuale a soli € 84.

Il *carsharing* è diffuso soprattutto nelle università americane, dove viene offerto a tariffe differenziate in funzione del tipo di veicolo scelto, della fascia oraria, della durata di utilizzo, ma anche del possesso dell'abbonamento al trasporto pubblico (l'Università di Washington garantisce sconti sulle tariffe a coloro che partecipano al programma U-PASS). Per incentivare l'uso del *carsharing* sono, inoltre, previsti sconti sulle tariffe del parcheggio e sono disponibili delle applicazioni per smartphones che consentono non solo di verificare in tempo reale la disponibilità dei veicoli all'interno dei campus, ma anche di effettuare la prenotazione del mezzo.

Anche il *carpooling* è una pratica piuttosto diffusa sia nelle università americane, sia in quelle del Regno Unito. Per favorirne l'utilizzo, oltre alla creazione di portali dedicati alla formazione delle flotte, che sono gratuitamente disponibili sia per gli studenti sia per i dipendenti, vengono garantiti sconti sulle tariffe dei parcheggi, la sussidiazione integrale dell'abbonamento al servizio di trasporto pubblico (Università di Washington), o buoni per l'acquisto di carburante (Università di Princeton). Se le flotte includono più di 4 individui,

inoltre, i mezzi di trasporto (*Van*) vengono messi a disposizione dell'università, politica, in realtà, utilizzata solo dalle università americane.

3. Casi di studio italiani

L'articolo 3 del Decreto 27 Marzo 1998 del Ministero dell'ambiente prevede che nelle aziende con più di 300 dipendenti su una sede, o con più di 800 dipendenti su più sedi collocate nel medesimo comune, la gestione della mobilità dei dipendenti sia affidata al Mobility Manager. Tale norma vale anche per le università. Al Mobility Manager spetta il compito di promuovere la mobilità sostenibile, riducendo il numero di auto e moto circolanti ed aumentando l'uso di mezzi di trasporto alternativi. Il Mobility Manager, sulla base della rilevazione delle abitudini di viaggio dei dipendenti (modalità, tempi, frequenza, origine e destinazione), deve sviluppare il Piano degli Spostamenti Casa-Lavoro. Nonostante non sia previsto *ex lege*, il Mobility Manager potrebbe, inoltre, gestire anche gli spostamenti Casa-Università degli studenti, che sono molto più numerosi dei dipendenti e generano, perciò, problemi di mobilità altrettanto, se non più importanti, di quelli riferibili al corpo docente ed amministrativo.

Compito del Mobility Manager è promuovere e sviluppare nuove modalità organizzative quali: il telelavoro, le teleconferenze, l'uso di orari flessibili e la promozione degli sportelli on-line per l'assistenza agli studenti. Inoltre, il Mobility Manager può attivare nuovi servizi di trasporto come il *carpooling*, il *carsharing*, il *bikesharing* e il servizio di autobus a chiamata. E' inoltre previsto che possa usare incentivi finanziari all'uso di modalità alternative al mezzo privato quali sconti per l'acquisto degli abbonamenti al trasporto pubblico o al *car/bikesharing*. Similmente, può proporre l'introduzione del pagamento delle aree di sosta di proprietà dell'università o del rimborso della sosta ai dipendenti che rinuncino all'uso dell'auto e quindi del parcheggio (*parking cash-out*).

In realtà, a distanza di 15 anni dall'introduzione della figura del Mobility Manager e nonostante il teorico obbligo di legge, l'applicazione della normativa è ancora timida ed a macchia di leopardo, probabilmente anche perché non è mai stata prevista alcuna forma di controllo e di penalità in caso di mancata istituzione del ruolo o di inefficacia delle politiche intraprese. Ciò nonostante si rileva una crescente tendenza alla redazione dei bilanci sociali da parte di un numero sempre più consistente di atenei che, in taluni casi, includono anche politiche di gestione sostenibile della mobilità. Nella Tabella 2 si riportano le iniziative dei Mobility Managers di alcune università pubbliche italiane. La tabella non esaurisce sicuramente la variegata casistica nazionale, ma ne fornisce uno spaccato aggiornato che si ritiene rappresentativo delle realtà più attive in quest'ambito (http://www.momact.unict.it/momact/home).

Tabella 2: Casi di studio italiani

Localizzazione	Ripartizione modale	Bicicletta	Sussidi abbonamento TP	Parcheggi auto	*Carsharing*	*Carpooling*
Bologna (385.000 ab.)	48% dipendenti; 23% studenti	Sconto iscrizione ser. *bikesharing* (C'entro anch'io)	Differenziati per docenti e personale tecnico amministrativo	Parcheggi di proprietà dell'università utilizzabili solo da dipendenti, alcuni gratuiti altri no	Esiste servizio offerto con flotta aziendale elettrica; inoltre sono previsti sconti per studenti e dipendenti su tariffe del servizio urbano	Servizio non disponibile
Brescia (195.000 ab.)	73% dipendenti ; 35% studenti	200 bici in comodato d'uso, parcheggi dedicati, rastrelliere, sconti ser. *bikesharing*	Differenziati per linea e per tipo di studente: iscritti al I anno sconto del 50%, studenti Erasmus servizio gratuito	Parcheggi di interscambio; tariffe convenzionate con parcheggi privati	Sconti su tariffe del servizio urbano	Servizio non disponibile
Catania (315.000 ab.)	71% dipendenti; studenti n.d.	Servizio di prova di biciclette elettriche	Sconti per acquisto di carnet biglietti	Parcheggio di interscambio gratuito con servizio di bus navetta	Non ci sono agevolazioni	Servizio non disponibile
Milano (1,3 mil. ab.)	19% dipendenti; 4% studenti	Sconto iscrizione ser. *bikesharing*	Sconti per dipendenti al massimo pari a €258 all'anno	Parcheggi a pagamento per dipendenti con sconto su tariffe se abbonati al TPL	Sconti su tariffe del servizio urbano (GUIDAMI)	Portale gratuito condiviso da dipendenti e studenti
Pavia (71.000 ab.)	49% dipendenti ; 22% studenti	Prossima apertura ser. *bikesharing* anche presso l'Università, non sono previsti sconti	Sconti per dipendenti in % variabile in funzione del numero di domande; per studenti costo abbonamento annuale pari a €13	Parcheggi gratuiti per dipendenti (disponibilità di 1 posto auto ogni 2 dipendenti)	Nessuno sconto per i due servizi disponibili a Pavia: Pavia in Car Sharing ed E-Vai	Servizio non disponibile
Roma (2,9 mil ab.)	n.d.	Flotta di proprietà dell'Università di 60 bici; servizio *bikesharing* (C'entro in bici)	Sconti per dipendenti pari al 4% del costo dell'abbonamento	Parcheggi gratuiti	Sconti su tariffa di iscrizione al servizio Car2go	Portale gratuito differenziato per dipendenti e studenti
Verona (260.000 ab.)	65% - 83% dipendenti; studenti n.d.	Parcheggi videosorvegliati e stalli; sconto iscrizione ser. *bikesharing*	Sconto pari a €10 su abbonamento mensile	Parcheggi privati e di proprietà dell'Università, utilizzabili sia da dipendenti sia da studenti	Non ci sono agevolazioni	Servizio non disponibile

Come nei casi esteri precedentemente illustrati, si invita alla prudenza nel confronto diretto dei casi proposti, tanto perché gli atenei presi in esame hanno dimensioni molto diverse fra loro (l'Università di Bologna ha 33 dipartimenti e 4 sedi staccate: Cesena, Forlì, Ravenna e Rimini; l'Università di Brescia ha 8 dipartimenti e nessuna sede staccata), quanto perché si tratta di enti tipicamente organizzati su più sedi all'interno della medesima città (l'Università Statale di Milano ha 28 sedi nella sola città di Milano, oltre a 9 sedi staccate), con problemi di mobilità che, evidentemente, possono essere anche radicalmente diversi in funzione della specifica sede presa in esame (quella collocata nel centro storico, rispetto a quella localizzata nella periferia della città). Si tratta, inoltre, di atenei localizzati tanto in ambiti urbani di dimensione medio-piccola (Pavia), quanto di atenei localizzati in città metropolitane (Roma e Milano), con tutte le implicazioni che da ciò derivano in termini della diversa congestione delle reti di trasporto, di esternalità negative da traffico, ma anche di disponibilità di aree di sosta e di densità e capillarità dei servizi di trasporto pubblico offerti. Si è ritenuto comunque utile tentare una lettura aggregata per ateneo e trasversale fra atenei tanto sulla ripartizione modale rilevata, quanto sulle politiche intraprese, al fine di trarre delle indicazioni sui possibili interventi migliorativi dello *status quo*. Il rischio è, evidentemente, di proporre una fotografia della situazione attuale che rappresenta in modo poco preciso le specificità della singola sede e forse anche del singolo ateneo, ma questo è il limite implicito di qualunque tentativo di generalizzazione e sintesi di fenomeni complessi come quello preso in esame che pure, al fine di una qualche analisi comparativa, necessita di essere inquadrato.

Per quanto attiene, dunque, alla ripartizione modale, notiamo, come nei casi esteri già esaminati, che l'uso del mezzo privato è relativamente più diffuso fra i dipendenti dell'università piuttosto che fra gli studenti. L'abitudine all'uso del mezzo privato, però, è estremamente diversa a seconda dell'ateneo considerato, con casi particolarmente virtuosi, come l'Università Statale di Milano, dove si registrano percentuali d'uso del mezzo privato del 19% per gli studenti ed addirittura del 4% per i dipendenti, e casi meno virtuosi, come l'Università di Brescia o di Verona, dove si registrano percentuali d'uso dell'auto da parte dei dipendenti che superano il 70%.

Purtroppo non si dispone dei dati sull'intera ripartizione modale, che avrebbero permesso di distinguere le percentuali di utilizzo delle modalità "attive" rispetto al TPL. Si registra, comunque, un'attenzione diffusa alle politiche di incentivo all'uso della bicicletta. In molti degli atenei analizzati sono presenti rastrelliere e stalli per le biciclette, anche se quasi mai sono coperti e videosorvegliati. Vi sono iniziative di *bikesharing* organizzate dall'ateneo stesso (Università di Brescia), o da enti terzi (iniziativa "C'entro anch'io" a Bologna; "C'entro in bici" a Roma Tre), che sono sussidiate dall'università prevalentemente della forma di sconti sull'iscrizione annuale al servizio. Si sottolineano, inoltre, esperienze di offerta di biciclette di proprietà dell'università in comodato d'uso (Università di Brescia e Roma Tre) e servizi di prova di biciclette elettriche (Università di Catania). Quello che sembra mancare, dunque, non è tanto, o solo, il supporto degli atenei all'uso della bicicletta, quanto un'adeguata infrastrutturazione di piste ciclabili che ne consenta un uso sicuro non solo all'interno dell'ambito universitario, ma anche al di fuori del perimento di stretta competenza dell'università.

I dipendenti godono spesso di sconti per l'acquisto degli abbonamenti al trasporto pubblico, come nel caso dell'Università di Bologna, dell'Università di Milano, dell'Università di Roma Tre, per quanto i programmi in essere non sono confrontabili

con quelli ben più consistenti offerti dalle università americane. Gli sconti per gli studenti, invece, rientrano meno frequentemente fra le politiche utilizzate dai Mobility Managers, infatti sono tendenzialmente erogati dagli enti che tutelano il diritto allo studio e che prevendono una maggiorazione delle borse di studio erogate che è tanto più consistente, quanto maggiore è la distanza fra il luogo di residenza dello studente e la sede universitaria di afferenza. Fanno eccezione l'Università di Brescia, che eroga sconti differenziati per tipo di studente e prevede uno sconto del 50% sul costo dell'abbonamento annuale per gli studenti iscritti al I anno e la copertura integrale del costo del servizio per gli studenti che partecipano al programma Erasmus, e l'Università di Pavia, i cui studenti possono acquistare l'abbonamento annuale al servizio di trasporto pubblico ad un costo pari a €13. La sussidiazione diretta dell'uso del mezzo pubblico e la sua differenziazione in funzione delle scelte modali è, comunque, molto meno utilizzata che nelle università statunitensi.

Ciò che sembra, inoltre, mancare alle politiche italiane di gestione della mobilità universitaria è la tariffazione delle aree di parcheggio di proprietà delle università, che, se esistono (nel qual caso si collocano in periferia piuttosto che nei centri storici), sono utilizzabili, in genere gratuitamente, solo dai dipendenti. È il caso, ad esempio, dell'Università di Bologna, di Milano e di Pavia. Si tratta in un implicito sussidio all'uso del mezzo privato, ad esclusivo vantaggio dei dipendenti, che non si giustifica se non sulla base di una maggiore capacità di *lobbying* da parte di questa categoria di utenti. Anche da questo punto di vista, dunque, le esperienze italiane si discostano molto da quelle estere già prese in esame. Si rilevano, comunque, due interessanti eccezioni rappresentate dall'Università di Brescia e dall'Università di Catania che hanno, infatti, predisposto delle aree di sosta di interscambio collegate alle sedi universitarie da servizi di bus navetta che, nel caso di Catania, sono offerti gratuitamente all'utenza.

Le iniziative di *carsharing*, tranne nel caso dell'università di Bologna che dispone di una propria flotta di veicoli elettrici, sono state intraprese da enti terzi e vedono coinvolti gli atenei, fra cui si annoverano l'Università di Bologna, di Brescia, di Milano e di Roma Tre, in modo molto marginale, tipicamente con l'erogazione di sconti sulla sottoscrizione annuale al servizio.

Il *carpooling*, invece, è ancora un tipo di iniziativa sostanzialmente estranea alla realtà italiana, fatta eccezione per l'Università Statale di Milano, La Sapienza di Roma e l'Università di Roma Tre. In quest'ultimo caso, per altro, il portale messo a disposizione dall'ateneo per la composizione delle flotte è separato e distinto per il personale e per gli studenti, ulteriore marcata differenza rispetto alle università statunitensi, dove è pratica comune includere nell'equipaggio sia docenti, sia studenti.

Il tentativo di analisi comparata dell'efficacia delle politiche di gestione della mobilità intraprese dagli atenei italiani e da quelli esteri di cui abbiamo riportato nel presente lavoro, non può che dare una visione parziale ed approssimativa del problema. Le ragioni, come già precedentemente sottolineato, riguardano l'impossibilità di comprendere ed esplicitare i legami di causalità esistenti fra la localizzazione delle sedi universitarie, la caratterizzazione dell'offerta dei servizi di trasporto pubblico e delle aree di sosta per i veicoli privati, e la scelta modale degli utenti. Per poter effettuare un'analisi meno superficiale del fenomeno indagato, infatti, sarebbero necessari dati di cui ad oggi molto spesso non dispongono neanche i Mobility Managers.

Per valutare l'efficacia di alcune delle politiche discusse finora, nel 2010 è stata condotta un'indagine presso l'Università di Trieste i cui risultati saranno brevemente riassunti nella prossima sezione.

4. Analisi di efficacia di alcune politiche di gestione della mobilità universitaria: il caso di Trieste

Il Mobility Manager dell'Università di Trieste ha condotto nel 2010 un'indagine per conoscere le abitudini di spostamento dei dipendenti e degli studenti. In tale occasione sono stati raccolti anche dati sulle preferenze (rivelate e dichiarate) degli intervistati sulle azioni che l'ateneo potrebbe intraprendere per ridurre l'uso del mezzo privato e per incentivare forme di mobilità più sostenibili (spostamenti in autobus o a piedi)[1]. La comunità universitaria consiste in 18.464 studenti, 2.040 docenti e 771 tra tecnici ed amministrativi. Dei 372 intervistati il 47% utilizza l'auto parcheggiando nelle aree di proprietà dell'università o nelle aree limitrofe alle sedi di afferenza, il 27% utilizza l'autobus con regolarità essendo titolare di un abbonamento mensile o annuale, mentre il rimanente 27% utilizza l'autobus ma con meno regolarità. In realtà la ripartizione modale è molto diversa per gli studenti, solo il 35% utilizza l'auto, e per i dipendenti, che invece utilizzano l'auto nel 69% dei casi, a riprova di quanto già osservato nei casi di studio italiani precedentemente illustrati. Gli spostamenti casa-lavoro e casa-studio richiedono mediamente dai 20' ai 26' se fatti in auto e dai 23' ai 25' se fatti in autobus. Le sedi dell'Università di Trieste sono sette e sono in parte localizzate nel centro storico, in parte nella zona semi-periferica ed in parte in periferia, si caratterizzano, perciò, per disponibilità di parcheggi e di servizi di trasporto pubblico molto diversi. I tempi di percorrenza e la ripartizione modale varia molto, infatti, anche in funzione della specifica sede presa in considerazione.

Sulla base dei dati raccolti è stato possibile stimare come cambierebbe la ripartizione modale se si riducesse il costo del servizio di trasporto pubblico, si aumentasse il costo del parcheggio, si riducesse il numero di parcheggi disponibili o si collocassero più lontano dalle sedi universitarie. I risultati ottenuti a livello individuale sono stati aggregati e riassunti nella Tabella 3, da cui si evince il notevole impatto che avrebbero tanto l'introduzione del pagamento del parcheggio (allo stato attuale di fatto gratuito), quanto la sussidiazione del servizio di trasporto pubblico.

[1] Per ulteriori dettagli sugli aspetti metodologici dell'indagine e sui risultati ottenuti si rimanda a Rotaris e Danielis (2014).

Tabella 3: Variazione della ripartizione modale riferibile a ciascun intervento

Politiche di gestione della mobilità	Ripartizione auto (attualmente 47%)	Ripartizione bus (attualmente 53%)	Variazione stimata % auto
A1 costo abbonamento annuale parcheggio €80	44	56	-6%
A2 costo abbonamento annuale parcheggio €160	39	61	-17%
A3 costo abbonamento annuale parcheggio €550	26	74	-45%
A4 costo abbonamento annuale parcheggio €1100	24	76	-49%
A5 costo abbonamento annuale parcheggio €2100	23	77	-51%
B1 costo orario parcheggio €0.6	40	60	-15%
B2 costo orario parcheggio €1	36	64	-23%
B3 costo orario parcheggio €1.6	29	71	-38%
C1 tempo ricerca parcheggio 15'	45	55	-4%
C2 tempo ricerca parcheggio 20'	44	56	-6%
D1 tempo per raggiungere parcheggio 10'	38	62	-19%
D2 tempo per raggiungere parcheggio 15'	31	69	-34%
E1 biglietto autobus gratuito	18	82	-62%
E2 aumento fino a coprire 60% costi operativi	70	30	49%
E3 aumento fino a coprire 100% costi operativi	76	24	62%
F1 abbonamento mensile bus gratuito	39	61	-17%
F2 aumento fino a coprire 60% costi operativi	59	41	26%
F3 aumento fino a coprire 60% costi operativi	64	36	36%
G aumento costo parcheggio e contingentamento spazi disponibili	37	63	-21%
H aumento costo parcheggio e riduzione sussidi trasporto pubblico	40	60	-15%

Dai primi risultati ottenuti, dunque, sembrano esistere i margini per intervenire in modo efficace nella risoluzione per problema, tanto sussidiando l'uso del servizio di trasporto pubblico, che ridurrebbe del 62% l'uso dell'auto, quanto tariffando il parcheggio delle auto, che ridurrebbe dal 15% al 38% l'uso del mezzo privato, in linea, per altro, con le esperienze estere in precedenza illustrate. L'esercizio simulativo è stato eseguito segmentando il campione per tipo di sede e per tipo di utenza pervenendo alla stima del diverso impatto che ogni politica produrrebbe tenendo conto della specificità del luogo e degli individui considerati. L'opportunità di implementare ciascuno degli interventi menzionati dovrebbe, però, essere vagliata anche sulla base di un'analisi costi e benefici che ne valuti l'efficienza tenendo, per altro, conto dell'eterogeneità delle preferenze degli attori coinvolti, dei vincoli di bilancio degli enti interessati alle politiche e delle peculiarità delle diverse sedi interessate dagli interventi.

5. Conclusioni e proposte

Le università, alla stregua di altri enti pubblici e privati che richiamano flussi elevati di dipendenti e di utenti, generano un duplice effetto sul contesto urbano in cui sono inserite. Da un lato contribuiscono al prestigio e all'attrattività della città, dall'altro generano flussi di traffico che congestionano la rete di trasporto e contribuiscono a deteriorare l'ambiente urbano.

Dal confronto tra alcune significative esperienze italiane ed estere di gestione della mobilità universitaria che sono state esaminate in questo lavoro si possono evincere alcune conclusioni preliminari e formulare alcune proposte.

Una prima evidenza è che, sia in Italia sia all'estero, l'automobile privata è mediamente il mezzo più utilizzato sia dai dipendenti sia dagli studenti per raggiungere l'università. Ciononostante, esistono ampie differenze nella ripartizione modale: l'Università Statale di Milano può vantare una percentuale di studenti che utilizza l'auto

pari al 4%, mentre l'Università di Brescia e di Verona hanno percentuali di utilizzo del mezzo privato da parte dei dipendenti che supera il 70%. Fra quelle estere spicca l'Università di Princeton, con una percentuale di studenti che utilizza l'auto pari al 10%, ma che annovera anche una percentuale di dipendenti che utilizza l'auto pari all'84%.

Questi risultati sono probabilmente l'effetto congiunto di una molteplicità di fattori e politiche di cui non è facile, anche per scarsità di dati, identificare l'importanza relativa. Ciononostante, la nostra impressione è che la localizzazione della sede universitaria giochi un ruolo d'importanza preminente. Le implicazioni per la mobilità delle scelte localizzative delle sedi universitarie vanno, quindi, considerate con un'attenzione ben maggiore di quanto sia avvenuto fino ad oggi.

Altrettanto impattanti sono le scelte di destinazione d'uso delle aree e degli edifici di proprietà delle università. Si è potuto notare che, rispetto alle realtà estere, le università italiane dispongono di un numero di aree per il parcheggio della autovetture inferiore, soprattutto quando le sedi sono collocate nei centri storici, così come non dispongono di depositi coperti, videosorvegliati ed attrezzati per le biciclette, o di piste ciclabili che si inseriscano con continuità nel tessuto urbano fino a raggiungere i nodi centrali delle reti di trasporto. Per essere efficaci queste politiche di tipo infrastrutturale richiedono una pianificazione concordata tanto con il Comune quanto gli enti gestori del trasporto pubblico, in quanto, se derivano dalla contingenza, come spesso, invece è accaduto, producono risultati deludenti.

Lo studio effettuato per l'Università di Trieste ha dimostrato che la tariffazione delle aree di parcheggio e la sussidiazione del trasporto pubblico possono essere efficaci per ridurre l'uso del mezzo privato. Le evidenze empiriche, soprattutto di matrice statunitense, dimostrano come la tariffazione dovrebbe essere preferibilmente variabile, altamente differenziata e premiante per chi utilizza prevalentemente il mezzo pubblico, o per chi utilizza il mezzo privato nella forma del *carsharing* o *carpooling*. In Italia, invece, i parcheggi di proprietà delle università sono quasi sempre gratuiti ed ad uso esclusivo del corpo docente, o del personale tecnico amministrativo.

Alla luce delle informazioni a noi disponibili è risultato che la sussidiazione del trasporto pubblico non è una pratica molto diffusa in Italia e riguarda prevalentemente i dipendenti delle università. Si tratta, invece, di uno strumento molto utilizzato all'estero, non solo negli Stati Uniti, ma anche in Germania, e che, secondo le nostre stime, nel caso dell'Università di Trieste, potrebbe ridurre l'uso del mezzo privato del 62%. Secondo le nostre analisi un *mix* di queste due politiche permetterebbe non solo di ridurre l'uso del mezzo privato da parte della comunità universitaria, ma ne garantirebbe anche la sostenibilità finanziaria se i fondi raccolti con la tariffazione dei parcheggi fossero utilizzati per finanziare la sussidiazione del trasporto pubblico.

Inoltre, si è osservato che il *carsharing*, il *bikesharing* ed il *carpooling* sono diffusi ed attivamente sostenuti dalle università estere prese in esame, mentre in Italia sono ancora ad un livello di sviluppo iniziale.

A nostro avviso il Mobility Manager può giocare un ruolo importante al fine di migliorare la gestione della complessa domanda di mobilità originata dalle università italiane, deve, però, diventare più operativo ed incisivo, raccogliendo in modo sistematico dati sulla mobilità anche della componente studentesca, interfacciandosi con le istituzioni (comune, provincia, regione) e gli enti terzi che gestiscono la mobilità (gestori del servizi di trasporto pubblico, gestori di servizi di *carsharing* o di *bikesharing*), condividendo le *best practices* ed attivando i necessari canali di comunicazione con l'utenza interessata alle politiche ed alle iniziative approntate.

Riferimenti bibliografici

D'Alpaos, C., Marella, G., Picchiolutto, E., Stellin, G. (2014) "Campus universitari e modelli economico-territoriali: integrazione o isolamento?", *paper presentato alla XXXV Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, http://www.grupposervizioambiente.it/aisre_sito/doc/papers/DAlpaos_et_al.pdf

Dotti N. F. (2007), *Università Conoscenza Territorio: La capacità di attrarre studenti Terriitorio*, FrancoAngeli, Milano.

Fedeli, V. (2014) "Università nella città-regione: un-bundling and rebundling il rapporto tra città e università", *paper presentato alla XXXV Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, http://www.grupposervizioambiente.it/aisre_sito/doc/papers/fedeli.pdf

Rotaris, L., Danielis, R. (2014) "The impact of transportation demand management policies on commuting to college facilities: A case study at the University of Trieste, Italy", *Transportation Research Part A* 67: 127–140.

Acknowledgements

Documento prodotto dall'Università degli Studi di Trieste (Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali, Matematiche e Statistiche) nell'ambito del progetto "UNIMOB - Il MOBility Management per l'UNIversità di Trieste: un'azione strategica a lungo termine", finanziato dal Fondo Trieste e del progetto "Un electric car club per il FVG", finanziato dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

RIVISTA DI ECONOMIA E POLITICA DEI TRASPORTI
(2014), n° 2, articolo 5, ISSN 2282-6599

Efficienza dei terminali di trasporto intermodale strada-rotaia italiani

Luigi D'Ambra[1], Lucio Siviero[2*], Anna Crisci [1]

[1] *Università degli Studi di Napoli Federico II, via Cintia Monte S.Angelo, 80126, Napoli*
[2] *Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Economia e Impresa, Corso Italia, 55, 95129, Catania*

Riassunto

Come evidenziato da ampia letteratura relativa alle infrastrutture di trasporto, tra i fattori che ne caratterizzano l'efficienza vi sono elementi di forte variabilità legati alla posizione geografica ed alla inclusione in reti di scambio internazionale di merci. L'articolo intende verificare se tali fattori sono osservabili per i terminali intermodali strada-ferrovia italiani. Utilizzando modelli con dati panel di frontiera stocastica è stata stimata l'efficienza tecnica dei terminali selezionati e verificato se essa è significativamente influenzata da elementi, oltre che dimensionali, di contesto operativo e di mercato. Attenzione particolare è stata posta alla verifica dell'evoluzione dell'efficienza nel tempo e se l'efficienza tecnica ha risentito di effetti di progresso tecnologico nel periodo 2007-2011. Con riferimento a tale periodo temporale, di forte variabilità della domanda di trasporto intermodale strada-ferro in Italia, sono stati applicati diversi modelli econometrici per valutare l'efficienza tecnica dei terminali intermodali e studiarne il relativo trend evolutivo nel tempo. I risultati dello studio mostrano un progresso tecnologico che ha negativamente contribuito alla produttività dei terminali nel periodo e che tutti i modelli applicati allo scopo hanno riscontrato un declino nell'efficienza tecnica.

Parole chiave: trasporto intermodale, terminali ferroviari, modelli panel, frontiere stocastiche.

1. Introduzione

Il trasporto intermodale strada-rotaia costituisce uno delle principali forme di intermodalità e rappresenta un'alternativa importante al trasporto terrestre mono-modale stradale. La sua diffusione come sistema di trasporto incentrato sul trasporto ferroviario di unità di carico intermodali (ITU) richiede l'operatività di efficienti *terminal* di interscambio modale localizzati in maniera strategica sul territorio. Logiche economiche ispirate alla ricerca di condizioni di ottimalità con riferimento all'utilizzo delle risorse e dei potenziali risultati raggiungibili, dovrebbero guidare ed ispirare scelte pubbliche e private. Si tratta, quindi, di valutare l'efficienza di un terminal intermodale come un qualsiasi processo produttivo che richiede degli input per ottenere degli output e, nel

[*] Autore a cui spedire la corrispondenza: Lucio Siviero (lsiviero@unict.it)

caso specifico, la migliore possibile combinazione di fattori tipici delle funzioni di produzione di servizi di trasporto merci intermodale. Tali fattori in genere comprendono elementi riconducibili a dotazioni infrastrutturali specifiche (superfici operative, lunghezza binari, attrezzature per la movimentazione, ecc.) oltre che al fattore lavoro ed al fattore energetico.

Negli anni analizzati nel presente articolo, in Italia, il settore cargo ferroviario ha risentito maggiormente degli effetti della crisi economico-finanziaria rispetto ad altri modi di trasporto. La crisi ha colpito in misura acuta i traffici per i quali la ferrovia è più vocata (internazionale, materie prime, *automotive*, ecc.) ed ha inasprito la concorrenza della modalità stradale, che ha pure registrato un calo dei noli e un ricorso più frequente a commesse singole ed alla rinegoziazione di contratti, determinando fenomeni di *back shift* modale e la conseguente destrutturazione di servizi ferroviari.

Un confronto relativo all'indicatore ton-km trasportate per km di rete ferroviaria, evidenzia che sulla rete ferroviaria italiana, pari a 16.861 km, vengono trasportate 20.2 miliardi di ton-km di merci al 2012, ovvero circa 1,2 milioni di ton-km per km di rete, rispetto a circa 3,2 milioni di ton-km della Germania e circa 2 milioni di ton-km della media europea a 27 paesi (Eurostat, 2014).

I nuovi equilibri del commercio estero stanno tuttavia stimolando una crescente domanda di sevizi logistici avanzati da parte delle imprese italiane per essere più competitive sui mercati di destinazione delle esportazioni. L'organizzazione logistica del modello logistico "ante crisi" in molte regioni italiane non è più adeguata alle esigenze delle imprese nazionali le quali richiedono sempre più servizi integrati intermodali ed operatori specializzati in grado di gestire l'intera catena logistica dei prodotti destinati all'estero. In questa nuova configurazione di modello logistico diversi sono gli approcci di pianificazione e di soluzioni organizzative riguardanti le infrastrutture dedicate e gli operatori logistici qualificati capaci di gestire l'intera catena logistica (Caris *et al.* 2008). In tale prospettiva il trasporto multimodale o "co-modale" diviene centrale ed acquisisce elementi di forza rispetto all'alternativa mono-modale.

Il presente articolo vuole analizzare con tecniche econometriche relative alla stima delle funzioni di produzione stocastiche e dell'efficienza tecnica di processi produttivi di tipo infrastrutturale, le *performance* produttive dei terminali per l'interscambio modale strada-ferrovia in Italia nel periodo 2007-2011. L'articolo è organizzato come segue: il paragrafo 2 espone alcuni aspetti tipici dei processi produttivi intermodali per la costruzione della funzione di produzione mentre il paragrafo 3 riporta la descrizione dei dati utilizzati e la costruzione del *dataset*. La sezione 4 riassume i modelli econometrici applicati che nell'Appendice vengono trattati con maggiori dettagli tecnici in relazione alla considerazione della variazione dell'efficienza tecnica nel tempo, la sezione 5 riporta i principali risultati delle applicazioni ed alcune indicazioni di *policy*, infine, la sezione 6 accoglie le conclusioni.

2. Terminali e funzioni di interscambio modale

Con riferimento alle infrastrutture dedicate alla principale funzione produttiva delle catene logistiche intermodali, l'interscambio modale, l'evoluzione tecnico-economica è orientata alla concentrazione delle operazioni in nodi strategici delle reti dove la merce può trovare maggiori opportunità di incremento di valore. Le unità di carico intermodale (UTI), ossia container, casse mobili e *semitrailer*, necessitano infatti di sistemi sempre

più complessi di gestione della movimentazione e della occupazione degli spazi operativi dei terminal, oltre che della corretta tempistica della rotazione delle stesse, in genere dettata dal trasporto transoceanico di container che rappresenta il principale canale di alimentazione delle catene intermodali, anche terrestri, ai fini della minore permanenza possibile delle grandi navi portacontainer nei porti (Janic, 2007).

I più importanti elementi di una rete di trasporto intermodale sono costituiti dai nodi terminali localizzati in connessione tra due o più modi di trasporto, essi possono essere progettati per movimentare diverse unità di trasporto intermodali (UTI) e per servire diverse reti di trasporto. I nodi strada-rotaia consistono in una vasta gamma di impianti che vanno dai più semplici terminali di trasferimento tra due o più modi di trasporto a più estesi centri logistici per la fornitura di servizi avanzati come lo stoccaggio, il deposito, la manutenzione, la riparazione, ecc. I terminali intermodali ferroviari in genere si distinguono in:

- *inland terminal*, che possono essere o meno localizzati in centri logistici, interporti, centri merci, porti "secchi o interni";
- *port terminal*, localizzati all'interno di porti marittimi o di navigazione interna.

La competizione e l'efficienza delle piattaforme può essere fortemente incrementata con la collaborazione di rete tra diverse piattaforme merci. La ferrovia è competitiva solo sotto alcune condizioni per le quali i tempi di trasbordo sono ridotti e sono programmate linee dirette e regolari in un quadro complessivo di efficienza di rete (Jencek, Twrdy, 2008).

L'intervento pubblico nel settore della intermodalità strada-rotaia in Italia è stato prevalentemente orientato alla realizzazione degli interporti perseguendo tale modello logistico di sviluppo dell'intermodalità per l'intero paese (Iannone *et al.*, 2008). *Europlatforms*, l'associazione europea dei *freight village*, fornisce una definizione di interporti in realtà molto vicina a quella che alcuni autori hanno definito come *inland freight centre* ovverosia una concentrazione di imprese indipendenti operanti nel settore dei trasporti e della logistica in una complessa struttura nella quale è possibile eseguire operazioni di scambio modale tra unità di carico (Roso *et al.* 2009). Secondo *Europlatforms*, infatti, un *freight village* è una zona definita all'interno della quale sono presenti attività relative ai trasporti, alla logistica ed alla distribuzione delle merci, sia per il transito nazionale che internazionale, effettuati da diversi operatori. Questi operatori possono essere proprietari o locatari di edifici e strutture (magazzini, depositi, aree di stoccaggio, uffici, parcheggi, ecc.). Al fine di rispettare le regole della libera concorrenza, un *freight village* dovrebbe consentire l'accesso a tutti gli operatori e dovrebbe essere munito anche di tutti i servizi pubblici necessari. Infine, al fine di favorire il trasporto intermodale per la movimentazione delle merci un *freight village* dovrebbe preferibilmente essere servito da una molteplicità di modi di trasporto (strada, ferrovia, mare, idrovie interne, aereo) ed è fondamentale che sia gestito da un unico organismo, pubblico o privato. In breve, un complesso pianificato e costruito per gestire al meglio tutte le attività coinvolte nella movimentazione merci e in genere i grandi centri di larga scala possono essere definiti *freight village* (Europlatform, 2004).

Un tipico terminale strada-rotaia, posto o meno all'interno di un interporto, include i seguenti principali elementi tecnici:

a) binari di presa e consegna dei carri, di raccordo per deposito, attesa ed ispezione dei treni/vagoni;
b) binari di trasbordo e di carico per le operazioni intermodali di carico/scarico;

c) corsie e spazi di stoccaggio e attesa delle unità di carico intermodali;
d) corsie e spazi di carico, movimentazione, parcheggio dei veicoli stradali;
e) varchi e rete interna stradale.

Nelle operazioni tipiche più semplici, il treno arriva alla corsia di trasbordo ed è servito per il carico e scarico fino alla successiva partenza. Questo tipo di operazioni prevede l'utilizzo quasi esclusivo dei binari per il trasbordo tra vagoni ferroviari e mezzi stradali e la sequenza di carico e scarico è settata principalmente con l'arrivo dei mezzi stradali al terminal. In realtà le operazioni sono più complesse e quindi si assume che ogni terminal produce meno della sua possibile ottima capacità produttiva a causa di un certo grado di inefficienza tecnica (Ballis, Golias, 2004). Se la capacità per singolo binario di carico/scarico di una determinata infrastruttura terminale, in media giornaliera, viene impiegata da un solo treno intermodale, il terminale applica una metodologia operativa "statica". A questo proposito il cosiddetto *flow factor*, che è la frequenza media con la quale la lunghezza totale dei binari di carico/scarico è impiegata è pari ad 1,0; invece, un *flow factor* di 2,0 significa che ogni metro di binari di movimentazione è stato utilizzato in media da due treni o servizi per le spedizioni in entrata e in uscita.

3. Il modello empirico e i dati

Lo studio utilizza un campione di 34 terminali strada-rotaia italiani per valutare l'andamento del tempo dell'efficienza tecnica nel periodo 2007-2011. Sono stati applicati modelli di frontiera di produzione che indicano la massima produzione ottenibile data la combinazione di risorse disponibili. L'inefficienza è misurata da quanto un impresa devia dalla sua ideale possibile frontiera. Aigner *et al.* (1977) sono tra i primi che hanno proposto il metodo della funzione di produzione stocastica attraverso la stimatore di massima verosimiglianza. Da allora i modelli di frontiera stocastica sono stati applicati in modo molto esteso nelle analisi di economia applicata. Battese and Coelli (1995) è uno degli esempi-guida di utilizzazione dei modelli di frontiera stocastica per la valutazione dell'efficienza di infrastrutture di trasporto, nello specifico di terminal container.

Le fonti utilizzate per la costruzione del *dataset* sono state: i siti web aziendali degli interporti e della società Terminali Italia del gruppo F.S., il portale di Unioncamere TRAIL, il portale della associazione europea delle società di gestione interportuale *Europlatform freight village*, il Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti del Ministero delle Infrastrutture. Inoltre, i dati di traffico e alcuni specifici parametri dimensionali dei terminal sono stati direttamente raccolti attraverso un'indagine con somministrazione di un questionario ai soggetti gestori[1].

La scelta dell'*output* deve riflettere l'aspetto sistematico del terminale strada-rotaia che è una struttura integrata sotto il profilo trasportistico e logistico. In questi termini, l'*output* generato può essere generalmente descritto dalla variabile che esprime la misura dal traffico merci complessivamente movimentato in unità di trasporto intermodale (UTI).

La variabile dipendente scelta nel presente studio è stata l'indice di produttività ferroviaria definito dal rapporto tra traffico intermodale strada-ferro (in numero di UTI)

[1] Si ringrazia il dr. Fedele Iannone per aver costruito il questionario e per la relativa raccolta dei dati.

e la lunghezza dei binari totali del terminal (in metri). Questa misura di produttività rappresenta meglio la configurazione tecnica dell'infrastruttura in specie nel caso di alta variabilità delle dimensioni e della capacità all'interno del campione considerato. Inoltre, la variabile scelta come *output* rappresenta meglio l'effettiva utilizzazione della capacità disponibile dei terminali che in molti casi risentono di strategie di investimento orientate a rilevanti riserve di capacità portate avanti negli anni anche con il contributo del settore pubblico attraverso finanziamenti a supporto della intermodalità, come nel già citato caso degli interporti. Studi empirici mostrano per l'Italia un valore medio di tale indicatore di produttività pari a 25-30 UTI per metro lineare di complessivi binari ferroviari del terminal (Ministero dell'Ambiente, 2013).

Nell'ambito delle infrastrutture aeroportuali Pels *et al.* (2001 e 2003) seguendo un approccio parametrico hanno condotto un analisi di 34 aeroporti europei e valutato frontiere stocastiche di produttività. In altri studi sono stati utilizzati indicatori per la valutazione dell'efficienza quali il numero decolli aerei per pista operativa, il numero di aeromobili per unità di lunghezza delle piste, il numero di aerei per unità di tempo o il numero di aerei cargo caricati per rampa di carico/scarico (Jaržemskiene, 2010).

Con riferimento alle variabili input, sono state selezionate in ordine alla rappresentatività dell'impiego dei fattori lavoro e capitale fisico caratteristici dei terminali ed alla significatività statistica:

- gli addetti al terminal intermodale (unità di lavoro);
- l'area del terminal intermodale (metri quadrati).

Con riferimento alle variabili espressione dell'industria e dell'ambiente imprenditoriale endogeno delle strutture sono state considerate:

- l'indicatore HHI: un indice relativo al singolo terminale che misura la quota di mercato e quindi la competizione tra le imprese di gestione per ogni singolo anno;
- la localizzazione interna ad un interporto: una variabile dicotomica eguale ad 1 se il terminale è interno ad un interporto ed uguale a 0 se non lo è.

L'indice HHI varia nel tempo ed è stato calcolato con il rapporto tra il traffico movimentato di ciascun terminale ed il totale traffico per ciascun periodo considerato. La funzione di produzione è stata stimata considerando anche una variabile (*Year*) espressione di un *trend* temporale costante per catturare il cambiamento tecnologico "neutrale" che consente di distinguere i miglioramenti produttivi indotti dal progresso tecnologico con lo spostamento della frontiera nel tempo, da quelli derivanti da miglioramenti di efficienza che comportano movimenti verso la frontiera (Yan *et al.* 2009).

Gli spostamenti della frontiera nel tempo possono avvenire a causa di progressi tecnologici "neutrali" che riguardano la combinazione degli input nel loro complesso o anche il cambiamento nel tempo del loro mix produttivo, in tale ultimo caso si verifica una variazione del tasso marginale di sostituzione tecnica dei fattori. Gli investimenti in infrastrutture di trasporto sono evidentemente elevati e non modificabili facilmente nel breve periodo, pertanto, i terminal intermodali tendono a seguire strategie di massimizzazione dell'output per sfruttare maggiormente gli impianti esistenti. In questo studio si è quindi adottato un modello di frontiera *output-oriented* come metodo di proiezione della frontiera basato sull'osservazione del traffico merci intermodale dei terminali italiani. Infatti, nel caso delle infrastrutture di trasporto si è solito considerare come obiettivo dell'efficienza tecnica la massimizzazione del traffico prodotto come, ad esempio, nel caso dei terminali marittimi di container (Cullinane *et al.*, 2004; Cheon *et al.* 2010). Tali tipologie di infrastrutture sono infatti investimenti a lungo termine con

ampi margini di riserva di capacità per far fronte ad eventuali incrementi di traffico nel tempo (Medda, Liu, 2012).

Assumendo che l'efficienza tecnica può essere stimata dal rapporto di produttività tra il traffico intermodale e la lunghezza dei binari del terminal, i risultati mostrano l'effetto dell'occupazione, dell'estensione delle superfici operative, della competizione e della localizzazione in un ambiente imprenditoriale logistico multiservizi sull'efficienza produttiva. La tabella 1 riporta le statistiche descrittive delle variabili incluse nello studio trasformate successivamente in logaritmi per le applicazioni modellistiche.

Tabella 1 – Statistiche descrittive delle variabili

Variabile	Osservazioni	Min.	Max	Media	Dev. Std.
Traffico intermodale (UTI)	167	0.00	427416.00	58716.287	91710.332
Lunghezza binari (metri lineari)	167	300.00	24000.00	3676.695	4616.856
Indice di produttività ferroviaria (IPF)	167	0.00	50.276	16.091	12.416
Addetti al terminal intermodale (unità di lavoro)	167	1.00	229.00	23.132	37.597
Area del terminal intermodale (metri quadri)	167	6000.00	350000.00	103491.096	95698.596
Indice HHI	167	0.00	21.728	2.990	4.695
Interporto (si=1 no=0)	167	0.00	1.00	0.299	0.459

4. Modelli econometrici applicati

La stima delle frontiere stocastiche per dati *cross-section* è stata simultaneamente proposta da Aigner, Lovell and Schmidt (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977). Pitt and Lee (1981) e Schmidt and Sickles (1984) mostrano chiaramente i vantaggi di utilizzare dati *panel* per la stima di frontiere di produzione. Ci sono inoltre potenziali effetti positivi con l'utilizzo di dati relativi a gruppi di unità in tempi di osservazione diversi con maggiore variabilità, minore collinearità e più gradi di libertà disponibili (Baltagi, 1995). Ciò comporta maggiore consistenza delle stime dell'efficienza tecnica e quindi obiettivo delle studio è stato di applicare i principali modelli di frontiera stocastica che utilizzano dati *panel* e indagare sui risultati ottenuti con riguardo specifico alla variazione nel tempo dell'efficienza tecnica e del progresso tecnologico "neutrale". Per analizzare questi modelli è stata utilizzata la stessa forma funzionale ma differenti assunzioni circa i parametri, la funzione considerata è:

$$y_{it} = \alpha + f(x'\beta) + \varepsilon_{it} \qquad (1)$$

dove f è una funzione di produzione generalmente del tipo Cobb-Douglas o translog, *i=1,2,…,N,* indica il terminal del campione, *t=1,2,…,T* indica il tempo, e $\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it}$ l'errore. Il termine di errore casuale v_{it} è assunto essere distribuito come una normale v_{it}~$iidN(0,\sigma_v^2)$. Il termine dell'inefficienza u_{it} se è assunto che abbia una distribuzione ad una coda *half normal* è u_{it} ~$N^+(0\ ,\sigma_u^2)$. I modelli applicati sono riportati nella tabella 2.

Tabella 2 - Modelli applicati

Modelli Time Invariant	Modelli Time Varying	Modelli Pooled
Pitt and Lee, 1981 Battese and Coelli, 1988	Battese and Coelli, 1992 Battese and Coelli, 1995	Aigner, Lowell and Schmidt, 1977 Stevenson, 1980

Secondo la relazione intercorrente tra inefficienza tecnica ed il tempo l'analisi dei dati *panel* è effettuata con due tipi di modelli, uno definito *time invariant* nel quale si assume che l'inefficienza è costante nel tempo a prescindere dall'eventuale progresso tecnologico, definita u_i, l'altro è il modello *time varing* che prevede che l'inefficienza tecnica possa cambiare nel tempo, definita u_{it}. Pertanto, considerando l'inefficienza correlata col tempo essa risulta in una delle due forme generali:

1. *Time invariant*: $u_{i1} = u_{i2} = \cdots = u_{iT} = u_i$

2. *Time varying*: $u_{i1} = u_i g(1), \dots, u_{iT} = u_i g(T)$ *i.e.* $u_{it} = u_i g(t)$

In Appendice è riportata l'esposizione in dettaglio dei suddetti modelli applicati in relazione alla variazione dell'efficienza tecnica nel tempo.

5. Risultati principali

La tabella 3 mostra le stime di risultati dei modelli considerati. I risultati di questi modelli sono stati comparati su due aspetti: la stima dei parametri e la stima dell'inefficienza, λ and γ, dove $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$ and $\gamma = \sigma^2{}_u/(\sigma^2{}_u + \sigma^2{}_v)$. In particolare, il parametro γ è compreso nell'intervallo [0,1].

Se non c'è inefficienza, il valore σ_u dovrebbe essere zero, quindi λ dovrebbe essere zero. In questo studio λ è atteso essere differente da zero, indicando presenza di inefficienza. L'ipotesi nulla $\gamma = 0$, implica che l'effetto dell'inefficienza tecnica non è presente nel modello. La distribuzione *half-normal* è un caso speciale della distribuzione *truncated normal*, e implicitamente comporta la condizione $H_0: \mu = 0$. Inoltre, è stata testata l'ipotesi che l'efficienza è invariante nel tempo *(η = 0)*. Queste sono state testate attraverso l'imposizione di vincoli al modello e usando la statistica

rapporto di verosimiglianza generalizzato (λ^*) per determinare la signficatività dei vincoli. Il rapporto di verosimiglianza generalizzato è definito come:

$$\lambda^* = -2ln\{[L(H_0)/L(H_1)]\} = -2\{ln[L(H_0)] - ln[L(H_1)]\} \quad (2)$$

dove $L(H_0)$ è il valore della funzione di log-verosimiglianza per la stima della frontiera stocastica sotto l'ipotesi nulla e $[(L(H_1)]$ è il valore della funzione di log-verosimiglianza per la funzione di produzione stocastica sotto l'ipotesi alternativa. Nel nostro caso, i γ sono tutti significativi. Inoltre, dalla tabella 3 si evince che tutti i parametri sono significativi all'1%, ad eccezione della variabile *dummy* "Interporto" significativa al 10% per i modelli Pitt e Lee (81) e BC (88) e una significatività al 5% per il modello BC (92).

Dall'analisi dell'inefficienza tecnica emerge che i modelli BC (95) e Stevenson (80) danno relativamente una stima grande di λ e cioè (20,1430) e (61,087), rispettivamente. Questo risultato è anche confermato dal parametro γ che è chiuso ad 1. Un buon risultato è dato dal modello Battese and Coelli (92). Inoltre la non significatività del parametro μ in BC (95) implica che l'efficienza non è significativamente influenzata dalla variabile temporale inserita nel modello dell'inefficienza sottostante a quello di frontiera stocastica.

Tabella 3 – Risultati delle stime

	Stevenson (80) Pooled	Pitt and Lee (81) Time-invariant	BC (88) Time-invariant	BC (92) Time-varying	BC (95) Time-varying
α	5.9956*** (0.4909)	6.6099*** (0.8670)	6.6179*** (0.8986)	6.3136*** (0.8094)	5.9445*** (0.4921)
Year	-0.0956*** (0.0224)	-0.1170*** (0.0170)	-0.1170*** (0.0171)	-0.0524** (0.0256)	-0.0782*** (0.0277)
ln Addetti (unità)	-0.2887*** (0.0504)	-0.2331*** (0.0698)	-0.2326*** (0.0715)	-0.2386*** (0.0663)	-0.2908*** (0.0510)
ln Area Terminal (metri quadri)	-0.5770*** (0.0475)	-0.6246*** (0.0857)	-0.6252*** (0.0877)	-0.6164*** (0.0803)	-0.5776*** (0.0479)
ln HHI	0.8702*** (0.0427)	0.8356*** (0.0334)	0.8359*** (0.0343)	0.8196*** (0.0332)	0.8734*** (0.0436)
Interporto (si=1 no=0)	0.3022*** (0.0877)	0.2678* (0.1518)	0.2676* (0.1526)	0.2523** (0.1309)	0.3013*** (0.0882)
η				-0.1211*** (0.03586)	
μ					6.5715 (22,6864)
λ	61.087	2.4845	2.4490	3.8356	20.1430
γ	0.9997	0.8606	0.8570	0.9363	0.9975
σ_u^2	280.3883	0.5577	0.5413	1.2237	32.2044

σ_v^2	0.0751	0.0903	0.0903	0.0832	0.0793

****, **, * indicano la significatività rispettivamente a: 1%, 5% e 10% .*

In tabella 4 il coefficiente di correlazione di Kendall mostra differenze tra i modelli in termini di efficienze tecniche, in particolare si nota elevata correlazione tra i modelli BC (95) e Stevenson (80), mentre bassa correlazione tra BC (92), Stevenson (80) e BC (95).

Tabella 4 – Correlazione Kendall tra le stime dell'efficienza tecnica per i differenti modelli

	BC (88)	BC (92)	PL (81)	STEVE (80)	BC (95)
BC88	1.0000				
BC92	0.8660	1.0000			
PL81	0.9800	0.8507	1.0000		
STEVE80	0.7239	0.6739	0.7101	1.0000	
BC95	0.7213	0.6994	0.7060	0.9341	1.0000

Data la trasformazione logaritmica degli input e degli output, si possono osservare che le variazioni parziali di produttività sono statisticamente significative e con simile magnitudine tra i diversi modelli. Come previsto, i coefficienti hanno segno negativo con riferimento agli addetti ed alla dimensione dell'area del terminal dovuti alla stessa direzione dei fattori lavoro e dotazione infrastrutturale che riguardano la capacità totale del terminal, pertanto, questi sono crescenti insieme alla lunghezza dei binari ferroviari. Questo avviene anche a causa del decrescente progresso tecnologico nel periodo studiato dovuto all'elevato eccesso medio di capacità presente nella maggior parte dei terminali, come confermato dal segno negativo del coefficiente relativo alla variabile *Year* espressione dell'inclusione del *time trend* nei modelli. Evidentemente, aggiungendo maggiori quantità di fattori produttivi che incrementano la capacità del terminal non utilizzata, il rapporto di produttività ferroviaria tende a decrescere.

Al contrario, gli effetti dell'indice della quota di mercato e della localizzazione interna ad un interporto sono positivi. A parità di traffico i risultati per tutti i modelli applicati sembrano favorire i terminali con minore capacità inutilizzata nel quale sono concentrate attività di logistica. I valori relativi all'efficienza dei modelli *time invariant* e *time varing* (media nel periodo) sono riportati nelle tabelle 5 e 6.

Tabella 5 – Efficienza dei terminali - time invariant

Terminali	Pitt and Lee (81)	BC (88)
Bari Ferruccio	0.7080	0.7117
Bologna	0.2312	0.2328
Brescia	0.3817	0.3840
Brindisi	0.6115	0.6148
Busto Arsizio	0.7076	0.7104
Candiolo	0.5237	0.5272
Catania Bicocca	0.4819	0.4845
Gallarate	0.7429	0.7467
Gela	0.9014	0.9030

Lamezia Terme	0.9186	0.9201
Leghorn Guasticce	0.8580	0.8611
Lugo	0.2848	0.2867
Maddaloni Marcianise	0.3023	0.3044
Marcianise	0.2201	0.2216
Melzo	0.9235	0.9246
Milan Certosa	0.4789	0.4813
Milan Segrate	0.5254	0.5282
Milan Smistamento	0.6873	0.6906
Mortara	0.6864	0.4157
Nola	0.4642	0.4673
Novara	0.8741	0.8762
Padua	0.7616	0.7651
Padua Scalo	0.6269	0.6301
Palermo Brancaccio	0.2012	0.2026
Parma/Castelguelfo	0.7982	0.8019
Pescara Porta Nuova	0.6290	0.6321
Piacenza	0.3008	0.3027
Pomezia-S. Palomba	0.7687	0.7725
Rho	0.8273	0.8311
Rivalta Scrivia	0.8161	0.8199
Rome Smistamento	0.5011	0.5040
Torino Orbassano	0.5238	0.5269
Trento	0.6053	0.6086
Verona	0.7216	0.7250

Tabella 6 - Efficienza media dei terminali - time varying

Terminali	BC (92)	BC (95)
Bari Ferruccio	0.7486	0.7893
Bologna	0.2610	0.2937
Brescia	0.4089	0.5295
Brindisi	0.6272	0.7493
Busto Arsizio	0.7721	0.7785
Candiolo	0.5408	0.6554
Catania Bicocca	0.5184	0.6547
Gallarate	0.7784	0.7968
Gela	0.9157	0.8821
Lamezia Terme	0.9104	0.8896
Leghorn Guasticce	0.8837	0.8299
Lugo	0.3023	0.4130
Maddaloni Marcianise	0.3265	0.4041
Marcianise	0.2211	0.3873

Melzo	0.9412	0.8797
Milan Certosa	0.5223	0.6443
Milan Segrate	0.5689	0.6748
Milan Smistamento	0.7347	0.7852
Mortara	0.3829	0.4778
Nola	0.4985	0.5863
Novara	0.9122	0.8510
Padua	0.8201	0.7831
Padua Scalo	0.6565	0.7694
Palermo Brancaccio	0.1863	0.4020
Parma/Castelguelfo	0.8327	0.8129
Pescara Porta Nuova	0.6403	0.8038
Piacenza	0.3341	0.4089
Pomezia-S. Palomba	0.8035	0.8121
Rho	0.8172	0.8036
Rivalta Scrivia	0.8321	0.7946
Rome Smistamento	0.5166	0.6802
Torino Orbassano	0.5513	0.6764
Trento	0.6550	0.7094
Verona	0.7894	0.7728

Come già evidenziato tutti i modelli applicati suggeriscono la presenza di un negativo progresso tecnologico neutrale nel periodo, osservabile dal segno negativo del parametro della variabile *Year*. I modelli *time varing* mostrano inoltre che anche l'efficienza tecnica è decrescente nel tempo, infatti, il coefficiente η nel modello BC (92) è significativo e negativo ed il coefficiente μ del modello BC (95) è positivo ma non significativo. E' naturale aspettarsi un miglioramento tecnico in ogni industria nel tempo ma, nel caso delle infrastrutture intermodali, ciò è lecito aspettarselo nel medio-lungo termine con l'impiego di nuove tecniche di movimentazione; comunque, nel periodo studiato, il segno del *trend* temporale è risultato sempre negativo. Ci sono diversi fattori che possono contribuire a tale risultato e, oltre al fatto che il processo di produzione è limitato nella sostituzione degli input, come in tutti i casi di efficienza relativa ad infrastrutture di trasporto, può esserci l'effetto dell'eccesso di capacità.

Molti terminali intermodali italiani infatti hanno investito in capacità e facilitazioni tecniche tanto che il tasso di utilizzazione medio è andato riducendosi negli anni e sia la produzione che l'efficienza tecnica sono andate progressivamente peggiorando considerando il modello *time varing* BC (92). Anche considerando i risultati del modello BC (95), si osserva che significativamente negativo è il progresso tecnologico "neutrale" non avendo considerato eventuali effetti sulla produzione dovuti alla sostituzione tecnica tra fattori della produzione nel tempo.

Gli indici di efficienza tecnica riportati in tabella 5 per i modelli *time invariant* ed in tabella 6 per i modelli *time varing* evidenziano un grado di efficienza superiore a 0,7 dei terminali intermodali del Nord Italia localizzati a ridosso dell'arco alpino e specializzati nel traffico transfrontaliero ferroviario specialmente con l'Europa settentrionale (Germania, Austria, Francia, Belgio, Olanda). I terminali degli interporti di Novara,

Parma, Padova e Verona, localizzati lungo le principali direttrici di traffico trans-europeo che attraversa la pianura padana, svolgono un ruolo di primissimo piano all'interno del complessivo assetto dei traffici merci tra l'Italia del nord ed il resto d'Europa. I terminali intermodali di Melzo, Rho, Gallarate e Busto Arstizio, non all'interno di un interporto, registrano a livello di efficienza molto buono. Livorno e Rivalta beneficiano del traffico marittimo dei porti di Livorno e Genova. I soli terminali inclusi in tale gruppo di elevata efficienza tecnica non localizzati al Nord Italia sono Pomezia e Bari ove sono presenti operatori molto dinamici che hanno saputo inserire i rispettivi terminal nel *network* dei principali servizi nazionali ed internazionali. I terminali di Lametia e Gela raggiungono un elevato livello di efficienza tecnica, superiore a 0,7, rispetto alla loro piccola dimensione ed alla ridotta dotazione di fattori produttivi. L'indice di output considerato potrebbe pertanto sovrastimare l'efficienza dei terminali di piccola dimensione. Questo fenomeno è ancor più presente nel modello *time varing* BC (95) coinvolgendo anche i terminali minori di Pescara, Padova Scalo e Brindisi.

L'andamento negativo dell'efficienza tecnica potrebbe essere dovuto alla natura quasi fissa degli input produttivi in relazione alla data capacità totale ed anche al significativo calo di traffico degli anni 2009-2010 che potrebbe avere determinato per molti terminali una situazione di sovraccapacità catturata nei modelli applicati da una bassa efficienza media e dal decremento di essa nel periodo considerato. In genere tali risultati mostrano che c'è un elevato potenziale di miglioramento di efficienza per oltre il 50% dei terminali compatibilmente con il generale declino degli ultimi anni del traffico ferroviario cargo in Italia.

5.1 Efficienza tecnica time varying

La figura 1 mostra la distribuzione di densità di Kernel delle stime dell'efficienza tecnica per i modelli Stevenson (80), BC (92) and BC (95) mentre la figura 2 mostra il primo quartile, la media e il terzo quartile per anno degli stessi modelli. In particolare, Battese e Coelli (95) e Stevenson (80) mostrano la stessa distribuzione empirica mentre in Battese e Coelli (92) è differente. L'efficienza tecnica del modello BC (92) è decrescente (η negativo), mentre i modelli BC (95) and Stevenson (80) mostrano lo stesso *trend*. Inoltre, la differenza nei valori dell'efficienza (inter-quartile) è più ampia in BC (92).

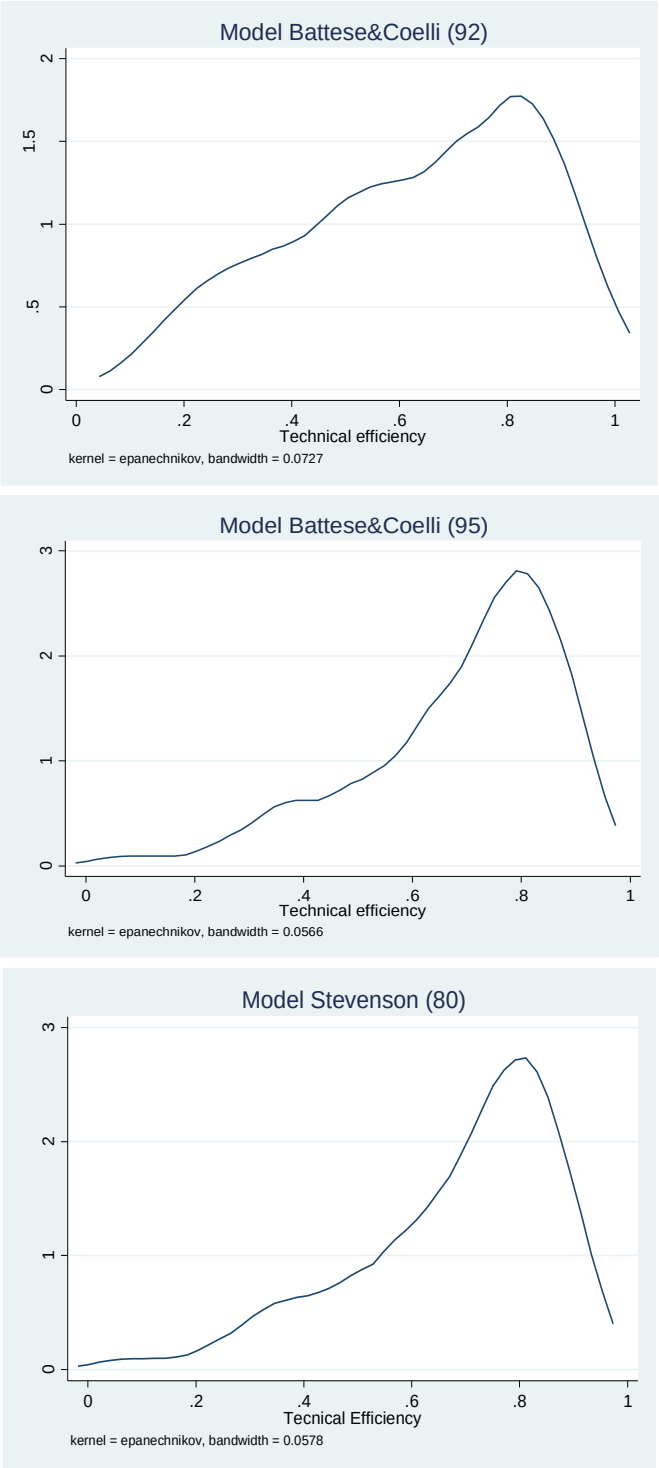


Figura 1 – Distribuzione dell'efficienza tecnica dei terminali intermodali nei modelli BC(92), BC(95) and Stevenson(80)

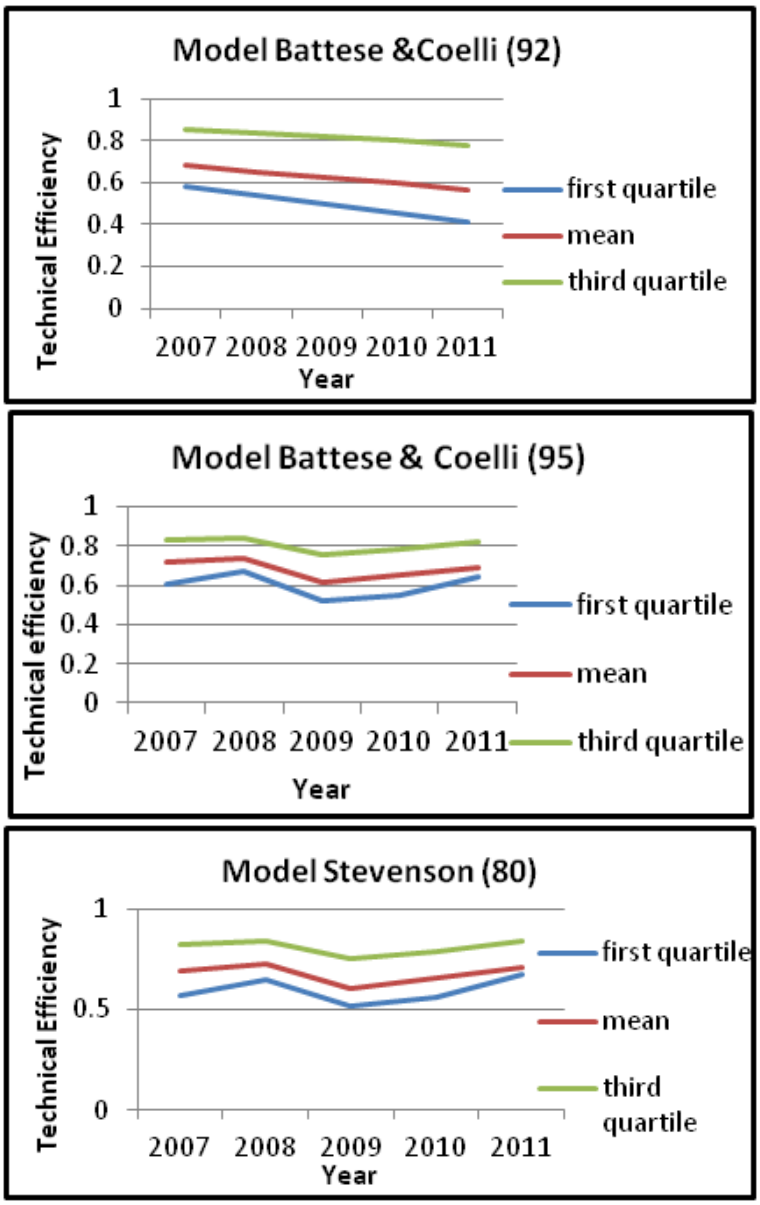


Figure 2 – Primo quartile, media e terzo quartile dell'efficienza tecnica dei terminali intermodali nei modelli BC(92), BC(95) and Stevenson(80)

6. Conclusioni e indicazioni di policy

Lo studio è incentrato sull'efficienza tecnica di 34 terminali intermodali strada-rotaia italiani osservata nel periodo temporale 2007-2011 utilizzando un *data set* originale costruito su diverse fonti. Il campione è rappresentativo del sistema italiano dei terminali di scambio intermodale tra trasporto stradale e trasporto ferroviario considerando tutti i terminal operativi nel periodo. Otto diversi modelli di frontiera stocastica sono stati applicati assumendo una funzione di produzione dove l'indice di produttività ferroviaria (IPF) dei terminali rappresenta l'output ottenuto con la combinazione di due input (lavoro e superficie del terminal) e due fattori di contesto di mercato e di localizzazione (quota di mercato e localizzazione interportuale). Particolare

attenzione è stata posta all'analisi del progresso tecnologico nella produzione e dell'evoluzione dell'efficienza tecnica nel tempo applicando i più adatti modelli econometrici esistenti in letteratura. Le frontiere di produzione con dati *panel* sono state impiegate ampiamente per stimare l'efficienza tecnica e i risultati ottenuti rappresentano un confronto tra diversi modelli a seconda della loro adattabilità statistica ai dati disponibili. La variabilità dei risultati dei diversi modelli dimostra chiaramente la difficoltà della scelta del modello più adatto, piuttosto lo studio ha voluto fornire una dimostrazione della possibile differente stima dell'efficienza a seconda del modello utilizzato. Nessuno dei modelli applicati può essere definito "corretto" e l'efficienza è considerata comunque un tipo di effetto non osservato o derivato dalle ipotesi modellistiche avanzate.

I risultati raggiunti con l'applicazione dei modelli di frontiera stocastica confermano l'elevato tasso di inefficienza che caratterizza molti terminali italiani, il livello medio di efficienza differisce anche il base alla localizzazione nelle macroregioni italiane ed è maggiore considerando i modelli *time varing*. Circa l'evoluzione nel tempo dell'efficienza tecnica, i modelli applicati mostrano che l'efficienza è decrescente nel tempo. Le diverse assunzioni circa l'evoluzione nel tempo dell'efficienza evidenziano similarità tra il modello BC (95) ed il modello *pooled* Stevenson (80).

La maggior parte dei terminali che hanno un'elevata scala di produzione sono più facilmente associati ad elevati livelli di produzione ma non sempre ad elevati livelli di produttività e di efficienza. Questo può essere un effetto dell'eccesso di capacità confermato dal segno negativo della variabile di *trend* temporale presente in tutti i modelli applicati, i modelli stimati mostrano infatti un negativo progresso tecnologico nel periodo 2007-2011 che potrebbe essere conseguenza anche della caduta della domanda negli anni 2009 e 2010 e quindi dall'incremento nel periodo di eccesso di capacità.

La politica dei trasporti finalizzata allo sviluppo dei sistemi intermodali è stata negli scorsi decenni molto diversa tra i paesi dell'UE. Nel nord Europa i paesi hanno migliorato e potenziato fortemente le connessioni mare-ferro da e verso le poche grandi porte di accesso del Mar del Nord, creando una rete di *inland teminal* a servizio sia dei traffici interni che internazionali connessi ai terminal marittimo-ferroviari all'interno dei grandi porti ECMT (2001). In Germania, ad esempio, la rete ferroviaria a servizio del trasporto intermodale sta evolvendosi in un sistema definito "spider" dove vi sono due *inland mega-hub* dove vengono concentrati i carichi con treni *shuttle* (Hannover e Monaco) progettati per smistare traffico marittimo e terrestre conseguendo economie di scala e di densità migliorando le frequenze dei treni e aggiungendo connessioni con i terminali minori (Reis *et al*, 2013).

Nel sud Europa ed in Italia in particolare, non sono state implementate politiche adeguate alla connessione ferroviaria interna ed internazionale se non attraverso i collegamenti transalpini con i grandi centri logistici di smistamento ferroviario posti nel centro Europa (Duisburg, Mannheim, Basilea, Metz, Monaco, ecc.) e quindi con i porti che si affacciano sul Mar del Nord, sottovalutando la funzione strategica di accessibilità terrestre marittimo-ferroviaria che poteva essere invece svolta dai porti italiani che si affacciano sul Mediterraneo.

Il trasporto merci ferroviario in Italia, nonostante la liberalizzazione, sta attraversando una sensibile crisi di mercato, infatti tra il 2008 ed il 2012 ha subito una riduzione da 23.8 milioni di ton-km a 20.2 milioni di ton-km (-15%). La quota modale è pari a circa il 9% del totale delle merci trasportate contro una media del 16% in Europa ed una

quota del 21.5% in Germania (Eurostat, 2014). In Italia l'opzione intermodale strada-rotaia incentrata sul modello *inland terminal* che si pensava negli anni '90 poter essere competitiva con il trasporto tutto-strada, ai fini del complessivo riequilibrio modale, si è dimostrata positiva soltanto per alcuni nodi di traffico transfrontaliero terrestre del nord Italia, *in primis* per l'attraversamento delle Alpi. Nel resto del paese tale scelta "normativamente" uniforme per l'intero territorio nazionale, si è rilevata in molti casi inadeguata contribuendo ad indebolire il legame tra trasporto intermodale terrestre ed il trasporto marittimo. Quindi, mentre al Nord ha dominato l'approccio terrestre delle reti transeuropee volte ai flussi di import-export con l'Europa centro-settentrionale, al Sud gli interventi per l'intermodalità si sarebbero dovuti orientare maggiormente all'intermodalità ed alla logistica per l'import-export marittimo. Il concomitante successo del trasporto combinato marittimo (Ro-Ro) cresciuto in Italia del 65.4% dal 2005 al 2012 in tonnellate trasportate, con un tasso medio annuo (CAGR) del 7.5% (Eurostat 2014), in specie per i collegamenti di lunga distanza tra Nord e Sud del paese, testimonia nei fatti quanto sia marginale il ruolo dell'intermodalità strada-ferrovia nei traffici nazionali.

Approfondimenti di ricerca in merito alla produttività ed alla capacità dei terminali intermodali strada-ferrovia italiani nel contribuire al miglioramento degli squilibri che caratterizzano il sistema dei trasporti italiano, dovrebbero riguardare le possibilità di recupero di efficienza basate su una maggiore continuità funzionale con i nodi sorgenti di traffico internazionale specie per le strutture non inserite direttamente nei corridoi trans-europei.

Appendice - I modelli applicati

1. Modelli time invariant

1.1 Pitt and Lee (1981) and Battese and Coelli (1988)

Pitt and Lee (1981) e Schmidt e Sickles (1984) sono stati i primi a proporre modelli di frontiera stocastica con dati *panel*. Essi hanno considerato l'inefficienza costante nel periodo temporale considerato.

$$y_{it} = \alpha_0 + f(x'\beta) + v_{it} - u_i \qquad i = 1,2, \dots \dots, N, t = 1,2, \dots \dots, T \qquad (1)$$

La precedente equazione può essere trasformata in un modello standard con dati *panel*:

$$y_{it} = \alpha_i + f(x'\beta) + v_{it} \qquad i = 1,2, \dots \dots N, t = 1,2, \dots \dots, T \qquad (2)$$

Se i termini u_i sono considerati parametri (effetti) fissi (Schmidt e Sickles, 1984), allora possono essere combinati con l'intercetta, i.e. $\alpha_i = \alpha + u_i$ così che tutti i parametri α_i possono essere identificati, per esempio, da *dummy* relative ai singoli terminal. L'inefficienza u_i può essere stimata da $\hat{u}_i = max_i\{\hat{\alpha}_i\} - \hat{\alpha}_i \geq 0$ dove $\hat{\alpha}_i$ è l'effetto fisso di ogni terminal nel modello con dati *panel*. Questo comporta che il migliore terminal (intercetta più elevata) è pienamente efficiente e che l'inefficienza degli altri terminal è relativa ad esso. Il vantaggio di questo approccio è che non è necessario fare assunzioni circa la distribuzione del termine dell'inefficienza. Lo svantaggio è che non è possibile introdurre altre covariate *time invariant* per spiegare l'inefficienza.

Se u_i è considerata come una variabile *random* (Pitt and Lee 1981; Battese and Coelli 1988) distribuita come una *half normal* o una *truncated normal*, i parametri del modello possono essere stimati con il metodo ML (massima verosimiglianza), in Pitt e Lee, 1981: $u_i \sim N^+(0, \sigma_u^2)$.

Battese e Coelli (1988) considerano la più generale distribuzione normale troncata con $u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ e derivano i loro risultati da casi di dati *panel* bilanciati, mentre Battese, Coelli e Colby (1989) generalizzano il modello per i casi di *dataset* non bilanciati. L'assunzione dell'inefficienza *time invariant* è più plausibile con periodi temporali brevi di analisi ma è poco verosimile quando il numero degli anni è maggiore. E' ragionevole assumere che l'efficienza tecnica possa variare nel tempo secondo un determinato andamento. Se tale andamento è comune tra tutte le unità considerate è possibile assumere che essa si riduca nel tempo attraverso processi migliorativi che coinvolgano la gestione della produzione. Così come è possibile che alcuni terminal ferroviari diventino meno efficienti prima del periodo analizzato nei lunghi e non bilanciati *panel* di dati (*shutting down*). La scelta delle assunzioni temprali dipende dalla lunghezza del periodo e dalla natura del campione. Inoltre, più lungo è il periodo

temporale considerato meno probabilmente la tecnologia rimane costante. Il progresso (o il regresso) tecnologico può essere incorporato nel modello aggiungendo una variabile di *trend* o variabili *dummy* annuali.

2. Modelli time varying

2.1 Battese and Coelli (1992)

Battese e Coelli (1992) hanno proposto un modello di frontiera stocastica di produzione per dati *panel* non bilanciati con effetti assunti distribuiti come una variabile casuale normale troncata che varia sistematicamente col tempo. Il modello può essere espresso con:

$$y_{it} = \alpha_t + f(x'\beta) + v_{it} - u_{it} = \alpha_{it} + f(x'\beta) + v_{it};\ i = 1,2,\ldots\ldots,N, \quad t = 1,2,\ldots\ldots,T \quad (3)$$

dove $\alpha_{it} = \alpha_t - u_{it}$ è l'intercetta del terminal *i* nel periodo *t*.

Da notare che si ammette la variazione nel tempo dell'intercetta comune α_t. Ovviamente per stimare u_{it} (o α_{it}) bisogna fare delle assunzioni circa l'andamento nel tempo, quindi, i diversi modelli dipendono dalla forma di α_{it} (o di u_{it}). Specificatamente, in Battese and Coelli (1992) le variabili u_{it} sono assunte essere una funzione esponenziale rispetto al tempo prevedendo un solo parametro tale che:

$$u_{it} = \{exp[-\eta(t - T)]\}u_i \quad (4)$$

dove u_{it} segue una distribuzione normale troncata e η è un parametro non noto da stimare che determina se l'efficienza varia nel tempo o meno. Since $\frac{\partial \ln u_{it}}{\partial t} = -\eta$ l'inefficienza tecnica declina, rimane costante o incrementa nel tempo se $\eta > 0$, $\eta=0$ and $\eta<0$, rispettivamente. Un vantaggio di questo modello è che l'inclusione di un trend temporale nella funzione di produzione consente la stima sia del progresso tecnologico che della efficienza tecnica nel tempo. Come molti autori hanno notato tale forma esponenziale è molto rigida.

Un altro modello proposto da Kumbhakar (1990) ha la seguente specificazione:

$$u_{it} = \{1 + exp[(bt + ct^2)]\}^{-1}u_i \quad (5)$$

Tale funzione rimane nell'intervallo unitario e può essere non-incrementale, non-decrescente, concava o convessa in dipendenza dei segni e della grandezza dei parametri b e c.

Infine, Lee and Schmidt (1993) hanno proposto una formulazione alternativa:

$$u_{it} = d_t u_i \quad (6)$$

dove d_t è specificato come un set di variabili *dummy*. Questo modello è appropriato per brevi *panel* in quanto richiede la stima di *T-1* parametri addizionali. Lee e Schmidt stimano sia la versione ad effetti fissi che quella ad effetti *random* del modello (6). Nel caso degli effetti fissi sia d_t che u_i sono considerati termini fissi e nel caso ad effetti *random* u_i è considerata come una variabile casuale. Lee e Schmidt utilizzano lo stimatore OLS mentre un metodo dei momenti generalizzato (GMM) è stato sviluppato da Ahn, Lee, and Schmidt (2001). I parametri della frontiera stocastica ed il modello per la stima dell'efficienza tecnica sono stimati simultaneamente con la massima verosimiglianza.

2.2 Battese and Coelli (1995)

Studi empirici (Pitt and Lee, 1981) hanno stimato le frontiere stocastiche e l'efficienza tecnica regredendo le efficienze predette su specifiche variabili. Le procedure di stima a due stadi sono anche state riconosciute come inconsistenti nelle assunzioni riguardanti l'indipendenza degli effetti di inefficienza. La procedura di stima a due stadi è meno efficiente di quelle che potrebbero essere ottenute usando una procedura ad uno stadio. Questo risultato è stato da Kumbhakar, Ghosh and McGukin (1991) e Reifschneider e Stevenson (1991) che hanno proposto modelli di frontiera stocastica nei quali gli effetti di inefficienza u_i sono espressi come una funzione esplicita di un vettore di variabili ed un errore casuale. Battese and Coelli (1995) hanno proposto un modello che è equivalente al modello di cui alla (3) dove le u_{it} sono variabili casuali non-negative utilizzate per stimare l'efficienza tecnica della produzione assunte essere indipendentemente distribuite come troncamento a zero della distribuzione $N^+(\mu_{it},\sigma_u^2)$, dove:

$$\mu_{it} = z_{it}\delta \quad (7)$$

dove z_{it} è un $p\times 1$ vettore di variabili (covariate o variabili legate al tempo) che possono influenzare l'efficienza e δ è un $1\times p$ vettore di parametri da stimare.

3. Modelli pooled

Altri tipi di *dataset* simili ai *panel* sono quelli in cui le osservazioni riferite a più periodi temporali vengono considerate indipendentemente l'una dall'altra. La principale differenza tra i due è quindi l'indipendenza degli errori. Entrambi i tipi di *dataset* generano processi che si assumono identicamente ed indipendentemente distribuiti: $u_{it} \sim id\ (\mu, \sigma_u^2)$, nel caso omoschedastico. Comunque, per i dati *pooled* un'assunzione di indipendenza è aggiunta: $u_{it} \sim iid\ (\mu, \sigma_u^2)$. Tale indipendenza non cambia nel tempo così che u_{it} and u_{is} (per $t \neq s$) sono indipendentemente distribuiti, cioè si consente all'inefficienza di variare nel tempo in quanto u_{it} e u_{is} sono stime

indipendenti della componente inefficienza dell'errore casuale. I modelli *pooled* considerati sono quelli proposti da Aigner, Lovell e Schmidt (ALS, 1977) e da Stevenson (1980). Il campione è considerato come una serie di sub-campioni di dati *cross-section* aggregati, pertanto tali modelli possono anche essere considerati *time varing*.

Le assunzioni fatte in tutti i modelli applicati sono riassunte nella tabella 3.

Tabella 3 – Specificazioni econometriche delle frontiere di produzione stocastiche

	Componente specifica α_j	Inefficienza u_{it}	Errore Random v_{it}	Stima della Inefficienza
ALS (77) (*Pooled*)	Nessuna	$u_{it} \sim N^+ (0, \sigma_u^2)$	$v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$	$E(u_{it} \mid \varepsilon_{it})$
Stevenson (80) (*Pooled*)	Nessuna	$u_{it} \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$	$v_{it} \sim N(\mu, \sigma_v^2)$	$E(u_{it} \mid \varepsilon_{it})$
BC (92) *(time varing)*	Nessuna	Truncated normal $u_i \sim N^+(\mu, \sigma_u^2)$ $u_{it} = \{\exp[-\eta(t - T)]\}u_i$	$v_{it} \sim N (0, \sigma_v^2)$	$E(u_{it} \mid \varepsilon_{it})$
BC (95) *(time varing)*	Nessuna	Truncated normal $u_{it} \sim N^+ (\mu_{it}, \sigma_u^2)$ $\mu_{it} = z_{it}\delta$	$v_{it} \sim N (0, \sigma_v^2)$	$E(u_{it} \mid \varepsilon_{it})$
Pitt and Lee (81) *(time invariant)*		Half Normal $u_i \sim N^+ (0, \sigma_u^2)$	$v_{it} \sim N (0, \sigma_v^2)$	$E(u_i \mid \varepsilon_{it})$
BC (88) *(time invariant)*	Nessuna	Truncated normal $u_i \sim N^+ (\mu, \sigma_u^2)$	$v_i \sim N (0, \sigma_v^2)$	$E(u_i \mid \varepsilon_{it})$

Riferimenti bibliografici

Ahn, Lee, Schmidt (2001), GMM estimation of linear panel data models with time-varying individual effects, *Journal of Econometrics*, 101, 219 – 255.

Aigner D., Lovell C.A.K, Schmidt P. (1977), Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.

Ballis A., Golias J. (2004), Towards the improvement of a combined transport chain performance, *European Journal of Operational Research*, 152, p. 420–436.

Baltagi, B.H. (1985), Pooling cross-sections with unequal time-series lengths, *Economics Letters*, 18, 133-136.

Battese G. E., Coelli T.J. (1992), Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India, *Journal of Productivity Analysis*, 3 (1): 153-169.

Battese G.E., Coelli T. (1995), A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data, *Empirical Econometrics*, 20:325-332, 27.

Battese, G. E., Coelli T.J. (1988), Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data, *Journal of Econometrics*, 38: 387-399.

Battese, G.E., Coelli, T.J., Colby, T.C. (1989), Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data From ICRISAT's Village Level Studies, *Journal of Quantitative Economics*, 5, 327-348.

Cheon A., Dowall D.E., Song D.W., Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports, *Transportation Research Part E*, 46:546–561.

Coelli T.J., Prasada Rao D.S., O'Donnell C.J., Battese G.E. (2005), An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2nd edition, Springer Verlag.

Cullinane, K., Song, D.-W., Ji, P., Wang, T., 2004. An application of DEA windows analysis to container port production efficiency. *Review of Network Economics* 3 (2), 184–206.

ECMT (2001), Land Access to Sea Ports, ECMT Round Tables, No. 113, OECD Publishing.

Europlatforms E.E.I.G. (2004), Logistics centre. Directions for use, 16 p.

Eurostat (2014), Transport statistics database, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/transport/data/database

Iannone F., Thore S., Forte E. (2008), Inland container logistics and interports. Goals and features of an ongoing applied research, *Italian Society of Transport Economists – Ninth Scientific Meeting* – Naples, October 3-5, 2007.

Janic, M. (2007), Modelling the Full Costs of an Intermodal and Road Freight Transport Network, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12 (1): 33-44.

Jaržemskiene I. (2010), Research into the methods of analysing the productivity indicators of transport terminals, *Transports*, 24:3, 192-199.

Jencek P., Twrdy E. (2008), Development of Regional Transport Logistics Terminal-Transport Logistics Approach, *Promet- Traffic&Transportation*, Vol. 20, No.4, pp. 239-249.

Kumbhakar S.C. (1990), Production frontiers and panel data, and time varying technical inefficiency. *Journal of Econometrics*, 46(1990): 201-211.

Kumbhakar S.C., Ghosh S., McGuckin J.T. (1991), A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in United-States Dairy Farms, *J. Business and Economic Statistics*: 279-286.

Lee, Y. H., Schmidt, P., (1993), A Production Frontier Model with Flexible Temporal Variation in Technical Inefficiency. In: Fried, H.O., Lovell, C.A.K., and Schmidt, S., eds. The Measurement of Productivity Efficiency: Techniques and Applications. New York: Oxford University Press, pp.237.

Medda F., Liu Q., Determinants and strategies for the development of container terminals, *Journal of Productivity Analysis*, 40:83–98.

Meeusen, W. and J. van den Broeck (1977), Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error, *International Economic Review*, 8, 435–444.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2013), *Il trasporto merci in Italia*, studio in collaborazione con l'Autorità Portuale di Trieste e la Società Alpe Adria S.p.A.

Pels, E.; Nijkamp, P.; Rietveld, P. 2001. Relative efficiency of European airports, *Transport Policy* 8(3): 183–192.

Pels, E.; Nijkamp, P.; Rietveld, P. 2003. Inefficiencies and scale economies of European airport operations, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 39(5): 341–361.

Pitt, M., Lee L. (1981). The measurement and sources of technical inefficiency in Indonesian weaving industry, *Journal of Development Economics*, 9: 43-64.

Reifschneider, D., Stevenson, R. (1991), Systematic Departures from the Frontier: A Framework for the Analysis of Firm Inefficiency, *International Economic Review*, 32, 715-723.

Reis V, Meier J.F., Pace G., Palacin R. (2013), Rail and multi-modal transport, *Research in Transportation Economics*, 41, p. 17-30

Roso, V., Woxenius, J., Lumsden, K. (2009), The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland, *Journal of Transport Geography*, 17, p. 338-345.

Schmidt, P., Sickles R.E., (1984), Production Frontiers and Panel Data, *Journal of Business and Economic Statistics*, 2, 367-374.

Stevenson S.R.E. (1980), Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation, *Journal of Econometrics*, 13(1/May), 57-66.

Yan, J., Sun, X. and Liu, J. (2009), Assessing Container Operator Efficiency with Heterogeneous and Time-Varying Production Frontier, *Transportation Research Part B*, 43:172-185.