

# UN RAFFRONTO TRA I COSTI E I BENEFICI AMBIENTALI DELLA SOSTITUZIONE DEI VECCHI AUTOBUS URBANI CON MODERNI MEZZI A BASSO IMPATTO AMBIENTALE

di *Luciano Messori*<sup>1</sup>

## **Introduzione**

Secondo i dati riportati in Anpa (2000), oltre l'80% degli autobus urbani che circolano nel nostro paese sono entrati in esercizio prima del 1992, e non soddisfano quindi gli standard sulle emissioni gassose dei veicoli a motore fissati dall'Unione Europea a partire da quell'anno<sup>2</sup>. Si tratta di circa 14.000 mezzi ad alto impatto ambientale che operano quotidianamente all'interno dei nostri centri urbani, in situazioni nelle quali è massima la densità di abitanti, e quindi di organismi recettori, esposti agli inquinanti emessi da questi mezzi. Negli ultimi due/tre anni il netto peggioramento della qualità dell'aria verificatosi nelle città italiane ha spinto diverse amministrazioni locali a intraprendere programmi di graduale rinnovamento del proprio parco autobus, ma le attuali condizioni della finanza pubblica hanno fatto sì che questi programmi procedessero piuttosto lentamente, e di conseguenza che il numero di mezzi pubblici ad alto impatto ambientale in circolazione sopra riportato sia ancora oggi sufficientemente accurato.

1. Professore a Contratto presso l'Università di Bologna e l'Università di Modena e Reggio Emilia. Recapito e-mail: messori@unimo.it. Ringrazio Giuseppe Marotta, Anastasia Naboko e Francesco Silvestri per i preziosi commenti e suggerimenti che mi hanno fornito anche in questa occasione. La responsabilità per eventuali errori ed inesattezze rimasti è ovviamente solo mia.

2. A partire dal 1992 gli standard che le emissioni gassose dei veicoli a motore di nuova costruzione devono rispettare sono fissati dall'Unione Europea. In particolare, una serie di direttive fissa limiti progressivamente più restrittivi per le emissioni di CO, HC, NOx e PM noti come standard Euro I,.....V. Lo standard Euro I è stato introdotto nel 1992, l'Euro II nel 1996, l'Euro III nel 2000, mentre l'Euro IV e l'Euro V sono attesi rispettivamente per il 2005 ed il 2008. Prima di queste date è previsto che gli standard progettati verranno rivisti per adattarli ai progressi della tecnologia nel settore.

L'investimento complessivo necessario per sostituire completamente questa porzione del parco autobus italiano, considerando un costo medio di acquisto pari a 240.000 euro per un mezzo diesel di tipo Euro III e 290.000 euro per un mezzo alimentato a metano<sup>3</sup>, risulta compreso tra i 3,5 ed i 4 miliardi di euro<sup>4</sup>.

Questo lavoro si propone di mettere in relazione i costi e i benefici ambientali, questi ultimi quantificabili in termini di riduzione dei costi esterni generati dal trasporto pubblico urbano su gomma, della sostituzione dei vecchi autobus urbani con i moderni modelli a basso impatto ambientale alimentati a metano. Mentre la valutazione dei costi si presenta piuttosto agevole (in quanto siamo in presenza di un prezzo di listino che, pur non esattamente corrispondente al prezzo pagato dall'acquirente in quanto quest'ultimo dipende dal risultato di una trattativa, risulta essere quantomeno indicativo) la valutazione dei benefici ambientali si presenta più problematica in quanto ad essi non corrisponde una transazione sul mercato e quindi un prezzo utilizzabile come unità di misura. La questione può però essere affrontata facendo riferimento alla letteratura esistente sul tema della valutazione monetaria dei costi esterni generati dal trasporto.

La comparazione tra i costi ed i benefici ambientali che rappresenta l'oggetto di questo lavoro viene effettuata nella consapevolezza che questi ultimi non esauriscono i benefici dell'investimento in questione, in quanto esso genera anche altre categorie di benefici (come l'aumento del *comfort* e la presumibile diminuzione dei tempi di viaggio per i passeggeri, la diminuzione dei costi di manutenzione dei mezzi e così via) che non verranno però prese in considerazione in questa sede. Non verranno poi presi in considerazione nemmeno i benefici ambientali indiretti dell'investimento, cioè quelli generati dal presumibile incremento della domanda di trasporto pubblico dovuto al maggior *comfort* dei nuovi mezzi e alla conseguente diminuzione della domanda di trasporto privato con relativo abbattimento delle emissioni gassose delle autovetture e della congestione urbana, a causa dell'assenza, a nostra conoscenza, di dati attendibili sull'argomento.

Il lavoro è articolato in cinque sezioni. La prima contiene una sintesi del dibattito sviluppatosi nel corso degli ultimi anni in sede comunitaria sul tema dei costi esterni del trasporto. La seconda contiene una classificazione dei costi esterni del trasporto rilevanti rispetto al tema trattato. La terza sezione tratta degli effetti dell'investimento in questione sui costi esterni relativi agli effetti globali dell'inquinamento atmosferico. La quarta tratta invece degli effetti dello stesso sui costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose.

3. Fonte: Listino prezzi Bredamenarini Bus, 2002.

4. Si tratta chiaramente di una cifra notevole, in grado da una parte di dare un contributo importante a risollevere le sorti dell'industria metalmeccanica italiana e di generare al tempo stesso un rilevante effetto di trascinamento sull'intera economia nazionale, e dall'altra di pesare in modo significativo sulla possibilità della finanza pubblica di ottemperare a quanto sottoscritto dal nostro paese in sede di Unione Europea con il patto di stabilità e di crescita.

La quinta e conclusiva sezione riassume i risultati ottenuti e contiene alcune indicazioni di *policy*.

### **Benefici ambientali: il dibattito sui costi esterni del trasporto**

Il tema dei costi esterni è stato uno dei punti centrali del dibattito sulla politica dei trasporti in sede comunitaria già da prima della pubblicazione, da parte della Commissione, del Libro Verde dal titolo: *"Towards fair and efficient pricing in transport – policy options for internalizing the external costs of transport in the European Union"*, avvenuta nel 1995 allo scopo di incoraggiare il dibattito su come la leva del prezzo poteva contribuire a risolvere i principali problemi del trasporto nell'Unione Europea. Il Libro Verde del 1995 pone l'accento sul fatto che la stessa Commissione deve adoperarsi nel misurare i costi esterni del trasporto, definire metodi per esprimere questi costi in termini monetari e proporre modi per allocarli equamente. Questo incoraggierebbe utenti e aziende a modificare i propri comportamenti attenuando così gli effetti negativi dei trasporti e aumentando in questo modo la competitività dell'economia europea nel suo complesso.

Il successivo Libro Bianco: *"Fair payment for infrastructure use: a phased approach to a common transport infrastructure charging framework in the European Union"* pubblicato dalla Commissione nel 1997 contiene tra l'altro l'enunciazione del principio che gli utenti di tutte le reti di trasporto debbano pagare il costo sociale marginale da loro generato.

Nel 1998 la Conferenza Europea dei Ministri dei Trasporti con la risoluzione 98/1 ha riconosciuto che l'internalizzazione dei costi esterni dei trasporti costituisce un importante strumento per migliorare l'efficienza economica e aumentare quindi il benessere della collettività. Secondo la stessa risoluzione, questa internalizzazione deve essere vista come un obiettivo di lungo termine, in considerazione dell'importanza dello scostamento esistente tra la struttura dei costi attuale e quella ideale in molti paesi.

Il rapporto finale dell'High Level Group on Transport Infrastructure Charging (1999), pur raccomandando il rispetto in linea generale del principio di fare pagare agli utenti delle reti di trasporto il costo sociale marginale da loro generato, riconosce che quando questo è inferiore al costo sociale medio può tuttavia essere necessario fare pagare agli utenti una cifra maggiore.

Nel 2000 la Conferenza Europea dei Ministri dei Trasporti con la risoluzione 00/03 ha riconosciuto che le tasse sui trasporti sono più efficienti se basate sul costo marginale sociale, nella misura in cui questo può essere identificato.

Sempre nel 2000, nel Libro Bianco sulla responsabilità dei danni all'ambiente la Commissione ha ribadito il principio della responsabilità ambientale ("chi inquina paga") già contenuto nell'articolo 174 del trattato dell'Unione Europea e ribadito in molte altre occasioni, e la necessità di quantificare i danni ambientali per poter applicare questo principio. È peraltro da notare che in questa occasione la Commissione, a differenza di quanto fatto in tutte le altre

occasioni qui ricordate, ha affermato che il principio della responsabilità ambientale non è applicabile né alle emissioni di CO<sub>2</sub> né all'inquinamento provocato dal traffico.

La centralità dell'internalizzazione dei costi esterni nella politica europea dei trasporti come strumento per aumentare l'efficienza del sistema dei trasporti e quindi la competitività dell'economia europea è ribadita dal recente Libro Bianco *"European transport policy for 2010: time to decide"* pubblicato nel 2001, secondo il quale i proventi da questa derivati dovranno essere reinvestiti nel miglioramento dell'infrastrutturazione dell'Unione Europea.

La comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo del settembre 2002, dal titolo *"Taxation of passengers cars in the European Union. Option for action at national and Community levels"* contiene infine la raccomandazione che le tasse sulle autovetture siano ristrutturate in modo da scoraggiare le emissioni di CO<sub>2</sub> e, facoltativamente, da ridurre le emissioni di altro tipo.

### **Benefici ambientali: una classificazione**

I benefici ambientali diretti ottenibili dalla sostituzione dei vecchi autobus urbani con moderni mezzi a basso impatto ambientale sono classificabili in due categorie: 1) riduzione della rumorosità dei mezzi; 2) riduzione delle emissioni gassose.

I dati relativi ai costi esterni generati dal rumore del traffico stradale sono ancora pochi e scarsamente attendibili, e per questa ragione non verranno presi in considerazione in questa sede. A questo proposito è però interessante osservare che Ferrovie dello Stato e altri (2002) quantificano i costi esterni del rumore complessivamente generati da autobus urbani e pullman nel 1999 in Italia in 348 milioni di euro, e che quindi i benefici ambientali di un investimento che riduca la rumorosità di questi mezzi dovrebbero essere senz'altro interessanti.

Gli effetti delle emissioni gassose degli autoveicoli, e di conseguenza i costi esterni da questi generati, possono essere suddivisi in due categorie definibili rispettivamente come effetti "globali" ed effetti "locali". Gli effetti globali delle emissioni sono quelli riferibili all'acuirsi dei fenomeni di riscaldamento della terra attualmente in atto (il cosiddetto "effetto serra"). Dato il carattere globale di questo fenomeno, ai fini della valutazione degli effetti su di esso delle emissioni gassose la posizione dell'autoveicolo-sorgente non ha alcuna importanza. Questa valutazione può quindi essere compiuta richiamando le stime dell'ammontare del danno causato dall'immissione nell'atmosfera di una quantità unitaria delle sostanze che giocano un ruolo in questo fenomeno rinvenibili in letteratura.

Gli effetti locali delle emissioni sono invece quelli avvertiti nell'area intorno al punto di origine delle emissioni stesse. Si tratta in particolare della mortalità, delle malattie non letali indotte dall'inquinamento atmosferico, della

sporcizia e della riduzione nella visibilità causate dalle emissioni gassose degli autoveicoli nell'area in cui sono prodotte. La stima dei costi esterni generati da questi effetti si presenta più difficile rispetto a quella dei costi esterni generati dagli effetti globali delle emissioni, in quanto a differenza di questi ultimi essi dipendono da una lunga serie di parametri riferiti all'area nella quale sono prodotte le emissioni (densità di popolazione, condizioni climatiche ecc.); sono cioè sito-specifici. Una misurazione accurata di questi costi esterni richiederebbe quindi che venissero presi in considerazione la totalità dei percorsi effettivamente esistenti nel nostro paese ed i flussi di traffico che utilizzano ognuno di questi percorsi, operazione chiaramente impossibile.

A fronte di questa impossibilità, una stima dei costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose degli autoveicoli deve necessariamente basarsi sulla generalizzazione dei dati, relativi ad alcuni percorsi, attualmente disponibili. Si tratta del resto del metodo di lavoro raccomandato dal rapporto finale dell'High Level Group on Infrastructure Charging (1999), che consiglia di usare la metodologia *bottom-up* dei sentieri di impatto<sup>5</sup> per quantificare i costi esterni del trasporto. Il problema di questa metodologia è che, per essere applicata correttamente, richiederebbe uno studio dettagliato su ogni percorso. Ciò non è economicamente fattibile, quindi secondo lo stesso rapporto è necessario sviluppare delle funzioni semplificate che consentano di produrre delle stime dei costi esterni basate sulla generalizzazione di un campione, opportunamente costruito, di casi studio svolti utilizzando la metodologia dei sentieri di impatto.

Tra i casi studio sull'argomento che utilizzano la metodologia dei sentieri di impatto disponibili in letteratura sono particolarmente significativi quelli contenuti nel progetto europeo ExternE-Transport<sup>6</sup>, realizzati su percorsi che copro-

5. La metodologia dei sentieri di impatto si basa sull'utilizzo di funzioni dose-risposta, che mettono in relazione le quantità di inquinanti assorbite dai ricettori con gli effetti provocati, e si sviluppa in varie fasi. In sintesi, partendo dalla quantificazione delle emissioni gassose degli autoveicoli, la prima fase consiste nella valutazione della dispersione di queste emissioni sul territorio. I risultati di questa valutazione, unitamente ad una lunga serie di fattori diversi (ad esempio le condizioni climatiche dell'area attraverso la quale si sviluppa il percorso, il numero di persone che vi abitano, e così via) rappresentano poi gli argomenti delle funzioni di dose-risposta che consentono di arrivare ad una valutazione degli effetti locali delle emissioni in termini fisici. A queste stime degli effetti in termini fisici vengono infine attribuiti valori economici in termini di disponibilità a pagare dei consumatori per evitare determinati impatti.

6. European Commission, DG XII, Science, Research and Development, 1997. Le funzioni dose-risposta considerate da ExternE-Transport hanno riguardato, per quanto riguarda gli effetti delle emissioni sulla salute umana: mortalità acuta, ricoveri ospedalieri per problemi respiratori, cerebrovascolari e cardiovascolari, visite al pronto soccorso, giorni di attività ridotta a causa dell'inquinamento atmosferico, effetti acuti sugli asmatici, sintomi respiratori nella popolazione in genere, mortalità e malattie croniche.

Per quanto riguarda gli effetti delle emissioni sull'ambiente, è stato considerato il degrado dei materiali dovuto al deposito di anidride solforosa ed alle piogge acide su zinco, acciaio, arenaria, rocce calcaree, cemento, pietra e pittura. Per valutare l'effetto dovuto alla

no in modo piuttosto esaustivo lo spettro dei principali ambiti nei quali avviene la mobilità urbana (aree metropolitane, città di medie e piccole dimensioni, ambiti extraurbani), per una vasta gamma di mezzi di trasporto<sup>7</sup>. Per questo motivo in quasi tutti i lavori sull'argomento le stime dei costi esterni relativi agli effetti locali delle emissioni gassose degli autoveicoli sono basate su una generalizzazione dei risultati dei casi studio contenuti in ExternE-Transport.

### **Effetti globali delle emissioni gassose**

Come detto, le emissioni di gas di scarico degli autoveicoli influiscono, a livello globale, sui mutamenti climatici del pianeta, nel senso che favoriscono il riscaldamento globale (effetto serra) sia direttamente, come nel caso dell'anidride carbonica  $CO_2$ , sia indirettamente, come nel caso degli ossidi di azoto  $NO_x$  e dei composti organici volatili COV (i cosiddetti "precursori" dell'ozono) che concorrono alla creazione di ozono troposferico per mezzo di reazioni chimiche che avvengono nell'atmosfera dopo la loro emissione. L'acuirsi di questi mutamenti climatici provoca danni sia alla salute umana sia alle coltivazioni. Esistono in letteratura stime riguardanti l'ammontare del danno causato dalla immissione nella atmosfera delle sostanze che hanno un ruolo in questo senso (dette gas di serra).

Corre qui l'obbligo di ricordare che tutte queste stime sono caratterizzate da elevati livelli di incertezza. Questa dipende in primo luogo dall'incertezza associata all'evoluzione dei fenomeni in questione. Non sono infatti noti con esattezza né la sensibilità del clima alle variazioni della concentrazione dei gas di serra né le capacità di adattamento dell'ecosistema al mutare delle condizioni climatiche. Oltretutto, risulta praticamente impossibile prevedere il comportamento che l'uomo terrà per adattarsi alle mutate condizioni ambientali, dal quale dipenderà almeno in parte l'entità dei danni ambientali causati dall'effetto serra.

La letteratura più recente ha ridotto le stime del danno causato dall'immissione dei gas di serra nell'atmosfera rispetto ai lavori pubblicati nel corso degli anni '90, in quanto prende in considerazione, oltre agli effetti dannosi del fenomeno, anche i benefici di breve periodo che l'effetto serra potrebbe provocare<sup>8</sup>. Secondo Tol e Downing (2000), che costituisce una fonte estremamente

sporczia degli edifici generata dal particolato è stato adottato un approccio che correla i costi di pulizia degli edifici con l'incremento della concentrazione di particolato. Per quanto riguarda gli effetti delle emissioni sui raccolti, sono stati presi in considerazione quelli causati dalla anidride solforosa sui raccolti di patate, grano, barbabietole da zucchero, orzo, luppolo e segale.

7. È da notare che queste stime riguardano i costi marginali esterni dei trasporti, e risultano quindi logicamente più alte di quelle dei costi medi esterni contenute nella maggior parte dei lavori sull'argomento.

8. Esempi di questi effetti positivi sono il minor consumo di energia durante i mesi invernali e i benefici all'agricoltura in alcune aree dovuti al riscaldamento globale.

Tab. 1 – Fattori di emissione medi degli autobus urbani (g/veic km)

Mezzo/sostanza	Convenzionale	Euro I	Euro II	Metano
NO <sub>x</sub>	17,96	12,57	8,98	3,77
CO <sub>2</sub>	1.134,42	1.134,42	1.134,42	850,82
VOC	1,63	1,22	1,14	0,09

Fonte: Anpa (2000).

Tab. 2 – Costi esterni annui per gli effetti globali (Euro)

	Convenzionale	Euro I	Euro II	Metano
NO <sub>x</sub>	1.145	801	572	240
CO <sub>2</sub>	791	791	791	593
VOC	65	48	45	4
Totale	2.000	1.640	1.408	837

Fonte: ns. elaborazione su dati ENI.

citata in letteratura, il costo marginale dell'emissione di una tonnellata di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, ottenuto utilizzando il modello Fund 2.0<sup>9</sup>, è quantificabile in 16,4 euro<sup>10</sup>. Per i costi marginali delle emissioni di NO<sub>x</sub> e COV si può invece fare riferimento alle stime contenute in Rabl ed Eyre (1997) pari rispettivamente a 1.500 e 930 euro per tonnellata. In questa sede non verranno presi in considerazione i contributi all'effetto serra di altri inquinanti emessi dai mezzi di trasporto in questione, per cui i valori dei costi esterni stimati devono intendersi come estremi inferiori del dato reale.

Per stimare il danno causato dal contributo all'acuirsi degli effetti globali dato dalle emissioni gassose degli autobus urbani è necessario disporre, oltre che dei valori unitari di danno, anche dei fattori d'emissione caratteristici dei diversi tipi di mezzo. La tab. 1 riporta i fattori medi di emissione degli autobus urbani alimentati a gasolio a tecnologia convenzionale, di tipo Euro I e di tipo Euro II, e di quelli a metano. Per i mezzi a gasolio si è fatto riferimento ai fat-

9. Ipotizzando un tasso di sconto dell'1%, un orizzonte temporale di 100 anni, la disponibilità a pagare espressa nell'Unione Europea anche per evitare le conseguenze che si verificheranno al di fuori di essa e valutando i rischi dovuti alla morbidità e basandosi sul valore statistico di un anno di vita perduto.

10. I valori monetari riportati in questo lavoro sono espressi in euro di anni compresi tra il 1995 ed il 1999. Trattandosi di stime per loro natura piuttosto approssimative e di anni a bassa inflazione si è ritenuto di riportare detti valori così come espressi dai vari autori senza attualizzarli ad un unico anno di riferimento, in quanto l'errore commesso in questo modo è di ordine di grandezza del tutto trascurabile rispetto alle altre incertezze in gioco.

tori di emissione medi contenuti in Anpa (2000)<sup>11</sup>, mentre i dati relativi ai mezzi a metano sono il risultato di elaborazioni dell'autore su dati di fonte ENI.

Considerando una percorrenza media annua dei mezzi pari a 42.500 chilometri (Anpa, 2000) e i valori unitari di costo marginale sopra riportati, i valori di costo esterno annuo relativo agli effetti globali che si ottengono sono riportati nella successiva tab. 2.

Dai dati riportati nella tab. 2 emerge che il beneficio ambientale annuo, relativo alla riduzione del contributo delle emissioni gassose all'acuirsi degli effetti globali, della sostituzione di un autobus urbano convenzionale con uno a metano è stimabile in 1.165 euro.

### **Effetti locali delle emissioni gassose**

Come già detto in precedenza, la stima puntuale dei costi esterni generati in Italia dagli effetti locali delle emissioni gassose degli autoveicoli richiederebbe un approfondito studio di tutti i percorsi da questi battuti, operazione chiaramente non fattibile da un punto di vista economico. Per aggirare la difficoltà, il rapporto finale dell'High Level Group on Infrastructure Charging (1999), consiglia di sviluppare delle funzioni semplificate che consentano di produrre delle stime dei costi esterni basate sulla generalizzazione di un campione, opportunamente costruito, di casi studio svolti utilizzando la metodologia dei sentieri di impatto.

Coerentemente con questa indicazione questo lavoro riprende alcuni risultati del progetto Externe-Transport ed i risultati di altri studi che, utilizzando una metodologia del tipo consigliato dall'High Level Group on Infrastructure

11. Il definire quelli riportati come fattori di emissione medi rappresenta chiaramente una semplificazione della realtà, in quanto la dipendenza dei fattori di emissione da un grande numero di variabili (quali ad esempio lo stile di guida del conducente e lo stato di manutenzione del mezzo) rende la distribuzione della popolazione e quindi la media difficilmente determinabili. Test sugli effetti degli stili di guida degli autobus, effettuati nel quadro del progetto *Qualità di guida*, condotto da un gruppo di lavoro composto dal Dipartimento di Meccanica e Tecnologie dell'Università di Firenze e dalle Aziende di trasporto di Firenze, Modena e Napoli con il coordinamento tecnico della Federazione Italiana Risparmio Energetico, hanno ad esempio dimostrato che tra uno stile di guida estremamente "cattivo" e uno molto "buono" la differenza nel consumo di carburante, e di conseguenza nelle emissioni, è dell'ordine del 30 %. Anche senza prendere in considerazione casi estremi si è poi visto che differenze del 10/15 % causate dai diversi stili di guida sono comuni.

Per quanto riguarda lo stato di manutenzione del veicolo, un raffronto tra le emissioni rilevate a Modena dai controlli obbligatori sui gas di scarico degli autoveicoli nel 1992 (primo anno di applicazione del provvedimento) e nel 1993 (effettuati quindi su veicoli che nel corso dell'anno precedente avevano subito un controllo delle emissioni ed un intervento di manutenzione nel caso in cui queste non fossero rientrate nei limiti previsti) rivela che le emissioni di CO e quelle di HC (gli unici due parametri rilevati) sono diminuite rispettivamente del 21 e del 16 % (Odorici e Biagi, 1995).

Charging, hanno prodotto dei valori medi dei costi esterni generati dal traffico, ricavandone indicazioni per una stima dei costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose degli autobus urbani.

I casi studio contenuti nel rapporto finale di ExternE-Transport contengono una serie di dati utili per i nostri scopi. Secondo questa fonte, i costi esterni generati dall'autobus urbano medio in Londra sono quantificabili in 0,695 euro per km, pari, per una percorrenza media analoga a quella riportata da Anpa (2000) per l'Italia, a 29.538 euro su base annua. Il caso studio relativo ad Amsterdam fornisce un valore, riferito ad un autobus urbano diesel costruito nel 1990 (quindi a tecnologia precedente l'adozione dello standard Euro I) di esternalità generata per chilometro di percorso integralmente urbano pari a 0,841 euro, corrispondente su base annua a 35.742 euro. Il caso studio tedesco fornisce un valore riferito ad un autobus urbano diesel a tecnologia degli anni '80 di esternalità generata per chilometro percorso, relativo ad un percorso tra la periferia ed il centro di Stoccarda, pari a 0,633 euro, corrispondente su base annua a 26.941 euro.

Il caso studio sviluppato a Parigi fornisce per il percorso tra gli aeroporti Charles de Gaulle e Orly effettuato da un mezzo rappresentativo del parco autobus in servizio a Parigi nel 1995 un valore complessivo dei costi esterni di 9,57 euro per km, 8,67 dei quali generati dalle emissioni di particolato. Assumendo anche in questo caso una percorrenza media annua di 42.500 km, questi valori corrispondono rispettivamente ad un costo esterno annuo totale per ciascun mezzo pari a 406.937 euro, 368.687 dei quali generati dalle emissioni di particolato.

Il già citato lavoro delle Ferrovie dello Stato e altri (2002) fornisce una quantificazione dei costi esterni generati in Italia nel 1999 dalle emissioni gassose dai mezzi di trasporto pubblico su gomma purtroppo non distinta tra autobus urbani e mezzi adibiti al trasporto extraurbano. Si tratta in totale di circa 1,8 miliardi di euro, che ripartiti tra gli 85.816 mezzi che costituiscono il parco-mezzi complessivamente circolanti in Italia (16.471 autobus urbani e 69.345 pullman adibiti al traffico extraurbano) forniscono un costo esterno medio totale per mezzo pari a 21.348 euro all'anno. Ovviamente un valore medio di questo tipo risulta scarsamente significativo proprio per gli autobus urbani, in quanto questi operano in un ambiente dove la densità di recettori, e di conseguenza i relativi costi esterni generati, sono molto più alti della media, ma può almeno essere considerato come un limite inferiore dei costi esterni generati da questi mezzi. Inoltre, è da notare che la stima riportata è riferita all'intero parco dei mezzi in circolazione nel 1999 (che comprendeva anche autobus di tipo Euro I ed Euro II e non solo i mezzi convenzionali oggetto di questo studio) e quindi rappresenta un limite inferiore del valore di interesse anche per questo motivo.

Il rapporto finale della ricerca Trasporti e Ambiente nell'Unione Europea<sup>12</sup> contiene un intervallo di riferimento del valore dei costi esterni generati dagli

12. Parlamento Europeo (1999).

effetti locali delle emissioni gassose dagli autobus urbani con motore diesel per chilometro percorso, con estremi pari a 0,26 e 5,48 euro che, per una percorrenza annua di riferimento di 42.500 chilometri fornisce un *range* per il valore dei costi esterni annui generati dagli autobus urbani avente come estremi 11.050 e 232.968 euro (quest'ultimo indicato come valore di peggior caso riferito ad un percorso urbano compreso nel centro abitato di Milano).

La letteratura è purtroppo molto più avara di dati relativi ai costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose degli autobus alimentati a metano. Per cercare di stimare questi costi esterni dobbiamo quindi per forza affidarci ad alcune congetture. L'unico caso studio sviluppato nell'ambito del progetto ExternE-Transport nel quale compaia un autobus a metano è quello della cittadina inglese di Barnsley, che contiene un confronto tra i costi esterni generati da una serie di autobus alimentati con carburanti diversi lungo uno stesso percorso. Secondo questo lavoro, i costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose di un autobus a metano sono quantificabili in 0,0344 euro per km, corrispondenti per le ipotesi fatte a 1.462 euro all'anno. I costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose di un autobus diesel lungo lo stesso percorso sono stimati nella stessa sede pari a 0,2284 euro per km, corrispondenti a 9.707 euro all'anno. Il rapporto tra i costi esterni generati dagli effetti delle emissioni gassose dei due mezzi è quindi circa pari a 7, valore analogo a quello del rapporto delle quantità di particolato da essi emesse.

Secondo i risultati del progetto ExternE, la grande maggioranza dei costi esterni generati dai veicoli diesel (tra l'80 ed il 95% del totale) è generata dal particolato contenuto nei loro gas di scarico.

I dati sulle emissioni rinvenuti in letteratura concordano poi nell'affermare che i mezzi alimentati a metano emettono quantità inferiori di tutte le sostanze inquinanti, ad eccezione degli idrocarburi. Il 90% degli idrocarburi contenuti nei gas di scarico dei veicoli alimentati a metano è però costituito proprio da questo gas, che presenta una molecola stabile e poco reattiva, al punto di essere classificato come gas non inquinante dal decreto del presidente del Consiglio dei Ministri del 28 marzo 1983. Il metano è però un gas di serra, con un potenziale di riscaldamento globale stimato essere, su un periodo di 100 anni, pari a 6,5 volte quello dell'anidride carbonica, ma l'entità delle quantità in gioco ci permette di trascurare questo effetto.

Quanto sopra riportato ci consente di formulare l'ipotesi che i costi esterni generati dagli effetti locali delle emissioni gassose degli autobus alimentati a metano possano essere ricavati da quelli generati dagli autobus diesel considerandoli, in prima approssimazione, proporzionali alla quantità di particolato emesso, e quindi inferiori a questi di un fattore pari 7.

## Conclusioni

Da quanto detto è possibile trarre alcune conclusioni. La prima di queste è quella che, anche tenendo conto del fatto che i valori dei costi esterni sopra ri-

portati sono per forza di cose delle stime soggette a margini di errore anche consistenti, i dati relativi a Parigi e Milano<sup>13</sup> sembrerebbero far emergere l'esistenza di contesti caratterizzati da situazioni particolari (comprendenti elevate densità di popolazione nelle aree attraversate dai mezzi e particolari condizioni climatiche) nelle quali l'investimento connesso alla sostituzione dei vecchi autobus urbani con moderni modelli alimentati a metano presenterebbe ritorni estremamente elevati, che si manterrebbero tali anche se le stime dei costi esterni sopra riportate fossero esagerate di un fattore pari a 4 o 5. Ciò sembrerebbe consigliare l'effettuazione di un'indagine conoscitiva per l'individuazione di questi contesti ed una successiva rapida sostituzione dell'intero parco autobus a tecnologia convenzionale ivi ancora in esercizio.

Considerando invece il dato medio, da quanto visto sembrerebbe ragionevole ipotizzare un valore di stima dell'ammontare dei costi esterni generati dalle emissioni gassose di un autobus a tecnologia convenzionale di 32.000 euro all'anno (2.000 per gli effetti globali e 30.000 per quelli locali). Le ipotesi fatte consentono poi di stimare il costo esterno medio generato da un autobus a metano a basso impatto ambientale in 5.000 euro all'anno (1.000 per gli effetti globali e 4.000 per quelli locali). Di conseguenza il beneficio ambientale medio derivante dalla sostituzione di un autobus a tecnologia convenzionale con uno a metano sarebbe stimabile in 27.000 euro all'anno. Ricordando, come riportato in precedenza, che l'investimento necessario per questa sostituzione è quantificabile in 290.000 euro e considerando un periodo di ammortamento di 12 anni e un tasso di sconto dell'1% (valore quest'ultimo tipicamente usato in letteratura per l'attualizzazione dei costi generati dal contributo all'effetto serra delle emissioni), si ottiene in questa ipotesi un Valore Attuale Netto dell'investimento di poco superiore ai 13.000 euro.

Si tratta di un risultato che conferma la validità dell'investimento esaminato, anche se non sembra confermare la assoluta priorità che quest'ultimo mostra nei contesti particolari di cui si è detto in precedenza.

## Bibliografia

- Aci - Fondazione Caracciolo, 2000, *Un futuro senza piombo. Approfondimenti sulla Direttiva 98/70/CE*, Roma.
- Anpa - Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2000, *Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale. I fattori di emissioni medi per il parco circolante in Italia*, Serie Stato dell'Ambiente, 12/2000.
- Amici della Terra, 2000, *Newsletter*, n. 17.
- Commissione Europea, 1995, *Towards fair and efficient pricing in transport - policy options for internalizing the external costs of transport in the European Union*, Libro Verde.

13. Che stimano, ricordiamo, benefici ambientali annui della sostituzione dei vecchi autobus dello stesso ordine di grandezza dell'investimento necessario a questo scopo.

- Commissione Europea, 1997, *Fair payment for infrastructure use: a phased approach to a common transport infrastructure charging framework in the European Union*, Libro Bianco.
- Commissione Europea, 2001, *European transport policy for 2010: time to decide*, Libro Bianco.
- Confederazione Generale Italiana dei Trasporti e della Logistica, 1997, *L'internalizzazione dei costi esterni dei trasporti*, a cura del Centro studi Confetra, Quaderno n. 100.
- European Commission, DG XII, Science, Research and Development, Joule, 1995, *Externalities of Fuel Cycles - ExternE project*, Vol. 1-6.
- European Conference of Ministers of Transport, 1998, *Efficient Transport for Europe. Policies for Internalisation of External Costs*.
- European Conference of Ministers of Transport, 1998, *Resolution n. 98/1 On the Policy Approach to Internalising the External Costs of Transport*, Ministers of Transport of the Ecmt, Copenhagen 26-27 maggio 1998.
- European Conference of Ministers of Transport, 2000, *Resolution n. 00/3 On Charges and Taxes in Transport Particularly in International Road Haulage*, Ministers of Transport of the Ecmt, Prague 30-31 maggio 2000.
- Ferrovie dello Stato, Amici della Terra, 1999, *I costi ambientali e sociali della mobilità in Italia*, Secondo rapporto.
- Ferrovie dello Stato, Amici della Terra, 2002, *I costi ambientali e sociali della mobilità in Italia*, Quarto rapporto.
- Furlan S., 2000, *Impatto ambientale del traffico: strumenti di valutazione*, Comunicazione presentata al convegno "Externalities due to Transportation in the Mediterranean Area", Pesaro.
- High Level Group on Transport Infrastructure Charging, 1999, *Final Report on Options for Charging Users Directly for Transport Infrastructure Operating Cost*, mimeo.
- Lombard P.L. e Molocchi A., 2000, "I costi esterni della mobilità in Italia", *Economia delle fonti di energia e dell'ambiente*, n. 1, pp. 49-81.
- Messori L., 2001, "L'imposizione fiscale efficiente sulla benzina in un mondo di second best", *Economia delle fonti di energia e dell'ambiente*, n. 3, 2001.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione - Servizio di Pianificazione e Programmazione, 2000, *Nuovo piano generale dei trasporti e della logistica*, documento tecnico, sito web del Ministero dei Trasporti e della Navigazione.
- Odorici C., Biagi L., 1995, "Controllo annuale per i gas di scarico veicolari", *Ambiente*, n. 9, pp. 42-59.
- Parlamento Europeo, 1999, *Trasporti e ambiente nell'Unione Europea*, Rapporto finale.
- Parry I.W.H., 2000, *Comparing the Efficiency of Alternative Policies for Reducing Traffic Congestion*, Resources for the Future, Discussion Paper 00-28.
- Rabl A., Eyre N., 1997, *An Estimate of Regional and Global O<sub>3</sub> Damage from Precursor NO<sub>x</sub> and VOC Emissions*, Ecole des Mines, 60, blvd St-Michel, F-75272 Paris, Cedex 06.
- Tol S.J.R., Downing T.E., 2000, *The marginal cost of climate changing emission*, Instituut voor Milieuvraagstukken/Institute for Environmental Studies, Amsterdam.