

Come riusciremo a ridurre le emissioni di gas serra nel settore dei trasporti

Angelo Martino e Davide Fiorello

Uno degli ambiziosi obiettivi del Libro bianco sui trasporti dell'Unione europea prevede la riduzione del 60% delle emissioni di gas serra nel settore entro il 2050. L'analisi condotta dal progetto di ricerca Ghg-TransPoRD segnala che le misure di innovazione tecnologica e di regolazione non sembrano essere sufficienti e che il suo raggiungimento impone il ricorso anche a politiche di contenimento della domanda di trasporto.

Introduzione

I gas serra, in particolare l'anidride carbonica (CO₂), sono ormai largamente riconosciuti come una delle cause del riscaldamento globale e dei conseguenti cambiamenti climatici. Come si evince dalle statistiche dell'Unione europea (Commissione europea, 2011b), una quota rilevante delle emissioni di CO₂ proviene dal settore dei trasporti: 1,2 miliardi su un totale di poco più di 4 miliardi di tonnellate emesse nei Paesi della Ue nel 2008. Inoltre, mentre le emissioni totali negli ultimi vent'anni sono diminuite (-7% rispetto ai 4,4 miliardi nel 1990), quelle del settore dei trasporti sono andate in controtendenza (crescendo del 34% dai 0,9 miliardi del 1990). Mentre altri settori come l'industria, le costruzioni, ecc. sono riusciti a migliorare l'efficienza energetica o a incrementare l'uso di fonti di energia rinnovabili, il settore dei trasporti continua a dipendere quasi completamente dall'uso di combustibili fossili (circa il 96% nell'anno 2008) e i miglioramenti ottenuti nel campo della riduzione dei consumi dei veicoli sono stati più che controbilanciati dalla costante crescita della domanda di trasporto.

L'allarme sulle possibili conseguenze di un riscaldamento globale ha indotto l'Unione europea a fissarsi obiettivi di riduzione sostanziale dei gas serra e il settore dei trasporti è chiamato a fare la propria parte. In linea con questo indirizzo, il recente Libro bianco dei trasporti (Commissione europea, 2011a) stabilisce un traguardo di riduzione del 60% - rispetto al livello di emissioni del 1990 - entro il 2050.

Il progetto Ghg-TransPoRD¹, co-finanziato dalla Commissione europea nell'ambito del 7° Programma quadro di ricerca, ha provato a individuare e va-

¹ Il progetto è stato realizzato da un consorzio europeo guidato da Fraunhofer-Isi (Germania). Oltre a TRT Trasporti e Territorio, gli altri partner erano il Joint

research centre Ipts della Commissione europea con sede a Siviglia (Spagna), Tml-Leuven (Belgio) e l'Istituto ITS dell'università di Leeds (Uk).

lutare una serie di strategie realistiche per raggiungere questo traguardo. Il progetto si è articolato in tre fasi successive:

- l'individuazione di misure realistiche e promettenti che comprendessero sia linee di sviluppo tecnologico sia azioni di *policy* (ovvero tasse, tariffe, standard ecc.);
- l'analisi tecnico-economica delle misure individuate per stimarne l'efficacia in termini di riduzione di gas serra, la fattibilità tecnica, il costo e la compatibilità economica;
- la definizione, simulazione e valutazione di differenti scenari che combinasero tali misure e dei livelli di riduzione delle emissioni di gas serra per gli anni 2020 e 2050.

Questo articolo riassume i principali risultati dello studio, soffermandosi in particolare sugli scenari prodotti e sulle indicazioni di politica che se ne ricavano.

La definizione degli scenari

Per scenario si intende un insieme di ipotesi riguardo ad alcuni elementi chiave del contesto che si vuole studiare. Nel caso di Ghg-TransPoRD, gli scenari erano costituiti da ipotesi sulle misure - tecnologiche e no - da utilizzare per ridurre le emissioni di CO₂ fino all'anno 2050.

La costruzione di questi scenari è partita dall'identificazione delle linee di ricerca e di sviluppo nel settore dei trasporti e dell'energia e dallo studio degli indirizzi di politica dei trasporti a livello comunitario. In questo modo, si è definito, per ciascun mezzo di trasporto, un elenco di misure che sono state sottoposte a una valutazione tecnica-economica, in maniera da determinarne il potenziale di riduzione delle emissioni e stimarne i relativi costi di implementazione (Akkermans e altri, 2010; Schade e altri, 2011).

L'analisi delle misure prese isolatamente fornisce, però, un potenziale di riduzione delle emissioni solo indicativo. Le misure possono interagire tra loro - positivamente, determinando effetti sinergici o negativamente, ovvero parzialmente annullandosi - perciò se applicate contemporaneamente possono determinare risultati diversi dalla somma dei loro contributi potenziali, come vedremo più avanti. Un altro aspetto da tenere in conto è che il potenziale di una misura viene calcolato assumendo che questa sia impiegata universalmente, ma nella realtà numerose barriere possono impedire od ostacolarne l'adozione e quindi ridurne l'efficacia. Per esempio, il potenziale di riduzione delle emissioni delle auto elettriche è molto elevato se si assume che tutti le utilizzino e che l'energia elettrica sia prodotta largamente da fonti rinnovabili: in pratica, la diffusione di auto elettriche sul mercato e l'ampliamento della quota di fonti rinnovabili non sono né immediati né semplici.

L'analisi tecnica ed economica delle singole misure è servita, quindi, come criterio per identificare le misure più promettenti, cioè quelle con un potenziale elevato, oppure con un basso costo in relazione alla loro efficacia. Le misure più promettenti sono state poi utilizzate per creare gli scenari dello studio, dove ognuno è identificato da una specifica politica generale di indirizzo ed è costituito da un pacchetto di misure coerenti. Gli impatti di tali scenari in termini di riduzioni delle emissioni e del relativo costo di abbattimento è affidato all'utilizzo di modelli di simulazione. In particolare, sono stati definiti e simulati sei scenari.

- *Massima efficienza a condizioni di mercato - Max E&M.* Questo scenario include la maggior parte delle misure tecnologiche identificate per i diversi modi di trasporto. Di queste misure fanno parte sia i miglioramenti di efficienza dei veicoli stradali convenzionali sia le auto innovative, tuttavia né queste ultime né i biocarburanti sono in alcun modo incentivati a favorirne la diffusione sul mercato. Il grado di successo di carburanti e/o auto innovative dipende interamente dall'evoluzione dei loro costi, definita dalle curve di apprendimento.
- *Veicoli elettrici Ev.* In questo scenario gli investimenti per l'innovazione tecnologica sono concentrati sullo sviluppo dei veicoli elettrici, i quali ricevono anche un supporto per mezzo di incentivi quali sussidi sul prezzo di acquisto. Si suppone che lo sviluppo dell'efficienza dei veicoli tradizionali non si fermi, ma proceda a un ritmo meno intenso che nello scenario Max E&M.
- *Veicoli a celle di combustibile (idrogeno) Hfc.* Questo scenario è analogo al precedente, con la sola differenza che gli investimenti e i sussidi sono dedicati allo sviluppo di veicoli a celle di combustibile invece che elettrici.
- *Veicoli elettrici e a celle di combustibile con tassazione dei carburanti Ehf.* Si tratta di una combinazione dei due precedenti arricchito da un aumento sostanziale delle accise sui carburanti convenzionali (fino a triplicare, in media, i valori del 2010) destinato a contrastare il crollo degli introiti per i Governi a seguito della notevole riduzione dei consumi di carburante.
- *Tecnologie e politiche ambiziose Amb Tp.* Questo scenario condivide le stesse misure tecnologiche contenute nello scenario Max E&M con in più i sussidi allo sviluppo dei veicoli innovativi e delle misure di contenimento della domanda di trasporto, incluso l'aumento sostanziale delle accise sui carburanti già previsto nello scenario Ehf.
- *Regolazione estrema Amb Reg.* Alle misure dello scenario Amb Tp questo scenario aggiunge due ulteriori elementi di drastica regolazione: lo spostamento forzato di una quota di domanda di trasporto merci dalla strada verso ferrovia e nave e il divieto di vendere auto convenzionali (cioè con motori alimentati a combustibili fossili) a partire dal 2035.

Nel complesso, perciò, si possono distinguere tre gruppi di scenari. Il primo gruppo (scenario Max E&M) è quello che esplora l'aumento di efficienza affidato al mercato. Il secondo (scenari Ev, Hfc e Ehf) è quello che analizza l'effetto

dell'incentivazione di tecnologie innovative. Il terzo gruppo (scenari Amb Tp e Amb Reg) è quello in cui si esamina il contributo di politiche votate al contenimento della domanda di trasporto, in particolare per i modi stradali privati.

Tutti gli scenari sono stati simulati assumendo una progressiva transizione del sistema di produzione dell'energia verso l'utilizzo di fonti rinnovabili, la cui quota nella produzione di energia elettrica nei Paesi della Ue si simula possa arrivare all'80% entro il 2050.

Gli strumenti di analisi

L'analisi degli scenari è stata realizzata attraverso simulazioni modellistiche. I modelli di simulazione sono strumenti che rappresentano processi reali in modo semplificato, attraverso relazioni quantitative più o meno complesse tra variabili diverse. I modelli servono a stimare dei valori assunti da variabili di uscita (indicatori) in base alle caratteristiche dei dati di ingresso e servono proprio per rispondere a domande del tipo "cosa succede se...". Nei modelli che rappresentano il sistema dei trasporti, i dati di ingresso possono, per esempio, riguardare politiche di intervento del decisore pubblico (quali l'introduzione di un pedaggio o lo stanziamento di investimenti per lo sviluppo di veicoli innovativi) o il variare di condizioni esterne (quali l'offerta di petrolio). Per il progetto Ghg-TransPoRD sono stati usati tre modelli di simulazione:

- *Astra*. È un modello strategico a scala europea che simula, insieme al sistema dei trasporti, anche i sistemi macroeconomico, territoriale e ambientale e, pertanto, consente di cogliere gli impatti di lungo periodo di politiche di trasporto oltre lo specifico settore.²
- *Poles*. È un modello dell'equilibrio tra domanda e offerta di energia su scala mondiale. Sul lato dell'offerta sono comprese tutte le fonti - petrolio, gas, carbone, nucleare, rinnovabili e biocarburanti - con i relativi costi di produzione, mentre sul lato della domanda i comparti considerati sono industria, agricoltura, residenze, trasporti.³
- *Mars*. È un modello a scala locale che rappresenta l'area metropolitana di Leeds. Si tratta di un modello di interazione tra il sistema dei trasporti e quello territoriale che simula la mobilità dei residenti, le scelte localizzative delle famiglie e quelle di costruzione di nuovi edifici.⁴

Tutti e tre i modelli sono basati sull'approccio Systems Dynamics, adottato tipicamente per studiare l'evoluzione di sistemi complessi che non sono in equilibrio. In tali modelli, la dinamica del sistema analizzato viene rappresentata dall'inte-

² Per maggiori informazioni sulla famiglia di modelli *Astra*, si può fare riferimento al sito www.astra-model.eu.

³ Per dettagli sul modello *Poles* si veda Russ e altri, 2007.

⁴ Per dettagli sul modello *Mars* si veda Pfaffenbichler e altri, 2010.

razione di variabili di “stock” e variabili di “flussi”, che a loro volta alimentano o consumano gli stock. Per esempio, la consistenza della flotta di autovetture è uno stock alimentato dai nuovi acquisti e consumato dalle rottamazioni. L'analisi è, quindi, necessariamente dinamica perché il comportamento di flussi e stock è significativo quando è osservato lungo un certo periodo di tempo.

Una peculiarità di tali modelli è la rappresentazione dei fenomeni di retroazione (*feedback*). Si ha retroazione quando un impatto indotto da una variabile A su un'altra variabile B genera in risposta un impatto di ritorno (diretto o indiretto) sulla variabile A. Per esempio, la riduzione del prezzo delle abitazioni genera un aumento della domanda di nuove case, che retroagisce direttamente sul prezzo delle abitazioni, aumentandolo. Invece, un aumento della produzione industriale può generare nuova occupazione, quindi un aumento di reddito e una domanda aggiuntiva di mobilità che, per essere soddisfatta, richiede più autovetture; dunque indirettamente, determinando una retroazione sulla produzione industriale.

I modelli Astra, Poles e Mars sono stati usati per simulare gli scenari menzionati in precedenza e stimare l'evoluzione delle emissioni di CO₂ e di altre variabili rilevanti. Astra e Poles hanno prodotto risultati a scala europea, mentre il modello Mars è servito per l'analisi del contributo specifico di politiche urbane.

I principali risultati

Gli scenari del progetto hanno riguardato tutti i modi di trasporto, ma al di fuori del settore stradale, le riduzioni di emissione sono trascurabili in valore assoluto (e a volte anche in percentuale) sia perché ci sono meno margini di miglioramento sia perché le emissioni di partenza sono piccole a confronto di quelle stradali. Di seguito, quindi, sono stati presentati esclusivamente i risultati relativi al trasporto stradale.

L'aumento di efficienza affidato al mercato.

La simulazione dello scenario Max E&M, in cui l'innovazione tecnologica è affidata al mercato, prevede per l'anno 2050 una riduzione delle emissioni di CO₂ derivanti dal settore dei trasporti nella misura del 34% rispetto ai livelli del 1990. Si tratta di una riduzione consistente, ma pari a poco più della metà di quella richiesta per centrare l'obiettivo del -60% fissato dal Libro bianco. Si parla qui di emissioni *tank to wheel*, cioè quelle derivanti dall'uso dei veicoli e non già anche dalla loro produzione o dalla produzione dei carburanti. Come mostra la Tab. 1, la riduzione avviene prevalentemente entro il 2030 ed è dovuta soprattutto al trasporto stradale, cioè ad auto e, in misura minore, camion. In realtà, il miglio-

ramento dell'efficienza dei veicoli, in particolare di quelli stradali, è maggiore del 35%. Se la riduzione complessiva delle emissioni si ferma a tale soglia è perché, proprio a causa della riduzione dei consumi unitari di carburante, si registra un aumento del traffico. In particolare, i chilometri percorsi con l'auto privata crescono del 70% rispetto al livello del 1990. In parole povere: poiché le auto (e in misura minore i camion) consumano molto meno, viaggiare diventa più economico e, quindi, ci si sposta di più. In questo modo, parte del miglioramento tecnologico è vanificato dall'aumento della mobilità.

Tab. 1 – Emissioni *tank to wheel* di CO₂ del settore dei trasporti per i Paesi Eu27 nello scenario Max E&M (milioni di tonnellate/anno)

Modo di trasporto	1990	2010	2020	2030	2050
Auto	481	455	388	280	260
Camion	212	252	211	156	160
Autobus	53	47	48	41	31
Ferrovia	6	5	5	4	5
Navi	6	7	9	9	9
Aerei	48	73	84	85	69
Totale	806	839	745	575	534
Indice emissioni totali	100	104	92	71	66

Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

Un risultato interessante di questo scenario è che il miglioramento dell'efficienza energetica del parco dei veicoli stradali avviene in larga misura come effetto del miglioramento dei veicoli convenzionali (quelli a combustione interna) e non tanto per l'ingresso sul mercato di veicoli innovativi (le auto elettriche o a idrogeno). Sono proprio le consistenti economie di esercizio offerte dalle auto convenzionali a rendere difficile il successo dei modelli innovativi, i quali partendo da un costo di produzione molto più elevato hanno bisogno di volumi di produzione crescenti per diventare competitivi. Nello scenario Max, E&M la quota di mercato dei veicoli innovativi si ferma a poco più del 10% al 2050 e quasi la metà di tale quota è dovuta ai veicoli alimentati da biocombustibili, più innovativi sul lato del carburante utilizzato e della tecnologia di propulsione.

Questa evoluzione della flotta spiega perché i benefici a livello di emissioni si registrino prevalentemente nei primi anni e rallentino considerevolmente a partire dal 2030 (vedi Tab. 1). I miglioramenti di efficienza dei veicoli convenzionali, che rappresentano l'evoluzione di una linea tecnologica già consolidata, sono disponibili in tempi relativamente rapidi. Una volta raggiunto il limite attualmente concepibile, però, i progressi diventano molto più lenti e non sono compensati che in minima parte dall'ingresso sul mercato delle nuove tecnologie che, nel frattempo, non hanno avuto modo di svilupparsi.

L'incentivazione di tecnologie innovative

In entrambi gli scenari in cui gli investimenti sono indirizzati verso le auto elettriche o le auto a celle di combustibile (scenari Ev e Hfc), la riduzione delle emissioni è relativamente modesta e per l'anno 2050 si attesta intorno a -15% rispetto al valore del 1990 (Tab. 2). Si nota che nel caso delle auto elettriche la riduzione comincia prima, mentre l'effetto delle auto a celle di combustibile si manifesta più tardi.

Tab. 2 – Emissioni *tank to wheel* di CO₂ del settore dei trasporti per i Paesi Eu27 negli scenari di supporto alle tecnologie (milioni di tonnellate/anno)

Scenario	Modo	1990	2010	2020	2030	2050
Ev	Auto	481	455	423	290	305
	Camion	212	252	255	235	243
	Autobus	53	47	52	52	44
	Ferrovia	6	5	5	4	4
	Navi	6	7	9	9	9
	Aerei	48	73	84	84	72
	Totale	806	839	827	674	677
	Indice emissioni totali	100	104	103	84	84
Hfc	Auto	481	455	445	339	261
	Camion	212	252	257	239	278
	Autobus	53	47	52	53	43
	Ferrovia	6	5	5	4	5
	Navi	6	7	9	9	9
	Aerei	48	73	84	85	72
	Totale	806	839	851	728	668
	Indice emissioni totali	100	104	106	90	83
Ehf	Auto	481	455	418	286	190
	Camion	212	252	259	231	231
	Autobus	53	47	52	53	42
	Ferrovia	6	5	5	4	4
	Navi	6	7	9	9	9
	Aerei	48	73	84	82	71
	Totale	806	839	827	664	547
	Indice emissioni totali	100	104	103	82	68

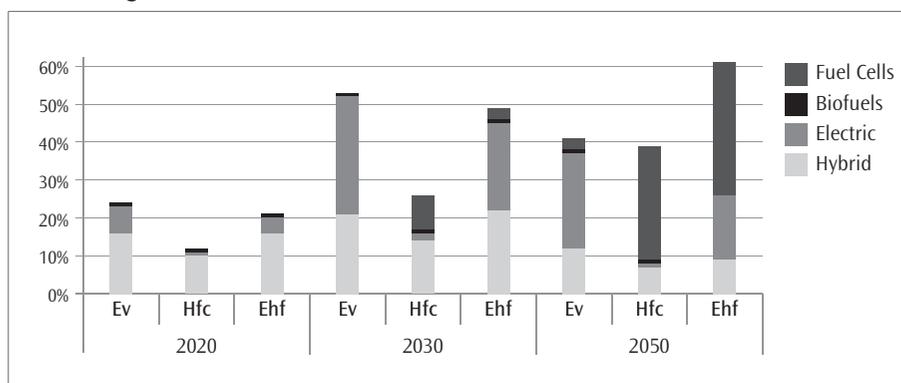
Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

Anche in questo caso, si tratta di un effetto di rimbalzo sulla domanda di trasporto stradale come conseguenza della riduzione dei costi di trasporto (percorrere un chilometro grazie all'elettricità o all'idrogeno costa meno che usando benzina o gasolio). A ciò poi si aggiunge la relativa lentezza della penetrazione delle vetture innovative sul mercato (Fig. 1) dovuta all'elevato prezzo di acquisto. Infatti, mentre i costi di esercizio delle auto elettriche o a celle di

combustibile sono più bassi rispetto a quelli delle auto convenzionali, il loro prezzo di acquisto rimane più elevato. Le curve di apprendimento che legano investimenti, costi e domanda rendono evidente che non ci sono margini per far calare i prezzi delle vetture innovative abbastanza rapidamente da renderle immediatamente un'alternativa competitiva.

In sintesi: nonostante politiche mirate di incentivazione che sussidiano il prezzo delle auto innovative, queste ultime si possono diffondere solo gradualmente (soprattutto nel caso delle auto a celle di combustibile) e chi le possiede tende ad approfittare del minor costo del carburante per muoversi di più. L'esito complessivo è un livello di riduzione delle emissioni di CO₂ piuttosto deludente, ben lontano dal target del 60%, ma anche inferiore allo scenario in cui lo sviluppo tecnologico è indirizzato, seguendo le preferenze di mercato, verso il miglioramento delle auto convenzionali.

Fig. 1 – Quota delle auto innovative nella flotta dei Paesi Eu27 negli scenari di supporto alle tecnologie



Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

Lo scenario Ehf che combina tecnologie innovative e tassazione ha il vantaggio di essere “aperto” sia alle auto elettriche sia a quelle a celle di combustibile, evitando di irrigidire il settore con una scelta tecnologica a priori. Inoltre, per compensare l'effetto di rimbalzo sulla domanda di trasporto e rendere più forte l'incentivo a dotarsi di un'auto innovativa, introduce una forte tassazione sui carburanti convenzionali. Nel breve periodo, l'effetto è modesto, perché parte degli incentivi sono dedicati alle auto a celle di combustibile e ciò rallenta la penetrazione nella flotta di auto elettriche. La strategia si rivela vincente nel lungo periodo, quando si riesce ad avere nella flotta una quota di auto a celle di combustibile pari a quella dello scenario Hfc, ma con molte più auto elettriche di quelle realizzate in quest'ultimo scenario. Con -32% al 2050, lo scenario riesce a raddoppiare la riduzione delle emissioni di CO₂ da trasporto ottenute dalle opzioni Ev o Hfc ed eguaglia lo scenario Max E&M.

Il contenimento della domanda di trasporto

Tutti gli scenari esaminati sono largamente insufficienti a raggiungere l'obiettivo di riduzione delle emissioni del fissato in sede comunitaria e l'introduzione di misure aggiuntive di regolazione della domanda appare perciò necessaria. Lo scenario Amb Tp include, oltre all'incremento della tassazione sui carburanti, anche la riduzione dei limiti di velocità sulle strade extraurbane, la riorganizzazione della logistica dei trasporti per aumentare il tasso di carico medio dei veicoli merci, l'uso esteso dei pedaggi urbani e l'incentivazione della mobilità ciclabile attraverso infrastrutture apposite. Insieme agli incentivi per l'acquisto di auto innovative, lo scenario prevede anche investimenti tecnologici diretti verso lo sviluppo delle auto convenzionali, come nello scenario Max E&M.

Le misure sortiscono un effetto crescente, che porta lo scenario Amb Tp a ridurre le emissioni di CO₂ da trasporti di oltre il 40% rispetto ai livelli del 1990 (Tab. 3), ancora ben al di sotto dell'obiettivo prefissato. In particolare, le simulazioni dei modelli segnalano come le misure urbane (pedaggi, mobilità ciclabile) abbiano un impatto limitato, a meno che non si ipotizzi un sostanziale cambiamento comportamentale, ossia a meno che non si diffondano nei cittadini priorità e preferenze differenti da quelle attuali, tali da far diventare la bicicletta un mezzo di trasporto abituale per la maggior parte della popolazione in alternativa all'auto, ma non ai mezzi pubblici.

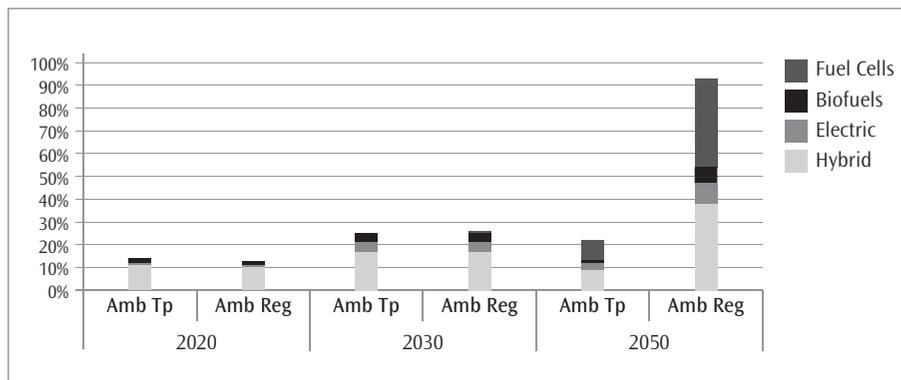
Tab. 3 – Emissioni *tank to wheel* di CO₂ del settore dei trasporti per i Paesi Eu27 negli scenari di regolazione della domanda (milioni di tonnellate/anno)

Scenario	Modo	1990	2010	2020	2030	2050
Amb Tp	Auto	481	456	360	238	219
	Camion	212	252	208	139	136
	Autobus	53	47	56	50	37
	Ferrovia	6	5	4	4	4
	Navi	6	7	9	8	9
	Aerei	48	73	84	86	72
	Totale	806	839	722	524	478
	Indice emissioni totali	100	104	90	65	59
Amb Reg	Auto	481	456	359	237	92
	Camion	212	252	207	135	121
	Autobus	53	47	56	50	36
	Ferrovia	6	5	4	4	4
	Navi	6	7	9	9	10
	Aerei	48	73	84	86	73
	Totale	806	839	719	521	335
	Indice emissioni totali	100	104	89	65	42

Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

Le regole aggiuntive ipotizzate nello scenario Amb Reg sono piuttosto drastiche e riguardano il trasferimento forzato di quote di merce dalla strada alla ferrovia e alla nave, nonché il divieto di vendita di auto convenzionali dopo l'anno 2035. Come si vede in Tab. 3, questi due elementi si rivelano decisivi. In particolare, guardando all'entità delle riduzioni nel corso del tempo, a fare la differenza sembra essere soprattutto il bando ai veicoli convenzionali. Infatti, la differenza rispetto allo scenario precedente si registra integralmente dopo il 2030 (Fig. 2).

Fig. 2 – Quota delle auto innovative nella flotta dei Paesi Eu27 negli scenari di regolazione della domanda



Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

I costi degli scenari

In definitiva, gli scenari esaminati hanno una diversa efficacia in relazione all'obiettivo previsto. Considerando che questi risultati sono conseguiti con differenti mix di misure tecnologiche e di regolazione, è interessante analizzare anche i costi di queste politiche, per capire se le differenze di impatto riflettono analoghe differenze di costo. La Tab. 4 seguente riporta tre tipologie di costo di abbattimento, espressi in euro per tonnellata di CO₂ risparmiata.

- Il costo sostenuto dai soggetti privati che include: i costi per l'acquisto e l'esercizio dei veicoli (al netto dei sussidi e includendo le tasse), i costi per i pedaggi e quelli per l'acquisto di servizi di trasporto (passeggeri). Sono esclusi i costi sostenuti dalle imprese per lo sviluppo delle innovazioni tecnologiche, perché sono incorporati nel prezzo delle vetture e sono, quindi, già conteggiati nella spesa per l'acquisto dei veicoli.
- Il costo per le autorità pubbliche che include i sussidi (per sostenere l'acquisto di vetture innovative, ma anche quelli alle imprese di trasporto pubblico) e gli investimenti per la ricerca. Sono, inoltre, conteggiati come costi anche i mancati introiti da tassazione sui veicoli, sui carburanti ecc.

- Il costo sociale che corrisponde alla somma netta dei primi due. Poiché vi sono elementi che gravano come costi sui soggetti privati, ma sono introiti per le autorità pubbliche (per esempio le tasse sul carburante) e viceversa (per esempio i sussidi al prezzo dei veicoli innovativi), il costo sociale esclude tutte le voci di costo che rappresentano un semplice trasferimento tra privato e pubblico e viceversa.

Tab. 4 – Costi di abbattimento delle emissioni negli scenari (euro/tonnellata)

Scenario	Costo soggetti privati	Costo autorità pubbliche	Costo sociale
Max E&M	-463	676	214
Ev	-973	925	-48
Hfc	-632	692	60
Ehf	-444	272	-172
Amb Tp	86	-210	-123
Amb Reg	12	-128	-116

Fonte: Ghg-TransPoRD - Astra model

Lo scenario di innovazione tecnologica Max E&M, uno dei più efficaci in termini di riduzione delle emissioni, ha un costo sociale piuttosto elevato (si spendono 214 euro per abbattere le emissioni di una tonnellata). Per i soggetti privati si tratta di uno scenario conveniente: il costo è negativo, cioè ridurre le emissioni fa anche risparmiare. Questo risparmio deriva dai minori consumi di carburante, la cui entità più che compensa il maggior prezzo di acquisto dei veicoli (che, a sua volta, riflette gli investimenti necessari) e dalla minore spesa per i servizi di trasporto pubblici (dovuto al trasferimento modale verso le auto, data la loro maggiore economicità). Per le autorità lo scenario è assai meno conveniente, principalmente a causa dei minori introiti derivanti dalla tassazione dei carburanti, ma anche dalla necessità di aumentare i sussidi al trasporto pubblico per compensare le minori entrate da tariffa⁵ (ciò vale in questo come in tutti gli altri scenari).

Gli scenari in cui si incentivano le tecnologie innovative sono meno efficaci in termini di riduzione delle emissioni, ma sono più convenienti per i soggetti privati, visto che ai risparmi dello scenario precedente si associano anche i sussidi per acquistare i nuovi veicoli. La convenienza è particolarmente elevata nel caso dello scenario Ev, perché i veicoli elettrici sono più rapidamente disponibili sul mercato e, quindi, un maggior numero di persone può beneficiare dei sussidi. Nel caso dello scenario Hfc, invece, lo schema di incentivazione agisce inizialmente a vantaggio delle autorità, perché nei primi anni la disponibilità di auto a celle di combustibile è limitata e sono più gli acquirenti di auto convenzionali che pagano una sovrattassa che non coloro che beneficiano del sussidio.

⁵ Quest'onere potrebbe essere risparmiato o ridotto assumendo di tagliare servizi e personale delle società di trasporto pubblico, a seguito della minore domanda.

Va, però, considerato che le simulazioni modellistiche assumono un'offerta costante; se così non fosse i risultati potrebbero essere diversi.

Per questo, lo scenario Hfc è meno conveniente per i soggetti privati e il suo costo sociale è positivo, mentre quello dello scenario Ev è negativo.

Quando si introduce l'aumento della tassazione sui carburanti, la convenienza per i soggetti privati si riduce ancora, ma anche i costi per le autorità pubbliche si riducono molto e il bilancio da un punto di vista sociale è interessante: il costo di abbattimento nello scenario Ehf è largamente negativo. Da questo punto di vista, è quello che ottiene il risultato migliore.

Molto buoni, da un punto di vista sociale, sono anche i due scenari di politica di contenimento della domanda Amb Tp e Amb Reg. Se, da una parte, salvaguardano le casse pubbliche (che anzi ci guadagnano), essi sono però meno accattivanti per i soggetti privati, che devono sopportare costi aggiuntivi.

Un altro elemento rispetto a cui può essere utile confrontare scenari caratterizzati da un forte impulso allo sviluppo tecnologico è il loro impatto macroeconomico. In realtà, in base alle simulazioni, le differenze tra i diversi scenari sono modeste. Il tasso di crescita dell'economia non si discosta significativamente da quello previsto in assenza di politiche. È lievemente più alto nei primi anni, quando si registra la maggior parte degli investimenti, e diventa più basso verso gli ultimi anni, ma si tratta di differenze non sostanziali. È comunque opportuno notare che il modello Astra non è in grado di simulare nel dettaglio le scelte di investimento. È verosimile che in un contesto, come quello attuale, in cui enormi quantità di risparmio sono impiegate in operazioni di natura speculativa o immobilizzate in investimenti immobiliari, vi sarebbero ampi margini perché gli investimenti in sviluppo tecnologico siano finanziati senza che debbano essere distolte risorse attualmente impiegate in altri settori produttivi. In Astra questo meccanismo non è presente - anzi si simula l'esistenza di un effetto di "spiazzamento" degli investimenti pubblici in caso di deficit - e dunque l'impatto macroeconomico è verosimilmente sottostimato.

Conclusioni

I risultati delle simulazioni modellistiche suggeriscono che il target di riduzione delle emissioni di trasporto delineato nel Libro bianco è molto ambizioso e che il suo raggiungimento richiede uno sforzo eccezionale non solo di natura tecnologica. Da una parte, è necessario che il progresso tecnico si sviluppi fin dal breve periodo, sfruttando al massimo il potenziale di riduzione dei consumi dei veicoli stradali convenzionali; dall'altra, però, non deve essere trascurato lo sviluppo di veicoli innovativi, sia elettrici sia a celle di combustibile, né dovrà mancare il sostegno finanziario alla loro penetrazione sul mercato, per consentire di attivare le necessarie economie di scala. Nel contempo, nella produzione di energia elettrica, le fonti fossili devono essere progressivamente sostituite con quelle rinnovabili. Condizione indispensabile da affiancare alle innovazioni tecniche è che la maggiore efficienza non si trasformi in incremento nell'uso dei veicoli stradali. Per diminuire le emissioni di gas serra dei trasporti, viaggiare in auto non dovrà diventare

più economico di oggi, anzi, dovrà essere più costoso nonostante i minori consumi unitari di energia. Per essere veramente efficace, però, questa politica richiederebbe un sostanziale cambiamento nei comportamenti e nelle scelte di mobilità della popolazione, che rimanda necessariamente a una maggiore consapevolezza dei costi in termini di emissioni di CO₂. In altri termini, si tratterebbe di mettere in discussione le abitudini consolidate e gli stili di vita centrati sull'utilizzo dell'auto privata che caratterizzano la nostra società da diversi decenni.

Siamo, quindi, in presenza di una sfida tecnica, economica e politica e di scelte non certo facili. Alle autorità pubbliche spetterebbe il compito di organizzare le forze, mobilitando risorse, individuando obiettivi e anche ponendo vincoli alle scelte di privati, imprese e consumatori. L'impressione è che, nella gran parte dei casi, i decisori pubblici non siano ancora pronti e anche le indicazioni della politica comunitaria non vadano in questa direzione, dato che nel medesimo Libro bianco si afferma che "la riduzione della mobilità non è un'opzione praticabile". C'è, quindi, ancora molta strada da percorrere per trasformare gli obiettivi di lungo periodo in indicazioni coerenti di politica dei trasporti.

Riferimenti bibliografici

- Akkermans L., Vanherle, K., Moizo A., Raganato P., Schade B., Leduc G., Wiesenthal T., Shepherd S., Tight, M., Guehnemann, A., Kraill M., & Schade W.: *Ranking of measures to reduce Ghg emissions of transport: reduction potentials and qualification of feasibility*. Deliverable D2.1 of Ghg-TransPoRD: Project co-funded by European Commission 7th RTD Programme. Transport & Mobility Leuven, Belgium, 2010 (disponibile all'indirizzo: <http://www.ghg-transpord.eu/>).
- Commissione europea (2011a): *Libro Bianco. Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile*. COM(2011) 144, Bruxelles (disponibile all'indirizzo: http://ec.europa.eu/transport/strategies/2011_white_paper_en.htm).
- Commissione europea (2011b): *Eu Transport in figures*, Luxembourg (disponibile all'indirizzo: ec.europa.eu/transport/.../statistics/doc/2011/pocketbook2011.pdf).
- Pfaffenbichler, P., Emberger, G., Shepherd, S. P., "A system dynamics approach to land use transport interaction modelling: the strategic model Mars and its application", *System Dynamics Review*, vol. 26, n. 3 (July-September 2010), pp. 262-282.
- Russ P., Wiesenthal, T., Van Regemorter, D., Ciscar, J. C., *Global Climate Policy Scenarios for 2030 and beyond - Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction Pathway Scenarios with the Poles and GEM-E3 models*, JRC Reference Report, Eur 23032 En, 2007 (disponibile all'indirizzo: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/eur23032en.pdf>).
- Schade, W., Akkermans, L., Fiorello, D., Jopson, A., Köhler, J., Kraill, M., Moizo, A., Schade, B., Shepherd, S., Sievers, L., Tercero, L., Vanherle, K., Weiss, C., Wiesenthal, T., *Bottom-up quantifications of selected measures to reduce Ghg emissions of transport for the time horizons 2020 and 2050: Cost assessment of Ghg mitigation measures of transport*, Deliverable D3.1 of Ghg-TransPoRD. Project co-funded by European Commission 7th RTD Programme. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Germany, 2011 (disponibile all'indirizzo: <http://www.ghg-transpord.eu/>).