

# UN MODELLO PER LA STIMA DELLE EMISSIONI E LA SIMULAZIONE DI SCENARI DI CAMBIAMENTO MODALE

*Eleonora Pieralice<sup>1</sup>*

## **1. Introduzione**

Da diversi anni ci si interroga su quali sono le possibili soluzioni per risolvere l'emergenza climatica mondiale. Dai pacchetti di misure salva-clima ai trattati internazionali, il dibattito mira a definire gli ambiti d'intervento per una risoluzione globale con l'obiettivo di ridurre le emissioni in atmosfera degli agenti più inquinanti, partendo dall'incremento delle fonti rinnovabili per arrivare a una miglior efficienza energetica.

Nel dicembre del 1997, nell'ambito della Conferenza della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite su cambiamenti climatici, fu sottoscritto, da 160 nazioni, il primo trattato internazionale in materia ambientale, che divenne poi noto come il "protocollo di Kyoto". Le condizioni del trattato prevedevano l'obbligo dei paesi industrializzati di adoperarsi per una riduzione delle emissioni degli agenti inquinanti. Il protocollo di Kyoto è entrato in vigore nel 2005, anno in cui ha ottenuto la ratifica delle 55 nazioni produttrici del 55% delle emissioni inquinanti globali. In linea con il dibattito internazionale l'Unione Europea adottava diversi dispositivi, tra cui la Direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'ambiente e per un'aria più pulita in Europa, che costituisce l'ultimo atto, in termini cronologici, per l'attuazione di un programma comunitario in materia.

Lo studio si sviluppa nella convinzione che la costruzione di un sistema di Trasporto Pubblico Locale (TPL) efficiente, insieme allo sviluppo di reti ciclabili e soluzioni di trasporto collettivo alternative all'uso dell'auto

---

<sup>1</sup> Isfort SpA, Via Savoia 19 Roma, [epieralice@isfort.it](mailto:epieralice@isfort.it).

privata, può contribuire alla diminuzione della congestione delle città, garantendo una maggiore possibilità di mobilità e mitigando le esternalità negative.

La ricerca propone una metodologia per stimare le emissioni nocive generate dalla mobilità urbana e per simulare gli effetti di politiche volte a disincentivare l'uso del mezzo privato e favorire un maggior utilizzo del mezzo pubblico.

La metodologia si sviluppa attraverso dei processi di interazione fra le banche dati, esistenti a livello nazionale, che offrono informazioni, distinte e allo stesso tempo complementari, su importanti aspetti della mobilità. Si parte dall'inventario delle emissioni in aria dei gas-serra della SINAnet, Rete del sistema Informativo Nazionale, per passare ai veicoli in circolazione distinti per tipologia di emissioni inquinanti, secondo la classificazione CORINAIR-COPERT, banca dati dell'ACI, per giungere, infine, ai comportamenti e stili in mobilità degli individui dell'Osservatorio Audimob di Isfort.

Il modello sperimentale si articola in tre fasi di elaborazione: assegnazione, stima e simulazioni. La prima è una fase di assegnazione dei valori degli agenti inquinanti al rispettivo parco veicolare circolante distinto per tipologia di alimentazione, cilindrata e standard normativi di emissioni definiti a livello europeo. I valori medi regionali, ottenuti, consentono di integrare le informazioni della banca dati su comportamenti e stili in mobilità degli individui.

Nella fase successiva si stima la quantità di emissioni in atmosfera, distinte per agente inquinante, che ogni individuo genera secondo il mezzo utilizzato per eseguire uno spostamento.

Si passa attraverso il confronto tra i dati ufficiali, modello COPERT che stima le emissioni di inquinanti atmosferici da trasporto stradale, e le elaborazioni della metodologia proposta, per verificare la solidità dei risultati raggiunti, e concludere con la fase di simulazione di scenari di cambiamento modale.

Se le persone decidono di non usare più l'automobile e preferiscono spostarsi con il mezzo pubblico, qual è l'impatto ambientale? Di quanto si potrebbero abbattere le emissioni inquinanti? La simulazione di diversi scenari percorribili, dà le risposte a questi interrogativi, offrendo una serie di informazioni empiriche per misurare le cause-effetto e l'efficienza-efficacia di provvedimenti mirati alla tutela del benessere collettivo.

## 2. Le fonti dei dati e gli indicatori

In Italia l'offerta di indicatori sulla mobilità è alquanto variegata. La qualità del dato e la sua affidabilità sono doti fondamentali se si desidera giungere a un buon risultato statistico. Molto di frequente capita che istituti di ricerca privati, per tutelare gli interessi societari, non diffondano la metodologia utilizzata per i dati pubblicati. Per questa ricerca si è preferito, quindi, utilizzare un'informazione statistica di qualità dove l'omogeneità e l'affidabilità dei metodi di rilevazione sono trasparenti e documentate e, soprattutto, sistematicamente verificate dall'Istituto Nazionale di Statistica<sup>2</sup>.

Pertanto, il controllo di qualità sui dati è garantito dalla statistica ufficiale ispirata dai principi di imparzialità, affidabilità, trasparenza e efficienza, descritti in maniera dettagliata nel Codice delle statistiche europee<sup>3</sup> adottato dalla Commissione Europea nel 2005.

Per favorire una miglior lettura dello studio, di seguito è riportata una sintetica descrizione degli istituti e della loro produzione scientifica indispensabile per la realizzazione della metodologia sperimentale applicata in questa ricerca.

### 2.1. Le fonti

Le pubblicazioni dell'ACI riportano una dettagliata serie storica del parco veicolare circolante suddiviso per categoria, alimentazione, potenza, epoca di fabbricazione e tipo di conformità alle normative europee. La classificazione dei dati ACI è compatibile con i dati forniti dalla metodologia, denominata CORINAIR-COPERT, ufficialmente riconosciuta per la realizzazione degli archivi nazionali sulle emissioni da trasporto su gomma. I dati riguardanti il parco veicolare, per la stima delle emissioni inquinanti, sono stati estratti dal data warehousing del sito ACI<sup>4</sup>.

---

2 L'ISTAT svolge funzioni di coordinamento del Sistema Statistico Nazionale, SISTAN, e interagisce con gli altri istituti comunitari per la costruzione del Sistema Statistico Europeo, SSE.

3 [http://www.istat.it/istat/codice\\_europeo\\_maggio2005.pdf](http://www.istat.it/istat/codice_europeo_maggio2005.pdf).

4 <http://www.aci.it>.

Il Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti, CNIT presenta un ampio quadro di elaborazioni statistiche sul sistema dei trasporti e sulle infrastrutture, a partire dai dati economici sino a giungere agli indicatori di domanda e di offerta. Molto utili per la ricerca sono state le serie storiche degli indicatori che si riferiscono alla dimensione del trasporto pubblico, in particolare i dati regionali relativi alle vetture-chilometro, impiegati per stimare la capacità di riempimento degli autobus pubblici.

L'inventario delle emissioni in aria dei gas-serra dell'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, raccolto nella banca dati on-line SINAnet<sup>5</sup>, Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale, ha rappresentato uno dei pilastri fondamentali per lo studio proposto.

L'Osservatorio Audimob di ISFORT: un'ampia banca dati sulle scelte comportamentali degli individui, spesso utilizzata per la costruzione di scenari per la programmazione e pianificazione dei trasporti.

## *2.2. Descrizione degli agenti atmosferici analizzati*

Alcune nozioni generali, sulla composizione e sulla nocività degli agenti atmosferici esaminati, sono indispensabili per meglio comprendere l'attuale emergenza climatica e sanitaria; quali danni, per l'ambiente e la salute delle persone, determina il traffico urbano. Ridurre le emissioni di gas a effetto serra è uno degli obiettivi che l'Unione Europea si è prefissata di raggiungere nel 2020 con l'abbattimento di almeno il 20% delle emissioni inquinanti<sup>6</sup>. Gli indicatori analizzati rappresentano le principali componenti delle emissioni dei veicoli a motore disciplinate dalla normativa europea: ossidi di azoto NO<sub>x</sub>, composti organici volatili non metanici NMVOC, monossido di carbonio CO, particolato PM, diossido di carbonio o anidride carbonica CO<sub>2</sub>, protossido di azoto N<sub>2</sub>O, ammoniaca NH<sub>3</sub>.

NO<sub>x</sub> rappresenta il composto che identifica l'insieme di tutti gli ossidi di azoto e le miscele dei loro composti chimici. Gli ossidi di azoto vengono prodotti attraverso qualsiasi combustione dove viene utilizzata aria, quindi dal motore delle automobili al camino a legna o alle centrali termoelettriche. Secondo le condizioni di combustione si ottengono diverse quantità e qualità di miscele di ossidi di azoto. Uno dei procedimenti più

---

<sup>5</sup> <http://www.sinanet.apat.it/>

<sup>6</sup> Rispetto ai livelli del 1990.

pericolosi è rappresentato dal  $\text{NO}_x$  che si forma in presenza di una grande quantità di ossigeno e di elevate temperature che genera un fattore altamente responsabile dell'inquinamento dell'atmosfera. La tecnologia cerca quindi di abbassare i picchi di temperatura raggiunti per la combustione cercando di distribuirla nel modo più uniforme possibile. Per ottenere migliori risultati, normalmente, sono utilizzati i catalizzatori o i metodi di iniezione. Sul versante "salute" bisogna ricordare che queste sostanze colpiscono principalmente gli asmatici aggravandone le condizioni fisiche. La reazione chimica di alcuni ossidi di azoto con l'ossigeno viene convertita in ozono, e non solo, la combinazione con l'umidità atmosferica da luogo ad acidi che ritroviamo nelle cosiddette "piogge acide".

NM VOC, diversi sono i composti organici rappresentati in questa sigla, tra i più menzionati si annoverano gli idrocarburi, il benzene e gli ossigenati. Si possono presentare in differenti stati di aggregazione e reagiscono in funzione della loro struttura molecolare. Alla stessa stregua degli ossidi di azoto vengono indicati come i precursori dell'ozono troposferico, cioè della fascia dell'atmosfera che si trova a diretto contatto con la superficie terrestre. I composti organici sono generati dall'evaporazione dei carburanti durante il rifornimento nelle stazioni di servizio, dalle emissioni di prodotti incombusti dagli autoveicoli e dai riscaldamenti domestici. Tra i composti organici volatili il più pericoloso è il benzene che è causa di neoplasie per l'uomo.

Il Monossido di carbonio,  $\text{CO}$ , è un gas velenoso prodotto dalla combustione incompleta di sostanze organiche, è pericoloso poiché inodore, insapore e incolore, inoltre la sua combinazione con particelle di aria genera una sostanza esplosiva con alto grado di penetrazione persino attraverso le mura domestiche. La tossicità del monossido di carbonio si può manifestare, anche in presenza di basse concentrazioni, attraverso la riduzione della capacità del sangue di far affluire ossigeno al cervello, può condurre alla morte per asfissia, lede principalmente i polmoni ed è causa di malattie cardiovascolari.

Il Particolato, PM, più conosciuto come "polveri sottili", è il cosiddetto inquinante delle grandi città perché generato da processi di combustioni particolarmente legati alle aree urbane. Le particelle che si disperdono nell'atmosfera hanno un diametro oscillante da pochi nanometri sino a circa mezzo millimetro, sono in grado di penetrare nelle vie respiratorie, raggiungendo l'epitelio dei bronchioli e gli alveoli polmonari, entrano

direttamente nel sangue, provocano gravi malattie che spesso inducono a formazioni tumorali cancerogene. Per il particolato non esiste una soglia di concentrazione minima al di sotto della quale non sia possibile verificare delle conseguenze sanitarie. In una scelta di valutazioni di sostenibilità sono definiti dei limiti normativi che accettano il rischio delle inevitabili patologie e dei decessi associati.

Il diossido di carbonio, o anidride carbonica, rappresenta un elemento tossico per le vie respiratorie e per l'ossigenazione dei tessuti, quando la sua concentrazione nell'aria supera la soglia del 5%, può essere addirittura letale. L'aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> è legato alla combustione di fossili come il carbone e il petrolio da una parte, dall'altra la deforestazione ha provocato una minor capacità di risposta, dell'ecosistema ambiente, a una maggior concentrazione di anidride carbonica, provocando l'incremento dell'effetto serra.

Il protossido di azoto, N<sub>2</sub>O, può essere compreso tra i gas serra, viene normalmente utilizzato per aumentare la potenza delle prestazioni dei motori. Scientificamente riconosciuto come un elemento non tossico anche se la sua inalazione, per periodi prolungati, può portare a malattie del sistema nervoso, anemie e carenze di vitamina B<sub>12</sub>.

L'ammoniaca, NH<sub>3</sub>, è un composto tossico dall'odore molto caratterizzante, a differenza degli altri elementi chimici, oggetto di studio, non produce effetti legati all'atmosfera come i gas serra, tuttavia provoca danni ambientali come l'acidificazione del suolo e l'inquinamento delle falde acquifere.

### **3. Il modello e la metodologia di analisi**

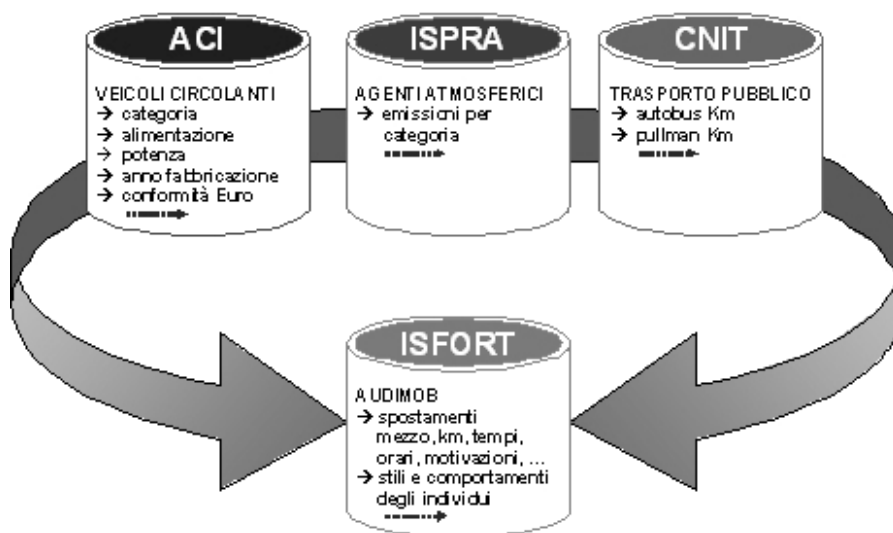
#### *3.1. Il modello*

Gli indicatori selezionati, tenendo conto della robustezza e qualità del dato, offrono informazioni diverse e, tra loro, integrative. Si va dall'archivio curato dall'ACI, del parco veicolare circolante; ai dati ISPRA sull'impatto ambientale che questi veicoli generano per effetto delle loro emissioni inquinanti; all'offerta sul numero di passeggeri e di autobus per chilometro delle tavole del CNIT del Ministero dei Trasporti, sino a giungere all'osservatorio Audimob dell'ISFORT, che descrive ampiamente

i comportamenti degli individui sulle scelte modali. (Fig. 1) L'idea è di cercare di far convergere tutte queste informazioni in una banca dati che possa consentire un approfondimento dell'analisi dell'impatto ambientale della mobilità dal lato della domanda.

Collegare l'individuo e i suoi comportamenti in mobilità alle emissioni che genera per ogni suo spostamento quotidiano, dal recarsi al luogo di lavoro all'andare in palestra, dal fare la spesa all'accompagnare i figli a scuola. Tutto ciò consente di valutare empiricamente degli scenari legati sia alle scelte individuali sia alle preferenze o ai desideri che il soggetto esprime al di là dei suoi comportamenti abituali.

Fig. 1 – Le banche dati



In particolare, la metodologia applicata, attraverso la connessione delle diverse banche dati con l'osservatorio Audimob, consente di esaminare il soggetto attraverso l'osservazione diretta del suo comportamento e la struttura delle preferenze che lo indurrebbero a un cambiamento modale. Le due strade intraprese si muovono, per assunto, attraverso una relazione binaria di scelta modale, "auto versus autobus". La prima ipotesi si sviluppa seguendo l'indicazione dei soggetti intervistati sulle loro preferenze "annunciate", la seconda presuppone l'intervento diretto dello

Stato attraverso politiche sociali volte a salvaguardare il benessere dell'intera collettività.

### *3.2. Metodologia utilizzata per la stima delle emissioni*

Per la stima delle emissioni del parco auto in ambito urbano vengono utilizzati: il database del parco auto fornito dall'ACI, dove gli autoveicoli sono distinti per macroclassi di alimentazione e cilindrata, oltre che per anno di circolazione, regione e riferimento normativo delle relative misure adottate contro l'inquinamento atmosferico da emissione dei veicoli a motore; il database della SINAnet (Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale) degli agenti inquinanti dei veicoli suddivisi per tipologia di alimentazione, cilindrata e distinguendo le emissioni medie per modalità di traffico in ambito urbano o extraurbano.

Dopo aver associato, a ogni vettura del parco auto circolante il suo corrispondente valore medio di emissioni per ogni elemento inquinante, viene stimato il valore medio di emissioni per veicolo riferito all'intero parco circolante per regione e anno di circolazione.

La matrice di valori medi di emissione per singolo agente inquinante, verrà utilizzata per attribuire un valore medio di emissioni a ogni singolo spostamento effettuato in automobile nell'ambito urbano (*Cfr. F1 in appendice*) ed extra-urbano (*Cfr. F2 in appendice*) dei dati dell'Osservatorio Audimob, mantenendo una distribuzione che tiene conto della stratificazione per regione e anno di circolazione.

A questo punto è possibile elaborare una metodologia sperimentale per la stima delle emissioni totali in funzione dei parametri che vengono forniti dalle rilevazioni sugli spostamenti in un giorno medio feriale dei dati Audimob.

La lunghezza delle percorrenze rappresenta il moltiplicatore di base per la costruzione delle diverse metodologie di calcolo. La terza formula (*Cfr. F3 in appendice*) è l'espressione di calcolo per la stima delle emissioni di ossidi di azoto NO<sub>x</sub>, composti organici volatili e non metanici NMVOC, particolato PM e ammoniaca NH<sub>3</sub>. Il livello di congestione (Vel) viene stimato sulla base del reciproco della velocità di percorrenza dello spostamento, nell'ipotesi che maggiore è il tempo impiegato e maggiore sarà la concentrazione delle esalazioni inquinanti. La quarta formula (*Cfr.*

*F4 in appendice*) viene impiegata per la stima del monossido di carbonio CO e del diossido di carbonio CO<sub>2</sub>. La stima del livello di prestazione del motore viene usata come effetto di ponderazione per le emissioni da protossido di azoto N<sub>2</sub>O, maggiore sarà la performance e più alto sarà l'effetto inquinante (*Cfr. F5 in appendice*).

Per la stima delle emissioni del parco autobus e pullman in ambito urbano vengono utilizzati: il database fornito dall'ACI, dove gli autobus e pullman sono distinti per anno di circolazione, regione e riferimento normativo delle relative misure adottate contro l'inquinamento atmosferico da emissione dei veicoli a motore; il database della SINAnet degli agenti inquinanti dei veicoli suddivisi per classificazioni euro di appartenenza distinguendo le emissioni medie per modalità di traffico in ambito urbano o extraurbano.

La metodologia utilizzata, in questa prima fase di ricerca, per elaborare il valore medio di emissioni del trasporto collettivo su gomma è simile a quella utilizzata precedentemente per il parco auto. La procedura risulta più semplificata poiché in questo caso i dati non forniscono elementi di distinzione per alimentazione e cilindrata. Ogni elemento inquinante viene valutato in funzione del parco veicolare regionale e del relativo anno di circolazione.

Anche in questo caso, si ottiene una matrice di valori medi di emissione per singolo agente inquinante, che verrà usata, per assegnare un dato medio a ogni spostamento, dei dati Audimob, effettuato con il mezzo pubblico. Se il viaggio è stato compiuto in autobus (*Cfr. F6 in appendice*), il valore sarà riferito alle medie in ambito urbano, se per lo spostamento si è utilizzato il pullman (*Cfr. F7 in appendice*), il valore medio sarà quello riferito all'extra-urbano.

Il passaggio successivo predispone un metodo per stimare le emissioni totali sulla base delle variabili rilevate dai dati Audimob.

La metodologia per la stima dei valori inquinanti, per il trasporto collettivo, pur mantenendo la struttura di base già menzionata per il parco auto, deve prevedere un fattore correttivo (<sub>posti</sub>peso) che ridimensiona le emissioni del veicolo in funzione della capacità di riempimento del mezzo stesso (*Cfr. F8, F9, F10 in appendice*). Per la ponderazione regionale della capienza dei mezzi pubblici sono utilizzati i dati "autobus-km", fonte Conto Nazionale dei Trasporti, e i passeggeri-km dei dati Audimob, al fine di poter redistribuire i pesi in funzione del database di ISFORT. Per la stima di

questa variabile si è tenuto conto della diversità dimensionale delle due fonti. Infatti, i dati Audimob fotografano gli spostamenti di un giorno medio feriale, mentre i dati del Ministero dei Trasporti rappresentano l'intero periodo annuale. Il problema viene risolto ridimensionando i dati annuali, assumendo che le giornate feriali in un anno siano 240 e che nei giorni festivi le linee di TPL vengono abbattute di circa un 70% rispetto alla quotidianità, ottenendo una stima degli autobus-km per un giorno medio feriale. A questo punto si può calcolare la capienza media: passeggeri per autobus-km. I dati del Ministero dei Trasporti, purtroppo mancano di continuità storica, pertanto è stata necessaria un'ulteriore stima al fine di attribuire dei valori di flusso anche per gli "anni gap" (2002, 2004, 2007). La correzione è stata calcolata in funzione del valore medio espresso nei due anni precedenti. Le procedure di calcolo della prima fase di studio permettono di strutturare un database, relazionato ai dati Audimob, che verrà utilizzato per confrontare i diversi scenari oggetto della ricerca.

#### **4. Confronti tra i primi risultati e i dati ufficiali**

La SINAnet, "Rete del sistema Informativo Nazionale Ambientale" (ISPRA ex APAT), stima le emissioni di inquinanti atmosferici da trasporto stradale avvalendosi di un modello denominato COPERT. Il modello "*Computer Programme to calculate Emissions from Road Traffic*" consente, attraverso un'ampia scelta di parametri, di tener conto delle velocità, delle percorrenze, delle pendenze, del traffico, delle emissioni sia a caldo sia a freddo, della tipologia di strada percorsa, e di altri fattori ampiamente illustrati nelle "Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera" e nelle note metodologiche del portale di ISPRA<sup>7</sup>. Questa metodologia viene utilizzata nell'ambito del programma CORINAIR (CORE INventory AIR), dell'Agenzia Europea per l'Ambiente EEA (European Environment Agency), come il software ufficiale per la realizzazione di inventari nazionali sulle emissioni da trasporto su strada. La classificazione "SNAP97" (Selected Nomenclature for Air Pollution), utilizzata per la definizione delle attività, consente di effettuare un

---

<sup>7</sup> <http://www.isprambiente.it/site/it-IT/>.

confronto, con le stime ottenute dal modello sperimentale applicato ai dati Audimob (descritto nei precedenti paragrafi), esclusivamente per quanto riguarda le emissioni delle automobili; mentre per quanto riguarda l'autobus, la comparazione risulta più difficile poiché il dato SINAnet, non disaggregato, comprende anche l'insieme dei veicoli pesanti ( $P > 3,5$  t), distinzione che invece non viene rilevata dall'indagine di ISFORT.

Di seguito è riportato un raffronto, sulle emissioni totali da automobile, tra i primi risultati dello studio e i dati SINAnet (Tab. 1, 2 e 3). Questo tipo di analisi viene svolta, non tanto per la validazione della metodologia, bensì per verificare eventuali macro scostamenti dai dati ufficiali.

*Tab.1: Emissioni totali degli inquinanti da automobile per un giorno medio feriale, elaborazione su dati Audimob (Valori in Mg)*

<b>Anno</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>NMVOC</b>	<b>CO</b>	<b>PM</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
2002	810	1.108	8.591	74	232.342	23	35
2003	793	1.069	8.583	68	238.457	23	39
2004	623	809	7.281	51	215.202	18	36
2005	577	366	3.684	51	196.789	26	55
2006	565	258	2.552	48	193.246	29	72

*Tab.2: Emissioni totali degli inquinanti da automobile per un giorno medio feriale, elaborazione su dati SINAnet(\*) (Valori in Mg)*

<b>Anno</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>NMVOC</b>	<b>CO</b>	<b>PM</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
2002	791	474	5.912	45	196.888	26	47
2003	773	441	5.593	46	195.598	27	44
2004	720	417	4.855	48	200.157	29	44
2005	639	344	4.028	43	197.725	29	42
2006	550	267	3.198	41	194.995	30	41

*(\*) I dati SINAnet sono riferiti alla serie storica 1990-2006, il giorno medio feriale è calcolato nell'ipotesi che la circolazione feriale costituisca circa il 70% dei volumi di emissioni annuali. La guida CORINAIR fornisce una stima qualitativa del dato attribuendo una classificazione per gradi di significatività. Per i confronti si deve tener presente che i dati definiti significativi, per l'ampiezza del campione, sono riferiti alle emissioni di NO<sub>x</sub>, CO, NMVOC, PM, CO<sub>2</sub>; mentre per gli agenti N<sub>2</sub>O e NH<sub>3</sub> i fattori di emissioni sono basati su dati rilevati in letteratura.*

Tab 3: Confronto elaborazioni su dati SINAnet rispetto elaborazioni su dati Audimob (\*)  
(Variazione percentuale)

Anno	NOX	NMVOC	CO	PM	CO2	N2O	NH3
2002	-2,4	-57,3	-31,2	-39,1	-15,3	14,3	34,2
2003	-2,6	-58,7	-34,8	-33,0	-18,0	17,8	14,5
2004	15,6	-48,4	-33,3	-6,3	-7,0	57,0	23,1
2005	10,7	-5,9	9,3	-14,6	0,5	12,3	-23,1
2006	-2,6	3,4	+25,3	-13,9	0,9	1,3	-42,7

Negli scenari, oggetto delle successive ipotesi, le elaborazioni ottenute sulla ripartizione dei dati Audimob sono assunte come base per verificare come le distribuzioni delle emissioni inquinanti variano al mutare delle scelte modali effettuate dagli individui.

## 5. Gli scenari ipotizzati per il cambiamento modale

Le procedure di calcolo, fin qui sviluppate, consentono l'implementazione dei dati Audimob con delle variabili che assegnano a ogni spostamento, di ciascun individuo, il valore stimato di emissione per agente inquinante.

L'Osservatorio permette di ipotizzare degli scenari, di cambiamento modale, sulla base dei reali comportamenti dichiarati dagli intervistati. L'analisi verte su due tipologie di ipotesi.

Nella prima ipotesi si valuta la possibilità di trasferire dall'automobile al trasporto pubblico gli spostamenti con frequenza giornaliera, definiti sistematici, delle persone che hanno espresso una propensione positiva al desiderio di voler diminuire l'utilizzo del mezzo privato o di quelli che vorrebbero aumentare il proprio uso del mezzo pubblico.

Nella seconda ipotesi, tutti gli spostamenti effettuati in automobile con durata inferiore o uguale a 15 minuti, costituiscono l'insieme da ridistribuire sul mezzo pubblico. Le tabelle che seguono riportano i dati,

riferiti all'universo Italia, della rilevazione Audimob e le diverse numerosità degli scenari ipotizzati.

Nella tabella 4, ad esempio nel 2007, gli individui della prima ipotesi, cioè quelli propensi a lasciare l'auto o ad aumentare l'uso dell'autobus, rappresentano circa il 18% della popolazione di riferimento, mentre coloro che hanno effettuato almeno uno spostamento in automobile con durata di percorrenza non superiore a 15 minuti, universo della seconda ipotesi, sono il 41,2% degli italiani.

*Tab.4: Distribuzione della popolazione totale e assegnazione della popolazione secondo gli scenari ipotizzati (Valori assoluti in mgl. e Valori %)*

Anno	Popolazione			Quota % di popolazione sul totale	
	Totale <sup>(a)</sup>	Ipotesi 1 <sup>(b)</sup>	Ipotesi 2 <sup>(c)</sup>	Ipotesi 1 <sup>(b)</sup>	Ipotesi 2 <sup>(c)</sup>
2002	48.089	5.257	16.787	10,9	34,9
2003	47.335	5.338	17.186	11,3	36,3
2004	47.493	3.112	15.568	6,6	32,8
2005	47.902	5.615	19.126	11,7	39,9
2006	48.292	4.821	18.663	10,0	38,6
2007	48.670	8.731	20.033	17,9	41,2

*(a) Persone in età compresa tra 14 e 80 anni.*

*(b) Persone che hanno espresso una propensione positiva al desiderio di voler diminuire l'utilizzo del mezzo privato o di voler aumentare l'uso del mezzo pubblico.*

*(c) Persone che hanno effettuato spostamenti in automobile con durata inferiore o uguale a 15 minuti.*

*Fonte: Elaborazioni su dati Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani*

Per quanto riguarda la mobilità in una giornata media feriale, le persone che rientrano nella prima ipotesi rappresentano il 16% degli spostamenti totali, mentre gli spostamenti in automobile con durata inferiore o uguale a 15 minuti, seconda ipotesi, sono quasi 49 milioni (Tab. 5).

Tab.5: Distribuzione degli spostamenti totali in una giornata media ferial e assegnazione degli spostamenti secondo gli scenari ipotizzati. (Valori assoluti in mgl. e valori %)

Anno	Totale <sup>(a)</sup>	Spostamenti		Quota % di spostamenti	
		Ipotesi 1 <sup>(b)</sup>	Ipotesi 2 <sup>(c)</sup>	Ipotesi 1 <sup>(b)</sup>	Ipotesi 2 <sup>(c)</sup>
2002	120.648	12.687	38.450	10,5	31,9
2003	122.811	13.048	40.372	10,6	32,9
2004	119.417	7.286	34.600	6,1	29,0
2005	123.228	13.565	46.328	11,0	37,6
2006	119.522	11.095	45.139	9,3	37,8
2007	123.517	19.760	48.699	16,0	39,4

(a) Spostamenti delle persone in età compresa tra 14 e 80 anni.

(b) Spostamenti in automobile delle persone che hanno espresso una propensione positiva al desiderio di voler diminuire l'utilizzo del mezzo privato o di voler aumentare l'uso del mezzo pubblico.

(c) Spostamenti effettuati in automobile con durata inferiore o uguale a 15 minuti

Fonte: Elaborazioni su dati Isfort, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani

### 5.1. Metodologia di calcolo della prima ipotesi di cambiamento modale

Sulla base delle risposte alle domande del questionario Audimob: "In prospettiva, Lei per i suoi spostamenti vorrebbe aumentare, diminuire o lasciare invariato l'utilizzo dell'automobile rispetto a oggi? Considerando i mezzi pubblici vorrebbe utilizzarli in misura maggiore, minore o nello stesso modo rispetto a oggi?", viene elaborata una "variabile filtro", MIX, che identifica gli spostamenti in auto delle persone che hanno espresso un parere sfavorevole all'uso dell'automobile o che hanno mostrato di essere disposti favorevolmente verso un incremento dell'uso del trasporto pubblico. I dati associati a questa variabile costituiscono l'universo del primo scenario, nell'ipotesi di trasferimento dal mezzo privato al pubblico di tutti gli spostamenti che presentano questo tipo di caratteristiche.

La nuova variabile presuppone che le emissioni precedentemente calcolate, sulla base dei valori medi riferiti alle automobili, non siano più valide, in quanto, per ipotesi, questi spostamenti vengono trasferiti sul mezzo pubblico.

Si procede a una prima rielaborazione delle emissioni, assegnando, a queste tipologie di spostamenti, i valori medi stimati e già utilizzati per le vetture pubbliche (*Cfr. IPOTESI 1.1 in appendice*).

Una seconda elaborazione ricalibra il fattore di ponderazione  $\text{postipeso}$  rivalutando la capacità di riempimento del mezzo pubblico alla luce dell'incremento dei passeggeri-km, dovuto alla riduzione degli spostamenti in auto (*Cfr. IPOTESI 1.2 in appendice*).

## 5.2. Metodologia di calcolo della seconda ipotesi di cambiamento modale

Analogamente a quanto analizzato nella prima ipotesi, anche in questo secondo scenario, sono rielaborate le variabili di emissione degli agenti inquinanti di tutti gli spostamenti che rappresentano l'universo da riallocare sul trasporto pubblico. La "variabile filtro", TEMPO individua gli spostamenti in auto non superiori ai 15 minuti (*Cfr. IPOTESI 2.1 in appendice*).

Il fattore di ponderazione  $\text{postipeso}_{2.2}$  è elaborato in funzione della nuova numerosità dei passeggeri-km e di conseguenza della diversa capacità di riempimento del trasporto pubblico (*Cfr. IPOTESI 2.2 in appendice*).

Le ipotesi 1.1 e 2.1 sono stimate tenendo invariata la capacità di riempimento del mezzo pubblico, questo comporterebbe un incremento di vetture del parco autobus legato alla diversa domanda di TPL.

L'elaborazione delle altre due ipotesi, 1.2 e 2.2, scaturisce dopo una breve analisi dei dati riportati sul Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (Tab. 6), dove, nel 2005, la domanda di trasporto dei servizi urbani è rappresentata da 2,9 miliardi di passeggeri, con percorrenze medie di 6,1 km per spostamento, che genera un volume di passeggeri-km pari a 11,7 miliardi. Dal lato dell'offerta le vetture utilizzate, in ambito urbano, poco più di 19.000, percorrono complessivamente 758 milioni di km in un anno, offrendo quasi 72 miliardi di posti km.

Il rapporto tra passeggeri-km e posti-km, mostra una domanda di trasporto pubblico locale che copre solo il 16,3% dell'offerta.

Tab.6: Domanda e offerta di TPL, autobus utilizzati dalle aziende di servizi urbani. Anno 2005

<b>Domanda</b>	
Passeggeri	2.945.300.000
Passeggeri km	11.693.000.000
<b>Offerta</b>	
Autobus utilizzati	19.040
Autobus km	758.320.000
Posti offerti	1.770.000
Posti km offerti	71.911.180.000

Fonte: CNTI 2006

Di conseguenza nelle ipotesi 1.2 e 2.2 si assume che il cambio modale possa avvenire attraverso una più efficiente allocazione delle risorse esistenti, non determinando alcuna richiesta di investimenti per l'ampliamento del parco veicolare.

### 5.3. I risultati

Le varie metodologie di calcolo sviluppate consentono, con l'ausilio delle elaborazioni dei dati Audimob, di ipotizzare gli scenari, che potrebbero determinarsi per effetto del cambiamento modale, sia in ambito nazionale, che sul territorio regionale, fino ad arrivare a un dettaglio comunale riferito ai grandi centri urbani.

Le seguenti tabelle (Tab. 7) mostrano di quanto potrebbero variare, in percentuale, le emissioni in atmosfera nei vari scenari ipotizzati. In appendice è riportata la serie storica completa, in valori assoluti, dei risultati ottenuti sul piano nazionale (Tab. A) e il confronto dei dati regionali nelle varie ipotesi (Tab. B e C).

Nella prima ipotesi, cioè cercando delle soluzioni per accontentare le preferenze espresse dalle persone che propendono per un cambio modale che favorisca un maggior uso del trasporto pubblico e un minor utilizzo del

mezzo privato, si otterrebbe un abbattimento delle emissioni inquinanti in linea con le disposizioni previste dalla normativa comunitaria.

*Tab.7: Emissioni totali, in un giorno medio feriale, e variazione percentuale, rispetto alle emissioni totali per agente inquinante, nelle diverse ipotesi oggetto dello studio. (Valori assoluti in Mg e Variazioni %)*

	<b>Emissioni totali (v.a.)</b>	<b>Ipotesi 1.1 (var. %)</b>	<b>Ipotesi_1.2 (var. %)</b>	<b>Ipotesi 2.1 (var. %)</b>	<b>Ipotesi 2.2 (var. %)</b>
No <sub>x</sub>	565,4	2,2	-14,7	1,9	-21,1
NMVOG	250,4	-17,0	-21,4	-32,9	-38,9
CO	2.535,8	-22,0	-23,3	-42,5	-44,4
PM	49,7	-8,9	-18,2	-14,5	-27,0
CO <sub>2</sub>	207.192,2	-14,6	-20,1	-22,6	-30,3
N <sub>2</sub> O	31,4	-18,5	-19,6	-24,1	-25,5
Nh <sub>3</sub>	77,1	-21,4	-21,4	-23,9	-23,9

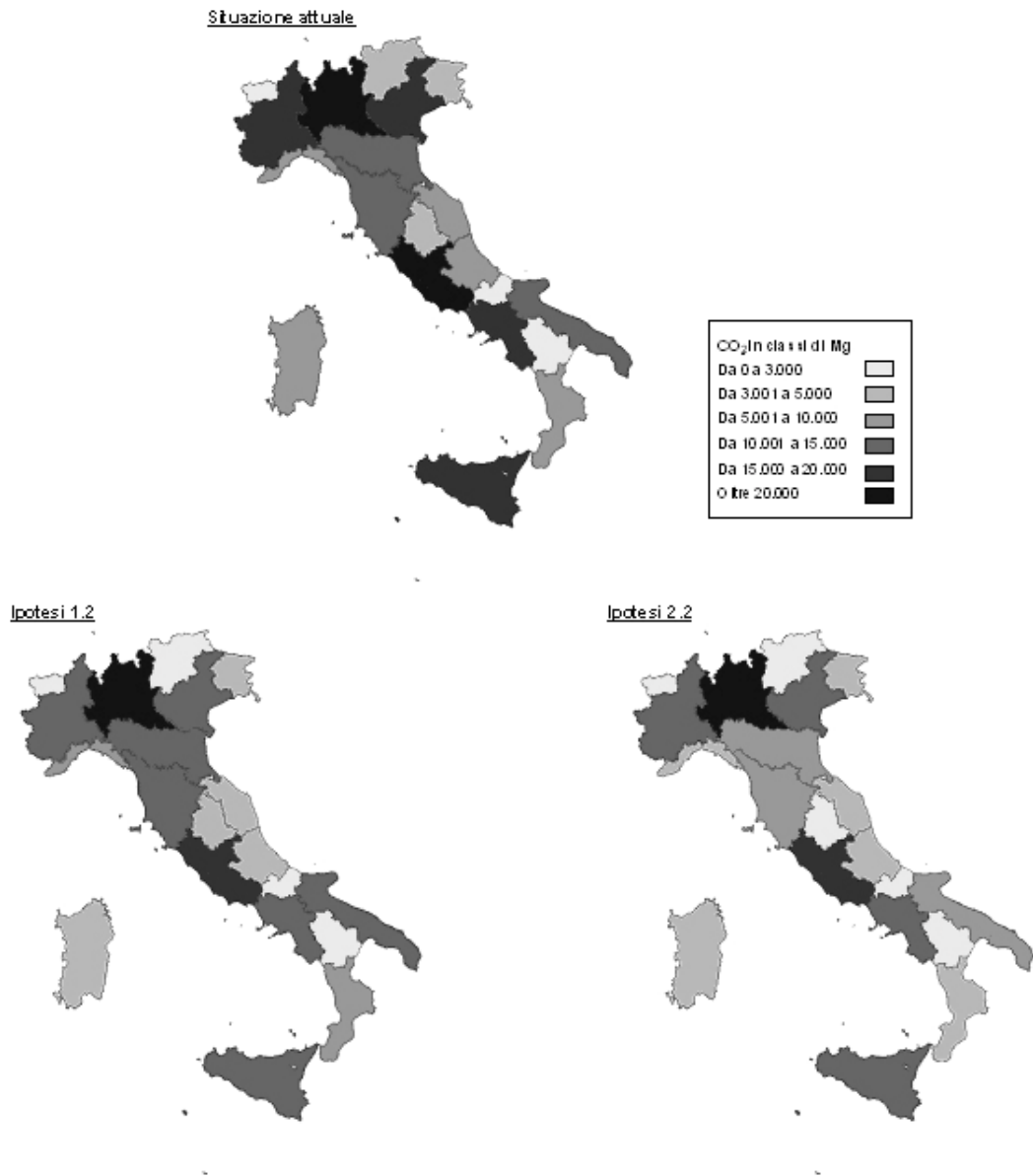
*Fonte: Elaborazioni su dati Audimob, Anno 2007*

I dati consentono di rappresentare, su base regionale, quali potrebbero essere gli effetti dell'abbattimento degli agenti atmosferici nelle varie ipotesi. Di seguito sono illustrati i casi che presumono un cambiamento modale a favore del mezzo pubblico senza interventi di ridimensionamento del TPL. Il riferimento è, quindi, rivolto all'ipotesi 1.2, caso in cui sono soddisfatte le preferenze delle persone che vorrebbero diminuire l'uso dell'auto o aumentare quello dell'autobus; e all'ipotesi 2.2, caso in cui il cambio "mezzo privato versus autobus" coinvolge tutti gli spostamenti effettuati in auto e inferiori a 15 minuti.

Le figure 2 e 3, illustrano gli scenari delle emissioni di CO<sub>2</sub> e PM. In alto è rappresentata la situazione attuale, cioè il valore stimato sui dati Audimob, in basso sono raffigurate le due ipotesi di cambiamento.

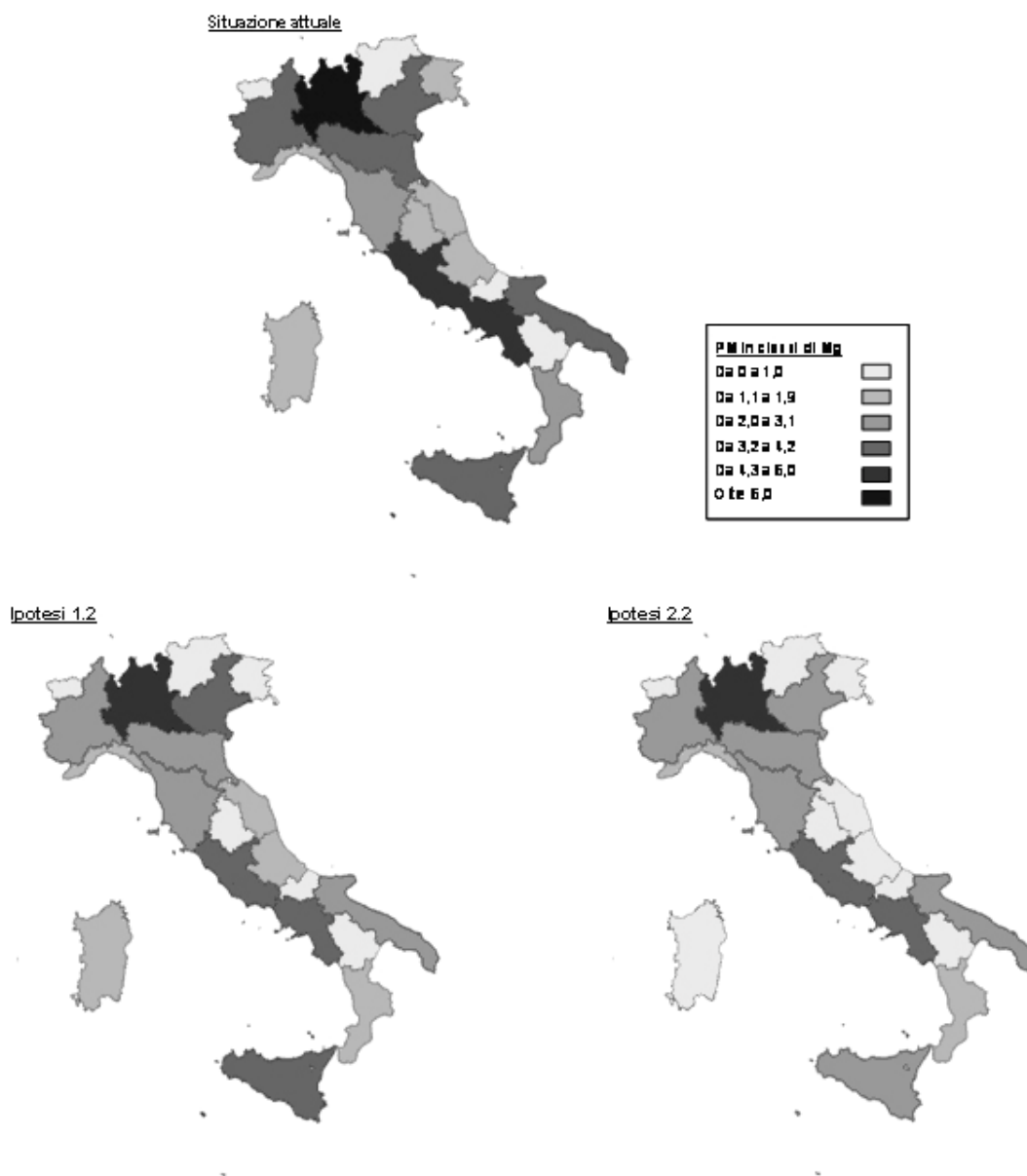
Sicuramente più positivi, per la diminuzione degli agenti nocivi in atmosfera, sono i dati relativi alla seconda ipotesi, cioè quella in cui bisognerebbe disincentivare l'uso dell'auto per gli spostamenti inferiori o uguali a 15 minuti di percorrenza.

Fig. 2 - Le emissioni di CO<sub>2</sub>, nelle diverse ipotesi.



Fonte: Elaborazione su dati Audimob, Anno 2007

Fig. 3 - Le emissioni del PM, nelle diverse ipotesi



Fonte: Elaborazione su dati Audimob, Anno 2007

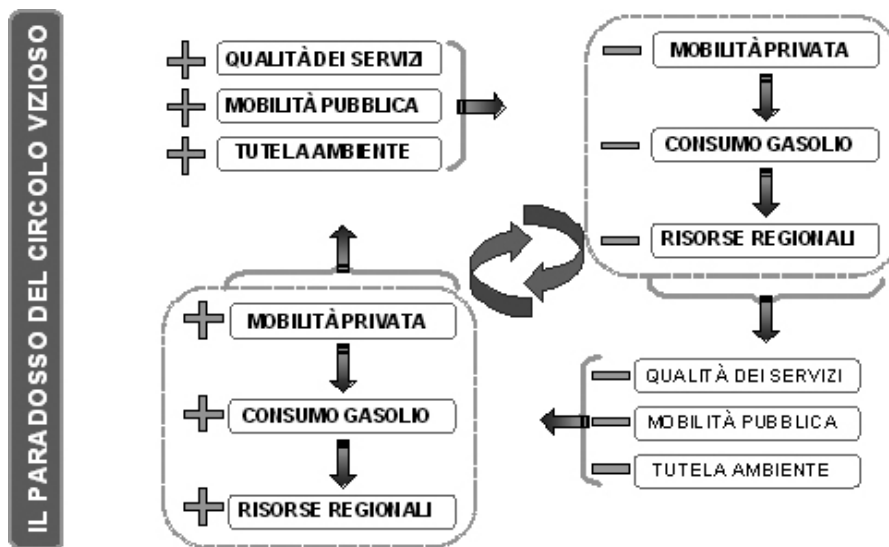
## 6. Spunti conclusivi

È evidente che per realizzare gli scenari ipotizzati occorre l'intervento concreto dello Stato che dovrà prodigarsi in politiche di sostegno al TPL, per promuovere l'utilizzo del mezzo pubblico e disincentivare l'uso del mezzo privato, con lo scopo di raggiungere l'obiettivo dell'abbattimento delle emissioni nocive in atmosfera.

La Commissione Europea, nelle varie edizioni del Libro Verde, indica le strade da seguire per la pianificazione di una mobilità urbana più efficiente. Le pubblicazioni individuano alcune linee guida per una gestione della domanda di trasporto che si ponga come obiettivo "principe" la tutela dell'ambiente e una migliore qualità della vita. Inventare una nuova cultura della mobilità attraverso un dibattito che sappia coordinare, a livello comunitario, lo scambio di esperienze e la realizzazione di buone pratiche. Il Libro verde propone i "Piani di Trasporto Urbano Sostenibile", PUTS, come strumento per pianificare le strategie di sviluppo e di azione, per promuovere una migliore qualità dell'offerta di trasporto pubblico e trovare alternative all'auto qualitativamente efficienti. Una giusta allocazione delle risorse offre, sul piano europeo, la possibilità di accedere ai diversi fondi stanziati per la riqualificazione dei piani del sistema di trasporto urbano.

Non tutti i provvedimenti adottati, in Italia, si muovono in questa direzione. Ad esempio la Legge Finanziaria 2008 definendo i nuovi criteri per la stabilizzazione dei finanziamenti per il TPL, adotta disposizioni che prevedono la soppressione dei trasferimenti statali e la compartecipazione delle regioni al gettito dell'accisa sul gasolio per autotrazione. Il fondo è finalizzato all'acquisto di veicoli a minor impatto ambientale e interventi infrastrutturali. La ripartizione è effettuata su criteri meritocratici, una premialità legata al miglioramento della qualità dei servizi offerti, alla mobilità pubblica e alla tutela dell'ambiente. La Legge può essere letta, come un primo passo per incoraggiare le aziende di trasporto locale, verso nuovi investimenti. Questo ragionamento può valere sul breve periodo, se, invece si proietta sul lungo periodo si potrebbe cadere in un evidente paradosso. La figura 4 schematizza le conseguenze del circolo vizioso.

Fig. 4 - Il paradosso del circolo vizioso



Nel lungo periodo, infatti, l'offerta di una migliore qualità del servizio pubblico a minor impatto ambientale, può determinare un aumento della domanda di mobilità, una diminuzione degli spostamenti con il mezzo privato, quindi, un calo dei consumi di carburante. Ma le risorse regionali per il TPL sono erogate in funzione del gettito dell'accisa sul gasolio per autotrazione, quindi la conseguenza logica porta a una minor entrata per investimenti dedicati al trasporto pubblico. Alcuni degli effetti potrebbero essere una minor offerta di servizi, un deterioramento delle infrastrutture e un invecchiamento del parco veicolare con ripercussioni anche sull'ambiente. La diminuzione dei fondi provoca delle ricadute sulla qualità del servizio con conseguenze negative anche sulle aspettative degli utenti che preferiranno tornare all'uso del mezzo privato. E il ciclo continua.

Sempre in Italia, sul versante della qualità dell'aria, in alcune città si sta sperimentando una sorta di imposta Pigouviana, cercando di trasferire i costi sociali imputandoli a coloro che li generano, con una tassa a carico del soggetto che più produce esternalità negative. Alcuni esempi sono le

normative come l'Ecopass a Milano, un provvedimento che offre la possibilità di accesso a pagamento, a una determinata zona, anche per i veicoli euro 0, 1 e 2; oppure il pedaggio per consentire ai mezzi pesanti di attraversare le aree urbane. Un limite, di questo tipo di imposta, deriva dall'esatta conoscenza che lo Stato dovrebbe avere del valore imputabile al costo esterno, al fine di poter applicare un prelievo in grado di estinguere interamente i costi delle esternalità negative.

I gravi danni arrecati all'ambiente e alla salute umana, costituiscono elementi che sfuggono a qualsiasi "regola indiscutibile" di misurazione. Indubbiamente cercare di stimare, in termini monetari, i costi sociali determinati dall'inquinamento, non è cosa semplice. Le difficoltà sono legate alla non facile reperibilità di dati ufficiali, cioè qualitativamente validi da un punto di vista statistico ed economico. Ad esempio, i costi sanitari per malati di tumore distinti per tipo di patologia, o degli asmatici, o delle malattie cardiovascolari; i costi legati all'inquinamento acustico, dallo stress del sistema nervoso alla manutenzione degli edifici; i costi dei danni ambientali, si pensi alle piogge acide e le falde acquifere, ai raccolti agroalimentari, all'effetto serra; i costi stessi della congestione dove gli effetti nocivi delle emissioni dipendono da fattori che interagiscono in determinate condizioni meteorologiche, di conseguenza valutazioni del tipo: in quel punto, a quell'ora, in quel giorno, per tutti i luoghi interessati dal traffico, non è certo cosa semplice.

Sicuramente più percorribile è la strada delle valutazioni in termini di efficacia dei risultati ottenuti attraverso provvedimenti amministrativi. È lapalissiano affermare che una città senza auto produce sicuramente meno inquinamento di un centro abitato congestionato dal traffico. Gli scenari proposti in questa ricerca mostrano risultati importanti riguardo la possibilità di abbattimento delle emissioni inquinanti, ma richiedono misure legislative efficaci. Proporre ai cittadini un cambio modale verso il mezzo pubblico presuppone che il servizio sia accessibile, confortevole, rapido, insomma che sia dotato di tutte quelle prerogative tipiche di un'offerta efficiente.

Per migliorare la qualità dei servizi di trasporto pubblico bisogna influire su più aspetti della vita urbana. L'interazione di politiche sociali e di pratiche comportamentali ha dimostrato, a livello europeo, che è possibile trovare soluzioni per una mobilità più sostenibile.

Eliminare le cause di intralcio alla viabilità può essere un primo passo, soprattutto nelle città dove è scarsa la disponibilità di corsie preferenziali. La certezza della pena è sicuramente un deterrente per far diminuire comportamenti scorretti, basterebbe quindi aumentare i controlli dei vigili urbani. Si potrebbe obiettare che le risorse del corpo di polizia municipale non sono sufficienti per coprire tutto il territorio e una multa l'anno è un rischio accettabile per chi è abituato a "non cercare un parcheggio". La soluzione suggerita dall'esperienza della Svizzera è legare l'importo della multa, al reddito dichiarato, ossia una sanzione percentuale. Se l'eventualità di incorrere in un'infrazione è valutata, in termini di quantità-prezzo, come un rischio accettabile, allora si può ritenere che una contravvenzione legata alla capacità contributiva, oltre a svolgere la sua funzione di equità sociale, rappresenti un forte elemento dissuasivo per scoraggiare le cattive abitudini.

Dall'analisi descrittiva dei dati dell'Osservatorio Audimob risulta che in media ogni giorno 5 milioni e mezzo di italiani utilizzano l'automobile per spostamenti entro i 2 km, in Inghilterra e Olanda stanno studiando un'imposta per decongestionare il traffico urbano, l'idea è di utilizzare il satellite per registrare tutti gli spostamenti e calcolare i chilometri percorsi in auto, la tassazione avverrebbe sulla base delle distanze coperte. Un'imposta calcolata in base al numero dei chilometri percorsi con l'auto sembra un ottimo suggerimento per disincentivare l'uso del mezzo privato, anche se le rilevazioni satellitari presuppongono un investimento alquanto oneroso. Lo stesso obiettivo potrebbe essere raggiunto con una semplice autocertificazione, ad esempio registrare, al momento del pagamento del bollo, i chilometri percorsi nell'anno. Eventuali verifiche incrociate potrebbero essere eseguite, rilevando la numerazione raggiunta dal contachilometri, in occasione dei controlli annuali per i gas di scarico o delle revisioni degli autoveicoli.

Talvolta le soluzioni che possono sembrare molto semplici, quasi banali, e comunque alla portata di tutti, si scontrano con il "volere comune", e le amministrazioni locali tendenzialmente depongono a favore di misure meno impopolari. È pur vero che il pensiero collettivo può essere stimolato al cambiamento, si pensi alle prime ZTL, sembrava un insuccesso annunciato, mentre a distanza di anni sono gli stessi cittadini a richiedere un allargamento dei confini delle aree limitate al traffico.

Nell'ambito delle domande saltuarie dell'Osservatorio Audimob, nel 2009, è stata lanciata una provocazione e al campione di intervistati è stato chiesto: *“Se, per favorire il trasporto pubblico, venisse proposto un referendum per vietare l'utilizzo dell'automobile durante le ore di punta, (es. dalle 8.00 alle 10.00 e dalle 17.00 alle 19.00), Lei sarebbe favorevole o contraria a questo divieto?”* (Fermata Audimob n. 10)

Chiudere al traffico l'intera area urbana nelle ore di punta, vietando la circolazione dei mezzi privati dalle 8.00 alle 10.00 e dalle 17.00 alle 19.00, con l'obiettivo di favorire l'uso del trasporto pubblico, può sembrare una limitazione un po' troppo audace. In realtà, l'indagine Audimob, mostra come questa misura potrebbe ottenere un discreto successo. I favorevoli al divieto (59% degli intervistati), superano virtualmente il quorum richiesto per il referendum e i contrari si adatterebbero alla misura o perché non hanno alternative, o perché ritengono che il trasporto pubblico senza auto in circolazione diverrebbe più efficiente.

Proseguendo sul cammino delle limitazioni, si potrebbe intervenire sul versante del trasporto merci e della logistica, vietando la distribuzione nelle ore di punta o prendendo a modello la lodevole iniziativa padovana del “Cityporto”. La città veneta si è dotata di un interporto adibito al deposito delle merci e il loro trasporto nel centro storico avviene esclusivamente su mezzi alimentati a metano, ottenendo un ottimo risultato sia in termini di abbattimento delle emissioni sia sul versante della riduzione dell'incidentalità stradale.

Molti altri esempi potrebbero essere suggeriti ai decisori locali: dalle campagne informative, allo sviluppo di sistemi di TPL a tariffazione integrata; dalle aree destinate alla sosta di scambio, al rinnovamento dell'urbanistica stradale; dalle corsie preferenziali, alle piste ciclabili; dalle pianificazioni territoriali, alla gestione partecipata; e così via. Nel mondo della mobilità sostenibile, non mancano di certo le soluzioni per un sistema di trasporti più efficiente ed efficace. Esperienze che gli attori locali possono riprodurre calibrando, di volta in volta, i diversi tipi di intervento tenendo conto delle esigenze e delle diverse dimensioni territoriali del contesto urbano in cui agiscono.

Ritornando sul piano internazionale, il tema dell'inquinamento atmosferico è affrontato con la predisposizione di dispositivi che consentono di procurarsi “crediti di emissione”. Infatti, sia il protocollo di Kyoto che le direttive della Comunità Europea sembrano muoversi in

questa direzione. Si parla di “*Clean Development Mechanism*”, quando un paese industrializzato realizza un progetto per il progresso economico-ambientale in un paese in via di sviluppo, rispettando i criteri di riduzione dei gas-serra, in questo caso, può appropriarsi dei crediti di emissione generati dal progetto stesso. Un altro meccanismo, denominato “*Joint Implementation*”, consente di sviluppare un progetto per la riduzione degli agenti inquinanti in un altro paese industrializzato e di usufruire, congiuntamente al paese ospitante, dei crediti ricavati. Un terzo procedimento, “*Emissions Trading*”, autorizza lo scambio tra paesi industrializzati, una sorta di vendita dei crediti, dove il paese più virtuoso cede i suoi crediti al paese che non è riuscito a rispettare i parametri stabiliti per la riduzione delle emissioni.

Le recenti procedure di infrazione aperte dalla Comunità Europea, per il superamento dei limiti delle emissioni e i dispositivi che consentono di procurarsi “crediti di emissione”, impongono tempi rapidi per rispondere alla domanda, se sia più vantaggioso continuare a “acquistare il diritto a inquinare” oppure sia più utile definire dove, come e quando lo Stato dovrà intervenire per ripristinare condizioni più ecosostenibili.

Per una migliore qualità della vita in un ambiente urbano più sostenibile e per non diventare potenziali acquirenti nel mercato dei “*crediti inquinanti*”, bisognerà intervenire nella consapevolezza che risultati di qualità si potranno conseguire solo attraverso politiche integrate che investono trasversalmente i trasporti, la salute e l’ambiente.

Si potrebbe concludere con il premio Nobel per l’economia, Amartya Sen, che in un recente intervento sull’attuale crisi mondiale ha affermato: *"Oggi siamo di fronte a due grandi problemi: la crisi economica di straordinaria intensità e il problema di lungo termine del degrado ambientale, con il riscaldamento globale e l'inquinamento crescente. Noi dobbiamo affrontare insieme i due problemi, essi sono correlati anche in termini economici, ad esempio gli investimenti nella sostenibilità e sicurezza dell'ambiente possono anche aiutare a stimolare l'economia. Ma essi hanno connessioni ancor più profonde, in relazione alle loro richieste sui comportamenti umani, sulle scelte politiche e sulle consuetudini commerciali. Abbiamo bisogno della virtuosità degli uomini, per scelte politiche intelligenti e pragmatiche, ma abbiamo anche bisogno, essenzialmente, di una visione più consapevole e umana della natura del vivere sociale responsabile"*.

## Appendice metodologica

### Metodologia utilizzata per la stima delle emissioni (vedi par. X.2.2.)

#### Emissioni del parco auto

$$F1) \quad {}_{a,r} E_j^{MED-U} = \frac{\sum_{i,s} V_{i,s}^{a,r} E_{i,s,j}^U}{\sum_{i,s} V_{i,s}^{a,r}}$$

$$F2) \quad {}_{a,r} E_j^{MED-EXU} = \frac{\sum_{i,s} V_{i,s}^{a,r} E_{i,s,j}^{EXU}}{\sum_{i,s} V_{i,s}^{a,r}}$$

V	= numero di veicoli	
E	= quantità di emissioni per veicolo al chilometro (g/km)	
MED_U	= medie in ambito urbano	
MED_EXU	= medie in ambito extraurbano	
a	= anno di riferimento	(a = 2002, ..., 2007)
r	= regione	(r = 1, ..., 20)
j	= elemento inquinante	(j = 1, ..., 7)
i	= tipo di alimentazione e cilindrata	(i = 1, ..., 9)
s	= riferimento normativo	(s = 1, ..., 10)

$$F3) \quad {}_{a,r} E_{k,t}^{TOT} = \sum_{k,t} \left( {}^{MED-U} E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \right) + \left( {}^{MED-EXU} E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \right)$$

$$F4) \quad {}_{a,r} E_{j,t}^{TOT} = \sum_{j,t} \left( {}^{MED-U} E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r} \right) + \left( {}^{MED-EXU} E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r} \right)$$

$$F5) \quad {}_{a,r} E_{l,t}^{TOT} = \sum_{l,t} \left( {}^{MED-U} E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r} \right) + \left( {}^{MED-EXU} E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r} \right)$$

${}_{a,r} E^{TOT}$	= quantità di emissioni totali, giorno medio feriale, per anno e regione (g/km)	
MED_U	= medie in ambito urbano	
MED_EXU	= medie in ambito extraurbano	
Km	= chilometri percorsi	
Vel	= stima del livello di congestione (Kmh)	
Prest	= stima del livello di prestazione del motore (Kmh)	
a	= anno di riferimento	(a = 2002, ..., 2007)
r	= regione	(r = 1, ..., 20)
k	= emissioni	
j	= emissioni influenzate dalla congestione	
l	= emissioni influenzate dal tipo di prestazione del motore	
t	= mezzo utilizzato e tipo di spostamento (t = 1, ..., 9)	

I

**Emissioni del parco autobus e pullman**

$$F6) \quad {}_{a,r} E_j^{MED-U} = \frac{\sum_s V_s^{a,r} E_{s,j}^U}{\sum_s V_s^{a,r}}$$

$$F7) \quad {}_{a,r} E_j^{MED-EXU} = \frac{\sum_s V_s^{a,r} E_{s,j}^{EXU}}{\sum_s V_s^{a,r}}$$

- V = numero di veicoli  
 E = quantità di emissioni per veicolo al chilometro (g/Km)  
 MED\_U = medie in ambito urbano  
 MED\_EXU = medie in ambito extraurbano  
 a = anno di riferimento (a = 2002, ..., 2007)  
 r = regione (r = 1, ..., 20)  
 j = elemento inquinante (j = 1, ..., 7)  
 s = riferimento normativo (s = 1, ..., 10)

$$F8) \quad {}_{a,r} E_{k,t}^{TOT} = \sum_{k,t} \frac{\left[ ({}^{MED-U} E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r}) + ({}^{MED-EXU} E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r}) \right]}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

$$F9) \quad {}_{a,r} E_{j,t}^{TOT} = \sum_{j,t} \frac{\left[ ({}^{MED-U} E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r}) + ({}^{MED-EXU} E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r}) \right]}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

$$F10) \quad {}_{a,r} E_{l,t}^{TOT} = \sum_{l,t} \frac{\left[ ({}^{MED-U} E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r}) + ({}^{MED-EXU} E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r}) \right]}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

- $\sum_{a,r} E^{TOT}$  = quantità di emissioni totali, in un giorno medio feriale, per anno e regione (g/km)  
 MED\_U = medie in ambito urbano  
 MED\_EXU = medie in ambito extraurbano  
 Km = chilometri percorsi  
 Vel = stima del livello di congestione (Kmh)  
 Prest = stima del livello di prestazione del motore (Kmh)  
 a = anno di riferimento (a = 2002, ..., 2007)  
 r = regione (r = 1, ..., 20)  
 k = emissioni  
 j = emissioni influenzate dalla congestione  
 l = emissioni influenzate dal tipo di prestazione del motore  
 t = mezzo utilizzato e tipo di spostamento (t = 1, ..., 9)  
 postiPESO = passeggeri\_km\_automob/autobus\_km\_cnit

**Metodologia di calcolo della prima ipotesi di cambiamento modale (vedi par. X. 4.1.)**

**IPOTESI 1.1**

$$I_{1.1.1} \ 1) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{k,t} \text{ IPOTESI}_{1.1} = \sum_{k,t} \frac{(MED - U E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r})}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

$$I_{1.1.1} \ 2) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{j,t} \text{ IPOTESI}_{1.1} = \sum_{j,t} \frac{(MED - U E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r})}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

$$I_{1.1.1} \ 3) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{l,t} \text{ IPOTESI}_{1.1} = \sum_{l,t} \frac{(MED - U E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r})}{posti \ peso_t^{a,r}}$$

$E_{a,r} \text{ - MIX}_{t} \text{ IPOTESI}_{1.1}$  = quantità di emissioni totali, in un giorno medio feriale, per anno e regione (g/km)

Km = chilometri percorsi

Vel = stima del livello di congestione (Kmh)

Prest = stima del livello di prestazione del motore (Kmh)

a = anno di riferimento (a = 2002, ..., 2007)

r = regione (r = 1, ..., 20)

k = emissioni

j = emissioni influenzate dalla congestione

l = emissioni influenzate dal tipo di prestazione del motore

t = mezzo utilizzato e tipo di spostamento (t = 1, ..., 9)

posti peso = passeggeri\_km<sub>autimob</sub>/autobus\_km<sub>aut</sub>

**IPOTESI 1.2**

$$I_{1.2.1} \ 1) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{k,t} \text{ IPOTESI}_{1.2} = \sum_{k,t} \frac{(MED - U E_{k,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r})}{posti_{1.2} \ peso_t^{a,r}}$$

$$I_{1.2.1} \ 2) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{j,t} \text{ IPOTESI}_{1.2} = \sum_{j,t} \frac{(MED - U E_{j,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Vel_t^{a,r})}{posti_{1.2} \ peso_t^{a,r}}$$

$$I_{1.2.1} \ 3) \ E_{a,r} \text{ - MIX}_{l,t} \text{ IPOTESI}_{1.2} = \sum_{l,t} \frac{(MED - U E_{l,t}^{a,r} \times Km_t^{a,r} \times Prest_t^{a,r})}{posti_{1.2} \ peso_t^{a,r}}$$

$E_{a,r} \text{ - MIX}_{t} \text{ IPOTESI}_{1.2}$  = quantità di emissioni totali, in un giorno medio feriale, per anno e regione (g/km)

Km = chilometri percorsi

Vel = stima del livello di congestione (Kmh)

Prest = stima del livello di prestazione del motore (Kmh)

a = anno di riferimento (a = 2002, ..., 2007)

r = regione (r = 1, ..., 20)

k = emissioni

j = emissioni influenzate dalla congestione

l = emissioni influenzate dal tipo di prestazione del motore

t = mezzo utilizzato e tipo di spostamento (t = 1, ..., 9)

posti<sub>1.2</sub> peso = passeggeri\_km<sub>autimob</sub>/autobus\_km<sub>aut</sub>



Tab.A: Emissioni totali, in un giorno medio feriale, per anno e agente inquinante nelle diverse ipotesi oggetto dello studio. (Valori in Mg)

Tipologia di inquinante	2002	2003	2004	2005	2006	2007
No <sub>x</sub>	868,0	846,3	672,6	635,5	609,8	565,4
No <sub>x</sub> MIX	829,4	786,0	648,3	639,3	654,3	577,7
No <sub>x</sub> MIX1	759,9	721,7	616,4	569,1	562,5	482,1
No <sub>x</sub> TEMPO	818,8	764,3	618,7	631,4	688,7	576,2
No <sub>x</sub> TEMPO1	706,7	671,1	544,5	520,4	501,8	446,3
NM VOC	1.115,2	1.075,1	814,7	373,2	263,4	250,4
NM VOC MIX	918,0	886,7	721,9	318,0	238,9	207,9
NM VOC MIX1	910,8	879,8	718,6	310,6	229,2	196,8
NM VOC TEMPO	831,9	778,7	593,3	261,6	188,2	168,1
NM VOC TEMPO1	820,4	768,7	585,6	250,0	168,5	153,0
CO	8.620,6	8.607,5	7.306,6	3.709,9	2.572,0	2.535,8
CO MIX	7.085,5	7.088,1	6.493,6	3.082,5	2.235,1	1.978,7
CO MIX1	7.057,1	7.062,0	6.480,0	3.054,1	2.198,4	1.943,8
CO TEMPO	6.171,9	6.030,3	5.204,8	2.343,3	1.565,5	1.459,0
CO TEMPO1	6.119,8	5.989,8	5.170,3	2.294,5	1.488,1	1.409,9
PM	77,1	71,0	53,4	54,0	50,0	49,7
PM MIX	68,7	62,6	49,8	50,2	49,4	45,2
PM MIX1	65,4	59,5	48,2	46,8	45,0	40,6
PM TEMPO	65,2	58,3	44,8	46,3	47,2	42,5
PM TEMPO1	59,8	53,8	41,2	40,9	38,1	36,2
CO <sub>2</sub>	239.602,5	245.438,4	221.937,2	204.315,9	198.838,6	207.192,2
CO <sub>2</sub> MIX	206.506,9	210.256,1	202.174,6	179.341,1	183.159,7	177.024,1
CO <sub>2</sub> MIX1	200.598,5	204.163,6	199.198,3	172.842,0	174.711,6	165.545,1
CO <sub>2</sub> TEMPO	188.790,3	188.479,0	172.402,4	156.272,6	160.578,8	160.367,4
CO <sub>2</sub> TEMPO1	178.049,0	178.916,2	164.911,3	145.133,6	142.701,8	144.358,2
N <sub>2</sub> O	23,0	23,1	18,6	26,2	29,3	31,4
N <sub>2</sub> O MIX	19,1	19,2	16,5	22,3	26,2	25,6
N <sub>2</sub> O MIX1	18,9	19,0	16,4	22,1	26,0	25,2
N <sub>2</sub> O TEMPO	18,2	17,7	14,2	20,3	22,8	23,8
N <sub>2</sub> O TEMPO1	18,0	17,5	14,1	20,0	22,3	23,4
Nh <sub>3</sub>	35,3	38,5	35,9	54,8	72,3	77,1
Nh <sub>3</sub> MIX	28,7	31,3	31,9	45,8	63,3	60,6
Nh <sub>3</sub> MIX1	28,7	31,3	31,9	45,8	63,3	60,6
Nh <sub>3</sub> TEMPO	27,6	29,2	27,7	42,9	57,0	58,7
Nh <sub>3</sub> TEMPO1	27,6	29,2	27,7	42,9	57,0	58,7

Legenda delle variabili: MIX → ipotesi 1.1; MIX1 → ipotesi 1.2; TEMPO → ipotesi 2.1; TEMPO1 → ipotesi 2.2;

Tab.B: Emissioni regionali di CO2 nelle diverse ipotesi (Valori in Mg) (Fig. 2)

	<b>Situazione attuale</b>	<b>Ipotesi 1.2</b>	<b>Ipotesi 2.2</b>
Piemonte	15.085	11.716	10.464
Valle d'Aosta	466	392	331
Lombardia	31.283	25.200	22.525
Trentino	3.149	2.611	2.293
Veneto	16.831	13.181	11.408
Friuli Venezia Giulia	4.789	3.884	3.172
Liguria	5.918	5.072	4.842
Emilia Romagna	14.234	11.501	9.253
Toscana	13.351	11.050	8.947
Umbria	4.172	3.520	2.561
Marche	5.564	4.529	3.201
Lazio	23.072	17.851	18.442
Abruzzo	5.255	4.442	3.491
Molise	1.355	1.155	1.017
Campania	17.171	13.748	12.477
Puglia	14.232	11.101	9.489
Basilicata	2.294	1.847	1.453
Calabria	7.034	5.554	4.387
Sicilia	16.226	12.684	10.951
Sardegna	5.713	4.506	3.654

Fonte: Elaborazioni su dati Audimob, Anno 2007

Tab.C: Emissioni regionali di PM nelle diverse ipotesi (Valori in Mg) (Fig. 3)

	<b>Situazione attuale</b>	<b>Ipotesi 1.2</b>	<b>Ipotesi 2.2</b>
Piemonte	3,5	2,8	2,5
Valle d'Aosta	0,1	0,1	0,1
Lombardia	7,0	5,7	5,2
Trentino	0,7	0,6	0,6
Veneto	4,0	3,2	2,8
Friuli Venezia Giulia	1,1	0,9	0,8
Liguria	1,3	1,1	1,1
Emilia Romagna	3,2	2,7	2,3
Toscana	3,0	2,6	2,1
Umbria	1,1	0,9	0,7
Marche	1,4	1,1	0,9
Lazio	5,0	4,0	4,1
Abruzzo	1,4	1,2	1,0
Molise	0,4	0,3	0,3
Campania	4,7	3,9	3,6
Puglia	3,7	2,9	2,6
Basilicata	0,7	0,6	0,5
Calabria	2,0	1,6	1,3
Sicilia	4,1	3,3	3,0
Sardegna	1,4	1,2	1,0

Fonte: Elaborazioni su dati Audimob, Anno 2007

## Bibliografia

- Amartya K. Sen, (1982), "Scelta, benessere, equità," *Il Mulino, Bologna*.
- Amartya K. Sen, (1987), *Etica ed economia, Laterza*.
- APAT, (2007, 2008), "Qualità dell'ambiente urbano".
- Nick Cavill, Sonja Kahlmeier, Harry Rutter, Francesca Racioppi, Pekka Oja, (2007), "Methodological guidance on the economic appraisal of health effects related to walking and cycling", *WHO Regional Office for Europe*.
- Nicky Chambers, Craig Simmons, Mathis Wackernagel, (2002), "Manuale delle Impronte Ecologiche principi, applicazioni, esempi", *Edizioni Ambiente, Milano*.
- Commissione Europea, (2007), "Libro Verde. Verso una nuova cultura delle mobilità urbana".
- Commissione Europea, (2009), "Europeans' attitudes towards climate change".
- Commissione Europea, (2009), "Libro verde - TEN-T: riesame della politica - Verso una migliore integrazione della rete transeuropea di trasporto al servizio della politica comune dei trasporti".
- Mario Contaldi, Roberta Pignatelli, (2005), "La mobilità in Italia: indicatori su trasporti e ambiente", *APAT*.
- EEA, European Environment Agency, (2000), "Are we moving in the right direction? Indicators on transport and environment integration in the EU", *TERM 2000*.
- EEA, European Environment Agency, (2008), "Annual European Community LRTAP Convention emission inventory report 1990-2006".
- EEA, European Environment Agency, (2008), "Beyond transport policy – exploring and managing the external drivers of transport demand".
- EEA, "European Environment Agency, (2008), Success stories within the road transport sector on reducing greenhouse gas emission and producing ancillary benefits".
- EEA, European Environment Agency, (2009), "Transport at a crossroads. TERM 2008: indicators tracking transport and environment in the European Union".
- Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., (2006), "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, National Greenhouse Gas Inventories Programme", *IGES, Japan*.
- Stefan Giljum, Mark Hammer, Andrea Stocker, Maria Lackner, (Sustainable Europe Research Institute, SERI, Wien), Aaron Best, Daniel Blobel, Wesley Ingwersen, Sandra Naumann, Alexander Neubauer, (Ecologic, Berlin); Craig Simmons, Kevin Lewis, Stanislav Shmelev, (Best Foot Forward, BFF, Oxford), (2007), "Scientific assessment and evaluation of the indicator Ecological Footprint", *Federal Environment Agency*.
- Susan Grant-Muller and James Laird, (2007), "International Literature Review of the Costs of Road Traffic Congestion", *Scottish Executive*.
- INFRAS, IWW, (2004), "External costs of transport IWW", *Universitaet Karlsruhe, Zurich*.
- ISPRA, "Inventario nazionale delle emissioni in atmosfera Serie Storiche dal 1980 al 2007 delle emissioni dei principali inquinanti in Italia organizzati per settore".
- ISPRA, "La banca dati dei fattori di emissione medi per il parco circolante in Italia".
- ISTAT, (Anni vari), "Statistiche ambientali", *C.S.R, Roma*.

- Francesca Mameli, Gerardo Marletto, (2009), "A participative procedure to select indicators of sustainable urban mobility policies", *CUEC, Cagliari*.
- Gerardo Marletto, (2005), *Economia delle fonti di energia e dell'ambiente. "La riduzione dei danni ambientali generati dai trasporti: spunti per un approccio non ortodosso"*, *FrancoAngeli, Milano*.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, (Anni vari), "Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti", *Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma*.
- Sir Nicholas Stern et al.,(2006), "Stern Review on the Economics of Climate Change", *UK Office of Climate Change*.
- Luca Trepiedi, Patrizia Malgieri, Paola De Pirro, (2006), "Mobilità Urbana – Rassegna delle esperienze italiane ed europee", *Quaderni di RT, TRT, Ricerca e Trasporti, Milano*.
- Thomas von Stokar, Myriam Steinemann, Bettina Rüeegg, (2006), "Ecological Footprint of Switzerland", *INFRAS*.
- Mathis Wackernagel e William E. Rees, (2000), "L'impronta ecologica. Come ridurre l'impatto dell'uomo sulla terra", *Edizioni Ambiente, Milano*.
- WHO, (2006), "Progetto Hearts".
- WHO, UNECE, (2008), "The Pan-European Programme on Transport, Health and Environment: Assessment and Progress made".
- WHO, UNECE, (2008), "Transport, Health and Environment: Trends and Developments in the UNECE-WHO European Region (1997-2007)".
- WHO, UNECE, (2008), "Working together for Sustainable and Healthy Transport: Guidance on Supportive Institutional Conditions for Policy Integration of Transport, Health and Environment".