

## **“Analisi economica dell'inquinamento atmosferico urbano: una valutazione empirica degli strumenti di politica ambientale”**

---

### **SINTESI del LAVORO di RICERCA**

**Background e motivazione:** L'inquinamento atmosferico urbano dovuto al traffico (in inglese *traffic-related air pollution*, acronimo TRAP) rappresenta un diffuso problema di primaria importanza a causa delle sue conseguenze dannose sulla salute umana e la qualità della vita, sull'ambiente e le infrastrutture, e sul clima – a maggior ragione se si considerano gli attuali trend di sviluppo urbano e di mobilità. A titolo esemplificativo (e facendo riferimento al fenomeno dell'inquinamento dell'aria in senso globale), in un'Europa dove secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (AEA) buona parte della popolazione (soprattutto urbana) continua ad essere esposta a livelli pericolosi di agenti inquinanti, l'inquinamento dell'aria costituisce la causa numero uno di morti premature derivanti da fattori ambientali. Ciò aiuta a comprendere perché i sondaggi d'opinione continuino a rilevare come la maggioranza dell'opinione pubblica europea sia chiaramente preoccupata da questo problema e chiedi misure aggiuntive per il suo contrasto, motivate dalla comune percezione di un aggravamento (anziché di un miglioramento) della qualità dell'aria.

Il continente europeo (e non solo) è caratterizzato da una lunga storia di alterazione degli equilibri atmosferici dovuta all'eccessiva presenza di sostanze (siano esse solide, liquide o gassose) derivanti da molteplici fonti prevalentemente antropogeniche (ma anche, in minima parte, biogeniche) e potenzialmente nocive per l'uomo e gli ecosistemi – una storia iniziata addirittura con la scoperta del fuoco. Tra le diverse fonti antropogeniche possibili, le attività di trasporto hanno cominciato ad emergere nella fase più avanzata dell'Età Industriale con l'avvento dei veicoli motorizzati ed il rapido diffondersi dell'automobile come mezzo di trasporto, provocando un cambiamento nel mix di inquinanti fino ad allora prevalente e sostituendo le sorgenti di tipo industriale quali fonti primarie di inquinanti nelle città.

Attualmente il trasporto (e, nei contesti urbani, soprattutto il traffico su strada) rappresenta uno dei principali responsabili della produzione di emissioni di ossidi di azoto, particolato, ozono a livello del suolo, ossidi di zolfo, monossido di carbonio, piombo e benzene (prevalentemente per mezzo dei motori a combustione interna e dei carburanti convenzionali). Nonostante le documentate e rilevanti diminuzioni nei livelli di emissioni di taluni inquinanti negli ultimi decenni, in Europa non si è ancora raggiunta la qualità dell'aria come prevista dalla legislazione vigente (ed ancor meno quella stabilita secondo i più rigidi standard dell'Organizzazione Mondiale della Sanità), né quella evidentemente desiderata dai cittadini. Per quanto concerne il trasporto, ciò è (almeno parzialmente) spiegato dal fatto che i progressi certamente compiuti in termini di miglioramenti tecnologici verso una maggiore efficienza energetica ed un minore impatto ambientale dei veicoli sono stati pienamente controbilanciati da una crescita dei flussi di viaggio, del numero di veicoli in circolazione e dei chilometri percorsi.

Gli attuali orientamenti in termini di strategie di *policy*, in effetti, oltre al costante stimolare una prosecuzione nella ricerca di forme alternative di energie per alimentare i motori e nello sviluppo di carburanti “più verdi”, lasciano spazio anche a iniziative a supporto della riduzione dei volumi di traffico, dell'aumento dei tassi di occupazione dei veicoli per singolo viaggio, del sistema di trasporto pubblico quale alternativa al mezzo privato, della mobilità condivisa e del passaggio a modalità di trasporto a più basse emissioni quali la bicicletta.

Nello specifico, la Pianura Padana appare ad oggi come un'area particolarmente critica a livello europeo in termini di condizioni atmosferiche deteriorate, con le più alte concentrazioni di particolato e, nei grandi centri urbani, di biossido di azoto (ciò a causa dei tassi di emissione di inquinanti in atmosfera stabilmente elevati – legati alla presenza di diversi grandi agglomerati urbani, importanti distretti industriali ed intensa attività agricola e di allevamento – unitamente alle specifiche condizioni climatico-geografiche che ostacolano la dispersione degli agenti inquinanti) e costituisce per questo motivo il contesto d'elezione del presente lavoro – con primario riferimento ad un singolo centro urbano all'interno del bacino del Po: lo studio infatti prende in considerazione (alcune recenti) politiche pubbliche e dati longitudinali sull'inquinamento dell'aria relativi alla città di Milano.

Poiché il pieno raggiungimento di un'adeguata qualità dell'aria nelle zone urbane sembrerebbe richiedere, tra l'altro, soluzioni di *policy* innovative per rendere più sostenibile il modo in cui ci si muove in città – in particolare permettendo il realizzarsi di un generale cambiamento comportamentale, l'obiettivo di questa tesi è quello di fornire un contributo nell'approfondire la conoscenza dei meriti e/o limiti di (una selezione di) misure di politica ambientale legate alla mobilità attuate a livello locale. In concreto, la domanda di ricerca alla quale si tenta di rispondere è quale tipo di intervento di *policy* in questo ambito sia più efficace nel ridurre gli inquinanti (nello specifico contesto milanese). L'indagine condotta si inserisce quindi nella prospettiva empirica della valutazione delle politiche pubbliche, da un lato, e nella sfera dell'analisi economica delle politiche ambientali, dall'altro.

**Quadro teorico di riferimento:** L'indagine economica sul tema dell'inquinamento atmosferico (insieme ad altre questioni ambientali) ha inizio con lo sviluppo dell'economia ambientale quale settore disciplinare a sé stante, in cui i principi microeconomici di consumo e produzione ed i concetti provenienti dall'economia del benessere (*welfare economics*) sono applicati all'analisi di problemi ambientali – principalmente con lo scopo di quantificare il danno inflitto all'ambiente naturale quando utilizzato come luogo di smaltimento di rifiuti o sottoprodotti nocivi di attività economiche e di identificare gli strumenti e le modalità più efficienti per ridurlo o prevenirlo; fino ad allora, l'aria era tipicamente usata come emblema di un bene libero e totalmente gratuito, in quanto disponibile in quantità sufficienti a soddisfare i fabbisogni di ogni individuo, e perciò di scarso interesse per gli economisti.

Il problema dell'inquinamento dell'aria nel suo insieme è invece tuttora considerato meritevole di attenzione in quanto istanza di cosiddetto "fallimento di mercato" risultante dal fatto che nel mondo contemporaneo le libere e non-regolate interazioni tra individui razionali (che perseguono essenzialmente l'utilità personale) all'interno di mercati competitivi hanno portato ad un risultato sub-ottimale per la società nel suo complesso, cioè all'alterazione della composizione dell'aria in modo sostanziale e deleterio per l'uomo e gli ecosistemi. Più specificatamente, la trattazione dell'inquinamento atmosferico da traffico urbano si colloca all'intersezione tra l'economia ambientale ed altre due discipline – l'economia urbana e dei trasporti – in quanto questo fenomeno viene identificato come effetto collaterale negativo di tipo ambientale generato dal trasporto, cioè dal movimento di persone e merci nello spazio (che pure si è rivelato essenziale come propulsore per il progresso economico e sociale), nel peculiare contesto socioeconomico della città (caratterizzato dall'alta densità e concentrazione di attività ed interazioni tra cittadini e/o imprese qui localizzati).

In effetti, da un lato, l'inquinamento atmosferico è descritto nella letteratura economica come esternalità negativa, ovvero come possibile effetto negativo non compensato che gli agenti economici impongono l'uno sull'altro attraverso le loro decisioni quotidiane di consumo e/o produzione – queste diseconomie esterne risultano sovrapprodotte rispetto a quello che sarebbe il livello ottimale dal momento che in larga parte i costi imposti sulla società non sono "catturati" dai singoli nell'atto di prendere una decisione. Parallelamente, da un'altra prospettiva, una buona qualità dell'aria è spesso

considerata un bene pubblico in quanto possiede entrambe le caratteristiche della “non escludibilità” (non è possibile impedire a nessuno di consumarli o utilizzarli come input di produzione) e “non rivalità” (il consumo da parte di un individuo non preclude quello degli altri). Il fallimento risiede nel fatto che i beni pubblici che hanno un grande valore positivo per la società sono destinati ad essere scarsamente approvvigionati a causa del conflitto tra l’interesse collettivo ed il guadagno privato a breve termine, consistente nel “non-cooperare” (astenendosi quindi, in questo caso, dall’emettere sostanze inquinanti nell’aria) e comportarsi da *free-rider* (cioè attendere che sia qualcun altro ad affrontare i costi del fornire questo tipo di beni e raccoglierne comunque i benefici dovuti al fatto che, una volta forniti, l’accesso ad essi è garantito a tutti).

È evidente che questo tipo di situazioni offrono una giustificazione rilevante ed ampiamente condivisa per il coinvolgimento delle autorità politiche all’interno dell’arena di mercato e mostrino la necessità di trovare soluzioni regolatorie per provvedere alla produzione di beni pubblici e indurre l’internalizzazione degli effetti esterni negativi; il mezzo per attuare ciò sono le cosiddette politiche pubbliche (*public policies*), definibili come un insieme di decisioni interconnesse, compiute da un ampio insieme di *stakeholders* che include in posizione primaria le amministrazioni pubbliche a vari livelli, riguardanti la selezione degli obiettivi da raggiungere per risolvere quelli che sono percepiti come problemi di interesse generale e l’identificazione dei mezzi più adatti a farlo.

Sebbene la necessità di un qualche grado di intervento pubblico per raggiungere condizioni socialmente desiderabili non sia generalmente messa in discussione (e questo vale sicuramente nel caso dell’abbattimento delle emissioni inquinanti), residuale disaccordo persiste su quale sia effettivamente il modo migliore per raggiungere questi obiettivi – o andando in qualche modo ad integrare e correggere le preesistenti interazioni spontanee, oppure andando a sostituire del tutto i meccanismi decentrati di mercato. Quest’ultimo approccio di *policy* è tipico degli strumenti di politica ambientale tradizionali prevalenti fino ai tardi anni Novanta, mentre il primo è incarnato dai cosiddetti “nuovi strumenti di politica ambientale” (NEPIs, dall’inglese *new environmental policy instruments*) apparsi per la prima volta sulla scena alla fine degli anni Settanta ed in continua espansione.

Effettivamente ad oggi la “cassetta degli attrezzi” di *policy* a disposizione dei decisori politici è sempre più eterogenea: al fine di orientarsi i possibili strumenti sono solitamente classificati secondo una tipologia tripartita, basata sul grado di coinvolgimento dell’autorità di governo nel modificare il comportamento dei cittadini (e, di conseguenza, sul diverso livello di coercizione richiesto):

- (i) strumenti regolatori o di *command-and-control* (C&C), caratterizzati dal massimo coinvolgimento ed elevata coercizione (sotto forma di attività regolamentatrice diretta ed uniforme che proibisce, limita o richiede determinati comportamenti), e tendenti a sostituirsi alle dinamiche di mercato
- (ii) strumenti misti o basati sul mercato (*market-based instruments*, MBIs), contraddistinti da un coinvolgimento parziale e limitata coercizione; sono concepiti per “imitare” e sostenere i mercati creando schemi di (dis)incentivi attraverso, ad esempio, tasse e sussidi (generalmente più flessibili ed efficaci in termini di costi)
- (iii) categoria residuale di strumenti a carattere volontario, accomunati da un coinvolgimento minimo e coercizione assente che li rendono economici e facilmente accettabili dai cittadini (es. diffusione di informazioni, persuasione, *nudge*); sono volti a favorire determinati comportamenti spontanei

**Disegno di ricerca e metodi:** Il “cuore” della ricerca consiste in una valutazione d’impatto controfattuale (*counterfactual impact evaluation*, CIE) retrospettiva di una selezione di politiche pubbliche attuate nel contesto della città metropolitana di Milano – dapprima considerate singolarmente ed in seguito confrontate tra loro. La scelta di Milano è motivata dal fatto che, da un lato, nel 2020 la città è stata collocata nelle ultime posizioni (numero 303 su un totale di 323 entità urbane considerate) dell’indicatore di qualità dell’aria delle città europee dell’AEA e, dall’altro, dal fatto che la

città ha introdotto negli ultimi anni un mix diversificato di politiche pubbliche, permettendo quindi confronti interessanti tra le tipologie. L'unità di analisi sono le singole giornate comprese in tre "blocchi" in un periodo complessivo tra gennaio 2006 e maggio 2020.

La valutazione d'impatto controfattuale è una tecnica quantitativa tesa a valutare gli esiti (a lungo termine, piuttosto che le conseguenze immediate) di specifici interventi, ovvero a determinare in che misura gli obiettivi sottostanti un programma o una *policy* sono stati raggiunti; il quesito a cui concretamente tale approccio valutativo cerca di dare una risposta è se un intervento è stato efficace nell'affrontare il problema (sociale, economico o, in questo caso, ambientale) per il quale è stato originariamente implementato. Questa metodologia consente di stimare in modo rigoroso l'impatto (medio) di un intervento di *policy* (o "trattamento") su predefinite dimensioni d'interesse per la popolazione *target*, in quanto permette di verificare in maniera credibile la presenza di una robusta relazione causale univoca tra il trattamento, cioè la causa, e l'impatto finale riscontrato, cioè l'effetto – al netto del contributo di possibili fattori (diversi dall'intervento) che potenzialmente possono agire da *confounders*, che cioè, agendo simultaneamente alla *policy*, possono influenzare le dinamiche della variabile di risultato in questione. La capacità di quest'approccio di attribuire l'effetto ultimo esclusivamente all'impiego di *policies* è dovuta al far propria la logica controfattuale, tipica della ricerca di tipo sperimentale: l'impatto netto è misurato come differenza di "performance" registrata (dopo l'implementazione dell'intervento) tra un campione di unità d'analisi trattate ed un campione di unità non-trattate (il controfattuale); quest'ultimo, idealmente, dovrebbe essere composto dalle stesse identiche unità del campione trattato per garantire che l'unica differenza sia appunto la somministrazione dell'intervento – ciò è evidentemente impossibile. In contesti puramente sperimentali la somiglianza tra i due campioni da confrontare è data dall'assegnazione casuale delle unità ai due gruppi da parte del ricercatore; lo stesso non era possibile per l'analisi *ex post* qui condotta nella quale si è fatto ricorso a dati osservazionali (personalmente raccolti), piuttosto che generati per via sperimentale, ma in combinazione con aggiustamenti statistici per eliminare i possibili rischi per la validità dell'analisi.

Nello specifico, si è deciso di stimare l'impatto di tre diverse politiche pubbliche attuate localmente (le variabili di trattamento), due esempi di strumenti coercitivi che variano nella loro severità e un esempio di strumento *market-based*:

- (i) il meccanismo di divieti temporanei alla circolazione per specifiche categorie di veicoli che viene attivato nella stagione invernale al superamento di soglie predefinite di inquinamento atmosferico (cioè uno strumento *command-and-control* convenzionale)
- (ii) le misure di lockdown introdotte nel contrasto alla pandemia da Covid-19 (cioè un atipico e notevolmente più coercitivo strumento di C&C)
- (iii) lo schema di tariffazione stradale (o *road pricing*) chiamato "Ecopass"

Dall'altro lato, in qualità di cosiddette "variabili di risultato", registranti i livelli giornalieri di inquinamento atmosferico a Milano, sono stati selezionati cinque inquinanti tra quelli comunemente associati al fenomeno dell'inquinamento atmosferico da traffico, scelti in base alla scala geografica degli effetti nocivi (dannosi a livello locale): particolato (PM10) e particolato fine (PM2.5), biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), monossido di carbonio (CO) e benzene. Le informazioni sugli inquinanti sono state raccolte come misurazioni medie giornaliere provenienti da due stazioni fisse di rilevamento cittadine – "Pascal Città Studi" e "Senato".

Infine, le variabili di controllo – che descrivono quei fattori confondenti che possono differire sistematicamente tra i due gruppi di unità trattate e non, e che quindi bisogna tenere sotto controllo tramite accorgimenti statistici per non "falsare" i risultati – comprendono nel presente lavoro (i) le condizioni meteorologiche giornaliere (quali la velocità media del vento, la pioggia accumulata, la

temperatura e la pressione medie) ottenute dalle due stazioni di monitoraggio meteo più vicine alle già citate stazioni di rilevamento della qualità dell'aria – “Brera” e “Juvara”; (ii) le condizioni di riscaldamento domestico (alto o basso) come stabilito dalle normative e come registrato dalla probabile necessità di riscaldamento/raffreddamento determinata dal rapporto tra la temperatura esterna e quella interna agli edifici; (iii) variabili “di calendario” quali i weekend e le festività pubbliche intese a registrare cambiamenti sistematici nei flussi di traffico dovuti a queste ricorrenze.

Nel dettaglio, l'accorgimento statistico qui utilizzato per escludere spiegazioni alternative al nesso *policy-impatto* è la tecnica del cosiddetto *propensity score matching* attraverso cui ogni unità beneficiaria dell'intervento è abbinata al non-beneficiario più simile in termini di caratteristiche rilevanti osservate (variabili di controllo) riassunte tramite il *propensity score*, cioè un punteggio che, indica la probabilità di essere coinvolti dall'intervento di *policy*.

Riassumendo, di fatto l'operazione effettivamente eseguita è stata quella di misurare la differenza tra i livelli medi di una serie di inquinanti atmosferici nei giorni interessati da (una delle tre) *policies* e quelli nei giorni non coinvolti – dopo aver effettuato un “accoppiamento” delle giornate basato sul *propensity score*, una misura di sintesi delle variabili di controllo citate. Ciò ha permesso di bilanciare le caratteristiche dei due gruppi da confrontare, in modo che la differenza calcolabile nei valori di inquinamento tra i due campioni sia dovuta solo all'unica variazione rimanente tra i due: l'attuazione o meno della *policy*.

Quindi, facendo un ulteriore passo oltre la tradizionale stima dell'impatto singolo ed introducendo un elemento di novità rispetto alla letteratura esistente, in un'ottica *cross-policy* le risultanti stime d'effetto dei singoli strumenti sono state confrontate tra loro per comprendere quale tra i due tipi di politiche considerate (coercitivo o *market-based*) e quale caratteristica (maggiore o minore severità) sia più efficace nel ridurre gli inquinanti da traffico – prendendo uno strumento coercitivo standard (blocchi al traffico) come *baseline*.

**Risultati e discussione:** I risultati ottenuti suggeriscono che, nello specifico contesto milanese, solo alcune *policies* (ossia i blocchi temporanei al traffico ed il lockdown – le due iniziative di *policy* entrambe di stampo regolatorio ma differenti nel loro grado di rigidità coercitiva) sono efficaci e determinano quindi una riduzione degli inquinanti atmosferici: i livelli di inquinanti medi per le giornate “trattate” con uno di questi due tipi di *policy* sono infatti più bassi di quelli nel gruppo di controllo, ovvero le giornate non-trattate (indicativamente, la diminuzione osservata in termini assoluti è compresa tra  $-0.21 \mu\text{g}$  e  $-13.2 \mu\text{g}$  a seconda degli inquinanti nel caso dei blocchi del traffico, e tra  $-0.79 \mu\text{g}$  e  $-20.4 \mu\text{g}$  nel caso del lockdown). Al contrario, nel caso della misura di natura differente, basata sul mercato (Ecopass) i livelli di inquinanti per le giornate “trattate” con questo tipo di misura non sono mediamente più bassi di quelli nel gruppo delle giornate non coinvolte dalla *policy*, ed anzi sono più elevati (l'aumento va da  $+0.34 \mu\text{g}$  a  $+15.5 \mu\text{g}$  a seconda dell'inquinante considerato) – a dimostrazione che l'intervento non ha dato un risultato adeguato.

Dagli esiti dell'analisi emerge altresì che l'adozione di una politica coercitiva più rigida (lockdown) rispetto a uno strumento coercitivo di base (blocchi al traffico) si dimostra essere in assoluto la migliore e più incisiva strategia di *policy design* in quanto in grado di generare una più ampia riduzione dell'inquinamento dell'aria; mentre, come già evidenziato, l'opportunità di un passaggio verso una misura *market-based* è messa in discussione.

Studi di questo tipo possono fornire un input prezioso all'azione dei decisori politici a tutti i livelli, ma è evidente come le specificità del presente lavoro lo rendano potenzialmente utile soprattutto agli enti di governo locale nella loro attività di mitigazione dell'inquinamento dell'aria dovuto al traffico, così come nel più ampio campo della lotta contro il degrado ambientale.