

Il costo sociale della mobilità: un'applicazione al sistema locale di Bergamo

Pak Lam Lo, Gianmaria Martini, Davide Scotti e Sabrina Semperboni

Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate, Università degli Studi di Bergamo

gianmaria.martini@unibg.it

1. Introduzione

Nelle società moderne è sempre più diffusa l'importanza per un sviluppo sostenibile di un controllo ed abbattimento dell'inquinamento dell'aria (EC, 2009, 2013; Litman and Bruwell, 2006; WHO, 2011). La principale conferma viene da un importante accordo globale tra le nazioni, datato Dicembre 1997 e denominato Protocollo di Kyoto. Esso prevede l'obbligo di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti (biossido di carbonio ed altri cinque gas serra) in una misura non inferiore al 8% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 (considerato come anno base) nel periodo 2008-2013.

All'Italia (si veda EC, 2009), sono stati assegnati degli obiettivi in materia di inquinamento, che però non sono stati raggiunti, soprattutto a causa della poca eco-sostenibilità del sistema dei trasporti.¹ In particolare è sempre più evidente che il tema della mobilità delle persone e delle merci pone un trade-off tra il beneficio legato ad una mobilità efficiente ed accessibile a tutti e il costo sociale legato all'inquinamento ed alla congestione delle reti di trasporto, specialmente quella stradale.

L'obiettivo di questo lavoro è l'analisi dei fattori che determinano il livello di inquinamento atmosferico di un sistema economico locale, tenendo conto della sua mobilità e la stima delle riduzioni nei livelli di inquinamento connesse a variazioni minime nelle dimensioni dei fattori che incidono sulle concentrazioni di sostanze inquinanti.

¹ Si veda il *Bruntland report of World Commission on environment and development* (1987).

L'analisi viene applicata alla provincia di Bergamo nel 2011.

2. I determinanti dell'inquinamento considerati nell'indagine

Diversi fattori incidono sul livello di inquinamento dell'ambiente (Lyons et al., 2003; Martini et al., 2013; Wang et al., 2009). Tra questi i più importanti, su cui si basano anche alcune delle rilevazioni operate dalle varie stazioni posizionate dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Regione Lombardia nella provincia di Bergamo, sono:

1. Velocità del vento (rilevate da ARPA)
2. Livello delle precipitazioni (rilevate da ARPA)
3. Mobilità stradale
4. Mobilità aeroportuale
5. Insediamenti industriali

I dati di fonte ARPA sono disponibili a livello di stazioni di rilevamento, ma richiedono un complesso e lungo lavoro di *data mining*: (1) scarico dei dati a livello della singola rilevazione (ad esempio, la singola ora), (2) rielaborazione dei dati e (3) aggregazione. I dati per la mobilità aeroportuale sono relativi all'attività di decollo ed atterraggio dall'aeroporto di Bergamo Orio al Serio "Il Caravaggio", desumibili dalla banca dati OAG (Official Airline Guide) che riporta tutti i movimenti schedati negli aeroporti commerciali mondiali. Infine, la mobilità stradale e l'impatto degli insediamenti

industriali sono stati misurati come distanza dalle principali arterie stradali (il primo indicatore) e come concentrazione di imprese per km quadrato (il secondo indicatore).

3. I dati

In merito ai livelli di inquinamento atmosferico sono necessarie informazioni sulla concentrazione atmosferica dei vari inquinanti, sulle condizioni meteorologiche e sulla topografia del territorio.² Per gli inquinanti atmosferici, i livelli vengono registrati nelle 19 stazioni localizzate nell'area di riferimento. La mobilità di un sistema locale è influenzata principalmente dalla densità della popolazione residente -che si concentra nell'area urbana di Bergamo e nella "Bassa", ed intorno alle principali arterie stradali- e dalla presenza di insediamenti industriali.

Dal punto di vista della mobilità, nella provincia di Bergamo l'espansione dei trasporti è stata il risultato dello sviluppo delle città, spesso non adeguatamente regolamentato. In riferimento al trasporto aereo, l'aeroporto di Bergamo – Orio al Serio ha spostato molto del traffico aereo da Malpensa e Linate in particolare per il traffico delle compagnie aeree *Low Cost*, diventando per numero di passeggeri e di voli nell'arco dell'anno, uno dei maggiori aeroporti in tutta Italia. Per quanto riguarda il trasporto su strada Bergamo è al centro di una rilevante zona industriale che si estende da Milano fino a Brescia, collegata dall'autostrada A4, la più intensamente trafficata d'Italia. Sempre parlando di trasporto su strada la provincia di Bergamo è situata in mezzo a catene montuose, pianure e laghi tutte collegate da un sistema stradale ramificato su tutto il territorio.

² La popolazione della provincia di Bergamo, pari a circa 1,1 milioni di abitanti, è distribuita su un territorio di circa 2,7 milioni di km quadrati, suddivisi in due grandi aree: quella a nord prevalentemente montuosa dove sono presenti le Alpi Orobiche, e quella a sud, pianeggiante e denominata "Bassa".

4. Il modello econometrico e i risultati

L'obiettivo del lavoro è la stima dell'impatto di alcuni fattori sul livello di inquinamento atmosferico nell'area locale della provincia di Bergamo. I dati verranno studiati mediante il modello econometrico panel ad effetti fissi. Di quest'ultimo modello verrà adottata la specificazione LSDV (*Least Square Dummy Variables*). Il modello LSDV viene impiegato per stimare la seguente equazione:

$$Y_{it} = X_{it}\beta + M_i u + P_i \gamma + \alpha_i + \eta_{it} \quad (i=1, \dots, N; t=1, \dots, T)$$

dove il pedice t indica il periodo (mese), X_{it} è un vettore di variabili quali la velocità del vento, l'ammontare delle precipitazioni e il numero di voli all'aeroporto di Bergamo, la distanza dalle principali arterie stradali, dall'autostrada, la popolazione residente nell'area, la concentrazione di insediamenti industriali e α_i è l'effetto fisso a livello di stazione, distribuito in modo indipendente e con varianza costante. La variabile, Y_{it} è la concentrazione/ammontare di inquinante atmosferico analizzato e registrato nella centralina i , nel periodo (mese) t . M_i rappresentano 11 variabili *dummy* relative ai mesi, Z_i sono 3 variabili *dummy* relative alle zone territoriali urbana, bassa e montagna (quella del lago d'Iseo rappresenta il riferimento), P_i è una variabile *dummy* per le *peak hours* di traffico durante il giorno, date dalle ore tra le 7 e le 10 e tra le 17 e le 20.

La Tabella 1 mostra i risultati per tre inquinanti: Ossidi di Azoto NO_x Particolati $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} . Per l'inquinante NO_x la distanza dall'autostrada e dalla principale arteria stradale diminuiscono l'inquinamento. La densità della popolazione e la concentrazione degli insediamenti industriali aumentano invece la concentrazione di NO_x . Allo stesso modo l'attività dell'aeroporto incrementa l' NO_x . Pertanto la mobilità incide in modo significativo sui livelli di NO_x .³

³ Vengono riportati i coefficienti stimati se sono significativi almeno al 5% di probabilità statistica. L'abbreviazione "NA" indica che la variabile non è disponibile in quanto il dato è settimanale o mensile, e

	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}
Velocità del vento	-7,4	-5,7	-5,9
Livello precipitazioni	-1,31	-0,75	-0,5
Movimenti aeroporto	0,4	-	-
Distanza da strada trafficata	-0,3	0,7	-
Distanza da autostrada	-1,0	-1,0	-1,6
Densità popolazione	0,0001	-	-
Insedimenti industriali	0,003	-	-
Zona montagna	15,7	-	-
Zona lacustre	24,0	-	-
Zona pianura	20,6	-	-
Ore picco traffico	11,1	NA	NA
Gennaio	11,1	12,9	10,5
Febbraio	-15,7	15,6	12,8
Marzo	-49,1	-0,1	-7,4
Aprile	-62,2	-17,2	-17,9
Maggio	-66,2	-23,9	-23,6
Giugno	-69,1	-27,8	-27,9
Luglio	-68,9	-30,3	-29,4
Agosto	-73,4	-26,6	-28,2
Settembre	-63,7	-19,8	-22,1
Ottobre	-52,7	-12,1	-13,2
Novembre	-9,9	6,1	-
Costante	89,2	55,5	46,5

Tabella 1. Stime del modello LSDV, determinanti dell'inquinamento

Si evince invece una incidenza negativa e altamente significativa del vento e delle precipitazioni, con un effetto maggiore per il primo fenomeno atmosferico. Inoltre è particolarmente rilevante l'effetto stimato delle ore di picco di traffico nella mobilità.

Dai coefficienti stimati è possibile calcolare le elasticità di alcune determinanti i livelli di inquinamenti atmosferici. La Tabella 2 mostra

quindi una dummy giornaliera non può essere definita. Per sintesi non vengono riportati i risultati – simili a quelli esposti – relativi agli altri inquinanti considerati nel lavoro e gli effetti fissi relativi alle centrali.

gli effetti di un aumento dell'1% nella variabile di riferimento rispetto ai livelli di inquinamento di NO_x, PM_{2,5} e PM₁₀. Un incremento dell'1% nella velocità del vento (media) porta a -84 microgrammi di NO_x per ettaro cubo di aria, a -19.240 microgrammi di PM₁₀. Un incremento di 1% nel livello di precipitazioni porta a -21.610 microgrammi di PM₁₀.

Risulta quindi maggiormente incidente nell'abbattimento degli inquinanti il fattore precipitazioni rispetto al fattore velocità del vento nei confronti del PM₁₀. Un aumento dell'1% nella distanza dall'autostrada riduce l'NO_x di 42 microgrammi, mentre un aumento dell'1% nella distanza dalle principali rete stradali lo riduce di 598 microgrammi e di ben 869 microgrammi di PM₁₀. Un aumento dell'1% negli insediamenti industriali comporta un aumento di 38 microgrammi di NO_x.

1% aumento variabile	NO _x (microgrammi/ettaro cubo)	PM ₁₀ (microgrammi/ettaro cubo)	PM _{2,5} (microgrammi/ettaro cubo)
Velocità del vento	-84	-19.240	-
Livello precipitazioni	-	-21.610	-15.150
Attività aeroporto	-	-	36,5
Distanza da strada	-598	-869.210	-
Distanza da autostrada	-42	-85.440	-66.400
Popolazione	-	-	132,2
Insedimenti industriali	38	-	

Tabella 2. Elasticità dei fattori determinanti il livello di inquinanti

L'analisi ha permesso di quantificare l'impatto della mobilità sull'inquinamento di un sistema locale, al netto degli effetti meteorologici. Le stime delle elasticità per riduzioni sugli effetti della mobilità (tramite una maggiore distanza dagli insediamenti residenziali delle reti stradali) permette una prima stima dei connessi costi sociali.

Bibliografia

Bruntland report of World Commission on environment and development (1987).

EC, (2009), *A sustainable future for transport*.

EC, (2013), *Air quality in Europe – 2013 report*.

Litman T. and D. Bruwell (2006), Issues in sustainable transportation, *International Journal of Global Environmental Issues*, 6.

Lyons T., et al. (2003), An international urban air pollution model for the transportation sector, *Transportation Research Part D*, 8.

Martini G., et al. (2013), Including local air pollution in airport efficiency assessment: A hyperbolic-stochastic approach, *Transportation Research Part D*, 24.

Wang G., et al. (2009), Identifying contributions of on-road motor vehicles to urban air pollution using travel demand model data, *Transportation Research Part D*, 14.

WHO, (2011), *Air quality and health*.