

Osservazioni relative all'incertezza nella stima delle emissioni da traffico stradale

Franco Giovannini e Valentina Lapolla
ARPAT - Dipartimento di Firenze

1. Introduzione

In questo lavoro viene esplorata e discussa la possibilità di associare alle stime di emissioni dovute al traffico veicolare una valutazione di incertezza.

Vengono considerati due casi studio (esempi o esercizi) distinti:

- uno relativo a stime di emissioni corrispondenti ad un'intera area urbana, nello specifico quella di Firenze;
- il secondo corrispondente ad una stima di emissioni relativa ad uno specifico asse stradale.

I due casi si distinguono in parte per la disponibilità dei dati sui quali viene effettuata la stima di emissioni e conseguentemente per la/e metodologie attuate o attuabili nella valutazione della corrispondente incertezza. I dettagli al riguardo verranno discussi nelle sezioni successive.

Inoltre, se per entrambi i casi la valutazione dell'incertezza risulta necessaria affinché sia possibile assegnare un grado di fiducia alle stime, capire cioè la loro affidabilità, nel caso del singolo asse stradale la stima di incertezza appare costituire un primo elemento funzionale o strumentale per una valutazione di incertezza/variabilità da associare a stime di concentrazione (o addirittura di esposizione) ottenibili con l'impiego di modelli diffusionali.

La valutazione dell'incertezza da assegnare alle stime emissive appare un elemento necessario per gli scopi di impiego degli inventari delle emissioni [APAT 2001]; finora nonostante l'importante impegno svolto nel campo della stima delle emissioni anche in ambito italiano, gli esempi che affrontano questo tema risultano assai rari.

Gli esercizi, i cui risultati sono sinteticamente discussi di seguito, tendono ad indicare alcune possibili strade per affrontare, in modo molto semplificato, questo tema: costituiscono sostanzialmente un invito ad esplorare ed indagare su questo aspetto ancora poco noto.

2. Metodologia

In [APAT 2001] sono presenti osservazioni generali fondamentali sulle cause di incertezza da cui sono affette le stime prodotte dagli inventari delle emissioni ed inoltre viene indicato [IPCC 2000] come riferimento bibliografico essenziale nel campo della stima dell'incertezza.

I metodi che vengono qui utilizzati risultano simili o derivati da quelli contenuti in [IPCC 2000] e se ne discostano per alcune scelte o valutazioni molto specifiche e relative alle particolarità dei dati disponibili sulle emissioni del traffico veicolare.

La metodologia base della valutazione è estremamente semplice e consiste nel considerare ciascun dato utilizzato nella stima emissiva come fonte di incertezza, quindi valutare questa incertezza e quantificare infine nel complesso l'incertezza associabile alla stima delle emissioni. L'analisi dell'incertezza legata o prodotta dai singoli parametri di stima o dai singoli dati costituisce poi il campo della cosiddetta "analisi di sensitività" (che non verrà qui effettuata).

L'aspetto maggiormente critico riguarda essenzialmente l'eventuale presenza di dati covariati e l'incertezza da associare a ciascun dato. Questa può essere fornita in termini di deviazione standard (varianza e covarianza) e conseguentemente la valutazione dell'incertezza globale della stima può anche essere ottenuta applicando teoremi molto generali di statistica ([Modd et al. 1993]). Il risultato è una incertezza espressa in termini di deviazione standard (varianza) e la sua interpretazione richiede ulteriori informazioni, ad esempio quelle relative alla forma o al tipo della distribuzione dei risultati della stima. In alternativa la valutazione può essere effettuata a partire dalle distribuzioni statistiche dei singoli dati con l'applicazione del metodo

Monte Carlo. In tal caso si ottiene direttamente la distribuzione statistica delle stime, quindi un'informazione completa che permette di valutare in modo diretto gli intervalli di fiducia senza ricorrere ad ipotesi sulla forma della distribuzione stessa.

Nel primo esempio verranno utilizzati entrambi i metodi; nel secondo invece verranno mostrati i risultati relativi soltanto all'applicazione del metodo Monte Carlo ([US-EPA 1997]).

In tutti i casi presentati i singoli parametri o variabili casuali utilizzate sono considerate tra loro statisticamente indipendenti. Analogamente le distribuzioni statistiche utilizzate o a cui si fa riferimento sono state scelte uniformi all'interno dell'intervallo di incertezza assegnato. Applicazioni di modelli di stima più sofisticati possono essere viste in [Kioutsioukis et al. 2004] e [Zhao e Frey 2003].

3. 1° Esercizio: emissioni di PM ed NOx da traffico relative all'intera area urbana di Firenze ed all'anno 2002

In questo caso la stima delle emissioni (di PM o NOx) viene effettuata con una metodologia semplificata, seguendo in linea generale quello che è definito un approccio top-down; l'emissione totale sull'area urbana E , relativa al tempo di riferimento di un anno ed al periodo di riferimento (2002) è ottenuta come:

$$E = \sum_k f e_k \cdot A_k \quad (1)$$

in cui $f e_k$ rappresenta il fattore di emissione della classe di veicoli k , ed A_k il fattore di attività di quella classe di veicoli durante l'anno 2002 (le classi di veicoli sono sostanzialmente quelle previste nel modello COPERT III).

Nell'esempio, per quanto riguarda i fattori di emissione vengono considerati quelli proposti da APAT (sito web www.inventaria.sinanet.apat.it) per l'ambito urbano, ed inoltre per il PM quelli relativi alle emissioni non-exhaust da usura¹; per quanto riguarda i fattori di attività A_k questi sono espressi come:

$$A_k = N_k \cdot L_k \quad (2)$$

in cui N_k indica il numero medio di veicoli della classe k circolanti nell'area urbana di Firenze durante l'anno 2002, L_k rappresenta le percorrenze medie annue nell'ambito territoriale definito come area urbana di Firenze e riferite all'anno 2002, dei veicoli della classe k .

La stima di questi valori non è ovviamente semplice ed in teoria nell'approccio seguito viene ottenuta attraverso variabili proxy (tipo ad esempio la popolazione residente dell'area o meglio di tutti quei comuni che gravitano intorno all'area d'interesse) applicate a dati relativi ad unità territorialmente più estese, oppure scorporati da stime relative ad unità territorialmente più estese (ad esempio i dati di veicoli immatricolati a livello di Provincia, le percorrenze annue totali o urbane stimate ad esempio nei lavori di APAT a livello nazionale).

Nel caso specifico l'espressione di A_k può essere quindi ulteriormente dettagliata inserendo tutti i parametri e le variabili in gioco:

$$A_k = N_k \cdot L_k = \left[N_k^0 \cdot b_k \right] \cdot \left[L_k^0 \cdot c_k \right] \quad (3)$$

in cui N_k^0 è esattamente o quasi² il numero di veicoli della classe k come risulta dai dati registrati da ACI (veicoli "circolanti") e relativo all'anno 2002 ed alla Provincia di Firenze; L_k^0 sono le percorrenze annue totali medie riportate in [APAT 2003], quindi a livello nazionale; b_k

¹I dati relativi ai fattori di emissione sono stati estratti dal database ad ottobre 2004, e contemplano ad esempio anche le emissioni di PM prodotte dai veicoli a benzina; attualmente questi non sembrano più presenti nel database del sito di "inventaria"; poiché i valori per queste classi erano sostanzialmente allineati a quelli ottenuti in varie indagini e lavori scientifici si è ritenuto, anche e soprattutto per i fini del presente lavoro, di utilizzarli comunque. Analoghe considerazioni valgono per i fattori di emissione di PM non-exhaust.

²Si sono infatti effettuati gli aggiustamenti necessari relativi ad alcune delle classi di veicoli: ad esempio quella degli autobus urbani non è correttamente rappresentata dai dati di fonte ACI e quella dei ciclomotori (moped) non è presente in questi dati. Inoltre sono stati incrementati i valori degli autobus non urbani per tenere conto in modo ragionevole dell'afflusso di Coach turistici.

rappresenta la proporzione dei veicoli della classe k che interessa in media nell'anno 2002 l'area urbana di Firenze rispetto a tutti i veicoli della classe registrati da ACI per la Provincia; c_k rappresenta la proporzione delle percorrenze totali effettuata in area urbana dalla classe di veicoli k . Evidentemente i fattori di proporzione b_k e c_k risultano variare anch'essi con la classe k .

Per l'obiettivo del presente lavoro non è stato necessario determinare univocamente dei valori medi di b_k e c_k , ma si è preferito fissare direttamente un intervallo di variabilità all'interno del quale appare ragionevole rientri il valore cercato (expert's judgement secondo [IPCC 2000]). L'espressione che produce l'emissione complessiva è allora del tipo:

$$E = \sum_k f e_k \cdot N_k^0 \cdot b_k \cdot L_k^0 \cdot c_k \quad (4)$$

composta dalla somma di numerosi addendi ciascuno ottenuto dal prodotto di 5 variabili (rispetto alle 105 classi di COPERT III al 2002 erano presenti solo 81 classi di veicoli).

A ciascuna variabile è stato quindi assegnato un intervallo di incertezza (in totale quindi 405 variabili casuali e relativi intervalli di variazione).

Tutti i dati impiegati (intervalli di incertezza) sono riportati in Appendice A.

In caso di indipendenza il valor medio e la varianza della somma e del prodotto di variabili casuali (x ed y) sono espressi come (con ovvio significato dei simboli):

$$E[x + y] = E[x] + E[y] \quad \text{e} \quad Var[x + y] = Var[x] + Var[y] \quad (5)$$

$$E[x \cdot y] = E[x] \cdot E[y] \quad \text{e} \quad Var[x \cdot y] = (E[x])^2 Var[y] + (E[y])^2 Var[x] + Var[x] \cdot Var[y] \quad (6)$$

Applicando questi risultati al caso in esame, e tenendo conto che la varianza di una distribuzione uniforme è data da

$$Var[x] = \frac{(x_{sup} - x_{inf})^2}{12} \quad (7)$$

mentre la media è semplicemente il valore centrale dell'intervallo, si perviene ad ottenere una semplice stima del valore di emissione totale E e della sua varianza.

In alternativa è semplice (in questo caso di indipendenza delle variabili) anche provvedere ad una stima numerica dei valori di E attraverso il metodo Monte Carlo.

In tal caso si tratta di effettuare un gran numero di stime di E a partire da estrazioni casuali dei valori dei parametri all'interno dei loro intervalli di variazione e secondo le distribuzioni di probabilità assegnate. Nel caso presente le distribuzioni sono uniformi quindi non è necessario utilizzare neppure il teorema di inversione (dalla distribuzione di probabilità cumulata) né tecniche di campionamento sofisticate (tipo Latin Hypercube sampling).

L'aspetto più complesso della valutazione dell'incertezza non sta nelle tecniche da adottare quanto nell'assegnare a ciascuna variabile i "ragionevoli" intervalli di incertezza.

Nel seguito vengono sinteticamente riassunti i criteri (in parte arbitrari ma che potrebbero essere meglio individuati) in base ai quali tali intervalli sono stati definiti.

Per quanto riguarda il numero di veicoli N_k^0 sono stati scelti i seguenti intervalli di incertezza:

- per le auto ed i motocicli con cilindrata >250 cc: $N_k^0 \cdot (1 \pm 0.1)$
- per gli LDV (Light Duty Vehicle): $N_k^0 \cdot (1 \pm 0.3)$
- per i mezzi pesanti HDV ed autobus non urbani: $N_k^0 \cdot (1 \pm 0.2)$
- per ciclomotori e motocicli < 250 cc: $N_k^0 \cdot (1 \pm 0.5)$

Per quanto riguarda le percorrenze totali L_k^0 , poiché erano riferite all'anno 2000, i valori effettivamente impiegati per la stima sono stati ottenuti da queste riducendole del 10% per tutte le classi di veicoli meno recenti; assegnando alla classe più recente del 2002 il valore corrispondente alla classe più recente del 2000. Gli intervalli di incertezza sono poi stati scelti nel seguente modo:

- per le classi di autoveicoli diesel e gpl e per i motocicli: $L_k^0 \cdot (1 \pm 0.2)$

- per tutte le altre classi: $L_k^0 \cdot (1 \pm 0.1)$

Per quanto riguarda i fattori di emissione per il PM sono stati scelti i seguenti intervalli di incertezza:

- per le tutti i veicoli a benzina: $fe_k \cdot (1 \pm 0.9)$
- per i veicoli diesel fino alla normativa euro I: $fe_k \cdot (1 \pm 0.2)$
- per i veicoli diesel dalla normativa euro II: $fe_k \cdot (1 \pm 0.3)$
- per moped e motocicli 2T: $fe_k \cdot (1 \pm 0.5)$

Per quanto riguarda i fattori di emissione per NOx sono stati scelti i seguenti intervalli di incertezza:

- per le tutti i veicoli a benzina (escluso ciclomotori e motocicli e HDV) fino alla normativa euro I: $fe_k \cdot (1 \pm 0.1)$
- per i veicoli a benzina dalla normativa euro II: $fe_k \cdot (1 \pm 0.2)$
- per HDV a benzina: $fe_k \cdot (1 \pm 0.3)$
- per le tutti i veicoli diesel fino alla normativa euro I: $fe_k \cdot (1 \pm 0.2)$
- per i veicoli diesel dalla normativa euro II e per i veicoli a gpl: $fe_k \cdot (1 \pm 0.3)$
- per mopeds e motocicli (2T e 4T): $fe_k \cdot (1 \pm 0.2)$

Per quanto riguarda il fattore c_k ovvero la proporzione di percorrenza urbana, si rimanda per i valori completi all'Appendice A; in termini sintetici si può indicare che:

- l'intervallo di incertezza è stato definito dall'oscillazione tra le proporzioni di percorrenza urbana assegnate in [APAT 2003] e quelle inserite in una precedente analoga stima emissiva [ARPAT 2003];
- l'intervallo di incertezza per le varie classi oscilla tra il $\pm 1.5\%$ (HDV) ed il $\pm 17.5\%$.

Per quanto riguarda il fattore b_k relativo alla proporzione di veicoli presente sull'area urbana rispetto al dato di provenienza ACI, stimato in modo soggettivo, si hanno oscillazioni tra il $\pm 5\%$ ed il $\pm 10\%$ a seconda della classe di veicoli.

3.1 Risultati PM I° esercizio

Nella successiva tabella 1 vengono riportati e confrontati i risultati ottenuti con i due metodi di valutazione dell'incertezza, il metodo sintetico e quello Monte Carlo. Quest'ultimo si riferisce a 10000 stime di emissione totale ottenute da altrettante estrazioni casuali delle 405 variabili all'interno dei corrispondenti intervalli di incertezza.

Tabella 1: risultati delle stime di incertezza per il PM - area urbana di Firenze, anno 2002

metodo	media (Mg/a)	varianza	deviazione standard (Mg/a)	coefficiente di variazione
sintetico	286.0	796.4	28.2	0.10
Monte Carlo	286.1	811.2	28.5	0.10

Si osserva chiaramente una corrispondenza quasi perfetta tra i dati ottenuti con i due metodi. Ciò fa ovviamente preferire, almeno nel caso di una valutazione ridotta a questi elementi e così semplificata, il metodo di stima sintetica, il quale risulta assai meno oneroso.

L'informazione aggiuntiva prodotta dal metodo Monte Carlo risiede nella disponibilità dell'intera distribuzione delle stime. Questa è mostrata nella successiva Figura 1.

Come si può osservare la distribuzione ottenuta appare sufficientemente simmetrica ed approssimativamente normale.

Da questa è possibile stimare sia i percentili che gli eventuali intervalli di confidenza: ad esempio si può ritenere che le emissioni totali da traffico di PM all'interno dell'area urbana di Firenze (nel 2002) rientrino con una probabilità del 95% tra 235.7 e 346.4 Mg/a.

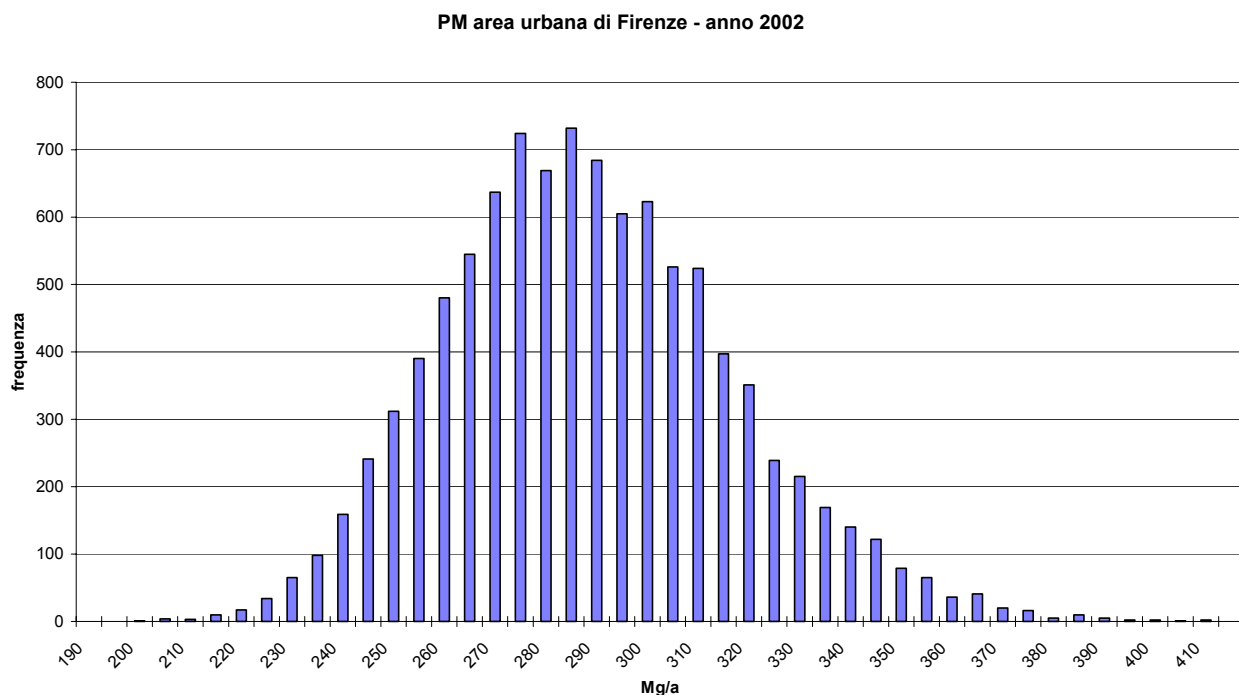


Figura 1

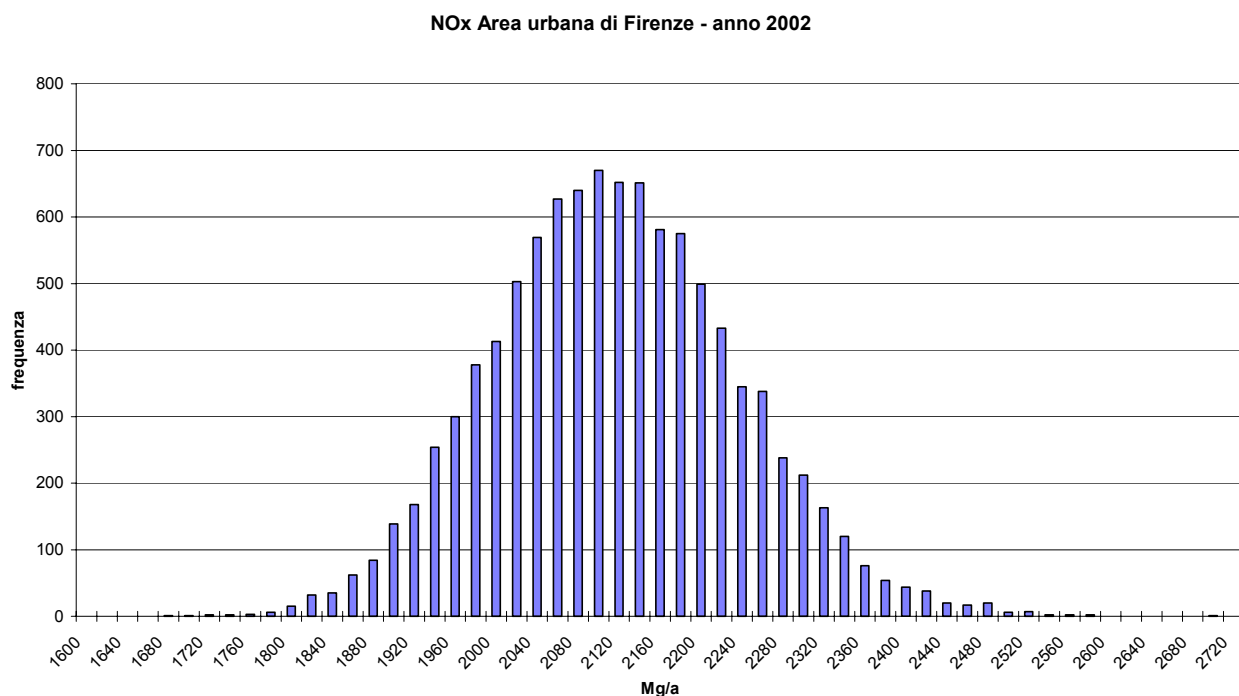


Figura 2

3.2 Risultati NOx I° esercizio

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto sono presentati solo i risultati ottenuti con il metodo Monte Carlo.

Nella tabella 2 sono riportati i dati statistici globali.

Tabella 2: risultati della stima di incertezza per gli NOx - area urbana di Firenze, anno 2002

metodo	media (Mg/a)	varianza	deviazione standard (Mg/a)	coefficiente di variazione
Monte Carlo	2106.3	14527.4	120.5	0.06

L'intervallo di confidenza al 95% dedotto dalla distribuzione di tutte le stime è in questo caso compreso tra 1882.2 e 2349.7 Mg/a.

La distribuzione di frequenza è riportata in Figura 2.

4. II° Esercizio: emissioni orarie di CO su di un asse stradale

Viene affrontato il problema della stima dell'incertezza da associare alle emissioni orarie, a caldo di CO su di una specifica strada urbana, della quale si suppone di possedere l'informazione relativa al numero complessivo di veicoli transitati (N_V), ed ovviamente la sua lunghezza geometrica (l_R). Conseguentemente questi parametri risultano fissati e (si suppone) non affetti da incertezza rilevante.

L'emissione è ancora esprimibile come la (1), variano invece rispetto al caso precedente i metodi con cui sono calcolati sia i fattori di emissione f_{e_k} che quelli di attività. I fattori di attività sono ora espressi come:

$$A_k = \frac{N_k \cdot L_k}{\sum_k N_k \cdot L_k} \cdot l_R \cdot N_V \quad (8)$$

ovvero l'attività della classe k è determinata assegnando la proporzione di veicoli della classe rispetto al numero complessivo di veicoli transitanti; questa proporzione è ottenuta considerando sia il numero complessivo di veicoli circolanti in area urbana della classe k che le loro percorrenze medie urbane.

I fattori di emissione sono invece ottenuti in funzione della velocità media dei veicoli transitanti sulla strada; in questo caso tali fattori sono quelli del modello TEE di ENEA attualmente in corso di revisione all'interno del "Case study" di Firenze del progetto HEARTS (la maggior parte dei quali derivanti comunque da COPERT III).

In questo esempio viene utilizzato esclusivamente il metodo di stima Monte Carlo; infatti la dipendenza dei fattori di emissione dalla velocità permette di assegnare un intervallo di incertezza a questo parametro e quindi di calcolare ogni volta il corrispondente fattore di emissione. L'applicazione del metodo sintetico sarebbe in tal caso assai più complessa di quella dell'esempio precedente³.

Al fattore f_{e_k} così determinato viene poi associata una ulteriore incertezza "intrinseca", legata cioè alla funzione approssimante che lo definisce rispetto alla velocità; questa incertezza può essere assegnata in base ai "rating" di valutazione presenti un CORINAIR e riportati anche in forma quasi-quantitativa in [APAT 2001]. L'intervallo di incertezza assegnato alle velocità è compreso tra i 30 ed i 40 km/h.

Per quanto riguarda i parametri N_k ed L_k vale in sostanza quanto riportato nel caso precedente.

³ Occorrerebbe infatti effettuare la propagazione dell'errore sulle formule approssimanti di tutte le classi di veicoli.

4.1 Risultati 2° esercizio

I risultati sono dati in g/veicolo km essendo ininfluenti ai fini della valutazione i valori fissati di N_k ed L_k .

In tabella 3 sono riportate le statistiche ottenute con l'applicazione del metodo Monte Carlo per 5000 simulazioni emissive.

Tabella 3: risultati della stima di incertezza per il CO - strada urbana, anno 2002

metodo	media (g/veicolo km)	varianza	deviazione standard (g/veicolo km)	coefficiente di variazione
Monte Carlo	4.23	0.21	0.46	0.11

In Figura 3 è riportata la distribuzione di frequenza ottenuta dalle simulazioni.

Si osserva una certa asimmetria della distribuzione con coda allungata verso i valori più alti (positively skewed). In questo caso appare quindi preferibile l'applicazione del metodo Monte Carlo ovvero disporre dell'intera distribuzione delle emissioni.

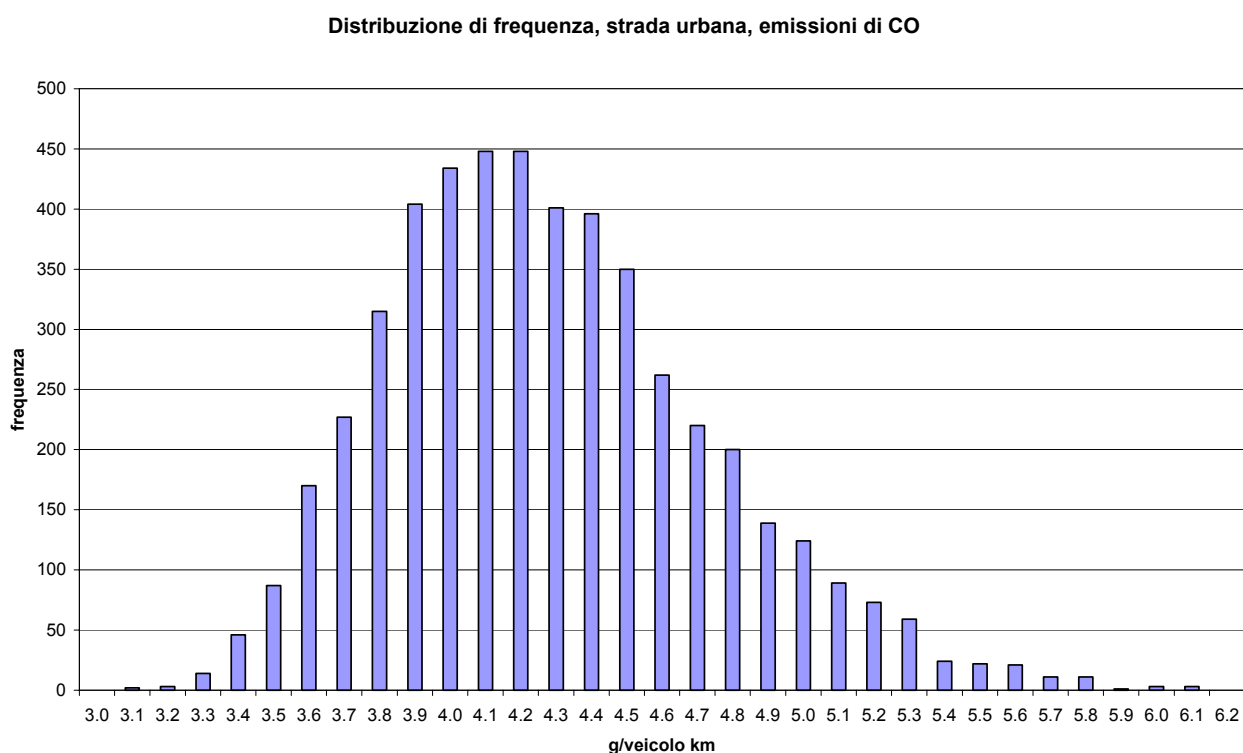


Figura 3

5. Conclusioni

Si è esplorata la possibilità di applicare metodi di valutazione dell'incertezza alle stime di emissioni da traffico stradale. Quando la stima viene effettuata con metodologie semplificate (ad esempio il caso mostrato nell'esercizio 1 sull'intera area urbana di Firenze), l'impiego di un metodo sintetico fondato sulle regole di propagazione dell'errore appare facilmente applicabile, anche se occorre in ogni caso effettuare la valutazione dell'incertezza da associare ad ogni dato impiegato. Non è stato esplorato il caso di dati covariati, il quale presenta comunque una maggiore complessità (e forse anche maggiore arbitrarietà con i dati attualmente disponibili). Quando la stima è effettuata con modelli emissivi più complessi appare necessario o preferibile impiegare per la valutazione dell'incertezza metodi di simulazione tipo Monte Carlo.

In sostanza, nonostante le notevoli incertezze assegnate ai singoli dati impiegati, l'incertezza valutata negli esempi e relativa ai dati normalmente disponibili per le stime emissive è risultata produrre coefficienti di variazione dell'ordine del 10%. Questo può essere interpretato favorevolmente, indicando che in termini qualitativi le stime semplificate così effettuate appaiono sufficientemente affidabili.

Non è stata effettuata una analisi di "sensitività", ma dai dati impiegati appaiono comunque evidenti (e sono noti a chiunque lavori in questo campo) gli elementi di maggiore incertezza presenti.

La fattibilità della valutazione dell'incertezza mostrata in questo lavoro vuole essere un invito a percorrere questa strada e quindi a dotare le stime di emissioni della necessaria misura di affidabilità.

Bibliografia

[Kioutsioukis et al. 2004]: "Uncertainty and global sensitivity analysis of road transport emission estimates"; Kioutsioukis I., Tarantola S., Saltelli A., Gatelli D.; Atmospheric Environment 38, 2004, 6609-6620.

[Zhao e Frey 2003]: "Development of probabilistic emission inventory of selected air toxics for an urban area", Zhao Y., Frey C.

[APAT 2001]: Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera; APAT CTN-ACE 3-2001.

[APAT 2003]: "Le emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia dal 1990 al 2000" De Lauretis R., Liburdi R., Picini P., Saija S.; APAT, 2003

[IPCC 2000]: Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Chapter 6, Quantifying uncertainties in practice. 2000.

[US-EPA 1997]: Guiding principles for Monte Carlo Analysis, US-EPA 1997.

[Modd et al. 1993]: "Introduzione alla statistica" Modd A., Graybill F., Boes D., McGraw-Hill libri Italia 1993.

[ARPAT 2003] "Stima delle variazioni di emissione di particolato in area urbana conseguenti all'applicazione di restrizioni alla circolazione di alcune tipologie di veicoli" Giovannini F., Grechi D.; ARPAT – Dipartimento di Firenze, 2003.

Appendice A

Dati utilizzati nella valutazione dell'incertezza: esercizio 1, PM

Classi di veicoli			Fattori di emissione PM		Numero di veicoli (Provincia Firenze)		Proporzione veicoli in area urbana di Firenze		Percorrenze totali		proporzionepercourrenze urbane	
classe	fuel	microclasse	FEinf	FEsup	Ninf	Nsup	Binf	Bsup	Linf	Lsup	Cinf	Csup
auto	benzina	<1,4 l - PRE ECE	0.00968	0.18392	12056	14736	0.50	0.75	2025	2475	0.50	0.60
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - PRE ECE	0.00968	0.18392	1475	1803	0.50	0.75	3240	3960	0.35	0.50
auto	benzina	>2,0 l - PRE ECE	0.00968	0.18392	482	589	0.50	0.75	4050	4950	0.30	0.50
auto	benzina	<1,4 l - ECE 15/00-01	0.00968	0.18392	6475	7913	0.50	0.75	2430	2970	0.50	0.60
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - ECE 15/00-01	0.00968	0.18392	1347	1647	0.50	0.75	4455	5445	0.35	0.50
auto	benzina	>2,0 l - ECE 15/00-01	0.00968	0.18392	278	340	0.50	0.75	5670	6930	0.30	0.50
auto	benzina	<1,4 l - ECE 15/02	0.00968	0.18392	4582	5600	0.50	0.75	2835	3465	0.50	0.60
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - ECE 15/02	0.00968	0.18392	1409	1723	0.50	0.75	5670	6930	0.35	0.50
auto	benzina	>2,0 l - ECE 15/02	0.00968	0.18392	211	257	0.50	0.75	7290	8910	0.20	0.50
auto	benzina	<1,4 l - ECE 15/03	0.00758	0.14402	5684	6948	0.50	0.75	3240	3960	0.40	0.60
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - ECE 15/03	0.00758	0.14402	1415	1729	0.50	0.75	6480	7920	0.30	0.50
auto	benzina	>2,0 l - ECE 15/03	0.00758	0.14402	178	218	0.50	0.75	8910	10890	0.20	0.50
auto	benzina	<1,4 l - ECE 15/04	0.00638	0.12122	72856	89046	0.50	0.75	5346	6534	0.40	0.50
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - ECE 15/04	0.00638	0.12122	19726	24110	0.50	0.75	8100	9900	0.20	0.50
auto	benzina	>2,0 l - ECE 15/04	0.00638	0.12122	923	1129	0.50	0.75	10935	13365	0.15	0.50
auto	benzina	<1,4 l - Euro I - 91/441/EEC	0.00348	0.06612	66335	81077	0.50	0.75	8100	9900	0.25	0.50
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - Euro I - 91/441/EEC	0.00348	0.06612	26906	32886	0.50	0.75	11745	14355	0.20	0.50
auto	benzina	>2,0 l - Euro I - 91/441/EEC	0.00348	0.06612	648	792	0.50	0.75	14580	17820	0.15	0.50
auto	benzina	<1,4 l - Euro II - 94/12/EC	0.00348	0.06612	104410	127612	0.50	0.75	10125	12375	0.25	0.50
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - Euro II - 94/12/EC	0.00348	0.06612	34154	41744	0.50	0.75	13365	16335	0.20	0.50
auto	benzina	>2,0 l - Euro II - 94/12/EC	0.00348	0.06612	2216	2708	0.50	0.75	15795	19305	0.15	0.50
auto	benzina	<1,4 l - Euro III - 98/69/EC 2000	0.00348	0.06612	45810	55990	0.50	0.75	11250	13750	0.25	0.50
auto	benzina	1,4 - 2,0 l - Euro III - 98/69/EC 2000	0.00348	0.06612	13721	16770	0.50	0.75	14850	18150	0.20	0.50
auto	benzina	>2,0 l - Euro III - 98/69/EC 2000	0.00348	0.06612	1760	2152	0.50	0.75	17550	21450	0.15	0.50
auto	gasolio	<2,0 l - Conventional	0.39664	0.59496	5342	6529	0.50	0.75	12240	18360	0.15	0.45
auto	gasolio	>2,0 l - Conventional	0.39664	0.59496	4811	5881	0.50	0.75	12960	19440	0.10	0.45
auto	gasolio	<2,0 l - Euro I - 91/441/EEC	0.15024	0.22536	2521	3081	0.50	0.75	13680	20520	0.15	0.45
auto	gasolio	>2,0 l - Euro I - 91/441/EEC	0.15024	0.22536	1694	2070	0.50	0.75	14400	21600	0.10	0.45
auto	gasolio	<2,0 l - Euro II - 94/12/EC	0.15024	0.22536	26987	32984	0.50	0.75	14400	21600	0.15	0.45
auto	gasolio	>2,0 l - Euro II - 94/12/EC	0.13146	0.24414	8563	10465	0.50	0.75	15480	23220	0.10	0.45
auto	gasolio	<2,0 l - Euro III - 98/69/EC 2000	0.09793	0.18187	39370	48118	0.50	0.75	16000	24000	0.15	0.45
auto	gasolio	>2,0 l - Euro III - 98/69/EC 2000	0.09793	0.18187	6771	8275	0.50	0.75	17200	25800	0.10	0.45
auto	GPL	Tutte le cilindrata Conventional	0.00738	0.14022	5819	7113	0.50	0.75	13032	19548	0.30	0.45
auto	GPL	Tutte le cilindrata Euro I - 91/441/EEC	0.00338	0.06422	2746	3356	0.50	0.75	14976	22464	0.30	0.45
auto	GPL	Tutte le cilindrata Euro II - 94/12/EC	0.00338	0.06422	2008	2454	0.50	0.75	15768	23652	0.30	0.45
leggeri (<3,5t)	benzina	Peso <3,5t Conventional	0.00835	0.15865	2566	4766	0.60	0.80	8910	10890	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	benzina	Peso <3,5 t - Euro I - 93/59/EEC	0.00435	0.08265	1028	1910	0.60	0.80	11340	13860	0.25	0.40

X Expert Panel Emissioni da trasporti stradali – 21 giugno 2005

leggeri (<3,5t)	benzina	Peso <3,5t - Euro II - 96/69/EC	0.00435	0.08265	1803	3349	0.60	0.80	12150	14850	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	benzina	Peso <3,5t - Euro III - 98/69/EC 2000	0.00435	0.08265	1388	2578	0.60	0.80	13500	16500	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	gasolio	Peso <3,5t - Conventional	0.41800	0.62700	10195	18933	0.60	0.80	12960	15840	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	gasolio	Peso <3,5t - Euro I - 93/59/EEC	0.17000	0.25500	5851	10865	0.60	0.80	15390	18810	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	gasolio	Peso <3,5t - Euro II - 96/69/EC	0.14875	0.27625	9407	17469	0.60	0.80	17820	21780	0.25	0.40
leggeri (<3,5t)	gasolio	Peso <3,5t - Euro III - 98/69/EC 2000	0.11802	0.21918	8282	15380	0.60	0.80	19800	24200	0.25	0.40
pesanti (>3,5t)	benzina	Peso >3,5 t - Conventional	0.05658	1.07502	45	134	0.60	0.80	4500	5500	0.20	0.40
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 3,5 - 7,5 t - Conventional	0.52144	0.78216	672	2016	0.60	0.80	27900	34100	0.12	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 3,5 - 7,5 t - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.33726	0.62634	90	270	0.60	0.80	27900	34100	0.12	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 3,5 - 7,5 t - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.25186	0.46774	332	995	0.60	0.80	27900	34100	0.12	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 3,5 - 7,5 t - Euro III - 1999/96	0.16695	0.31005	57	170	0.60	0.80	27900	34100	0.12	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 7,5 - 16 t - Conventional	0.90544	1.35816	822	2466	0.60	0.80	29700	36300	0.10	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 7,5 - 16 t - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.55566	1.03194	159	477	0.60	0.80	29700	36300	0.10	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 7,5 - 16 t - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.38626	0.71734	244	732	0.60	0.80	29700	36300	0.10	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 7,5 - 16 t - Euro III - 1999/96	0.26103	0.48477	54	161	0.60	0.80	29700	36300	0.10	0.15
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 16 - 32 t - Conventional	1.05184	1.57776	562	1685	0.60	0.80	50850	62150	0.06	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 16 - 32 t - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.63896	1.18664	108	324	0.60	0.80	50850	62150	0.06	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 16 - 32 t - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.31696	0.58864	292	876	0.60	0.80	50850	62150	0.06	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso 16 - 32 t - Euro III - 1999/96	0.20601	0.38259	76	227	0.60	0.80	50850	62150	0.06	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso >32 t - Conventional	1.10704	1.66056	15	44	0.60	0.80	52200	63800	0.05	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso >32 t - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.67046	1.24514	0	0	0.60	0.80	52200	63800	0.05	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso >32 t - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.32886	0.61074	1	2	0.60	0.80	52200	63800	0.05	0.10
pesanti (>3,5t)	gasolio	Peso >32 t - Euro III - 1999/96	0.21448	0.39832	0	0	0.60	0.80	52200	63800	0.05	0.10
BUS	gasolio	Pulman - Conventional	0.87824	1.31736	602	894	0.70	0.90	40500	49500	0.15	0.30
BUS	gasolio	Pulman - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.54026	1.00334	199	273	0.70	0.90	40500	49500	0.15	0.30
BUS	gasolio	Pulman - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.27916	0.51844	516	750	0.70	0.90	40500	49500	0.15	0.30
BUS	gasolio	Pulman - Euro III - 1999/96	0.17941	0.33319	396	444	0.70	0.90	40500	49500	0.15	0.30
BUS	gasolio	Autobus urbani - Conventional	0.76544	1.14816	50	50	0.90	1.00	39150	47850	0.90	1.00
BUS	gasolio	Autobus urbani - Euro I - 91/542/EEC Stage I	0.47586	0.88374	160	240	0.90	1.00	39150	47850	0.90	1.00
BUS	gasolio	Autobus urbani - Euro II - 91/542/EEC Stage II	0.33726	0.62634	120	180	0.90	1.00	39150	47850	0.90	1.00
BUS	gasolio	Autobus urbani - Euro III - 1999/96	0.22673	0.42107	24	36	0.90	1.00	39150	47850	0.90	1.00
ciclomotori	benzina	<50 cm ³ - Conventional	0.09420	0.28260	35000	105000	0.70	0.90	4050	4950	0.30	1.00
ciclomotori	benzina	<50 cm ³ - 97/24/EC Stage I	0.02970	0.08910	11500	34500	0.70	0.90	4050	4950	0.30	1.00
ciclomotori	benzina	<50 cm ³ - 97/24/EC Stage II	0.00920	0.02760	0	0	0.70	0.90	4050	4950	0.30	1.00

Motocicli	benzina	2-tempi <126 cm ³ - Conventional	0.22920	0.68760	9000	27000	0.70	0.90	5220	6380	0.60	0.90
Motocicli	benzina	2-tempi <126 cm ³ - 97/24/EC	0.06795	0.20385	1500	4500	0.70	0.90	5580	6820	0.60	0.90
Motocicli	benzina	4-tempi <126 cm ³ - Conventional	0.00564	0.10716	2000	6000	0.70	0.90	4640	6960	0.60	0.90
Motocicli	benzina	4-tempi 126-250 cm ³ - Conventional	0.00564	0.10716	7314	21941	0.50	0.75	4960	7440	0.60	0.90
Motocicli	benzina	4-tempi 250 - 750 cm ³ - Conventional	0.00564	0.10716	14640	17894	0.50	0.75	4880	7320	0.50	0.60
Motocicli	benzina	4-tempi >750 cm ³ - Conventional	0.00564	0.10716	4449	5437	0.50	0.75	5200	7800	0.50	0.60
Motocicli	benzina	4-tempi <126 cm ³ - 97/24/EC	0.00174	0.03306	5000	15000	0.50	0.75	4640	6960	0.60	0.90
Motocicli	benzina	4-tempi 126-250 cm ³ - 97/24/EC	0.00174	0.03306	11406	34218	0.50	0.75	4960	7440	0.60	0.90
Motocicli	benzina	4-tempi 250 - 750 cm ³ - 97/24/EC	0.00174	0.03306	5541	6773	0.50	0.75	5120	7680	0.50	0.60
Motocicli	benzina	4-tempi >750 cm ³ - 97/24/EC	0.00174	0.03306	2303	2815	0.50	0.75	5200	7800	0.50	0.60