



Esposizione al benzene a Modena: andamento storico e valutazione del rischio sanitario

Benzene exposure in Modena: historical trend and health risk assessment

Stefano Zauli Sajani,¹ Stefano Forti,² Paolo Lauriola¹

¹Struttura tematica di epidemiologia ambientale, ARPA Emilia Romagna

²Sezione provinciale di Modena, ARPA Emilia Romagna

Corrispondenza: Stefano Zauli Sajani, Struttura tematica di epidemiologia ambientale, ARPA Emilia Romagna, viale Fontanelli 23, 41100 Modena; tel. 059 433626; e-mail: szauli@epam.arpa.emr.it.

Cosa si sapeva già

- Il benzene è un agente cancerogeno.
- Il benzene è presente in quantità significative nei carburanti per autotrazione. Il traffico è responsabile della quasi totalità delle emissioni in ambito urbano.
- La variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni di benzene in ambito urbano è molto elevata.

Cosa si aggiunge di nuovo

- La stima dell'evoluzione dell'esposizione media della popolazione al benzene in un'area urbana negli anni 1980-2000.
- La stima, ottenuta utilizzando due diverse metodologie, dell'impatto sanitario di tale esposizione in termini di casi di leucemia attribuibili annualmente al benzene.

Riassunto

Obiettivo: stimare l'evoluzione dell'esposizione al benzene negli anni 1980-2000 della popolazione residente nell'area urbana di Modena e del relativo rischio di contrarre leucemia.

Disegno: è stata ricavata la media annua di concentrazione di benzene in aria relativa al 2000 in 73 punti della città, utilizzando una procedura di integrazione dei dati delle centraline fisse e dei campionamenti temporanei; da questi è stata derivata la media annua *outdoor* dell'area urbana. Dalle informazioni sull'evoluzione delle emissioni da traffico veicolare, è stato ricavato l'andamento per gli anni 1980-2000 dell'esposizione media della popolazione. Utilizzando due differenti approcci si è stimato il numero di nuovi casi di leucemia attribuibili al benzene attesi annualmente.

Setting: popolazione residente nell'area urbana di Modena.

Outcome principali: incidenza annuale dell'insieme delle

leucemie attribuibili al benzene.

Risultati: la concentrazione media urbana *outdoor* relativa all'anno 2000 è risultata pari a circa $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre l'esposizione media della popolazione è stata stimata in $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'esposizione relativa all'anno 2000 è pari a circa 1/5 di quella degli anni Ottanta, con un massimo di $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nel 1988. I nuovi casi di leucemia attribuibili al benzene sono stati valutati pari a circa 4×10^{-1} con il metodo basato sull'esposizione cumulativa e a circa 4×10^{-2} con quello basato sull'esposizione pesata.

Discussione e conclusioni: lo studio rappresenta uno dei pochi esempi di stima retrospettiva dell'esposizione della popolazione al benzene e di valutazione del rischio sanitario. Le fonti di incertezza sono legate soprattutto all'incertezza da cui sono affetti i metodi di stima del rischio sanitario.

(*Epidemiol Prev* 2005; 29(1): 13-18)

Parole chiave: benzene, andamento storico, valutazione del rischio sanitario

Abstract

Objective: the present paper estimates the 1980-2000 trend in exposure to benzene of the population living within the urban area of Modena. An assessment of leukaemia risk is also presented.

Design: the 2000 annual means of benzene atmospheric concentrations in 73 sites has been derived using a procedure which integrated data from fixed site stations and passive samplers: on this basis, an annual mean for the whole urban area has been calculated.

The population exposure trend for the period 1980-2000 has been estimated using the information on traffic emission changes. The expected annual number of leukaemia cases attributable to benzene has been calculated by using two different approaches.

Setting: residents in the urban area of Modena.

Main outcome measures: annual incidence of leukaemia at-

tributable to benzene.

Results: in 2000, the mean urban concentration was about $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and in average the population was exposed to about $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In the eighties, the population exposure was 5 times higher than the 2000 value, with a maximum of $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 1988. The leukaemia risk assessment procedures gave a value of about 4×10^{-1} with the method based on cumulative exposure and of about 4×10^{-2} with the method based on weighted exposure.

Discussion and conclusion: this study is one of the few examples of evaluation of both the trend in benzene exposure for a population and assessment of leukaemia risk.

Uncertainties in the assessment of health impact derive from inconsistencies in the underlying methods.

(*Epidemiol Prev* 2005; 29(1): 13-18)

Keywords: benzene, historical trend, health risk assessment

Introduzione

Le analisi di valutazione del rischio sanitario (*health risk assessment*) sono procedure complesse che si compongono di passaggi delicati, spesso affetti da incertezze che si ripercuotono amplificate sul risultato della stima. In questo lavoro viene presentata una valutazione del rischio sanitario legato all'esposizione al benzene della popolazione residente nell'area urbana di Modena. Nonostante tale inquinante sia utilizzato da parecchi decenni in diversi processi produttivi e sia presente in dosi importanti nei carburanti per autotrazione, la legislazione italiana ne ha previsto il controllo solo a partire da anni relativamente recenti. La mancanza di lunghe serie storiche di dati sui livelli di benzene ha ostacolato quindi l'applicazione di stime di rischio per la popolazione. Gli autori hanno cercato di far fronte a tale mancanza applicando una procedura che, partendo dalla stima dell'esposizione nell'anno 2000, basata su misure di concentrazione *outdoor*, ne ricostruisce l'andamento negli anni 1980-2000 utilizzando come riferimento l'andamento delle emissioni. Tale stima ha fornito la base per l'applicazione di due metodi di caratterizzazione del rischio sanitario legato all'esposizione al benzene nella popolazione residente nell'area urbana di Modena, presentata e discussa nelle sue diverse fasi e assunzioni.

Materiali e metodi

La stima dei livelli di inquinamento da benzene nell'area urbana

L'elevata variabilità spaziale delle concentrazioni di benzene in ambito urbano è stata rilevata in diversi studi condotti in città italiane ed europee,¹⁻⁴ tanto che per stimarne i livelli medi è consigliabile un campionamento ad alta risoluzione spaziale con campionatori passivi e mezzi mobili. Queste metodologie di campionamento, per ragioni di impiego di risorse umane e finanziarie, vengono però in genere utilizzate solo per campionamenti temporanei di alcuni giorni o settimane, rappresentativi in modo limitato dell'andamento temporale delle concentrazioni. Per far fronte a tali problematiche, in questo studio si è adottata una procedura volta a integrare i dati delle centraline fisse, che permettono di cogliere la variabilità temporale, con i dati dei campionamenti temporanei, da cui si può invece cogliere la variabilità spaziale. In particolare, tale procedura si basa sulla buona correlazione che esiste tra le misure effettuate in diversi siti all'interno di un ambito urbano.⁵ L'efficacia e i dettagli della procedura sono stati discussi in uno studio condotto da ARPA utilizzando i dati di tutte le centraline collocate all'interno degli ambiti urbani della regione Emilia Romagna.⁶

Le centraline fisse all'interno dell'area urbana di Modena sono due, ubicate una nella prima periferia a circa 40 metri da una strada a traffico medio-alto (via Nonantolana), e l'altra nel centro storico in una zona a traffico limitato. Le misurazioni non in continuo sono state effettuate uti-

lizzando campionatori passivi tipo «radiello».⁷⁻⁸ I dati utilizzati nello studio derivano da una campagna di misurazioni effettuata tra settembre 2001 e giugno 2002 in 73 siti, differenziati in sei differenti tipologie (tabella 1). In tutti i siti sono stati effettuati cinque periodi di campionamento della durata di una settimana. La tabella 1 riporta i valori di correlazione tra le diverse tipologie di siti e la centralina fissa di via Nonantolana, scelta per una maggiore numerosità e qualità dei dati. Si è quindi calcolata la media annua relativa all'anno 2000 in ognuno dei 73 siti di campionamento periodico, supponendo che le relazioni funzionali individuate tra i rilevamenti effettuati dalla centralina fissa e nei siti di campionamento periodico negli anni 2001-2002 potessero essere valide anche per l'anno 2000. L'obiettivo è stato la stima della media annua dell'anno 2000, in quanto i dati di traffico utilizzati per la ricostruzione storica dell'andamento dell'esposizione erano disponibili solo fino a questo anno. La media dell'intera area urbana è stata quindi stimata utilizzando una metodologia analoga a quella utilizzata nell'ambito del progetto MACBETH,¹⁻² uno dei più importanti progetti europei per la valutazione dell'esposizione a benzene. È stata calcolata assegnando un peso pari al 90% alla media ottenuta dai campionamenti effettuati in siti di fondo e periurbani e pari al 10% alla media ottenuta dai siti di inquinamento di punta. Sono stati definiti siti di fondo quelli collocati nel centro storico, nei parchi, nei poli scolastici e nelle zone residenziali e siti di punta quelli collocati negli incroci e in prossimità degli archi stradali.

La stima dell'esposizione della popolazione e della sua evoluzione storica

In assenza di dati locali di campionamenti individuali, si è deciso di utilizzare il rapporto tra esposizione media della popolazione e media urbana *outdoor* riscontrato nell'ambito del già citato progetto MACBETH. Il valore ottenuto a Padova (pari a 1,4) è stato ritenuto applicabile anche alla realtà urbana di Modena, viste le forti analogie nelle caratteristiche meteorologiche e urbanistiche. L'andamento storico dell'esposizione è stato successivamente stimato partendo dall'ipotesi che, essendo il benzene un inquinante primario relativamente poco reattivo, non solo le sue concentrazioni *outdoor*, ma anche l'esposizione della popolazione potessero essere ritenute proporzionali alle emissioni. Su questa base si è stimato l'andamento dell'esposizione dal 1980 al 2000, utilizzando le informazioni sull'evoluzione delle emissioni derivanti dal traffico veicolare, la fonte di emissione nettamente preponderante. I fattori di emissione e la classificazione dei veicoli utilizzati sono quelli definiti nell'ambito dell'indagine sperimentale condotta dall'Automobile club d'Italia (ACI) a Firenze.⁹ Nel dettaglio, per ogni anno, si è ricavato il numero di autoveicoli circolanti (fonte ACI) alimentati a benzina e a gasolio (fonte ANFIA – Associazione nazionale fra

industrie automobilistiche), si sono suddivisi gli autoveicoli a benzina in catalizzati e non catalizzati (fonte INTERAUTO), e si sono applicati i fattori di emissione relativi. A questi si sono poi aggiunte le emissioni dei ciclomotori e dei motocicli. Il numero di ciclomotori è stato stimato utilizzando i dati sui bolli pagati (fonte ANCMA – Associazione nazionale ciclo motociclo accessori). Tale dato è stato confrontato, per i pochi anni disponibili, con il dato dei ciclomotori assicurati, riscontrando un'ottima concordanza (fonte ANIA – Associazione nazionale fra imprese assicuratrici). A ciascuna categoria di veicoli è stato poi applicato un fattore che tenesse conto delle diverse percorrenze medie (fonte APAT – Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici). Nella stima delle emissioni si è infine considerata l'evoluzione temporale del contenuto di benzene nelle benzine (fonte Unione petrolifera), aspetto risultato di notevole importanza. La figura 1 mostra l'andamento del contenuto in volume di benzene nella benzina senza piombo (verde) e nella benzina con piombo (rossa) per gli anni 1988-2000, evidenziandone il forte decremento nel corso degli anni Novanta. Prima del 1988 non esisteva una normativa specifica per il contenuto di benzene nelle benzine e quindi i dati non sono disponibili. Ciononostante, dalle informazioni ottenute dall'Unione petrolifera è stato possibile stimare tale percentuale in circa il 3%.

Nella raccolta dei dati per la stima delle emissioni, si è cercato di ottenere dati riferiti all'area urbana di Modena. In mancanza di tale dettaglio, sono state fatte elaborazioni ricavando il dato locale o sulla base del rapporto tra il numero di abitanti dell'area a cui era riferito (provincia, regione, nazione) e il numero di abitanti dell'area urbana di Modena, o utilizzando come riferimento per la proporzione eventuali dati frutto di rilevazioni sporadiche.

Tipologia sito	Numero siti	Correlazione (R)
centro storico	5	0,82
parchi	9	0,83
poli scolastici	2	0,77
strade	24	0,83
incroci	15	0,78
zone residenziali	18	0,81
	totale 73	media 0,81

Tabella 1. Numero di siti di campionamento e coefficiente di correlazione lineare di Pearson medio, raggruppati per tipologia. Il coefficiente di correlazione è stato calcolato tra le concentrazioni misurate in ognuno dei 73 siti di campionamento periodico e le concentrazioni rilevate dalla stazione fissa (via Nonantolana).

Table 1. Sampling site number and mean Pearson correlation coefficient, grouped for typology. The correlation coefficient was calculated between the concentrations measured in each of the 73 sampling sites and the concentrations measured by the fixed-site station ("Via Nonantolana").

La stima dell'impatto sanitario

L'esposizione al benzene è stata associata a diversi eventi sanitari legati alle sue potenzialità tossiche e cancerogene.¹⁰⁻¹³ In accordo con l'Environmental Protection Agency (US-EPA) e con la World Health Organization (WHO), in questo studio ci si è limitati ad analizzare l'impatto dell'esposizione al benzene della popolazione generale rispetto alle sole leucemie, che non solo rappresentano l'*outcome* per il quale è più forte l'associazione con il benzene, ma anche quello verso il quale si sono concentrati gli sforzi della comunità scientifica per una stima sintetica della funzione di rischio. I risultati della procedura di stima applicata deve essere quindi analizzata e interpretata nei termini di una sottostima dei diversi possibili eventi sanitari attribuibili all'esposizione al benzene.¹² L'impatto sanitario relativo all'anno 2000 è stato calcolato seguendo due diversi approcci. Il primo è quello tradiziona-

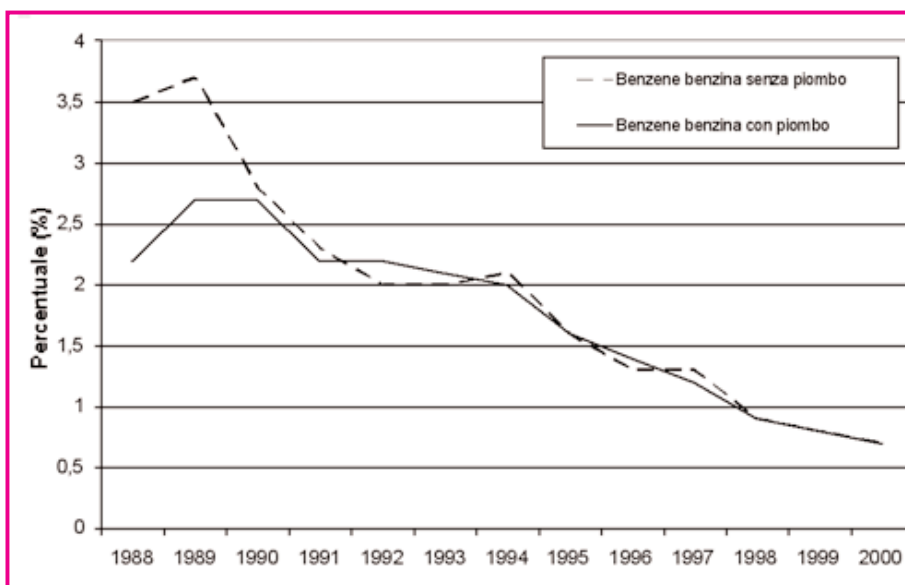


Figura 1. Andamento storico (1988-2000) del contenuto di benzene nelle benzine.

Figure 1. Historical trend (1988-2000) of the benzene content in gasolines.

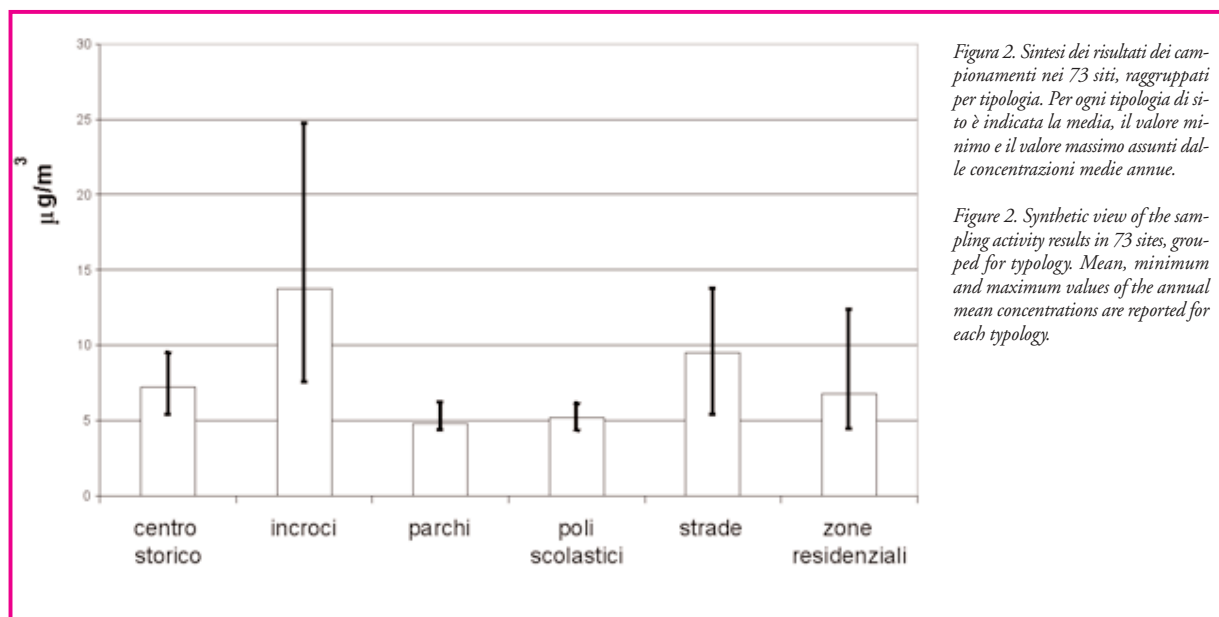


Figura 2. Sintesi dei risultati dei campionamenti nei 73 siti, raggruppati per tipologia. Per ogni tipologia di sito è indicata la media, il valore minimo e il valore massimo assunti dalle concentrazioni medie annue.

Figure 2. Synthetic view of the sampling activity results in 73 sites, grouped for typology. Mean, minimum and maximum values of the annual mean concentrations are reported for each typology.

le basate sull'esposizione cumulativa, per cui tutti gli incrementi di esposizione sono sommati sulla storia espositiva dei soggetti: a ogni incremento è associato lo stesso peso, indipendentemente dal momento in cui è avvenuta l'esposizione. Concetto portante è quello di *unit risk* (UR),^{11,14} che rappresenta l'aumento di rischio per la vita di contrarre (o di morire per) leucemia per un'esposizione unitaria:

$$UR = P_0 \times (RR - 1) / X$$

dove

P_0 = tasso di incidenza (o di mortalità) per leucemia

RR = rischio relativo di leucemia negli esposti

X = esposizione media degli esposti

In questa formula, il valore di P_0 utilizzato dal WHO¹⁴ è riferito al tasso di mortalità per leucemie negli Stati Uniti. In accordo con l'EPA¹⁵ e con la Commissione consultiva tossicologica nazionale (CCTN),¹⁶ si è invece deciso di applicare le stime di rischio in termini di incidenza. Il valore di UR ricalcolato dalla Commissione consultiva tossicologica nazionale e da noi adottato è risultato pari a $5,6 \times 10^{-6}$ per un'esposizione *lifetime* di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$,¹⁶ in linea con la stima più aggiornata di UR fissata dall'US EPA in un intervallo compreso tra $2,2 \times 10^{-6}$ e $7,8 \times 10^{-6}$ (Integrated Risk Information System; <http://www.epa.gov/iris>).

Il numero di nuovi casi di leucemia attribuibile al benzene per l'anno 2000 risulta in tal modo pari a

$$N = UR / 70 \text{ anni} \times \text{popolazione} \times \text{esposizione media}$$

L'altro approccio adottato è quello suggerito da Finkelstein,¹⁷ il quale, rianalizzando i dati dello studio principale sull'esposizione lavorativa¹⁸⁻¹⁹ al benzene, ha sostenuto essere più coerente e predittiva una stima basata sull'assegnazione di pesi specifici alle diverse finestre temporali di esposizione. L'autore, in particolare, ha sottolineato come siano le esposizioni più prossime quelle più efficaci rispetto all'insorgenza della leucemia: assegnando un peso pari a 1 all'esposizione degli ultimi quattro anni prima del decesso, i pesi relativi delle esposizioni dei periodi da 5 a 10 anni prima, da 10 a 15 e da 15 a 20 risultano pari a 0,89, 0,61 e 0,11. I valori ottenuti per esposizioni antecedenti ai 20 anni sarebbero trascurabili.

Con questo metodo di pesatura delle finestre temporali di esposizione, la stima dei nuovi casi di leucemia risulta:

$$N = (RR - 1) \times \text{tasso annuo di incidenza} \times \text{popolazione}$$

con

$$RR = \exp(0,95 \times \text{BEI})$$

Il parametro BEI (*Benzene Exposure Index*) rappresenta un indice di esposizione così definito:

$$\text{BEI} = 0,011 \times E_{1-4} + 0,0098 \times E_{5-9} + 0,0067 \times E_{10-14} + 0,0012 \times E_{15-19}$$

con E_{1-4} , E_{5-9} , E_{10-14} e E_{15-19} che sono rispettivamente l'esposizione cumulata da 1 a 4, da 5 a 9, da 10 a 14 e da 15 a 19 anni prima rispetto all'anno a cui è riferita la stima. Sia la definizione del BEI sia quella del rischio relativo derivano dall'analisi effettuata da Finkelstein con il metodo delle componenti principali applicato alle diverse finestre temporali di esposizione.

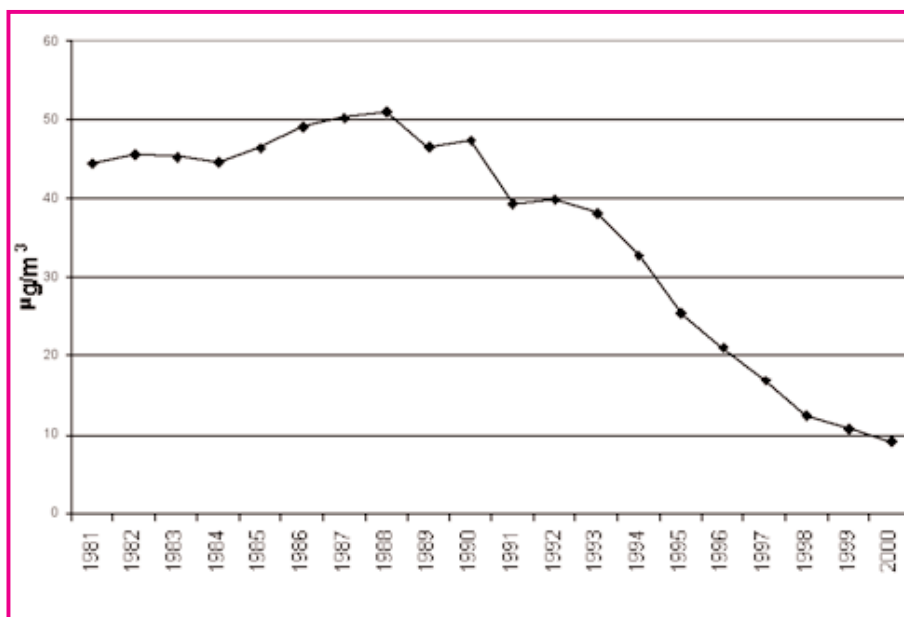


Figura 3. Evoluzione storica (1980-2000) dell'esposizione media della popolazione residente nell'area urbana di Modena.

Figure 3. Historical trend (1980-2000) of the mean exposure of the population living within the urban area of Modena.

Risultati

La figura 2 sintetizza i risultati delle stime delle medie annue, raggruppate per tipologie di siti. I siti di punta, strade e incroci, sono risultati caratterizzati da livelli di inquinamento da benzene variabili rispettivamente tra 6 e 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e tra 7 e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tali siti risentono della variabilità determinata sia dalla diversità dei flussi di traffico sia dalla conformazione stradale. Gli archi stradali più critici sono spesso quelli delimitati da edifici e, di conseguenza, quelli in cui vi è il maggior numero di persone potenzialmente esposte. Molto meno marcata è la variabilità delle concentrazioni medie annue nelle altre tipologie di siti. I parchi cittadini e i poli scolastici sono caratterizzati da livelli di inquinamento medio annuo da benzene pari a circa 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. E' lecito pertanto ipotizzare un inquinamento di fondo in tutta la città di circa 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le concentrazioni di benzene nelle aree residenziali e nel centro storico sono risultate pari a circa 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentrazione media urbana *outdoor* e l'esposizione media della popolazione relative all'anno 2000 sono risultate rispettivamente pari a circa 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La figura 3 illustra i risultati dell'analisi dell'andamento storico dell'esposizione della popolazione nel periodo 1980-2000. L'esposizione dell'anno 2000 è stata pari a circa 1/5 di quella degli anni Ottanta, con un massimo di 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrato nel 1988. Il *trend* espositivo degli ultimi 10 anni è risultato in netta diminuzione e influenzato in modo determinante dall'andamento della concentrazione di benzene nelle benzine e dallo svecchiamento del parco veicolare.

La stima degli eventi sanitari attesi nella popolazione residente nell'area urbana è stata calcolata nei termini di incidenza annuale di casi di leucemia attribuibili al benzene. La stima effettuata utilizzando il metodo basato sull'esposizio-

ne cumulativa è risultata pari a circa 4×10^{-1} ; il metodo basato sull'esposizione pesata suggerito da Finkelstein ha fornito un valore di circa 4×10^{-2} . Tali risultati vanno confrontati con un'incidenza di leucemie nell'area di studio pari a circa 25 casi all'anno.

Discussione e conclusioni

L'applicazione di due differenti approcci nella stima del rischio sanitario della popolazione residente nell'area urbana di Modena ha portato a stime dei casi di leucemia attribuibili annualmente al benzene ridotte nella loro entità ma discordi per un ordine di grandezza. La stima del rischio sanitario rappresenta sicuramente la fonte di incertezza preponderante dello studio. Del resto, gli studi sugli effetti del benzene sono stati condotti per la maggior parte su soggetti esposti per ragioni professionali a concentrazioni di almeno due-tre ordini di grandezza superiori a quelle misurabili nell'atmosfera delle nostre città.^{18,19} Tutte le stime relative a concentrazioni tipiche dell'esposizione della popolazione sono quindi estrapolazioni, senza livello di soglia (in quanto non esiste nessun valore di concentrazione che sia da ritenersi esente da rischi), dei risultati di tali studi su alte esposizioni. D'altronde, studi epidemiologici su esposizioni di tipo ambientale necessiterebbero di coorti molto numerose e di periodi di osservazione molto lunghi. Si ritiene quindi che la forma della funzione dose-risposta e la quantificazione dei tempi di latenza non possano essere determinate con precisione senza una migliore comprensione dei meccanismi biologici con cui il benzene induce la leucemia.¹⁵

Per quanto riguarda l'analisi delle incertezze e delle criticità legate alla stima dell'esposizione della popolazione, appare ragionevole ma in parte arbitrario l'approccio, mutuato dal

progetto europeo MACBETH, basato sui pesi assegnati alle diverse tipologie di siti di campionamento per la stima della media urbana *outdoor* e sulla presupposta esistenza di un rapporto fisso tra media urbana *outdoor* ed esposizione media della popolazione. Lo studio ha anche chiarito agli autori l'importanza della disponibilità di dati completi, affidabili e aggiornati sul traffico autoveicolare, che rappresenta oggi la fonte di inquinamento preponderante (in particolare relativamente al benzene): sono risultati infatti di difficile reperimento diverse informazioni, tra cui i dati sull'evoluzione storica dei flussi di traffico, sul numero e la tipologia dei ciclomotori, sui fattori di emissione e sulle percorrenze medie.

Nella valutazione del rischio, ai limiti messi in luce si aggiungono quelli legati alla parzialità dell'approccio di popolazione adottato in questa analisi. Degno di attenzione pare infatti anche un approccio alternativo basato sui gruppi a rischio, definiti o in base alla residenza in prossimità di strade trafficate,²⁰⁻²² o in base all'appartenenza a categorie esposte al traffico per ragioni professionali (postini, vigili urbani, edicolanti, autisti).

Una riflessione meritano infine i risultati relativi all'andamento storico dell'esposizione al benzene in rapporto all'evoluzione della legislazione e delle conoscenze scientifiche. Lo studio ha infatti fatto emergere valori elevati di esposizione al benzene nel corso degli anni Ottanta, quando non era prevista alcuna normativa specifica. Sebbene la IARC (International Association of Research on Cancer), già nel 1974 parlasse di «limitata evidenza» di cancerogenicità e successivamente valutasse l'evidenza di cancerogenicità per l'uomo come sufficiente nel 1982 e sicura nel 1987, la legislazione italiana solo con il DM 15/4/1994 cita espressamente il benzene tra le sostanze da monitorare, ma non ne richiede il rilevamento in continuo e non ne fissa valori di riferimento. Il DM 25/11/1994 fissa per la prima volta un «obiettivo di qualità» (a 15 µg/m³ dal 1996 al 1998 compreso e a 10 µg/m³ dal 1999); bisogna però attendere il DM 2/4/2002 (che recepisce la direttiva europea 1999/30) per vedere fissato un vero e proprio limite (5 µg/m³ da rispettarsi senza tolleranze dal 2010). Emerge quindi un notevole ritardo tra il riconoscimento scientifico della pericolosità del benzene e gli interventi normativi. Se da un lato l'*iter* burocratico che porta agli interventi normativi è, in parte, comprensibilmente lento, dall'altro si ritiene che il caso benzene sia emblematico di una carenza di efficacia e di prontezza del sistema dei controlli nel rispondere ai problemi e alle emergenze ambientali.

Conflitti di interesse: nessuno

Ringraziamenti: si ringrazia Daniele Grechi (ARPAT - Toscana) per il prezioso aiuto fornito nell'ambito della stima delle emissioni veicolari. Si ringrazia Paolo Crosignani (Unità operativa di epidemiologia ambientale - Istituto dei tumori di Milano) e Massimo Federico (Registro tumori della Provincia di Modena) per i consigli e le informazioni sugli aspetti inerenti la stima d'impatto sanitario. Si ringraziano le associazioni che hanno collaborato nella fornitura dei

dati (ACI, ANCMA, ANFIA, ANIA, APAT, Unione petrolifera), senza le quali lo studio non sarebbe stato possibile. Un ringraziamento particolare va al Comune di Modena e in particolare a Daniele Bertoni dell'Assessorato alle politiche ambientali, per il contributo finanziario e scientifico fornito nell'esecuzione delle campagne di misura.

Bibliografia

- MACBETH (Monitoring of Atmospheric Concentration of Benzene in European Towns and Homes), *LIFE Program of the European Commission*, <http://pc4.fsm.it:81/padova/resweb/homepage.html>.
- Cocheo V, Sacco P, Boaretto C, De Saeger E, Perez Ballesta P, Skov H, Goelen E, Gonzalez N, Baeza Caracena A. Urban benzene and population exposure. *Nature* 2000; 404: 141-42.
- Perez Ballesta P, Connolly R, Boix A et al. *Campagna di controllo di toluene, xilene e benzene a Bologna*, 1998, EN EUR 18093.
- Palmgren F, Kemp K. *The Danish air quality monitoring programme*. Annual Report n. 296, NERI, Roskilde, Den.
- Zauli Sajani S, Scotto F, Galassi F, Montanari A, Lauriola P. Urban air pollution monitoring and correlation properties between fixed-site monitoring stations. *J Air Waste Manag Assoc* 2004; 54(10): 1236-41.
- Zauli Sajani S, Scotto F, Galassi F, Lauriola P. *Presentazione di una procedura per la stima dei livelli medi di inquinamento tramite campionamenti di breve estensione temporale*. Report interno ARPA, 2003.
- Cocheo V, Boaretto C, Sacco P. High Uptake Rate Radial Diffusive Sampler Suitable for Both Solvent and Thermal Desorption. *Am Ind Hyg Assoc J* 1996; 57: 897-904.
- Baldan A, Ballesta PP, Cancelinha J, et al. *Validation of the 'Radiello' diffusive sampler. Italy: European Commission*. Joint Research Centre, Environmental Institute, 2000.
- Grechi D, Santino D, Monni F, Picini P. *Verso una mobilità pulita*. Automobile Club d'Italia e Associazione delle Città Italiane per la Mobilità Sostenibile e lo Sviluppo dei Trasporti, 2002.
- Ward JB Jr, Ammenheuser MM, Ramanujam VM, Morris DL, Whorton EB Jr, Legator MS. The Mutagenic Effects of Low Level Sub-acute Inhalation Exposure to Benzene in CD-1 mice. *Mutation Res* 1992; 268: 49-57.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Lyon, IARC, 1982, pp. 93-148.
- Savitz DA, Andrews KW. Review of Epidemiologic Evidence on Benzene and Lymphatic and Hematopoietic Cancers. *Am Jour Ind Med* 1997; 31: 287-95.
- Snyder R, Witz, G and Goldstein BD. The Toxicology of Benzene. *Environmental Health Perspect* 1993; 100: 293-306.
- WHO. *Air quality guidelines for Europe*. Copenhagen, Regional Office for Europe, WHO Reg Publ Eur Ser n.23, 1987.
- US - EPA. *Carcinogenic effects of benzene: an update*. Washington DC, EPA/600/P-97/001F, 1998.
- CCTN. Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale. *Parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale riguardante la stima del rischio di leucemie da benzene da emissioni autoveicolari*, 27 Giugno 1999.
- Finkelstein MM. Leukemia after Exposure to Benzene: Temporal Trends and Implications for Standards. *Am Jour Ind Med* 2000; 38: 1-7.
- Rinsky RA, Smith AB, Hornung R, Filloon TG, Young RJ, Okun AH, Landrigan PJ. Benzene and leukemia. An epidemiologic risk assessment. *N Engl J Med* 1987; 316:1044-50.
- Bond GG, McLaren EA, Baldwin CL, Cook RR. An Update of Mortality among Chemical Workers Exposed to Benzene. *Brit Jour Ind Med* 1986; 43: 685-91.
- Nyberg F, Gustavsson P, Jarup L, Bellander T, Berglund N, Jakobsson R, Pershagen G. Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 2000; 11(5):487-95.
- Crosignani P, Tittarelli A, Tagliabue G et al. Childhood leukemia and road traffic: A population-based case-control study. *Int J Cancer* 2004; 108(4): 596-9.
- Goldoni CA, Gambini M, Vaccari C, Soli A, Ranzi A, De Girolamo G, Valerio L, Borella P, Duca G, Lauriola P. Riflessioni sul ruolo dell'epidemiologia applicata al territorio a partire da uno studio condotto nel comune di Fiorano Modenese (comprensorio ceramico). *Epidemiol Prev* 2003; 27(5); 310-15.