

Inquinamento atmosferico urbano: impatto sulla salute

Un progetto ISS - Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio



Riccardo Crebelli e Angelo Carere

Laboratorio di Tossicologia Comparata ed Ecotossicologia, ISS

Riassunto - È stato recentemente completato un progetto di ricerca congiunto ISS-Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio sugli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane. Sono state condotte indagini sugli effetti cardiovascolari e respiratori acuti, sul rischio di effetti a lungo termine e sulla prevalenza di fenomeni allergici in popolazioni modello esposte a inquinanti atmosferici. Il monitoraggio di soggetti suscettibili (con broncopneumopatia cronica ostruttiva, asma, infarto del miocardio) ha mostrato variazioni nella funzionalità respiratoria e cardiaca associate all'inquinamento da polveri fini. Uno studio di mortalità su una coorte di benzinaisti e l'analisi di biomarcatori di danni genetici nei vigili urbani addetti al controllo del traffico veicolare a Roma non hanno mostrato effetti avversi associati all'esposizione a inquinanti. Infine, un'elevata incidenza di sensibilizzazione allergica è stata osservata nei vigili urbani con presente o pregressa esposizione a inquinanti atmosferici.

Parole chiave: inquinamento atmosferico, effetti sulla salute, ambiente urbano

Summary (*Health effects of urban air pollution: results of a joint project ISS-Ministry of Environment*) - A joint research project ISS-Ministry of Environment on the health effects of urban air pollution has recently been carried out. The project addressed the risks of both acute and long term adverse effects in study populations exposed to air pollutants. A panel study on susceptible individuals (affected by chronic broncopneumo-obstructive diseases, myocardial ischemia, and asthma) highlighted a significant association between daily concentrations of fine particles and impaired respiratory and heart functions. No excess cancer risk was observed in a cohort of gasoline station attendants. In a survey of Rome traffic policemen, biomarkers of genotoxic damage were significantly increased by smoking habits rather than by the occupational exposure to air pollutants. Finally, an allergologic screening of Rome policemen, with current or past exposure to traffic fumes, revealed a high incidence of allergic sensitization in all study groups.

Key words: air pollution, health effects, urban areas

L'inquinamento atmosferico rappresenta uno dei principali fattori di rischio per la salute nelle aree urbane. Al riguardo, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), in un recente documento, ha concluso che l'inquinamento da polveri fini nell'ambiente urbano è responsabile ogni anno di circa 100 000 morti (e 725 000 anni di vita persi) nella sola Europa (1). Secondo la stima dell'OMS, l'inquinamento atmosferico rappresenta infatti in Europa il principale fattore di rischio ambientale, complessivamente l'ottava causa di morte più importante (2).

Analoghe indicazioni vengono dal progetto Air Pollution and Health: European Information System (APHEIS), uno studio finanziato dalla Commissione

Europea sull'impatto dell'inquinamento atmosferico in 26 città europee. Secondo questo studio, una riduzione dell'inquinamento da PM₁₀ (materiale particellare di granulometria inferiore ai 10 micrometri) di soli 5 µg/m³ potrebbe evitare circa 5 000 morti per anno nella popolazione interessata dall'indagine (complessivamente 32 milioni di cittadini) (3).

Quindi, sebbene l'inquinamento atmosferico rappresenti un fattore di rischio individuale secondario rispetto ad altri (ad esempio, le malattie infettive, il fumo di tabacco, l'obesità), la diffusione ubiquitaria degli inquinanti e la conseguente esposizione di ampie fasce di popolazione determinano un rilevante impatto sanitario a livello di popolazione.

“
L'inquinamento di polveri fini in ambiente urbano causa ogni anno in Europa circa 100 000 morti
”

I risultati del progetto APHEIS suggeriscono che anche una modesta riduzione nei livelli di inquinanti, verosimilmente realizzabile con misure di immediata fattibilità, potrebbe avere significativi effetti positivi sulla mortalità e morbilità delle popolazioni urbane. L'attuazione di efficaci misure preventive non può d'altra parte prescindere da una migliore conoscenza dei meccanismi patogenetici degli inquinanti e dei rischi a essi associati. In particolare, la definizione dei rischi di patologie acute e di effetti a lungo termine e del ruolo dell'inquinamento atmosferico nella eziologia di patologie con crescente diffusione nelle aree urbane ha un interesse prioritario che richiede ulteriori delucidazioni.

L'Istituto Superiore di Sanità (ISS), da lungo tempo impegnato sul binomio salute-ambiente, ha fornito negli anni passati significativi contributi sulle tematiche sopra indicate. Recentemente, il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio ha affidato all'ISS la realizzazione del programma di ricerca "Aspetti igienico-sanitari dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane (PR22-IS, 1998-2002)". Tale programma, coordinato da Angelo Carere (Laboratorio di Tossicologia Comparata ed Ecotossicologia, ISS), si articola in tre sottoprogetti che affrontano varie tematiche attinenti l'inquinamento atmosferico, dagli aspetti metodologici con uno studio pilota sugli inquinanti atmosferici nella città di Roma, allo studio di combustibili alternativi per il trasporto pubblico urbano, all'impatto sulla salute dei cittadini. A quest'ultimo aspetto è dedicato un sottoprogetto, coordinato da Riccardo Crebelli (Laboratorio di Tossicologia Comparata ed Ecotossicologia, ISS), in cui vengono investigati il rischio cancerogeno, gli effetti



mutageni, gli effetti cardiovascolari e respiratori acuti e gli effetti immunologici e allergici su gruppi di popolazione con alti livelli di esposizione. Queste ricerche, di seguito descritte, sono intercorrelate sebbene condotte in modo indipendente, concorrendo a definire lo scenario complessivo dell'impatto igienico-sanitario dell'inquinamento atmosferico nelle aree urbane.

EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLA FUNZIONALITÀ CARDIACA E RESPIRATORIA

Nei grandi centri urbani di molti Paesi industrializzati è stata osservata, in modo ripetuto e consistente, un'associazione tra fluttuazioni giornaliere della mortalità per cause cardiorespiratorie e concentrazioni atmosferiche di PM_{10} o $PM_{2,5}$. Tuttavia, non è ancora perfettamente chiaro quali siano i gruppi più suscettibili a tale effetto "letale" dell'inquinamento, ovvero quali fattori di rischio (a livello di popolazione e a livello individuale) modifichino la relazione tra inquinamento e mortalità. Nell'ambito del suddetto progetto è stato condotto, in collaborazione con il Dipartimento di Epidemiologia della ASL RME e con il Dipartimento di Pneumologia dell'Università Cattolica di Roma, uno studio epidemiologico di tipo *panel* su pazienti con broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), pa-

“ La ricerca è indirizzata verso una migliore conoscenza dei meccanismi patogenetici degli inquinanti ”





tologia ischemica del miocardio (IMA) e asma bronchiale (Responsabile scientifico: Susanna Lagorio, Laboratorio di Igiene Ambientale, ISS). I soggetti sono stati studiati in due campagne di monitoraggio nel corso del 1999 per valutare l'associazione tra esposizione a inquinanti atmosferici urbani e disturbi cardiaci e respiratori.

Lo studio ha evidenziato tra i bronchitici cronici una netta influenza negativa delle concentrazioni giornaliere di materiale particolato (in particolare del $PM_{2,5}$) e di alcuni inquinanti gassosi (NO_2 e CO) sui parametri di funzionalità respiratoria (Tabella 1). Anche la concentrazione di alcuni metalli (Cr, Fe, Pb e Zn) nella frazione fine del particolato atmosferico è risultata associata a significativi decrementi degli indici di funzionalità respiratoria, suggerendo un

loro ruolo nel meccanismo di tossicità del particolato inalabile. Nel *panel* degli IMA la funzionalità respiratoria non è risultata invece influenzata dalle concentrazioni ambientali degli inquinanti atmosferici in studio, mentre si è osservata un'associazione tra variabilità del battito cardiaco e concentrazioni atmosferiche di $PM_{2,5}$ e PM_{10} . Per quanto concerne il *panel* degli asmatici, i risultati dello studio suggeriscono un ruolo del $PM_{10-2,5}$ e di NO_2 nell'indurre un peggioramento dei parametri di funzionalità respiratoria (Tabella 1). Contrariamente alle attese, non sono state invece osservate associazioni tra funzionalità respiratoria e concentrazioni ambientali giornaliere di O_3 , neppure restringendo l'analisi alla sola *survey* estiva.

RISCHIO DI TUMORI E DI MALATTIE NEUROLOGICHE ED ESPOSIZIONE A CARBURANTI

Il possibile rischio cancerogeno associato all'esposizione a basse dosi di derivati del petrolio e, in particolare, a vapori di benzina contenenti benzene, è un argomento di rilevante interesse da un punto di vista di sanità pubblica. I benzinai rappresentano una popolazione modello per l'esposizione a basse dosi di benzene (generalmente inferiori ai $3 \mu g/m^3$ ovvero <1 ppm) e studi precedenti condotti presso l'ISS hanno mostrato, pur a questi bassi livelli di esposizione, incrementi di alcuni indicatori di danno genotossico (4, 5). Non è però chiaro se tali incrementi si traducano in danni sanitari evidenziabili clinicamente o rilevabili attraverso le analisi dei rischi di mortalità per causa.

Al fine di verificare se il profilo di mortalità in questi lavoratori sia influenzato dalla pregressa esposizione a vapori di carburanti, è stato quindi condotto uno studio di mortalità sui gestori delle stazioni di servizio della regione Lazio ed Emilia-Romagna in collaborazione con il Dipartimento di Epidemiologia della ASL RME e con il Centro di Documentazione per la Salute dell'Agenzia Sanitaria

Tabella 1 - Studio *panel* sugli effetti degli inquinanti atmosferici sulla funzionalità cardiaca e respiratoria in soggetti suscettibili

Panel	Concentrazione giornaliera di inquinanti	Effetto
BCPO ^a (11 bronchitici cronici)	↑ $PM_{2,5}$ NO_2 CO	↓ funzionalità polmonare (FVC, FEV_1 e $FEV_{2,5-7,5}$)
IMA ^b (7 post infartuati)	↑ $PM_{2,5}$	↑ variabilità del battito cardiaco
Asmatici (11 soggetti)	↑ NO_2	↑ NO nell'aria espirata

a) Broncopneumopatia cronica ostruttiva

b) Patologia ischemica del miocardio

Emilia-Romagna (Responsabile scientifico: Susanna Lagorio). Sono stati coinvolti nello studio circa 6 000 gestori di impianti di rifornimento, seguiti per l'accertamento dello stato in vita e il recupero dell'eventuale causa di morte nel periodo 1981-96 (in totale 83 168 anni-persona).

I risultati dell'analisi dei tassi di mortalità hanno mostrato lievi incrementi di mortalità per tumore dell'esofago, tumori del rene, tumori del sistema nervoso centrale, e linfomi non-Hodgkin tra i gestori delle piccole stazioni, ma le stime non sono risultate statisticamente significative sull'insieme delle due coorti (Tabella 2). Inoltre, non si sono registrati incrementi della mortalità per leucemie, una neoplasia d'interesse *a priori* per la sua associazione con l'esposizione a benzene e a benzina. Dall'indagine è invece emerso un incremento statisticamente significativo di malattie del neurone motore (sclerosi laterale amiotrofica, in particolare), basato però su pochi decessi osservati e che necessita di ulteriore approfondimento.

Nonostante la mancanza di informazioni sulla esposizione cumulativa a vapori di carburante limiti l'accuratezza dello studio, si può concludere che non emergono eccessi di rischio statisticamente significativi per la mortalità generale o per singole cause di morte tra gli addetti all'erogazione di carburanti autoveicoli. Allo stato attuale non è quindi possibile stimare direttamente gli effetti a lungo termine dell'esposizione occupazionale a benzina e a bassi livelli di benzene in questi lavoratori.

ESPOSIZIONE A TRAFFICO VEICOLARE E BIOMARCATORI DI EFFETTI GENOTOSSICI

Oltre alla carenza di dati epidemiologici, diversi fattori ostacolano la valutazione degli effetti a lungo termine dell'esposizione a inquinanti e la puntuale

Tabella 2 - Mortalità per tumori maligni nei gestori degli impianti di rifornimento (6 019 soggetti, follow up 1980-96)

Tumori	SMR ^a	IC ^b 95%
Tutti i tumori	0,9	0,82 - 1,00
Apparato respiratorio	0,9	0,77 - 1,09
Apparato digerente	0,9	0,71 - 1,02
Esofago	1,1	0,60 - 2,06
Melanoma	1,0	0,80 - 1,15
Mammella	0,4	0,12 - 1,20
Rene	1,0	0,53 - 1,97
Sistema nervoso centrale	1,5	0,89 - 2,54
Sistema linfomopoietico	0,8	0,54 - 1,27
Leucemie	0,7	0,36 - 1,43
Linfomi non-Hodgkin	1,1	0,59 - 2,18

a) Standardized Mortality Rate
b) Intervallo di confidenza



identificazione dei fattori di rischio, tra cui la complessità e molteplicità degli agenti coinvolti, variabile in funzione delle condizioni ambientali, il possibile intervento di fenomeni di sinergismo e la difficoltà dell'extrapolazione degli effetti alle basse dosi. Queste difficoltà possono essere parzialmente superate ricorrendo all'analisi di *end-point* alternativi, surrogati dell'effetto avverso finale. Tra questi, i biomarcatori di esposizione e gli effetti biologici precoci sono proficuamente impiegati nel caso di esposizione a miscele complesse, come quella degli inquinanti atmosferici, in quanto forniscono una stima integrata dell'effetto indotto da molteplici agenti tenendo conto di possibili fattori di suscettibilità individuale.

Nel corso del progetto è stato quindi condotto un monitoraggio biologico dei vigili urbani di Roma, una popolazione modello per l'esposizione a inquinanti atmosferici con un profilo di esposizione simile a quello di altri lavoratori *outdoor* (giornalari, ambulanti, ecc.). La ricerca (Responsabile scientifico: Riccardo Crebelli) è stata svolta in collaborazione con il Comune di Roma e la cattedra di Medicina del Lavoro dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" e ha coinvolto circa 200 vigili, tra addetti al controllo della viabilità e amministrativi. Lo studio ha compreso l'analisi di biomarcatori di esposizione, di suscettibilità individuale e di effetti ge-

notossici nelle cellule del sangue, questi ultimi potenzialmente associati a un aumentato rischio di patologie irreversibili.

Una prima indagine ha riguardato l'intensità di esposizione a benzene e alchilbenzeni nei viabilisti e nel personale amministrativo durante l'attività lavorativa (Figura 1). Lo studio, effettuato durante il periodo dicembre 1998-giugno 1999, ha mostrato livelli medi di esposizione a benzene inferiori a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di benzene per gli addetti al controllo della viabilità nel centro storico e di poco superiori per quelli operanti in zone periferiche a medio-alto traffico. I livelli di esposizione a benzene e a composti aromatici dei viabilisti sono risultati confrontabili con quelli misurati contemporaneamente nell'aria urbana dalle centraline del Presidio Multizonale di Prevenzione - PMP (circa $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media). L'esposizione esterna a benzene dei vigili viabilisti è risultata comunque significativamente (circa tre volte) più elevata di quella del personale amministrativo, indipendentemente dal contributo di altre fonti come il fumo di tabacco, sia attivo che passivo.

Le misure di esposizione esterna con campionatori personali sono state affiancate dall'analisi di biomarcatori di esposizione interna a benzene (benzene ematico, acido *trans,trans*-muconico e S-fenilmercapturico urinari). Gli indicatori di dose interna studiati, sviluppati primariamente per il monitoraggio di esposizioni prossime ai TLV occupazionali, non hanno mostrato significative differenze tra vigili viabilisti e soggetti che svolgono attività di tipo amministrativo. Entrambi i biomarcatori urinari (acido *trans,trans*-muconico e S-fenilmercapturico) sono invece risultati significativamen-



te aumentati nei soggetti fumatori, indipendentemente dalla loro attività lavorativa e dall'esposizione a inquinanti atmosferici (Figura 2). Ciò indica che anche nella popolazione urbana esposta a traffico veicolare il fumo di tabacco dà un contributo prevalente all'esposizione personale a benzene, oltre che a numerose altre sostanze cancerogene.

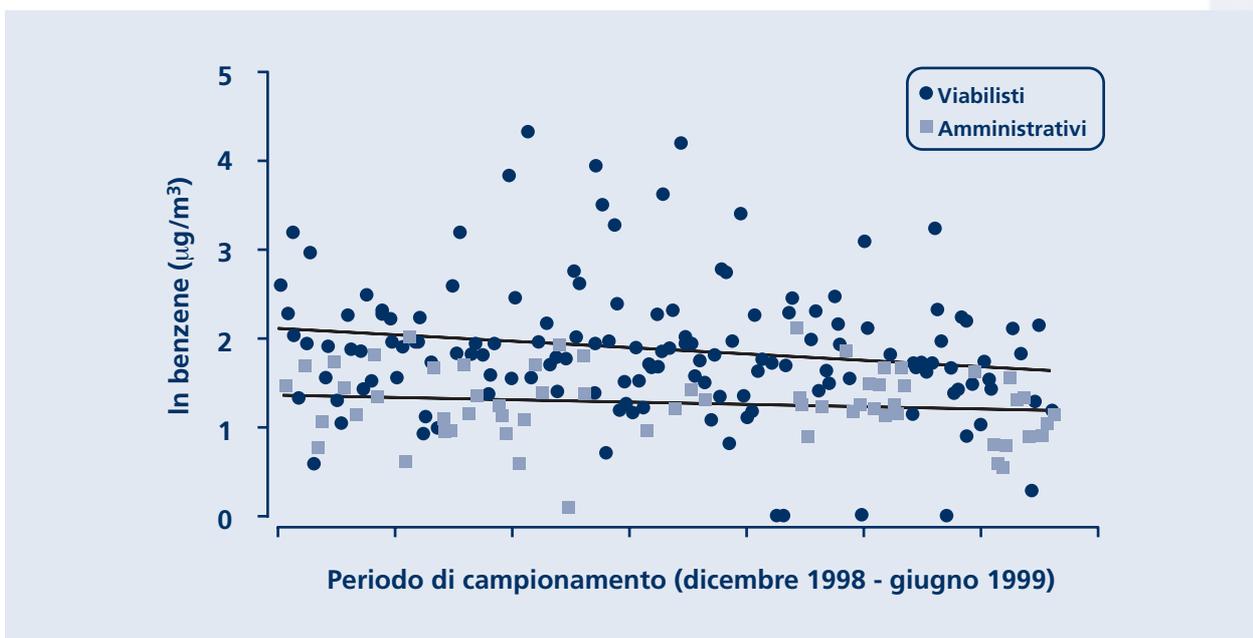


Figura 1 - Distribuzione dei valori di esposizione personale a benzene dei vigili urbani di Roma durante il turno lavorativo antimeridiano

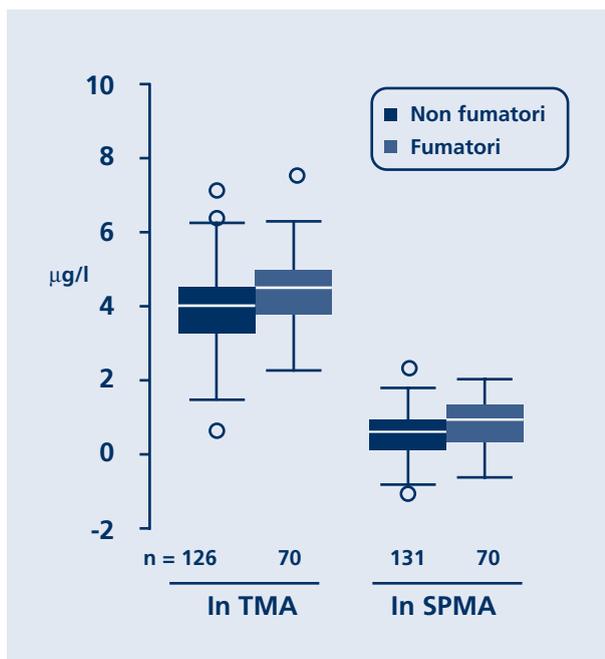


Figura 2 - Distribuzione dei valori individuali urinari di acido *trans,trans*-muconico (TMA) e S-fenilmercapturico (SPMA) in fumatori e non fumatori

Per valutare gli effetti biologici dell'esposizione al traffico sono stati poi analizzati alcuni marcatori di danno genotossico nei linfociti del sangue circolante: gli scambi tra cromatidi fratelli (SCE), i micronuclei, e le rotture del DNA. Sebbene i danni genetici nei linfociti non abbiano di per sé un significato patologico, e non siano quindi da considerarsi degli effetti avversi, essi possono segnalare precocemente l'esposizione a livelli biologicamente significativi di inquinanti genotossici nella popolazione studiata rispetto a una di riferimento. L'analisi di questi biomarcatori non ha mostrato eccessi di danni

Interventi preventivi per la riduzione del traffico porterebbero benefici alla salute pubblica

nei vigili viabilisti rispetto ai controlli, neanche tenendo conto delle capacità metaboliche individuali. L'abitudine al fumo è invece risultata associata in modo altamente significativo a un'umentata incidenza di scambi tra cromatidi

fratelli, e quantitativamente correlata al numero di sigarette fumate (Figura 3), confermando il contributo predominante del fumo di tabacco all'esposizione personale ad agenti genotossici.

Queste indagini sono state affiancate da altri studi, in parte ancora in corso, finalizzati a definire le basi della variabilità interindividuale nella risposta all'esposizione a inquinanti genotossici. I risultati di uno studio pilota suggeriscono per i vigili viabilisti una diminuzione nell'efficienza con cui vengono ri-

parati i danni sul DNA. Questo risultato, se confermato in studi di più ampia dimensione, può rappresentare un significativo fattore di suscettibilità individuale agli effetti a lungo termine degli inquinanti genotossici.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO E MALATTIE ALLERGICHE

Le malattie allergiche costituiscono un rilevante problema di salute pubblica, con elevati costi sociali legati sia alla spesa diretta per la diagnosi e la terapia, che a quella indiretta dovuta alla perdita di giornate lavorative. Dato che molte sostanze allergeniche sono ubiquitarie e aerodisperse, è possibile che l'inquinamento atmosferico giochi un ruolo importante nella eziopatogenesi delle malattie allergiche. Questa problematica è stata affrontata nell'ambito del progetto PR22-IS con un'indagine sui parametri allergologici in soggetti con elevata esposizione a inquinanti atmosferici (Responsabile scientifico: Carlo Pini, Laboratorio di Immunologia, ISS; in collaborazione con la cattedra di Medicina del Lavoro dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza"). A tal fine è stata selezionata una popolazione di 194 vigili urbani di Roma, addetti al controllo del traffico in zone ad alto o medio traffico veicolare o a mansioni amministrative. Su tutti i soggetti sono state effettuate visite specialistiche allergologiche, test di cutireazione (SPT) verso un pannello di 35 allergeni inalanti, e dosaggio delle IgE to-

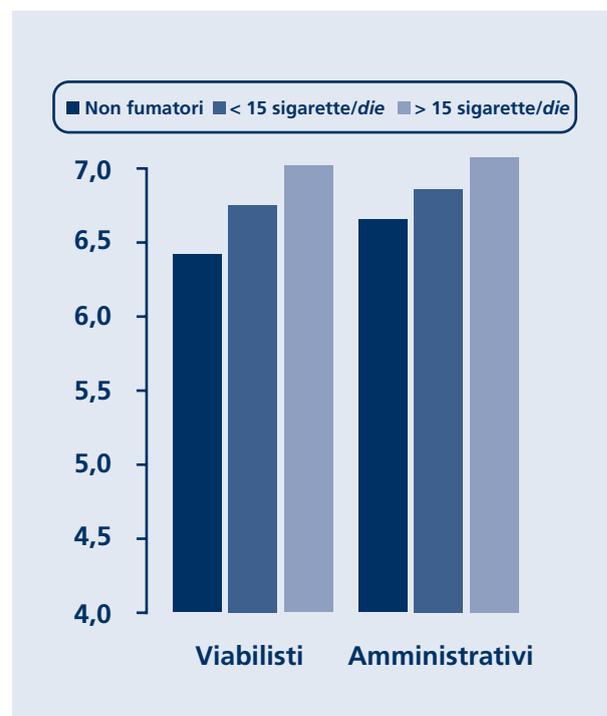


Figura 3 - Frequenza di scambi tra cromatidi fratelli (SCE) per cellula in vigili viabilisti e amministrativi fumatori e non fumatori



tali e delle IgE specifiche per particolari epitopi allergenici ampiamente condivisi (“panallergeni” ed epitopi glucidici), scelti come indicatori del livello di polisensibilizzazione.

L'esito degli SPT ha rivelato un'elevata prevalenza di positività, e quindi di sensibilizzazione allergica, nei soggetti in studio (in media 67%), senza significative differenze tra i tre gruppi: esposti ad alto traffico, a medio traffico, amministrativi (Tabella 3). L'esame della storia professionale dei vigili ha tuttavia messo in evidenza che la quasi totalità dei soggetti, a prescindere dalla mansione attuale, aveva precedentemente svolto periodi più o meno lunghi di attività lavorativa nel traffico. A ciò potrebbe imputarsi l'inattesa alta prevalenza di sensibilizzazione allergica osservata negli amministrativi. Per verificare questa possibilità è in corso un'indagine supplementare su un gruppo di popolazione con le stesse caratteristiche socio-demografiche, senza precedente esposizione professionale all'inquinamento da traffico.

“
Tra i vigili urbani di Roma è stata rilevata un'elevata prevalenza di sensibilizzazione allergica
”

La determinazione quantitativa delle IgE totali ha dato risultati sostanzialmente concordanti con i risultati delle cutireazioni. L'analisi *in vitro* delle IgE specifiche per epitopi allergenici ampiamente condivisi ha permesso di chiarire che tra tutti i soggetti con positività cutanea verso più allergeni (soggetti polisensibili), solo una parte presenta anticorpi IgE specifici per allergeni condivisi da fonti non tassonomicamente correlate. Tutti gli altri casi di polispecificità sono da ricondurre a una positività verso molteplici allergeni, oppure alla possibile reattività verso altri panallergeni non ancora noti.

In conclusione, l'alta incidenza di sensibilizzazione allergica osservata nei vigili urbani, superiore a quanto riportato in letteratura per la popolazione generale, sembra indicare che l'esposizione recente o passata agli inquinanti prodotti dal traffico veicolare possa favorire lo sviluppo delle patologie allergiche, contribuendo alla multifattorialità della malattia. Una conferma dell'ipotesi verrà dal completamento dell'indagine in corso su soggetti senza pregressa esposizione professionale a traffico veicolare.

Tabella 3 - Risultati dei test di sensibilizzazione cutanea (SPT) nei vigili urbani di Roma

Vigili	n. soggetti	SPT positivi (%)	SPT positivi sintomatici (%)
Viabilisti (I Circostrizione, centro storico)	69	47 (68,1)	41 (59,4)
Viabilisti (VIII e XX Circostrizione)	67	44 (65,7)	37 (55,2)
Amministrativi	58	43 (74,1)	39 (67,2)
Totale	194	134 (69,1)	117 (60,3)



Mappa della città di Roma in cui è delimitata la cosiddetta fascia blu, cioè la zona del centro storico a traffico limitato

CONCLUSIONI

Ciascuna delle ricerche brevemente descritte ha toccato aspetti di rilevante interesse scientifico, con risultati utili per una realistica valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico urbano sulla salute. Gli studi *panel* hanno confermato l'impatto immediato dell'inquinamento da polveri fini, soprattutto su soggetti suscettibili per patologie in atto. Dal momento che le emissioni autoveicolari costituiscono la principale sorgente di particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2,5})

Nella popolazione urbana è in costante aumento la diffusione delle allergie

nell'ambiente urbano, si può ritenere che interventi preventivi specificamente mirati alla riduzione del volume di traffico possano portare immediati e significativi benefici alla salute pubblica. Oltre agli effetti acuti, altre patologie concorrono a definire l'impatto del "fattore urbano" sulla salute. Tra queste la diffusione delle allergie nelle popolazioni urbane, sulla cui eziologia la ricerca pilota sui vigili urbani sembra offrire una nuova, ulteriore chiave di lettura, indicando la presente o passata esposizione a traffico veicolare come una possibile concau-

sa. Infine, per quanto riguarda i rischi di effetti a lungo termine da inquinanti cancerogeni, lo studio di mortalità sui benzinaisti suggerisce che l'eventuale rischio incrementale associato all'esposizione occupazionale a basse dosi di benzene (< 1ppm) sia di dimensione tale da non potersi apprezzare in studi di potenza limitata. Tuttavia le informazioni disponibili sul

I vigili viabilisti hanno livelli di esposizione a benzene più elevati rispetto ai vigili amministrativi

meccanismo d'azione del benzene fanno ritenere in via cautelativa che anche l'esposizione a dosi molto basse non sia teoricamente del tutto priva di rischi. A questo riguardo, l'indagine sull'esposizione a benzene dei vigili urbani ha mostrato per gli addetti al controllo della viabilità livelli di esposizione personale di 2-3 volte più elevati rispetto a quelli dei soggetti con mansioni amministrative. L'attività *outdoor* incide quindi significativamente sul profilo di esposizione personale a questo cancerogeno genotossico. All'esposizione ambientale si somma tuttavia il contributo di fonti diverse che possono assumere, come nel caso dell'abitudine al fumo, un peso predominante. Appare quindi raccomandabile l'adozione di misure atte a ridurre ulteriormente la contaminazione ambientale da benzene, attraverso sistemi di abbattimento delle emissioni o di ricircolo delle perdite evaporative. L'evidenza ottenuta sul ruolo predominante del fumo di tabacco sull'esposizione interna a benzene e sull'incidenza di danni genotossici pone comunque in primo piano la necessità di una parallela educazione sanitaria che indirizzi i cittadini a scelte consapevoli.

Riferimenti bibliografici

1. World Health Organization. The world health report 2002 - Reducing risks, promoting healthy life. Geneva: WHO; 2002. (<http://www.who.int/whr/>).
2. Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, et al. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *Lancet* 2002; 360: 1347-60.
3. APHEIS - Air Pollution and Health: a European Information System. Health impact assessment of air pollution in 26 European cities. Second-year report 2000-01. (<http://www.apheis.net/>).
4. Carere AR, Crebelli R. (eds). Biomonitoring of human populations exposed to petroleum fuels, with special consideration of the role of benzene as a genotoxic component. Report of the EC Environment programme project EV5V-CT92-0221. Roma, Istituto Superiore di Sanità; 1997. Serie Relazioni 97/4. p. 102.
5. Carere A, Crebelli R. (eds). Biomarkers for environmental and occupational exposure to aromatic mutagens and carcinogens from emissions of oil shale petrochemistry. Report of the EC PECO programme project CIPA-CT92-3016. Roma, Istituto Superiore di Sanità; 1998. Serie Relazioni 98/1. p. 48.