

G. Bertoni, C. Ciuchini,
I. Allegrini - Istituto
sull'Inquinamento
Atmosferico del Cnr,
AdR di Roma.

Gli inquinanti organici, dispersi in atmosfera sotto forma di gas e vapori, possono essere classificati con diversi criteri. Se si elegge un criterio di valutazione legato prevalentemente agli effetti sulla salute umana dobbiamo allora distinguere effetti: di breve e lungo periodo, reversibili e irreversibili, acuti e cronici. Gli effetti acuti che si manifestano su breve periodo di esposizione sono quasi sempre correlabili a sostanze impiegate nelle lavorazioni industriali di tipo chimico o farmaceutico. In tal caso la sorveglianza riguarda sostanzialmente il livello di esposizione dei lavoratori addetti e per attuarla si impiegano campionatori personali da indossare

Figura 1
Il campionatore passivo
"Analyst".



per il turno di lavoro. Poiché l'esposizione a dette specie riguarda, in linea di principio, una popolazione adulta e in buona salute, un numero limitato di ore giornaliere con giorni di riposo settimanali, ferie annuali ed un arco di vita lavorativa compreso tra i trenta e i quarant'anni, si accettano, in tali ambienti, valori di concentrazione piuttosto alti, dell'ordine dei milligrammi per metro cubo, in misura variabile da specie a specie. Tali valori sono indicati in una tabella di TlV-Twa (Threshold Limit values-Time Weighted Average) determinata dagli igienisti industriali ed aggiornata anno per anno sulla base delle risultanze medico-statistiche. In questa sfera si comprendono sia le specie in grado di determinare effetti acuti, reversibili e non, sia quelle che provocano danni cronici irreversibili. In dette tabelle si tiene conto talvolta anche del fattore "fastidio", in genere legato all'odore, in quanto anche il disagio può creare situazioni di pericolo e di danno a lungo termine. Altri effetti acuti possono essere legati alla diffusione massiva di inquinanti a seguito di gravi incidenti industriali, catastrofi naturali, attentati terroristici, incendi e eventi bellici ma questo esula dalla nostra trattazione in quan-

to tali eventi possono essere talvolta mitigati nelle loro conseguenze da protocolli di sorveglianza e prevenzione ma in questo ambito il ruolo del monitoraggio è di solito marginale. Purtroppo le statistiche igienico sanitarie sono poco sviluppate per quanto riguarda l'esposizione cronica a livelli molto bassi (che sono solitamente anche molto al di sotto delle nostre capacità olfattive) di composti che possono causare grave danno anche quando non se ne conoscono effetti tossici di particolare gravità per le esposizioni acute. Parliamo in tal caso di inquinanti primari, dotati in genere di una buona stabilità chimica, e quindi di un alto livello di persistenza, nell'ambiente. Molte specie organiche vengono diffuse in aria in seguito all'impiego di autoveicoli e con l'uso di combustibili fossili per il riscaldamento domestico. Si tratta in genere di sostanze contenute nella benzina e nel gasolio rimaste incombuste nel ciclo di utilizzo ma anche di specie derivanti da combustione parziale e/o da reazioni secondarie in atmosfera. Lo studio degli effetti di tali specie, normalmente presenti in concentrazioni dell'ordine dei microgrammi per metro cubo nell'aria delle metropoli moderne

MONITORAGGIO DI SPECIE ORGANICHE DI INTERESSE IGIENICO-SANITARIO

L'osservazione del comportamento delle sostanze organiche presenti nell'atmosfera aiuta a conoscere gli effetti che esse possono avere sulla salute umana, permettendo di individuare le fonti di inquinamento e elaborare strategie di risoluzione dei problemi ad esse correlati.

tecnologie e ambiente

[concentrazioni che sono di circa tre ordini di grandezza al di sotto di quelle in genere presenti nei siti industriali], è particolarmente lungo e difficile in quanto, non esistendo sintomatologie di tipo specifico, è necessario discernere l'azione di certe sostanze in un contesto nel quale abitudini e stili di vita (fumo, alcol, cibo), ereditarietà, malattie e farmaci, situazioni dell'ambiente di lavoro e perfino fattori etnici e meteorologici vengono a concorrere alla sorte finale dei singoli individui. È giunta quindi con ritardo, rispetto ad altri provvedimenti per la tutela della salute pubblica, l'emanazione da parte delle autorità preposte di criteri di valutazione e controllo di alcune specie chimiche responsabili di una certa incidenza statistica delle malattie oncologiche.

Riconoscendo all'Italia il merito di essere stata la prima nazione nel mondo ad emanare una normativa sul benzene e di essere stata promotrice della successiva iniziativa europea in tal senso, annotiamo che, accogliendo le disposizioni emanate in sede Ue, dal 2002, in Italia l'assetto sulla qualità dell'aria ha subito, da un punto di vista normativo, un profondo cambiamento. Le novità, solo in parte sostitutive di precedenti disposizioni, sono essenzialmente legate all'emanazione del DM n° 60 del 02/04/2002 e a quella del DM n° 261 del 01/10/2002. Il primo dei due DM citati ha stabilito sia nuovi limiti da rispettare sia criteri per le strategie di campionamento e misura, rispettivamente delle seguenti sostanze: biossido di zolfo; biossido di azoto e ossidi di azoto; particolato (PM10 e PM2,5); piombo; monossido di carbonio e benzene. Per questi parametri, seguendo la norma comunitaria di cui il decreto costituisce atto di recepimento, viene definito un "valore limite", come obiettivo da raggiungersi entro un determinato anno, e un "margine di tolleranza" (da aggiungersi al limite) di entità decrescente annualmente man mano che ci si avvicina all'anno fissato per l'obiettivo. Per quel che concerne il benzene, un cancerogeno

riconosciuto in categoria 1, così come specificato nell'allegato V del suddetto DM 60/02, il valore limite per la protezione umana (espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nell'anno civile. Tale valore è stato concesso in deroga al nostro Paese a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dal 2002 e va ridotto, a partire dal 1° gennaio 2006 e, successivamente, ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere il valore fissato di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al 1° gennaio 2010. L'altra normativa citata, il DM 261/02, fornisce dal canto suo, un insieme di elementi preziosi per trasformare i dati rilevati con i monitoraggi in informazioni da utilizzarsi in una valutazione della qualità dell'aria su vasta scala, valutazione da intendersi come doverosamente preliminare alla redazione di piani non solo di risanamento delle situazioni critiche ma anche di più generale miglioramento. Per effettuare tale valutazione bisogna riferirsi all'allegato I del DM 261/02 che contiene direttive disciplinanti le modalità di misurazione delle concentrazioni del benzene e delle sostanze organiche volatili quali chetoni, alcoli, eteri ed esteri, effettuate con campionatori passivi. Tali leggi e criteri tengono conto del dato medico statistico che lega la probabilità dell'insorgenza della malattia oncologica non a singoli eventi di esposizione acuta, ma alla cronica presenza in aria e all'accumulo di sostanze suscettibili di provocare un danno al patrimonio genetico della cellula. Per tale ragione appare scarsamente motivato l'impiego di sistemi di monitoraggio in continuo, capaci di dare risposte in tempo reale, il cui impiego è più adatto allo studio della dinamica dei fenomeni, sia per la correlazione con parametri meteorologici e con l'intensità di alcune attività della popolazione, sia per lo studio di fenomeni secondari legati alla contemporanea presenza di altre specie, all'insolazione, alla temperatura ed altro. L'impiego di sistemi di campionamento capaci di collezionare per lunghi periodi (da settimane a mesi) le specie di interesse in modo con-

tinuo e lineare appare la più adatta alla determinazione di un fattore medio di esposizione della popolazione.

Il campionamento passivo

Verso la fine degli anni '90 abbiamo affrontato, nel nostro Istituto, il problema dello sviluppo di un sistema di campionamento diffusionale di nuova concezione, che permettesse di unire alla praticità di tale metodo quelle caratteristiche di affidabilità, accuratezza e precisione che ne consentissero un uso alternativo a strumentazioni più costose e sofisticate. Un campionatore passivo (diffusivo) è uno strumento che cattura campioni di inquinanti gassosi (o in fase vapore) dall'atmosfera con un flusso di campionamento determinato dalle leggi fisiche della diffusione molecolare. Tali specie attraversano uno strato d'aria immobile o permeano attraverso una membrana ma ciò non implica alcun flusso d'aria attivo, solo la migrazione da una zona in cui esse hanno una data concentrazione (l'aria ambiente) ad una in cui tale concentrazione è prossima a zero (tale è la concentrazione al fondo del dispositivo dove viene posta una sostanza, in genere carbone attivo, in grado di trattene le sostanze di interesse al suo interno, sottraendole all'ambiente gassoso). Il termine "passivo", usato per questi campionatori, è spesso preferito al termine "diffusivo" in quanto, anche se il fenomeno principale che ne regola il funzionamento è quello diffusivo descritto dalla legge di Fick, a volte, per esempio per via dell'uso di barriere semipermeabili o per interazioni di parete, il fenomeno della captazione si presenta più complesso e, comunque con il termine "passivo", si vuole sottolineare il fatto che tali dispositivi non necessitano di alcun sistema ausiliario meccanico o elettromeccanico (pompe o altro). Il funzionamento è particolarmente semplice: si apre la "bocca d'ingresso" e inizia il campionamento, la si chiude e il campionamento cessa. Il primo vero approccio all'uso del campionamento passivo

tecnologie e ambiente

	Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Toluene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Xileni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Estate	5,2	6,9	4,9
Autunno	11,3	10,6	7,6
Inverno	12,8	8,7	6,1
Primavera	5,7	6,3	4,3
Media annuale	8,8	8,1	5,7

Tabella - Valori medi, stagionali ed annuali, dei Btx nella città di Pancevo.

data al 1973, quando E. D. Palmes propose l'impiego di tubi contenenti un reattivo specifico per il campionamento diffusivo dell'ossido di zolfo. Da allora è stata prodotta una vasta gamma di campionatori passivi ma il loro uso è stato limitato per lungo tempo alla valutazione dell'aria in ambiente industriale e per lo più per una sommaria mappatura della situazione di rischio, a livello di "screening" iniziale, dei lavoratori addetti. Ciò in quanto molti di questi sistemi, con poche eccezioni, non presentavano un livello di accuratezza e precisione migliore del 25%. Nessuno di essi poi era concepito per campionamenti di lunga durata, in altre parole la linearità di campionamento variava, a seconda del tipo, da poche ore a meno di una setti-

mana se usato in ambiente urbano. Lo strumento da noi proposto, attualmente noto con il nome commerciale di "Analyst", di Aquaria, è stato espressamente concepito per campionare su lungo periodo. La geometria, i materiali del supporto ed il carbone attivo impiegato come adsorbente, sono stati studiati al fine di ottenere il miglior compromesso possibile tra la velocità di captazione che, in relazione al tempo di esposizione, determina la sensibilità del sistema, la linearità della stessa che è correlata alla qualità e quantità del materiale adsorbente, la riduzione di tutti gli "artifact" legati a condizioni ambientali, cioè alla velocità del vento o alla stagnazione dell'aria e di quelli collegati ai materiali, cioè rilascio di molecole dagli stessi, permeazioni positive e negative, effetti catalitici ecc. Anche i fenomeni di retrodiffusione sono stati minimizzati al punto di risultare irrilevanti nel corso della lunga sperimentazione effettuata. Il campionario da noi proposto è risultato infine certificabile per un impiego alternativo ai metodi ufficiali di riferi-

mento avendo un livello di accuratezza e precisione che consente di valutare in modo affidabile la concentrazione degli idrocarburi aromatici (benzene, toluene, etilbenzene e xileni, detti in breve Btex) entro il limite di confidenza di $\pm 10\%$ circa.

Vantaggi dei campionatori passivi

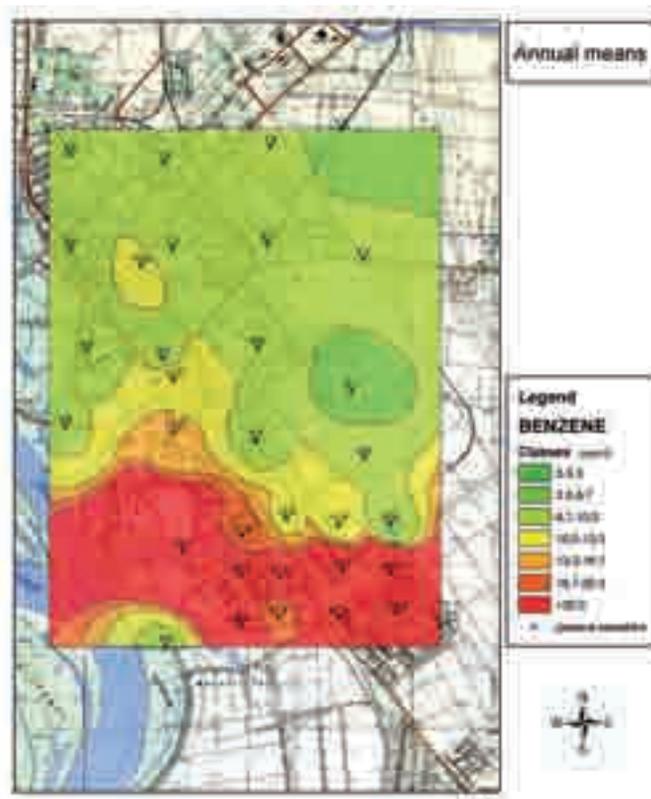
L'impiego di un affidabile sistema di campionamento passivo offre due fondamentali vantaggi. Il primo è di carattere economico: i campionatori passivi sono piccoli, silenziosi, di basso costo e possono essere posizionati e prelevati da personale non specialistico. Nel caso poi di campionatori di lungo periodo (il periodo di impiego ottimale di Analyst è di circa un mese in ambiente urbano) un ulteriore risparmio è costituito dal fatto che, per ogni sito campionato si ottiene il valore medio di concentrazione degli inquinanti organici con una singola analisi. L'impiego di più campionatori su brevi periodi agirebbe da moltiplicatore dei costi perché la maggiore risoluzione temporale ottenuta non è utile ai fini igienico-sanitari. Il secondo vantaggio è, in una certa misura, correlato al primo: a parità di spesa (rispetto ai dispositivi di breve periodo) si possono definire più punti di prelievo, a parità di territorio, ottenendo in tal modo una mappatura molto più dettagliata.

Risultati di campagne di monitoraggio

Nel corso degli ultimi sette anni il nostro istituto è intervenuto in un costante lavoro di consulenza, assistenza tecnica e anche intervento diretto, per consentire alle amministrazioni che si sono fatte parte diligente, in Italia e all'estero, di valutare le situazioni locali e calibrare gli interventi, strutturali e non, atti a migliorare le condizioni ambientali. Dopo un esordio di mappatura della Regione Lombardia abbiamo portato a buon fine interventi sulle città dell'Umbria, a Parma (con valutazioni mensili su oltre un anno) e successivamente anche in località estere, in Europa ed in Asia, con

Figura 2 - Valutazione preliminare della qualità dell'aria a Pancevo (Serbia) mediante campionatori passivi.

Mappa di distribuzione del Benzene, media annuale



campagne ancora in corso su numerose località della Cina. L'applicazione di modelli diffusionali *ad hoc* permette di avere una facile visione d'insieme dei fenomeni d'inquinamento e di individuare con facilità i "punti caldi", cioè, in pratica, le principali fonti di emissione sulle quali può svilupparsi l'intervento di risanamento da parte delle autorità preposte. A titolo di esempio riportiamo nel seguito i risultati di una campagna condotta nel 2006, nell'ambito del progetto di cooperazione Italo-Serba "Environmental monitoring and sustainable requalification of selected industrial areas in the Republic of Serbia" del Ministero Italiano dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, l'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico ha preso parte al "Pancevo Action Program", coordinato da Cetma, con il progetto "Industrial Air Pollution Management System (Iapms) in Pancevo". Tale progetto prevedeva la pianificazione e la realizzazione di un sistema per la gestione dell'inquinamento industriale. Una delle fasi più importanti è stata quella della valutazione preliminare della qualità dell'aria, che è stata condotta utilizzando i campionatori passivi "Analyst" ed effettuando una mappatura di tutto il territorio cittadino (35 siti) durante 8 campagne di monitoraggio rappresentative delle quattro stagioni. In Figura 2 è riportata la mappa di distribuzione delle concentrazioni medie annuali del benzene, ottenuta applicando un modello matematico ai risultati di tali campagne. Nella mappa la scala dei colori è quella da noi standardizzata per rappresentare visivamente i livelli di pericolosità degli inquinanti: dal verde al rosso sale la concentrazione di specie indesiderate. L'osservazione di questa mappa dà quindi indicazioni precise sulla localizzazione delle principali sorgenti e sui livelli di inquinamento da benzene presenti nelle varie zone. Come c'era da aspettarsi i valori più alti si sono riscontrati nei pressi delle

raffinerie petrolifere situate nella zona industriale ed i valori degradano in direzione del centro abitato per aumentare nuovamente, anche se non in misura rilevante, nel centro cittadino nel quale, a causa del traffico automobilistico, si riscontrano valori più elevati che in periferia ma con rapporti relativi agli altri componenti aromatici che comunque sono indicativi dell'influenza non trascurabile della zona industriale. In Tabella sono riportati i valori medi, stagionali ed annuali dei Btx nella città di Pancevo. L'elevato rapporto benzene/toluene e benzene/xilene è tipico delle zone in cui si lavorano prodotti petroliferi. Infatti, in zone urbane soggette al solo contributo del traffico veicolare tale rapporto, in media è di circa 1:3 per quanto riguarda il toluene e di circa 1:1 per quanto riguarda gli xileni. Il metodo impiegato risulta anche idoneo per la determinazione dell'inquinamento indoor; un problema emergente per quanto riguarda la tutela della salute, considerando che l'ambiente domestico è quello in cui si trascorre la maggior parte della vita. Il campionatore proposto infatti ha un funzionamento lineare anche in presenza di velocità dell'aria minime, quali quelle degli ambienti confinati, consentendo quindi un valido confronto a seguito di campionamenti sincroni con l'aria esterna. Il nostro istituto sta operando in tal senso per valutare il complicato fenomeno connesso al fatto che, negli ambienti in cui il rapporto superficie-volume è alto e la qualità delle materie presenti è variamente articolata, i fenomeni sono di grande complessità, in quanto comprendono effetti quasi contemporanei di adsorbimento, rilascio e trasformazione di un numero di specie superiore a quelle presenti in atmosfera perché alle sostanze provenienti dall'esterno si sommano tutte le specie derivanti dalle suppellettili e dai prodotti di uso domestico. ■



FLOWWIZ™

Non è proprio magico.



Quasi.

Ecco **FLOWWIZ™** l'innovativo misuratore di portata elettromagnetico a batteria di ISOMAG™, con **sensori standard** da **DN3** a **DN2000** e fino a **DN8000** con il modello a inserzione.



Ma **FLOWWIZ™** di ISOMAG™ è molto, molto di più:

- **Wireless communication - GPRS -**
Ricevete i dati per E-mail o sms, compatibili Excel e foglio elettronico;
- **Memorizzazione dati - 1 Mb -**
Scarico dati completo, veloce ed economico;
- **Sensori senza elettronica a bordo**
Niente elettronica, nessun intervento;
- **Convertitore compatibile con la maggior parte dei sistemi a batteria già installati**
Incredibile risparmio di tempo, lavoro e denaro;
- **Durata della batteria fino a 10 anni**
La più lunga attualmente disponibile sul mercato.

E se non è ancora abbastanza: vendite@isoil.it



Cinisello B. - Mi (Italy)
tel. +39 0266027.1
www.isoil.com

ISOIL™
INDUSTRIA