

## Valutazione di indici di qualità dell'atmosfera attraverso una sperimentazione didattica

### Riassunto

Vengono descritti semplici esperimenti per la determinazione delle principali specie inquinanti presenti nell'atmosfera con l'impiego di attrezzature elementari, ma di notevole affidabilità scientifica. Tali esperimenti, che possono essere eseguiti nei corsi propedeutici universitari e dagli studenti delle scuole medie superiori, consentono di monitorare le differenti specie chimiche in luoghi diversi, ottenendo una mappatura degli inquinanti, utile soprattutto

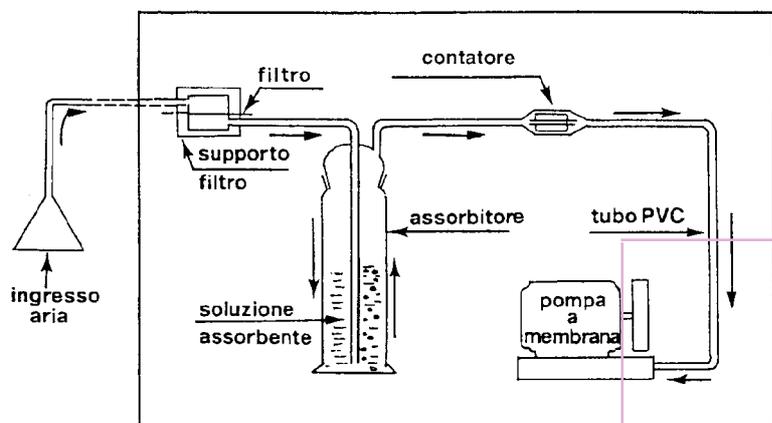
ARNALDO LIBERTI (\*)  
ALDO NAPOLI (\*\*)

tari e che, per la loro semplicità, possono essere eseguiti come attività propedeutica nei corsi di chimica ambientale e nelle Scuole medie superiori, inserendosi nell'insegnamento sperimentale delle discipline scientifiche.

Gli studenti hanno la possibilità, mediante una diretta sperimentazione, di fondamentali di applicandoli per riempirci e con propri, dati di indubbi valutazione del loro avere anche un

L'Università della Tuscia ha intrapreso questa attività di monitoraggio con la collaborazione degli alunni delle Scuole Superiori della Provincia di Viterbo, tramite il concorso della SIPS (Società Italiana per il Progresso delle Scienze), dell'Assessorato all'Ambiente e del Provveditorato agli Studi di Viterbo che ha segnalato alle Scuole questa iniziativa.

Le specie inquinanti presenti nell'atmosfera possono essere campionate mediante campionatori attivi o mediante campionatori passivi. Utilizzando i primi si campiona un volume misurato di aria in una soluzione opportuna, mentre con i secondi si sfrutta il principio della diffusione molecolare fissando la specie inquinante su di un idoneo sistema assorbente. In entrambi i casi si procede successivamente all'analisi.



### Introduzione

Nell'intento di consentire ad insegnanti e studenti di familiarizzarsi con uno dei fenomeni più preoccupanti della nostra civiltà, ossia il deterioramento dell'ambiente in cui l'uomo vive, è stata realizzata questa raccolta di esperimenti che necessitano di apparecchiature e dispositivi elemen-

Fig. 1 - Dispositivo sperimentale per il campionamento di aria e polveri.

(\*) Dipartimento di Chimica,  
Università La Sapienza - 00185 Roma

(\*\*) Dipartimento di Scienze Ambientali,  
Università della Tuscia - 01100 Viterbo  
e-mail: [napoli@unitus.it](mailto:napoli@unitus.it)

valore sociale in quanto integrano i dati che vengono ricavati mediante reti di rilevamento con campionatori automatici dalle autorità cui è demandato il compito di vigilare sulla qualità dell'atmosfera.

Un campionatore attivo, il cui schema è mostrato in figura 1, è costituito da una pompa aspirante (portata 0,5-1 L/min), un contatore di volume e una soluzione assorbente che dipende dalla specie da determinare.

In serie con l'assorbitore è situato un idoneo portafiltri per campionare le polveri atmosferiche illustrato in figura 2.

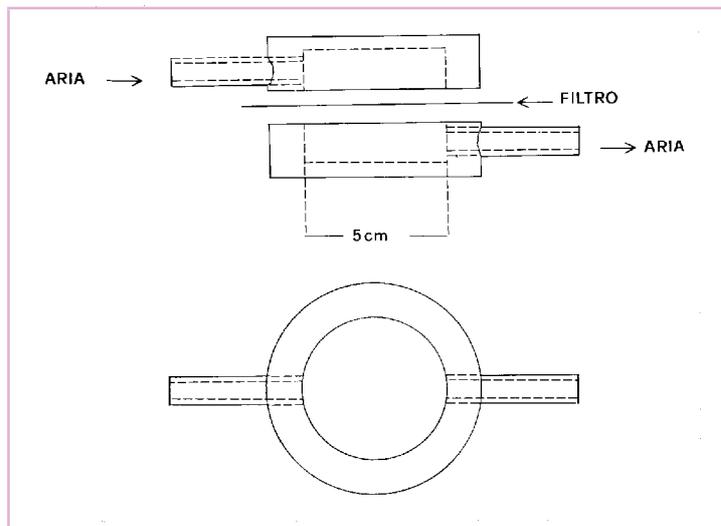


Fig. 2 - Dispositivo per l'inserimento del filtro per la determinazione del contenuto in polveri dell'atmosfera.

Per il prelievo è necessario un tubo di plastica al quale è collegato un imbuto anch'esso di plastica. L'imbuto viene fatto sporgere a qualche metro di altezza da terra e alla distanza di almeno un metro dal muro di qualunque edificio.

Nell'assorbitore viene trasferito un volume noto di soluzione assorbente e, sistemata l'apparecchiatura per il prelievo, si aziona la pompa, segnando l'ora di inizio del campionamento. La durata del campionamento, che di solito dipende dal grado di inquinamento della zona, dalle condizioni atmosferiche e dalla stagione, è indicata in ciascuno dei procedimenti descritti.

Con il termine di campionatori passivi si intendono dispositivi di varia forma e dimensione su cui vengono disposti opportuni materiali assorbenti specifici per le specie inquinanti che si desidera valutare.

Vengono utilizzati tubicini di materiale plastico o di vetro, strutture circolari o dispositivi di varia forma. I campionatori passivi vengono in genere impiegati quando si debbano determinare specie presenti in tracce per le quali è necessario un notevole tempo di campionamento.

La teoria del campionatore passivo si basa sulla legge di Fick, che riguarda la velocità di diffusione delle molecole

in una massa fluida quando esiste un gradiente di concentrazione. La concentrazione della specie cam-

pionata è funzione della lunghezza del cammino diffusionale ossia della distanza tra la bocca di prelievo e lo strato assorbente,  $L$ (cm) della sezione  $S$  (cm<sup>2</sup>) dell'area di diffusione e del tempo di campionamento,  $t$  espresso in secondi ed è valutabile mediante la seguente espressione:

$$C = \frac{m \times L}{D \times S \times t}$$

dove  $m$  è la massa e  $D$ (cm<sup>2</sup>/sec) il coefficiente di diffusione della specie campionata.

Pertanto, misurata la massa  $m$  dell'inquinante campionato durante il tempo  $t$ , si risale alla sua concentrazione mediante la relazione seguente:

$$C = \frac{K \times m}{t}$$

$C$  risulta espressa nelle stesse unità di  $m$  per metro cubo. Se cioè si esprime  $m$  in mg, si ottengono mg/m<sup>3</sup>, se si esprime  $m$  in µg, si ottengono µg/m<sup>3</sup> e così via.

$K$  è una costante che dipende dal campionatore utilizzato e dalla sostanza da determinare, di solito è fornita dal rivenditore e si riferisce alla temperatura di 25 °C. Se la costante  $K$  non è nota, può essere determinata

sperimentalmente mediante misure di confronto con un campionatore attivo. Se la temperatura di campionamento è significativamente diversa da 25 °C è conveniente correggere il valore della concentrazione ricavata moltiplicandolo per un fattore pari a:

$$\sqrt{\frac{T}{298}}$$

dove  $T$  è la temperatura media ambientale in gradi kelvin.

## PARTE SPERIMENTALE

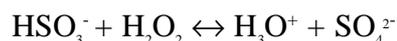
### USO DEI CAMPIONATORI ATTIVI

I campionatori attivi sono stati impiegati per la determinazione del biossido di zolfo, degli ossidi di azoto e del materiale particolato.

### Determinazione del biossido di zolfo

La soluzione assorbente è costituita da acqua ossigenata ad 1 volume di ossigeno, avente un pH=4,6 ottenuto utilizzando un indicatore misto costituito da rosso metile e verde di bromocresolo, che vira al grigio neutro, passando dal rosso arancio (pH<4,6) al blu (pH>4,6).

L'assorbimento di biossido di zolfo presente nell'atmosfera produce un incremento di acidità della soluzione assorbente in quanto viene ossidato dall'acqua ossigenata ad acido solforico secondo la seguente reazione:



La quantità di acido così formata è determinata per titolazione con una soluzione alcalina a concentrazione nota riportando il pH al valore iniziale.

Alla fine del campionamento (della durata di 24 ore) si arresta la pompa e si misura il volume campionato. Si trasferisce la soluzione assorbente in un cilindro graduato, ripristinando il volume iniziale con acqua distillata.

Si versa la soluzione in una beuta da 150 mL, si aggiungono 2 o 3 gocce di indicatore e si titola con la soluzione di sodio carbonato fino al viraggio dell'indicatore da rosso arancio a grigio neutro.

### Reattivi occorrenti

#### Soluzione assorbente

La soluzione assorbente è costituita da acqua ossigenata ad 1 volume di ossigeno avente un pH=4,6. Per prepararla si pre-

levano 10 mL di soluzione di acqua ossigenata a 90-100 volumi e si trasferiscono in un pallone tarato da 1 litro portando a volume con acqua distillata.

Si prelevano 100 mL di questa soluzione e si aggiunge qualche goccia di indicatore. Si titola con acido cloridrico 0,004 M fino al viraggio dal blu al grigio neutro.

Determinata questa quantità, si aggiunge al resto della soluzione nove volte il volume impiegato nella titolazione.

In un'aliquota della soluzione si verifica che con 2 o 3 gocce di indicatore si abbia la colorazione grigio neutra. La soluzione va conservata al fresco e lontana dalla luce.

#### **Soluzione titolante (sodio carbonato 0,004 N)**

Si prepara sciogliendo 0,2120 g di sodio carbonato anidro in 1 litro di acqua distillata.

#### **Indicatore misto**

Si prepara aggiungendo rosso metile (10 mg) e verde di bromocresolo (90 mg) in 100 mL di alcol etilico. Conservare la soluzione in bottiglia scura.

Se  $V$  è il volume di aria campionato, espresso in metri cubi, indicando con  $v$  il volume di soluzione titolante, espresso in mL, impiegato nella titolazione, si ricava il contenuto di  $SO_2$  nell'atmosfera tramite la relazione:

$$SO_2 (\mu g / m^3) = \frac{v \times 0,004 \times 32 \times 10^3}{V} = \frac{v \times 128}{V}$$

Il procedimento illustrato non è specifico per la  $SO_2$  in quanto vengono determinati anche altri acidi forti presenti nell'atmosfera, ma di solito questi sono in concentrazione molto minore rispetto al biossido di zolfo per cui il loro contributo può essere trascurato.

Il limite di sensibilità può essere ricavato dalla relazione che consente di risalire alla concentrazione dell' $SO_2$  nell'aria campionata. Dato che il flusso di campionamento è pari a circa  $1 m^3/giorno$ , supponendo un prelievo della durata di 24 ore, per  $v = 0,1$  millilitri (quantità minima di soluzione titolante valutabile con la buretta utilizzata) si ottiene un limite di sensibilità pari a circa  $12,8 \mu g/m^3$ . La concentrazione di questo inquinante nell'atmosfera può risultare spesso inferiore a questo valore, a causa della progressiva metanizzazione degli impianti di riscaldamento e all'abbassamento del contenuto in zolfo nei combustibili utilizzati.

#### **Determinazione degli ossidi di azoto**

Il biossido di azoto si fissa su trietanolammina e si determina spettrofotometricamente mediante il reattivo di Griess, utilizzando la sulfanilammide e l'N-naftil-etilendiammina [1].

L'azocomposto che si ottiene presenta un massimo di assorbimento a 540 nm.

#### **Reattivi occorrenti**

##### **Soluzione assorbente**

Sciogliere 15,0 g di trietanolammina in 500 mL di acqua distillata, aggiungere 3 mL di N-butanolo e diluire a 1 litro

##### **Perossido di idrogeno**

Diluire 0,2 mL di  $H_2O_2$  al 30% a 250 mL con acqua distillata

##### **Sulfanilammide**

Sciogliere 10 g di sulfanilammide in 400 mL di acqua distillata, aggiungere 25 mL di acido solforico concentrato e portare a volume a 500 mL.

##### **1-N-naftil-etilendiammina (NEDA)**

Sciogliere 0,75 g di 1-N-naftil-etilendiammina dicloridrato in 500 mL con acqua distillata.

##### **Soluzione standard di ione nitrito (100 $\mu g/mL$ )**

Sciogliere 150 mg di sodio nitrito in 1 litro di acqua.

Diluire la soluzione standard 50 volte per preparare una soluzione contenente 2,0  $\mu g/mL$ .

La curva di taratura si ottiene prelevando 1, 3, 5, 7 mL della soluzione di sodio nitrito (2,0  $\mu g/mL$ ) in tubi graduati da 25 mL e aggiungendo acqua fino a 10 mL. Si sviluppa il colore e si misura l'assorbanza come descritto. Se  $V$  è il volume d'aria campionato espresso in metri cubi e  $C$  la concentrazione di nitrito nel campione espressa in  $\mu g/mL$ , si ricava il contenuto di  $NO_2$  tramite la relazione:

$$NO_2 (\mu g / m^3) = \frac{C \times 50}{0,85 \times V}$$

dove 0,85 tiene conto della non perfetta corrispondenza tra nitrito e biossido di azoto.

L'esperimento può essere eseguito in modo da determinare anche la concentrazione del monossido di azoto presente nell'atmosfera previa conversione a biossido di azoto con una soluzione acida di potassio permanganato (0,5 g in 20 mL di miscela acida costituita da  $H_2SO_4$  e  $H_3PO_4$  concentrati nel rapporto 1:10).

L'aria in questo caso viene fatta passare in un primo assorbitore contenente la trietanolammina che fissa l' $NO_2$ , ma non l' $NO$ , successivamente in una boccia di lavaggio contenente la soluzione ossidante, che trasforma l' $NO$  in  $NO_2$  e quindi in un secondo assorbitore che contiene un uguale volume di soluzione assorbente.

L'analisi di quest'ultima soluzione consente di ricavare la quantità di  $NO$  campionata.

E' importante ricordare che il rapporto tra le concentrazioni di  $NO$  e  $NO_2$  determina la concentrazione di ozono a livello del suolo, soprattutto in assenza di idrocarburi. In particolare, più alta è la concentrazione di  $NO$  in aria, più bassa sarà la concentrazione di ozono.

#### **Determinazione delle polveri sospese**

La concentrazione del materiale particellare presente nell'aria può essere determinata per via gravimetrica raccogliendo la polvere aspirata mediante una pompa per un determinato tempo su di un opportuno supporto che viene pesato prima e dopo il campionamento, ovvero con il procedimento di seguito riportato.

L'aria campionata mediante aspirazione su filtro di carta bianca (Whatman n.1) dà luogo ad un deposito grigio

bruno. L'entità dell'annerimento (*blackness index*) può essere valutata misurando la percentuale della radiazione riflessa dalla superficie in esame (riflettanza).

Al termine del campionamento, protratto per un periodo di 24 ore, si determina il volume di aria campionato e si misura l'annerimento del filtro mediante un riflettometro che viene azzerato utilizzando un filtro di carta bianco (R=100%). La misura della intensità riflessa dal filtro in esame fornisce direttamente la riflettanza percentuale.

Ai valori di riflettanza percentuale (R%) corrispondono i valori indicanti la massa convenzionale di fumo nero (S, µg/cm<sup>2</sup>) raccolto su ogni unità di superficie del filtro ottenibili tramite una tabella elaborata dall'OCSE (Organizzazione di Cooperazione e Sviluppo Economico) tabella 1.

Per ricavare l'indice di fumo nero, che è correlato con la concentrazione del materiale particolato nell'aria campionata, si utilizza la relazione:

$$C = \frac{S \times A}{V}$$

dove:

C = indice di fumo nero (µg di materiale particolato per m<sup>3</sup>).

S = massa convenzionale di fumo nero (µg/cm<sup>2</sup>).

A = superficie della macchia annerita del filtro (cm<sup>2</sup>) ricavabile dal diametro della stessa.

V = volume di aria campionata (m<sup>3</sup>).

Nella tabella 2 sono riportati alcuni dati del biossido di azoto e del materiale particolato misurati a Viterbo e a Ronciglione.

**Tabella 1** - Conversione della riflettanza percentuale (R%) in massa convenzionale di fumo nero (S).

R(%)	S(µg/cm <sup>2</sup> )	R(%)	S(µg/cm <sup>2</sup> )	R(%)	S(µg/cm <sup>2</sup> )
95	2,46	75	20,00	55	57,56
94	3,05	74	21,24	54	60,40
93	3,67	73	22,54	53	63,38
92	4,32	72	23,89	52	66,48
91	5,00	71	25,29	51	69,72
90	5,70	70	26,74	50	73,11
89	6,44	69	28,25	49	76,65
88	7,20	68	29,83	48	80,34
87	7,99	67	31,46	47	84,20
86	8,81	66	33,17	46	88,22
85	9,66	65	34,95	45	92,42
84	10,54	64	36,80	44	96,81
83	11,45	63	38,73	43	101,38
82	12,40	62	40,75	42	106,15
81	13,37	61	42,35	41	111,13
80	14,38	60	45,04	40	116,31
79	15,43	59	47,33	39	121,69
78	16,51	58	49,73	38	127,68
77	17,63	57	52,22	37	134,12
76	18,79	56	54,83	36	141,19

#### USO DEI CAMPIONATORI PASSIVI

##### Determinazione del biossido di azoto

Vengono utilizzati tubicini di materiale acrilico della lunghezza di 70-90 mm e di diametro interno di 10 mm [2,3]. Essi vengono chiusi alle due estremità con un tappo di polietilene. Ad una delle estremità sono fissate due reticelle in acciaio inox del diametro di 12 mm (4 maglie per mm) imbevute di trietanolammina (TEA), un efficiente assorbitore dell'NO<sub>2</sub>.

Per effettuare il campionamento il tubicino viene sistemato in posizione verticale con le reticelle poste nella

parte superiore, togliendo il tappo dalla parte inferiore fino al termine del campionamento. Quindi il tubicino viene richiuso e conservato in frigorifero in attesa della successiva analisi.

L'analisi del biossido di azoto assorbito dalla trietanolammina viene eseguita per via spettrofotometrica come indicato nel procedimento illustrato per i campionatori attivi.

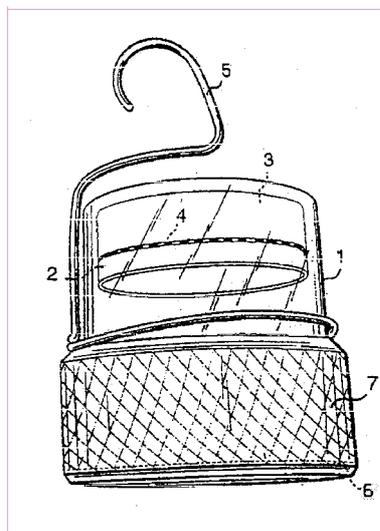
##### Determinazione del benzene e degli idrocarburi volatili (VOC)

I campionatori passivi utilizzati, descritti da Bertoni e coll. [4], sono costituiti da un cilindro di vetro filettato

**Tabella 2** - Alcuni dati misurati a Viterbo e a Ronciglione (campionamenti di 24 ore). Valori espressi in µg/m<sup>3</sup> (n.d.=non determinato)

	Biossido di azoto				Materiale particolato			
	Università	L.S. Ruffini	ITC P.Savi	Ronciglione	Università	L.S. Ruffini	ITC P.Savi	Ronciglione
marzo 1999	34,0	30,5	n.d.	11,1	7,7	5,1	13,6	40,3
	15,9	17,5	45,1	18,3	20,9	27,5	n.d.	20,8
	28,1	24,8	61,6	15,5	10,4	10,1	n.d.	12,7
aprile 1999	13,4	28,9	19,6	17,1	9,2	14,1	8,7	15,5
	19,9	41,1	23,3	42,2	9,1	6,1	13,7	15,4
	31,6	63,2	73,6	30,4	12,3	14,8	12,9	n.d.
maggio 1999	37,0	32,2	51,3	28,6	15,7	9,8	12,9	15,5
	13,4	47,7	27,6	54,3	7,4	14,6	n.d.	15,4
	41,7	23,8	40,1	38,1	11,1	6,3	n.d.	8,4

presso l'apertura e a fondo cieco figura 3. Sul fondo è posto l'assorbente costituito da carbone attivo minerale in granuli ad elevato sviluppo superficiale (1000 m<sup>2</sup>/g).



**Fig. 3** - Campionatore passivo per il benzene e gli idrocarburi volatili (VOC) Analyser®

- 1) Cilindro di vetro, diametro = 2 cm;
- 2) Anello trapiantato in acciaio inox;
- 3) Adsorbente;
- 4) Rete in acciaio inox;
- 5) Sostegno con gancio di posizionamento;
- 6) Membrana di tenuta in gomma teflon;
- 7) Tappo forato in materiale plastico.

Il campionamento si effettua mantenendo il dispositivo con l'apertura rivolta verso il basso per evitare contaminazione da materiale particolato. A tale scopo un apposito anello munito di gancio correda il campionatore per consentire di sospenderlo nella posizione prescelta.

Al termine del campionamento, protratto per una durata di almeno 30 giorni, il cilindro si chiude con un tappo a vite dotato di una membrana attraverso la quale è possibile effettuare l'introduzione del solvente di estrazione ed il prelievo per la successiva analisi.

La determinazione del benzene e degli idrocarburi volatili (VOC) viene eseguita per via gas-cromatografica utilizzando un'ideale colonna. Il procedimento segue le raccomandazioni del metodo UNICHIM-UNI 10493.

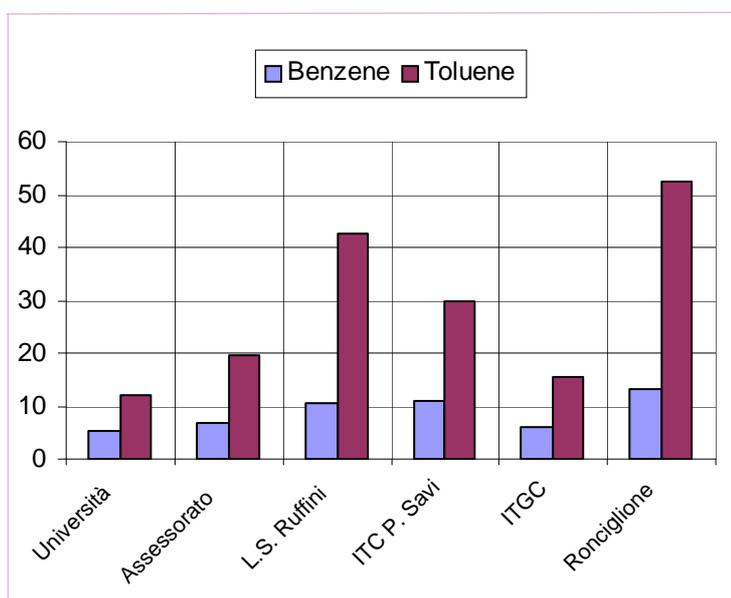
Nella tabella 3 sono riportati alcuni risultati ottenuti presso l'Università della Tuscia, mentre nella figura 4 sono rappresentati i dati semestrali medi di benzene e toluene (µg/m<sup>3</sup>)

misurati in alcune zone della Città di Viterbo e a Ronciglione.

### Determinazione dell'ozono mediante 1,2-di(4-piridil)etilene.

I campionatori passivi per la determinazione dell'ozono sono costituiti da un tubo di polietilene microporoso riempito di gel di silice imbevuto di una soluzione di 1,2-di(4-piridil)etilene [5].

A contatto con l'ozono si forma la 4-piridilaldeide che viene successivamente fatta reagire con il 3-metil-2-benzotiazolinone per produrre un'azide che può essere determinata spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 430 nm.



**Fig. 4** - Dati semestrali medi di benzene e toluene (µg/m<sup>3</sup>) misurati in alcune zone della Città di Viterbo e a Ronciglione (aprile-settembre 1999)

**Tabella 3** - Idrocarburi aromatici determinati presso il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università della Tuscia Periodo: marzo 1999- febbraio 2000 (valori espressi in µg/m<sup>3</sup>)

	Benzene	Toluene	Etil-benzene	Xilene (m+p)	o-Xilene
marzo	6,9	17,6	2,9	8,2	2,7
aprile	4,7	17,5	2,7	13,0	2,2
maggio	5,1	12,0	4,1	6,0	2,5
giugno	6,9	16,8	3,6	13,1	3,0
luglio	4,6	15,6	2,5	4,9	2,4
agosto	4,0	12,9	1,6	5,0	1,5
settembre	5,3	12,4	4,0	10,3	3,7
ottobre	7,1	25,0	4,5	9,5	4,6
novembre	5,8	18,1	3,2	6,6	3,5
dicembre	4,9	13,4	2,9	7,8	2,6
gennaio	6,8	14,8	4,0	13,4	3,8
febbraio	7,4	23,5	4,2	10,9	4,3

Settembre - Ottobre 2000

### Reattivi occorrenti

#### 3-metil-2-benzotiazolinone idrazone cloruro (MBTH)

Sciogliere 5 g di MBTH in 1 litro di acqua distillata aggiungendo 5 mL di acido solforico concentrato. La soluzione è stabile per un mese se conservata al buio.

#### 4-piridilaldeide

Sciogliere 100 µL (112,2 mg) di 4-piridilaldeide in 1 litro di acqua distillata.

Il campionamento viene protratto solitamente per un periodo di una settimana.

Al termine del campionamento si versa il gel di silice in una provetta di vetro da 10 mL munita di tappo a smeriglio, si aggiungono 5 mL di soluzione di MBTH, si chiude e si agita energeticamente.

Si lascia reagire per circa un'ora agi-

tando di tanto in tanto. Si filtra attraverso un filtro a micropori da 0,45 mm utilizzando una siringa opportuna e si legge l'assorbanza della soluzione a 430 nm contro acqua.

Si tratta nello stesso modo una cartuccia non esposta e si sottrae il valore ottenuto (bianco).

La curva di calibrazione viene ottenuta dalla soluzione madre di 4-piridilaldeide per diluizioni successive (1:1, 1:2, 1:5, 1:10). Introdurre 0,5 mL di ciascuna di queste soluzioni in una provetta da 10 mL aggiungendo 4,5 mL di soluzione di MBTH ed agitando. Dopo un'ora leggere l'assorbanza a 430 nm contro acqua. 1 mg di 4-piridilaldeide corrisponde a 0,224 mg di ozono.

Dalla retta di taratura si risale alla quantità di ozono campionata, *m*, e quindi alla sua concentrazione.

## ALTRE DETERMINAZIONI

### Misura dell'acidità della pioggia.

Un altro indice molto importante che può essere facilmente determinato è l'acidità della pioggia. Le precipitazioni atmosferiche purificano l'aria dal materiale particellare presente in sospensione e da tutti gli inquinanti gassosi solubili in acqua. La pioggia è il mezzo naturale più efficace per l'abbattimento dell'inquinamento atmosferico, ma le sostanze che in essa si sciolgono possono influenzare l'ambiente con cui viene a contatto.

In alcuni paesi del nord Europa si è registrato negli ultimi anni un incremento dell'acidità dei laghi dovuto alla dissoluzione dell'acido solforico nell'atmosfera ad opera della pioggia. Questo fenomeno è molto più limitato nel nostro paese per la prevalente presenza di componenti calcaree che conferiscono alle acque dei bacini lacustri una capacità tamponante capace di neutralizzare l'acidità della pioggia.

La raccolta della pioggia può essere effettuata con un pluviometro, oppure, più semplicemente, mediante un becher o una bottiglia di vetro o di plastica in cui venga inserito un imbuto sufficientemente largo. L'imbuto durante il campionamento va ricoperto con una reticella metallica perfettamente pulita per impedire che foglie o altro materiale grossolano possano inquinare il recipiente di raccolta.

Il pH dell'acqua piovana si misura con una cartina indicatrice che consenta di apprezzare variazioni di pH pari a 0,05 unità o con un pHmetro, dopo aver tarato lo strumento con un tampone di potassio idrogeno ftalato (pH=4,01 a 25 °C).

Il pH dell'acqua piovana esente da inquinanti corrisponde a quello di una soluzione diluita di biossido di carbonio e si aggira intorno a 5,6-6,0. Si definisce acida una pioggia il cui pH risulta inferiore a 5.

## CONCLUSIONI

I limiti di accettabilità e di esposizione per i vari inquinanti atmosferici sono riportati nel DPCM 28.03.1983 e nel DM 25.11.1994.

Alcuni dei procedimenti analitici descritti in questa nota, quali la determinazione del biossido di zolfo, delle polveri sospese e del benzene consentono di ricavare informazioni sulla qualità dell'atmosfera in funzione di questi indici secondo i criteri indicati dai decreti ministeriali citati. Infatti, per il biossido di zolfo viene richiesta la concentrazione media nelle 24 ore che viene appunto ricavata eseguendo il campionamento in questo periodo di tempo. Altrettanto significativo è il dato relativo al materiale particellare, valutato come indice di annerimento, che viene riportato come concentrazione media nelle 24 ore.

Le misure di questi due indici con i procedimenti descritti ha consentito

di ricavare informazioni sulla qualità dell'atmosfera su tutto il territorio nazionale in una precedente indagine [6]. La normativa attuale per il benzene prevede un limite di 10 µg/m<sup>3</sup> come media annuale che può essere valutata facilmente utilizzando i campionatori passivi nell'arco di dodici mesi. I campionamenti del biossido di azoto e dell'ozono non forniscono le informazioni richieste nei citati DM, ma consentono, fornendo la concentrazione media in un certo intervallo di tempo, di valutare l'impatto ambientale che questi inquinanti esercitano su di una determinata area. Di particolare rilievo sono le indagini eseguite con i campionatori passivi per la determinazione del biossido di azoto [7]. La determinazione dell'ozono assume particolare rilievo nel periodo estivo in conseguenza delle manifestazioni di smog fotochimico. Si desidera ribadire che lo studio dei problemi ambientali può essere considerato un argomento di sintesi nell'insegnamento delle scienze e in particolare della chimica e che tale attività sperimentale, condotta presso i vari Istituti scolastici, consente di ricavare dati ambientali di indubbio interesse in particolare in quelle zone dove non esistono centraline di rilevamento.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] D.A. Levaggi, W. Siu, M. Feldstein, *J. Air Poll. Control Assoc.* **23**, 30 (1973)
- [2] E.D. Palmes, A.F. Gunnison, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **34**, 78 (1973)
- [3] A.J. Gair, S.A. Penkett, P. Oyola, *Atmos. Environ.* **25A**, 1927 (1991)
- [4] G. Bertoni, R. Tappa, I. Allegrini, *Ann. Chim. (Rome)*, **90**, 249 (2000)
- [5] C. Monn, H. Hisham, *J. Air Waste Manage. Assoc.* **40**, 357 (1990)
- [6] A. Liberti, D. Brocco, *Inquinamento* **5**, 15 (1970)
- [7] S. Saini, G. Lanzani, M. Biscioni, *Acqua e Aria* **73** (1999)