



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA MEDIANTE LICHENI NELLA ZONA DEL TERMOVALORIZZATORE DI SAN VITTORE



2014



**STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
MEDIANTE LICHENI
NELLA ZONA DEL TERMOVALORIZZATORE
DI SAN VITTORE**

2014

Studio della qualità dell'aria mediante licheni nella zona del termovalorizzatore di San Vittore

Rapporto a cura di:

ARPA Lazio, Sezione provinciale di Rieti

Maurizio Guidotti, Malgorzata Owczarek, Luca Fantozzi, Carola Dominici, Alessandro Sassolini, Rosario Piazza

ARPA Lazio, Divisione atmosfera e impianti

Roberto Sozzi, Andrea Bolignano

ABSTRACT

The ability of transplanted lichens *Pseudevernia furfuracea* to biomonitor specific airborne pollutants (heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorobiphenils (PCBs), dioxins and furans) was investigated near the incinerator of San Vittore del Lazio. For this purpose six stations were monitored using six "lichen bags". After three months of exposure, the lichens content of PAHs, PCBs and heavy metals was determinate. The content of dioxins and furans was determinate after six months. The concentration of all analysed compounds was greater than that in the pre-exposed lichens.

Keywords: biomonitoring, lichens, dioxins, incinerator

RIASSUNTO

Lo scopo del presente lavoro è quello di valutare la possibilità dell'utilizzo della specie lichenica *Pseudevernia furfuracea* come bioaccumulatore per il monitoraggio della qualità dell'aria nella zona del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio. Per questo scopo sei campioni di tale specie lichenica, prelevati sul monte Terminillo, sono stati posizionati in sei stazioni nei dintorni del suddetto termovalorizzatore. La scelta dei siti è avvenuta in base al modello diffusivo degli inquinanti fornito dalla Direzione tecnica dell'ARPA Lazio. Dopo tre mesi di esposizione è stata prelevata una parte del materiale esposto e su di essa è stata determinata la concentrazione di idrocarburi policiclici aromatici, di policlorobifenili e di alcuni metalli pesanti. Sul campione residuo, dopo altri tre mesi, è stata determinata la concentrazione di diossine e furani. Tutti gli analiti risultano presenti in concentrazioni superiori a quelle riscontrate nel campione lichenico analizzato prima dell'esposizione. Questo conferma la capacità di tale specie lichenica di accumulare i sopracitati microinquinanti. I risultati ottenuti portano a ipotizzare un inquinamento diffuso, legato principalmente al traffico veicolare.

Parole chiave: biomonitoraggio, licheni, diossine, termovalorizzatore

Contatti autori

Maurizio Guidotti - maurizio.guidotti@arpalazio.it

Roberto Sozzi - roberto.sozzi@arpalazio.it

ARPA Lazio - 2014



Quest'opera è distribuita con Licenza
Creative Commons Attribuzione 3.0 Italia

Coordinamento editoriale

ARPA Lazio - Divisione polo didattico

Foto di copertina

Specie lichenica di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. ,
realizzata da Malgorzata Owczarek - Sezione provinciale di Rieti

Progetto grafico e stampa

Tiburtini - Roma

INDICE

| | | |
|--|------|----|
| INTRODUZIONE..... | Pag. | 5 |
| 1. OBIETTIVI E ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO | Pag. | 7 |
| 2. SCELTA DEI SITI DI MONITORAGGIO | Pag. | 11 |
| 3. SCELTA DELLA SPECIE LICHENICA | Pag. | 13 |
| 4. RACCOLTA, PREPARAZIONE E TRAPIANTO DEI CAMPIONI PER L'INDAGINE DI BIOACCUMULO..... | Pag. | 15 |
| 5. ANALISI DEI CAMPIONI TRAPIANTATI | Pag. | 17 |
| 6. RISULTATI | Pag. | 19 |
| 6.1 Idrocarburi policiclici aromatici | Pag. | 19 |
| 6.2 Policlorobifenili | Pag. | 25 |
| 6.3 Metalli | Pag. | 27 |
| 6.4 Diossine e furani | Pag. | 28 |
| CONCLUSIONI..... | Pag. | 31 |
| RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | Pag. | 33 |
| INDICE DELLE FIGURE | Pag. | 35 |
| INDICE DELLE TABELLE | Pag. | 35 |

INTRODUZIONE

In questo lavoro sono stati utilizzati licheni per la valutazione della qualità dell'aria nella zona del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio. Tali specie vegetali, infatti, essendo prive di radici, traggono esclusivamente dall'aria il nutrimento di cui hanno bisogno per la loro sopravvivenza.

Oltre alle sostanze di cui necessitano, essi prelevano dall'aria anche buona parte di quei composti chimici definiti "microinquinanti", attraverso uno specifico processo chiamato "bioaccumulo".

Dall'esposizione prolungata di un determinato campione di licheni e dalla conseguente valutazione analitica della concentrazione di un certo inquinante nello stesso campione, prima e dopo l'esposizione in una certa zona, possiamo quindi avere un'idea della presenza di quell'inquinante nell'aria, relativamente alla zona stessa.

1. OBIETTIVI E ORGANIZZAZIONE DELLO STUDIO

La crescente produzione di sostanze xenobiotiche e la loro introduzione nell'ambiente ha reso necessaria la ricerca di strumenti efficaci per il controllo della qualità dell'aria. L'inquinamento atmosferico e il suo controllo sono attualmente disciplinati dalla direttiva europea 2008/50 (recepita dal D.Lgs. 155/2010) che prevede il monitoraggio di un numero relativamente ristretto di sostanze ritenute potenzialmente critiche per la salute umana e per la vita degli ecosistemi. Di fatto, accanto agli inquinanti tradizionali quali monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), ossidi di azoto (NO_x, NO₂), ozono (O₃) e particolato sottile (PM₁₀ e PM_{2.5}), la norma prevede anche il controllo di piombo, benzene, arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene. Tale controllo consiste nella determinazione della concentrazione di queste sostanze presenti in aria a livello del suolo ed è effettuato o direttamente, attraverso specifici analizzatori operanti in continuo (per CO, NO₂/NO_x, SO₂, O₃, C₆H₆, particolato sottile), o indirettamente, attraverso l'analisi chimica del particolato raccolto sui filtri dei campionatori per individuare la presenza di piombo, cadmio, arsenico, nichel e benzo(a)pirene. La norma, inoltre, pone le basi per una più completa analisi del particolato, al fine di individuare in esso la presenza di particolari anioni e cationi, per la determinazione, sempre nel particolato, del carbonio elementare e del carbonio organico e per la misura del mercurio in aria.

L'insieme delle sostanze considerate nel controllo della qualità dell'aria è ancora piuttosto limitato e tra esse compare solo il benzo(a)pirene come idrocarburo policiclico aromatico (IPA), mentre sono sostanzialmente assenti composti chimici, sempre organici, che destano particolari preoccupazioni di ordine sanitario e ambientale, come i composti chimici policlorurati (diossine PCDD e furani PCDF) e i PCB (policlorobifenili).

Tale metodologia d'indagine, strettamente quantitativa e finalizzata alla determinazione della concentrazione in aria di queste sostanze, con scopi prevalentemente sanitari, presenta inevitabilmente alcuni limiti, il primo dei quali è proprio l'essere finalizzata principalmente alla salvaguardia della salute umana piuttosto che alla salvaguardia dell'ambiente. E questo lo si vede, in primo luogo, nel non prendere in considerazione, se non marginalmente, le deposizioni al suolo (secche e umide) delle diverse specie chimiche. In effetti è proprio attraverso i processi di impoverimento dell'aria, come le deposizioni atmosferiche, che avviene lo scambio di sostanze inquinanti dall'ambiente atmosferico al suolo e alle acque, scambio che può portare gravi problemi agli ecosistemi.

Come detto, la contaminazione atmosferica viene misurata prevalentemente impiegando centraline automatiche fisse o mobili, dotate di analizzatori che in genere operano in continuo; ciò garantisce, come richiesto dalla normativa, una sorveglianza continua dei livelli di inquinamento, in modo da poter verificare il rispetto degli standard previsti. La misura è inevitabilmente localizzata in un numero esiguo di punti sul territorio, considerati i costi di investimento e di gestione richiesti da tali apparati di misura, e limitata a un numero contenuto di sostanze. Inoltre, l'obiettivo della sorveglianza imposto alle reti fisse di monitoraggio e la necessità operativa di dedurre da questi sistemi (assieme ad altre metodologie non strumentali) la ragione della presenza di tali sostanze in aria (soprattutto a scopo di risanamento), impone che i tempi di mediazione delle misure siano relativamente brevi (in genere il tempo di mediazione è l'ora, tranne per il particolato che, a oggi, richiede una media giornaliera). Se da un lato ciò è quanto di meglio si possa mettere in atto per mantenere sotto controllo la dispersione atmosferica e la qualità dell'aria, dall'altro resta difficile delineare un quadro d'insieme tipico per la distribuzione spaziale soprattutto di quelle sostanze che vengono determinate indirettamente attraverso l'analisi chimica del particolato fine. La misurazione strumentale, inoltre, per la sua natura e per le esplicite richieste della norma-

tiva, non rende conto degli effetti biologici legati alla contemporanea presenza dei diversi inquinanti in comparti ambientali diversi dall'atmosfera. Per i suddetti motivi, nell'ottica di un approccio più completo per la valutazione dello stato di salute di un'area, può essere interessante affiancare, alle tecniche tradizionali, metodiche di monitoraggio biologico. Queste metodologie di indagine forniscono una migliore capacità di lettura e di interpretazione degli eventuali danni ambientali prodotti dall'inquinamento atmosferico poiché sfruttano la risposta degli organismi viventi, i quali reagiscono all'inquinamento modificando le proprie strutture e funzioni (bioindicatori) o concentrando le sostanze inquinanti nei propri tessuti (bioaccumulatori). Tra i bioaccumulatori, i licheni, in particolare quelli epifiti, sono i più utilizzati in letteratura (cfr. riferimenti bibliografici da 1 a 4). Grazie all'elevato rapporto superficie/volume, alla particolare struttura vegetale (simbiosi), alla semplice organizzazione anatomica e all'assenza di cuticola, tali organismi hanno la capacità di accumulare al loro interno tutta una gamma di sostanze xenobiotiche con cui si trovano a contatto a causa della deposizione atmosferica. In considerazione della capacità dei licheni di assorbire e accumulare i contaminanti persistenti, generalmente presenti nell'atmosfera in bassissime concentrazioni, negli ultimi anni questi organismi sono stati ampiamente impiegati come bioaccumulatori di metalli pesanti, di radionuclidi, di non metalli, come lo zolfo e il fluoro, di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Più recentemente sono comparsi in letteratura lavori che utilizzano licheni come bioaccumulatori di policlorobifenili (PCBs), diossine e furani. Sulla base delle conoscenze attuali, gli IPA sono prodotti che possono avere origine da processi di combustioni incomplete, come ad esempio da determinati cicli di produzione industriale, dalla lavorazione di carbone e petrolio, da impianti per produzione di energia elettrica, da inceneritori, dal riscaldamento domestico, dalle emissioni veicolari, dagli incendi boschivi e dai vulcani. I policlorobifenili (PCBs) sono composti di particolare stabilità, molto utilizzati in passato specialmente negli olii dielettrici, nelle vernici, negli inchiostri e nei plastificanti. Le diossine e i furani sono, invece, composti che possono avere origine principalmente dalla combustione di materiali contenenti cloro. Questo tipo di metodologia è stata impiegata spesso in prossimità di sorgenti puntiformi, dove la flora spontanea è assente. In queste aree il biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico viene eseguito mediante la tecnica del trapianto, la quale consiste nell'esposizione, all'interno dell'area in studio, di licheni provenienti da zone a basso o nullo impatto antropico, con lo scopo di misurare, dopo un certo periodo di tempo, le nuove concentrazioni di contaminanti (cfr. riferimenti bibliografici da 5 a 9). In questo lavoro il metodo del trapianto è stato utilizzato per il monitoraggio ambientale della zona intorno al termovalorizzatore di San Vittore del Lazio (Frosinone). Tale studio è stato intrapreso tenendo conto dei risultati prodotti da simulazioni modellistiche della dispersione degli inquinanti in aria realizzate dalla Direzione tecnica dell'ARPA Lazio per l'impianto in questione. Lo studio ha avuto inizio nell'agosto del 2011 e l'indagine si è concentrata sulla determinazione del contenuto in metalli pesanti, quali l'arsenico, il cadmio, il nichel, il piombo, in idrocarburi policiclici aromatici (IPA) come il fenantrene, l'antracene, il fluorantene, il pirene, il benzo(a)antracene, il crisene, il benzo(B+K)fluorantene, il benzo(a)pirene, l'indeno(123cd)pirene, il dibenzo(ah)antracene e il benzo(ghi)perilene, in policlorobifenili (PCBs) e in diossine e furani nei talli del lichene epifita *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.

Il lavoro è stato suddiviso nelle seguenti fasi:

1. individuazione dei siti idonei per il posizionamento del materiale lichenico
2. raccolta di campioni di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. in una zona con alta naturalità e determinazione sugli stessi degli analiti che si intende monitorare
3. preparazione di trappole licheniche ("lichen bags") a peso noto di materiale

-
4. posizionamento, in ogni stazione precedentemente individuata, di un campione lichenico ("bag") a partire da agosto 2011
 5. prelievo di una parte del campione dopo tre mesi e successivo prelievo della parte restante dopo altri tre mesi
 6. preparazione dei campioni in laboratorio (pulitura allo stereoscopio, disidratazione, omogenizzazione)
 7. determinazione analitica dei contaminanti (metalli pesanti, IPA, PCBs, diossine e furani).

2. SCELTA DEI SITI DI MONITORAGGIO

Sulla base delle informazioni emissive disponibili, relative agli inquinanti tradizionali, è stata realizzata dal Servizio tecnico dell'ARPA Lazio una simulazione su base annuale della dispersione degli inquinanti in aria impiegando un modello lagrangiano a particelle e un'accurata ricostruzione meteorologica e micrometeorologica della zona. Lo scopo di tale simulazione era quello di avere un quadro preliminare dello stato di qualità dell'aria della zona. Sebbene non presentasse informazioni specifiche relative alle eventuali emissioni di microinquinanti oggetto del presente studio (IPA, metalli, diossine e furani), questo quadro è stato utilizzato per individuare i possibili siti in cui realizzare il biomonitoraggio. In particolare sono stati individuati sei siti le cui coordinate geografiche sono riportate nella tabella 1, mentre la loro collocazione sul territorio è segnalata sia nella figura 1 che nella figura 2, in cui vengono evidenziate sinteticamente anche le ricostruzioni modellistiche. Più in dettaglio, le sei stazioni di misura sono state collocate nel modo seguente:

- due stazioni in zone intermedie (stazioni 1 e 2)
- due stazioni in zone non interessate dalla ricaduta di eventuali inquinanti emessi dall'inceneritore (stazioni 3 e 4)
- due stazioni interessate da ricaduta secondo il modello diffusivo (stazioni 5 e 6)

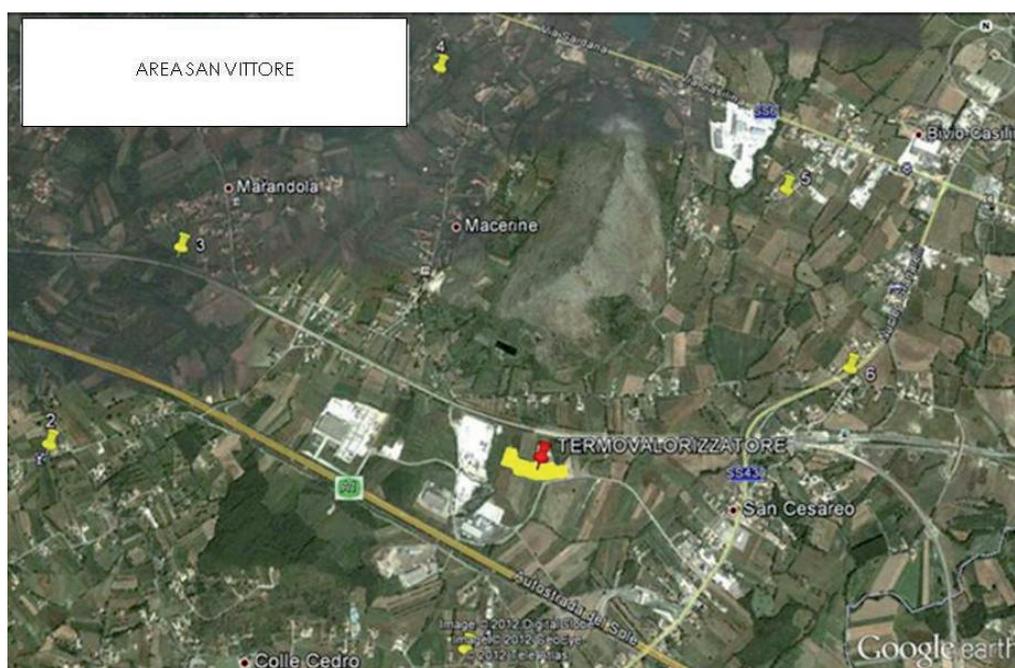


Fig. 1 - Stazioni di posizionamento dei licheni

| STAZIONI | COORDINATE | |
|------------|--------------|--------------|
| stazione 1 | 41°25.846' N | 13°53.603' E |
| stazione 2 | 41°26.163' N | 13°52.513' E |
| stazione 3 | 41°26.695' N | 13°52.539' E |
| stazione 4 | 41°27.200' N | 13°53.281' E |
| stazione 5 | 41°26.895' N | 13°54.556' E |
| stazione 6 | 41°26.202' N | 13°54.405' E |

Tab. 1 - Coordinate geografiche delle stazioni di misura

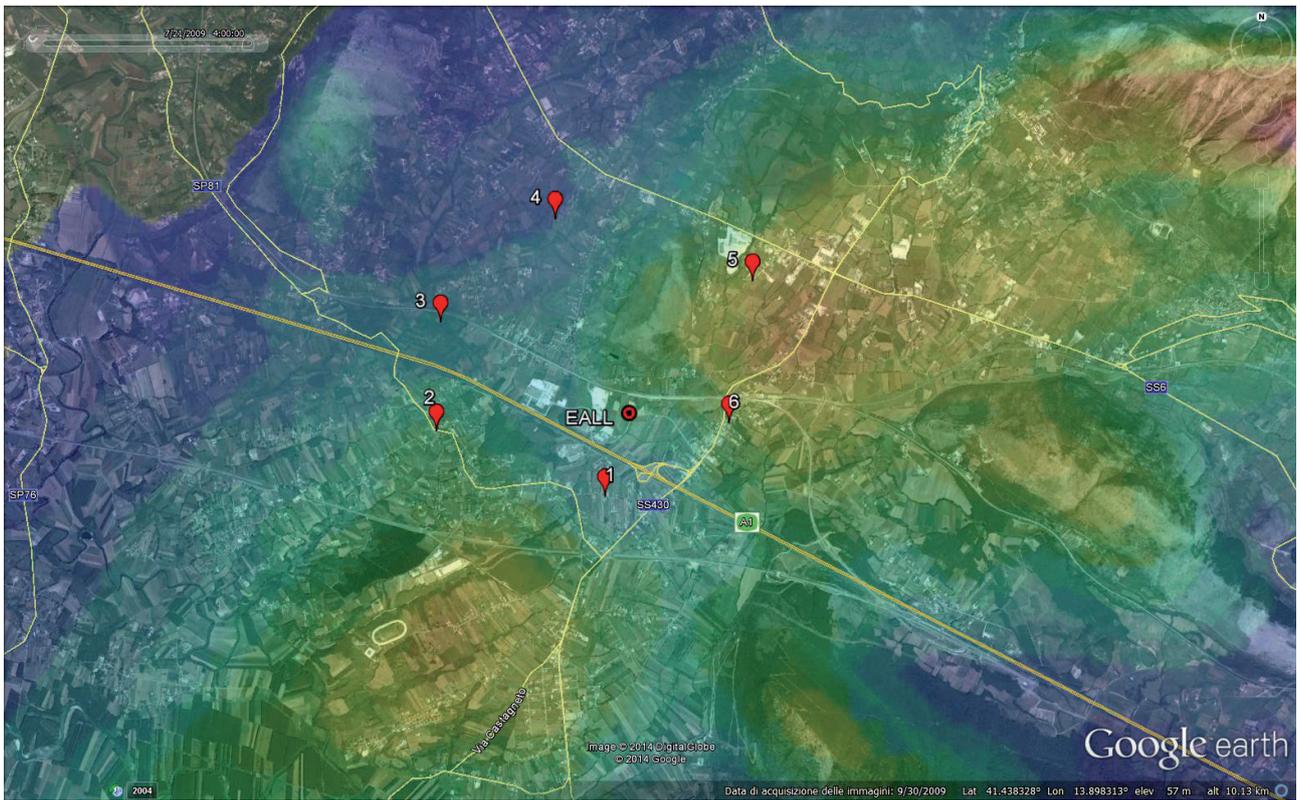


Fig. 2 - Localizzazione delle stazioni di misura e ricostruzioni modellistiche

3. SCELTA DELLA SPECIE LICHENICA

Un'indagine preliminare ha messo in evidenza la scarsa presenza nella zona di San Vittore di una popolazione lichenica e, oltretutto, le poche e infrequenti specie rilevate sono risultate essere non idonee allo scopo della ricerca. Per tale motivo è stato deciso di avvalersi della tecnica del "trapianto" con organismi test alloctoni già utilizzati in altri lavori simili. La specie che è stata scelta è un lichene epifita, fruticoso, molto diffuso in Europa (figura 3). In letteratura questo organismo è stato ampiamente utilizzato negli studi di biomonitoraggio ambientale (cfr. riferimenti bibliografici da 10 a 13), mostrando correlazioni significative tra le concentrazioni di contaminanti presenti nell'aria e il loro contenuto nei talli trapiantati. Questo lichene è stato scelto per la facilità di reperimento, di crescita, di prelievo e di manipolazione, per la resistenza a malattie e a parassiti, per la relativa sensibilità nei confronti degli inquinanti tradizionali (ad es. SO_2) e, infine, per la capacità di concentrare rilevanti quantità di alcuni inquinanti senza subire alterazioni morfo-strutturali.



Fig. 3 - Esempio di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf.

4. RACCOLTA, PREPARAZIONE E TRAPIANTO DEI CAMPIONI PER L'INDAGINE DI BIOACCUMULO

Nell'agosto 2011 talli completi di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf., utilizzati per il trapianto, sono stati raccolti sulla corteccia di faggi a un'altezza di circa un metro dal suolo, in un'area del monte Terminillo (1,670 m s.l.m.) in provincia di Rieti. Tale area è lontana da rilevanti fonti di inquinamento atmosferico, la vegetazione lichenica è molto abbondante, ricca in specie come *Anaptychia ciliaris*, *Ramalina fastigiata* e *Usnea* sp., note per la loro sensibilità all'inquinamento atmosferico (cfr. riferimento bibliografico 14). Tale zona è stata considerata come stazione di controllo.

In laboratorio sono state eliminate le parti morte e il materiale estraneo (ad es. foglie, terriccio, talli di altri licheni ecc.) e i licheni sono stati selezionati per dimensione ed età allo scopo di generare sottocampioni omogenei. Uno di questi sottocampioni omogenei è stato analizzato per la determinazione di metalli IPA, diossine e furani e PCBs, in modo da ottenere le concentrazioni di tali parametri a tempo zero, cioè prima del posizionamento nelle varie stazioni (campione di controllo o bianco).

I talli di *Pseudevernia furfuracea*, inseriti nelle cosiddette "lichen bags", ossia supporti costituiti da un telaio di legno con reti di plastica (figura 4) per permettere il contatto con l'aria, sono stati successivamente fissati a un'altezza di circa due metri dal suolo, su appositi sostegni, nelle stazioni scelte per lo studio. Dopo tre mesi, nell'ottobre 2011, è stata ritirata una parte di campione per ogni stazione e su di esso sono stati ricercati IPA, PCBs e metalli pesanti. Dopo altri tre mesi, a gennaio 2012, sono state ritirate le restanti parti di campioni su cui sono stati ricercati diossine e furani. La scelta di effettuare due campionamenti è dovuta alla necessità di dare più tempo ai licheni per accumulare composti presenti normalmente in aria a bassissime concentrazioni come diossine e furani.



Fig. 4 - Lichen bag

5. ANALISI DEI CAMPIONI TRAPIANTATI

Le analisi chimiche dell'ARPA Lazio sono state eseguite presso la sezione provinciale di Rieti dal Servizio laboratorio - Unità chimica organica e inorganica. La determinazione degli IPA è stata fatta mediante tecnica gascromatografica, con l'uso di una strumentazione GC-MS. I campioni sono stati estratti in bagno a ultrasuoni e purificati su colonna di silice. Il contenuto in metalli pesanti è stato valutato con spettrometro ad assorbimento atomico con fornello di grafite. La ripetibilità del metodo è stata valutata analizzando un materiale di riferimento standard (BCR 482 - metalli pesanti nei licheni) e ripetendo il procedimento per sei volte. I valori medi delle concentrazioni trovate sono riportati nella tabella 2 dove sono indicati anche i valori certificati.

| mg/kg | Arsenico | Nichel | Piombo | Cadmio | Zinco | Cromo | Rame |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Concentrazione media ottenuta | 0,84 | 2,44 | 34,86 | 0,58 | 100,4 | 4,61 | 6,17 |
| Concentrazione certificata CRM | 0,85 ± 0,07 | 2,47 ± 0,07 | 40,9 ± 1,4 | 0,56 ± 0,02 | 100,6 ± 2,2 | 4,12 ± 0,15 | 7,03 ± 0,19 |

Tab. 2 - Risultati ottenuti dal materiale di riferimento certificato BCR 482

I PCBs sono stati analizzati secondo il metodo EPA 8270c, il quale prevede un arricchimento isotopico, un'estrazione in ultrasuoni con miscela esano/acetone 4:1, una purificazione su colonna multistrato e su colonna di allumina basica e, infine, un'analisi strumentale con l'utilizzo di strumentazione GC-MS-MS. Per la determinazione di diossine e furani è stato utilizzato il metodo EPA 8280c, il quale, come per i PCBs, prevede un arricchimento isotopico, un'estrazione in soxhlet con toluene, una purificazione mediante colonna multistrato e colonna di allumina basica e un'analisi strumentale finale con GC-MS-MS.

6. RISULTATI

I risultati hanno evidenziato un accumulo per tutte le specie chimiche prese in considerazione, confermando in tal modo sia l'idoneità di tale specie lichenica a essere utilizzata come bioaccumulatore, sia la presenza dei vari microinquinanti nell'area in studio. Per descrivere più chiaramente il livello di accumulo o perdita di ogni composto preso in considerazione in questo studio è stato anche calcolato il rapporto fra la concentrazione di ciascun elemento dopo l'esposizione e la concentrazione di esso nel campione di controllo (EC ratio) per ogni stazione in studio (cfr. riferimento bibliografico 15). I valori derivanti dalle analisi sono stati interpretati attraverso la scala a cinque classi riportata in tabella 3. Tale scala è stata elaborata tenendo in considerazione il fatto che, in assenza di accumulo, il rapporto fra la concentrazione di ogni elemento dopo l'esposizione e quella nel campione di controllo è uguale a 1 (condizione normale).

| SCALA | ACCUMULO/PERDITA |
|-------------|--------------------|
| 0 - 0,25 | forte perdita |
| 0,25 - 0,75 | perdita |
| 0,75 - 1,25 | condizione normale |
| 1,25 - 1,75 | accumulo |
| >1,75 | forte accumulo |

Tab. 3 - Scala utilizzata per l'interpretazione del rapporto fra la concentrazione di ogni elemento dopo l'esposizione e la concentrazione del campione di controllo

6.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) sono composti che vengono prodotti tipicamente nelle combustioni incomplete, le quali possono verificarsi in inceneritori, incendi e motori a scoppio.

I risultati ottenuti dal biomonitoraggio nelle sei stazioni selezionate sono riassunti nella tabella 4. Come si può notare, si è curato di separare gli IPA che derivano tipicamente dal traffico veicolare da quelli tipicamente prodotti dalle attività industriali. I risultati presentati evidenziano un aumento della concentrazione di IPA in tutte le sei stazioni.

I valori delle concentrazioni degli IPA totali, eccezion fatta per la stazione 1 situata in piena campagna, risultano non particolarmente diversi e senza apparenti legami con il modello diffusivo degli inquinanti emessi dal termovalorizzatore; in effetti non si evidenziano situazioni di accumulo particolari nelle stazioni 5 e 6.

Gli IPA principalmente presenti in tutti i punti risultano essere quelli correlati al traffico veicolare (cfr. riferimento bibliografico 16), ossia quelli a tre e quattro anelli aromatici (fluorene, fenantrene, fluorantene e pirene), come già rilevato in altri studi (cfr. riferimento bibliografico 17). La bassa concentrazione dell'antracene viene attribuita alla sua bassa stabilità termodinamica (cfr. riferimento bibliografico 18). Tali composti sono presenti in fase gassosa e, in quanto tali, sono più soggetti a una maggiore diffusione anche lontano dalla fonte di origine (cfr. riferimento bibliografico 19).

In cinque stazioni su sei il valore di EC ratio rientra nella fascia di parametri di "forte accumulo", specialmente nelle stazioni 4 e 6 che risultano essere quelle situate nelle vicinanze

di strade ad alto traffico. La stazione 1, invece, è una zona prettamente agricola a scarso traffico veicolare.

I valori di EC per gli IPA a cinque o sei anelli, prodotti principalmente in processi industriali (cfr. riferimento bibliografico 20), risultano, invece, più bassi di quelli calcolati per gli IPA da traffico veicolare e rientrano nella fascia di "accumulo". Questi IPA sono presenti in aria in forma condensata e, come tali, depositati sul particolato atmosferico.

In conclusione, si può ritenere che la presenza di IPA in aria sia quasi esclusivamente derivante dal traffico veicolare. I valori di IPA totali (range 396-716 µg/kg), se paragonati a quelli ottenuti in precedenti campagne portate a termine con la stessa metodologia in altri siti laziali, risultano più bassi di quelli registrati nei dintorni della discarica di Malagrotta di Roma (range 633-1374 µg/kg) e più alti di quelli rilevati nei dintorni della discarica di Albano (range 260-360 µg/kg). Anche in queste due precedenti indagini ambientali la presenza di IPA sembra dovuta principalmente al traffico veicolare. In tutte e tre queste indagini si è ricorso all'utilizzo della stessa specie lichenica raccolta sul monte Terminillo.

| IPA (µg/kg) | BIANCO | STAZIONI | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fluorene | 13 | 80 | 59 | 88 | 35 | 152 | 217 |
| Fenantrene | 72 | 101 | 287 | 269 | 281 | 227 | 208 |
| Antracene | 2 | 2 | 7 | 10 | 8 | 7 | 7 |
| Fluorantene | 86 | 99 | 96 | 128 | 194 | 86 | 105 |
| Pirene | 34 | 63 | 64 | 77 | 123 | 56 | 57 |
| IPA da traffico | 207 | 345 | 513 | 572 | 641 | 528 | 594 |
| EC traffico | | 1,2 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 1,8 | 2,1 |
| Benzo(a)antracene | 2 | 5 | 8 | 7 | 6 | 4 | 5 |
| Crisene | 11 | 16 | 20 | 17 | 18 | 12 | 13 |
| Benzo(b+k)fluorantene | 8 | 16 | 19 | 17 | 24 | 16 | 21 |
| Benzo(a)pirene | 2 | 5 | 6 | 6 | 8 | 5 | 6 |
| Indeno(123cd)pirene | 4 | 6 | 4 | 6 | 7 | 4 | 5 |
| Benzo(ghi)perilene | 2 | 5 | 5 | 5 | 8 | 4 | 5 |
| Dibenzo(ah)antracene | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 |
| IPA industriali | 31 | 56 | 64 | 59 | 75 | 47 | 57 |
| EC industriali | | 1,3 | 1,5 | 1,3 | 1,7 | 1,1 | 1,3 |
| IPA totali | 238 | 396 | 577 | 631 | 716 | 575 | 651 |
| EC IPA totali | | 1,2 | 1,7 | 1,9 | 2,2 | 1,7 | 1,9 |

Tab. 4 - Concentrazioni (µg/kg) degli IPA in talli di licheni *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relativi EC ratio

Per rendere più semplice l'analisi dei risultati ottenuti si è eseguita una loro spazializzazione impiegando il ben noto algoritmo di interpolazione basato sull'inverso del quadrato della distanza. Se si spazializza il parametro EC relativo agli IPA totali, il quadro che si ottiene è una ripartizione spaziale così come delineata nella figura 5. È comunque interessante spazializzare separatamente sia il parametro EC relativo agli IPA tipicamente derivanti dal traffico veicolare sia il parametro EC relativo agli IPA di origine industriale, rispettivamente riportati nelle figure 6 e 7.

Queste distribuzioni spaziali hanno solo un valore qualitativo, visto il numero ridotto di misure e la tecnica puramente geostatistica adottata, tuttavia evidenziano che la distribuzione spaziale degli IPA da traffico è distinta e ben differente da quella degli IPA di origine industriale. A causa della mancanza di informazioni specifiche relative alle sorgenti emittive da cui provengono i vari IPA, non è possibile dare una giustificazione completa di questa evidente differenza.

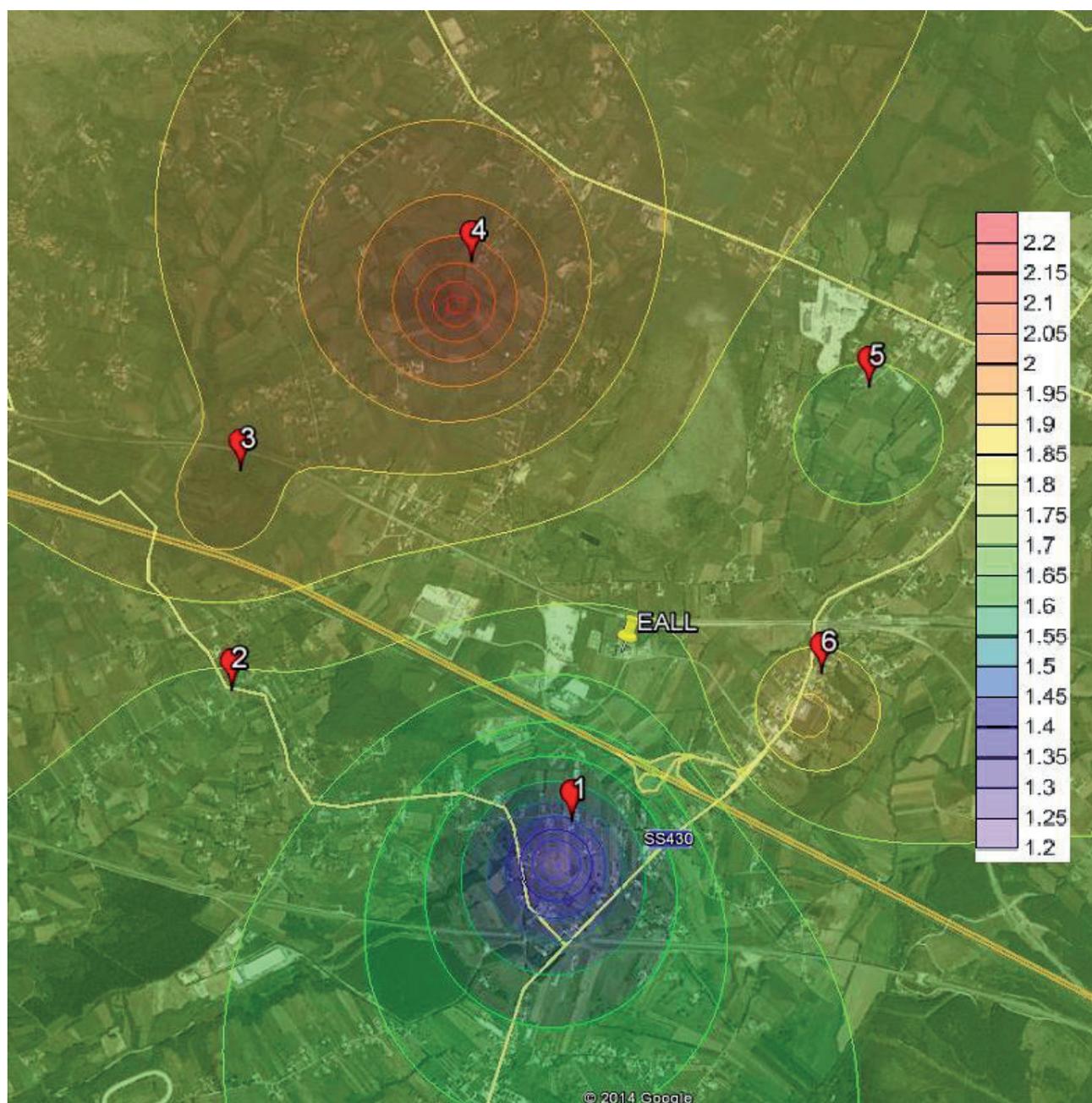


Fig. 5 - Distribuzione spaziale del rapporto EC ratio relativo agli IPA totali

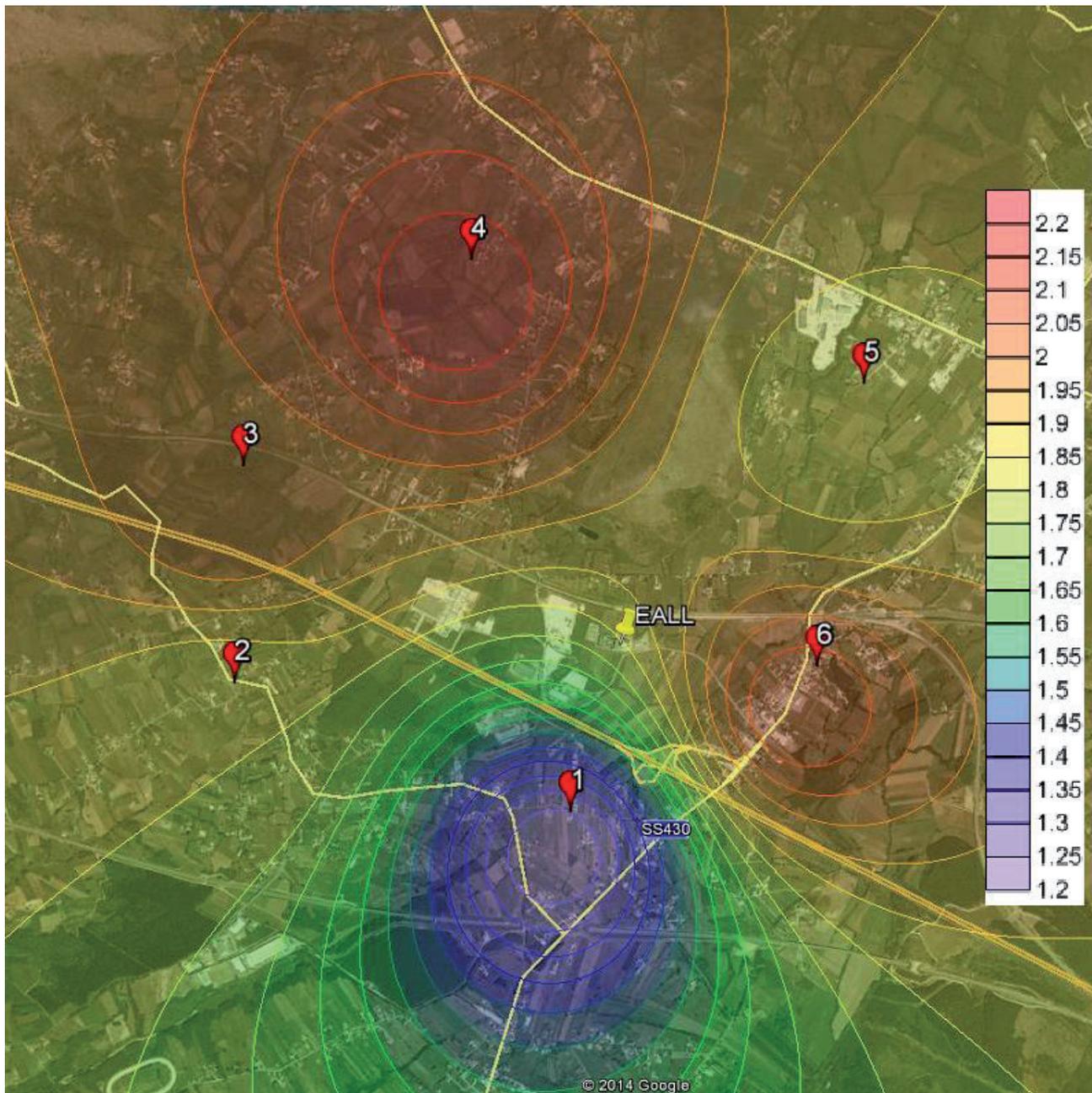


Fig. 6 - Distribuzione spaziale degli IPA derivanti principalmente dal traffico veicolare

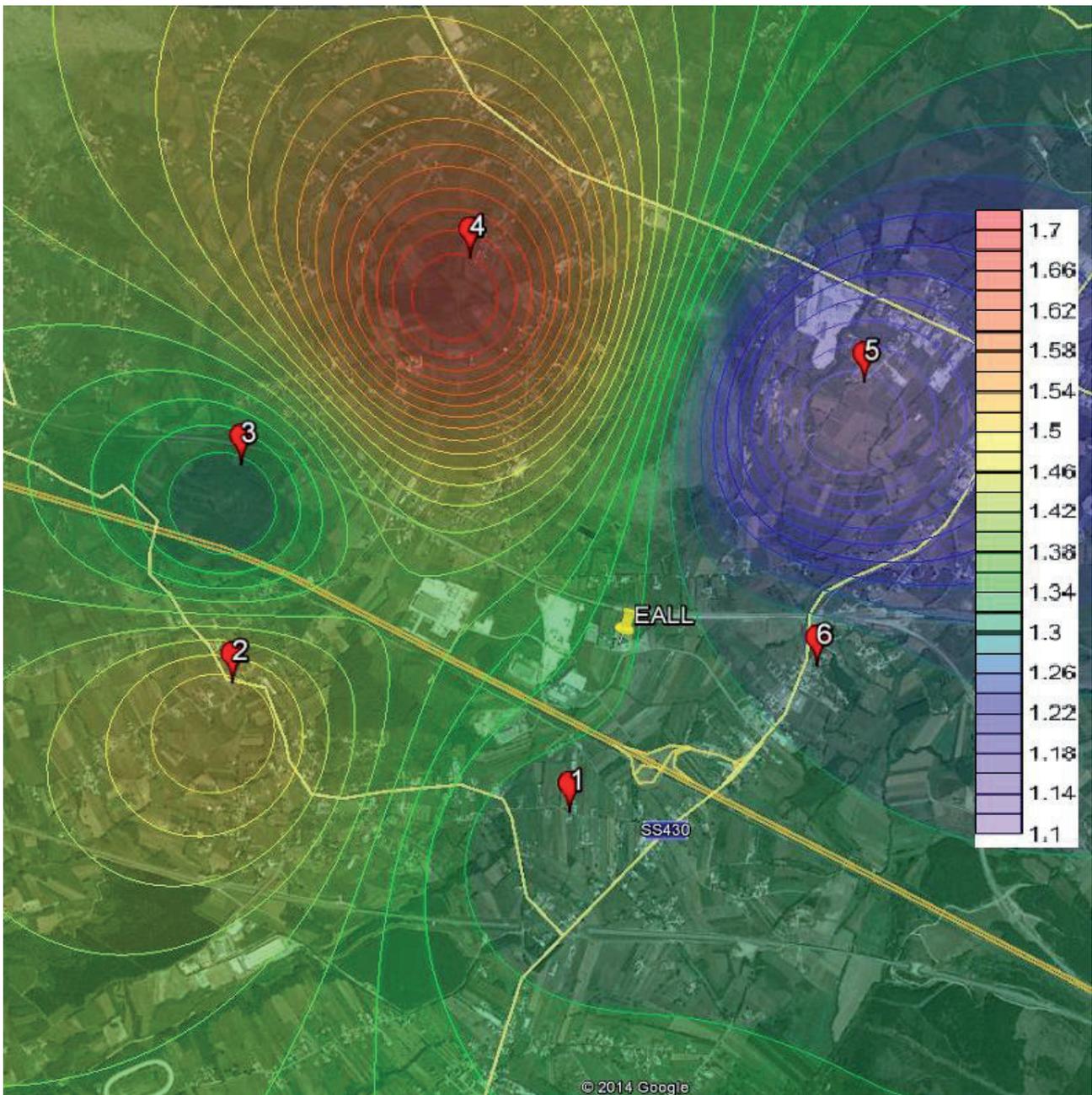


Fig. 7 - Distribuzione spaziale degli IPA derivanti principalmente dalle attività industriali

Come informazione complementare per una futura interpretazione dei risultati ottenuti, di seguito vengono presentate le rose dei venti relative all'anno 2011. In particolare nella figura 8 viene presentata la rosa dei venti totale, mentre nelle figure 9 e 10 viene riportata rispettivamente la rosa dei venti diurna e notturna.

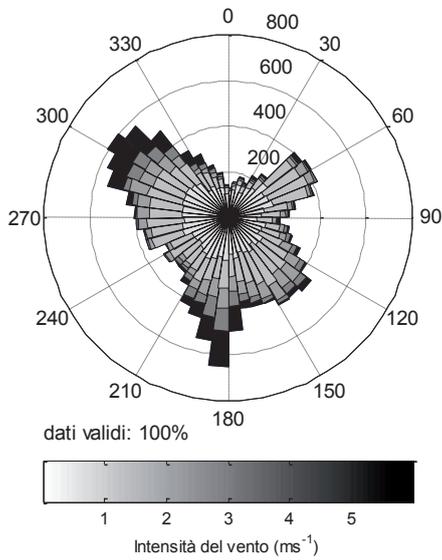


Fig. 8 - Rosa dei venti totale (anno 2011)

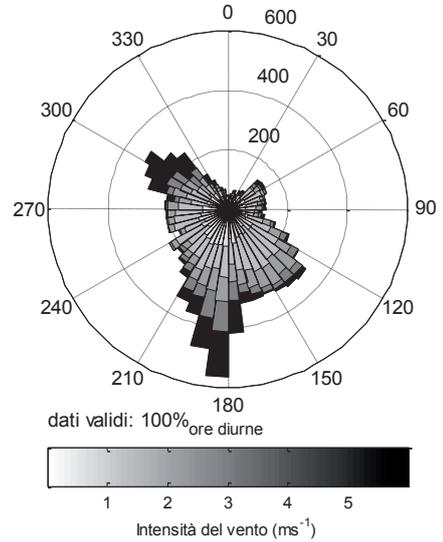


Fig. 9 - Rosa dei venti diurna (anno 2011)

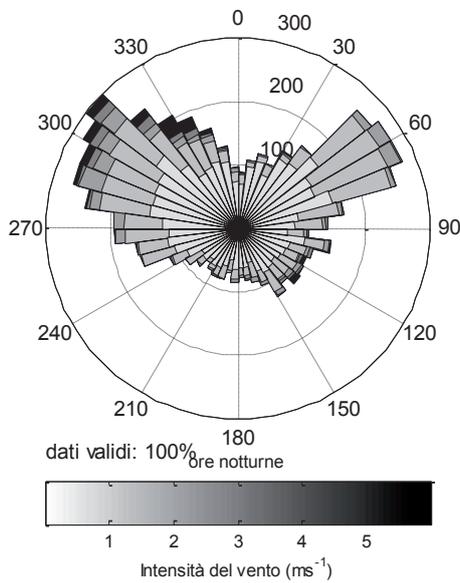


Fig. 10 - Rosa dei venti notturna (anno 2011)

6.2 Policlorobifenili

I policlorobifenili (PCB) sono composti di sintesi utilizzati in passato principalmente in olii dielettrici e nella composizione di inchiostri, vernici e plastificanti. Va notato che, sulla base delle conoscenze attuali, dalla combustione di fluidi contenenti PCB si può avere formazione di diossine e furani.

Sono pochi nella letteratura scientifica i lavori riguardanti il bioaccumulo di PCBs da parte di licheni e, in particolare, i più recenti riguardano studi effettuati in Antartide per dimostrare la mobilità di tali inquinanti persistenti nell'atmosfera (cfr. riferimento bibliografico 21). Pochissimi lavori riguardano, invece, il bioaccumulo da parte di queste specie in zone europee (cfr. riferimento bibliografico 22).

Nella nostra indagine, anche per i PCB (vedi tabella 5) si è avuto un generale incremento della concentrazione in tutte le sei stazioni, con il valore più basso riscontrato sempre nella stazione 1. I valori di EC riscontrati indicano situazioni di "accumulo" per le stazioni 2, 4, 5 e 6 e di "condizioni normali" per le stazioni 1 e 3.

Tenendo conto del modello diffusivo degli inquinanti, non si evidenziano situazioni di accumulo particolari nelle stazioni 5 e 6. Tali valori risultano simili a quelli ottenuti da Garty J. e coll. (cfr. riferimento bibliografico 23) nell'indagine portata a termine sempre con la tecnica del trapianto. In tale lavoro si evidenziava come la concentrazione di PCB risultasse più alta nelle stazioni situate vicino a zone ad alto traffico veicolare.

| PCB (ng/kg) | BIANCO | STAZIONI | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 52 | 288 | 144 | 320 | 338 | 366 | 236 | 262 |
| 81 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| 77 | 41 | 44 | 42 | 49 | 72 | 68 | 51 |
| 95 | 121 | 143 | 144 | 156 | 153 | 173 | 183 |
| 101 | 2 | 198 | 232 | 199 | 197 | 277 | 281 |
| 99 | 80 | 80 | 104 | 121 | 73 | 103 | 119 |
| 123 | 10 | 20 | 15 | 17 | 32 | 63 | 17 |
| 110 | 240 | 340 | 489 | 190 | 510 | 386 | 527 |
| 118 | 351 | 402 | 561 | 568 | 587 | 596 | 659 |
| 114 | 18 | 17 | 15 | 18 | 20 | 62 | 24 |
| 105 | 162 | 195 | 289 | 300 | 311 | 242 | 338 |
| 126 | 21 | 11 | 6 | 12 | 15 | 22 | 20 |
| 151 | 50 | 49 | 151 | 38 | 28 | 64 | 66 |
| 149 | 173 | 176 | 164 | 171 | 159 | 196 | 252 |
| 146 | 42 | 43 | 45 | 46 | 41 | 47 | 61 |
| 153 | 430 | 331 | 335 | 295 | 287 | 357 | 400 |
| 138 | 450 | 456 | 487 | 426 | 417 | 569 | 584 |
| 167 | 31 | 23 | 25 | 27 | 25 | 32 | 37 |
| 156 | 70 | 62 | 83 | 88 | 95 | 99 | 84 |
| 169 | 30 | 3 | 5 | 4 | 6 | 8 | 8 |
| 157 | 9 | 10 | 10 | 16 | 20 | 21 | 19 |
| 187 | 120 | 61 | 62 | 55 | 57 | 107 | 79 |
| 183 | 66 | 38 | 30 | 32 | 35 | 58 | 40 |
| 177 | 43 | 51 | 46 | 52 | 57 | 65 | 61 |
| 180 | 180 | 246 | 267 | 261 | 263 | 283 | 272 |
| 170 | 185 | 148 | 178 | 190 | 191 | 222 | 179 |
| 189 | 9 | 7 | 18 | 7 | 5 | 22 | 8 |
| PCB TOTALI | 3232 | 3573 | 4123 | 3671 | 4116 | 4378 | 4649 |
| EC | | 1,10 | 1,28 | 1,14 | 1,27 | 1,35 | 1,44 |

Tab. 5 - Concentrazioni dei PCB in talli di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relativi EC ratio

Per avere almeno un quadro qualitativo della distribuzione spaziale dei PCB totali, anche in questo caso è stata realizzata la spazializzazione delle misure ottenute, per giungere a quanto riportato nella figura 11. Come si può notare, il territorio maggiormente interessato dalla presenza di PCB è quello posto a est del termovalorizzatore di San Vittore.

Anche in questo caso il numero ridotto di misure non consente un maggior dettaglio della distribuzione spaziale di questi microinquinanti e la quasi totale assenza di informazioni realistiche sulle possibili fonti emissive di tali sostanze non permette un'analisi più approfondita dei risultati ottenuti.

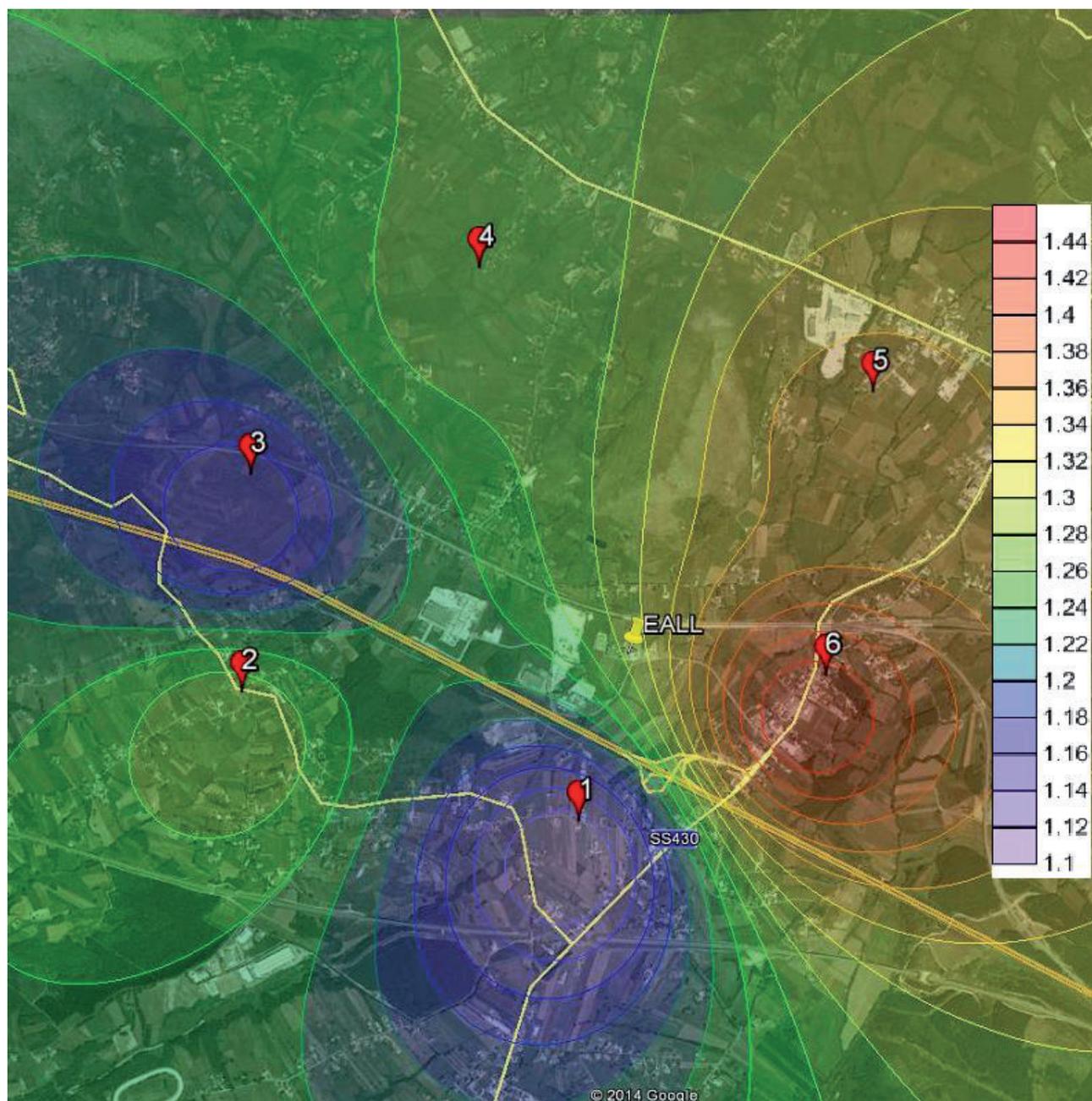


Fig. 11 - Distribuzione spaziale dei PCB

6.3 Metalli

Al di là di un generale accumulo di metalli in tutte le stazioni (vedi tabella 6), non si evidenziano situazioni di accumulo particolari nelle stazioni 5 e 6.

Per il cadmio, in particolare, non sembra verificarsi bioaccumulo in nessuna delle stazioni, come invece risulta da uno studio effettuato per un'indagine ambientale mediante bioaccumulo eseguita nei dintorni di un inceneritore (cfr. riferimento bibliografico 24).

Per quanto riguarda l'arsenico, si ha una situazione di "accumulo" in tutte le stazioni. In particolare nelle stazioni 1 e 2 sono state riscontrate concentrazioni di valore quasi doppie rispetto a quelle rilevate nelle altre quattro stazioni. Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che il territorio sede delle stazioni 1 e 2 è prevalentemente dedicato ad attività agricole con il probabile utilizzo di fitofarmaci a base di arsenico.

Il nichel è il metallo per cui si ha il maggiore bioaccumulo. Esso è presente nei gas di combustione di prodotti petroliferi e di carbone e anche nei gas in uscita dagli inceneritori.

I risultati ottenuti, se confrontati con quelli di un'indagine simile portata a termine in cinque diverse zone della città di Viterbo (cfr. riferimento bibliografico 12), mostrano valori sensibilmente più bassi per i metalli legati al traffico veicolare, come cadmio e piombo, mentre risulta più alto il contenuto in nichel.

Stessa situazione si ha paragonando i nostri risultati a quelli ottenuti da Adamo P. e coll. (cfr. riferimento bibliografico 3) in una simile indagine effettuata nella città di Napoli, dove risultano concentrazioni molto più elevate di piombo e cadmio, concentrazioni più basse di nichel e concentrazioni simili di arsenico.

| METALLI | BIANCO | STAZIONE | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|----------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| | | mg/kg | EC | mg/kg | EC | mg/kg | EC | mg/kg | EC | mg/kg | EC | mg/kg | EC |
| Cadmio | 0,26 | 0,27 | 1,00 | 0,27 | 1,00 | 0,29 | 1,00 | 0,31 | 1,20 | 0,25 | 1,00 | 0,29 | 1,10 |
| Piombo | 10,5 | 13,0 | 1,23 | 12,6 | 1,20 | 10,2 | 0,98 | 11,3 | 1,08 | 14,3 | 1,36 | 10,9 | 1,04 |
| Nichel | 2,1 | 5,4 | 2,57 | 7,6 | 3,61 | 8,4 | 3,30 | 7,0 | 3,30 | 4,7 | 2,20 | 2,9 | 1,28 |
| Arsenico | 0,23 | 0,88 | 3,82 | 0,74 | 3,22 | 0,65 | 1,65 | 0,38 | 1,65 | 0,49 | 2,13 | 0,47 | 2,03 |

Tab. 6 - Concentrazioni dei metalli in talli di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. nelle sei stazioni esaminate e relativi EC ratio

6.4 Diossine e furani

Le diossine (PCDD) e i furani (PCDF) sono composti che possono formarsi nei termovalorizzatori durante la combustione di composti organici contenenti cloro, come nel caso di combustione di PCB. Inoltre, possono avere origine durante i processi di sbiancamento della carta e dei tessuti con cloro, nella produzione di clorofenoli e di PVC e dal traffico veicolare. Tali composti sono stati ricercati nei campioni di licheni prelevati dopo sei mesi, al fine di avere un eventuale bioaccumulo accertabile mediante analisi GC-MS-MS. Tali composti, infatti, in aria ambiente sono presenti alla concentrazione di pochi fentogrammi per metro cubo.

Solo negli ultimi anni sono apparsi in letteratura scientifica lavori riguardanti il bioaccumulo di diossine e furani da parte di licheni (cfr. riferimenti bibliografici da 25 a 27).

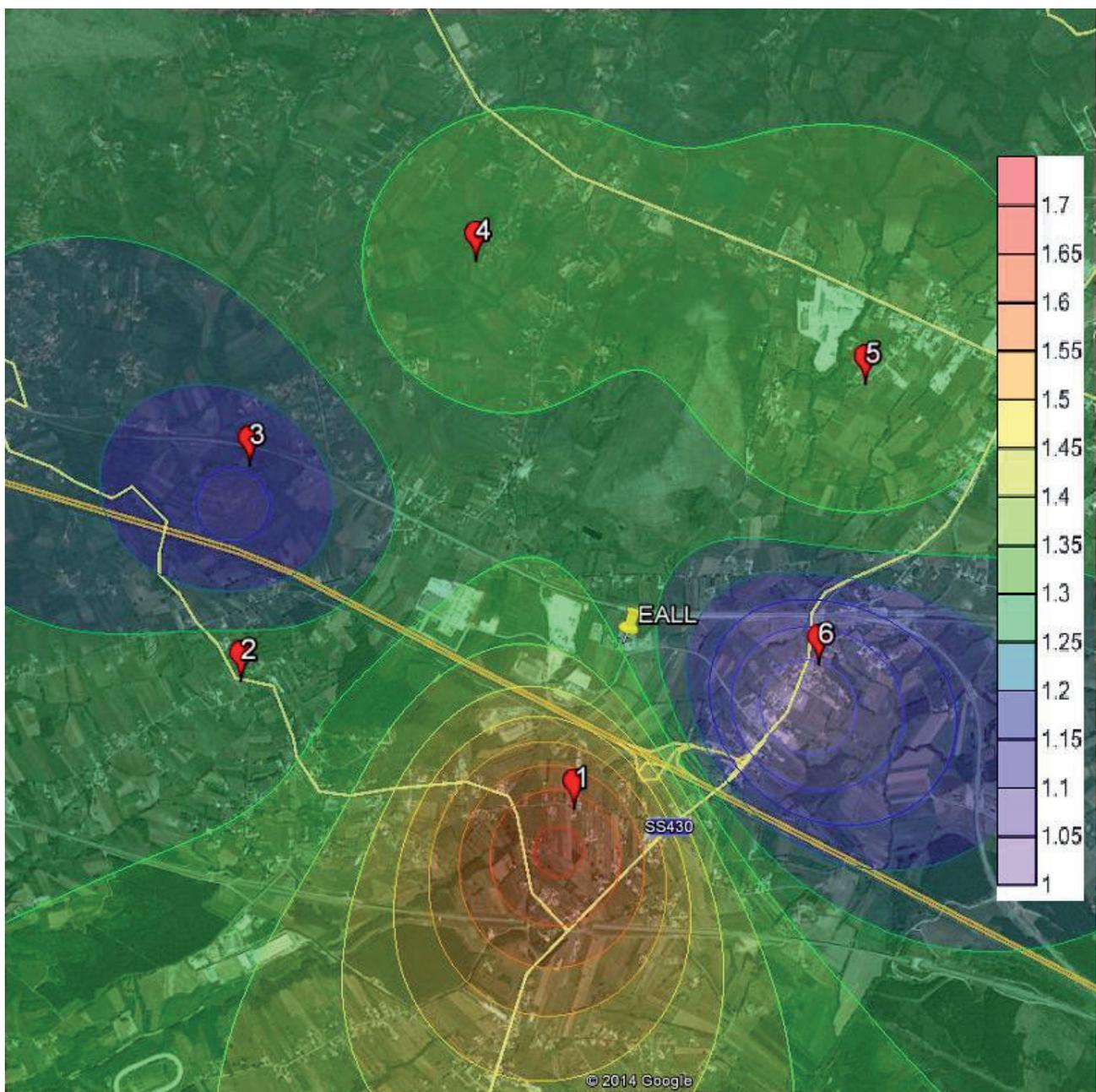


Fig.12 - Distribuzione spaziale delle diossine e dei furani

Come per i PCBs, alcuni di questi studi segnalano la presenza di tali inquinanti anche in campioni di licheni prelevati in zone fredde del globo terrestre, dimostrando anche in questo caso l'estrema mobilità di tali inquinanti nell'atmosfera.

Dai risultati ottenuti nella nostra indagine risulta un bioaccumulo generalizzato in tutte le stazioni (vedi tabella 7) e i valori di tossicità equivalente riscontrati risultano in accordo con quelli riportati nei suddetti lavori scientifici, anche se relativi ad altre specie licheniche.

Tenendo conto del modello diffusivo degli inquinanti non si evidenziano situazioni di accumulo particolari nelle stazioni 5 e 6. Infatti i valori di EC ratio classificano tutte le stazioni come "condizione normale" di bioaccumulo, con il valore più alto registrato nella stazione 1.

Sempre per comodità di interpretazione dei risultati ottenuti, anche in questo caso è stata realizzata una spazializzazione delle misure impiegando il metodo geostatistico già utilizzato per gli altri microinquinanti. Il risultato ottenuto è presentato nella figura 12 e anche in questo caso esso deve essere visto in termini più qualitativi che quantitativi.

| LICHENI (ng/kg) | BIANCO | STAZIONI | | | | | |
|------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | N°1 | N°2 | N°3 | N°4 | N°5 | N°6 |
| 2378-TCDD | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,3 |
| 12378-PeCDD | 2,0 | 3,6 | 1,3 | 0,8 | 1,2 | 2,3 | 0,9 |
| 123478-HxCDD | 0,5 | 2,6 | 0,9 | 0,6 | 1,8 | 1,3 | 0,8 |
| 123678-HxCDD | 0,5 | 2,2 | 1,1 | 0,6 | 1,6 | 1,3 | 1,2 |
| 123789-HxCDD | 0,6 | 3,6 | 1,7 | 0,7 | 0,9 | 1,5 | 0,9 |
| 1234678-HpCDD | 3,5 | 6,3 | 5,4 | 2,5 | 4,5 | 3,5 | 4,3 |
| OCDD | 7,5 | 10,1 | 8,7 | 7,4 | 8,4 | 8,6 | 18,7 |
| 1278-TCDF | 2,0 | 2,8 | 5,1 | 5,5 | 4,7 | 6,2 | 0,5 |
| 12378-PeCDF | 2,4 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 5,6 | 5,6 | 5,2 |
| 23478-PeCDF | 1,8 | 5,2 | 4,3 | 4,1 | 4,5 | 3,2 | 1,6 |
| 123478-HxCDF | 2,6 | 5,0 | 4,6 | 3,5 | 4,4 | 4,1 | 3,6 |
| 123678-HxCDF | 2,7 | 4,8 | 4,2 | 3,1 | 3,0 | 3,4 | 3,2 |
| 123789-HxCDF | 2,3 | 5,3 | 3,5 | 2,6 | 3,0 | 3,1 | 1,9 |
| 234678-HxCDF | 1,2 | 3,5 | 1,3 | 1,1 | 2,0 | 1,8 | 0,5 |
| 1234678-HpCDF | 5,5 | 8,9 | 8,4 | 6,9 | 10,5 | 8,1 | 7,6 |
| 1234789-HpCDF | 1,1 | 3,1 | 1,7 | 0,3 | 2,1 | 0,6 | 1,2 |
| OCDF | 3,2 | 8,6 | 4,8 | 2,8 | 6,4 | 5,0 | 3,1 |
| Teq | 4,4 | 7,3 | 5,7 | 5,2 | 5,8 | 5,9 | 4,5 |
| EC | | 1,66 | 1,29 | 1,14 | 1,32 | 1,34 | 1,02 |

Tab. 7 - Concentrazioni delle diossine e dei furani in talli di *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. nelle sei stazioni esaminate e relativi EC ratio

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalla campagna di monitoraggio mediante bioaccumulo sono complessivamente riportati nella figura 13 e mostrano che nelle stazioni teoricamente più interessate dalle deposizioni di eventuali inquinanti generati dall'inceneritore, secondo il modello diffusivo (stazioni 5 e 6), non vi è una loro maggiore presenza, bensì essi risultano presenti in tutte le stazioni. La presenza di tali microinquinanti in modo così diffuso su tutta l'area porta a pensare principalmente all'effetto del traffico veicolare. I risultati ottenuti confermano ancora una volta la capacità di accumulo di microinquinanti da parte della specie lichenica utilizzata. In particolare, tale capacità viene confermata anche per quei microinquinanti organici per i quali esistono pochi dati nella letteratura scientifica come PCB, diossine e furani.

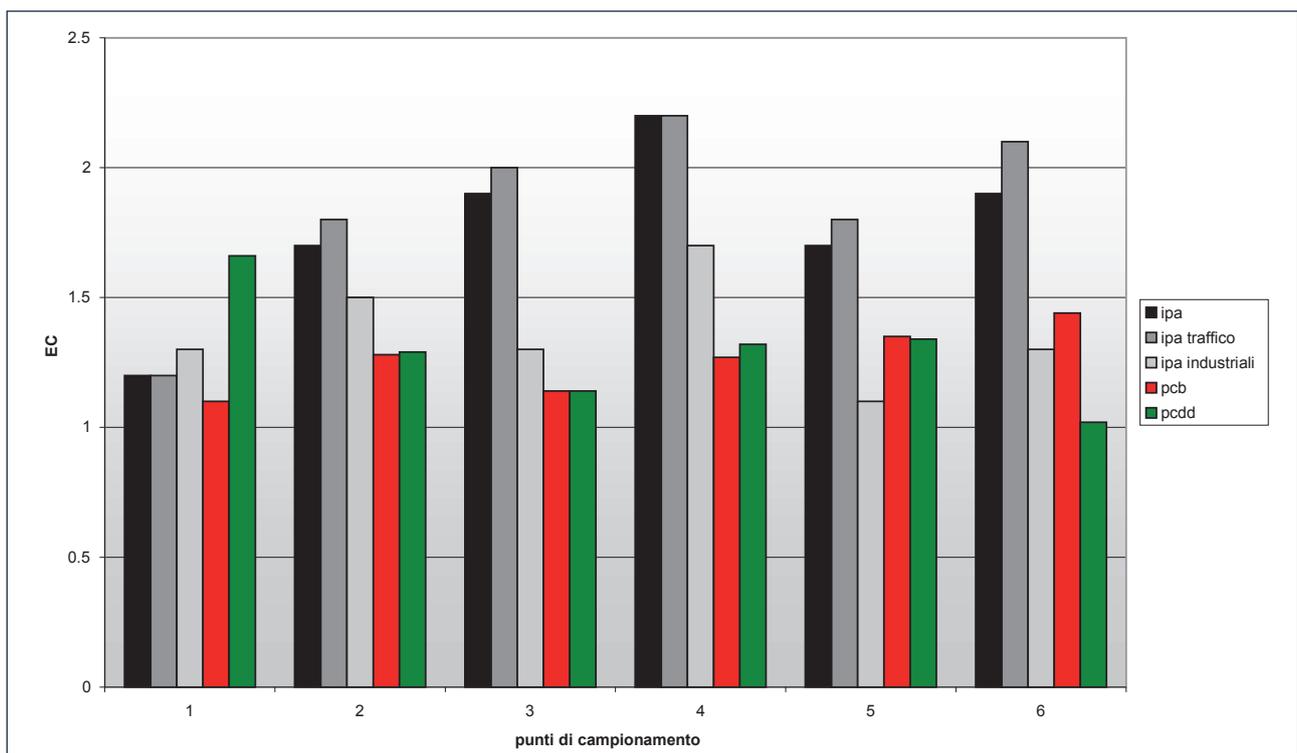


Fig.13 - Valori di EC ratio riscontrati nelle sei stazioni per i diversi microinquinanti

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Nimis, P.L., Lazzarin, G., Lazzarin, A. & Skert, N. (2000). Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy). *The Science of the Total Environment* 255: 97-111
2. Bargagli R., Trace elements in terrestrial plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Berlin: Springer, 1998
3. Adamo P., Giordano S., Castaldo Cobianchi R., Violante P., *Environmental Pollution*, 2003; 122:91-103
4. Basile A., Sorbo S., Aprile G., Conte B., Castaldo Cobianchi R., *Environmental Pollution*, 2008;151:401-7
5. Iozwiak M.A., Iozwiak M. *Ecological Chemistry and Engineering*, 2009; vol. 16 n°3
6. Yldiz A. et al., *Journal of atmospheric chemistry*, 2008; vol. 60 n°1
7. Yldiz A. et al., *Ekoloji*, 2011; 20,78,82-88
8. Bargagli R., Monaci F., Borghini F., Bravi F., Agnorelli C. *Environmental Pollution.*, 2002; 116:279-87
9. Loppi S. Licheni come bioaccumulatori di elementi in traccia: stato dell'arte in Italia. In Piccini C, Salvati S, editors. ANPA-Atti del Workshop Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale, 26-27 November 1998, Rome, Italy, 2; 1999.p.123-44
10. Giordano S., Adamo P., Sorbo S., Vingiani S., Atmospheric trace metal pollution in the Naples urban area based on results from moss and lichen bags, *Environmental Pollution*, 2005; 136:431-42
11. Sorbo S., Aprile G., Strumia S., Castaldo Cobianchi R., Leone A., Basile A., *Science of the Total Environment*, 407 (2008) 647-654
12. Guidotti M., Stella D., Dominici C., Blasi G., Owczarek M., Vitali M., Protano C., Monitoring of Traffic-Related Pollution in a Province of Central Italy with Transplanted Lichen *Pseudevernia furfuracea*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2009; 83:852-858
13. Owczarek M., Guidotti M., Blasi G., De Simone C., De Marco A., Traffic pollution monitoring using lichens as bioaccumulators of heavy metals and PAH. *Fresenius Environmental Bulletin*, 10/1(2001)pp.42-45
14. Hawksworth D. L., Rose F., 1976. Lichens as pollution monitors. *Studies in Biology*, 66, Arnold, London.
15. Frati L., Brunialti, G., Loppi S., Problems Related to Lichen Transplants to Monitor Trace Element Deposition in Repeated Surveys: A Case Study from Central Italy, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 2005, 52:221-230
16. Gerdol et al., *Atmospheric Environment*, 2002; 36,40, 69
17. Zho J. et al, 2005. *Chemosphere*, 61,792
18. Yang S.Y et al., 1991. *The science of the total Environment*,102,229-240
19. Bixiong et al., 2007. *Chemosphere*, 68,140
20. Vertika Shukla et al., 2009. *Environmental Monitoring and Assessment* 149,1

-
21. Hyun P., Sang-Hwan L., Minkyun K., Jeong-Hoon K., and Hyoun Soo L., Polychlorinated biphenyl congeners in soils and lichens from King George Island, South Shetland Islands, Antarctica *Antartic Scienc* 2 22(1)31-38, 2010
 22. Migaszewski Z., Determining Organic Compound Ratios In Soils And Vegetation Of The Holy Cross Mts, Poland, *Water Air and Soil Pollution*, 1999; 111:123-138
 23. Garty J. et al., *Nordic Journal of Botany*. V.2,n 6,583-586,1983
 24. Loppi, S. et al. 2000. *Environmental Monitoring and Assessment* 61; 361-371
 25. Augusto, S. et al. 2007. *The science of the total Environmental*, 377,114-123
 26. Augusto S., Pinho P., Branquinho C., Bio A., Pereira M.J., Soares A. & Catarino F (2004). Atmospheric dioxins and furans deposition in relation to land-use and other pollutants: a survey with lichens. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 49: 53-65
 27. Suutari A. et al. 2010. Airborne organic pollutants in Finnish reindeer food chain Proceeding of the SkyPro conference June 3th 2010, University of Oulu, Finland

INDICE DELLE FIGURE

| | | |
|---------|---|---------|
| Fig. 1 | Stazioni di posizionamento dei licheni..... | pag. 11 |
| Fig. 2 | Localizzazione delle stazioni di misura e ricostruzioni modellistiche..... | pag. 12 |
| Fig. 3 | Esemplare di <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.)Zopf..... | pag. 13 |
| Fig. 4 | Lichen bag | pag. 15 |
| Fig. 5 | Distribuzione spaziale del rapporto EC ratio relativo agli IPA totali | pag. 21 |
| Fig. 6 | Distribuzione spaziale degli IPA derivanti principalmente dal traffico veicolare | pag. 22 |
| Fig. 7 | Distribuzione spaziale degli IPA derivanti principalmente dalle attività industriali | pag. 23 |
| Fig. 8 | Rosa dei venti totale..... | pag. 24 |
| Fig. 9 | Rosa dei venti diurna | pag. 24 |
| Fig. 10 | Rosa dei venti notturna | pag. 24 |
| Fig. 11 | Distribuzione spaziale dei PCB..... | pag. 26 |
| Fig. 12 | Distribuzione spaziale delle diossine e dei furani..... | pag. 28 |
| Fig. 13 | Valori di EC ratio riscontrati nelle sei stazioni per i diversi microinquinanti..... | pag. 31 |

INDICE DELLE TABELLE

| | | |
|--------|--|--------|
| Tab. 1 | Coordinate geografiche delle stazioni di misura..... | pag.11 |
| Tab. 2 | Risultati ottenuti dal materiale di riferimento certificato BCR 482..... | pag.17 |
| Tab. 3 | Scala utilizzata per l'interpretazione del rapporto fra la concentrazione di ogni elemento dopo l'esposizione e la concentrazione del campione di controllo | pag.19 |
| Tab. 4 | Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{kg}$) degli IPA in talli di licheni <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relative EC ratio..... | pag.20 |
| Tab. 5 | Concentrazioni dei PCB in talli di <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relative EC ratio | pag.25 |
| Tab. 6 | Concentrazioni dei metalli in talli di <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relative EC ratio..... | pag.27 |
| Tab. 7 | Concentrazioni delle diossine e dei furani in talli di <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf. nei sei siti esaminati e relative EC ratio..... | pag.29 |

METADATI

| | |
|----------------------|---|
| Titolo | Studio della qualità dell'aria mediante licheni nella zona del termovalorizzatore di San Vittore |
| Autore | ARPA Lazio, Sezione di Rieti; ARPA Lazio, Divisione atmosfera e impianti |
| Soggetto | Aria – Qualità – Rapporti tecnici |
| Descrizione | Valutazione della possibilità di utilizzare la specie lichenica <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf. come bioaccumulatore per il monitoraggio della qualità dell'aria nella zona del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio |
| Editore | ARPA Lazio |
| Data | 2014 |
| Tipo | Report ambientale |
| Formato | cartaceo, elettronico |
| Identificatore | Report_2014_SRI.SLA.CH_01 |
| Lingua | IT |
| Copertura | Lazio |
| Gestione dei diritti | ARPA Lazio - Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio |



ARPALAZIO
AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

IMPAGINAZIONE E STAMPA

TIBURTINI
CARATTERE TIPOGRAFICO

tiburtini.it

Dicembre 2014

Report - Aria



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO