

Technical note

Analisi esplorativa delle deposizioni atmosferiche in un ecosistema forestale costiero dell'Italia centrale

Rita Aromolo^{1*}, Valerio Moretti¹, Luca Salvati¹*Received 02/12/2013 - Accepted 09/02/2015 - Published online 27/02/2015*

Riassunto - La nota espone i risultati preliminari dell'attività triennale di monitoraggio dei metalli pesanti nelle deposizioni atmosferiche, umide e secche. Lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni atmosferiche è di notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. Le informazioni deducibili da una stima corretta dei metalli pesanti sono quindi cruciali per la valutazione della qualità dell'ambiente. I diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema naturale quale la Tenuta di Castelporziano, possono costituire un indicatore di inquinamento molto efficace per stabilire i fattori che influenzano la loro diffusione e la loro distribuzione spaziale e temporale. L'analisi preliminare delle deposizioni nei vari siti della Tenuta, evidenzia sia l'influenza dell'impatto antropico, sia quella dei processi di trasporto a breve e a lunga distanza. Lo studio proseguirà con lo studio dettagliato dei flussi mensili e stagionali in correlazione con i fenomeni meteorologici coincidenti con il periodo di campionamento e con i risultati ottenuti mediante l'analisi delle acque di dilavamento degli alberi e la determinazione di altri metalli pesanti indicatori di fonti specifiche di inquinamento, quale ad esempio l'arsenico.

Parole chiave - Deposizioni atmosferiche, fonti inquinanti, Castelporziano, monitoraggio, Italia

Abstract - Exploratory analysis of atmospheric pollution in a coastal forest ecosystem in central Italy. The study of spatial and temporal distribution of heavy metals in the atmosphere through the continuous assessment of deposition is of great interest for the analysis of anthropogenic pressure on the environment and the potential toxicity to humans and other living organisms. Information based on reliable estimates of heavy metals is therefore crucial for the evaluation of environmental quality. Trends in heavy metal concentration in atmospheric depositions on a coastal forest ecosystem (Castelporziano, Rome) are analyzed in the present study based on a three-year monitoring field survey over three sites representative of different woodland characteristics in the area. Our results highlight both the influence of transportation processes in the short and medium distance based on the human pressure reflecting urban expansion and infrastructure development on the fringe of Castelporziano pristine forest. Further studies investigating the latent correlation with meteorological variables at various temporal scales are needed to provide a comprehensive picture of environmental conditions in a forest ecosystem subjected to increasing human pressure. Analysis of runoff water quality and the determination of other heavy metals, such as arsenic, may identify additional sources of pollution impacting soil and forest ecosystem.

Keywords - Atmospheric deposition, pollution sources, forest ecosystem, soil, central Italy

Introduzione

Il monitoraggio delle deposizioni atmosferiche umide e secche è uno dei metodi più immediati ed attendibili per investigare i meccanismi di rimozione delle sostanze inquinanti presenti in atmosfera, correlati ai processi ambientali e antropici. La rimozione degli inquinanti dall'atmosfera può avvenire per via umida o secca. La deposizione umida è associata ad eventi meteorici, riguarda l'interazione con l'acqua atmosferica, si verifica anche in zone lontane dalla sorgente e consta essenzialmente di due fasi: un processo di trasferimento degli inquinanti in fase acquosa o di inglobamento delle particelle nelle goccioline che costituiscono la nube per nucleazione, e la successiva rimozione per impatto diretto o

per trascinarsi degli inquinanti sottostanti la nube durante l'evento meteorico. Il processo di deposizione secca consiste nella rimozione degli inquinanti atmosferici in assenza di precipitazione ed è dovuto al trasferimento dell'inquinante dallo strato turbolento sovrastante la superficie recetttrice a quello immediatamente a contatto. Gli effetti aerodinamici e, in generale, la velocità di deposizione che aumenta all'aumentare della turbolenza e dipende dalle caratteristiche della superficie, sono responsabili del trasporto di gas e particelle in prossimità della stessa.

La deposizione di elementi inquinanti di diversa origine sul terreno può incidere sulla crescita e lo sviluppo della vegetazione, in quanto tali elementi possono influenzare i processi fotosintetici, gli

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Research Center for Soil-Plant System (CRA-RPS), Rome, Italy
* corresponding author: rita.aromolo@entecra.it

scambi gassosi a livello fogliare e il metabolismo radicale sia per i soggetti già affermati che per le giovani plantule e, non potendo essere degradati o distrutti, possono bioaccumularsi (Aromolo et al. 1999a). Il monitoraggio permanente è quindi finalizzato alla stima dei composti che possono incidere sui processi di acidificazione del suolo e le deposizioni di tutti gli elementi tossici o comunque indesiderati per la vegetazione (Francaviglia et al. 2001a). Le informazioni deducibili dallo studio dei metalli pesanti che raggiungono il suolo mediante i processi di deposizione atmosferica, possono costituire un valido indicatore per la valutazione della qualità ambientale (Aromolo et al. 1999b), perché le particelle a cui tali metalli sono associate possono essere trasportate dalla fonte di emissione, per lunghe distanze, anche in situazioni ambientali protette come parchi nazionali o aree naturali comunque poco influenzate dall'impatto di attività antropiche interne.

Particolare interesse assumono le aree naturali e semi-naturali in prossimità delle aree urbane, di strade ad elevato traffico veicolare e di aeroporti (Francaviglia et al. 2001b). In tali contesti, lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni assume notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. I diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema semi-naturale, quale foresta planiziarica conservata nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano (esempio di querceta mesofila relitta della costa Tirrenica presso Roma), possono costituire quindi un indicatore di inquinamento molto efficace (Francaviglia et al. 2004) per stabilire i fattori che influenzano la loro distribuzione spaziale e temporale. Sulla base di queste considerazioni preliminari, l'analisi condotta in questa nota esplora le deposizioni atmosferiche come supporto alla valutazione di qualità ambientale in un ecosistema forestale costiero dell'Italia centrale. Come tale, l'analisi può costituire un esempio fondante per approcci di monitoraggio condotti ad una scala di analisi comparabile in Italia e in altre regioni del Mediterraneo sottoposte a crescente pressione antropica.

Materiali e Metodi

Il monitoraggio triennale è stato svolto in tre siti: (i) Tor Paterno, situato in prossimità della costa, a circa 300 m di distanza dal mare e a circa 25 km di distanza da Roma, con un contesto ambientale influenzato dalla brezza marina e da emissioni antropogeniche di varia natura; (ii) Castello, situato in posizione interna alla Tenuta di Castelporziano a

circa 18 km da Roma, nelle cui immediate vicinanze si trovano la maggior parte degli uffici, la caserma della Guardia Forestale, i giardini della Tenuta, le serre e attività varie; (iii) Trafusa, ubicata al confine nord della Tenuta e a circa 14 km da Roma, in prossimità di una strada ad intenso traffico veicolare prossima ad insediamenti urbani a media densità.

Nei tre siti sono ubicate stazioni meteorologiche e di monitoraggio ambientale con campionatori di tipo *wet and dry* e campionatori *Dry Deposition on Aquatic Surface* (DDAS). I campionatori *wet and dry* sono stati installati nel 1992 a Trafusa e a Tor Paterno e permettono di raccogliere sia la deposizione umida che quella secca. La parte *wet* del campionario si apre solo in presenza di precipitazioni atmosferiche. Ciò avviene grazie a un sensore di pioggia collegato con un motore elettrico che aziona il sistema di copertura e apre il contenitore pochi secondi dopo l'inizio dell'evento meteorico. In questo modo viene garantita la raccolta della sola deposizione umida, mentre quella secca viene raccolta in continuo durante i periodi non piovosi. Il campionario DDAS è stato installato nel 1997 a Tor Paterno e nel 1999 a Castello. Il DDAS espone all'atmosfera un'interfaccia acquosa di area pari a 0,0531 m² ed è costituito da un recipiente in cui l'acqua viene mantenuta ad un livello costante di circa 2 cm mediante dei sensori ottici e una pompa peristaltica per la raccolta delle deposizioni secche. Un sensore di precipitazione aziona la copertura proteggendo, in caso di evento meteorico, il recipiente di raccolta del secco e permettendo la raccolta della deposizione umida.

E' stato dimostrato che il DDAS è molto più efficace dei campionatori *dry* che utilizzano una superficie solida come recettore perché permette di valutare sia il contributo delle specie adsorbite sul particolato atmosferico, sia la maggior parte degli inquinanti gassosi che sono adsorbiti dallo strato acquoso secondo la legge di Henry. Per questo motivo, il DDAS è particolarmente idoneo per la determinazione degli elementi presenti in tracce (Morselli et al. 1998).

La misura delle concentrazioni di metalli in tracce nelle deposizioni umide e secche richiede un protocollo di campionamento e di analisi molto accurato, per evitare qualsiasi fonte di contaminazione. I campioni vengono prelevati ogni quindici giorni, filtrati, acidificati o mineralizzati, per quanto riguarda il residuo secco del filtrato ed analizzati. La tecnica analitica utilizzata è l'ICP-AES, spettrometro a emissione ottica al plasma, in grado di analizzare simultaneamente i vari elementi (Francaviglia et al. 2001a, 2001b).

Risultati

Analisi chimica delle deposizioni secche e umide

I valori di concentrazione delle deposizioni secche nei tre siti esaminati, sono molto più elevati rispetto a quelli delle deposizioni umide. Con le deposizioni secche si raccoglie infatti tutto il particolato che ricade al suolo, mentre per le deposizioni umide si deve tenere conto della capacità di trattenuta del materiale depositato. Nel seguito vengono descritti gli andamenti caratteristici osservati nelle tre stazioni di misura (Castello, Tor Paterno e Trafusa) operanti nella tenuta presidenziale di Castelporziano.

Castello

Gli andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti e di micro e macro elementi nelle deposizioni umide della stazione di Castello nel triennio considerato (Fig. 1) mostrano un incremento in

primavera e in autunno soprattutto per il calcio, il sodio, il magnesio, il fosforo, il ferro, il manganese e lo zinco. Nelle deposizioni secche i valori dei macro elementi sono più elevati durante tutto l'anno, mentre il rame, il ferro e il fosforo mostrano concentrazioni maggiori durante il periodo estivo. Lo zinco presenta valori più elevati sia nel mese di gennaio che durante il periodo estivo, insieme al manganese. In questo sito si evidenzia l'influenza dell'impatto antropico, dovuto alle polveri terrigene sollevate dal traffico veicolare su strade non asfaltate, dalle pratiche agricole effettuate nelle vicinanze, dagli inquinanti emessi da impianti di riscaldamento e inceneritori di rifiuti, collegati anche a fenomeni di trasporto a lunga distanza.

Tor Paterno

Per quanto riguarda il sito di Tor Paterno, si evidenzia l'influenza dell'aerosol marino, con una maggiore incidenza di calcio, sodio e magnesio ri-

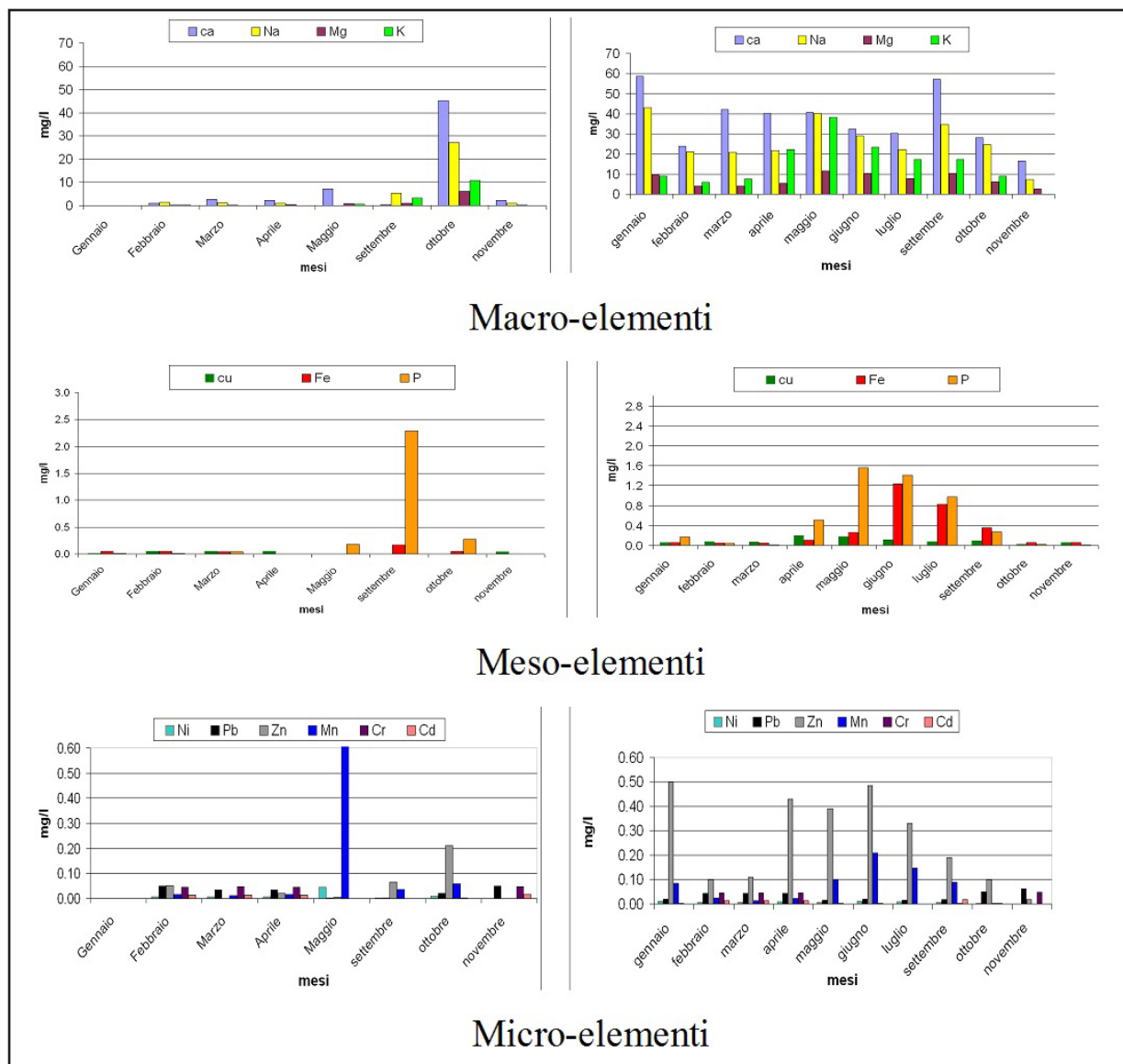


Figure 1 - Andamento delle concentrazioni medie (tre anni di monitoraggio) degli elementi identificati nelle deposizioni umide e secche di Castello.

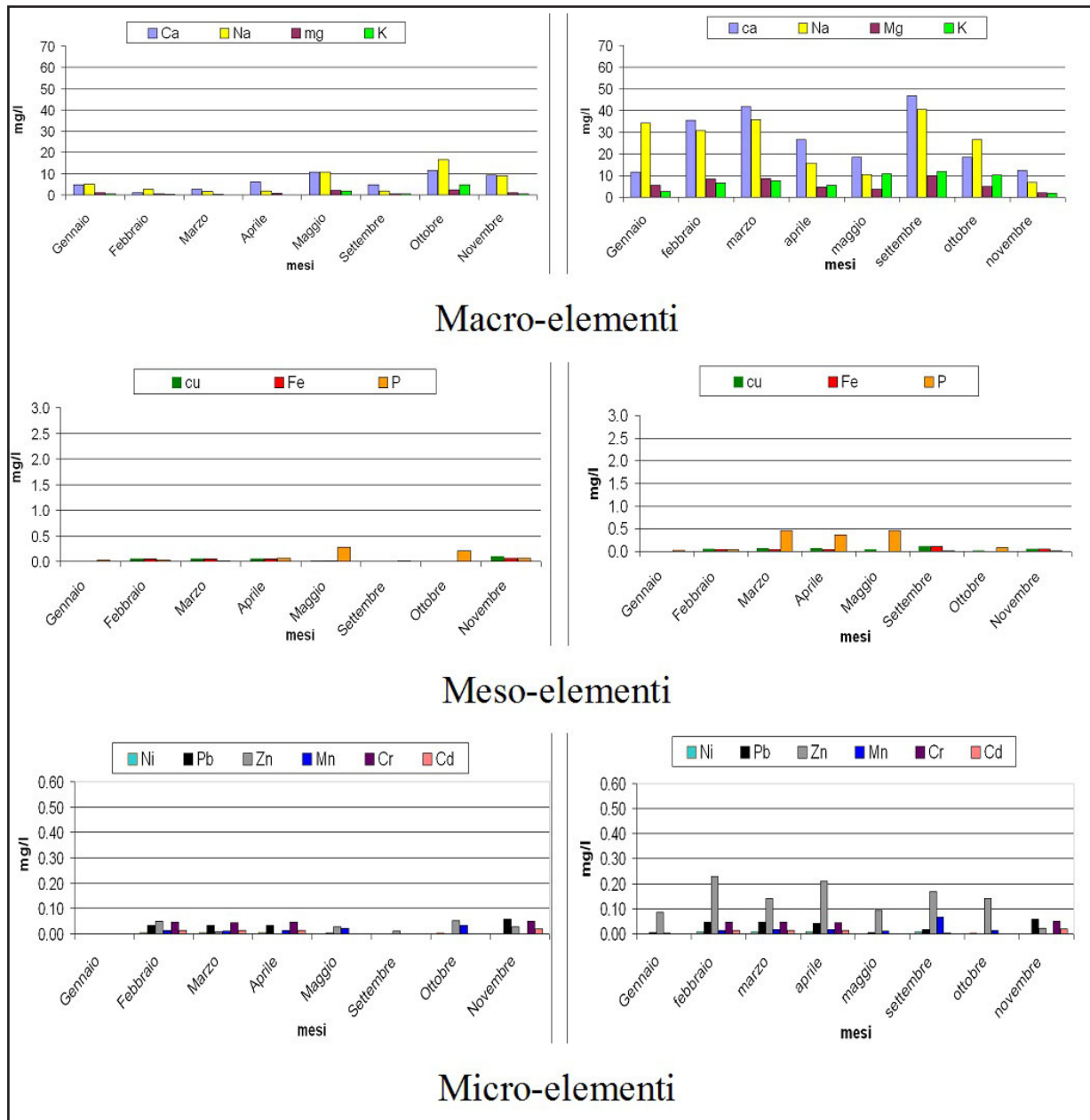


Figure 2 - Andamento delle concentrazioni medie (tre anni di monitoraggio) degli elementi identificati nelle deposizioni umide e secche di Tor Paterno.

petto agli altri elementi. Nelle deposizioni secche, oltre agli elementi già citati, si riscontrano valori più elevati, in confronto agli altri metalli, di zinco e, in misura minore, di cromo e piombo (Fig. 2). Questo andamento è da attribuirsi probabilmente alla vicinanza di una strada litoranea e al relativo inquinamento locale da traffico veicolare così come al trasporto a lunga distanza di inquinanti di origine antropica della Centrale termoelettrica di Civitavecchia, per il regime di venti legato alle brezze marine.

Trafusa

Nella stazione di Trafusa si riscontra un andamento differente rispetto agli altri due siti: i macro elementi hanno concentrazioni più basse sia nelle deposizioni umide che secche, mentre il fosforo si ritrova in discreta concentrazione nelle deposi-

zioni umide e secche, probabilmente a causa della frequente presenza di deiezioni animali causate dal passaggio di bovini. Per quanto riguarda i microelementi, si evidenzia la presenza di zinco, e in misura minore rispetto ai casi precedenti, di piombo e cromo, dovuta all'adiacenza di una strada ad intenso traffico veicolare (Fig. 3).

Misurazione del pH nelle deposizioni secche e umide

Generalmente la pioggia presenta un pH leggermente inferiore a 6, cioè debolmente acido per l'anidride carbonica disciolta in acqua (che proviene dalla respirazione animale) e per la presenza di una piccola quantità di cloro (proveniente dal sale marino). La pioggia con un pH inferiore a 5,6 viene usualmente considerata pioggia acida. In alcune aree

desertiche, il pulviscolo atmosferico contiene tanto bicarbonato di calcio da bilanciare la naturale acidità della precipitazione e quindi la pioggia può essere neutra o addirittura alcalina. I gas responsabili delle precipitazioni acide sono presenti nell'atmosfera anche per cause naturali quali eruzioni vulcaniche, temporali, processi di degradazione batterica delle sostanze organiche, respirazione di piante e animali. I grafici riportati in Fig. 4 evidenziano, come già descritto nella caratterizzazione chimica degli elementi di deposizione atmosferica, una variabilità generale e una differenziazione nelle diverse stazioni, con pH a volte leggermente più acidi nelle

stazioni di Castello e Trafusa. Anche il pH misurato a Tor Paterno in alcuni periodi sembra risentire del trasporto degli inquinanti da lunga distanza in funzione delle condizioni meteorologiche (intensità e direzione dei venti).

Particolato totale sospeso (PST)

Il particolato è l'inquinante oggi considerato di maggiore impatto nelle aree urbane, ed è composto da tutte quelle particelle solide e liquide disperse nell'atmosfera, con un diametro che va da pochi nanometri fino ai 500 micron ed oltre. La loro presenza nell'ambiente è legata a fonti naturali (eruzioni

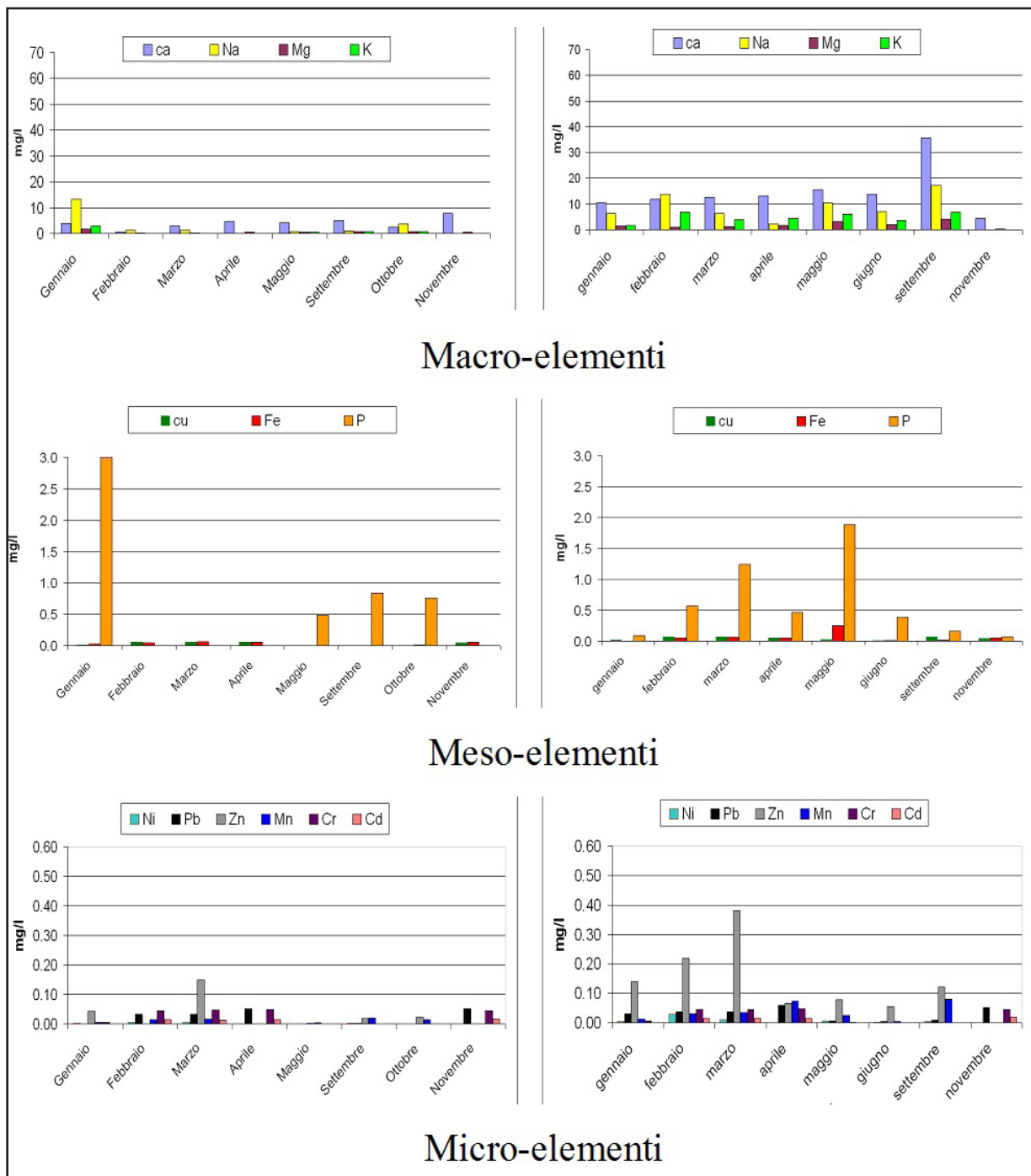


Figure 3 - Andamento delle concentrazioni medie (tre anni di monitoraggio) degli elementi identificati nelle deposizioni umide e secche di Trafusa.

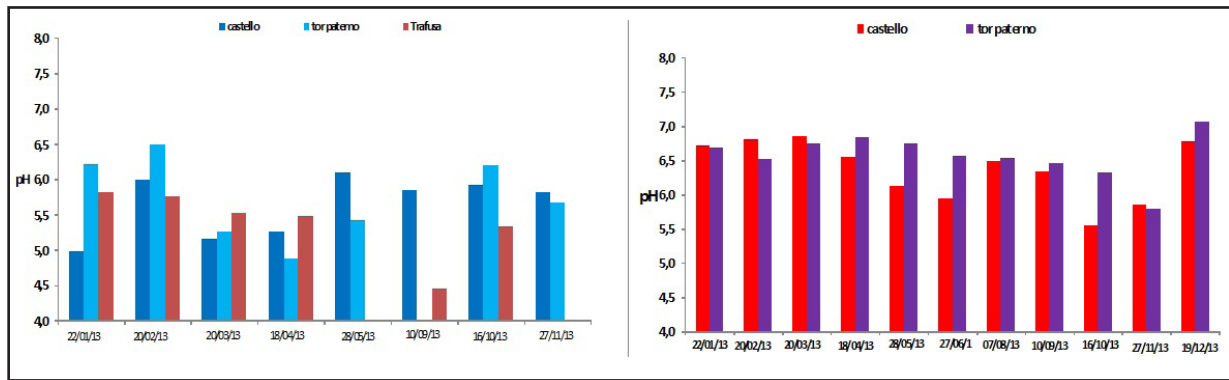


Figure 4 - Valori di pH riscontrati (2013) nell'acqua di precipitazione (sinistra) e di raccolta (destra) delle deposizioni atmosferiche (la misurazione nel sito di Trafusa è disponibile solo per le acque di precipitazione).

vulcaniche, polverosità terrestre, pollini, polvere, terra, sale marino, "aerosol marino") o può derivare da diverse attività antropiche quali emissioni da centrali termiche, da inceneritori, da processi industriali in genere, da traffico e svariate altre. La quantità totale di polveri sospese è in genere misurata in modo quantitativo (peso/volume). In assenza di inquinanti atmosferici particolari, il pulviscolo contenuto nell'aria raggiunge concentrazioni diverse (mg/m^3) nei vari ambienti; generalmente è minimo in zone di alta montagna ed aumenta spostandosi dalla campagna alla città, alle aree industriali. L'insieme delle polveri totali sospese (PTS) può essere scomposto a seconda della distribuzione delle dimensioni delle particelle. Il grafico sotto riportato si riferisce all'andamento del $\text{PM}_{2,5}$, particolato fine con diametro inferiore a $2,5 \mu\text{m}$ (un quarto di centesimo di millimetro), che è una polvere toracica, cioè in grado di penetrare profondamente nei polmoni. Essa rappresenta quindi la frazione respirabile delle polveri e quindi quella più pericolosa per la salute dell'uomo, perché può determinare l'immissione all'interno del nostro organismo, fino a livello degli alveoli polmonari, di tutte le sostanze da esse veicolate.

Le analisi del particolato atmosferico, necessarie per l'integrazione ed il completamento del monitoraggio atmosferico, sono attuate mediante un campionatore di polveri sottili, l'E-SAMPLER (Met-one), in grado di analizzare il PM_{10} , il PM_{7} , il $\text{PM}_{2,5}$ ed il PM_1 . Il campionatore di polveri sottili è stato installato in località Grotte di Piastra a 6 km circa dal Castello. Si deve evidenziare che il sito Grotte di Piastra è ubicato in zona litoranea, poco interessata dall'impatto antropico e che il campionamento di polveri sottili avviene su una torre di controllo, a 20 m di altezza, sopra la chioma degli alberi. I dati analizzati, che devono essere considerati preliminari, mostrano già alcune particolarità, pur essendo ancora in fase sperimentale. Si è evidenziato, infatti, un innalzamento delle concentrazioni di $\text{PM}_{2,5}$ in assenza o scarsità di precipitazioni ed una notevole diminuzione in presenza di eventi piovosi. Nella Fig. 5 sono riportate le medie orarie del $\text{PM}_{2,5}$ durante alcuni giorni di campionamento e si notano i valori più elevati durante le ore notturne, in cui probabilmente si verifica una maggiore deposizione di particelle per la diminuzione dell'intensità dei venti.

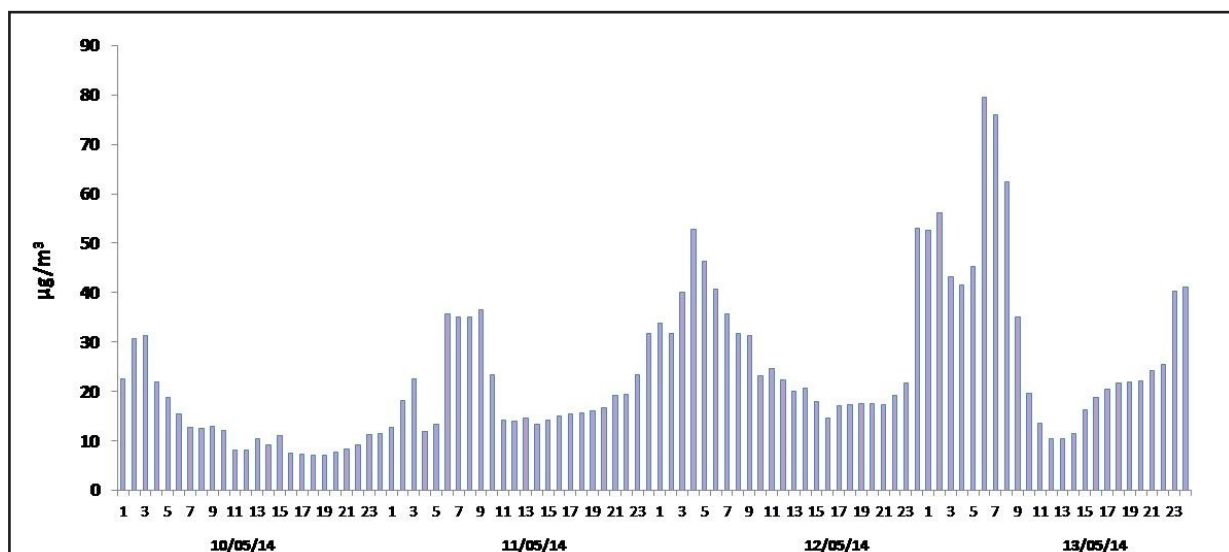


Figure 5 - Esempio di tracciato record con valori orari delle deposizioni di particolato raccolto in Maggio 2014.

Discussione e conclusioni

La valutazione preliminare dell'andamento delle concentrazioni di metalli pesanti e macro elementi in tre siti con differenti caratteristiche, all'interno della area naturale protetta di Castelporziano, ha permesso di evidenziare sia l'influenza dell'impatto antropico, sia quella dei processi di trasporto di inquinanti a breve e a lunga distanza. In considerazione della loro diversa ubicazione e dei differenti fattori che influenzano le deposizioni atmosferiche, le tre stazioni mostrano andamenti di concentrazioni di metalli pesanti caratteristici. Le concentrazioni più elevate si ritrovano nella stazione di Castello, maggiormente influenzata dalla vicinanza di attività umane e agricole. Tor Paterno risente, invece, della vicinanza alla costa e del trasporto di inquinanti a lunga distanza, mentre nella stazione di Trafusa si nota l'impatto del passaggio di animali e della vicinanza di una strada intensamente trafficata. Anche se le emissioni di metalli pesanti sono significativamente diminuite nel corso degli ultimi anni, per la messa al bando del piombo dalle benzine e i miglioramenti tecnologici nel controllo delle emissioni, questi sono ancora presenti in atmosfera, spinti anche a grande distanza dalle fonti dal trasporto diffuso.

Lo studio dei metalli pesanti nell'atmosfera e nelle deposizioni atmosferiche è quindi di notevole importanza per verificare l'impatto delle diverse fonti antropogeniche sull'ambiente e la loro tossicità assoluta e potenziale per l'uomo e gli altri organismi viventi. Le informazioni deducibili da una stima corretta dei metalli pesanti (Morselli et al. 1999) sono cruciali per la valutazione della qualità dell'ambiente. Per tale motivo, i diversi andamenti delle concentrazioni di metalli pesanti in un ecosistema forestale a medio-bassa pressione antropica ma vicino ad aree urbane, come la Tenuta di Castelporziano, possono costituire un indicatore di inquinamento molto efficace per stabilire i fattori che influenzano la loro diffusione e la loro distribuzione spaziale e temporale e dimostrano come questi elementi possono costituire traccianti di contaminazione (Morselli et al. 2004) per individuare sia la loro diffusione e distribuzione nell'ambiente, sia la fonte di provenienza e le interazioni con diversi corpi recettori.

Questa ricerca sarà proseguita con la continuazione del monitoraggio e l'analisi dettagliata dei flussi mensili e stagionali in correlazione con i fenomeni meteorologici coincidenti con il periodo di campionamento e con i risultati ottenuti mediante l'analisi delle acque di dilavamento degli alberi e la determinazione di altri metalli pesanti indicatori di fonti specifiche di inquinamento, quale ad esempio l'arsenico. Infine, le analisi del particolato ed il pH

forniscono informazioni aggiuntive sui fattori di impatto sull'ecosistema forestale di Castelporziano.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, la Direzione della Tenuta di Castelporziano, la Commissione Tecnico-Scientifica di Castelporziano, l'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL e l'Osservatorio Centro Multidisciplinare degli Ecosistemi Costieri Mediterranei per aver consentito lo svolgimento di questo studio.

Si ringraziano anche gli anonimi revisori per le loro preziose osservazioni.

Bibliografia

- Aromolo R., Benedetti A., Fiorelli F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Morselli L. 1999a - *Approccio metodologico allo studio integrato dei metalli pesanti nell'ambiente*. In: Atti della Conferenza Organizzativa Inquinamento del suolo da metalli pesanti, 6- 7 maggio Sassari: 8.
- Aromolo R., Benedetti A., Fiorelli F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Morselli L. 1999b - *Valutazione interdisciplinare della vulnerabilità all'acidificazione e della qualità dei suoli della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. In: Atti del V Congresso Nazionale di Chimica Ambientale SCI, 8-11 giugno Lerici: 52-53.
- Francaviglia R., Aromolo R., Gataleta L., Morselli L., Brusori B., Passarini F., Novo A., Olivieri P. 2001a - *Monitoraggio delle deposizioni atmosferiche umide e secche presso la Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Collana Scritti e Documenti XXVI: 331-341.
- Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Aromolo R., Benedetti A., Morselli L., Brusori B., Olivieri P. 2001b - *Valutazione della vulnerabilità all'acidificazione e della degradazione microbiologica dei suoli della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Collana Scritti e Documenti XXVI: 377-395.
- Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Trinchera A., Aromolo R., Benedetti A., Morselli L., Brusori B., Olivieri P. 2004 - *Soil quality and vulnerability at a Mediterranean natural ecosystem of Central Italy*. Chemosphere (55) 3: 455-466.
- Morselli L., Iannuccilli A., Barilli L., Olivieri P., Francaviglia R., Aromolo R., Di Carlo V. 1998 - *A methodological proposal for the monitoring of atmospheric depositions and evaluation of critical loads exceedences*. Annali di Chimica 88: 645-655.
- Morselli L., Barilli L., Olivieri P., Cecchini M., Aromolo R., Di Carlo V., Francaviglia R., Gataleta L. 1999 - *Heavy metals determination in dry surrogate depositions*. Characterization of an urban and a natural site. Annali di Chimica 89: 739-746.
- Morselli L., Brusori B., Passarini F., Francaviglia R., Gataleta L., Marchionni M., Aromolo R., Benedetti A., Olivieri P. 2004 - *Heavy Metals Monitoring at a Mediterranean Natural Ecosystem of Central Italy*. Trends in Different Environmental Matrixes. Environment International 30: 173-181.