



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto per lo Studio degli Ecosistemi
Verbania Pallanza



REPORT CNR - ISE, 04.13

LA CHIMICA DELLE DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE E GLI INQUINANTI ATMOSFERICI NELLE AREE DEL PROGRAMMA CONECOFOR NELL'ANNO 2012

**A. Marchetto, A. Buffoni*, P. Giacomotti, A. Orrù,
M. Mangoni*, A. Pranzo, M. Rogora, G.A. Tartari**

***) AMBIENTE ITALIA S.R.L., Via Carlo Poerio 39 - 20129 Milano**

Contributo di ricerca del Corpo Forestale dello Stato

Largo Tonolli, 50 28922 VERBANIA PALLANZA (VB) Tel. +39 0323 518300 Fax: +39 0323 556513

Sito web www.ise.cnr.it/verbania - www.idrolab.cnr.ise.it
Codice Fiscale 80054330586 Partita IVA 02118311006

INDICE

1.	Introduzione	1
2.	Chimica delle deposizioni atmosferiche	2
	2.1 Campionamento e metodi d'indagine.....	2
	2.2 Risultati.....	3
	2.2.1 <i>Chimica delle deposizioni a cielo aperto</i>	3
	2.2.2 <i>Chimica delle deposizioni wet</i>	6
	2.2.3 <i>Chimica delle deposizioni sottochioma</i>	8
	2.2.4 <i>Chimica delle deposizioni lungo il tronco</i>	10
	2.2.5 <i>Chimica dei runoff</i>	10
	2.3 Conclusioni	11
3.	Inquinanti atmosferici	13
	3.1 Campionamento e metodi d'indagine.....	13
	3.2 Risultati	15
	3.3 Conclusioni	17
4.	Bibliografia	18

1. INTRODUZIONE

Lo studio della chimica delle deposizioni atmosferiche costituisce una parte del più ampio Programma Nazionale Integrato per il **Controllo degli Ecosistemi Forestali** (CONECOFOR), gestito e coordinato dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, Ispettorato Generale Corpo Forestale dello Stato, nell'ambito del regolamento CEE 1091/94 ed in stretto contatto con i programmi svolti nell'ambito dell'ONU-ECE (*ICP Forests* e *ICP Integrated Monitoring*) (Allavena *et al.* 1999, 2000). Informazioni più dettagliate sul programma CONECOFOR e sui suoi rapporti con altri progetti internazionali sono riportati da Allavena *et al.* (2000) e da Petriccione e Pompei (2002).

Successivamente sono state attivate altre stazioni per le quali i dati riguardano un intervallo temporale ovviamente più breve e a volte discontinuo. Nell'anno 2012 sono stati svolti regolarmente i campionamenti e le analisi per 13 stazioni per le tipologie previste e illustrate in tabella 1.

Le indagini mirano a valutare l'apporto di ioni depositati dall'atmosfera al suolo e le modifiche della composizione chimica delle deposizioni atmosferiche dopo il passaggio attraverso le chiome della vegetazione. A tal fine vengono presi in considerazione diverse tipologie di campioni, quali le deposizioni a cielo aperto, nella forma *bulk* o *wet only*, sottochioma e lungo il tronco. Sono inoltre campionati, limitatamente ad alcune aree, le acque dei ruscelli, al fine di valutarne la qualità complessiva dopo l'interazione fra deposizioni atmosferiche, chiome e suolo (Tab.1).

Altri obiettivi, più a lunga scadenza, sono la valutazione della variabilità stagionale, interannuale e le tendenze a lungo termine delle caratteristiche chimiche delle deposizioni e dei flussi di ioni al suolo.

Nel presente rapporto sono illustrati e discussi i risultati conseguiti tra il 27 dicembre 2011 e il 2 gennaio 2013 nelle 12 stazioni di prelievo seguite direttamente dal CNR-ISE e nella stazione BOL1, gestite dall'APPA di Bolzano (Tab. 1).

La misura di inquinanti atmosferici è in corso presso le aree di indagine permanenti della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CONECOFOR) dal 1996. Dal 2003 le indagini si sono focalizzate sulla determinazione delle sole concentrazioni di ozono (O_3), il principale inquinante ad azione fitotossica. Queste attività fanno parte di un più ampio programma di indagini che ha come obiettivo l'analisi delle interazioni tra l'ecosistema forestale e fattori ambientali di natura biotica e abiotica, questi ultimi di origine sia antropica che naturale. Il programma, promosso dalla Commissione Europea e dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, si articola in numerose iniziative di analisi e osservazione realizzate presso aree di indagine permanenti di carattere forestale individuate sul territorio nazionale.

Nei primi anni le misure di inquinanti atmosferici hanno avuto un carattere sperimentale. Nel 2001 le misure, prima effettuate su periodi più brevi, sono state sistematizzate con l'adozione di procedure più precise di controllo delle modalità operative. Gli stessi approcci sono stati adottati in quegli anni da parte di altri Paesi europei e le procedure operative sono state codificate in uno specifico capitolo del documento "Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests - Monitoring of Air Quality", predisposto dall'UN-ECE/ICP Forest.

La determinazione delle concentrazioni di O₃ a livello del suolo avviene mediante l'impiego di campionatori passivi.

La pressione antropica sugli ecosistemi può interessare vari comparti e realizzarsi con diverse modalità quali, ad esempio, modificazioni della composizione dell'aria e delle precipitazioni meteoriche. L'apporto di composti originati dalle attività umane può alterare i cicli biogeochimici del suolo o, come nel caso di alcuni inquinanti dell'aria, agire direttamente sulla componente arborea, influenzandone i processi ecofisiologici rendendola più suscettibile all'azione di agenti avversi di origine naturale. La valutazione dei livelli di concentrazione e dell'andamento di inquinanti atmosferici potenzialmente fitotossici in aree forestali, nonché l'elaborazione di specifici indici di esposizione, può fornire un contributo per valutare l'incidenza dell'attività antropica sugli ecosistemi e individuare eventuali rischi per la vegetazione.

Il programma CONECOFOR rappresenta quindi un importante strumento per la comprensione di meccanismi fisici e processi biologici, basato su osservazioni e misure in campo alla scala del popolamento forestale.

Nel 2012 le attività svolte presso le aree di indagine permanenti della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali inerenti la misura di O₃ troposferico sono state realizzate dall'Istituto di Ricerche Ambiente Italia a seguito della Convenzione tra il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali e l'Istituto Italiano per lo Studio degli Ecosistemi del Consiglio Nazionale delle Ricerche relativa all'indagine "Analisi delle deposizioni atmosferiche nelle aree della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CONECOFOR) – Campionamento 2012".

Sulla base di questo accordo è stata stipulata una specifica "Convenzione tra l'Istituto Italiano per lo Studio degli Ecosistemi e l'Istituto di Ricerche Ambiente Italia", inerente la misura di inquinanti atmosferici mediante campionatori passivi presso 8 aree della Rete CONECOFOR.

2. CHIMICA DELLE DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE

2.1 Campionamento e metodi d'indagine

Lo studio delle deposizioni atmosferiche nel contesto del programma CONECOFOR è svolto dal CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi in collaborazione con e l'Agenzia Protezione Ambiente della Provincia di Bolzano (area BOL1).

Le procedure di campionamento, invio dei campioni ai laboratori e i metodi di analisi sono state descritte in dettaglio in un manuale distribuito agli operatori delle diverse aree, per assicurare la massima uniformità nel prelievo e trattamento dei campioni (Tartari & Mosello 1997, Tartari *et al.* 2002). Tutte le metodologie in uso sono in completo accordo con quelle previste a livello europeo (UN-ECE 1998, 2010).

La confrontabilità dei dati delle analisi chimiche svolte dai diversi laboratori coinvolti è assicurata dalla regolare partecipazione a esercizi di intercalibrazione a livello internazionale e da controlli di qualità analitica interni. Nel periodo intercorso fra il prelievo e l'analisi, i campioni sono stati conservati al buio e, ove possibile, in celle frigorifere, altrimenti in locali freschi, al fine di minimizzare le possibili alterazioni dovute all'azione della microflora batterica.

2.2 Risultati

2.2.1 Chimica delle deposizioni a cielo aperto

Anche nel 2012 le precipitazioni sono risultate generalmente scarse in tutte le stazioni di campionamento e confrontabili con il 2011 e gli altri anni più secchi registrati nel periodo di studio 1998-2010.

Nelle aree a cielo aperto i valori annuali misurati variano tra un minimo di 322 mm registrati a Piano Limina (CAL1) e un massimo di 1787 mm a Pian di Cansiglio (VEN1). Anche per quanto riguarda la tipologia sottochioma il valore minimo e massimo sono stati registrati nelle medesime aree e sono rispettivamente di 423 e 1678 mm. Delle 13 aree monitorate 9 presentano quantità di precipitazione inferiori ai 1000 mm (Tab. 2).

I valori che si misurano nel sottochioma sono solitamente più bassi per l'effetto dell'intercettazione da parte delle chiome degli alberi rispetto ai campionatori cielo aperto che per definizione sono posti in ampi spazi limitrofi, liberi da vegetazione ad alto fusto. Il caso dell'area in Calabria i cui valori risultano invertiti (massimo nel sottochioma e minimo nel cielo aperto) rappresenta un'eccezione probabilmente legata all'evaporazione nei periodi estivi che è più significativa in uno spazio aperto rispetto all'interno del bosco, dove le chiome offrono maggior riparo dall'esposizione diretta all'insolazione. Anche nell'area PIE3 si hanno valori leggermente più alti nel sottochioma, ma la differenza è minore del 6% e rientra nell'incertezza della misura della quantità di precipitazione.

Le concentrazioni ioniche medie delle deposizioni *bulk* a cielo aperto (Tab. 2) mettono in evidenza un buon ambito di variabilità nelle concentrazioni ioniche medie, da un minimo di 96 $\mu\text{eq l}^{-1}$ ad un massimo di 538 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (rispettivamente per FRI2 e TOS1). Gran parte della variabilità nelle concentrazioni, come verificatosi anche negli anni precedenti, è dovuta agli ioni di origine marina. Le concentrazioni medie dei cloruri infatti, variano da 4 (PIE3) a 165 $\mu\text{eq l}^{-1}$ (TOS1 e CAL1). Analogamente il sodio varia tra 4 a 140 $\mu\text{eq l}^{-1}$. Il contributo marino è in larga parte responsabile dei valori e della variabilità delle concentrazioni di sodio, cloruri e magnesio, incidendo in misura minore anche sui solfati.

Altri soluti che mostrano una certa variabilità sono il calcio e l'alcalinità.

I dati del 2012 relativi alle deposizioni *bulk* evidenziano anche bassi valori di acidità minerale in quasi tutte le aree di prelievo. Il valore minimo di pH è infatti di 5.1, misurato nell'area CAL1 e il valore più elevato (6.1) è stato misurato nell'area di EMI1.

Tab. 1 - Siti di campionamento delle deposizioni atmosferiche presenti in Italia, codice, nome, quota, specie che caratterizza l'area, tipo di campionamento Ente responsabile dell'area, laboratorio che effettua le analisi chimiche. CFS: Corpo Forestale dello Stato;*: Regione; CNR-ISE: Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (Verbania-Pallanza); CNR-IRSA: Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca Sulle Acque (Brugherio); APPA: Agenzia Provinciale Protezione Ambiente.

Codice	Nome	Prov.	Quota m s.l.m.	Specie	Campionamento						Ente	Laboratorio di analisi chimica
					Cielo aperto	Sottochioma	Lungo tronco	Neve	Acque superficiali	Wet only		
01ABR1	Selva Piana	AQ	1500	<i>Fagus sylvatica</i>	X	X	X	X	-	-	CFS	CNR-ISE
03CAL1	Piano Limina	RC	915	<i>Fagus sylvatica</i>	X	X	X	X	-	-	CFS	CNR-ISE
04CAM1	Serra Nuda	SA	1200	<i>Fagus sylvatica</i>	X	X	X	X	-	-	CFS	CNR-ISE
05EMI1	Boschi Carrega	PR	200	<i>Quercus petraea -Q. cerris</i>	X	X	-	-	-	X	Parco Naturale	CNR-ISE
08FRI2	Tarvisio	UD	820	<i>Picea abies</i>	X	X	-	X	X	-	CFS	CNR-ISE
09LAZ1	Monte Rufeno	VT	690	<i>Quercus cerris</i>	X	X	-	-	X	X	CFS	CNR-ISE
12PIE1	Val Sessera	BI	1150	<i>Fagus sylvatica</i>	X	X	X	X	X	-	Piemonte*	CNR-ISE
16TOS1	Colognole	LI	150	<i>Quercus ilex</i>	X	X	-	-	-	-	Toscana*	CNR-ISE
17TRE1	Passo Lavazè	TN	1800	<i>Picea abies</i>	X	X	-	X	X	-	Trento*	CNR-ISE
19VAL1	La Thuile	AO	1740	<i>Picea abies</i>	X	X	-	-	-	-	VALLE D'AOSTA	CNR-ISE
20VEN1	Pian di Cansiglio	TV	1100	<i>Fagus sylvatica</i>	X	X	X	X	-	-	CFS	CNR-ISE
27BOL1	Renon	BZ	1740	<i>Picea abies</i>	X	X	X	X	X	X	Bolzano	APPA-Bolzano
30PIE3	Alpe Devero	VB	1860	<i>Larix decidua</i>	X	X	-	X	X	X	Parco Naturale	CNR-ISE

Tab. 2 – Volumi di precipitazione e concentrazioni medie ponderate sui volumi nelle deposizioni a cielo aperto ($\mu\text{eq l}^{-1}$). mm: quantità di precipitazione; Alc: alcalinità; Cond: conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C); TN: azoto totale ($\mu\text{mol l}^{-1}$); DOC: Carbonio Organico Disciolto (mg l^{-1}).

Area	mm	pH°	H ⁺ $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	NH ₄ $\mu\text{eq l}^{-1}$	Ca $\mu\text{eq l}^{-1}$	Mg $\mu\text{eq l}^{-1}$	Na $\mu\text{eq l}^{-1}$	K $\mu\text{eq l}^{-1}$	Alc. $\mu\text{eq l}^{-1}$	SO ₄ $\mu\text{eq l}^{-1}$	NO ₃ $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cl $\mu\text{eq l}^{-1}$	TN μM	DOC mg C l^{-1}
ABR1	944.8	5.50	3	9.5	13	25	7	28	2	12	17	16	27	33	0.9
CAL1	322.3	5.12	8	24.1	3	62	37	123	29	20	46	8	165	19	1.9
CAM1	528.4	5.67	2	13.9	11	38	17	61	5	13	22	11	71	39	1.4
EMI1	552.1	6.05	1	12.5	45	30	7	16	3	29	20	32	17	81	1.2
FRI2	1288.9	5.75	2	5.8	11	20	7	7	1	11	12	12	7	28	0.8
LAZ1	866.4	5.55	3	12.4	11	31	13	42	3	14	19	15	49	29	0.6
PIE1	1309.8	5.44	4	7.9	25	17	3	7	2	9	16	21	6	52	1.0
TOS1	771.9	5.78	2	28.8	13	54	40	140	11	27	37	22	165	38	1.2
TRE1	977.8	5.63	2	9.3	18	42	5	10	3	38	13	15	8	37	0.9
VAL1	628.0	5.70	2	15.6	65	50	10	8	14	85	19	15	8	162	2.0
VEN1	1786.5	5.45	4	8.8	24	20	6	14	3	19	16	13	16	51	1.2
BOL1	1087.0	5.59	3	8.5	26	17	4	13	3	21	12	18	12		
PIE3	1044.1	5.51	3	7.7	28	19	3	4	1	14	14	20	4	55	1.1

A differenza del 2011, quest'anno non sono stati rilevati nelle stazioni meridionali valori particolarmente di pH da mettere in relazione ai valori più elevati di calcio, magnesio ed alcalinità, derivanti in parte da polveri minerali locali, in parte trasportate a lunga distanza, dal Nord Africa.

I bassi valori medi di acidità minerale non escludono che alcuni eventi possano avere una carattere marcatamente acido, ma tali eventi non possono essere evidenziati correttamente con un campionamento settimanale, perché possono miscelarsi con altri eventi di natura alcalina occorsi nella medesima settimana.

2.2.2 Chimica delle deposizioni wet

Il campionamento *bulk* risente in maniera sensibile delle polveri minerali sollevate localmente dal vento, in quanto il campionatore costantemente esposto raccoglie le particelle che si depositano, per gravità, sulla sua superficie, fra un evento di pioggia e l'altro e la cui composizione chimica è diversa in relazione alle caratteristiche geochimiche del suolo. Tali polveri entrando in contatto con le precipitazioni, vengono parzialmente disciolte modificandone la chimica per arricchimento di sali di calcio, magnesio e alcalinità (polveri calcaree), o calcio, magnesio e potassio (polveri silicee). In entrambi i casi si ha una modifica dell'acidità delle deposizioni con aumento dei valori di pH, modifica particolarmente evidente in aree caratterizzate dalla presenza di suoli calcarei (Draaijers *et al.* 1998).

Questo disturbo è inferiore per i campioni *wet-only* che restando chiusi ermeticamente fino al momento dell'inizio della precipitazione, raccolgono prevalentemente la frazione umida, rendendo quindi minima l'influenza sulla chimica delle deposizioni atmosferiche, delle polveri sollevate dal suolo circostante la stazione.

Al fine di valutare l'incidenza di questi fenomeni, in quattro aree (EMI1, LAZ1, BOL1, e PIE3) sono da tempo attivi, parallelamente ai campionatori *bulk*, dei campionatori *wet-only*. I risultati ottenuti sono riportati in tabella 3.

Come atteso, il confronto con le concentrazioni *bulk* (Tab. 2) evidenzia un contenuto di soluti inferiore nei campioni *wet only* rispetto ai *bulk* in tutte le aree. Solo nell'area EMI1 il contenuto medio ionico totale nel campione *bulk* ($212 \mu\text{eq l}^{-1}$) è del tutto confrontabile con quello del campione *wet* ($220 \mu\text{eq l}^{-1}$); questa esigua differenza è però ampiamente compresa nell'incertezza della stima della deposizione.

Il confronto fra i valori di conducibilità, che costituiscono una misura indiretta delle concentrazioni di ioni in soluzione, evidenzia differenze modeste quasi nella totalità delle stazioni. L'esame dello spettro ionico sottolinea che le differenze più marcate fra gli ioni riguardano il calcio e in modo molto meno rilevante l'alcalinità, mentre sono trascurabili per solfati, nitrati, e ammonio che sono contenuti in misura minore nelle polveri e la cui presenza in atmosfera è dovuta alle emissioni derivanti dalle attività antropiche.

Queste differenze sono in parte determinate dalla geologia delle aree di prelievo e del territorio circostante: caratterizzate da rocce poco solubili nel caso di PIE3 (detrito di falda grossolano graniti) e da una maggiore componente calcarea nel caso di EMI1 (alluvioni antiche) e LAZ1 (flisch argilloso-arenaceo).

Un altro aspetto degno di nota emerge dal confronto dei valori medi di pH che non risultano sostanzialmente diversi fra le due tipologie di campioni, con una differenza minore di 0.1 unità di pH per quasi tutte le stazioni, e di 0.3 unità di pH per BOL1.

Tab. 3 – Volumi di precipitazione e concentrazioni medie ponderate sui volumi nelle deposizioni umide (*wet*) a cielo aperto ($\mu\text{eq l}^{-1}$). mm: quantità di precipitazione; Alc: alcalinità; Cond: conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C; TN: azoto totale ($\mu\text{mol l}^{-1}$); DOC: Carbonio Organico Disciolto (mg l^{-1}).

° calcolato dalla media ponderata sui volumi delle concentrazioni di H^+

Area	mm	pH°	H^+ $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	NH_4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Ca $\mu\text{eq l}^{-1}$	Mg $\mu\text{eq l}^{-1}$	Na $\mu\text{eq l}^{-1}$	K $\mu\text{eq l}^{-1}$	Alc. $\mu\text{eq l}^{-1}$	SO_4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	NO_3 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cl $\mu\text{eq l}^{-1}$	TN μM	DOC mg C l^{-1}
EMI1	563.3	6.05	1	12.0	59	23	5	12	1	33	19	30	13	94	1.0
LAZ1	825.7	5.58	3	12.4	20	23	12	45	4	21	18	12	50	36	0.9
BOL1	986.8	5.89	1	6.8	21	12	3	8	1	17	10	14	5		
PIE3	1029.1	5.56	3	7.4	28	19	3	4	2	14	15	19	4	50	1.3

2.2.3 Chimica delle deposizioni sotto chioma

Per quanto riguarda le deposizioni *bulk* sottochioma, i volumi di precipitazione misurati nel sottochioma variano in un range compreso tra 423 mm (VAL1) e 1678 mm (VEN1).

Le concentrazioni medie nelle deposizioni sotto chioma (Tab. 4) risultano generalmente più elevate dei rispettivi valori *bulk* a cielo aperto, in parte per l'evaporazione a livello foliare che porta ad una concentrazione dei soluti, e in parte per l'accumulo, durante i periodi secchi, di particolato sulle foglie, che viene poi dilavato dalla precipitazione successiva. Un'eccezione è rappresentata, in molte stazioni, dall'ammonio e in una stazione (VAL1) dai nitrati, in ragione del fatto che tali composti possono essere utilizzati a livello delle foglie. Se si considera l'azoto totale, che include l'azoto organico, risulta generalmente più elevato nel sotto chioma con l'eccezione dell'area VAL1, ad indicare per lo più sia il dilavamento della deposizione secca accumulatosi sulle come degli alberi, che un possibile rilascio da parte delle chiome.

Anche i valori medi di pH e di alcalinità nelle deposizioni sotto chioma, se confrontati con quelli a cielo aperto, risultano essere, nella maggior parte dei casi, superiori ad indicare un effetto complessivo di neutralizzazione dell'acidità durante il passaggio attraverso la vegetazione. E' possibile evidenziare delle eccezioni rappresentate dalle aree a conifere (FRI2, TRE1, VAL1, BOL1 e PIE3) che mostrano valori di acidità leggermente più elevati nel sottochioma.

Analogamente a quanto riscontrato negli scorsi anni, l'incremento più sostanziale nelle deposizioni sotto chioma rispetto ai valori *bulk*, oltre che dai valori di alcalinità, è mostrato dal potassio che, da concentrazioni di 2-29 $\mu\text{eq l}^{-1}$ nelle deposizioni a cielo aperto, passa a valori compresi tra 15 e 93 $\mu\text{eq l}^{-1}$ in quelle sotto chioma. L'incremento nel potassio può essere messo in relazione con un rilascio di potassio da parte delle foglie in abbinamento al prelievo di ammonio.

Tab. 4 – Volumi di precipitazione e concentrazioni medie ponderate sui volumi nelle deposizioni sottochioma ($\mu\text{eq l}^{-1}$). mm: quantità di precipitazione; Alc: alcalinità; Cond: conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C); TN: azoto totale ($\mu\text{mol l}^{-1}$); DOC: Carbonio Organico Disciolto (mg l^{-1}).

° calcolato dalla media ponderata sui volumi delle concentrazioni di H^+

Area	mm	pH°	Cond.	H+	NH4	Ca	Mg	Na	K	Alc.	SO4	NO3	Cl	TN	DOC
			$\mu\text{S cm}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	$\mu\text{eq l}^{-1}$	μM	mg C l^{-1}
ABR1	839.2	6.07	1	19.2	13	58	21	44	47	65	20	25	46	59	5.4
CAL1	556.9	5.72	2	43.9	14	74	52	152	89	61	62	14	201	52	5.2
CAM1	507.5	5.82	2	32.2	10	81	43	106	52	60	39	46	127	72	3.6
EMI1	528.4	6.06	1	30.3	85	79	31	30	63	84	30	71	38	189	11.0
FRI2	1120.8	5.73	2	12.5	18	47	13	9	25	37	12	20	13	58	6.5
LAZ1	800.8	5.63	2	24.0	7	56	32	73	50	36	28	22	98	45	7.7
PIE1	1165.8	5.68	2	11.2	32	26	7	8	20	24	19	34	8	74	2.7
TOS1	587.9	6.07	1	60.2	8	92	134	242	93	91	64	36	314	75	11.4
TRE1	772.6	5.32	5	11.2	14	29	11	13	32	19	12	16	11	51	8.9
VAL1	423.2	5.27	5	17.2	6	59	25	21	56	44	13	10	25	55	20.0
VEN1	1678.0	5.61	2	13.3	26	33	12	14	30	40	18	25	16	60	2.8
BOL1	830.3	5.63	2	14.7	24	18	8	21	37	48	12	26	17	77	12.6
PIE3	1105.6	5.44	4	11.3	28	34	12	6	15	15	14	23	8	67	9.4

2.2.4 Chimica delle acque di scorrimento lungo il tronco

Le deposizioni lungo il tronco sono misurate nelle quattro stazioni in cui sono presenti le faggete (ABR1, CAL1, CAM1, PIE1, VEN1) e nell'area BOL1 dove è presente l'abete bianco. Le concentrazioni in questa tipologia di campionamento (Tab. 5), mostrano uno squilibrio nel bilancio ionico molto marcato, in quanto la concentrazione degli anioni risulta sempre inferiore a quella dei cationi, con una differenza fra concentrazione di cationi e anioni rispetto alla loro somma, compresa fra il 2 e il 34%. Tale differenza è attribuibile alla presenza di acidi organici, non considerati nelle analisi.

Nelle deposizioni lungo il tronco le concentrazioni di quasi tutti i soluti sono più elevate che nelle deposizioni a cielo aperto o sottochioma, ma le quantità di precipitazione raccolta sono molto modeste, dell'ordine dello 0.05-9% dei valori a cielo aperto.

Le concentrazioni di azoto totale sono marcatamente più elevate rispetto al cielo aperto, fino a raggiungere il valore massimo in VEN1 che corrisponde al doppio di quello misurato nella deposizione a cielo aperto (121 μM contro 51 μM). La componente di azoto organico inglobata nella misura dell'azoto totale, come già detto, assume maggior peso nelle acque che scorrono lungo il tronco che si arricchiscono di acidi organici non determinati analiticamente. Tuttavia, è doveroso precisare che quando si considerano i flussi in termini di deposizione totale, il contributo della tipologia raccolta lungo il tronco è trascurabile visti i volumi di acqua raccolta rispetto alle altre tipologie di campionamento.

2.2.5 Chimica dei ruscelli

Le analisi delle acque superficiali in prossimità delle aree permanenti sono state eseguite in sei stazioni: FRI2, LAZ1, PIE1, TRE1, BOL1 e PIE3 (Tab. 6.).

I campionamenti settimanali dei ruscelli hanno subito, analogamente agli anni precedenti, un'interruzione durante i mesi invernali nelle aree alpine a causa delle basse temperature raggiunte che gelano la superficie dei torrenti fino alla primavera successiva. I risultati (Tab. 6) sono paragonabili a quelli ottenuti negli scorsi anni.

Le stazioni hanno evidenziato una forte variabilità nelle concentrazioni, con un contenuto minimo di soluti nel corso d'acqua delle aree di BOL1 e TRE1 (conducibilità inferiore ai 50 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e massimo in quello delle stazioni di FRI2 e LAZ1 (conducibilità di 353 e 518 $\mu\text{S cm}^{-1}$). I valori di alcalinità sono approssimativamente proporzionali al contenuto di soluti, mostrando i valori più bassi nelle stazioni TRE1 e BOL1 (273 e 333 $\mu\text{eq l}^{-1}$) e massimi nella stazione LAZ1 (5003 $\mu\text{eq l}^{-1}$). Questi valori testimoniano la rapida interazione delle deposizioni atmosferiche con le rocce ed i suoli dei bacini imbriferi, che sono in grado di arricchirle di soluti, in particolare bicarbonato, elevandone il valore di alcalinità. I cationi principali sono rappresentati da calcio e magnesio, seguiti dal sodio. Le concentrazioni dei cloruri sono molto elevate nell'area LAZ1 (671 $\mu\text{eq l}^{-1}$) mentre i valori più bassi sono stati registrati nelle aree alpine in particolare PIE3 e TRE1 (3-4 $\mu\text{eq l}^{-1}$).

Le concentrazioni dello ione ammonio, come detto, sono prossime allo zero in tutte le aree campionate mentre i nitrati mostrano valori annuali compresi tra 1 e 33 $\mu\text{eq l}^{-1}$, rispettivamente per le aree LAZ1 e PIE1 (Tab. 6), indicando che nella stazione PIE1 il carico di azoto proveniente dall'atmosfera ha ormai saturato la capacità di trattenimento dell'azoto da parte del suolo forestale.

Tab. 5 – Volumi di precipitazione e concentrazioni medie ponderate sui volumi nelle deposizioni lungo il tronco ($\mu\text{eq l}^{-1}$). mm: quantità di precipitazione; Alc: alcalinità; Cond: conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C); TN: azoto totale ($\mu\text{mol l}^{-1}$); DOC: Carbonio Organico Disciolto (mg l^{-1}).

Area	mm	pH°	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	H+ $\mu\text{eq l}^{-1}$	NH4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Ca $\mu\text{eq l}^{-1}$	Mg $\mu\text{eq l}^{-1}$	Na $\mu\text{eq l}^{-1}$	K $\mu\text{eq l}^{-1}$	Alc. $\mu\text{eq l}^{-1}$	SO4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	NO3 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cl $\mu\text{eq l}^{-1}$	TN μM	DOC mg Cl^{-1}
ABR1	23.2	6.07	1	18.1	16	50	19	27	62	56	20	32	28	69	6.5
CAL1	5.4	5.45	4	70.0	2	171	82	288	64	74	96	1	411	21	6.2
CAM1	20.4	5.77	2	51.5	7	70	64	252	68	43	55	24	317	42	4.3
PIE1	118.0	5.94	1	14.4	39	29	6	9	43	36	22	35	8	88	4.8
VEN1	5.1	5.95	1	21.4	40	56	19	17	80	78	21	40	15	121	9.2
BOL1	0.5	5.52	3	81.8	27	70	38	30	244	108	11	24	58		

Tab. 6 –Concentrazioni medie dei ruscelli ($\mu\text{eq l}^{-1}$). Alc: alcalinità; Cond: conducibilità ($\mu\text{S cm}^{-1}$ a 20 °C); TN: azoto totale ($\mu\text{mol l}^{-1}$); DOC: Carbonio Organico Disciolto (mg l^{-1}).

Area	pH°	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	NH4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Ca $\mu\text{eq l}^{-1}$	Mg $\mu\text{eq l}^{-1}$	Na $\mu\text{eq l}^{-1}$	K $\mu\text{eq l}^{-1}$	Alc. $\mu\text{eq l}^{-1}$	SO4 $\mu\text{eq l}^{-1}$	NO3 $\mu\text{eq l}^{-1}$	Cl $\mu\text{eq l}^{-1}$	TN μM
FRI2	8.32	353	0	3239	1103	71	13	4239	91	6	38	7
LAZ1	8.05	518	0	4351	1210	709	36	5003	677	1	671	9
PIE1	7.83	85	0	549	377	57	7	891	31	33	11	32
TRE1	7.32	29	0	266	26	27	11	273	26	9	4	12
BOL1	7.34	49	0	239	127	82	8	333	54	2	8	16
PIE3	7.86	94	0	816	166	23	23	637	360	15	3	16

2.3 Conclusioni

Nelle aree CONECOFOR, le deposizioni atmosferiche di ioni solfato, nitrato e ammonio, originati principalmente dall'inquinamento atmosferico, presentano una spiccata variabilità geografica, con valori minori sulle Alpi e massimi nella Pianura Padana e nelle aree limitrofe.

La concentrazione non trascurabile di azoto nei ruscelli che drenano le aree forestali, mostra che almeno in Piemonte la deposizione di azoto supera le capacità di trattenimento dei suoli forestali, in modo più marcato nell'area pedemontana della Val Sessera (PIE1), molto esposta all'inquinamento proveniente dalla Pianura Padana, ma anche nell'area dell'Alpe Devero (PIE3), collocata in una posizione molto remota.

La composizione chimica delle deposizioni atmosferiche è anche influenzata dall'aerosol marino, per le stazioni vicine alla costa.

Infine, la deposizione episodica di sabbie di origine sahariana è risultata nel 2012 meno importante rispetto agli anni precedenti.

3. INQUINANTI ATMOSFERICI

3.1 Campionamento e metodi d'indagine

Le misure di O₃ previste dal programma di indagine sono state condotte presso siti individuati in prossimità delle aree permanenti della Rete CONECOFOR. La tabella 7 riporta le località dove sono state individuate le aree di indagine e i siti di misura dell'O₃, le specie forestali prevalenti e la quota sul livello del mare. Le aree attive nel corso del 2011 sono state 8.

Le indagini sulle concentrazioni di O₃ presso le aree di indagine permanenti sono state condotte sulla base delle indicazioni fornite dal documento "Manual on methods and criteria for harmonised sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests", Monitoring of Air Quality".

Il programma messo a punto si è sviluppato su un arco di 6 mesi corrispondenti alla stagione vegetativa. Il periodo complessivo di monitoraggio ha avuto quindi una durata di 25 settimane. Le misure delle concentrazioni di O₃ sono state previste presso tutte le aree con cadenza settimanale. Con la sola eccezione della stazione LAZ1, nel 2012 le misure sono state avviate tra il 3 e il 10 aprile e hanno avuto termine in tutte le stazioni il 2 ottobre.

Tabella 7. Aree di indagine permanenti della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali(CONECOFOR) interessate dalle misure di ozono.

Area	Località	Specie prevalente	
01 - ABR1	Selva Piana (Collelongo - AQ)	Faggio	1500
03 - CAL1	Piano Limina (Giffone - RC)	Faggio	915
05 - EMI1	Carrega (Sala Baganza - PR)	Cerro	200
08 - FRI2	Tarvisio (Tarvisio - UD)	Abete rosso	820
09 - LAZ1	Monte Rufeno (Acquapendente - VT),	Cerro	690
13 - PUG1	Foresta Umbra (Vico del Gargano - FG)	Faggio	800
17 - TRE1	Passo Lavazè (Trento)	Abete rosso	800
20 - VEN1	Pian Cansiglio (Vittorio Veneto - TV)	Faggio	1100

Nel corso delle indagini condotte nel 2012 sono stati utilizzati, per la misura dell'O₃, gli stessi strumenti già impiegati nelle campagne precedenti. I campionatori passivi (o dosimetri) impiegati sono stati sviluppati presso l'Istituto Federale Svizzero per la Tecnologia (Swiss Federal Institute for Technology) di Zurigo e vengono commercializzati dalla società Passam di Mannedorf (CH).

I campionatori passivi basano il loro funzionamento sul fenomeno della diffusione per il quale una sostanza aerodispersa tende a diffondere da un ambiente a maggiore concentrazione ad uno con minore concentrazione. Il principio fisico alla base del campionamento diffusivo è dato dalla legge di Fick (Brown e Wright, 1994) che descrive, appunto, il processo di diffusione di un gas in una colonna statica d'aria verso un mezzo assorbente. Detto processo di diffusione è funzione delle caratteristiche geometriche del percorso di diffusione (lunghezza e sezione), del tasso di campionamento, della durata del periodo di esposizione, delle caratteristiche del gas. Fattori che influiscono sul campionamento passivo sono le turbolenze alla bocca del campionatore (ad esempio in condizioni di vento oltre 1.5-2 m/s) e la temperatura dell'aria.

I campionatori passivi adottati (Tab. 8) sono costituiti da una fiala in polipropilene di 4.9 cm di lunghezza e 9.5 mm di diametro. Ad un'estremità è posto un filtro in fibra di vetro imbevuto di una soluzione di acido acetico e di 1,2-di(4piridil)-etilene (DPE).

Al fine di proteggere i campionatori dai principali agenti meteorici e ridurre le eventuali turbolenze, essi vengono inseriti in uno speciale espositore in grado di accogliere fino a 5 campionatori.

All'apertura del campionatore, con l'inizio del periodo di esposizione, l'O₃ che diffonde all'interno della fiala va a reagire con il DPE. A seguito della reazione si crea una differenza di concentrazione tra l'aria all'interno del campionatore e l'aria ambiente e viene quindi a crearsi un flusso di O₃ di tipo diffusivo dall'esterno verso l'interno del campionatore stesso.

L'aldeide che viene a formarsi quale prodotto della reazione può essere determinata in modo quantitativo mediante spettrofotometria con metodo MBTH (3-metil-2-benzotiazolinone cloridrato).

Poiché non è noto il coefficiente di diffusione dell'O₃ e la reazione del DPE all'O₃ non è stechiometrica, per risolvere l'equazione di Fick viene introdotto un coefficiente empirico, individuato mediante misure in parallelo tra campionatori passivi e analizzatori in continuo (Hangartner et al., 1990).

I campionatori passivi forniscono un valore di concentrazione mediato sul periodo di esposizione che può variare da poche ore ad un mese e non dispongono quindi della risoluzione temporale degli analizzatori in continuo (oraria o semioraria).

Tabella 8. Dati tecnici dei campionatori passivi impiegati.

Durata dell'esposizione	1 settimana
Range di utilizzo	3 – 240 µg/m ³
Limite di rilevabilità	2.6 µg/m ³
Tasso di campionamento PS [mabs]	0.0255 µg/m ³ h
Incertezza estesa	21.2 % a concentrazioni > 80 µg/m ³ (1)
Possibili interferenze	Altri ossidanti

(1) Per il calcolo dell'incertezza estesa si fa riferimento alle procedure CEN.

All'avvio dei lavori sono state fornite agli operatori locali tutte le indicazioni necessarie allo svolgimento delle diverse attività previste (sostituzione dei campionatori, conservazione degli stessi, compilazione dei moduli e invio del materiale utilizzato).

I campionatori sono stati inviati periodicamente dall'Istituto di Ricerche Ambiente Italia ai responsabili locali delle aree di indagine permanenti (Comando stazione C.F.S., Uffici locali di Aziende regionali forestali, Parchi nazionali o regionali, ecc.). I campionatori sono inseriti in bustine dotate di chiusura ermetica e di una etichetta adesiva per registrare inizio e fine dei periodi di campionamento. Per la comunicazione di eventuali osservazioni inerenti gli strumenti impiegati (danni, furti, eventi meteorologici estremi, ecc.) sono state allegate ulteriori etichette adesive da compilare e da collocare sulla relativa bustina porta-campionatori.

All'arrivo del materiale utilizzato presso le aree (campionatori esposti) è stato effettuato un controllo sulla corretta compilazione delle schede adesive poste sulle bustine contenenti i campionatori e sui campionatori stessi (chiusura dei campionatori, integrità, ecc.). Immediatamente dopo i campionatori sono stati avviati al laboratorio di analisi.

I campionatori passivi sono stati analizzati in laboratorio certificato EN 45001 e ISO/IEC 17025. Un ulteriore esame dei campionatori è previsto per verificarne l'integrità e la presenza di insetti o polvere sui filtri interni. Successivamente vengono avviate le procedure analitiche (estrazione e analisi spettrofotometrica).

Ad ogni spedizione e per ognuna delle aree di indagine sono stati affiancati ai campionatori per la misura dell'O₃ ulteriori campionatori passivi ("bianchi") che hanno consentito di verificare le condizioni di conservazione nel corso delle fasi di trasporto.

3.2 Risultati

Nel periodo compreso tra aprile e settembre 2012 sono stati inviati i campionatori passivi agli operatori presso le aree di indagine permanenti della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi forestali. Non tutte le aree hanno potuto iniziare il campionamento immediatamente: nel caso della stazione di LAZ1 il campionamento è iniziato l'8 maggio 2012. I dati relativi alla copertura temporale e all'efficienza di campionamento sono riportati in tabella 9.

Non tutti i campionatori utilizzati hanno potuto essere analizzati, a causa della presenza di resti di insetti o di ragni o danni al mezzo adsorbente. Ulteriori motivi di esclusione dall'analisi, peraltro assai rari, sono dovuti a incongruenze nella registrazione del periodo di misura.

A parte alcuni casi sporadici, le attività di spedizione del materiale, ritorno tramite posta dei campionatori esposti e analisi di laboratorio, si sono svolte comunque con complessiva regolarità. I dati analitici grezzi vengono trasformati in valori di concentrazione di O₃ nell'aria ambiente secondo un approccio ormai verificato (Bernard et al., 1999) che tiene conto dell'effettiva durata dell'esposizione in ore e dell'eventuale alterazione dei campionatori nel corso del trasporto tramite i campionatori "bianchi". I dati di questi strumenti vengono infatti sottratti a quelli rilevati nel corso delle esposizioni.

Tabella 9. Durata del periodo di campionamento, stazione per stazione.

Area	Data inizio	Data fine	N.campioni validi	%
01 - ABR1	03/04/2012	02/10/2012	24	92
03 - CAL1	03/04/2012	02/10/2012	26	100
05 - EMI1	03/04/2012	02/10/2012	26	100
08 - FRI2	03/04/2012	02/10/2012	26	100
09 - LAZ1	08/05/2012	02/10/2012	21	100
13 - PUG1	03/04/2012	02/10/2012	26	100
17 - TRE1	10/04/2012	02/10/2012	25	96
20 - VEN1	03/04/2012	02/10/2012	26	100

La Tabella 10 riporta i dati di concentrazione di O₃ medi stagionali e i valori medi settimanali minimi e massimi rilevati presso le aree di indagine della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CONECOFOR) nel corso del periodo di indagine. Grazie all'esposizione in doppio dei campionatori, è stato possibile recuperare i dati di concentrazione settimanale, anche nei 4 casi in cui uno dei due campionatori non ha potuto essere analizzato. In tre casi, invece si sono persi entrambi i campioni.

Le misure delle concentrazioni di O₃ condotte nel 2012 sono simili a quelle del 2011, che avevano evidenziato una generale riduzione delle concentrazioni di O₃ rispetto agli anni precedenti.

I valori medio delle concentrazioni settimanali e i valori massimo e minimo più elevati sono stati rilevati presso l'area di monitoraggio ABR1 (Selva Piana), seguiti a breve distanza dalle misure effettuate presso PUG1 (Foresta Umbra).

In generale in tutte le stazioni alpine l'andamento dell'O₃ mostra un incremento nei primi mesi di monitoraggio per poi raggiungere i valori più elevati tra luglio ed agosto. Nel caso della stazione FRI2, invece, i valori del mese di luglio sono nettamente più bassi rispetto a quelli primaverili e autunnali.

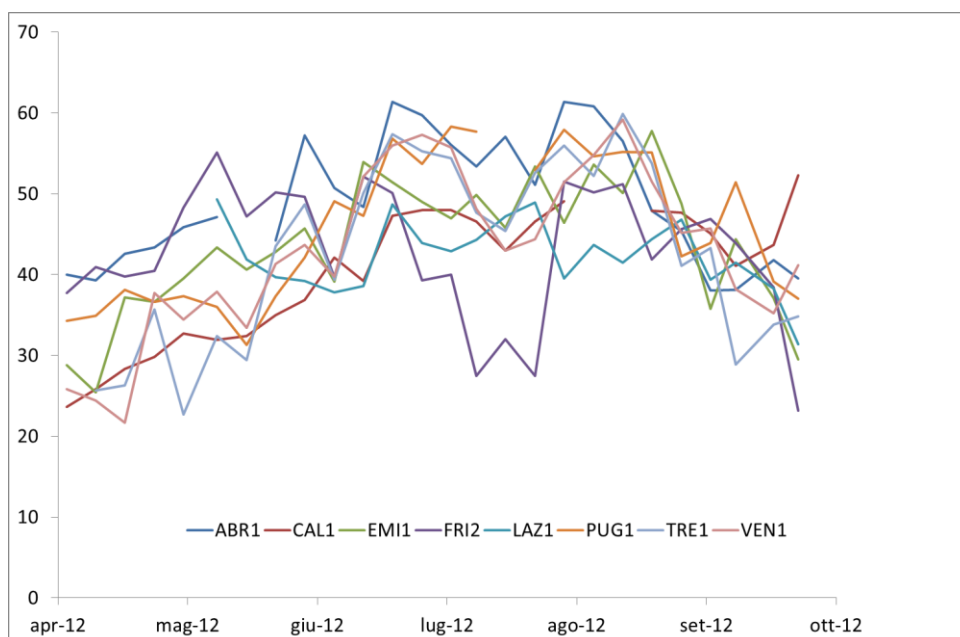


Figura 1. Andamento delle concentrazioni medie mensili di ozono.

Tabella 10. Statistiche stagionali delle concentrazioni di ozono (in ppb) in ordine crescente secondo il valore delle medie, rilevati presso le aree di indagine permanenti nel corso della campagna di misura 2012.

Area	Concentrazione media	Mediana	Minimo settimanale	Massima settimanale
03 – CAL1	40.2	42.6	23.6	52.3
09 – LAZ1	42.3	41.9	31.4	49.3
08 – FRI2	42.7	42.9	23.2	55.1
17 – TRE1	42.8	43.5	22.7	59.9
20 – VEN1	43.0	43.4	21.7	59.2
05 – EMI1	43.6	45.4	25.4	57.8
13 – PUG1	46.3	47.3	31.3	58.3
01 – ABR1	49.0	46.5	36.2	64.5

Le tabelle relative ai singoli valori misurati settimana per settimana in tutti i siti di misura sono contenute nel CD allegato a questa relazione.

3.3 Conclusioni

La campagna di misure dell'O₃ presso le aree di indagine permanenti della Rete Nazionale Integrata per il Controllo degli Ecosistemi (CONECOFOR) condotta nel 2011 si è svolta in maniera complessivamente regolare, con l'eccezione della stazione LAZ1 dove il campionamento è iniziato con ritardo. Complessivamente la campagna si è svolta con regolarità e aderenza alle indicazioni operative, evidenziando un'ottima collaborazione da parte degli operatori delle aree CONECOFOR e un'elevata percentuale di misure valide, dato che permette di disporre di un quadro sostanzialmente completo delle concentrazioni e degli andamenti dell'O₃ nella stagione vegetativa 2012.

Per quanto riguarda i risultati delle determinazioni analitiche il quadro che emerge i circa 400 dati raccolti consente di definire il 2012, come già il 2011, come un anno "medio" per quanto concerne la presenza di O₃ troposferico nelle aree esaminate, con valori stagionali assai prossimi, per quasi tutti i siti di misura, ai valori medi del periodo 1996 – 2010, ma più basse rispetto ai valori molto elevati degli anni 2001-2005.

I valori registrati presso tutti i siti si mantengono comunque su livelli elevati, con medie stagionali quasi sempre superiori alle 40 ppb, tali da costituire un rischio per l'integrità degli ecosistemi forestali.

Sia le aree alpine che quelle appenniniche si caratterizzano quindi come aree soggette al trasporto di O₃ e dei suoi precursori dalle zone più densamente popolate e industrializzate. L'elevato irraggiamento solare che caratterizza il nostro Paese nei periodi primaverile ed estivo contribuisce alla formazione di O₃ di origine fotochimica. Le misure condotte presso le aree di indagine CONECOFOR danno conto di questi fenomeni ed evidenziano la necessità di un monitoraggio spazialmente e temporalmente dettagliato degli ecosistemi forestali.

4. BIBLIOGRAFIA

- Allavena S., Petriccione B., Pompei E., 2000. The CONECOFOR Programme. In Ferretti M. (Ed.), Integrated and combined (I&C) evaluation of intensive monitoring of forest ecosystems in Italy – Concepts, methods and first results. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Special Issue, pp. 17-31.
- Allavena, S., R. Isopi, B. Petriccione & E. Pompei. 1999. *Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali*. Primo Rapporto – 1999. Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, D.G. Risorse Forestali, Montane ed Idriche, Roma: 167 pp.
- Bernard L. B., Gerber M.J., Astre C.M. Saintot M.J., 1999. Ozone measurement with passive samplers: validation and use for ozone pollution assessment in Montpellier, France. *Environ. Sci. Technol.* 33:217-222.
- Brown R.H., Wright M.D., 1994. Diffusive sampling using tube-type samplers. *Analyst* 119: 75-77.
- Draaijers, G.P.J., J.W. Erisman, G. Lövblad, T. Spranger & E. Vel. 1998. *Quality and uncertainty aspects of forest deposition estimation using throughfall, stemflow and precipitation measurements*. TNO-report – R98/093, Apeldoorn, NL: 73 pp.
- Hangartner M., Meuli C., Isler R., Lustenberger J., 1990. Vergleich von Ozonpassivsammlern mit kontinuierlichen Messgeräten. *Umwelttechnik* 4/90, Cicero Verlag, Zurich.
- Petriccione, B. & E. Pompei. 2002. The CONECOFOR Programme: general presentation, aims and coordination. In: Mosello, R., B. Petriccione & A. Marchetto (Eds), *Long-term ecological research in Italian forest ecosystems*. *J. Limnol.*, 61 (Suppl. 1): 3-11.
- Tartari, G.A. & R. Mosello. 1997. Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrobiologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche. *Documenta Ist. ital. Idrobiol.*, 60: 160 pp.
- Tartari, G.A., S. Arisci, M.C. Brizzio, A. Marchetto, R. Mosello, A. Pranzo, S. Allavena, B. Petriccione & E. Pompei. 2002. *Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CON.ECO.FOR.): Studio della chimica delle deposizioni atmosferiche. Manuale per le operazioni di campionamento*. Edizioni C.N.R. Istituto per lo Studio degli Ecosistemi. Verbania Pallanza: 35 pp.
- UN-ECE. 1998. *Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis on the effects of air pollution on forests*. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), Hamburg.
- UN-ECE. 2010. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. UNECE, ICP Forests, Hamburg. ISBN: 978-3-926301-03-1.