



UNIVERSITÀ DI PISA
centro interdipartimentale
di ricerche agro-ambientali
Enrico Avanzi

I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa

4

in collaborazione con:



Accademia dei Georgofili

OZONO E VEGETAZIONE: IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA ITALIANA

a cura di Cristina Nali e Marco Ferretti



Felici Editore

I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa

numero 4



UNIVERSITÀ DI PISA
centro interdipartimentale
di ricerche agro-ambientali
Enrico Avanzi

I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa
numero 4

in collaborazione con:



Accademia dei Georgofili

OZONO E VEGETAZIONE:

IL CONTRIBUTO DELLA RICERCA ITALIANA

a cura di Cristina Nali e Marco Ferretti



Felici Editore

Il volume è dedicato alla memoria del prof. Giovanni Scaramuzzi.

Si consiglia di citare i lavori presenti in questo volume nella seguente dizione:

in: *Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana* (a cura di C. Nali e M. Ferretti). I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa, vol. 4, pp. 104, Felici Editore, Pisa (2007).

In copertina: Dettaglio di una foglia di *Acer pseudoplatanus* recante i tipici sintomi indotti da ozono (foto Bussotti)

In seconda di copertina: 1. Biomonitoraggio dell'ozono con piante supersensibili di tabacco (*Nicotiana tabacum* cv. Bel-W3): si notino le lesioni necrotiche che ricoprono in massima parte la superficie fogliare (foto Lorenzini); 2. Istopatologia del danno da ozono su *Acer pseudoplatanus* (colorazione con blu di anilina in microscopia a fluorescenza): le aree azzurre indicano la presenza di apposizioni di callosio sulle pareti cellulari del tessuto a palizzata e in quelle del lacunoso; il colore rosso rappresenta la risposta della clorofilla (foto Bussotti); 3. Lesioni fogliari indotte dall'esposizione all'ozono, osservate al microscopio stereoscopico, su pioppo (*Populus deltoides* x *maximowiczii* clone Eridano) (foto Nali); 4. Sintomi fogliari su piante di zuccino fumigate con 150 ppb di ozono per 5 h al giorno per 5 giorni (foto Nali); 5. Effetti dell'ozono su foglia di pomodoro (foto Badiani); 6. Dettaglio di una foglia di *Acer pseudoplatanus* recante i tipici sintomi indotti da ozono (foto Bussotti).

In terza di copertina: 7. I progetti di educazione ambientale basati sul biomonitoraggio dell'ozono costituiscono un esempio completo di *problem solving*, coinvolgendo competenze di base e applicate che – in relazione all'età degli allievi – spaziano dalla botanica all'ecologia, dalla geografia alla matematica e informatica, dalla chimica ambientale alla navigazione in *internet*, con il ricorso a tecniche cine-fotografiche e di restituzione cartografica. L'immagine descrive un elaborato prodotto dagli alunni di una scuola toscana impegnati in una esperienza nell'ambito del progetto INFEA (foto Nali); 8. Microfotografia di foglia di cipolla con danni "invisibili" da ozono: le cellule blu nel parenchima intorno agli stomi sono morte a causa dell'inquinante (foto Faoro); 9. Paul Cézanne: *Fabbriche nei pressi del Monte di Cengle*, 1870; 10. Foglia primaria di fagiolo Pinto esposta all'ozono in condizioni sperimentali (150 ppb, 4 h); la metà inferiore è stata trattata con un antitraspirante protettivo commerciale a base di pinolene, che ha assicurato una protezione quasi totale dal danno. Il prodotto viene comunemente usato sotto forma di emulsione per ridurre lo *stress* da trapianto e da innesto, per prevenire lo spacco dei frutti e fisiopatie dovute a squilibri idrici (foto Lorenzini); 11. *Open-top chamber* per lo studio degli effetti dell'inquinamento naturale sulla produttività di specie erbacee (foto Lorenzini); 12. Sintomi *ozone-like* osservati su *Liriodendron tulipifera* (foto Schaub); 13. Sintomi indotti dall'ozono su foglia di zuccino cresciuta in condizioni naturali in Pianura Padana (foto Lorenzini); 14. Torre per analisi ecofisiologiche a differenti altezze della chioma e misurazioni microclimatiche sita presso la foresta di leccio di Castelporziano (Roma) (foto Manes).

© 2007 - Felici Editore Srl

© CIRAA - Università di Pisa, www.avanzi.unipi.it

ISBN: 978-88-6019-166-3

Responsabile editoriale

Fabrizio Felici

Responsabile marketing

Francesco Crisanti

Responsabile ufficio stampa

Serena Tarantino

Grafica e impaginazione

Claudia Benvenuti

Felici Editore

via Carducci, 64/C - Ghezzano

56010 - San Giuliano Terme (Pisa)

tel. 050 878159 - fax 050 8755588

felici@feliceditore.it - www.feliceditore.it

Riproduzione libera, a condizione di citare la fonte

Indice

Presentazione - <i>G. Lorenzini</i>	9
Relazioni introduttive	
Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana <i>M. Ferretti, C. Nali</i>	11
Ozono: problematica, dinamiche spazio-temporali e misure in aree remote <i>F. Manes</i>	17
Identificazione, monitoraggio e valutazione degli effetti dell'ozono sulla fisiologia e produttività della vegetazione agraria e forestale: il contributo della ricerca italiana <i>P. Cherubini</i>	29
<i>Risk Assessment</i> <i>A. Ballarin Denti</i>	33
Attività future <i>M. Badiani</i>	41
Riassunti delle comunicazioni orali	
Sessione I – Dinamiche spazio-temporali dell'ozono e misure in aree remote	
Studio dell'ozono troposferico in area urbana (Roma) e in area protetta (Tenuta Presidenziale di Castelporziano) <i>P. Avino, M. Manigrasso</i>	47
Stima dei valori di AOT ₄₀ nelle stagioni vegetative 2005 e 2006 sul territorio lombardo <i>M. Mangoni, A. Buffoni, A. Tagliaferro</i>	48
Venti anni di biomonitoraggio dell'ozono troposferico <i>C. Nali</i>	49
Integrazione di reti di monitoraggio per la stima dei livelli di ozono a scala sub-regionale. L'esempio di Firenze <i>S. Andrei, D. Grechi, F. Lazzaroni, A. Lupi, A. Nenti, D. Rocchini, M. Ferretti</i>	50
<i>Lycopersicon pimpinellifolium</i> , un nuovo promettente bioindicatore di ozono <i>M. Iriti, C. Nali, G. Lorenzini, G. Gerosa, F. Faoro</i>	51
Sessione II - Valutazione e monitoraggio degli effetti	
Non solo danni: l'ozono come strumento prezioso per lo studio delle risposte agli <i>stress</i> nelle piante <i>R. Bernardi, M. Durante, L. Guidi, G. Lorenzini, C. Nali, S. Pasqualini, C. Pugliesi, A. Ranieri, A. Saviozzi, L. Sebastiani, M. Badiani</i>	55

La ricerca sugli effetti dell'ozono su colture agrarie in ambiente mediterraneo <i>G. Rana, M. Bou Jaoudè</i>	56
I sintomi <i>ozone-like</i> sulla vegetazione in Piemonte <i>F. Tagliaferro, A.M. Ferrara, F. Spaziani, E. Viotto</i>	57
Quali sono le evidenze degli effetti dell'ozono su boschi adulti ed in condizioni "reali"? <i>F. Bussotti</i>	58
L'ozono e i metalli pesanti: studio di alcuni meccanismi di risposta nel pioppo <i>L. Sebastiani, D. Di Baccio, A. Minnocci, R. Tognetti</i>	59
Identificazione di indicatori precoci del danno da ozono sulla vegetazione mediante tecniche radiometriche <i>R. Colombo, M. Meroni, C. Panigada, M. Rossini, S. Cogliati, V. Picchi, C. Nali, G. Lorenzini, G. Gerosa, R. Marzuoli, F. Faoro, M. Iriti, F. Bussotti, E. Gatti, A. Ballarin-Denti, A. Tagliaferri</i>	60
Sessione III – Risk assessment	
Valutazione di aree a rischio per la produzione cerealicola a causa dell'inquinamento da ozono <i>A. De Marco, E. Paoletti, A. Screpanti, S. Racalbutto, G. Vialetto</i>	63
Alterazioni di <i>pathways</i> biochimici e metabolici delle piante da parte dell'ozono: meccanismi di danno e strategie di difesa <i>A. Ranieri, A. Castagna</i>	64
Relazione tra rimozione di ozono a livello fogliare ed emissione di isoprenoidi nelle specie forestali <i>S. Fares, J. Wildt, F. Loreto</i>	65
Flussi stomatici di ozono ed esposizione in relazione alla comparsa di sintomi fogliari visibili in piante di faggio e quercia allevate in OTC <i>G. Gerosa, R. Marzuoli, R. Desotgiu, F. Bussotti, A. Ballarin Denti</i>	66
Risposta della conduttanza stomatica all'azione combinata di ozono e <i>stress</i> idrico in <i>Quercus ilex</i> <i>M. Vitale, E. Salvatori, F. Manes, F. Loreto, S. Fares</i>	67
Sessione IV – Attività futura	
Integrazione di scala, approcci e metodi per una valutazione dei reali effetti dell'ozono sulle foreste <i>M. Ferretti</i>	71

L'ozono nel VII Programma Quadro e le attività dello <i>Steering Committee Ozone risk assessment: To further develop and validate the flux concept for the prediction of ozone impact on vegetation</i> <i>S. Cieslik, E. Paoletti, M. Fagnano</i>	72
<i>“Effects of ozone pollution on crops in current and changing climatic conditions”</i> : prospettive per la preparazione di un progetto europeo (o italiano?) <i>M. Fagnano, A. Maggio, G. Rana</i>	73
Riassunti dei <i>poster</i>	75
Risoluzione: cento scienziati per la ricerca sugli effetti dell'ozono troposferico sulla vegetazione	95
Elenco dei partecipanti	97
Indice degli Autori	103

Presentazione

Questo volume deriva dai lavori di una giornata di studio tenutasi il 24 novembre 2006 presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali “Enrico Avanzi” dell’Università di Pisa, organizzata congiuntamente, oltre che dal Centro stesso, dalla Sezione Centro-Ovest dell’Accademia dei Georgofili, dal laboratorio di Botanica Forestale ed Applicata del Dipartimento di Biologia Vegetale dell’Università di Firenze e da TerraData, *spin-off* dell’Università di Siena, con il patrocinio del gruppo di lavoro sugli Effetti dell’inquinamento sugli ecosistemi forestali della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (SISEF). Il tema era “*Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana*” e l’evento rappresentava il primo incontro ufficiale della Rete informativa nazionale su ozono e vegetazione (RIO₃-VEG).

Non pochi sono gli elementi di interesse dell’iniziativa, a cominciare dal fatto che, per la prima volta, tutti gli specialisti del settore (e parliamo di un centinaio di soggetti, provenienti da quasi 40 istituzioni e centri di ricerca, in un contesto interdisciplinare come pochi) hanno avuto l’opportunità di ritrovarsi e discutere approfonditamente, creando le condizioni per una vera e propria attività coordinata. In un momento nel quale le risorse destinate alla ricerca, specie in campo ambientale, sono sempre più limitate, la necessità di costituire gruppi di lavoro integrati, sfruttando sinergie ed evitando sovrapposizioni, appare irrinunciabile, considerando anche le difficoltà di tipo tecnologico e metodologico connesse con questo tipo di indagine. Non credo sia facile trovare in altri settori della ricerca in biologia applicata l’affiatamento e il desiderio di collaborazione che i colleghi impegnati nella rete RIO₃-VEG da tempo stanno dimostrando, con la creazione di un gruppo di collegamento permanente.

Gli scopi principali della giornata sono così riassumibili: *a)* fare il punto della ricerca italiana in relazione alle principali questioni di interesse per scienza e politica; *b)* individuare le possibilità di attività futura; *c)* preparare un documento di sintesi su emergenze, priorità ed esigenze informative da sottoporre all’attenzione delle istituzioni e delle agenzie ambientali coinvolte nel problema ozono. Si tratta di una materia quanto mai attuale: i livelli ambiente di questo gas sono destinati a crescere (anche nell’ambito del fenomeno noto come “*global change*”) ed aree sempre più vaste saranno interessate da esposizioni rilevanti. La vegetazione è in prima linea: innanzitutto come “vittima” dell’inquinamento, in quanto le prestazioni quali-quantitative delle piante (coltivate e naturali) sono compromesse dalla presenza di questo inquinante; ma esse sono anche in grado di sottrarre ozono dall’atmosfera (“fitodepurazione”), contribuendo così a migliorare la qualità dell’aria, anche se, allo stesso tempo, certe emissioni biogeniche sono coinvolte nei complessi processi di genesi degli ossidanti. Infine, il monitoraggio biolo-



gico rappresenta un formidabile strumento di indagine, *cost-effective*, in grado di fornire utili informazioni sulla distribuzione geografica dell'ozono, per non citare la sua valenza in termini di educazione ambientale. Il tutto va esaminato nell'ottica che l'Italia, insieme agli altri Paesi del sud-Europa è inevitabilmente il teatro principale del problema in oggetto. E' da sottolineare anche come alcuni di questi aspetti siano ormai stati metabolizzati dall'opinione pubblica, finalmente conscia dei rischi che corriamo vivendo in un ambiente minacciato.

I motivi di soddisfazione per il sottoscritto sono molteplici: innanzitutto il fatto che una attività di ricerca (piante e ozono) iniziata pionieristicamente nel lontano 1983, peraltro in terra straniera, e faticosamente sviluppata in patria tra mille difficoltà, sta portando a frutti inimmaginabili, essendo la comunità scientifica catalizzata su tale tema ricca (di idee, sia chiaro; le risorse – ben lo sappiamo – mancano), qualificata, riconosciuta a livello internazionale e soprattutto giovane e motivata. Il secondo elemento che desidero segnalare concerne la mia attuale funzione di direttore del Centro Enrico Avanzi; in particolare, sottolineo la capacità di dare visibilità alle sue molteplici attività, mediante iniziative ed eventi scientifici in grado di attirare sul Centro l'attenzione dei portatori di interesse. Indicatore concreto di quanto detto è la collana dei Quaderni. Nonostante le difficoltà di reperire fondi per attività editoriali, sono già stati stampati in pochi mesi tre volumi: il primo ha illustrato la storia, l'attualità e qualche idea progettuale del Centro stesso; il secondo ha raccolto i contributi scientifici presentati nel corso della giornata di studio (11 maggio 2007) sulle possibilità di impiego del vapore nel contrasto ai patogeni e parassiti tellurici; il terzo comprende le relazioni presentate al convegno (5 Ottobre 2007) sugli aspetti tecnici, ambientali e paesaggistici dei tappeti erbosi; è in preparazione il quinto, la ristampa anastatica della tesi di laurea di Enrico Avanzi (1911). Tutti i testi sono liberamente "scaricabili" al sito www.avanzi.unipi.it, nel quale sono reperibili anche le immagini delle presentazioni orali. L'augurio è che questo sforzo contribuisca a far meglio conoscere le potenzialità del Centro, che non sempre riescono ad essere sufficientemente visibili all'esterno.

Infine, un vivo ringraziamento ai curatori di questo volume, Cristina Nali e Marco Ferretti, i quali si sono fatti carico della raccolta e del coordinamento editoriale del copioso materiale.

Giacomo Lorenzini

Direttore Centro Interdipartimentale
di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi"
Università di Pisa

Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana

Marco Ferretti¹ e Cristina Nali²

Introduzione

L'ozono troposferico è visto, globalmente, come il contaminante potenzialmente più pericoloso per la vegetazione, essendo caratterizzato da una ampia diffusione geografica unita a livelli elevati. A titolo di esempio, le concentrazioni medie pre-industriali sono stimate in 10-20 ppb, circa la metà-un terzo di quello che è il limite “di fondo” attuale in Toscana, con previsioni modellistiche che indicano un ulteriore aumento a scala globale nelle prossime decadi (cfr. Vingarzan, 2004).

Gli stessi studi individuano che la zona mediterranea sarà una tra quelle in cui la crescita sarà superiore, causando un'estensione della aree in cui si raggiungeranno soglie di fitotossicità. Del resto, le misure effettuate da varie agenzie ed enti di ricerca in Italia, da tempo, sottolineano questo problema e, a parte gli effetti sulla salute umana, il rischio per la vegetazione naturale e coltivata è stato evidenziato da più di 20 anni: ad esempio, Lorenzini et al. (1984) segnalavano sintomi da ozono su numerose specie orticole e, nel 1986, danni visibili – successivamente attribuiti a questo inquinante – erano rilevati su ailanto (Gravano et al., 1999).

Da allora sono state condotte numerosissime esperienze su questi temi, con metodi e a scale diverse. A titolo di esempio, si considerino tutta la serie di ricerche sul biomonitoraggio, quelle di natura biochimica, fisiologica ed istologica, le indagini sugli effetti macroscopici e, più recentemente, la modellistica dei flussi. Gli ultimi anni hanno visto, invece, la realizzazione di progetti più articolati in ambito non solo nazionale. Questa grande attività ha portato, da un lato, ad una partecipazione senza precedenti dei nostri ricercatori in campo internazionale e, dall'altro, all'insorgere, più o meno latente, di una esigenza di comunicazione e di scambio di esperienze e risultati per la creazione di opportunità di sviluppo.

Origine dell'iniziativa

Questa necessità trova una prima risposta nel corso del 2005, quando, partendo da

-
1. TerraData environmetrics, Dipartimento di Scienze Ambientali “G. Sarfatti” - Università degli Studi di Siena, via P.A. Mattioli 4 - 53100 Siena - ferretti@terradata.it
 2. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose “G. Scaramuzzi” - Università di Pisa, via del Borghetto 80 - 56124 Pisa - cristina.nali@agr.unipi.it



una proposta del Corpo Forestale dello Stato e del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Firenze, viene lanciata una serie di riunioni preparatorie per addivenire ad una presentazione delle attività italiane al *workshop* UNECE “*Critical levels of ozone: further applying and developing the flux concept*” di Obergurgl (Austria) nel novembre dello stesso anno. Il “Processo di Obergurgl” inizia così il 13 gennaio 2005 con un incontro, al quale partecipano 29 ricercatori provenienti da 20 istituzioni, in cui viene delineato un percorso per la preparazione di una presentazione comune al *workshop* e per la realizzazione di un conseguente articolo scientifico. Questa linea operativa viene sviluppata in seguito (Curno, BG, luglio 2005; Napoli, settembre 2005; Firenze, dicembre 2005), fino alla pubblicazione del contributo (Ferretti et al., 2007). Viene anche lanciata l'idea di un coordinamento permanente, informale ma fattivo, della comunità di ricercatori che si riconosce nel tema “ozono e vegetazione”. In una successiva riunione, il gruppo inizia effettivamente ad organizzarsi e, all'epoca, ne sono stati promotori Badiani (Reggio Calabria), Bussotti (Firenze), Cieslik (Ispra), De Marco (Roma), Ferretti (Siena), Paoletti (Firenze), Ranieri (Pisa) e Vitale (Roma). In quella sede, viene proposto il nome di RIO₃-VEG (*Rete Informativa Ozono e VEG*etazione).

Da allora, ci sono state presentazioni comuni (*workshop* ISPRA, febbraio 2006), attività di campagna (la giornata di intercalibrazione svoltasi a Rapolano nel giugno 2006) e l'idea di prepararsi per una prima manifestazione ufficiale. Per una serie di motivi, ciò non poteva realizzarsi che a San Piero a Grado (Pisa), sede storica per le ricerche su ozono e vegetazione in Italia. E così è stato, grazie alla disponibilità del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali (CIRAA) “Enrico Avanzi” dell'Università di Pisa, diretto dal Prof. Giacomo Lorenzini, che è senza dubbio l'iniziatore degli studi su questa tematica in Italia. Così, il 24 novembre 2006, oltre 100 ricercatori si sono incontrati per confrontarsi su “*Ozono e vegetazione – il contributo della ricerca italiana*”.

Obiettivi ed organizzazione dell'incontro

Le finalità della giornata erano le seguenti:

- i) fare il punto della ricerca italiana in relazione alle principali questioni di interesse per scienza e politica;
- ii) organizzare e mantenere un *forum* permanente di discussione e sviluppo;
- iii) preparare un documento su emergenze, priorità ed esigenze informative da sottoporre alle istituzioni ed agenzie ambientali coinvolte nella gestione del problema ozono;
- iv) individuare le possibilità di attività futura e progetti coordinati a livello nazionale ed internazionale.

Ai fini del raggiungimento di questi obiettivi, l'attività è stata divisa in quattro sessioni: le prime tre dedicate ai vari aspetti connessi al punto i), ovvero alle questioni legate alle dinamiche spazio-temporali dell'ozono ed alle misure in aree remote, alla valutazio-



ne e monitoraggio degli effetti ed alla stima di rischio. La quarta parte si è concentrata sui punti *ii*), *iii*) e *iv*). In particolare, è stata approvata una risoluzione (riportata nel presente volume), si è discusso se, e come, mantenere $\text{RIO}_3\text{-VEG}$ come *forum* permanente e sono stati forniti aggiornamenti sullo stato di preparazione di una proposta sull'argomento "ozono" nell'ambito del VII FP.

In questo volume sono riportati i riassunti delle comunicazioni orali e dei *poster* presentati. Ciascun coordinatore di sessione (Manes, Cherubini, Ballarin Denti e Badiani) ha, poi, fornito un contributo, in cui, oltre a introdurre in termini generali l'argomento, ha sintetizzato i punti focali emersi per ciascuna tematica trattata.

Partecipanti

L'incontro ha visto la partecipazione di un totale di 106 soggetti, tra docenti, ricercatori, dottorandi, tecnici, funzionari e studenti, provenienti da 36 sedi, che coprivano – come riportato in Tabella 1 – in latitudine, da Trento a Reggio Calabria e, in longitudine, da Torino a Trieste. Degna di nota la presenza di istituzioni internazionali, come il Centro Comune di Ricerca (JRC, Ispra), l'Istituto Federale di Ricerca (WSL, Svizzera) e la Stazione Federale di Ricerca per l'Agroecologia e l'Agricoltura (FAL, Svizzera). L'elenco completo dei partecipanti è riportato in questo volume. A livello nazionale, ben 14 sono state le Università rappresentate; CNR ed ENEA erano presenti con tre istituti/sedi ciascuna, ed altre sei istituzioni scientifiche hanno partecipato con propri ricercatori. Da notare anche l'interesse di istituti e società private.

Tabella 1. Istituzioni rappresentate all'incontro $\text{RIO}_3\text{-VEG}$ "Ozono e vegetazione – il contributo della ricerca italiana".

Istituzioni	Sedi
Università	Cattolica di Brescia, Firenze, Mediterranea di Reggio Calabria, Bicocca di Milano, Milano, Federico II di Napoli, La Sapienza di Roma, Perugia, Pisa, Siena, Torino, SSSUP (Pisa), Trieste, Tuscia di Viterbo
CNR	Firenze, Milano, Roma
ENEA	Frascati, Pisa, Roma
Altri enti pubblici e società scientifiche italiane	Accademia dei Georgofili, ARPA Piemonte, ARPA Toscana, CRA Bari, ERSAF Lombardia, IASMA Trento
Istituti di ricerca internazionali	FAL Svizzera, JRC Ispra, WSL Svizzera
Istituti e società privati	CESI Milano, Gaia Servizi Pisa, IPLA Torino, Istituto di Ricerche Ambiente Italia Milano, Linnaeambiente Ricerca Applicata Firenze, TerraData environmetrics Siena

Una prima valutazione delle competenze rappresentate all'incontro è stata tentata attraverso un questionario in cui a ciascun partecipante è stato richiesto di indicare le proprie linee di attività e le relative priorità di studio. I risultati sono mostrati in Tabella 2.

Tabella 2. Categorie di temi, linee di attività e priorità di studio riportate dai convegnisti.

Categoria	Linee di attività	Priorità
Aspetti agronomici	Sistemi colturali, ruolo dell'irrigazione	Sensibilità di specie e varietà, effetti in relazione alle agrotecniche ed allo stato idrico
Aspetti biochimici	Ozono come modello per lo studio dei meccanismi di resistenza, difese antiossidanti in <i>stress</i> abiotici, trasduzione del segnale, metabolismo secondario, ozono-isoprenoidi, concentrazione intracellulare di ozono, proteonomica, meccanismi biochimici, antiossidanti	Meccanismi di difesa-risposta intracellulari, uniformità dei metodi ed indicatori, difficoltà di reperimento di dati utili a livello territoriale, <i>upscale</i> foglia-ecosistema, introduzione nei modelli del ruolo degli isoprenoidi, meccanismi di trasmissione del segnale
Aspetti fisiologici	Risposte del pioppo all'ozono; <i>stress</i> ossidativi, molecole segnale e difesa, fisiologia della risposta, alterazioni ecofisiologiche sui licheni e <i>slow kinetics</i>	Meccanismi biochimici e molecolari, miglioramento del monitoraggio, suolo e dinamiche, flussi stomatici e non e detossificazione, fluorescenza della clorofilla
Aspetti istologici	Analisi strutturali effetti ozono e metalli pesanti	Localizzazione a livello tissutale e cellulare dei metalli pesanti
Aspetti genetici	Geni attivati da <i>stress</i> da ozono, regolazione espressione genica, marcatori per selezione piante resistenti	Geni implicati nella trasduzione del segnale e loro promotori, sequenze non codificanti
Valutazione e monitoraggio effetti	Effetti sulle colture erbacee e sulle foreste, confronti varietali, monitoraggio in aree naturali, sintomi su sistemi agro-forestali, reti di monitoraggio, tecniche radiometriche, indicatori precoci, <i>upscaling</i> dei risultati, effetti sulle colture agrarie in ambiente mediterraneo, monitoraggio e biomonitoraggio, effetti sulla crescita, etilendiurea	Reti di misurazione, biomonitoraggio, ozono e gestione sostenibile, specie resistenti e tutela biodiversità, supporto alla politica, metodi di stima in continuo, modello fisico del danno, sensori iperspettrali per fluorescenza, classificazione della sensibilità specifica, accrescimento come indicatore di effetti, reperimento materiale fogliare per confrontare risposte, individuazione di effetti "prevedibili", miglioramento del <i>design</i> statistico delle reti, stime quantitative degli effetti
Analisi e valutazione di rischio	Reti chimiche, inquinanti gassosi, particolato, aree urbane, flussi di ozono atmosfera-vegetazione, ecofisiologia, valutazione rischio, assorbimento di ozono, uso delle tecniche di <i>eddy covariance</i> , ripartizione dei flussi, modellizzazione flussi	Precursori ozono, particolato ultrafine, interazioni, mappe di dose assorbita da colture e foreste, relazione con cambiamenti climatici e valutazione di rischio integrata, studio dei flussi nella vegetazione mediterranea, significato biologico del flusso, livelli di ozono in aree remote, misura di flussi su ecosistemi non studiati, relazione dose-risposta, aumento dei siti di misura, studio di nuovi modelli di conduttanza
<i>Stress</i> multipli	Interazione tra ozono e <i>stress</i> abiotici (sale, metalli pesanti, temperature eccessive, ecc.), risposte comuni a <i>stress</i> multipli	Studio delle risposte a <i>stress</i> multipli, <i>cross-talk</i> nell'adattamento allo <i>stress</i>
Suolo	Relazione suolo-pianta, meccanismi di risposta mediati dal suolo	Meccanismi biochimici e molecolari di risposta



Come si vede, e come si potrà meglio capire leggendo i riassunti dei vari contributi, il *range* di competenze varia, a livello di scala, dai geni alle coperture forestali e, a livello di interessi, dalle misure biochimiche ed ecofisiologiche, alle reti di monitoraggio da base terrestre e remota, alla modellistica dei flussi.

Al di là degli schematismi, è comunque auspicabile che il quadro articolato delle competenze esistenti nelle nostre istituzioni, siano esse pubbliche o private, riesca a comporsi in un insieme il più possibile coerente ed armonico. Nel complesso, e considerando le *facilities* ad oggi già disponibili, la comunità degli scienziati italiani che si occupa di ozono è virtualmente in grado di coprire quasi tutte, se non tutte, le richieste che la ricerca e la politica pongono.

Prospettive

L'incontro di San Piero a Grado è idealmente il primo di una serie di appuntamenti annuali. Tutti coloro che hanno risposto al questionario hanno auspicato il proseguimento delle attività RIO₃-VEG. Siamo coscienti che una cadenza annuale può risultare impegnativa, ma non per questo impossibile: si consideri, ad esempio, che da novembre 2006 a maggio 2007 si sono svolti in Italia altri tre incontri sul tema "ozono e vegetazione" (UNECE, Brescia, febbraio 2007; Capri, maggio 2007; Curno, maggio 2007), senza contare eventi di natura seminariale, anche internazionali. Quindi, le forze e le possibilità ci sono. Resta da vedere se l'auspicata volontà di "fare squadra" riuscirà a concretizzarsi in una maggiore condivisione di obiettivi, una migliore canalizzazione delle energie ed una riduzione del peso specifico delle rivalità, che pure in un ambiente competitivo come quello della ricerca scientifica ci devono essere. Infine, ancor più che sintetizzare ed esporre i risultati della ricerca italiana su ozono e vegetazione, a San Piero a Grado, il 24 novembre 2006 è stata lanciata una visione per una nuova strategia di lavoro futuro e RIO₃-VEG potrebbe divenire il serbatoio delle idee.

Ringraziamenti

Vogliamo ringraziare le istituzioni e le agenzie che hanno promosso l'organizzazione dell'incontro: la Sezione Centro-Ovest dell'Accademia dei Georgofili, il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali (CIRAA) "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa, il Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università degli Studi di Firenze e Terra-Data environmetrics, *spin-off* accademico dell'Università di Siena. La Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (SISEF), Gruppo di lavoro "Effetti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi forestali", ha patrocinato l'iniziativa. Giacomo Lorenzini (CIRAA, Università di Pisa) e Filippo Bussotti (Università degli Studi di Firenze) ci hanno sostenuto nelle varie fasi organizzative. Fausto Manes (Roma), Paolo Cherubini (Birmensdorf), Antonio Ballarin Denti (Brescia) e Maurizio Badiani (Reggio Calabria) hanno assicurato, assieme agli Autori delle loro sessioni, un rigoroso rispetto dei tempi



ed un elevato *standard* scientifico. I collaboratori del CIRAA e del Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose “G. Scaramuzzi” dell’Università di Pisa hanno garantito una logistica impeccabile. Michela Marignani (TerraData environmetrics, Siena) ha preparato il *flyer* dell’incontro. Infine, ma non certo per importanza, bisogna ricordare che il successo dell’evento di San Piero a Grado non sarebbe stato possibile senza la partecipazione entusiasta di oltre 100 colleghi giunti da tutta Italia (e non solo).

Il volume è dedicato alla memoria del Professor Giovanni Scaramuzzi, perché è grazie alla Sua lungimiranza e alle Sue continue sollecitazioni che oggi si può parlare di una “scuola” pisana di fitotossicologia.

Bibliografia

FERRETTI M., FAGNANO M., AMORIELLO T., BALLARIN-DENTI A., BADIANI M., BUFFONI A., BUSSOTTI F., CASTAGNA A., CIESLIK S., COSTANTINI A., COZZI A., DE MARCO A., GEROSA G., LORENZINI G., MANES F., MEROLA G., MOSELLO R., NALI C., PAOLETTI E., PETRICCIONE B., RACALBUTO S., RANA G., RANIERI A., TAGLIAFERRI A., VIALETTO G., VITALE M. (2007) – *Measuring, modelling and testing ozone exposure, flux and effects on vegetation in southern European conditions – what does not work. A review from Italy*. Environmental Pollution 146, 648-658.

GRAVANO E., FERRETTI M., BUSSOTTI F., GROSSONI P. (1999) – *Foliar symptoms and growth reduction of Ailanthus altissima Desf. in an area with high ozone and acidic deposition in Italy*. Water, Air and Soil Pollution 116, 267-272.

LORENZINI G., TRIOLO E., MATERAZZI A. (1984) – *Evidence of visible injury to crop species by ozone in Italy*. Rivista di Ortoflorofrutticoltura Italiana 68, 81-84.

VINGARZAN R. (2004) – *A review of surface ozone background levels and trends*. Atmospheric Environment 38, 3431-3442.

Ozono: problematica, dinamiche spazio-temporali e misure in aree remote

Fausto Manes¹

Introduzione

L'ozono troposferico (O₃) è un inquinante secondario, formato dalla reazione tra gli inquinanti primari ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (VOC), in condizioni di forti irradiazioni; come risultato delle crescenti emissioni di tali precursori da parte dei processi di combustione di origine antropica, le concentrazioni globali di O₃ sono aumentate del 36% dall'era pre-industriale (IPCC, 2001). Nonostante i sostanziali investimenti in iniziative di controllo e strategie di mitigazione che, negli ultimi anni, hanno ridotto l'incidenza e la frequenza dei picchi di O₃, le concentrazioni di fondo appaiono tuttora in aumento sia nei Paesi industrializzati che in quelli in via di sviluppo (Emberson et al., 2001; Coyle et al., 2003; Ashmore, 2005), generando non poche preoccupazioni riguardo agli effetti negativi che questo inquinante fotochimico ha sulla salute umana e sulle specie vegetali, sia naturali che coltivate (UNECE, 2004).

Basandosi su ricerche condotte su un campione di popolazione esposta, l'attuale legislazione europea sull'O₃ (Direttiva 2002/3/EC) fissa i limiti per la protezione della salute umana al valore bersaglio di 120 µg/m³ come media su 8 ore massima giornaliera, da non superarsi per più di 25 giorni per anno come media su 3 anni, a partire dall'anno 2010. Nonostante ciò, le concentrazioni di O₃ monitorate in Europa superano frequentemente questa soglia (EEA, 2007). C'è stato un netto aumento del numero dei superamenti durante le estati degli anni 2004-2006 (EEA, 2007). Nell'estate 2006, i livelli di O₃ sono stati elevati nel sud e nel nord-est Europa, con numerosi superamenti del valore soglia per l'informazione al pubblico (pari a 180 µg/m³, Direttiva 2002/3/EC), così come dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (media su 8 ore massima giornaliera di 120 µg/m³, nell'arco di un anno). Inoltre, in una cospicua parte d'Europa, si sono registrati superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana. Le concentrazioni orarie di O₃ più elevate dell'estate 2006 (370 µg/m³) sono state misurate proprio in Italia; livelli orari elevati, tra 300 e 360 µg/m³, sono stati osservati anche in Austria, Francia, Portogallo, Romania e Spagna.

1. Dipartimento di Biologia Vegetale - Università "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 5 - 00185 Roma - fausto.manes@uniroma1.it



Si comprende come l'inquinamento da O_3 sia diventato uno dei problemi principali per le città europee, principalmente per quelle che si trovano in area mediterranea, le cui condizioni climatiche caratterizzate da estati calde, secche e senza nubi, favoriscono la formazione di *smog* fotochimico (Ferretti et al., 2007). Recentemente, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha stimato che, nelle città italiane, lo 0,8% della mortalità dovuta a problemi cardiovascolari acuti, così come l'1% dei ricoveri ospedalieri dovuti a disturbi respiratori per persone con più di 65 anni di età, sono attribuibili ogni anno all' O_3 , espresso tramite l'indice SOMO35 (somma delle medie oltre 35 ppb di concentrazione) (Martuzzi et al., 2006). Roma è tra le città più importanti del sud Europa ed è caratterizzata da livelli elevati di traffico e di urbanizzazione, risultando particolarmente suscettibile ad episodi di *smog* fotochimico, a causa del clima tipicamente mediterraneo che la caratterizza (Blasi et al., 1999); infatti, il limite per la protezione della salute umana è stato superato in 27 giorni durante l'estate 2003, causando un rischio concreto per la popolazione.

Gli effetti sempre più evidenti dell' O_3 hanno determinato la necessità di sviluppare politiche ambientali di protezione, finalizzate a ridurre le concentrazioni di questo inquinante. Dal momento che esso può essere trasportato anche su lunghe distanze e poiché, in certe condizioni meteorologiche, elevate concentrazioni possono essere misurate su vaste aree europee che interessano più di uno Stato, è chiaro come sia essenziale un approccio internazionale integrato per lo sviluppo di queste politiche (Ozone Position Paper, 1999).

Effetti sulla vegetazione: riferimenti normativi e livelli critici

Gli strumenti legislativi disponibili nel passato a questo proposito non sono mai stati sufficienti per consentire una puntuale conoscenza del fenomeno; in virtù di ciò, la Direttiva 2002/03/CE per l' O_3 , oltre a fissare i valori limite per la sua concentrazione, fornisce indicazioni sul suo monitoraggio e sui metodi di misura. L'Italia ha recepito tale Direttiva Comunitaria mediante il Decreto Legislativo n. 183 del 21 maggio 2004, nel quale vengono esplicitati i valori bersaglio, gli obiettivi a lungo termine relativi alla protezione della salute umana e della vegetazione e le soglie di informazione e di allarme. Inoltre, la nuova Direttiva introduce un parametro sostitutivo della media oraria o giornaliera nel definire i limiti di protezione della vegetazione, chiamato AOT40, che è un "indice di esposizione" di tipo cumulativo (Führer & Achermann, 1994), corrispondente alla somma delle concentrazioni orarie di O_3 al di sopra di 40 ppb durante le ore di luce, quando la radiazione solare è maggiore di 50 Wm^{-2} . L'AOT40, che rappresenta un livello critico per l' O_3 nei confronti della vegetazione, viene calcolato su un periodo di tre mesi per le specie agricole e semi-naturali e su sei mesi per le forestali. Numerosi studi dimostrano che non esiste un indice di esposizione che in assoluto sia il migliore per tutte le specie vegetali (Musselmann et al., 2006). Dal momento che la risposta della



pianta all'O₃ è relativa ai fattori climatici, come la temperatura ed il VPD (differenza di pressione del vapore acqueo), che possono influenzare il funzionamento stomatico conducendo a variazioni nell'assorbimento di O₃ all'interno della pianta (Ball et al., 1998), un buon indice di esposizione all'O₃ dovrebbe essere sensibile agli stessi fattori che influenzano la conduttanza stomatica (Pleijel et al., 2000). Inoltre, esso dovrebbe includere una rappresentazione quantitativa della capacità di detossificazione dei tessuti fogliari (Musselman & Massman, 1999).

In Europa la problematica dell'inquinamento da O₃ transfrontaliero fu affrontata per la prima volta dalla Commissione Economica delle Nazioni Unite per l'Europa (*United Nations Economic Commission for Europe*, UNECE); nel 1979 fu istituita la Convenzione sul Trasporto dell'Inquinamento Atmosferico a Lungo-Raggio (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*, CLRTAP). All'interno della Convenzione, sono stati compiuti numerosi sforzi per stabilire le concentrazioni di O₃ al di sopra delle quali si verificano effetti negativi sulla vegetazione naturale ed agraria (Fuhrer et al., 1997). Il livello critico per un inquinante è definito come la concentrazione al di sopra della quale possono verificarsi effetti dannosi su recettori come le piante, gli ecosistemi o i materiali (UNECE, 1998). Questi livelli critici servono sia da "targets" nello sviluppo delle politiche di abbattimento dell'inquinamento atmosferico basate sugli effetti, sia per identificare le aree a rischio attraverso le mappe delle eccedenze dei livelli di O₃ misurati o modellizzati (Amann et al., 1995). Nel 1988, nell'ambito della CLRTAP è stato avviato un programma internazionale denominato *International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution and other Stresses on Agricultural Crops, ICP Crops* (oggi *ICP Vegetation*). La sua finalità è stata quella di fornire informazioni circa le risposte all'inquinamento atmosferico delle colture agrarie e, dal 1994, anche della vegetazione naturale non arborea (Sanders et al., 1994). Il progetto *ICP Vegetation* si occupa quindi di monitorare e quantificare i danni sulla vegetazione dovuti all'O₃ e ad altri inquinanti mediante studi di biomonitoraggio condotti simultaneamente dai Paesi partecipanti seguendo protocolli *standard* e attraverso modelli di previsione statistica dell'origine, della diffusione e del trasporto degli inquinanti.

Nel 2003 e nel 2004 l'*ICP Vegetation* ha continuato a coordinare la revisione dei livelli critici per l'O₃, presentati nel "*Mapping Critical Levels for Vegetation*" (UNECE, 2004). Rispetto al precedente *Mapping Manual* (UNECE, 1996), sono stati inseriti sia livelli critici basati su indici di concentrazione modificati, sia gli indici basati sui flussi. Nei primi, il concetto di AOTX è stato rivisto in modo da tenere conto del VPD (AOTXVPD). Questo approccio è di difficile applicazione, per la difficoltà nello stabilire una soglia di VPD valida per tutte le specie e, inoltre, non è risultato adatto a descrivere accuratamente la risposta della vegetazione nelle differenti condizioni climatiche europee (Phil Karlsson et al., 2004).

Per i livelli critici basati sui flussi stomatici (quantità di O_3 che penetra nella pianta attraverso gli stomi), è stato invece definito un concetto completamente nuovo, quello di flusso cumulato per l' O_3 (AfstY). L'AfstY è valutato come la sommatoria di flussi con valori superiori ad una determinata soglia Y ($nmol\ m^{-2}s^{-1}$), durante le ore del giorno; simile al concetto di AOTX, nel quale ad essere cumulati sono i valori delle concentrazioni di O_3 e non i flussi stomatici. Per le specie agrarie il livello critico è stato impostato sulla base di una riduzione annuale del raccolto pari al 5% (Karlsson et al., 2003); per la vegetazione semi-naturale la definizione dei livelli critici di O_3 è più difficile a causa della grande diversità di questi recettori, della complessità delle interazioni tra gli effetti dell' O_3 e le condizioni ambientali ed anche a causa dell'esiguità dei dati sperimentali disponibili (Fuhrer et al., 2003).

Lo sviluppo di un approccio basato sui flussi, come sistema alternativo all'AOT40, per valutare gli effetti dell' O_3 sulla vegetazione, è un aspetto molto importante; infatti il calcolo del flusso considera l'influenza dei fattori climatici e fisiologici sulla quantità di O_3 che penetra nella pianta attraverso gli stomi, raggiungendo i siti di azione all'interno della foglia (UNECE *ICP Vegetation Annual Report 2003-2004*). Differenti regioni con valori simili di AOT40 possono avere valori di flusso di O_3 considerevolmente diversi (Zeller, 2002) e alcune ricerche hanno mostrato l'inadeguatezza dell'AOT40 per la stima della perdita delle piante agrarie in Europa (De Santis, 1999; Ashmore et al., 2004; Ud-dling et al., 2004). Quindi, è molto alto il rischio di commettere un errore sistematico quando si utilizzano le concentrazioni di O_3 come surrogato dell'assorbimento, proprio perchè qualunque fattore che influenza la conduttanza stomatica, ma non la concentrazione ambientale di O_3 , causerà una disuguaglianza dei *trend* della concentrazione e del flusso (Vitale et al., 2005; Gerosa et al., 2004). Per questi motivi, attualmente vi è un ampio consenso nel ritenere che gli effetti più dannosi dell' O_3 sui recettori vegetali siano relazionati all'assorbimento piuttosto che alla concentrazione nell'aria intorno alla pianta (Musselman & Massman, 1999; Percy et al., 2003; Manes et al., 2007).

A causa dell'importanza dei fattori climatici nel condizionare la quantità di O_3 che entra all'interno della foglia, il flusso stomatico all' O_3 è sottoposto a variazioni geografiche e temporali. Negli ecosistemi mediterranei l'utilizzo dell'AOT40 porta ad una sovrastima degli effetti rispetto ad altre parti d'Europa, se la relazione esposizione-risposta usata non è stata derivata sotto tali condizioni. La ragione di questo problema, segnalato da De Santis (1999), è che a causa dell'aridità prevalente nelle regioni a clima mediterraneo e durante i mesi con le più alte concentrazioni di O_3 , l'assorbimento dell'inquinante gassoso è fortemente ridotto dalla chiusura degli stomi (Bussotti & Gerosa, 2002; Manes et al., 2007). Eccezioni sono, per esempio, i pascoli di altura del sud Europa, dove la situazione potrebbe essere più favorevole all'assorbimento dell' O_3 , oppure le piante ben irrigate, sebbene alti valori di VPD potrebbero provocare una limitazione della con-



duttanza stomatica. D'altronde, in climi umidi, c'è il rischio di sottostimare gli effetti, se si si avvale di indici di esposizione basati sulla concentrazione che utilizzano modelli calibrati su dati sperimentali provenienti da studi effettuati in regioni con conduttanze tipicamente più basse, causate per esempio da suoli asciutti o VPD alti.

Durante il *workshop* UNECE “*Critical Levels of Ozone: Further Applying and Developing the Flux Concept*” tenutosi ad Obergurgl, Austria, nel novembre 2005, è stato discusso l'utilizzo dell'approccio basato sui flussi per la stima del rischio da O₃ a livello Europeo. In particolare, sono state analizzate le incertezze associate con la formulazione, validazione e applicazione dei modelli di flusso su larga scala, e quelle derivanti dalla necessità di stabilire una relazione causa-effetto tra il flusso stomatico di O₃ e la risposta delle piante. Sono stati, inoltre, rivisti i livelli critici provvisori basati sui flussi per le specie naturali e coltivate, e i metodi per la definizione di tali livelli critici. Il dibattito su questi temi è proseguito durante il XIX *Task Force Meeting* dell'*ICP Vegetation*, tenutosi in Galles nel febbraio successivo, durante il quale sono state definite le modifiche da apportare al Capitolo 3 del *Mapping Manual* UNECE. Recentemente, durante il XX *ICP Vegetation Task Force Meeting* (Marzo 2007, Dubna, Federazione Russa), è stato presentato un nuovo allegato da aggiungersi al Capitolo 3 del *Mapping Manual*, riguardante la parametrizzazione del modello generico di flusso per le specie arboree forestali. Tale documento è attualmente in attesa di essere sottoposto ai membri delle *Task Force ICP Modelling and Mapping* e *ICP Forests* per la definitiva approvazione.

Le limitazioni degli indici basati sulle concentrazioni esterne hanno portato a considerare un ulteriore approccio alternativo, oltre quello incentrato sui flussi stomatici, che considera la massima concentrazione di O₃ permessa (*Maximum Permissible Ozone Concentration*, “MPOC”) per la protezione della vegetazione (Krause et al., 2003). L'MPOC consente la classificazione della probabilità delle risposte delle piante all'esposizione all'O₃, definisce le concentrazioni medie critiche di O₃ per differenti periodi ed identifica i *range* di concentrazione di O₃ corrispondenti a basso, medio ed alto rischio. L'MPOC utilizza un *mix* di parametri integrativi di risposta (crescita, raccolto, biomassa, vitalità, ecc.) selezionati per la loro importanza ecologica ed economica, considera un'ampia varietà di specie ed è esplicitamente relazionato al flusso (Krause et al., 2005). Tuttavia questo approccio è stato criticato da Ashmore et al. (2004), che ritengono poco chiare le conseguenze delle eccedenze dei valori di MPOC, asserendo, inoltre, che i valori medi settimanali o mensili di MPOC possono condurre ad una sovrastima del reale livello di protezione, perchè i valori di MPOC sono basati su concentrazioni medie delle 24 ore, malgrado il basso assorbimento notturno di O₃ in molte specie. Poiché, però, il concetto di AOT40 è associato ad esposizioni relativamente alte, che sono spesso di bassa rilevanza ecologica per le colture, anche quelle irrigate artificialmente, a causa dei fattori limitanti l'assorbimento che agiscono in concomitanza con le alte concentrazioni

ambientali di O₃ (temperatura elevata e elevati VPD), l'MPOC risulta un approccio più generalizzato ed una stima più realistica del rischio ecologico (Krause et al., 2005).

Il monitoraggio biologico

Come detto, i centri urbani, per gli alti tassi di inquinamento atmosferico, necessitano di un continuo monitoraggio della qualità dell'aria. Tra le varie soluzioni, è possibile l'uso di organismi viventi come bioindicatori. Si tende sempre più a distinguere tra bioindicatori e "biomonitors"; i primi rivelano la presenza o l'assenza di un inquinante atmosferico, mentre i secondi forniscono informazioni addizionali circa l'intensità dell'esposizione (Market et al., 1997). In generale, quindi, si può distinguere tra "bioindicazione", metodo di analisi qualitativo per il rilevamento della presenza degli inquinanti nell'aria e dei loro effetti, e "biomonitoraggio", metodo d'analisi quantitativo utile per la valutazione dell'entità degli effetti causati dagli inquinanti (Manes, 1998).

La bioindicazione è legata all'informazione che gli organismi viventi forniscono in risposta ai fattori ambientali, siano essi naturali o dovuti all'attività antropica (Manes, 1995). Secondo Lorenzini e Panattoni (1986), uno dei requisiti fondamentali per la scelta di un bioindicatore consiste nel fatto di essere notevolmente sensibile agli inquinanti presi in considerazione; deve, quindi, possedere una bassa dose soglia per la comparsa del danno visibile, affinché sia possibile stimare livelli realistici dell'inquinante. Il marcatore biologico, "biomarker", più importante per valutare e quantificare la risposta delle piante bioindicatrici, è il danno fogliare. In seguito all'esposizione all'O₃ ambientale diverse specie vegetali mostrano tipici sintomi, sotto forma di lesioni clorotiche o necrotiche, che ne permettono l'uso come bioindicatori (Ribas & Peñuelas, 2003). Inoltre l'intensità del danno fogliare è ben correlabile alla dose di O₃ a cui la pianta è stata esposta (Toncelli & Lorenzini, 1997). La risposta osservabile della pianta alla sollecitazione esterna è una semplice ed economica tecnica che può essere utilizzata come sistema di allarme per la tossicità (Manning, 1998; Mulgrew & Williams, 2000).

All'interno del progetto UNECE *ICP Vegetation*, molte piante coltivate (fagiolo, ravanella, pomodoro, grano, trifoglio) sono state utilizzate per monitorare gli effetti ambientali dell'O₃. Negli ultimi anni, l'*ICP Vegetation*, si è avvalso di un sistema di biomonitoraggio consistente in cloni di trifoglio sensibili e resistenti (NC-S e NC-R), in più di venti Paesi europei (Mills et al., 2000). Inoltre, dal 2002 nel programma di biomonitoraggio sono stati inclusi studi pilota con *Centaurea jacea* L., come rappresentante della vegetazione (semi)-naturale. *C. jacea* è stata identificata come una delle specie naturali relativamente sensibili all'O₃, mostrando caratteristici sintomi in seguito ad esposizioni realistiche (Buse et al., 2003). Infatti, essa è stata proposta come potenziale bioindicatore proprio per le bronzature e le decolorazioni che appaiono sulla superficie fogliare, dopo pochi giorni di esposizione ad elevate concentrazioni di O₃ (Bungener et al., 2003).

Da recenti studi (Bassin et al., 2004) sull'uso di *C. jacea* per la bioindicazione è



emerso che il grado di danno visibile è strettamente correlato con lo stadio di sviluppo. Questi Autori hanno evidenziato che le piante allo stadio di rosetta appaiono meno sensibili all'O₃ ed il danno si verifica più frequentemente con l'emissione degli stoloni ed il raggiungimento dello stadio riproduttivo. Relazioni simili sono conosciute anche per le specie agrarie (Soja et al., 2000). Bassin et al. (2004) hanno inoltre osservato che la sensibilità all'O₃ varia fortemente tra e all'interno delle popolazioni di *C. jacea*, in accordo con la grande variabilità genetica intraspecifica e con le ampie variazioni nelle caratteristiche fenotipiche, concludendo che le differenze nello sviluppo delle piante e nella loro reazione all'O₃, tra e all'interno delle popolazioni, potrebbe contrastare la possibilità di usare *C. jacea* come bioindicatore standardizzato su scala europea. Per questo motivo, i partecipanti svizzeri che operano nell'ambito dell'*ICP Vegetation* hanno continuamente lavorato sulla produzione di cloni, allo scopo di ridurre la variabilità genetica tra le piante (UNECE *ICP Vegetation Annual Report 2003/2004*). I programmi di biomonitoraggio del 2006 sono continuati con una campagna pilota che prevedeva l'impiego di cloni di *C. jacea* per assicurare ai partecipanti al progetto internazionale UNECE *ICP Vegetation* una maggiore omogeneità genetica del potenziale bioindicatore. Nonostante questo, però, i risultati hanno evidenziato l'esistenza di diversi problemi ed incertezze, che di fatto limitano ancora il suo impiego come bioindicatore su scala europea. A questo proposito, nel *workshop* di Dubna si è deciso di sospendere momentaneamente gli esperimenti con *C. jacea*, in attesa che ulteriori fondi consentano di mettere a punto un sistema più efficiente, che comprenda anche un *training workshop* per i partecipanti interessati.

Le presentazioni

Avino e Manigrasso dell'Università La Sapienza (Roma) hanno illustrato le ricerche condotte presso il Laboratorio chimico dell'area dell'ISPESL presso la stazione pilota di Roma e presso la Tenuta di Castelporziano, relative alla determinazione di inquinanti atmosferici, tra cui anche acido nitroso e formaldeide con sistema di acquisizione D.O.A.S. di tipo *remote-sensing*. Vengono ampiamente illustrati alcuni episodi di *smog* fotochimico, evidenziando la relazione tra NO₂ e O₃, come anche l'andamento della formaldeide. Di notevole interesse anche gli andamenti giornalieri dei composti organici volatili per la stazione di Roma.

Mangoni e colleghi (Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano) hanno argomentato sulla necessità di sviluppare metodi di analisi per ottenere stime credibili per il presente e per il futuro per valutare il danno reale e potenziale dell'O₃ sulla vegetazione agraria e forestale. Inoltre, si è discusso sulla messa a punto di sistemi di valutazione della qualità dell'aria in riferimento agli effetti sugli ecosistemi. Degno di nota risulta l'approccio per lo sviluppo di un prototipo di rete regionale di monitoraggio dell'O₃ per aree agricole e forestali per il territorio lombardo.



Nali propone un contributo relativo a “Venti anni di biomonitoraggio dell’ozono”, studi condotti in collaborazione con Lorenzini presso l’Università di Pisa. La rassegna inquadra la problematica dal livello europeo fino a quello della Regione Toscana, riportando dati ed informazioni sulle reti di monitoraggio e di biomonitoraggio presenti in Italia. In particolare, viene illustrato un esempio di studio condotto mediante la rete locale di dodici stazioni di indicazione attiva con piante adulte e germinelli di *Nicotiana tabacum* (cvv. Bel-W3 e Bel B), in accordo con le indicazioni ed i criteri generali indicati nella norma VDI 3957/Part. 6 del 2003 e nelle norme VDI 3957/Part. 10. Vengono, inoltre, illustrate le ricerche di notevole rilievo condotte con altre specie bioindicatrici quali: due cloni di *Trifolium repens* L. cv. Regal (cloni O₃ sensibile ed O₃ resistente), *C. jacea* e *Lycopersicon pimpinellifolium*. Si suggerisce infine, lo sviluppo di attività sperimentali nelle ricerche di biomonitoraggio anche mediante l’uso di specie perenni.

Andrei e colleghi (Linnaeambiente Ricerca Applicata, Firenze) hanno illustrato l’integrazione di reti di monitoraggio per la stima dei livelli di O₃ a scala sub-regionale, trattando in particolare l’esempio di Firenze. Dopo un esaustivo inquadramento della situazione toscana, viene illustrata la metodologia che consente, attraverso l’indice di danno fogliare (LII) su tabacco cv. Bel-W3 e i dati della rete di monitoraggio, di ottenere le mappe dei livelli di O₃. In particolare “LII” risulta un buon predittore delle concentrazioni di O₃, consentendo di contribuire al rispetto della Direttiva CE, ottenendo informazioni a scala sub-regionale. La ricerca ha consentito inoltre di effettuare analisi di rischio fino ad oggi non realizzabili, per carenza di dati spaziali.

Iriti e colleghi (Università di Milano) hanno presentato i risultati relativi all’uso di *L. pimpinellifolium* come bioindicatore dell’O₃. In condizioni controllate, la specie si è dimostrata assai sensibile, secondo una correlazione dose-risposta e può costituire una valida alternativa all’uso delle piante di tabacco Bel-W3 in base alla soglia di fitotossicità dimostrata, che risulta più bassa, oltre alla facilità di coltivazione e di trasporto nel sito di monitoraggio.

Bibliografia

AMANN M., BALDI M., HEYES C., KLIMONT Z., SCHOOP W. (1995) – *Integrated assessment of emission control scenarios, including the impact of tropospheric ozone*. Water, Air and Soil Pollution 85, 2595-2600.

ASHMORE M.R. (2005) – *Assessing the future global impacts of ozone on vegetation*. Plant, Cell and Environment 28, 949-964.

ASHMORE M.R., EMBERSON L., KARLSSON P.E., PLEIJEL H. (2004) – *New Directions: A new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe*. Atmospheric Environment 38, 2213-2214.

BALL G.R., BENTON J., PALMER-BROWN D., FUHRER J., SKARBY L., GIMENO B.S., MILLS G. (1998) – *Identifying factors which modify the effects of ambient ozone on white clover (Trifolium repens) in Europe*. Environmental Pollution 103, 7-16.



- BASSIN S., KOLLIKER R., CRETTON C., BERTOSSA M., WIDMER F., BUNGENER P., FUHRER J. (2004) – *Intra-specific variability of ozone sensitivity in Centaurea jacea L., a potential bioindicator for elevated ozone concentrations*. Environmental Pollution 131, 1-12.
- BLASI C., CARRANZA M.L., FILESI L., TILIA A., ACOSTA A. (1999) – *Relation between climate and vegetation along a Mediterranean-Temperate boundary in central Italy*. Global Ecology and Biogeography 8, 17-27.
- BUNGENER P., BASSIN S., FUHRER J. (2003) – *Brown knapweed (Centaurea jacea L.) as potential bioindicator native plant species for ambient ozone in Europe*. In: KARLSSON P.E., SELLDEN G., PLEIJEL H. (Eds), Establishing Ozone Critical Levels II. UNECE Workshop Report. IVL report B 1523. Swedish Environmental Research Institute, Gothenburg, 204-210.
- BUSE A., MILLS G., HARMENS H., BUKER P., HAYES F., WILLIAMS P., EMBERSON L., CINDERBY S., ASHMORE M., HOLLAND M. AND THE PARTICIPANTS OF THE ICP VEGETATION (2003) – *Air pollution and vegetation. Annual report 2002/2003*. UNECE ICP Vegetation Coordination Centre, CHE Bangor, UK.
- BUSSOTTI, F., GEROSA, G. (2002) – *Are the Mediterranean forests in Southern Europe threatened from ozone?* Journal of Mediterranean Ecology 3, 23-34.
- COYLE M., FOWLER D., ASHMORE M. (2003) – *New Directions: Implications of increasing tropospheric background ozone concentrations for vegetation*. Atmospheric Environment 37, 153-154
- DE SANTIS, F. (1999) – *New Directions: will a new European vegetation ozone standard be fair to all European Countries?* Atmospheric Environment 33, 3873-3874.
- EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (2007) – *Air pollution by ozone in Europe in summer 2006*.
- EMBERSON L.D., ASHMORE M.R., MURRAY F., KUYLENSTIERNA J.C.I., PEARCY K.E., IZUTA T., ZHENG Y., SHIMUZU H., SHEU B.H., LIU C.P., AGRAWAL M., WAHID A., ABDEL-LATIF N.M., VAN TIENHOVEN M., DE BAUER L.I., DOMINGOS M. (2001). *Impacts of air pollutants on vegetation in developing countries*. Water, Air and Soil Pollution 130, 107-118.
- FERRETTI M., FAGNANO M., AMORIELLO T., BALLARIN-DENTI A., BADIANI M., BUFFONI A., BUSSOTTI F., CASTAGNA A., CIESLIK S., COSTANTINI A., COZZI A., DE MARCO A., GEROSA G., LORENZINI G., MANES F., MEROLA G., MOSELLO R., NALI C., PAOLETTI E., PETRICCIONE B., RACALBUTO S., RANA G., RANIERI A., TAGLIAFERRI A., VIALETTO G., VITALE M. (2007) – *Measuring, modelling and testing ozone exposure, flux and effects on vegetation in southern European conditions – what does not work. A Review from Italy*. Environmental Pollution 146, 648-658.
- FUHRER J., ACHERMANN B.(Eds) (1994) – *Critical levels for ozone*. A UN/ECE Workshop report n 16, FAC, Liebefeld-Bern.
- FUHRER J., ASHMORE M.R., MILLS G., HAYES F., DAVIDSON A.W. (2003) – *Ozone critical levels for semi-natural vegetation*. In: KARLSSON P.E., SELLDEN G., PLEIJEL H. (Eds.), Establishing Ozone Critical Levels. II UNECE Workshop Report. IVL Report B 1523. IVL Swedish Environmental Research Institute, Gothenburg, Sweden, 183-198.
- FUHRER J., SKARBY L., ASHMORE M. (1997) – *Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe*. Environmental Pollution 97, 91-106.
- GEROSA G., MARZUOLI R., CIESLIK S., BALLARIN-DENTI A. (2004) – *Stomatal ozone uptake by barley in Italy. "Effective exposure" as a possible link between concentration- and flux- based approaches*. Atmospheric Environment 38, 2421-2432.
- IPCC (2001) – *Summary for policy makers*. TAR synthesis report.



- KARLSSON P.E., SELLDEN G., PLEJEL H. (2003) – *Establishing Ozone Critical Levels II*. UN-ECE Workshop Report B 1523, IVL Swedish Environmental Research institute, Gothenburg, Sweden. <http://www.ivl.se>.
- KRAUSE G.H., KÖLLNER B., GRÜNHAGE L. (2003) – *Effects of ozone on European forest tree species. A concept of local risk evaluation within ICP-Forest*. In: KARLSSON P.E., SELLDEN G., PLEJEL H. (Eds.), *Establishing Ozone Critical Levels. II UNECE Workshop Report. IVL Report B 1523*. IVL Swedish Environmental Research Institute, Gothenburg, Sweden, 230-235.
- KRAUSE G.H., KÖLLNER B., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., BENDER J., WEIGEL H.-J. (2005) – *New Directions: Discussion of "A new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe" by Ashmore et al.* Atmospheric Environment 39, 5213-5217.
- LORENZINI G., PANATTONI A. (1986) – *An integrated physicochemical and biological survey of atmospheric ozone in coastal Tuscany, Italy*. Rivista di Patologia Vegetale 22, 130-164.
- MANES F. (1995) – *Effetti degli inquinanti atmosferici sulle piante*. In: CAMIZ S., GALLI F. (Eds.), *Problemi ambientali ed inquinamento*. CISU Ed., Napoli, 201-218.
- MANES F. (1998) – *Analisi della qualità ambientale mediante studi di bioindicazione e biomonitoraggio su specie vegetali*. In: PICCINI C., SALVATI S. (Eds.), *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente: 217-230.
- MANES F., VITALE M., FABI A.M., DE SANTIS F., ZONA D. (2007) – *Estimates of potential ozone stomatal uptake in mature trees of Quercus ilex in a Mediterranean climate*. Environmental and Experimental Botany 59, 235-241.
- MANNING W.J. (1998) – *The use of plants as bioindicators of ozone*. In: BYTNEROWICZ A., ARBAUGH M.J., SCHILLING S.L. (Eds.), *Proceedings the International Symposium on Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems, 1996*, Riverside, CA. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-166. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, US Department of Agriculture, Albany, CA, 19-26.
- MARKET B., OEHLMANN J., ROTH M. (1997) – *General aspects of heavy metal monitoring by plants and animals*. In: SUBRAMANIAN K.S., LYENGAR G.V. (Eds.), *Environmental monitoring: exposure, assessment and specimen banking*, ACS Symposium Series 654. American Chemical Society, Washington, DC.
- MARTUZZI M., MITIS F., LAVRONE I., SERINELLI M. (2006) – *Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities*. World Health Organization Regional Office for Europe.
- MILLS G., FUHRER J., GIMENO B.S., HEAGLE A.S., SKARBY L., DE TEMMERMAN L., HAYES F., BALL G. (2000) – *Development of a multi-factor model for predicting the effects of ambient ozone on the biomass of white clover*. Environmental Pollution 109, 533-542.
- MULGREW A., WILLIAMS P. (2000) – *Biomonitoring of air quality using plants*. In: HUBER E. (Ed.), *Air Hygiene Report No. 10*. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control (WHO CC), Berlin, Germany, 7-12.
- MUSSELMANN R.C., LEPHON A.S., MASSMANN W.J., HEATH R.L. (2006) – *A critical review and analysis of the use of exposure- and flux-based ozone indices for predicting vegetation effects*. Atmospheric Environment 40, 1869-1888.
- MUSSELMANN R.C., MASSMANN W.J. (1999) – *Ozone flux to vegetation and its relationship to plant response and ambient air quality standards*. Atmospheric Environment 33, 65-73.
- OZONE POSITION PAPER (1999) – Version 5.0 prepared by Ad Hoc Working Group on Ozone Directive and Reduction Strategy Development.



- PERCY K.E., LEGGE A.H., KRUPA S.V. (2003) – *Tropospheric ozone: a continuing threat to global forest?* In: KARNOSKY D.E., PERCY K.E., CHAPPELKA A.H., SIMPSON C., PIKKARAINEN J. (Eds.). *Air Pollution, Global Change and Forest in the New Millennium*, 85-118.
- PHIL KARLSSON G., KARLSSON P.E., SOJA G., VANDERMEIREN K., PLEIJEL H. (2004) – *Test of the short-term critical levels for acute ozone injury on plants—improvements by ozone uptake modelling and the use of an effect threshold*. *Atmospheric Environment* 38, 2237–2245.
- PLEIJEL H., DANIELSSON H., PHIL KARLSSON G., GELANG J., KARLSSON P.E., SELLDEN G. (2000) – *An ozone flux-response relationship for wheat*. *Environmental Pollution* 109, 453-462.
- RIBAS A., PEÑUELAS J. (2003) – *Biomonitoring of tropospheric ozone phytotoxicity in rural Catalonia*. *Atmospheric Environment* 37, 63-71.
- SANDERS G.E., BALLS G.R., BOOTH C.E. (1994) – *Ozone critical levels for agricultural crops - analysis and interpretation of the results from the UN/ECE International Cooperative Programme for crops*. In: FUHRER J., ACHERMANN B. (Eds.), *Critical Levels for Ozone a UN/ECE Workshop Report*. Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene CH-3097 Liebefeld-Bern, Switzerland, 16, 58–72.
- SOJA G., BARNES J.D., POSCH M., VANDERMEIREN K., PLEIJEL H., MILLS G. (2000) – *Phenological weighting of ozone exposure in the calculation of critical levels for wheat, bean and plantain*. *Environmental Pollution* 109, 517-524.
- TONCELLI M.L., LORENZINI G. (1997) – *Comparative evaluation of biomonitoring techniques of tropospheric ozone*. *Environmental Monitoring and Assessment* 55, 445-448.
- UDDLING J., GUNTARDT-GOERG M.S., MATYSSEK R., OKSANEN E., PLEIJEL H., SELLDEN G., KARLSSON P.E. (2004) – *Biomass reduction of juvenile birch is more strongly related to stomatal uptake of ozone than to indices based on external exposure*. *Atmospheric Environment* 28, 4709-4719.
- UNECE (2004) – *Manual and methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads & levels and air pollution effects, risks and trends*. Umweltbundesamt, Berlin, Germany. <http://www.icpmapping.org>.
- UNECE ICP-VEGETATION (2005) – *Annual Report 2003/2004. Air Pollution and Vegetation*. CEH Bangor, UK.
- UNECE (1996) – *Manual and methodologies and criteria for mapping critical levels/ loads and geographical areas where they are exceeded*. Texte 71/96, Umweltbundesamt, Berlin, Germany.
- UNECE (1998) – *ECE Critical Levels Workshop*. Bad Harzburg 14-18 March 1998. Final Draft Report. Umweltbundesamt, Berlin, Germany.
- VITALE M., GEROSA G., BALLARIN-DENTI A., MANES F. (2005) – *Ozone uptake by an evergreen Mediterranean forest (Quercus ilex L.) in Italy. Part II: Flux modelling. Upscaling leaf to canopy ozone uptake by a process-based model*. *Atmospheric Environment* 39, 3267-3278.
- ZELLER K. (2002) – *Summer and autumn ozone fluxes to a forest in the Czech Republic Brdy Mountains*. *Environmental Pollution* 119, 269-278.

Identificazione, monitoraggio e valutazione degli effetti dell'ozono sulla fisiologia e produttività della vegetazione agraria e forestale: il contributo della ricerca italiana

Paolo Cherubini¹

Introduzione

L'ozono è un potente agente inquinante che induce sensibili reazioni negli organismi vegetali. I meccanismi di reazione biochimica, ancora ben lungi dall'essere completamente conosciuti, iniziano ad essere svelati da indagini di laboratorio ed in camere a cielo aperto, anche a livello molecolare (cfr. Bernardi et al., 2007 nel presente volume), ad esempio su specie modello quali il pioppo (cfr. Sebastiani et al., 2007 nel presente volume). In condizioni di campagna ed in bosco però, *in situ* cioè, sebbene si trovino sintomi a livello fogliare su più specie (ma non su tutte) (ad esempio, Bussotti, 2007 e Tagliaferro et al., 2007 nel presente volume) ed in alcuni casi sia stata registrata una minore produttività in colture agrarie (cfr. Rana e Bou Jaoudè 2007 nel presente volume), un effetto diretto, ad esempio, sulla produzione legnosa forestale, pare non esserci (cfr. Bussotti, 2007 nel presente volume). I motivi di questa apparente contraddizione vanno ricercati nel fatto che i danni a livello cellulare e biochimico (cfr. Bernardi et al., 2007 e Sebastiani et al., 2007 nel presente volume), ed i sintomi fogliari, risultanti in una ridotta attività fotosintetica associata ad una minore produzione di carboidrati, hanno un diverso impatto sulla produttività a seconda del momento nel quale compaiono, della fenologia della specie e delle sue caratteristiche ecologiche e fisiologiche, nonché di quelle ecologiche della stazione, che influenzano l'attività cambiale, responsabile della produzione di cellule legnose. Un promettente metodo di diagnosi presintomatica pare essere offerto da nuove tecniche di telerilevamento (cfr. Colombo et al., 2007 nel presente volume), che, anziché misurare i danni a livello fogliare, individuano alterazioni nei processi fisiologici e biochimici delle piante.

Questo, in estrema sintesi, quanto emerso dalla seconda Sessione, dedicata a "Valutazione e Monitoraggio degli Effetti", del primo incontro RIO₃-VEG, la rete informativa su ozono e vegetazione, intitolato "Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana" e tenutosi a San Piero a Grado (Pisa) il 24 novembre 2006.

1. WSL Swiss Federal Research Institute - CH-8903 Birmensdorf (Switzerland) - paolo.cherubini@wsl.ch

Gli interventi

Con una relazione dal titolo attraente, “Non solo danni: l’ozono come strumento prezioso per lo studio delle risposte agli *stress* nelle piante”, Bernardi (Università di Pisa) e dieci colleghi della Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa e delle Università di Pisa, Perugia e Reggio Calabria, hanno riportato risultati ottenuti negli ultimi dieci anni da vari studi condotti dal gruppo sull’uso dell’ozono quale “reagente” di laboratorio, utilizzabile in studi volti alla determinazione degli effetti da *stress* indotti nelle piante a livello molecolare. Agendo quale elicitore molecolare, l’ozono permette di studiare le reazioni di difesa. Di particolare interesse, secondo Bernardi e colleghi, è, a differenza di altri *stressors*, la sua modulabilità. L’ozono viene utilizzato in combinazione con altri fattori di *stress*, in vari sistemi modello (cultivar, varietà, ecotipi, linee mutanti o transgeniche differenzialmente sensibili) per individuare similarità e divergenze nella percezione, generazione e trasduzione del segnale, induzione e regolazione della trascrizione genica e conseguenti meccanismi di compensazione, di difesa e di riparazione. Ozono, dunque, quale utile strumento per la comprensione dei processi di difesa delle piante. Questi studi rappresentano peraltro un primo passo verso la selezione di materiale resistente e di geni utili da trasferire mediante trasformazione genica.

L’ozono troposferico, si sa, viene prevalentemente formato in condizioni meteoriche e climatiche caratterizzate da alta radiazione solare e presenza in abbondanza di inquinanti atmosferici precursori. Notoriamente, queste situazioni sono facilmente riscontrabili in ambiente mediterraneo, dove le piante devono comunque anche affrontare *stress* idrico. Rana e Bou Jaoudè dell’Istituto Sperimentale Agronomico (CRA) di Bari, nella presentazione “La ricerca sugli effetti dell’ozono su colture agrarie in ambiente mediterraneo” hanno riportato dati da uno studio effettuato su soia, sulle variazioni spazio-temporali delle concentrazioni di ozono durante l’estate, sull’impatto sulle colture – irrigue ed in *stress* idrico – monitorando lo stato idrico a livello della foglia e della pianta e seguendo l’accrescimento delle piante ed analizzando la resa e l’efficienza dell’uso dell’acqua a scala di campo. In particolare, i ricercatori hanno riportato risultati che mostrano alta variabilità di concentrazione di ozono, riduzione della conduttanza stomatica ad alti livelli dell’inquinante per la soia ben irrigata ed annullamento di questo effetto in condizioni idriche di *stress*, con un impatto evidente sulla produzione finale e conseguenze rimarchevoli sull’efficienza di uso dell’acqua a livello di campo.

Tagliaferro, Ferrara, Spaziani e Viotto, dell’Istituto per le Piante da Legno e l’Ambiente, di Torino, hanno presentato un contributo al convegno dal titolo “I sintomi *ozone-like* sulla vegetazione in Piemonte”, riportando dati da studi sul deperimento delle foreste condotti negli anni 1989-1997 e da due successivi progetti specifici sull’ozono, 1999-2001 (Interreg Italia-Francia) e 2002-2004 (programma MEDOCC). Le indagini hanno accertato l’esistenza di danni *ozone-like* su piante vicino alle città e in zone remote.



“Quali sono le evidenze degli effetti dell’ozono su boschi adulti ed in condizioni “reali”?” Questa la domanda alla quale Bussotti, dell’Università di Firenze, ha cercato di rispondere nel suo intervento, fornendo dati rilevati sulla rete di aree di osservazione permanente in bosco (Programma di monitoraggio intensivo CONECOFOR). Su queste aree da anni vengono misurate le concentrazioni di ozono ed indicatori di risposta della vegetazione, quali trasparenza della chioma, accrescimenti, sintomi fogliari. Nonostante che le concentrazioni misurate siano largamente superiori ai livelli critici UN/ECE, più che l’ozono sono i fattori stagionali a spiegare la maggior parte della variabilità delle condizioni dei boschi esaminati. L’ozono sembra agire come fattore di aggravamento sulla trasparenza della chioma, ma le sue relazioni con l’accrescimento e con i sintomi fogliari non sono risultate chiare. L’uso dei sintomi fogliari come evidenza dell’impatto dell’inquinante è dunque problematico. Molte manifestazioni sintomatiche sono ambigue, e risulta quindi impossibile trasferire automaticamente alle condizioni di campagna i risultati ottenuti in ambiente controllato.

Ma l’ozono induce fenomeni di *stress* acuto o cronico? Entrambi. Questo quanto osservato da Sebastiani, Di Baccio, Minnocci (Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa) e Tognetti (Università del Molise, Isernia), nel corso di esperienze su *stress* indotto sul pioppo da ozono e metalli pesanti, due degli inquinanti che destano maggiore preoccupazione attualmente (“L’ozono e i metalli pesanti: studio di alcuni meccanismi di risposta nel pioppo”). Sul pioppo, scelta quale specie modello, gli Autori hanno analizzato regolazione stomatica e fotosintetica, presenza di molecole antiossidanti, come il glutatione, ed indicatrici di *stress*, quali perossido d’idrogeno e monossido d’azoto. Condizioni di *stress* cronico, dovuto ad esposizione a concentrazioni relativamente basse per periodi prolungati, sembrano essere sempre più diffuse nei nostri agro-ecosistemi. Ridotti danni visibili, consistenti modificazioni a livello fisiologico e biochimico e perdita di vigore e riduzione della crescita sono le conseguenze di queste condizioni di *stress*. La risposta del pioppo a questo tipo di *stress* comprende i meccanismi sia della difesa antiossidante che quelli della risposta ipersensibile, attivando ed intensificando i relativi sistemi enzimatici e vie metaboliche di difesa, trasduzione del segnale e riparazione.

Colombo ed altri 15 Autori di varie Università ed Enti di ricerca (Università di Milano-Bicocca, Università di Pisa, Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia, Università di Milano, Istituto di Virologia Vegetale del CNR di Milano, Università di Firenze, Istituto di Biometeorologia del CNR di Bologna, Ente Regionale per i Servizi all’Agricoltura e alle Foreste della Regione Lombardia), hanno presentato recenti sviluppi nella “Identificazione di indicatori precoci del danno da ozono sulla vegetazione mediante tecniche radiometriche”, ottenuti da studi svolti nell’ambito del progetto INFOGESO sulla possibilità di detezione remota del danno da ozono sulla vegetazione nella fase pre-sintomatica, tramite misure spettroradiometriche a distanza e ad elevata risoluzio-



ne spettrale. Esperimenti in OTC ed in camere di fumigazione, misurando proprietà ottiche fogliari e di *canopy*, contenuto di pigmenti fotosintetici, fluorescenza attiva, assimilazione e conduttanza stomatica, hanno mostrato che i parametri biochimici e gli indici ottici tradizionali del telerilevamento (ad esempio, NDVI) non si prestano ad essere impiegati come indicatori precoci del danno da ozono. Tecniche innovative legate a processi fisiologici, quali attivazione di meccanismi di fotoprotezione e dissipazione dell'energia in eccesso attraverso la fluorescenza sono utili per identificare il danno prima della comparsa dei sintomi, ad esempio un indice ottico a banda stretta (PRI) legato al ciclo delle xantofille e la risposta in fluorescenza indotta dal sole sono risultati utili indicatori precoci.

I sei interventi proposti mostrano la vivacità e l'ampio spettro delle tematiche affrontate dalle ricerche effettuate sugli effetti dell'ozono sulla vegetazione in Italia, che è senza dubbio uno dei Paesi europei dove questa problematica è più sentita e studiata, a ragione se si considerano le alte concentrazioni raggiunte dall'ozono troposferico nella regione mediterranea e, appunto, in Italia in particolare. Il numero degli Autori dei contributi presentati, insieme alle loro affiliazioni accademiche, mostra chiaramente che i ricercatori italiani del settore collaborano, ed in maniera interdisciplinare. La grande partecipazione di pubblico, nonché la vivace discussione scaturita attorno ai sei interventi previsti dal programma durante la sessione, testimoniano il grande interesse esistente nel mondo della ricerca italiana per lo studio degli effetti dell'ozono sulla vegetazione.

Mi auguro che incontri di questo tipo divengano sempre più frequenti e che permettano un proficuo scambio di idee ed esperienze, oltre che fornire la possibilità per il lancio di nuove future collaborazioni.

Risk Assessment

Antonio Ballarin Dentì¹

Introduzione

Da un punto di vista metodologico, la procedura di valutazione di rischio (*risk assessment*) richiede anzitutto che venga ben definito il fattore di potenziale danno (il cosiddetto “pericolo” o *hazard*) e i suoi elementi bersaglio. Questi ultimi vanno valutati nella loro capacità di subire il danno (sensibilità o suscettibilità), assieme alle circostanze che possono amplificare o mitigare il danno stesso (fattori di vulnerabilità). La combinazione dei singoli fattori di pericolosità e i singoli elementi di sensibilità – pesati su specifici fattori di vulnerabilità – permette una stima complessiva del danno potenziale, cioè del rischio che un dato evento pericoloso (l’ozono), colpendo un dato bersaglio (una pianta), produca un certo danno quantificabile. Nel caso che stiamo discutendo, per venire al tema del presente convegno, il fattore di pericolo è rappresentato dall’ozono troposferico, la cui azione fitotossica è ben nota. I bersagli sono costituiti dalla vegetazione in termini generali e da singole specie o comunità di specie diverse o interi ecosistemi in casi particolari. Il problema è però complesso.

Partiamo dal fattore di pericolo, cioè l’ozono. È evidente che il vero fattore di pericolo è costituito dalla sua frazione che è in grado di interagire fisicamente (anzi biologicamente) con il suo bersaglio. E ben sappiamo come questo problema sia complicato dalle trasformazioni fisiche dell’ozono in atmosfera (fenomeni di produzione, distruzione e trasporto, visti anche da un punto di vista cinetico), dalle sue reazioni chimiche nelle diverse fasi che incontra (gassosa e liquida, fuori e dentro la cavità sottostomatica, e tra questa e l’ambiente dello spazio libero dell’apoplasto), dall’attività, dal trasporto e dalla compartimentazione cellulare dei radicali da esso generati.

L’ozono viene misurato in atmosfera come concentrazione (massa/volume o volume/volume) in una posizione spaziale (solitamente a 2 m dal suolo) che spesso non coincide o non è adeguatamente rappresentativa della collocazione del suo bersaglio. Inoltre, sappiamo che non è solo la concentrazione di un agente tossico che determina il potenziale pericolo, ma il tempo lungo il quale il bersaglio ne viene esposto. Infatti, mentre la primitiva legislazione, basata sulle misure di sola concentrazione in atmosfera (la direttiva 92/72), fissava per la protezione della vegetazione due soli valori, rispettivamente di azio-

1. Dipartimento di Matematica e Fisica - Università Cattolica, Via Musei 41 - 25121 Brescia -
a.ballarindenti@dmf.unicatt.it



ne acuta o cronica, la normativa successiva (direttiva 2002/03), introdotta dopo un decennio di dibattito scientifico e politico, sostituiva le concentrazioni con un indicatore di esposizione (cioè con valori di concentrazione cumulati nel tempo), a sua volta “pesato” tramite fattori che tenessero conto delle barriere fisiche all’esposizione (impiegando come indicatore *proxy* dell’apertura stomatica l’intensità di radiazione solare), dell’estensione temporale della fasi vegetative suscettibili di esposizione (il semestre aprile-settembre per la vegetazione forestale, il trimestre maggio-luglio per le colture erbacee) e di un ragionevole effetto soglia (stabilendo cioè un valore di concentrazione sotto il quale l’azione dell’ozono viene efficacemente neutralizzata dalle difese fisiologiche del bersaglio).

Sempre fermandoci sul primo aspetto dell’analisi di rischio (il fattore di pericolosità rappresentato dall’ozono), ci si è presto resi conto che anche un indicatore più accurato di esposizione come la AOT40 presentava notevoli caratteri di incertezza, dato che i tre elementi ponderali dell’integrale temporale delle concentrazioni (la soglia di 40 ppb, le ore di presunta apertura stomatica e il periodo della fase vegetativa) erano a loro volta dipendenti da molti fattori difficilmente generalizzabili. Più precisamente la soglia è determinata geneticamente ed è quindi specie-specifica (anzi clone-specifica) e non è variabile indipendente rispetto agli altri fattori in gioco; l’apertura stomatica dipende non solo dall’insolazione, ma da parametri fisici e ambientali quali, ad esempio, temperatura, potenziale dell’acqua nel suolo, pressione di vapore d’acqua in atmosfera) e la stagione vegetativa va ovviamente calcolata specie per specie, in funzione della climatologia.

Dalla concentrazione alla dose

Da quanto detto, non è l’esposizione esterna in sé che permette di calcolare, attraverso relazioni pressione-risposta, il livello di rischio, ma la dose di ozono realmente assorbita dalla pianta. Dose in sé difficilissima da calcolare (a causa dei fattori fisici, chimici e biochimici relativi all’ozono prima ricordati), ma approssimabile ragionevolmente dalla misura del flusso netto entrante nella apertura stomatica. Qui si aprono a loro volta due strade (non necessariamente disgiunte):

- valutare questi flussi a livello sinottico o di singola *canopy* attraverso opportuni modelli matematici che tengano conto da un lato delle concentrazioni (in quota o al suolo) dell’inquinante (con misure dirette o tramite modelli fotochimici di formazione dell’ozono a partire dai suoi precursori) e dall’altro dei fattori ambientali in grado di influenzare la conduttanza stomatica;
- misurare con tecniche di carattere micrometeorologico i flussi netti dei ozono direttamente sulla singola *canopy*, ripartendo poi i flussi totali misurati nella loro componente stomatica (quella utile ai fini della stima della dose efficace) ed extrastomatica (attraverso opportuni modelli tipo *big-leaf*).

Ovviamente, ai fini di analisi di *risk assesment* a livello territoriale (per valutare, ad esempio, il danno economico su colture o quello biologico su foreste), l’approccio non



potrà che essere del primo tipo (cioè con flussi modellizzati), impiegando, tuttavia, le misure dirette di flussi come elemento fondamentale di calibrazione e validazione del modello e di calcolo dei valori di conduttanza stomatica specie per specie.

Torniamo alla filosofia generale di analisi del rischio. A questo punto dovremmo valutare la natura dei bersagli, la loro sensibilità e i fattori di influenza delle condizioni di vulnerabilità. Il problema principale che sta di fronte al *policy-maker* che deve definire una normativa in materia di protezione della vegetazione dall'ozono è una situazione molto più complessa di quella "parallela" che riguarda la tutela della salute umana.

L'uomo (per fortuna nostra e del legislatore) è una sola specie biologica; anzi è una "varietà" (per usare un termine botanico) particolare della specie *Homo sapiens*: noi siamo infatti *Homo sapiens* cv. *sapiens* (non siamo neandertaliani, tanto per intenderci). Ciò significa che abbiamo un grado di omogeneità genetica fortissima (con buona pace di ogni tesi stupidamente razzista). Non solo, anche la nostra fisiologia, ai fini del calcolo dell'esposizione, è molto semplice. Sappiamo con precisione quanto e come respiriamo in funzione del nostro metabolismo ed è semplice caratterizzare fisicamente gli ambienti in cui viviamo. Le relazioni tossicologiche dose-risposta sono relativamente facili da ottenere e, a posteriori, possiamo basarci su una epidemiologia estesa e consolidata. Se ne deduce che, se il legislatore non riesce proprio a migliorare il nostro livello di rischio verso l'esposizione agli inquinanti atmosferici, non è per difficoltà scientifiche, ma solo per cattiva volontà politica.

Molte sono invece le attenuanti che possiamo concedere al nostro *policy-maker* nel settore della protezione della vegetazione (anche se un conto sono le attenuanti, un conto le negligenze). Enormi sono in questo caso le differenze filogenetiche, grandi i cambiamenti ontogenetici, tanti i fattori di natura ambientale, nutrizionale, climatica, colturale che influenzano la suscettibilità e quindi la risposta di una pianta ad una data esposizione di inquinante. Poi, spesso non sappiamo neanche quali parametri di risposta vogliamo considerare. Per le colture agrarie già ci sono varie opzioni (biomassa epigea, semi, foglie, ecc.) in funzione delle *performance* economiche che ci aspettiamo dalla produzione vegetale. Per le foreste il problema si complica ulteriormente, tirando in ballo fattori genetici, estetici ed ecologici. Per la vegetazione semi-naturale giocano un ruolo importante anche gli indicatori di biodiversità.

Fattori di ponderazione

Si impone a questo punto una importante osservazione. Tornando al discorso iniziale sui fattori di peso che permettono di stimare il valore complessivo dell'*hazard* (l'ozono) e della vulnerabilità del bersaglio (la pianta), ora notiamo che possiamo attribuire alcuni fattori in gioco ad ambedue i fronti. Per esempio, consideriamo il contenuto idrico del suolo. Si tratta di un fattore che agisce sulla conduttanza stomatica e quindi sul flusso stomatico di ozono e al tempo stesso può essere considerato un regolatore della difesa

passiva della pianta. Può essere ascritto, pertanto, tra i modulatori sia del pericolo che della suscettibilità del bersaglio. Se, quindi, introduciamo questo elemento negli algoritmi che calcolano il valore totale del pericolo e della vulnerabilità, stiamo attenti che non si tratta di due variabili indipendenti. Tuttavia questo esempio ci aiuta a capire la filosofia prima delineata del *risk assessment* tramite la combinazione di pressioni e vulnerabilità. Il contenuto d'acqua del suolo può, infatti, dipendere da un lato da eventi meteorologici naturali (precipitazioni), dall'altro è funzione della gestione agronomica (l'irrigazione) di una coltura. Nel primo dei casi agisce sul pericolo, nel secondo sulla amplificazione della vulnerabilità e rientra tra le misure attive che possiamo assumere per la mitigazione del rischio (o per una politica di adattamento).

Conclusa questa piccola introduzione ai temi delle presentazioni con un richiamo al fatto che, basandoci come abbiamo fatto su indicatori deterministici applicati però a situazioni virtuali, abbiamo deliberatamente evitato un approccio probabilistico basato su analisi di eventi reali al problema della valutazione finale del rischio. Il nostro risultato sarà, pertanto, quello di avere una stima del danno potenziale, non di una probabilità di accadimento di danno reale. Certamente, qualora possedessimo delle solide relazioni dose-risposta per alcuni parametri biologici o agronomici e fossimo sicuri della nostra stima delle dosi reali, potremmo pervenire a stime quantitative di danno (potenziale) molto utili al decisore politico per impostare politiche di prevenzione/mitigazione/adattamento.

Siamo ancora un po' lontani. Ma lo siamo tutti davvero, in tutta la comunità scientifica internazionale. La strada da seguire però è obbligata e in qualche modo già segnata: dobbiamo andare avanti.

Le presentazioni

Di tutti i possibili argomenti introdotti nelle osservazioni iniziali, solo alcuni hanno ovviamente trovato spazio nei lavori presentati dai partecipanti. Nulla di strano: se fossimo riusciti ad affrontarli tutti in modo organico e con successo avremmo avuto bisogno di varie settimane di convegno e avremmo potuto proporre uno *special issue* a *Nature* o *Science*! Detto questo, ci sono elementi molto interessanti nelle presentazioni e dei *poster* che desidero in breve ricordare, commentandoli sulla base dei fattori prima discussi in sede di definizione di *risk assessment*.

Determinazione e validazione dell'indicatore AOT40 e sua relazione con i flussi cumulati: ruolo dei fattori di controllo dell'esposizione

Ferretti, Gerosa e Vitale (citerò nel seguito solo il primo nome di ogni contributo) in due presentazioni e due *poster* affrontano il primo dei nodi di cui prima parlavamo: come ottenere valori di esposizione che riflettano al meglio le dosi efficaci di inquinante.

Ferretti (TerraData environmetrics, Siena) discute i limiti e le divergenze dell'approccio modellistico di deposizione dell'ozono su scala sinottica (modelli EMEP e RAINS)



quando si deve affrontare il caso di sistemi vegetali localizzati (caso dei *plots* forestali). In questi casi di aree remote e/o montane non sono disponibili dati diretti dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria e sono spesso impossibili interpolazioni statistiche a partire solo da questi ultimi. Sfruttando però misure da siti di II livello (magari con l'impiego di semplici campionatori diffusivi) e integrandole con quelle delle reti *standard*, sono possibili, tramite opportune procedure geostatistiche, mappature di AOT40 in significativi domini territoriali. Questo approccio al calcolo della AOT40 in aree remote anche mediante campionatori passivi è stato sfruttato con successo nell'ambito del progetto regionale INFOGESO, promosso da ERSAF Lombardia e presentato in un *poster* da Tagliaferri, coordinatore del progetto.

Gerosa (Università Cattolica di Brescia) affronta il problema del rapporto tra indici di esposizione tipo AOT40 e flussi stomatici di ozono in ambiente controllato (OTC), impiegando due specie forestali (faggio e quercia) e utilizzando due condizioni di disponibilità idrica del suolo (più o meno irrigazione). I flussi vengono calcolati con un modello jarvisiano di correzione delle AOT40 con funzioni *drivers* della conduttanza stomatica. La parametrizzazione che si ottiene della conduttanza appare affidabile e permette di individuare livelli critici di dose in funzione della comparsa di danni fogliari visibili in faggio. Le condizioni di *stress* idrico ritardano la comparsa dei sintomi e in questo caso l'approccio basato sul calcolo dei flussi di ozono si rivela più affidabile dell'impiego della AOT40. In un'altra ricerca presentata in un *poster*, Gerosa applica la tecnica micrometeorologica della correlazione turbolenta per la misura diretta dei flussi stomatici (attraverso un modello di partizione) in una specie foraggera (erba medica) con parallele misure dei flussi di carbonio. I flussi cumulati vengono poi correlati ad alcuni indicatori di risposta che comprendono anche parametri nutrizionali, quali il contenuto in fibra e in proteine del foraggio. Il risultato interessante è che benché dosi elevate di ozono riducano la produzione di biomassa totale, viene migliorata la qualità nutrizionale del foraggio (minor contenuto in fibre grezze e maggior contenuto proteico).

Vitale (Università La Sapienza di Roma) affronta tre fattori chiave che regolano la vulnerabilità, ad una data esposizione di ozono, di una importante specie forestale (*Quercus ilex*) e precisamente il contenuto idrico del suolo, quale indicatore della conduttanza stomatica, la presenza in atmosfera di monoterpeni di origine biogenica, che alcuni precedenti lavori avevano indicato come agenti protettivi verso lo *stress* ossidativo, e l'azione dello stesso ozono sull'apertura stomatica, analizzando il comportamento degli stomi in periodo notturno seguente una elevata esposizione diurna. Viene confermata l'influenza della disponibilità idrica sulla risposta all'ozono e si evidenzia un ruolo protettivo dei monoterpeni sull'assimilazione del carbonio, ruolo che viene attenuato tuttavia dallo *stress* idrico. Un dato interessante e in qualche modo divergente rispetto ad interpretazioni tradizionali è che l'esposizione diurna all'ozono incrementa la conduttanza stomatica notturna, aggravando quindi la vulnerabilità del bersaglio.



La protezione verso lo *stress* ossidativo da ozono fornita da monoterpeni presenti in atmosfera è anche al centro di una comunicazione di Fares del CNR di Roma. Gli isoprenoidi possono, infatti, essere emessi dalla pianta proprio in risposta allo *stress*, con il risultato di abbassare la concentrazione atmosferica di ozono nell'intorno della pianta in virtù del loro potere antiossidante. La ricerca è stata condotta su *Q. ilex* (emettitore di monoterpeni) e *Populus nigra* (emettitore di isoprene), impiegando camere climatiche dove veniva misurato l'inquinante in ingresso e in uscita. L'isoprene si è rivelato ininfluente nel rimuovere ozono, mentre l'azione esercitata dai monoterpeni (che hanno probabilmente rimosso l'ozono in fase gassosa al di fuori della foglia e nelle cavità sottostomatiche) è stata rilevante e si è esplicata indipendentemente dal grado di apertura stomatica.

Markers biochimici e biomonitoraggio per la valutazione del danno biologico

Ranieri (Università di Pisa) riassume nella sua presentazione una robusta serie di risultati ottenuti dal suo gruppo negli ultimi anni in merito alle risposte a livello biochimico e metabolico di organismi vegetali ad esposizioni acute e croniche di ozono. In particolare, vengono richiamati gli effetti sulla struttura e funzionalità del sistema fotosintetico, la risposta dei sistemi biochimici antiossidanti a livello citoplasmatico e di apoplasto, la produzione di messaggeri molecolari e i *feedback* sul metabolismo secondario. Le tecniche impiegate sono state basate sia su camere di fumigazione passiva (*open-top chambers*) che su camere di fumigazione attiva (fitotroni) e *chamberless systems*, permettendo di caratterizzare meccanismi di danno e strategie di difesa.

Castagna (Università di Pisa) sottolinea nella sua comunicazione il ruolo di *biomarkers* le cui variazioni siano correlabili a cambiamenti giornalieri e stagionali della qualità dell'aria. Vengono illustrati i risultati ottenuti in uno studio, condotto con la collaborazione di ARPAT di Grosseto, mirato a verificare se le variazioni indotte nel contenuto e nei *pattern* dei pigmenti fotosintetici e nell'attività di alcuni sistemi enzimatici detossificanti, potessero essere considerate utili *biomarker* per rilevare alterazioni metaboliche precoci indotte dalla presenza di inquinanti atmosferici (*early warning*). Si sono impiegati allo scopo aghi di *Pinus pinea* prelevati in diversi momenti della giornata in prossimità di analizzatori continui di ozono collocati nelle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. Si è osservata una buona correlazione tra i profili di concentrazioni di ozono e i *pattern* elettroforetici di alcune perossidasi fogliari e una analoga relazione positiva tra l'andamento dell'ozono e l'attivazione del ciclo fotoprotettivo delle xantofille, mentre altri pigmenti non sono risultati correlabili alla presenza dell'inquinante.

Il problema della scelta di opportuni bioindicatori sono alla base dei protocolli di programmi di monitoraggio e valutazione del danno da ozono sulla vegetazione promossi in sedi internazionali. Manes (Università La Sapienza di Roma), responsabile per l'Italia del programma UNECE *ICP Vegetation*, riporta risultati ottenuti utilizzando il clone



sensibile di *Trifolium repens*, posto in siti a differente inquinamento da ozono, e giovani individui di *Centaurea jacea*. Le piante sono state periodicamente sottoposte alla valutazione del danno fogliare visibile e alla misurazione della biomassa epigea. I livelli di concentrazione nei periodi di esposizione all'inquinante hanno causato il superamento in quasi tutti i mesi dei livelli critici per l'ozono relativi alle colture agrarie. Sono state osservate riduzioni di biomassa fino all'88%, dovuta ad una diminuzione della capacità di fissazione del carbonio. Non tutti i siti hanno mostrato sensibili riduzioni di biomassa.

Una analisi neurale su dati pregressi (1997-2003) del clone sensibile di *T. repens*, ha mostrato relazioni non lineari del danno fogliare con la variazione del flusso di ozono e della temperatura, mentre non è stato possibile evidenziare una chiara relazione con l'indice AOT40.

Le tecniche di biomonitoraggio che impiegano piantine di specie sensibili all'ozono assumono una particolare rilevanza educativa nell'ambito dell'insegnamento delle scienze anche nei cicli formativi della scuola dell'obbligo e di quella secondaria superiore. Nali (Università di Pisa) ha presentato in un *poster* un interessante progetto di educazione scientifica sviluppato nella città di Livorno, attivando sette scuole in una campagna di monitoraggio della qualità dell'aria impiegando piantine di una varietà di tabacco (Bel-W3) particolarmente sensibile all'ozono. I dati raccolti riguardanti i sintomi sono stati calibrati con i valori di concentrazione di ozono ricavati da analizzatori automatici delle locale rete di rilevamento e mappati con tecniche geostatistiche.

La valutazione del danno economico da ozono in colture agrarie

Le stime derivanti dall'utilizzo di modelli a scala internazionale (es. EMEP) basati su dati di emissione di precursori, indicano concentrazioni di ozono in Italia e nell'intero bacino del Mediterraneo, tali da comportare un drastico calo della produzione agricola e, di conseguenza, notevoli danni economici nel settore agricolo di questi Paesi. D'altra parte, modelli nazionali di previsione delle concentrazioni sulla base delle emissioni (RAINS-Italy) hanno suggerito che i valori mappati dall'EMEP possano essere drasticamente sovrastimati. De Marco (ENEA, Roma) presenta un tentativo di verifica di questa situazione di rischio partendo dai dati registrati dalle stazioni di controllo della qualità dell'aria, pur nella consapevolezza della scarsa rappresentatività della localizzazione delle centraline. Si è scelta un'area territoriale dell'Italia centrale e i dati sono stati spazializzati tramite tecniche geostatistiche con l'utilizzo di variabili correlate con le concentrazioni di ozono. I dati relativi alle produzioni agricole, attinti dall'Istituto Nazionale per la Cerealicoltura, sono relativi ad un gruppo di *cultivar* di grano duro che avevano rese omogenee nel periodo considerato. La spazializzazione in questo caso è stata effettuata con diversi tipi di metodologie e le mappe così ottenute sono state confrontate e sovrapposte. Infine, allo scopo di stimare la quantità di ozono che poteva influenzare la produzione agricola, sono state anche elaborate mappe di flussi di ozono nel grano.

Attività future

Maurizio Badiani¹

Introduzione

La quarta sessione della giornata è stata dedicata all'esame delle possibili prospettive di ricerca che si offrono nel breve/medio termine alla comunità scientifica della quale RIO₃-VEG ambisce a diventare un possibile *forum* di incontro, scambio di esperienze, sintesi di conoscenze e propulsione di nuove iniziative. Nell'imminenza del bando relativo al 7° Programma Quadro dell'Unione Europea (FP-7), ampio spazio viene dedicato nelle comunicazioni di questa sessione all'esame delle possibilità di ricerca offerte alla tematica ozono e vegetazione, all'individuazione di *gap* di conoscenza di portata generale che potrebbero formare l'oggetto di iniziative comuni a livello europeo, nonché all'illustrazione dell'attività preliminare di ricognizione delle competenze ed elaborazione di proposte avviata da un gruppo di studiosi italiani, tra i quali i promotori di RIO₃-VEG.

Le presentazioni

Nella comunicazione che apre la sessione, Ferretti (TerraData environmetrics, Siena) rileva che nel nostro Paese mancano tuttora, nella sostanza e come conseguenza della frammentazione della ricerca e suo "scollamento" dalle attività di monitoraggio, sia una quantificazione affidabile dell'estensione e gravità degli effetti dell'ozono sulle foreste, sia la possibilità di predire in modo attendibile la possibile evoluzione di tali effetti nello spazio e nel tempo. I metodi più frequentemente impiegati in Italia per la ricerca sulle risposte delle piante forestali all'ozono hanno incluso sia l'esposizione delle stesse a dosi prestabilite di inquinante [impianti sperimentali a cielo aperto (OTC), camere di fumigazione, *branch enclosures*, e perfino, in un futuro che potrebbe essere prossimo, sistemi di fumigazione in pien'aria, FAs], sia l'esposizione alla libera fluttuazione giornaliera, stagionale ed interannuale della pressione parziale di ozono in condizioni di campagna (*flux towers*, siti *ad hoc*).

L'attività di monitoraggio è stata prevalentemente realizzata, peraltro, mediante indagini su base probabilistica (non ancora equipaggiate per osservazioni sugli effetti dell'ozono) ed indagini sulla base di casi di studio. L'approccio modellistico ha avuto per

1. Dipartimento di Biotecnologie per il Monitoraggio Agro-alimentare ed Ambientale - Università Mediterranea della Calabria, Loc. Feo di Vito - 89129 Reggio Calabria - mbadiani@unirc.it

oggetto livelli di inquinante, flussi stomatici e non-stomatici, accrescimenti, relazioni idriche, ecc. A causa delle frequenti ampie differenze in termini di materiale vegetale impiegato, condizioni e livelli di esposizione all'ozono, compresenza di altri fattori di *stress*, scala spazio-temporale ed ecologica considerata e in particolare indicatori di risposta adottati, ricerca e monitoraggio non riescono a "dialogare" adeguatamente, rileva Ferretti, e ciò compromette in ultima analisi sia la capacità di *surveying* che l'attendibilità predittiva.

Disporsi a superare questo limite significa innanzitutto concentrare la ricerca sull'individuazione di indicatori di effetti sufficientemente specifici e pratici da poter essere utilizzati efficacemente in campo per l'attività di monitoraggio. Inoltre, per poter quantificare lo stato (estensione e gravità degli effetti) ed i cambiamenti in corso, è necessario arrivare a disporre di relazioni dose-risposta "estrapolabili" al di fuori degli esperimenti, in combinazione con un'attività di monitoraggio basata sull'osservazione e l'inferenza su base statistica della risposta e dello *stressor*, con una modellistica dedicata all'osservazione ed estrapolazione su base di algoritmi non necessariamente legati al disegno statistico. Prevedere i cambiamenti in atto significa, inoltre, concentrarsi sulla comprensione dei meccanismi e delle reazioni, puntare sulla migliore modellistica e monitorare l'effettiva risposta al fine di validare i modelli. Introdurre, quindi, deliberatamente una connessione tra esperimenti controllati e manipolativi, studi intensivi di processo/ciclo ed attività di monitoraggio vuol dire assicurarsi che esperimenti ed inventario degli effetti studino oggettivamente gli stessi agenti di *stress*, su popolazioni comparabili di piante, adottando un *set* minimo di indicatori di risposta comuni. Utilizzando materiale vegetale rappresentativo delle condizioni di campo, i risultati degli esperimenti potrebbero essere sottoposti a verifica nell'ambito degli studi intensivi. Su questa base, diventerebbe possibile produrre stime degli effetti attesi su basi statistiche solide.

In sintesi, per ottenere informazioni quantitative sull'impatto dell'ozono è necessario sviluppare un concetto che integri le tradizionali attività di ricerca e di monitoraggio, che sia ispirato da coerenza interna, rappresentatività ecologica e statistica e che consideri pienamente le diverse scale spaziali, temporali ed ecologiche coinvolte. In questa visione, esperimenti, siti di monitoraggio intensivo, indagini di natura probabilistica (da base terrestre e - in futuro - remota) e modellistica sono concepiti come parti di un sistema che consente dialogo tra dati "coerenti". Competenze, esperienza, infrastrutture esistenti ed il dialogo portato avanti negli ultimi anni renderebbero possibile un programma cooperativo di carattere nazionale sul tema "ozono e vegetazione", conclude Ferretti. Un'iniziativa del genere potrebbe fornire elementi per rispondere alle questioni di interesse, portare valore aggiunto al lavoro di ciascuno, dare maggior rilevanza alle istanze della comunità scientifica italiana in sede nazionale ed internazionale e - in prospettiva - creare un forte soggetto *partner* per ogni progetto a scala europea e globale.



Nel suo contributo, presentato anche a nome di Paoletti e Fagnano, Cieslik (JRC, Ispra) inizia col porre l'accento sulla opportunità, ai fini di una corretta e attendibile valutazione degli effetti sulla vegetazione, di sostituire gli indici di accumulo basati sull'esposizione all'ozono (AOT40) con quelli basati sul flusso effettivo. Anche se il primo approccio ha assunto valore istituzionale a livello europeo, spingere verso la progressiva adozione di un approccio basato sui flussi significa innanzitutto adoperarsi affinché la Commissione Europea finanzi adeguatamente la ricerca in tal senso. A questo scopo, riferisce Cieslik, nel Febbraio 2006 il JRC ha organizzato un incontro tra i ricercatori europei del settore, durante il quale è emersa la necessità di definire un nuovo approccio per valutare il rischio da ozono per la vegetazione, basato sul flusso di inquinante fisiologicamente efficace e sullo studio delle relazioni tra flussi ed effetti. In questo contesto, inoltre, è stata ribadita la preminenza scientifica dell'Europa, dal momento che sia in nord-America che nell'Asia orientale la valutazione del rischio "ozono" per gli ecosistemi fa ancora riferimento a metodi prevalentemente statistici, basati sulla pressione parziale dell'inquinante in aria. Nel contesto scientifico europeo, viceversa, le collaborazioni già in essere tra chimici dell'atmosfera e fitopatologi potrebbero consentire di stabilire relazioni di adeguata affidabilità tra flussi di inquinanti aerodispersi ed effetti sulle piante, attraverso la combinazione di metodi micrometeorologici e metodi di fumigazione in pien'aria (OTC, FAs). Nell'incontro di Ispra è stato inoltre stabilito di preparare tre proposte pan-europee (foreste, piante agrarie e comunità semi-naturale) da presentare in ambito FP-7 e di creare un *Group of Excellence* sull'argomento. I titoli provvisori che sono stati proposti nella riunione di Ispra vengono di seguito elencati:

1. *To establish ozone flux-effect relationships under natural conditions for forests* (FOROZ, oppure PanEurOz); contatto: R. Matyssek;
2. *To establish ozone flux-effect relationships under natural conditions for semi-natural vegetation* (SEMINATOZ); contatti: N. Cape, S. Bassin;
3. *To establish and validate ozone flux - effect relationships for crop systems under field conditions* (CROPOZ); contatti: M. Fagnano, K. Vandermeiren, G. Mills.

Per seguire e promuovere l'ulteriore elaborazione delle proposte progettuali è stato selezionato ad Ispra uno *Steering Group*, che si è successivamente riunito nel Maggio 2006 a Tervuren (Belgio) e nel Settembre dello stesso anno a Riverside, California, in margine ai lavori del Convegno IUFRO, occasione nella quale è stato redatto un *Panel Document* da trasmettere ai delegati nazionali che partecipano all'elaborazione dei contenuti di FP-7. Una costante e convinta azione di *lobbying*, infatti, da condurre sia sui delegati nazionali che sui responsabili della DG Ricerca a Bruxelles, potrebbe rivelarsi determinante per il successo dell'iniziativa, dal momento che la tematica "ozono troposferico" è assente dalla stesura iniziale di FP-7.

Nell'ultima comunicazione della sessione, presentata da Fagnano (Università Federi-

co II di Napoli), in collaborazione con Maggio, Rana, Vitale e Gerosa, viene presentata in modo schematico la possibile struttura di un progetto finalizzato a valutare gli effetti dell'inquinamento da ozono sulle colture agrarie in combinazione con gli effetti dei cambiamenti climatici in corso (titolo originale: *Effects of ozone pollution on crops in current and changing climatic conditions*). La struttura proposta, articolata in *working packages* (WP) e *tasks* (T), potrebbe costituire la configurazione base sia per un contributo italiano in ambito CROPOZ/FP-7 (vedi sopra), sia per un progetto su scala nazionale da sottoporre ad Enti finanziatori su base nazionale e/o territoriale.

L'assunto di partenza è che già nelle condizioni attuali le caratteristiche pedoclimatiche dell'area mediterranea sottopongono le colture agrarie (anche quelle irrigate) a differenti tipi di *stress* (idrico e salino) che determinano sia riduzione dei potenziali totali dell'acqua nel suolo e nella pianta, con conseguente riduzione della conduttanza stomatica, sia risposte di difesa di tipo antiossidante nei tessuti vegetali. Questi due fattori possono chiaramente interferire sia con i flussi di ozono alla vegetazione coltivata, sia alterarne la risposta a livello fisiometabolico. Gli scenari previsti per i cambiamenti climatici (aumento delle temperature e variabilità climatica) indicano in prospettiva un aggravamento delle condizioni di *stress* per la vegetazione. Diventa, quindi, indispensabile studiare la risposta all'ozono delle colture agrarie più diffuse in condizioni ambientali che siano realisticamente predittive non solo in termini di disponibilità idriche e qualità dell'acqua (salinità), ma anche per quanto riguarda le interazioni con altri inquinanti (anidride carbonica, ossidi d'azoto) e la disponibilità di nutrienti. Per aumentare la realistica della simulazione sperimentale, e quindi il suo potere predittivo, è inoltre necessario utilizzare sistemi colturali ordinari (in termini di rotazioni, periodo, tecniche agronomiche) ed adottare la scala di pieno campo.

La struttura generale del progetto in corso di elaborazione prevede un primo livello di studio dei problemi fisiologici e metabolici a scala di foglia, seguito dall'*up-scaling* a livello di pieno campo. L'analisi dose/risposta a scala di campo verrà integrata da simulazioni per i cambiamenti climatici. Un distinto livello di studio verrà dedicato alle analisi socio-economiche attuali e di scenario a scala territoriale. Le misure che dovrebbero costituire l'*input* di ciascuno dei livelli precedenti riguarderanno le risposte biochimiche, fisiologiche e agronomiche per pianta e coltura, le interazioni con altri *stress* (idrico, salino, termico, altri inquinanti) e le relazioni dose-danno per colture europee in sistemi colturali tipici delle differenti regioni.

Riassunti delle comunicazioni orali

SESSIONE I

Dinamiche spazio-temporali dell'ozono e misure in aree remote



Studio dell'ozono troposferico in area urbana (Roma) e in area protetta (Tenuta Presidenziale di Castelporziano)

P. Avino¹, M. Manigrasso¹

Nell'ambito delle attività di ricerca del Laboratorio Chimico dell'Aria dell'ISPESL, da vari anni sono condotti programmi di ricerca in collaborazione con varie Università (in particolare quella del Molise, con il gruppo di ricerca di Chimica analitica del Prof. Russo) e/o Istituti di ricerca (CNR, ENEA, ISS, ecc.), dedicati allo studio della qualità dell'aria in relazione ai comportamenti degli inquinanti atmosferici gassosi e particellari ed alle condizioni meteorologiche. Uno degli argomenti fondamentali è la valutazione di un inquinante particolare quale l'ozono, riguardo i livelli, l'andamento e le relative reazioni a cui esso partecipa. Il progetto, che è tuttora in atto, riguarda il comportamento di questa specie in area sia urbana che industriale, la valutazione dei suoi precursori (anche alla luce del D.L. 183/04) e le implicazioni negli episodi di *smog* fotochimico. D'altro canto, lo stesso laboratorio ha condotto una intensiva campagna di monitoraggio e studio nell'arco delle quattro stagioni nell'area protetta della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, assimilabile ad un luogo remoto. Nelle varie campagne eseguite, oltre allo stesso ozono, sono stati determinati anche i livelli di altri inquinanti gassosi - quali ossidi di azoto, biossido di zolfo, monossido di carbonio, benzene, toluene, xileni, idrocarburi policiclici aromatici totali, formaldeide e acido nitroso - e particellari (PM₁₀ ad esempio), in relazione alle condizioni di stabilità/instabilità dell'atmosfera. I livelli di ozono sono stati valutati anche alla luce dei relativi valori nella città di Roma nello stesso periodo (flussi emissivi e contributo antropogenico) e correlati ai limiti di esposizione umana e della vegetazione, così come individuato dalla normativa vigente.

1. Laboratorio Chimico dell'Aria, DIPIA - Istituto Superiore per la Sicurezza e la Prevenzione del Lavoro (ISPESL), Roma

E-mail: pasquale.avino@uniroma1.it



Stima dei valori di AOT40 nelle stagioni vegetative 2005 e 2006 sul territorio lombardo

M. Mangoni¹, A. Buffoni¹, A. Tagliaferri¹

Nell'ambito del progetto INFOGESO, "Influenza dell'ozono sulla gestione sostenibile del sistema agricolo e forestale lombardo", sono state realizzate, nel corso del 2005, misure di concentrazione media settimanale di O₃ lungo profili altitudinali individuati in aree montane lombarde mediante l'impiego di campionatori passivi. I dati di concentrazione sono stati successivamente trasformati in valori di esposizione (AOT40) tramite una funzione di distribuzione delle concentrazioni orarie dipendente dal tempo e dalla quota. A questi valori è stato, quindi, applicato un fattore di correzione, derivato dalle misure in campo. Tale approccio è stato, inoltre, verificato per lo stesso anno presso la stazione di misura in continuo del CCR di Ispra (VA). L'elaborazione dei dati raccolti fornisce un quadro di ampie eccedenze del valore bersaglio previsto della normativa, in modo particolare nelle aree montane. Nel corso del 2006, nell'ambito dello stesso progetto, le misure sono state estese a 25 punti di misura distribuiti su tutto il territorio lombardo. L'individuazione dei siti è avvenuta sulla base di una procedura di stratificazione in funzione di alcuni parametri territoriali. La determinazione delle concentrazioni di O₃ è stata limitata a tre settimane del mese di luglio ed ha consentito di sviluppare una rappresentazione della distribuzione dell'O₃ sul territorio regionale, evidenziando, quindi, il potenziale *output* di una rete stabile di monitoraggio di questo inquinante in aree extraurbane.

1. Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano
E-mail: monica.mangoni@fastwebnet.it



Venti anni di biomonitoraggio dell'ozono troposferico

C. Nali¹

In tutta Europa, e in particolare nel bacino Mediterraneo, si assiste all'aumento della concentrazione di ozono a livello troposferico. In questo lavoro, sono riportati alcuni esempi di biomonitoraggio in Italia attraverso l'utilizzo di piante indicatrici, come il tabacco supersensibile cv. Bel-W3. Vengono, inoltre, discusse alcune limitazioni di questo sistema, legate ad esempio alla qualità dei dati, e la possibilità di utilizzare *kit* miniaturizzati rispetto alle piante adulte, sottolineando la necessità di disporre di protocolli standardizzati a livello internazionale (dalle fasi di semina alla raccolta finale dei dati, per non parlare della uniformità del germoplasma), al fine di dare una valenza consolidata a queste tecniche. Nella relazione viene anche discusso l'aspetto educativo che il biomonitoraggio riveste nei confronti degli studenti. All'interno dei programmi Europei per la valutazione dei danni indotti da ozono sulla vegetazione spontanea e non, vengono comunemente utilizzati due cloni (NC-S e NC-R, rispettivamente sensibile e resistente) di *Trifolium repens*, come indicatori della riduzione della biomassa in seguito ad esposizione all'inquinante. Recentemente, ad essi ne sono stati affiancati altri, come la *Centaurea jacea*, una pianta-modello da utilizzare nella valutazione delle risposte sintomatiche di piante autoctone a questo contaminante atmosferico.

1. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi" - Università di Pisa
E-mail: cristina.nali@agr.unipi.it

Integrazione di reti di monitoraggio per la stima dei livelli di ozono a scala sub-regionale. L'esempio di Firenze

S. Andrei¹, D. Grechi², F. Lazzaroni³, A. Lupi², A. Nenti⁴, D. Rocchini⁵, M. Ferretti⁵

La direttiva 2002/3/CE affronta la valutazione del rischio causato dall'ozono sulla salute umana e sulla vegetazione e si prefigge di "ottenere adeguate informazioni sui livelli di ozono nell'aria e metterle a disposizione della popolazione". La direttiva si riferisce, poi, a "informazioni provenienti da tecniche di modellizzazione o misurazioni indicative" per aggiustare il numero delle stazioni di misura. Nel periodo 2000-2004, la Provincia di Firenze ha portato avanti un programma di monitoraggio basato sull'integrazione dell'esistente rete chimico-fisica (RCF) con una rete di monitoraggio biologico (RMB). Quest'ultima era costituita da 45 stazioni equipaggiate con il bioindicatore *Nicotiana tabacum* cv. Bel-W3, dislocate secondo un disegno di campionamento sistematico a pannelli ruotati, aumentate di stazioni "off-network" per la calibrazione (5) e la validazione (5). I risultati ottenuti includono stime "model-based" delle concentrazioni medie di ozono e di AOT40. Il confronto "cieco" con la serie di validazione non evidenzia differenze significative tra stime e misure. I dati così ricavati sono adesso utilizzati in un nuovo progetto per la stima di rischio per la salute umana, le coltivazioni e le foreste. Riteniamo che l'integrazione di tecniche di misurazione diverse (es. fisico-chimiche e biologiche) e modellistica permetta di ottenere informazioni su base spaziale più affidabili ed a costi minori di quanto consentito da approcci monodisciplinari.

-
1. Linnaeambiente Ricerca Applicata, Firenze
 2. ARPAT, Dipartimento di Firenze
 3. GAIA Servizi, Pisa
 4. Settore Ambiente della Provincia di Firenze
 5. TerraData environmetrics, Siena
- E-mail: ferretti@terradata.it



Lycopersicon pimpinellifolium, un nuovo promettente bioindicatore di ozono

M. Iriti¹, C. Nali², G. Lorenzini², G. Gerosa³, F. Faoro¹

Fumigazioni sperimentali ed esposizioni in OTC hanno dimostrato che *Lycopersicon pimpinellifolium* è sensibile ad O₃ almeno quanto il tabacco Bel-W3, manifestando sintomi già a basse dosi (30-50 ppb per 3 h). Gli effetti macroscopici compaiono in tempi più brevi che in Bel-W3 e sono differenziabili in relazione alla concentrazione dell'inquinante, passando da *spot* clorotici (30-50 ppb) a picchiettature necrotiche (50-80 ppb), che virano al rossastro (80-100 ppb) e, infine, a bronzature ed estese necrosi (>100 ppb). La sensibilità all'inquinante si presenta in piante di tre settimane di età. Inoltre, *L. pimpinellifolium* è maneggevole e di facile coltivazione. Prove di esposizione in un sito urbano (Monza) ed uno agricolo (Parco Agricolo Sud Milano), durante il periodo estivo, hanno dimostrato una buona correlazione tra la comparsa dei sintomi e l'AOT₄₀ giornaliera, in accordo con i dati ottenuti nelle OTC e nelle fumigazioni. Indagini citochimiche hanno evidenziato elevati livelli di H₂O₂ nei tessuti dopo l'esposizione, indicando una scarsa attività delle difese antiossidanti in questa specie.

1. Istituto di Patologia Vegetale, Università di Milano e CNR, Istituto di Virologia Vegetale di Milano
2. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi" - Università di Pisa
3. Dipartimento di Matematica e Fisica - Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia
E-mail: franco.faoro@unimi.it

SESSIONE II
Valutazione e monitoraggio degli effetti

Non solo danni: l'ozono come strumento prezioso per lo studio delle risposte agli *stress* nelle piante*

**R. Bernardi¹, M. Durante¹, L. Guidi², G. Lorenzini³, C. Nali³, S. Pasqualini⁴,
C. Pugliesi¹, A. Ranieri², A. Saviozzi², L. Sebastiani⁵, M. Badiani⁶**

Studi recenti indicano che l'ozono si comporta come elicitore molecolare di reazioni generali di difesa nelle piante. Ciò travalica ed espande l'interesse ambientale intrinseco di questo inquinante e ne prospetta l'uso sperimentale quale strumento preciso, riproducibile, potente – ma al contempo finemente modulabile – da impiegare per studiare nelle piante sia le prime fasi di risposta allo *stress*, che i componenti a valle della catena di segnalazione/attivazione genica. Nell'ambito dei Progetti di Rilevante Interesse Nazionale del MIUR ed attraverso un approccio interdisciplinare altamente integrato e cooperativo, da quasi una decade un gruppo di ricercatori italiani utilizza l'ozono come elicitore abiotico, in combinazione con altri fattori di *stress* di diversa natura, per contribuire ad individuare, in sistemi modello costituiti da cultivar, varietà, ecotipi, linee mutanti o transgeniche differenzialmente sensibili, similarità e divergenze nei cammini di percezione/generazione e trasduzione del segnale, induzione/regolazione della trascrizione genica e conseguenti meccanismi di compensazione/difesa/riparazione. Studiare la “induzione crociata” nelle risposte di difesa e la “resistenza crociata” a *stress* di natura diversa potrebbe contribuire ad individuare marcatori molecolari utili nella selezione di materiale resistente e/o di geni di resistenza utili da trasferire mediante miglioramento convenzionale o trasformazione genica.

* Questa presentazione è dedicata alla memoria del Prof. Gian Franco Soldatini

1. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa
2. Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie, Università di Pisa
3. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose “G. Scaramuzzi”, Università di Pisa
4. Dipartimento di Biologia Vegetale e Biotecnologie Agroambientali e Zootecniche, Università di Perugia
5. Biolabs, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa
6. Dipartimento di Biotecnologie per il Monitoraggio Agroalimentare ed Ambientale, Università Mediterranea di Reggio Calabria

E-mail: rbernard@agr.unipi.it.



La ricerca sugli effetti dell'ozono su colture agrarie in ambiente mediterraneo

G. Rana¹, M. Bou Jaoudè¹

Gli obiettivi delle nostre ricerche sono descritti brevemente in seguito: *i*) analizzare le variazioni spazio-temporali dell'ozono durante la stagione estiva, in condizioni climatiche, allo stesso tempo favorevoli sia all'aumento della concentrazione di O₃ sia allo sviluppo dello *stress* idrico e termico delle colture; *ii*) analizzare l'impatto dell'ozono sulle colture irrigue e in *stress* idrico su scala temporale breve, monitorando il comportamento idrico a livello della foglia e della pianta (*a*), a medio termine, seguendo la crescita delle piante (*b*) e a lungo termine, con l'analisi della resa, delle sue componenti e dell'efficienza dell'uso dell'acqua a scala di campo (*c*). Gli studi sono stati condotti su una coltura di soia, il cui ciclo estivo la sottopone alle condizioni più sfavorevoli, in termini sia di tenore di ozono in atmosfera che di contenuto idrico del suolo e domanda evapotraspirativa. I risultati, ottenuti nel corso di tre anni di sperimentazione (2003-2005), si possono così riassumere: *i*) alta variabilità di concentrazione di O₃, su scala sia annuale che decadale (che ha ben più importante impatto sulla coltura); *ii*) riduzione della conduttanza stomatica ad alte concentrazioni di O₃ per la soia ben irrigata; *iii*) annullamento di questo effetto in condizioni idriche di *stress*; *iv*) impatto evidente delle alte concentrazioni di O₃ su tutti i processi che coinvolgono l'elaborazione della produzione finale; *v*) conseguenze rimarchevoli sull'efficienza di uso dell'acqua a livello di campo.

1. CRA – Istituto Sperimentale Agronomico, Bari
E-mail: gianfranco.rana@entecra.it



I sintomi *ozone-like* sulla vegetazione in Piemonte

F. Tagliaferro¹, A.M. Ferrara¹, F. Spaziani¹, E. Viotto¹

I sintomi *ozone-like* sulla vegetazione sono oggetto di crescente interesse; si ritiene, infatti, che l'ozono sia la causa principale dei danni provocati dai contaminanti aerodispersi. Per indagare la portata delle fitopatie abiotiche sul territorio piemontese, l'IPLA partecipò negli anni 1989-1997 a vari studi sul deperimento delle foreste, che proseguirono con due progetti specifici sull'ozono: il primo (1999-2001), finanziato sul programma Interreg transfrontaliero Italia-Francia; il secondo (2002-2004), sul programma MEDOCC, con la Regione Piemonte in veste di capofila. L'indagine accertò l'esistenza di danni *ozone-like* su alcune specie vegetali in ambienti sia prossimi agli agglomerati urbani che remoti. I risultati conseguiti hanno favorito l'ottenimento di nuovi finanziamenti europei e regionali, per l'approfondimento degli studi sugli effetti dell'ozono sulle foreste, sulla vegetazione spontanea e sulle piante agrarie. Obiettivi principali sono il perfezionamento della conoscenza sulla diffusione dell'inquinante e dei suoi sintomi sulla vegetazione forestale e agraria, sulla sensibilità differenziale fra popolazioni, nonché la sperimentazione di tecniche di contenimento del danno.

1. Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente, Torino
E-mail: ipla@ipla.org



Quali sono le evidenze degli effetti dell'ozono su boschi adulti ed in condizioni "reali"?

F. Bussotti¹

Nei siti forestali italiani sottoposti a monitoraggio intensivo (Programma CONECONFOR) sono in corso da anni osservazioni sui livelli di ozono e su indicatori di risposta della vegetazione, quali trasparenza della chioma, accrescimenti, sintomi a livello fogliare. Occorre dire che le concentrazioni misurate sono, in termini di AOT₄₀, largamente superiori ai livelli critici UN/ECE ed agli obiettivi UE. Sarebbero, quindi, da attendersi segnali chiari di effetti sulle condizioni e sull'accrescimento dei boschi esaminati. Questa presentazione riferisce, dapprima, dei principali risultati ottenuti dagli unici studi specifici condotti in Italia su boschi adulti, in condizioni reali ed a livello nazionale. Come era da attendersi, i fattori stagionali spiegano la maggior parte della variabilità delle condizioni delle chiome e dell'accrescimento nei boschi esaminati. In particolare, l'ozono sembra agire come fattore di aggravamento sulla trasparenza della chioma, ma le sue relazioni con l'accrescimento e con i sintomi fogliari non sono risultate chiare. Sulla base di questi risultati, vengono discussi i problemi connessi all'uso dei sintomi fogliari come evidenza dell'impatto dell'inquinante. In particolare, viene esaminata l'ambiguità intrinseca di molte manifestazioni sintomatiche e quindi l'impossibilità di trasferire automaticamente alle condizioni di campagna i risultati ottenuti in ambiente controllato.

1. Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università degli Studi di Firenze
E-mail: filippo.bussotti@unifi.it



L'ozono e i metalli pesanti: studio di alcuni meccanismi di risposta nel pioppo

L. Sebastiani¹, D. Di Baccio¹, A. Minnocci¹, R. Tognetti²

L'incremento della concentrazione troposferica d'ozono (O_3) ha provocato diversi problemi d'inquinamento ambientale. La vegetazione risulta particolarmente sensibile ai danni indotti dall'eccesso di questo gas, sotto forma di *stress* sia acuto che cronico. Quest'ultimo (esposizione a concentrazioni relativamente basse per periodi prolungati) rappresenta la condizione sempre più diffusa nei nostri agro-ecosistemi. Le conseguenze nelle piante sono costituite da minimi o ridotti danni visibili, consistenti modificazioni a livello fisiologico e biochimico e perdita di vigore e riduzione della crescita. La risposta a questo tipo di *stress* ha le caratteristiche sia della difesa antiossidante che della cosiddetta *risposta ipersensibile*, attivando e intensificando i relativi sistemi enzimatici e vie metaboliche di difesa, trasduzione del segnale e riparazione. In questo scenario assume sempre maggiore interesse l'effetto combinato del danno da O_3 con altri inquinanti ambientali, come i metalli pesanti. Al fine di studiare l'effetto dello *stress* da O_3 e da metalli pesanti in piante arboree, è stato scelto il pioppo, per la plasticità e la rappresentatività delle sue caratteristiche morfologiche, fisiologiche, biochimiche e genetiche. Analisi della regolazione stomatica e fotosintetica, di molecole antiossidanti, come il glutatione, e indicatori o segnale di *stress*, quali perossido d'idrogeno e monossido d'azoto hanno costituito il modello di studio per comprendere alcuni meccanismi di risposta del pioppo a questi *stress*.

1. Biolabs, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa
2. Dipartimento STAT, Università degli Studi del Molise, Isernia
E-mail: lsebastiani@sssup.it

Identificazione di indicatori precoci del danno da ozono sulla vegetazione mediante tecniche radiometriche

R. Colombo¹, M. Meroni¹, C. Panigada¹, M. Rossini¹, S. Cogliati¹, V. Picchi², C. Nali²,
G. Lorenzini², G. Gerosa³, R. Marzuoli³, F. Faoro⁴, M. Iriti⁴, F. Bussotti⁵, E. Gatti⁶,
A. Ballarin Denti³, A. Tagliaferri⁷

Vengono presentati i risultati ottenuti a seguito di esperimenti condotti nell'ambito del progetto INFOGESO, al fine di valutare la possibilità di individuazione remota del danno da ozono sulla vegetazione agricola e forestale nella fase pre-sintomatica, tramite misure spettroradiometriche a distanza e ad elevata risoluzione spettrale. Sono stati realizzati due esperimenti in OTC e due in camere di fumigazione, in cui sono stati acquisiti dati relativi alle proprietà ottiche fogliari e di *canopy*, misure del contenuto di pigmenti fotosintetici, fluorescenza attiva, assimilazione e conduttanza stomatica. I parametri biochimici e gli indici ottici tradizionali del telerilevamento (e.g. NDVI) non si prestano ad essere impiegati come indicatori precoci del danno da O₃. Al contrario, la ricerca ha evidenziato che tecniche innovative legate a processi fisiologici, quali attivazione di meccanismi di fotoprotezione e dissipazione dell'energia in eccesso attraverso la fluorescenza identificano il danno prima della comparsa dei sintomi. L'impiego di un indice ottico a banda stretta (PRI) legato al ciclo delle xantofille e la risposta in fluorescenza indotta dal sole sono risultati utili indicatori precoci. Questi risultati sono promettenti nell'ambito degli studi di *early detection* per l'individuazione dei danni da O₃ e pongono le basi per applicazioni a livello di ecosistema da elicottero o aereo.

-
1. Laboratorio Telerilevamento Dinamiche Ambientali, DISAT, Università degli Studi di Milano-Bicocca
 2. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
 3. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia
 4. Istituto di Patologia Vegetale, Università di Milano e CNR, Istituto di Virologia Vegetale di Milano
 5. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Firenze
 6. Istituto di Biometeorologia del CNR, Bologna
 7. Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, Regione Lombardia
- E-mail: roberto.colombo@unimib.it

SESSIONE III
Risk assessment

Valutazione di aree a rischio per la produzione cerealicola a causa dell'inquinamento da ozono

A. De Marco¹, E. Paoletti², A. Screpanti¹, S. Racalbuto¹, G. Vialetto¹

Le stime derivanti dall'utilizzo di modelli a scala internazionale (es. EMEP) suggeriscono concentrazioni di ozono, sia in Italia che in tutto il bacino del Mediterraneo, tali da comportare un drastico calo della produzione agricola e, di conseguenza, in una grande perdita economica in questi Paesi. L'utilizzo di modelli nazionali di previsione delle concentrazioni sulla base delle emissioni (RAINS-Italy) ha suggerito che i valori mappati dall'EMEP possano essere drasticamente sovrastimati. Si è, quindi, resa evidente la necessità di monitorare le reali concentrazioni di ozono nel territorio italiano in base ai dati registrati dalle stazioni di controllo della qualità dell'aria, pur nella consapevolezza, che gli stessi modelli evidenziano, della scarsa rappresentatività della localizzazione delle centraline. La valutazione delle concentrazioni di ozono non è stata estesa a tutto il territorio nazionale, data la impossibilità di ottenere una quantità di dati di stazioni di tipo rurale o suburbano di *background* con una distribuzione omogenea. I dati sono stati spazializzati tramite tecniche di *cokriging* ordinario con l'utilizzo di variabili correlate con le concentrazioni di ozono (Bronnimann et al., 2000, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2213), quali *Digital Elevation Model* (DEM) 500x500 m, temperatura media, umidità atmosferica. I dati relativi alle produzioni agricole sono relativi ad un gruppo di cultivar di grano duro (Istituto per la Cerealicoltura), che avevano rese omogenee nel periodo considerato. La spazializzazione in questo caso è stata effettuata con diversi tipi di metodologie (*kriging* ordinario o *cokriging* ordinario con le variabili temperatura media e precipitazioni). Le mappe così ottenute sono state confrontate e sovrapposte. Infine, allo scopo di stimare la quantità di ozono che poteva influenzare la produzione agricola, sono state elaborate mappe di flussi di ozono nel grano.

1. ENEA, CR Casaccia, Roma

2. IPP-CNR, Sesto Fiorentino, Firenze

E-mail: alessandra.demarco@casaccia.enea.it



Alterazioni di *pathways* biochimici e metabolici delle piante da parte dell'ozono: meccanismi di danno e strategie di difesa

A. Ranieri¹, A. Castagna¹

Le reazioni delle piante all'ozono (O_3) dipendono da una serie di eventi che hanno inizio con l'assorbimento dell'inquinante e che, in ultima analisi, determinano risposte a livello biochimico e metabolico. La maggior parte di queste dipende da modificazioni nell'espressione genica, ad implicare il coinvolgimento di molecole segnale. L'insieme primario delle reazioni metaboliche innescate dall' O_3 risulta simile alla risposta d'ipersensibilità attivata da patogeni fungini, cui fa seguito lo *shift* di una parte delle risorse dal metabolismo primario a quello secondario, allo scopo di difendersi e sopravvivere in un contesto ambientale modificato. L'esposizione prolungata all' O_3 può risolversi, invece, in una risposta secondaria con manifestazioni tipiche della senescenza precoce. La pluriennale esperienza accumulata in questo settore ci ha permesso di ottenere numerose informazioni circa gli effetti indotti da esposizioni di tipo acuto e cronico sulla struttura e funzionalità dell'apparato fotosintetico, sulla risposta dei sistemi antiossidanti intra ed extracellulari, sulla produzione di molecole messaggero e sulla stimolazione del metabolismo secondario. Gli studi sono stati eseguiti sia su piante appartenenti a ecosistemi agrari e forestali sia su specie naturali, con lo scopo di evidenziare analogie o diversità di comportamento, nonché di valutare l'impatto dell' O_3 sulla conservazione della biodiversità. L'utilizzo sia di camere di fumigazione che di *open-top chamber* e *chamberless system* ci ha permesso di studiare la sequenza e l'entità degli eventi che influenzano la capacità di reazione della pianta. Restano, comunque, molti aspetti da approfondire soprattutto relativamente alle dinamiche dei processi che regolano le risposte.

1. Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie, Università di Pisa
E-mail: aranieri@agr.unipi.it

Relazione tra rimozione di ozono a livello fogliare ed emissione di isoprenoidi nelle specie forestali

S. Fares¹, J. Wildt², F. Loreto¹

L'aumento della concentrazione di ozono in bassa troposfera rappresenta oggi una seria minaccia per gli ecosistemi forestali (Zheng et al., 2002, *New Phytol.*, 155, 67). L'ozono penetra nelle foglie attraverso gli stomi e produce effetti fitotossici. Gli alberi hanno la capacità di rimuovere ozono (Altimir et al., 2004, *Atmos. Env.*, 38, 2387) anche grazie all'emissione di isoprenoidi (Loreto et al., 2004, *Tree Physiol.*, 24, 361), la cui produzione può aumentare in risposta allo *stress* da questo inquinante (Fares et al., 2006, *Physiol. Plant.*, 128, 456). L'obiettivo della ricerca è stato di verificare in che misura la rimozione dell'ozono è dovuta alla conduttanza stomatica ed all'attività antiossidante degli isoprenoidi in due specie forestali: *Quercus ilex* (che emette monoterpeni) e *Populus nigra* (che emette isoprene). Piante in camere climatiche sono state fumigate con un flusso di aria sintetica arricchita con 100 ppb di ozono. La rimozione dell'ozono (*uptake*) è stata calcolata misurando la concentrazione di ozono nel flusso in entrata ed in uscita dalla camera. Le piante sono state esposte a differenti condizioni di luce e temperatura per modulare l'apertura stomatica e l'emissione di isoprenoidi. I risultati confermano che la rimozione dell'ozono è strettamente correlata alla conduttanza stomatica. L'isoprene si è rivelato ininfluente nel rimuovere ozono, mentre l'azione esercitata dai monoterpeni è stata rilevante e si è esplicata indipendentemente dal grado di apertura stomatica. I monoterpeni hanno probabilmente rimosso l'ozono in fase gassosa al di fuori della foglia e nelle cavità sottostomatiche e possono avere un importante ruolo nella protezione delle piante dal questo contaminante.

1. CNR – Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Monterotondo Scalo, Roma

2. Institute Phytosphere (ICG-III), Research Centre Jülich, Germania

E-mail: silvano.fares@ibaf.cnr.it

Flussi stomatici di ozono ed esposizione in relazione alla comparsa di sintomi fogliari visibili in piante di faggio e quercia allevate in OTC

G. Gerosa¹, R. Marzuoli¹, R. Desotgiu², F. Bussotti², A. Ballarin Denti¹

Il presente lavoro illustra alcuni dei risultati ottenuti in una sperimentazione condotta mediante l'uso di *open-top chamber* per due anni consecutivi su semenzali di due specie arboree caratteristiche dell'area subalpina (*Fagus sylvatica* e *Quercus robur*). La ricerca ha riguardato il confronto fra l'approccio basato sui flussi stomatici di ozono e quello basato sull'indice AOT40 nella valutazione dell'impatto dell'inquinante sulle specie considerate. Le piante sono state allevate in parcelle aperte e in OTC con aria filtrata e non. Le tesi sono state, inoltre, suddivise in *plot* irrigati e non. I flussi di ozono sono stati calcolati con un modello di conduttanza stomatica jarvisiano. Settimanalmente, è stato effettuato un monitoraggio dei sintomi fogliari. I principali risultati possono essere così riassunti:

- 1) è stata individuata una parametrizzazione affidabile dei modelli di *gstom* per le specie considerate e le condizioni ambientali tipiche dell'area subalpina;
- 2) l'approccio basato sul flusso stomatico di ozono ha permesso di individuare un livello critico di dose per la comparsa di danni fogliari visibili in *Fagus sylvatica*;
- 3) le condizioni di *stress* idrico ritardano la comparsa dei sintomi fogliari; tuttavia, l'approccio basato sul flusso è in grado di tenerne conto in modo soddisfacente a differenza dell'AOT40; il flusso stomatico si conferma uno strumento in grado di considerare le diverse condizioni ambientali che influenzano la risposta delle piante all'ozono;
- 4) *Quercus robur* si è confermata una delle specie più resistenti allo *stress* indotto dall'ozono.

1. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia

2. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Firenze

E-mail: giacomo.gerosa@unicatt.it



Risposta della conduttanza stomatica all'azione combinata di ozono e *stress* idrico in *Quercus ilex*

M. Vitale¹, E. Salvatori¹, F. Manes¹, F. Loreto², S. Fares²

Vengono illustrati i risultati di un esperimento di fumigazione con ozono su piantine di *Quercus ilex* sottoposte a due trattamenti idrici: un *set* irrigato a capacità di campo e un altro sottoposto a *stress* idrico. Gli obiettivi principali dell'esperimento sono quelli di determinare: *a)* la funzione di fattori esogeni ed endogeni, dai quali dipende la conduttanza stomatica, in relazione ai trattamenti idrico e con O₃; *b)* se l'emissione dei monoterpeni svolga un ruolo protettivo nei confronti dello *stress* ossidativo indotto da entrambi i trattamenti oppure se si tratta di una conseguenza dell'azione dell'O₃ sulle membrane biologiche; *c)* l'effetto dell'O₃ sul meccanismo di apertura e chiusura degli stomi, con l'analisi del comportamento stomatico notturno successivamente alla fumigazione diurna. I risultati ottenuti dimostrano che: *a)* la risposta all'O₃ è influenzata dalla disponibilità idrica per le piante; *b)* l'emissione di monoterpeni svolge un ruolo protettivo sull'assimilazione del carbonio nei confronti dello *stress* da O₃, che viene però ridotto dallo *stress* idrico; *c)* l'O₃ influenza il meccanismo di apertura degli stomi, causando un progressivo aumento della conduttanza stomatica notturna. Ciò potrebbe influenzare negativamente la performance di *Quercus ilex*, quando esposto a uno *stress* da O₃ a lungo termine in conseguenza dell'*uptake* notturno di O₃, quando i meccanismi di difesa sono al livello più basso.

1. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza", Roma
2. CNR – Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Monterotondo Scalo, Roma
E-mail: marcello.vitale@uniroma1.it

SESSIONE IV
Attività futura



Integrazione di scala, approcci e metodi per una valutazione dei reali effetti dell'ozono sulle foreste

M. Ferretti¹

Per chi gestisce le risorse naturali, le questioni connesse al tema “ozono e vegetazione” sono concrete: quali sono gli effetti dell'ozono sulle foreste? Quanto sono gravi? Come evolveranno? Al di là di applicazioni modellistiche, queste domande sono senza risposta e manca una quantificazione affidabile degli effetti dell'ozono sulle nostre foreste. Se consideriamo la frammentazione della ricerca in Italia e la sua sostanziale separazione dalle attività di monitoraggio, ciò non sorprende. Per ottenere informazioni quantitative sull'impatto dell'ozono è necessario sviluppare un concetto che integri le tradizionali attività di ricerca e di monitoraggio, sia ispirato da coerenza interna, rappresentatività ecologica e statistica e consideri pienamente le diverse scale spaziali, temporali ed ecologiche coinvolte. In questa visione, esperimenti, siti di monitoraggio intensivo, indagini di natura probabilistica (da base terrestre e - in futuro - remota) e modellistica sono concepiti come parti di un sistema che consente dialogo tra dati “coerenti”. Competenze, esperienza, infrastrutture esistenti ed il dialogo portato avanti negli ultimi anni renderebbero possibile un programma cooperativo di carattere nazionale sul tema “ozono e vegetazione”. Un'iniziativa del genere potrebbe fornire elementi per rispondere alle questioni di interesse, fornire valore aggiunto al lavoro di ciascuno, dare maggior rilevanza alle nostre istanze in sede nazionale ed internazionale e – in prospettiva – creare un forte soggetto *partner* per ogni progetto a scala europea e globale.

1. TerraData environmetrics, Siena
E. mail: ferretti@terradata.it



L'ozono nel VII Programma Quadro e le attività dello *Steering Committee Ozone risk assessment: To further develop and validate the flux concept for the prediction of ozone impact on vegetation*

S. Cieslik¹, E. Paoletti², M. Fagnano³

Nel febbraio 2005, gli studiosi europei sul tema ozono e vegetazione si sono riuniti ad Ispra per definire le nuove direzioni della ricerca sugli effetti dell'ozono sulla vegetazione. I partecipanti all'incontro si sono trovati d'accordo sulla necessità di definire un nuovo approccio per valutare il rischio da ozono per la vegetazione, basato sul flusso di inquinante fisiologicamente efficace e sullo studio delle relazioni tra flussi ed effetti. Inoltre, è stato stabilito di preparare tre proposte pan-europee (foreste, vegetazione agraria e semi-naturale) da presentare nel VII Programma Quadro e di creare un *Group of Excellence* sull'argomento. Come membri dello *Steering Committee* del gruppo, in questa sede riferiremo delle riunioni (in Belgio a Maggio e in California a Settembre) e delle attività svolte finora, con particolare riferimento alla situazione dell'argomento "ozono e vegetazione" nel VII Programma Quadro.

-
1. IES-JRC, Ispra (VA)
 2. IPP-CNR, Sesto Fiorentino, Firenze
 3. DIAAT, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici
- E-mail: stanislaw.cieslik@jrc.it



“Effects of ozone pollution on crops in current and changing climatic conditions”: prospettive per la preparazione di un progetto europeo (o italiano?)

M. Fagnano¹, A. Maggio¹, G. Rana²

Obiettivi

- Analisi risposte biochimiche, fisiologiche e agronomiche per pianta e coltura.
- Analisi interazioni con altri *stress* (idrico, salino, termico, altri inquinanti)
- Relazioni dose-danno per colture europee in sistemi colturali tipici delle regioni.

Struttura del progetto

WP1 Caratterizzazione del profilo metabolico e fisiologico a scala di foglia

T1.0. Selezione del materiale vegetale e caratterizzazione delle condizioni ambientali.

T1.1. Valutazione della g_{max} a scala di coltura ed effetti di ozono e fenologia sulla g_{max}

T1.2. Analisi dei fattori modificanti la g_{max} in OTC

T1.3. Confronto tra modelli di stima della conducibilità stomatica a scala di foglia.

T1.4. Studio degli effetti dell'ozono sulla biochimica della pianta

WP2 Caratterizzazione dell'assorbimento di ozono a livello di agro-ecosistema

T2.1. Modellizzazione dell'*uptake* di ozono con tecniche micrometeorologiche

T2.2. Misure dell'assorbimento di ozono in condizioni di arricchimento

T2.3. *Up-scaling* dei flussi di ozono dalla parcella al territorio

WP3 Relazioni dose/risposta delle colture Europee

T3.1. Foraggiere

T3.2. Cereali

T3.3. Leguminose

T3.4. Colture da zucchero/olio

T3.5. Ortive

T3.6. Frutteti

WP4 Mappatura ed analisi socio-economiche a livello territoriale

1. DIAAT, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici

2. CRA – Istituto Sperimentale Agronomico, Bari

E-mail: fagnano@unina.it

Riassunti dei *poster*



Urbanizzazione e inquinamento atmosferico: utilizzo di indicatori biochimici per il *risk assessment* degli effetti dell'ozono

A. Castagna¹, A. Costa², A. Ranieri¹

Gli effetti della pressione antropica sulle piante possono essere valutati attraverso l'utilizzo di *biomarker*, le cui variazioni siano correlabili a cambiamenti giornalieri e stagionali della qualità ambientale. Uno dei concetti fondamentali su cui si basa questo approccio metodologico riguarda l'intercorrelabilità degli effetti dello *stress* ai diversi gradi di organizzazione strutturale, dal livello biochimico e molecolare a quelli successivi dell'organizzazione gerarchica, organello, cellula, tessuto, organismo, fino a giungere alla popolazione. In collaborazione con l'ARPAT di Grosseto, è stato condotto uno studio volto a verificare se le variazioni indotte nel contenuto e nei *pattern* dei pigmenti fotosintetici e accessori e nell'attività di alcuni sistemi enzimatici detossificanti, quali le perossidasi, potessero essere considerate alla stregua di *biomarker* per rilevare alterazioni metaboliche precoci indotte dalla presenza di inquinanti atmosferici. Le analisi sono state condotte su aghi di pino (*Pinus pinea* L.) prelevati in vari momenti della giornata durante la stagione estiva in differenti siti della provincia di Grosseto, in prossimità di centraline di monitoraggio per gli inquinanti gassosi. Le analisi relative all'attività perossidasi fogliare e al *pattern* elettroforetico delle isoforme anioniche e cationiche dell'enzima hanno evidenziato una buona correlazione con il *trend* giornaliero di concentrazione dell'ozono (O₃), soprattutto nei siti urbani. Una analoga corrispondenza è stata osservata anche tra l'andamento dell'O₃ e l'attivazione del ciclo fotoprotettivo delle xantofille, mentre gli altri pigmenti non erano correlabili alla presenza dell'inquinante.

1. Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie, Università di Pisa

2. ARPAT, Dipartimento Provinciale di Grosseto

E-mail: castagna@agr.unipi.it

Applicazioni di etilendiurea a frassini adulti con sintomi tipo-ozono

N. Contran¹, E. Paoletti², W.J. Manning³, F. Tagliaferro⁴, A. Ranieri⁵, A. Castagna⁵

I livelli ambientali di ozono, che realmente influenzano la crescita delle foreste, sono ancora poco definiti, principalmente perché le metodologie di studio usate finora precludono l'estrapolazione dei risultati alle condizioni reali. L'etilendiurea (EDU) è stata ampiamente usata per prevenire e/o determinare gli effetti dell'O₃ sulla crescita e la produzione di numerose piante erbacee. Al fine di standardizzare una tecnica che permetta il trattamento a lungo termine di alberi adulti con EDU e di determinarne i livelli e i meccanismi di protezione, piante di *Fraxinus excelsior* L., cresciute a Torino (AOT40 di 32,5 ppm h) e note per essere sensibili o insensibili all'O₃ in base alla presenza-assenza di sintomi fogliari negli anni precedenti a quello di studio, sono state trattate con 450 ppm di EDU (13-26 mg m⁻² foglie). Ogni 21 giorni (maggio-settembre 2005), il composto è stato somministrato attraverso infusione gravitazionale, tecnica che prevede, grazie alla traspirazione dell'albero, il trasporto dell'EDU, infuso per gravità nei tessuti conduttori attraverso un foro nel fusto fino alle foglie. Ad intervalli di 30 giorni, sono stati misurati parametri biofisici e, in settembre, parametri biochimici. Sebbene il trattamento con EDU abbia portato ad una riduzione nei danni fogliari da O₃ ed abbia permesso di verificare alcuni meccanismi di azione, la tecnica di infusione gravitazionale comporta troppi danni da ferite per essere applicata a lungo.

1. Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università di Milano-Bicocca, Milano
2. IPP-CNR, Sesto Fiorentino, Firenze
3. Department of Plant, Soil and Insect Sciences, University of Massachusetts, USA
4. IPLA, Torino
5. Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie dell'Università di Pisa
E-mail: nicla.contran@unimib.it

Risposte inter- ed intra-specifiche all'ozono in frassino

N. Contran¹, E. Paoletti², P. Vollenweider³, M.S. Günthardt-Goerg³

La finalità di questo lavoro è confrontare risposte inter-specifiche, di *Fraxinus ornus* e *F. excelsior*, e intra-specifiche, provenienze piemontesi e toscane per entrambe le specie, ad alte concentrazioni di ozono in condizioni controllate. In base ai sintomi, il *F. excelsior* è più sensibile del *F. ornus*, nonostante abbia una conduttanza stomatica più bassa, il che suggerirebbe un minore assorbimento di ozono. È probabile che la maggiore assimilazione del *F. ornus*, favorendo i processi di detossificazione e/o di riparazione, renda questa specie meno sensibile. L'ipotesi di una variazione intra-specifica della sensibilità all'ozono non è stata confermata, poiché le provenienze delle due specie hanno tra loro differenti risposte all'inquinante. Al fine di validare i danni fogliari ottenuti in condizioni sperimentali con quelli di campo, diverse tecniche istochimiche a microscopia a luce bianca e a fluorescenza sono state applicate ai campioni di *F. ornus* fumigato e a campioni di *F. ornus* cresciuti a Settignano (Firenze), zona caratterizzata da elevate concentrazioni di ozono (AOT₄₀ = 21,3 ppm-h nel 2004). La diversità nella tipologia del danno espresso indica la necessità di riprodurre condizioni ambientali realistiche negli esperimenti controllati.

1. Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università di Milano-Bicocca, Milano

2. IPP-CNR, Sesto Fiorentino, Firenze

3. Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), Birmensdorf, Svizzera

E-mail: niela.contran@unimib.it

Identificazione di geni espressi differenzialmente in seguito a *stress* da ozono in ibridi sensibili e tolleranti di pioppo

M. Durante¹, M. Rizzo¹, R. Bernardi¹, M. Salvini^{1,2}, G. Lorenzini³, C. Nali³

Allo scopo di identificare geni espressi in maniera differenziale dopo trattamento con dosi acute di ozono è stata realizzata una libreria sottrattiva soppressiva (SSH) di cDNA in due ibridi di pioppo, *Populus deltoides* x *maximowiczii*, clone Eridano, e *P. x euramericana*, clone I-214, rispettivamente sensibile e tollerante all'agente chimico. Dopo uno *screening* primario sono stati isolati diversi cloni di cDNA differenzialmente regolati. Analisi di sequenza dei trascritti hanno mostrato che i cDNA selezionati corrispondono a geni con un ruolo di difesa allo *stress* (13%) e nella traduzione del segnale (17%). Gli altri cloni di cDNA rappresentano geni correlati allo *stress* (13%), non ancora strettamente correlati (13%), che codificano per proteine con funzioni sconosciute (9%) e sequenze non identificate (35%). Analisi di espressione di differenti sequenze di cDNA hanno mostrato che la maggior parte dei livelli dei trascritti aumenta col trattamento con ozono in entrambi i cloni di pioppo. L'accumulo di mRNA è in alcuni casi più alto nella specie tollerante (ad esempio, trascritti di geni codificanti proteine ricche in ripetizioni di leucina, fattori di trascrizione WRKY). È da notare che chinasi associate alla parete sono indotte da *stress* da ozono soltanto nel clone tollerante I-214. Questi risultati aprono interessanti prospettive di ricerca per la comprensione dei meccanismi di risposta dello *stress* da ozono.

1. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Sezione di Genetica, Università di Pisa
 2. Scuola Normale Superiore di Pisa
 3. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
- E-mail: mdurante@agr.unipi.it



Effetti dell'ozono su colture agrarie in condizioni di *stress* ambientali tipici dell'area Mediterranea

M. Fagnano¹, G. Merola¹

Dal 2001 il gruppo di Agronomia di Napoli sta studiando le interazioni dell'ozono con altri *stress* tipici dell'area mediterranea: idrico e salino. Le prove sono effettuate in OTC filtrate e non, all'interno delle quali sono applicati diversi livelli di *stress*. Sui trattamenti sono effettuati rilievi biometrici, di consumi idrici e di scambi gassosi. I principali risultati sono riassunti di seguito. Sulle specie più resistenti (le graminacee prative, ad esempio), l'ozono determina riduzioni della crescita solo in condizioni di rifornimento idrico continuo, ma basta una piccola limitazione idrica per ridurre i flussi stomatici ed i danni da ozono. Uno *stress* idrico più intenso (per esempio, la restituzione del 33% dell'acqua consumata) riesce a proteggere anche le specie più sensibili (trifogli) dai danni da ozono. Anche lo *stress* salino riduce i flussi stomatici e protegge le piante dai danni da ozono (erba medica). La risposta delle piante allo *stress* idrico e salino è ridotta in presenza di ozono, per cui questo inquinante e altri *stress* tipici dell'area Mediterranea sembrano avere effetto antagonistico.

1. DIAAT, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici (NA)
E-mail: fagnano@unina.it

Scaling-up ozone exposure from 'found' data to the systematic network of forest condition assessment in Italy. Is it feasible?*

M. Ferretti¹, D. Rocchini¹, F. Bussotti², A. De Marco³, G. Gerosa⁴, B. Petriccione⁵

Correlative studies to estimate potential effects of ozone on forests are constrained by the limited availability of ozone data on a representative set of forest sites. In Europe, models (e.g. EMEP, RAINS) allow to obtain data at the large scale and at coarse resolution. This may be not suited for correlative study purposes. In addition, the reliability of site estimates obtained from large scale models is unknown for our forest plots. Here (i) we test the EMEP and RAINS model outputs against measured ozone levels in forest sites; and (ii) we use ozone measured in preferentially selected sites ("found data": the so-called Level II sites and the sites of the air quality monitoring network) to map AOT40 over Italy and to assess the reliability of mapping. If proved reliable, mapping is the first step for estimating ozone exposure at the plots of the systematic forest condition assessment network. Ozone measurements and AOT40 estimates were carried out by automatic devices (national air quality network) and by passive sampling (Level II forest sites). Scaling-up was performed by different statistical (Voronoi tessellation) and geostatistical (Inverse Distance Weighting, Ordinary Kriging and co-Kriging) procedures which were tested by leave-one-out validation and RMSE computation.

* Presentato a: IUFRO, 22nd Biannual Meeting "Forests under Anthropogenic Pressure – Effects of Air Pollution, Climate Change and Urban Development", Riverside CA, Sept. 10-16, 2006

1. TerraData environmetrics, Siena
2. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Firenze
2. Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Siena
3. ENEA, CR Casaccia, Roma
4. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia
5. Corpo Forestale dello Stato, Roma

E-mail: ferretti@terradata.it

Risposte intraspecifiche all'ozono troposferico: il caso della *Centaurea jacea*, un potenziale bioindicatore

A. Francini¹, C. Nali¹, E. Pellegrini¹, G. Lorenzini¹

Da ormai molti anni i bioindicatori sono usati al fine di verificare la qualità dell'aria in numerosi Paesi e, tra quelli più comunemente utilizzati per il biomonitoraggio dell'ozono troposferico, è di recente introduzione la *Centaurea jacea*, una pianta spontanea tipica del Centro Europa. Osservazioni in pieno campo hanno messo in evidenza variazioni intraspecifiche nella risposta a questo inquinante atmosferico. Gli individui sensibili, quando esposti all'inquinante, mostrano sintomi caratteristici che si manifestano come clorosi e bronzature diffuse. Il materiale resistente non manifesta alcun effetto macroscopico. Poco, però, si conosce sulla natura di questa risposta differenziale, soprattutto a livello molecolare. Questo lavoro è concentrato sulla caratterizzazione molecolare degli effetti dell'ozono (200 ppb, 5 h) su linee di *C. jacea* sensibili e resistenti a questo contaminante. In particolare, si è investigato sul possibile ruolo svolto da alcuni geni della via dei fenilpropanoidi, essendo questa una via biosintetica comunemente attivata nella risposta all'ozono. L'approccio molecolare ha portato all'identificazione e all'isolamento di frammenti di cDNA che codificano per i geni fenilalanina ammonio liasi (PAL) e calcione sintasi (CHS), mediate l'uso di *primers* degenerati. L'analisi *northern* della PAL ha evidenziato un accumulo di trascritto in entrambe le linee dopo fumigazione, correlato ad un aumento dell'attività specifica dell'enzima PAL (+41 e +91% rispetto ai controlli nella linea resistente e sensibile, rispettivamente). Al contrario, il trascritto del gene CHS non ha mostrato variazioni in accumulo dopo fumigazione, in nessuna delle due linee studiate. Il contenuto totale in fenoli non è stato alterato dal trattamento, mentre l'analisi degli antociani ha evidenziato nella linea resistente, un rapido utilizzo (dopo fumigazione) di questi pigmenti come composti antiossidanti.

1. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
E-mail: afrancini@agr.unipi.it

Una relazione quantitativa dose-danno per gli effetti dell'ozono sulla produttività e la qualità del foraggio di *Medicago sativa*

G. Gerosa¹, A. Finco¹, R. Marzuoli¹, L. Migliorati², S. Cieslik³, A. Ballarin Dentì¹

Con l'obiettivo di quantificare l'impatto dell'ozono su una coltura foraggera, sono state installate tre *open-top chamber* per la rimozione di ozono dall'aria in un medicaio di un anno. Al centro del campo un sistema micrometeorologico *Eddy Covariance* ha permesso di monitorare in continuo i flussi di ozono, acqua, anidride carbonica ed energia scambiati dall'agroecosistema. La sostanza secca, il contenuto proteico, le fibre e la digeribilità del foraggio ottenuto in aria filtrata e in aria ambiente sono stati comparati ad ogni sfalcio e messi in relazione con la dose di ozono assorbita per via stomatica. Quest'ultima è stata ottenuta dai dati micrometeorologici, attraverso una complessa procedura di partizione dei flussi di ozono, basata sui flussi evapotraspirativi e un modello resistivo di tipo *big-leaf*. I risultati hanno rivelato che l'ozono riduce significativamente la produttività di *Medicago sativa*, ma, paradossalmente, migliora la qualità del foraggio, visto che quest'ultimo presenta un minor contenuto di fibre grezze, un più alto contenuto di protidi e valori migliori di ingeribilità e digeribilità per i bovini. Sulla base dei dati di cinque sfalci consecutivi, sono state individuate relazioni quantitative dose-danno basate sui flussi stomatici rispettivamente per la produttività in biomassa epigea, il contenuto in fibre grezze, la loro frazione neutro detersa e il contenuto relativo in protidi. Tali relazioni appaiono indispensabili per applicazioni volte alla quantificazione economica dei danni da ozono, nonché alla valutazione modellistica dei rischi/benefici connessi a scenari di aumento/riduzione di questo inquinante in futuro.

1. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia

2. Istituto Sperimentale per la Zootecnia di Cremona

3. IES-JRC, Ispra (VA)

E-mail: giacomo.gerosa@unicatt.it

Analisi dell'immagine della fluorescenza come metodologia per lo studio degli effetti dell'ozono o di un patogeno fungino in foglie di lupino

L. Guidi¹, E. Degl'Innocenti¹, S. Pecchia²

Il fine di questo lavoro era la caratterizzazione delle alterazioni indotte da un singolo *pulse* di O₃ (150 ppb per 5 ore) o dal patogeno *Pleiochaeta setosa* in foglie di lupino. I dati ottenuti mediante un fluorimetro convenzionale mostravano un *pattern* simile nella risposta delle piante ai due tipi di *stress*, mentre l'applicazione dell'analisi dell'immagine della fluorescenza della clorofilla forniva informazioni più dettagliate sulla eterogeneità spaziale e temporale registrata sulle foglie artificialmente inoculate o fumigate con O₃. Infatti, 48 ore dopo l'inoculazione artificiale con il fungo necrotrofico *P. setosa*, le foglie presentavano una significativa riduzione di resa fotochimica del PSII in condizioni di luce (Φ_{PSII}) sull'intera lamina fogliare. In questa fase, le foglie presentavano anche sintomi di danno ascrivibili alla presenza del fungo e, mediante l'analisi dell'immagine della fluorescenza, era possibile evidenziare aree attorno agli *spot* necrotici, in cui la resa fotochimica del PSII appariva stimolata. Diversa era la risposta registrata nelle foglie delle piante sottoposte ad O₃, che, 24 ore dopo la fine della fumigazione, mostravano eterogeneità nell'immagine della Φ_{PSII} sulla lamina e, in particolare, una notevole riduzione di questo parametro era registrabile al livello delle venature principali.

1. Dipartimento di Chimica e Biotecnologie Agrarie, Università di Pisa
 2. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
- E-mail: guidilu@agr.unipi.it

Effetti dello *stress* osmotico ed ozono sulle colture agrarie: contributo della componente stomatica/non stomatica alla manifestazione dei danni

A. Maggio¹, M. Fagnano¹, S. De Pascale¹

L'ingresso dell'ozono nella pianta ed il danno associato a questo evento dipendono essenzialmente da determinanti fisiche (apertura stomatica) e metaboliche (neutralizzazione di derivati tossici dell'ozono). Conseguentemente, variabili ambientali che agiscono sulla conduttanza stomatica e sull'accumulo di molecole con funzione detossificante potranno avere un effetto diretto/indiretto sulla manifestazione dei danni da ozono. La comprensione dell'interazione tra questi fenomeni è tuttavia complessa, particolarmente in quelle aree dove *stress* ambientali di varia origine si sovrappongono a livelli di ozono troposferico critici per le colture agrarie. In questo contesto, è stato valutato l'effetto di un moderato *stress* salino su una coltura di pomodoro allevata in presenza e assenza di ozono. Nell'ultimo caso, le piante hanno manifestato una produzione maggiore in termini di biomassa totale e resa in frutti. Lo *stress* salino ha, tuttavia, annullato queste differenze, pur determinando un'inibizione generale della crescita della pianta. Questi risultati hanno evidenziato le complesse interazioni tra *stress* osmotico e ozono e, più in generale, tra l'inquinante e le diverse tipologie di *stress* abiotico, cui sono spesso esposte le colture in ambiente mediterraneo. Sulla base di questi risultati, stiamo sviluppando una linea di ricerca che mira a definire il contributo della componente stomatica e di quella non-stomatica nel controllo dei danni da ozono, attraverso l'impiego di mutanti stomatici e la somministrazione di molecole che alterano l'apertura stomatica "simulando" un ambiente ipo-osmotico.

1. DIAAT, Università degli Studi di Napoli Federico II, Portici (NA)
E-mail: albino.maggio@unina.it



Biomonitoraggio attivo dell'ozono in area urbana e peri-urbana

F. Manes¹, M. Vitale¹, E. Salvatori¹, D. Biscontini¹

Si riportano i risultati di un'indagine condotta nell'ambito del progetto UNECE *ICP Vegetation*, utilizzando il clone sensibile di *Trifolium repens* L., posto in siti a differente inquinamento da O₃, e piantine di *Centaurea jacea* allevate presso il Giardino Botanico dell'Università "La Sapienza" di Roma. Nel 2004, le piante sono state periodicamente sottoposte alla valutazione del danno fogliare visibile e alla misurazione della biomassa epigea. Le condizioni meteorologiche hanno determinato valori di O₃ piuttosto elevati, con picchi medi orari di 103 ppb nel mese di agosto nel sito suburbano di Tenuta del Cavaliere, causando il superamento in quasi tutti i mesi dei livelli critici per l'O₃ relativi alle colture agrarie. La maggiore riduzione di biomassa è stata osservata a Tenuta del Cavaliere, con un valore pari all'88%, dovuta ad una diminuzione della capacità di fissazione del carbonio. Non tutti i siti hanno mostrato sensibili riduzioni di biomassa totale; quello di Castelporziano presenta una diminuzione della biomassa, ma in quantità notevolmente inferiore rispetto ai siti peri-urbani. L'analisi neurale, condotta su dati pregressi (1997-2003), del clone sensibile di *T. repens* mostra relazioni non lineari della variabile "danno fogliare" con le variabili indipendenti. Infatti, il "danno fogliare" predetto, rispetto alla variazione del flusso (FO₃) e della temperatura, mostra un andamento non lineare, mentre non è stato possibile evidenziare una chiara relazione con l'indice AOT40.

1. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza", Roma
E-mail: fausto.manes@uniroma1.it



A case-study of environmental education: biomonitoring of ozone with young students*

C. Nali¹, G. Lorenzini¹

The wide diffusion of tropospheric ozone is nowadays a major air quality problem, in urban areas as well as in rural and remote localities; its man-related air mixing ratios are increasing and severe impacts on human life and welfare are expected, such as adverse health effects, damage to man-made structures and injury to plants. Biological monitoring (*'biomonitoring'*) of ozone is a powerful tool for filling the gap between the causes and effects of environmental toxins, as bioindication agents assess in an easy-to-detect fashion the cumulative effects of pollution. A project on biomonitoring of air quality was launched in 2004 to involve 400 students (ages 6-13) from 7 schools in Livorno (Central Italy) in active biodetection of ozone effects with sensitive Bel-W3 tobacco seedlings (Lorenzini, 1994, *App. Biochem. Biotech.*, 48, 1-4). Results implied the reading of 5000 raw figures and were fortified by the data captured by two automatic gas analysers. Under the guidance of their teachers, the students had several opportunities to practice with many basic and applied study areas and were initiated into the scientific method in a simple and absorbing manner. Biological and chemical data were in good relationship and were treated with geostatistical methods; results were exposed in the form of cartographic restitutions. Though primarily an educational exercise, the survey provided sound research elements and the picture of pollution that emerged has increased the knowledge of air quality in the area. Biomonitoring is confirmed to be a powerful tool to involve young people in key educational topics.

* Presentato a 3rd World Environmental Education Congress, Torino, Oct. 2-6, 2005

1. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
E-mail: cristina.nali@agr.unipi.it



Le attività dell'IPP-CNR nello studio dell'ozono e dei suoi effetti sulle foreste

E. Paoletti¹

Da oltre 25 anni, l'Istituto per la Protezione delle Piante del Consiglio Nazionale delle Ricerche si occupa degli effetti di *stress* abiotici sulla vegetazione, in particolare inquinamento e cambiamento climatico. L'inquinante più interessante per i suoi effetti sulla vegetazione e le sue relazioni col cambiamento climatico è l'ozono troposferico. I cambiamenti climatici, soprattutto l'aumento della temperatura e della radiazione, promuovono l'aumento delle concentrazioni atmosferiche di ozono, in presenza dei precursori. A sua volta, un elevato livello di base di ozono influenza il clima sia direttamente, in quanto l'ozono è esso stesso un potente gas serra, sia indirettamente, in quanto l'ozono va ad influenzare la concentrazione di altri gas serra come il metano. I Paesi mediterranei costituiscono l'area europea a maggior rischio e sono anche particolarmente esposti alle conseguenze del cambiamento climatico. L'Italia è uno dei Paesi mediterranei più attivi nello studio degli effetti dell'ozono sulle foreste. Il presente contributo riassume i settori di indagine attualmente in corso presso l'IPP-CNR su questo tema, in particolare: (1) definizione dei livelli di ozono in aree remote; (2) relazioni dose-risposta in specie legnose mediterranee; (3) risposte stomatiche all'ozono; (4) misura diretta dell'assorbimento stomatico di ozono; (5) risposte all'ozono in ambienti arricchiti in CO₂; (6) analisi dei meccanismi biochimici di detossificazione e riparazione del danno; (7) uso di etilendiurea in esperimenti a lungo termine; (8) misura dei flussi di ozono tramite *eddy covariance*.

1. IPP-CNR, Sesto Fiorentino, Firenze
E-mail: e.paoletti@ipp.cnr.it

Influenza dell'ozono sull'interazione pianta-insetto: il caso di *Melasoma populi* L. (Coleoptera Chrysomelidae) e pioppo

E. Pellegrini¹, C. Nali¹, A. Francini¹, B. Conti¹, G. Lorenzini¹

Negli ultimi anni, un elevato numero di studi sperimentali ha preso in considerazione l'effetto dell'inquinamento atmosferico sulla relazione pianta-insetto. Nel presente lavoro, è stata esaminata l'interazione tra *Melasoma populi* e piante di pioppo (*Populus deltoides x maximowiczii*, clone Eridano, sensibile all'O₃ e *P. deltoides*, clone I-214, resistente all'O₃). Le piante sono state allevate sino al completo sviluppo della sesta foglia ed esposte a trattamento (80 ppb O₃, 5 h) per 10 giorni consecutivi in ambiente controllato. L'effetto dell'O₃ sulla scelta e sulla preferenza di cibo da parte dell'insetto delle prime sei foglie dei due cloni considerati, è stato valutato mediante i saggi "choice" e "no choice" test. Nel primo caso, i risultati mostrano che nel clone I-214, le foglie apicali (trattate e non) risultano essere quelle maggiormente appetite (in media +47%) e consumate (in media +54%) rispetto a quelle basali. In Eridano, la foglia più giovane (numero 6) è quella che maggiormente subisce l'effetto della fumigazione; per essa si registra un incremento nella percentuale di scelta e di consumo superiore al 70%. Nel no choice test, il trattamento su I-214 influenza solo in minima parte la performance dell'insetto (i valori di RGR variano in media del 15% nelle foglie più giovani); in Eridano, le foglie sono maggiormente appetite (incremento in media del 40% e del 30% dei valori rispettivamente di RGR e di RCR nelle piante trattate). Dall'analisi del contenuto in proteine e fenoli totali, è possibile rilevare che l'inquinante induce dei marcati cambiamenti metabolici, quali una riduzione del contenuto in proteine (in media -35%) ed un significativo aumento del contenuto in fenoli (+25%), che possono essere considerati una delle cause principali della differente performance dell'insetto.

1. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
E-mail: epellegrini@agr.unipi.it

Risposte fotosintetiche di varietà di grano duro esposte a fumigazione cronica con ozono

V. Picchi¹, C. Nali¹, A. Francini¹, G. Lorenzini¹

Due varietà italiane di grano duro (*Triticum durum* Desf.), Mongibello e Claudio, sono state allevate in camere di fumigazione dalla fase di emergenza fino alla maturità della cariosside ed esposte a 80 ppb di O₃ (tutti i giorni della settimana, dalle 10,00 alle 15,00). Già a partire dalla fase di accestimento, Mongibello mostrava una maggiore riduzione dell'attività fotosintetica rispetto a Claudio (-44,7 e -12,7%, rispettivamente). Durante l'emergenza dell'infiorescenza, soltanto in Mongibello si riscontrava un decremento significativo dell'attività fotosintetica (-15,6%) e di conduttanza stomatica (-33,7%), mentre in Claudio si evidenziava una costante diminuzione del contenuto in clorofille (*a* e *b*) e in β-carotene. In Mongibello, l'O₃ determinava una riduzione significativa dell'incremento di biomassa nel periodo compreso tra l'emissione dell'infiorescenza e la maturità della cariosside, con il risultato che le dimensioni delle piante apparivano significativamente ridotte rispetto a quelle dei controlli. Alla raccolta, la valutazione dei parametri di produttività rivelava una maggiore diminuzione del numero di cariossidi per spiga nelle piante ozonate della varietà Mongibello, rispetto a quelle della varietà Claudio (-40,0 e -28,6%, rispettivamente). Inoltre, solo Mongibello mostrava una riduzione significativa del peso secco delle cariossidi per pianta e delle spighe per spiga. Non è stato, invece, evidenziato alcun effetto negativo dell'inquinante sul peso secco delle foglie e dei culmi o sul numero di spighe per pianta. I risultati evidenziano quindi la differente risposta di queste due varietà ed una più elevata sensibilità all'ozono di Mongibello che potrebbe essere dovuta a: *i*) maggiore sensibilità in termini di crescita durante il periodo critico tra l'emissione dell'infiorescenza e la maturità della cariosside; *ii*) diminuzione della *performance* fotosintetica a partire dallo stadio di accestimento fino all'emissione dell'infiorescenza; *iii*) mancato utilizzo dei pigmenti fotosintetici come antiossidanti.

1. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa
E-mail: giacomo.lorenzini@agr.unipi.it

Monitoraggio degli effetti dell'ozono sulla vegetazione forestale di un'area CONECOFOR: il Parco Nazionale del Circeo

E. Salvatori¹, F. Manes¹, M. Vitale¹

Vengono presentati i risultati preliminari della campagna di misura condotta su *Quercus ilex* e *Fraxinus ornus* negli anni 2005-06. Si evidenzia la diversa capacità delle due specie di fronteggiare lo *stress* idrico, come mostrato dall'andamento dei parametri di scambio gassoso e dalla relazione conduttanza stomatica-potenziale idrico di *pre-dawn*. La sensibilità della conduttanza stomatica alle condizioni di *stress* idrico sembra essere particolarmente elevata per l'orniello rispetto al leccio, manifestandosi in una rapida chiusura stomatica e parallelamente in una marcata riduzione dei valori di potenziale idrico. Il leccio non mostra danni visibili indotti dall'azione fitotossica dell'ozono, mentre l'orniello presenta lievi alterazioni macroscopiche della superficie fogliare. La presenza di danni *ozone-like* nell'orniello suggerisce una minore abilità detossificante rispetto al leccio, anche in base all'assenza di emissione di BVOC. La massima resa quantica del PSII (F_v/F_m) non risulta essere un parametro descrittivo delle alterazioni indotte dall' O_3 a livello fogliare per le due specie, sebbene l'orniello mostri una maggiore variabilità. I risultati sopra esposti evidenziano la difficoltà di stabilire una relazione causa-effetto tra la presenza dell' O_3 nell'area di studio e gli effetti da esso indotti sulla vegetazione naturale.

1. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università "La Sapienza", Roma
E-mail: fausto.manes@uniroma1.it

La proteomica nella risposta differenziale all'ozono di cloni di trifoglio

S. Stefanini¹, L. Guglielminetti¹, C. Nali², G. Lorenzini², A. Alpi¹

L'ozono è uno degli inquinanti atmosferici più fitotossici e la sua concentrazione nella troposfera è significativamente aumentata negli ultimi decenni. I livelli ambientali di questo inquinante nei paesi industrializzati spesso superano la soglia di tolleranza di molte specie vegetali, causando *stress* ossidativi nelle piante. La sua tossicità è legata all'aumento delle specie reattive dell'ossigeno nell'apoplasto. L'ozono, e i radicali liberi derivati, ossidano le biomolecole e determinano una attivazione di risposte di difesa da parte degli organismi vegetali. Per questo motivo, le piante hanno evoluto meccanismi fisiologici e biochimici di tolleranza o resistenza atti a ridurre gli effetti di tale *stress*. Infatti, la presenza di elevati livelli di specie attive dell'ossigeno induce la sintesi di molecole antiossidanti, tra cui l'ascorbato, le poliammine, il glutatione, i fenilpropanoidi e i carotenoidi. La sensibilità all'ozono è diversa non solo tra specie e specie, ma anche tra cultivar o ecotipi o cloni, anche se i meccanismi che comportano tali differenze non sono completamente chiari. Per tale motivo, abbiamo analizzato l'effetto dell'ozono (200 ppb, 5h) sul *pattern* proteico di due cloni di trifoglio (*Trifolium repens* cv. Regal, NC-R e NC-S), uno resistente e uno sensibile a tale trattamento. I risultati ottenuti hanno evidenziato che i *pattern* proteici dei campioni presentano alcuni *spot* non comuni. In particolare, nel *pattern* proteico di NC-R abbiamo riscontrato *spot* specifici, già presenti prima dell'esposizione delle piante all'ozono, che venivano fortemente indotti a seguito del trattamento stesso, facendo ipotizzare un loro ruolo nella resistenza allo *stress*. Per tale motivo, sono in corso prove di identificazione di tali *spot* attraverso la spettrometria di massa (MALDI-Tof).

1. Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa

2. Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa

E-mail: lgugliel@agr.unipi.it

Influenza dell'ozono sulla gestione sostenibile del sistema agricolo e forestale lombardo

A. Tagliaferri¹, D. Berizzi¹, L. Crateri¹, M. Colli¹, A. Gubertini¹, A. Ballarin Denti², G. Gerosa², A. Finco², F. Bussotti³, F. Faoro^{4,5}, M. Iriti^{4,5}, M. Saracchi⁵, C. Belis⁶, A. De Martini⁶, A. Buffoni⁷, M. Mangoni⁷, M. Ferretti⁸, A. Cozzi⁸, R. Colombo⁹, M. Meroni⁹, S. Cieslik¹⁰

Alcune evidenze caratterizzano la Lombardia: livelli elevati di inquinamento fotochimico in certi boschi regionali largamente superiori ai livelli di rischio; sintomi da ozono su specie spontanee sensibili; alte concentrazioni di azoto nelle deposizioni e nelle foglie nelle aree della rete ConEcoFor. Il principale obiettivo del progetto è quello di ottenere stime attendibili per valutare il danno reale e potenziale dell'ozono sulla vegetazione agricola e forestale, individuando utili fattori di correzione da introdurre nei sistemi di coltivazione agronomica e di gestione forestale. Un secondo obiettivo riguarda la messa a punto di sistemi di valutazione della qualità dell'aria in riferimento agli effetti sugli ecosistemi, alla luce dell'attuale normativa e del confronto in atto, a livello europeo, sulla revisione della Direttiva UE 2002/03. Le attività condotte riguardano: *i*) la quantificazione della dose di ozono realmente assorbita da parte dei cereali autunno/vernini e delle leguminose foraggere; *ii*) la valutazione dell'entità della divergenza tra l'esposizione calcolata come AOT40 e i flussi di ozono misurati; *iii*) la validazione dei sintomi visibili; *iv*) l'individuazione di metodologie di diagnosi precoce del danno prima della comparsa di sintomi per mezzo di indagini istochimiche e istologiche; *v*) l'utilizzo di *biomarker*.

-
1. Ente regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, Regione Lombardia
 2. Dipartimento di Matematica e Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Brescia
 3. Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Firenze
 4. CNR, Istituto di Virologia Vegetale, Milano
 5. Istituto di Patologia Vegetale, Università di Milano
 6. ARPA Lombardia
 7. Istituto di Ricerche Ambiente Italia, Milano
 8. Linnaea Ambiente, Firenze
 9. Laboratorio Telerilevamento Dinamiche Ambientali, DISAT, Università di Milano-Bicocca
 10. IES-JRC, Ispra (VA)
- E-mail: Antonio.Tagliaferri@ersaf.lombardia.it

Cento scienziati per la ricerca sugli effetti dell'ozono troposferico sulla vegetazione

Risoluzione adottata al termine dell'incontro "Ozono e vegetazione: il contributo della ricerca italiana"

San Piero a Grado, Pisa, 24 Novembre 2006

Il 24 Novembre 2006 si sono riuniti a Pisa oltre 100 ricercatori provenienti da Università, Agenzie ed Enti di ricerca pubblici e privati attivi sul tema "Ozono e vegetazione". A fronte della letteratura scientifica esistente, dei risultati dei progetti ad oggi sviluppati, delle comunicazioni presentate e della discussione portata avanti durante l'incontro, i partecipanti alla riunione sono d'accordo sui seguenti punti.

1. Ad oggi, l'ozono è il contaminante gassoso potenzialmente più pericoloso per la vegetazione per entità di diffusione geografica, livelli registrati e previsioni di aumento. Le concentrazioni registrate nelle aree coltivate e nelle zone boscate in Italia eccedono largamente i limiti fissati in sede internazionale (UE e UN/ECE) e sono tali da giustificare preoccupazioni per un possibile impatto sulla quantità e qualità della produzione agricola, le condizioni sanitarie dei boschi e la loro capacità di stoccare il carbonio atmosferico, la diversità della flora ed in definitiva la stabilità degli ecosistemi agroforestali.
2. L'azione nociva dell'ozono sulla vegetazione dipende anche da fattori ambientali (clima, suolo, altre sorgenti di inquinamento) in grado di aumentarne e/o mitigarne la portata. Tali fattori possono essere particolarmente importanti nelle condizioni ecologiche italiane.
3. A fronte di queste evidenze documentate occorre tuttavia rilevare che:
 - i)* i dati sulle concentrazioni di ozono in aree rurali sono ancora incompleti e larghe parti del Paese, specialmente al Sud, sono ignorate dalle reti di monitoraggio;
 - ii)* mancano sia dati completi che una comprensione piena dei fattori coinvolti nel determinare l'entità dell'impatto sulla vegetazione; per cui, in sintesi
 - iii)* manca, ad oggi, una stima quantitativa attendibile del reale impatto dell'ozono sulla vegetazione in Italia, in termini sia ecologici che economici.
4. Occorre quindi promuovere una serie di attività co-ordinate per cui:
 - i)* venga favorito lo scambio di informazioni tra ricercatori;
 - ii)* venga disegnata una strategia nazionale di studio e conseguentemente



iii) venga proposto un set coordinato di esperimenti, indagini di campagna e laboratorio e monitoraggio tale da favorire la complementarità dei risultati.

5. Riteniamo, quindi, che le autorità politiche ed amministrative deputate alla gestione del problema “ozono troposferico” debbano farsi carico di considerare le questioni sopra esposte. In quest’ottica, la Rete Informativa su Ozono e Vegetazione (RIO₃-VEG) si propone come *forum* entro al quale possa essere delineata e sviluppata a livello scientifico una strategia coordinata di ricerca e monitoraggio.

Informazioni:

Marco Ferretti, ferretti@terradata.it

http://www.avanzi.unipi.it/ricerca/convegni/ozono_e_vegetazione/ozono_e_vegetazione.htm

<http://www.ipp.cnr.it/paoletti/page21.html>

Elenco dei partecipanti

Cognome e Nome	Ente	E-mail
Alpi Amedeo	Università Pisa	aalpi@agr.unipi.it
Andrei Sara	Linnaeambiente Ricerca Applicata Firenze	linnaea@linnaea.it
Avino Pasquale	Università La Sapienza, Roma	pasquale.avino@uniroma1.it
Bacaro Giovanni	Università Siena	bacaro@unisi.it
Badiani Maurizio	Univ. Mediterranea della Calabria (RC)	mbadiani@unirc.it
Ballarin Denti Antonio	Univ. Cattolica del Sacro Cuore, Brescia	a.ballarindenti@dmf.unicatt.it
Barsanti Paolo	ENEA Pisa	barsanti@enea.pisa.it
Bartolini Stefano	Arpat Firenze	s.bartolini@arpat.toscana.it
Berizzi Donella	ERSAF Milano	donella.berizzi@ersaf.lombardia.it
Biagioni Massimo	Università Pisa	mbiagioni@avanzi.unipi.it
Bianchi Tommaso	ARPAT Pistoia	t.bianchi@arpat.toscana.it
Biscarini Elena	Università Perugia	elena.biscarini@gmail.com
Bonciarelli Luca	Università Perugia	boncia62@hotmail.com
Borgogni Andrea	Università Perugia	borgogniandrea@hotmail.com
Bou Jaude Maher	CRA-ISA Bari	Maher.Buojaude@entecra.it
Brunialti Giorgio	TerraData environmetrics Siena	brunialti@terradata.it
Buffa Giorgio	Università Torino	giorgio.buffa@unito.it



Cognome e Nome	Ente	E-mail
Bullo Maria Elisa	Università Pisa	elibullo2002@yahoo.it
Buonaurio Roberto	Università Perugia	buonaurio@unipg.it
Bussotti Filippo	Università Firenze	filippo.bussotti@unifi.it
Calderisi Marco	TerraData environmetrics Siena	calderisi@terradata.it
Calfapietra Carlo	Università della Tuscia (VT)	carloalf@unipus.it
Campanella Alessandra	Università Pisa	ale.campanella@yahoo.it
Campani Carlo	Arpat Firenze	c.campani@arpat.toscana.it
Capretti Paolo	Università Firenze	paolo.capretti@unifi.it
Castagna Antonella	Università Pisa	castagna@agr.unipi.it
Cherubini Paolo	Federal Research Institute WSL Birmensdorf (Svizzera)	cherubini@wsl.ch
Chini Marco	ARPAT Livorno	m.chini@arpat.toscana.it
Ciambottini Maria Elena	Università Perugia	ciambojumbo@libero.it
Cieslik Stanislaw	JRC Ispra (VA)	stanislaw.cieslik@jrc.it
Coli Antonio	Università Pisa	coli@avanzi.unipi.it
Colombo Roberto	Università Milano Bicocca	roberto.colombo@unimib.it
Conti Barbara	Università Pisa	bconti@agr.unipi.it
Contini Simone	GAIA Servizi Pisa	simocont@alice.it
Contran Nicla	Università Milano Bicocca	nicla.contran@unimib.it

Cognome e Nome	Ente	E-mail
Cristofori Antonella	Istituto Agrario San Michele all'Adige (TN)	antonella.cristofori@iasma.it
De Angelis Paolo	Università della Tuscia (VT)	pda@unitus.it
De Marco Alessandra	ENEA Roma	alessandra.demarco@casaccia.enea.it
Degl'Innocenti Elena	Università Pisa	edeglinnocenti@agr.unipi.it
Del Carlo Alessandra	Università Pisa	alessandradelcarlo@virgilio.it
Desotgiu Rosanna	Università Firenze	rosanna.desotgiu@unipi.it
Di Baccio Daniela	Scuola Superiore Sant'Anna Pisa	dibaccio@sssup.it
Durante Mauro	Università Pisa	mdurante@agr.unipi.it
Ederli Luisa	Università Perugia	lederli@unipg.it
Fagnano Massimo	Università Napoli "Federico II"	fagnano@unina.it
Faoro Franco	Università Milano	franco.faoro@unimi.it
Fares Silvano	CNR-IBAF Roma	silvano.fares@ibaf.cnr.it
Feducci Matteo	Università Firenze	devil.tora@alice.it
Ferrara Anna Maria	IPLA Torino	ferrara@ipla.it
Ferrara Rossana Monica	CRA- ISA Bari	rossana.ferrara@entecra.it
Ferretti Marco	TerraData environmetrics Siena	ferretti@terradata.it
Finco Angelo	Univ. Cattolica del Sacro Cuore, Brescia	angelo.finco@unicatt.it
Frati Luisa	TerraData environmetrics Siena	frati@terradata.it



Cognome e Nome	Ente	E-mail
Galoppini Carlo	Accademia dei Georgofili, Firenze	
Geri Valentina	Università Pisa	valentinageri@virgilio.it
Gerosa Giacomo	Univ. Cattolica del Sacro Cuore, Brescia	giacomo.gerosa@unicatt.it
Gottardini Elena	Istituto Agrario San Mi- chele all'Adige (TN)	elena.gottardini@iasma.it
Guglielminetti Lorenzo	Università Pisa	lgugliel@agr.unipi.it
Guidi Elisa	Università Pisa	elisaguidi@tin.it
Guidi Lucia	Università Pisa	guidilu@agr.unipi.it
Iriti Marcello	Università Milano	marcelloiriti@unimi.it
Landi Ulisse	Arpat Massa	u.landia@arpat.toscana.it
Lazzaroni Federico	GAIA Servizi Pisa	f.lazzaroni@libero.it
Lazzerini Eddi	Università Pisa	eddi5@supereva.it
Locando Elisa	Università Firenze	eli.loca@libero.it
Lorenzini Giacomo	Università Pisa	giacomo.lorenzini@agr.unipi.it
Loreto Francesco	CNR-IBAF Roma	francesco.loreto@ibaf.cnr.it
Lupi Andrea	ARPAT Firenze	a.lupi@arpat.toscana.it
Maffi Dario	Università Milano	dario.maffi@unimi.it
Maggio Albino	Università Napoli "Fede- rico II"	albino.maggio@unina.it
Mainardi Marco	Università Pisa	mmainardi@avanzi.unipi.it

Cognome e Nome	Ente	E-mail
Manes Fausto	Università La Sapienza, Roma	fausto.manes@uniroma1.it
Mangoni Monica	Istituto Ricerche Ambien- te Italia, Milano	monica.mangoni@fastwebnet.it
Mastrorilli Marcello	CRA-ISA Bari	marcello.mastrorilli@entecra.it
Meroni Michele	Università Milano Bi- cocca	michele.meroni@unimib.it
Minnocci Antonio	Scuola Superiore Sant'Anna Pisa	minnocci@sssup.it
Nali Cristina	Università Pisa	cristina.nali@agr.unipi.it
Novak Kristopher	Swiss Federal Research Station Reckenholz Tänikon (Svizzera)	kris.novak@art.admin.ch
Paoletti Elena	CNR-IPP Firenze	e.paoletti@ipp.cnr.it
Parodi Alessandra	ARPA Piemonte	alessandra.parodi@arpa.piemonte.it
Pasqualini Stefania	Università Perugia	spas@unipg.it
Pecchia Susanna	Università Pisa	specchia@agr.unipi.it
Perioli Riccardo	Università Pisa	rperioli@avanzi.unipi.it
Perotti Maurizio	CESI Milano	mperotti@cesi.it
Picchi Valentina	Università Pisa	vpicchi@agr.unipi.it
Piccotto Massimo	Università Trieste	mpiccotto@units.it
Pistelli Laura	Università Pisa	pistelli@agr.unipi.it
Pollastrini Martina	Università Firenze	tinaranger@virgilio.it
Racalbuto Stefania	ENEA Roma	racalbuto@casaccia.enea.it



Cognome e Nome	Ente	E-mail
Rana Gianfranco	CRA-ISA Bari	gianfranco.rana@entecra.it
Ranieri Annamaria	Università Pisa	aranieri@agr.unipi.it
Ricci Anna	Università Perugia	annaricci83@freemail.it
Rivella Enrico	Arpa Piemonte	e.rivella@arpa.piemonte.it
Rossini Micol	Università Milano Bicocca	micol.rossini@unimib.it
Salvatori Elisabetta	Università La Sapienza, Roma	elisabetta.salvatori@uniroma1.it
Santini Luciano	Università Pisa	lsantini@agr.unipi.it
Saracchi Marco	Università Milano	marco.saracchi@unimi.it
Sarti Cinzia	Linnaeambiente Ricerca Applicata Firenze	c.sarti@linnaea.it
Sebastiani Luca	Scuola Superiore Sant'Anna Pisa	sebast@sssup.it
Sighicelli Maria	ENEA Frascati	sighicel@frascati.enea.it
Silvestri Leonardo	Università Perugia	leosilv@tiscali.it
Stefanini Sara	Università Pisa	sstefanini@agr.unipi.it
Tagliaferri Antonio	ERSAF Milano	antonio.tagliaferri@ersaf.lombardia.it
Tonutti Pietro	Scuola Superiore Sant'Anna Pisa	pietro.tonutti@sssup.it
Vitale Marcello	Università La Sapienza, Roma	marcello.vitale@uniroma1.it

Indice degli Autori

Alpi A.	93	Lorenzini G.	51; 55; 60; 80; 83; 88; 90; 91; 93
Andrei S.	50	Loreto F.	65; 67
Avino P.	47	Lupi A.	50
Badiani M.	41; 55	Maggio A.	73; 86
Ballarin Denti A.	33; 60; 66; 84; 94	Manes F.	17; 67; 87; 92
Belis C.	94	Mangoni M.	48; 94
Berizzi D.	94	Manigrasso M.	47
Bernardi R.	55; 80	Manning W.J.	78
Biscontini D.	87	Marzuoli R.	60; 66; 84
Bou Jaoudè M.	56	Merola G.	81
Buffoni A.	48; 94	Meroni M.	60; 94
Bussotti F.	58; 60; 66; 82; 94	Migliorati L.	84
Castagna A.	64; 77; 78	Minnocci A.	59
Cherubini P.	29	Nali C.	11; 49; 51; 55; 60; 80; 83; 88; 90; 91; 93
Cieslik S.	72; 84; 94	Nenti A.	50
Cogliati S.	60	Panigada C.	60
Colli M.	94	Paoletti E.	63; 72; 78; 79; 89
Colombo R.	60; 94	Pasqualini S.	55
Conti B.	10	Pecchia S.	85
Contran N.	78; 79	Pellegrini E.	83; 90
Costa A.	77	Petriccione B.	82
Cozzi A.	94	Picchi V.	60; 91
Crateri L.	94	Pugliesi C.	55
Degl'Innocenti E.	85	Racalbuto S.	63
De Marco A.	82; 63	Rana G.	56; 73
De Martini A.	94	Ranieri A.	55; 64; 77; 78
De Pascale S.	86	Rizzo M.	80
Desotgiu R.	66	Rocchini D.	50; 82
Di Baccio D.	59	Rossini M.	60
Durante M.	55; 80	Salvatori E.	67; 87; 92
Fagnano M.	72; 73; 81; 86	Salvini M.	80
Faoro F.	51; 60; 94	Saracchi M.	94
Fares S.	65; 67	Saviozzi A.	55
Ferrara A.M.	57	Screpanti A.	63
Ferretti M.	11; 50; 71; 82; 94	Sebastiani L.	55; 59
Finco A.	84; 94	Spaziani F.	57
Francini A.	83; 90; 91	Stefanini S.	93
Gatti E.	60	Tagliaferri A.	48; 60; 94
Gerosa G.	51; 60; 66; 82; 84; 94	Tagliaferro F.	57; 78
Grechi D.	50	Tognetti R.	59
Gubertini A.	94	Violetto G.	63
Guglielminetti L.	93	Viotto E.	57
Guidi L.	55; 85	Wildt J.	65
Günthardt-Goerg M.S.	79	Vitale M.	67; 87; 92
Iriti M.	51; 60; 94	Vollenweider P.	79
Lazzaroni F.	50		



Felici Editore

Finito di stampare nel mese di novembre 2007



9 788860 191663