



Livelli critici di ozono ed effetti sulle piante in Italia

ENEA

ENTE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E L'AMBIENTE



*Ministero dell' Ambiente
e della Tutela del Territorio*

Introduzione

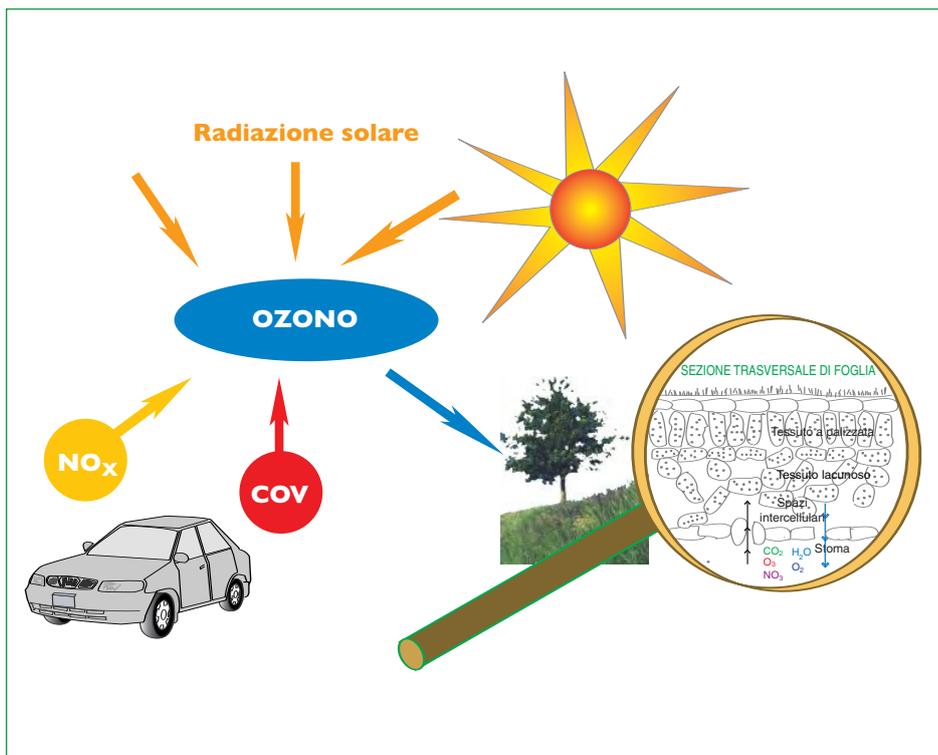
Come è noto, l'ozono può trovarsi sia nei livelli più alti dell'atmosfera (stratosfera), che nei livelli più bassi (troposfera). Nel primo caso l'ozono ha un'azione favorevole alla vita in quanto funziona da filtro riducendo il passaggio dei raggi ultravioletti. Nel secondo caso, invece, ha un effetto sfavorevole sulla salute dell'uomo, dei vegetali e degli animali.

L'ozono presente al livello del suolo è stato oggetto negli ultimi anni di un crescente interesse a causa dell'incremento delle sue concentrazioni.

Nel bacino del Mediterraneo, in particolare, durante la stagione calda, tale inquinante rappresenta l'agente gassoso più significativo tra gli ossidanti fotochimici presenti nella troposfera, in relazione alle particolari condizioni meteorologiche di quest'area, caratterizzata da temperature elevate ed intensa radiazione solare associate alla presenza di rilevanti emissioni di ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (COV), i quali interagiscono tra loro determinando la formazione e l'accumulo di ozono (O_3) e nitrato di perossiacetile (PAN).

I danni provocati dall'ozono hanno, in alcune aree del mondo, pesanti ripercussioni oltre che di carattere ambientale anche di tipo economico; esso rappresenta, infatti, in vaste aree dell'Europa e del continente nordamericano una minaccia non soltanto per la vegetazione naturale ma anche per le colture agrarie erbacee ed arboree. Questo inquinante, che ha raggiunto attualmente elevate concentrazioni in vaste aree del mondo industrializzato, può interferire con i meccanismi fisiologici e biochimici di sviluppo delle piante e produrre elevate perdite di raccolto e danni visibili che rendono le colture non sfruttabili commercialmente.

Ricondurre le eccedenze dell'ozono al di sotto di soglie di tollerabilità rappresenta pertanto un obiettivo primario, sottolineato peraltro dalle politiche che la comunità internazionale sta adottando. Altrettanto prioritaria è l'individuazione di tali soglie di tollerabilità, dalle quali discende l'entità delle riduzioni delle



L'ozono si forma in atmosfera in condizioni di intensa radiazione solare associata a rilevanti emissioni di NO_x e COV. La sua presenza a livello del suolo è causa di danni all'ambiente ed alla salute umana



L'ozono rappresenta un fattore di rischio per le colture agrarie in quanto produce danni e cali di resa nei raccolti (nella foto, veduta di campi di grano nel Pollino, Basilicata, Italia)

emissioni degli inquinanti precursori dell'ozono che dovranno essere perseguite e i relativi costi economici e sociali.

Questo opuscolo, realizzato dall'ENEA, illustra i risultati di uno studio condotto dall'Università "La Sapienza" di Roma, dall'Università "Federico II" di Napoli e dal CESI di Milano, nell'ambito dell'accordo di Programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e l'ENEA, con l'obiettivo di determinare l'incidenza dei parametri ambientali sulla risposta delle piante all'ozono in Italia.

Lo studio è stato svolto nell'ambito di uno dei programmi di ricerca internazionali della Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE; United Nations Economic Commission for Europe) volti a stimare - con l'impiego di metodologie standardizzate - l'impatto dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi, sulla vegetazione naturale e coltivata, sui laghi, sui fiumi, sui monumenti e sulla salute dell'uomo.

Il Programma in questione, Programma Cooperativo Internazionale sugli effetti dell'inquinamento dell'aria e di altri stress su specie agrarie e piante non forestali (ICP-Crops, oggi ICP-Vegetation) è nato nel 1988. Nell'ambito del Programma ICP-Vegetation molte piante coltivate (tabacco, fagiolo, ravanella, pomodoro, grano, trifoglio) sono state utilizzate come "bioindicatori" dell'ozono troposferico. Molte di queste specie sono infatti risultate sensibili all'ozono; esposizioni croniche di ozono producono su di esse un danno visibile evidente ed una diminuzione del raccolto. Pertanto, tali piante, esposte nel sito di interesse in condizioni standardizzate ("bioindicazione attiva"), indicano, attraverso la manifestazione di sintomi specifici, la presenza e la distribuzione di ozono nell'ambiente e forniscono elementi utili per la definizione delle dosi critiche per le colture agrarie e la vegetazione naturale.

Nello studio di cui si riportano i risultati sono state esposte all'ozono in alcune località rappresentative delle condizioni meteo climatiche caratteristiche della penisola italiana due piante appartenenti a cloni di *Trifolium repens* L. cv. Regal, uno sensibile ed uno resistente all'ozono.

I risultati della campagna sperimentale hanno dimostrato la gravità del danno causato dall'ozono alle piante e la necessità di ulteriori approfondimenti e ricerche per tenere conto dell'incidenza dei fattori ambientali, in particolar modo la temperatura e la disponibilità idrica, per una corretta modulazione del danno da ozono.

Effetti dell'ozono sulle piante coltivate

Alcune specie di piante coltivate, come tabacco, pomodoro, fagiolo, frumento e trifoglio, sono particolarmente sensibili all'ozono, mentre altre non sembrano registrare sintomi di danno. Inoltre, per alcune specie, è stata evidenziata una diversa risposta in relazione alla varietà: cultivar resistenti all'ozono sono segnalate, ad esempio, per tabacco, fagiolo e trifoglio.

In Italia meridionale è stato constatato che piante del clone di trifoglio sensibile presentano, rispetto al clone resistente, un minor numero di foglie per pianta, una maggiore superficie delle singole foglie, un minore spessore delle foglie (rapporto tra peso e superficie delle foglie), un aumento della traspirazione per unità di superficie fogliare e una minore efficienza dell'uso dell'acqua.

Uno studio condotto nell'Italia centrale sul tabacco e sul ravenello ha consentito di rilevare un aumento dell'indice del danno fogliare sul tabacco ed una alterazione della crescita nel ravenello. In studi condotti a Roma e Milano su due cloni di trifoglio, uno sensibile e l'altro resistente all'ozono, è stata evidenziata l'importanza della temperatura come fattore di modulazione della risposta delle piante all'ozono ed è stato evidenziato come l'azione della temperatura si manifesti in modo differente nei due cloni.

I danni da ozono alla vegetazione sono relativi alla diminuzione della conducibilità stomatica che, se da un lato può far diminuire l'accesso dell'ozono all'interno della foglia, sicuramente determina una riduzione degli scambi gassosi e della fotosintesi, con conseguente riduzione della crescita della pianta.

È stata anche notata una alterazione della fluorescenza della clorofilla *a* e la formazione sulla superficie fogliare di macchie clorotiche internervali di ridotte dimensioni che, fondendosi tra di loro, danno origine a macchie di maggiori dimensioni che possono attraversare l'intero spessore della lamina fogliare.

Le macchie possono assumere diverse colorazioni, dipendenti sia dalle caratteristiche cromogene delle piante che dalla durata dell'esposizione e dall'età delle foglie esposte. La presenza di numerose macchie determina precoce senescenza e caduta delle foglie con la conseguente riduzione della superficie fotosintetizzante.



Danni visibili da ozono su foglie appartenenti al clone sensibile di trifoglio bianco (*Trifolium repens* L. cv. Regal)

Influenza dei fattori climatici sulla risposta delle specie vegetali all'ozono

La risposta delle piante alle variazioni dei fattori ambientali è dipendente e modulata sia da caratteristiche interne che da numerosi fattori di crescita esterni. Fattori climatici come la temperatura, l'umidità relativa, la velocità del vento e la radiazione solare, fattori edafici come l'umidità del terreno e l'apporto di nutrienti, nonché le infezioni dei patogeni, sono tra i maggiori fattori di crescita esterni che influenzano la sensibilità delle piante all'ozono: questi e altri fattori interagiscono creando un



La stagione estiva è caratterizzata in Italia da condizioni di stress idrico che determinano, a parità di concentrazioni di ozono, un danno minore (nella foto, particolare dei suoli di S. Angelo dei Lombardi)

complesso sistema che può mascherare la reale natura dell'influenza dell'ozono sulle piante.

È ampiamente riconosciuto che i fattori climatici influenzano la dose di inquinante che le piante assumono. Tra questi in particolare lo stress idrico che, riducendo la conduttanza stomatica e l'ingresso di ozono all'interno della foglia, determina anche una riduzione dei danni da ozono in diverse specie.

Di questo si tiene conto in una delle due principali metodologie (metodologia di Livello II) adottate in ambito internazionale per definire i livelli critici dell'ozono troposferico, cioè la concentrazione di ozono al di sopra della quale si verificano effetti dannosi sulla vegetazione.

Nella metodologia di Livello I viene definito un singolo livello critico, stabilito per proteggere le piante più sensibili a prescindere dalle condizioni ambientali.

Al contrario, nella metodologia di Livello II l'attenzione è posta nella definizione dell'influenza delle relazioni tra fattori ambientali e fisiologici sulla risposta delle piante all'ozono. Importanti fattori da considerare per definire i livelli critici in un approccio di questo tipo sono: la disponibilità idrica del suolo, la temperatura dell'aria, la conduttanza stomatica, il deficit di pressione di vapore acqueo (VPD).

Sia le prove sperimentali che i modelli matematici hanno ampiamente documentato l'influenza che fattori come il VPD, la temperatura, l'umidità relativa (UR) e la radiazione solare esercitano in tal senso, ma non è sempre chiaro il peso relativo dei vari fattori, né è sempre lineare la relazione tra variazione dei diversi parametri e variazioni nella risposta delle piante all'inquinante.

Per quanto riguarda la temperatura, è risultato chiaro che il diverso grado di sensibilità delle piante all'ozono non può essere attribuito solo a variazioni della temperatura diurna poiché le temperature giornaliere sono caratterizzate anche da diversi regimi notturni. La temperatura a cui di solito si fa riferimento è quella a cui le piante sono sottoposte durante l'esposizione all'ozono, ma in esperimenti sulla soia anche la temperatura di crescita delle piante è risultata un fattore importante per determinare la sensibilità della pianta all'ozono. Modelli statistici a più variabili (ANN, Artificial Neural Network) hanno confermato che sia la temperatura media durante le ore di luce, sia la temperatura media delle ventiquattro ore influenzano la risposta delle piante all'ozono più delle temperature che si verificano durante i periodi a maggiore concentrazione di ozono.

Generalmente si ritiene che l'incremento della temperatura di esposizione possa portare ad un incremento del danno fogliare, ma in realtà la risposta varia a seconda delle specie e delle disponibilità idriche. Infatti, una dipendenza diretta aumento temperatura/aumento del danno è stata evidenziata per il trifoglio, una tendenza opposta è stata verificata più volte per il tabacco, mentre nel caso del fagiolo non si è avuta una risposta univoca.

La temperatura modifica i flussi di ozono sia con un'azione diretta sul funzionamento degli stomi, sia indirettamente tramite un'influenza sul VPD. Un decremento del VPD normalmente porta ad un incremento dell'apertura stomatica che consente un maggior flusso di ozono nella pianta e un maggior danno fogliare.

Politiche di controllo dell'ozono

Dati i rilevanti e riconosciuti danni che l'ozono è in grado di arrecare alla salute umana ed alla vegetazione, l'attenzione dei policy maker si è sempre più concentrata sul controllo di questo inquinante.

Per tenere conto dei suoi effetti, si considera un particolare indicatore, detto AOT - Accumulated exposure Over a Threshold, esposizione cumulata sopra una soglia - calcolato come sommatoria dei valori di concentrazione oraria eccedenti una determinata concentrazione di soglia.

In ambito UNECE è stata individuata come soglia per il danno alla vegetazione la concentrazione oraria di 40 ppb, valore oltre il quale le concentrazioni di ozono sono di chiara natura antropogenica, ben oltre i valori che caratterizzano l'ambiente naturale.

Il livello critico di ozono per le colture agrarie è espresso in termini di esposizione cumulata al di sopra di concentrazioni di 40 ppb (AOT40), calcolata nel seguente modo:

$$AOT40 = \sum_{i=1}^k h_i (C_i - 40 \text{ ppb}),$$

dove:

k = numero di ore nel periodo di tempo considerato

C_i = concentrazione oraria (ppb) dell'ora i

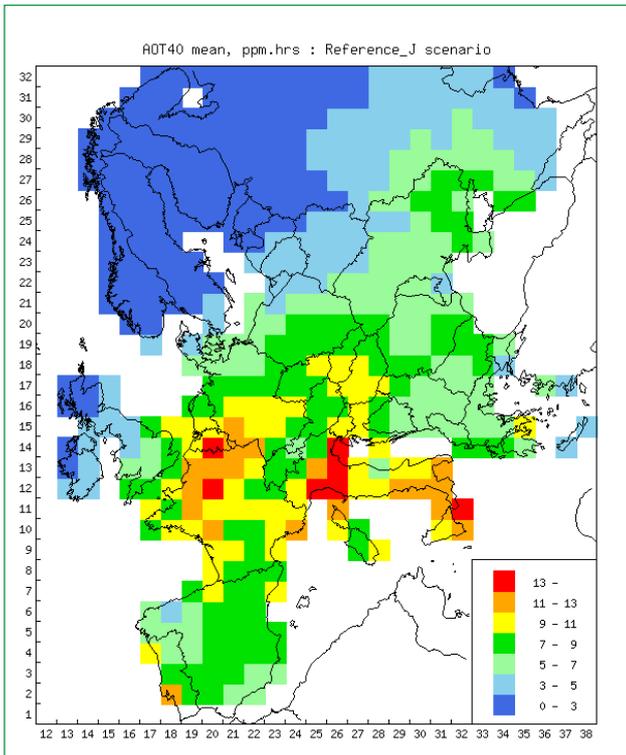
$$h_i = \begin{cases} 1 & \text{se } C_i > 40 \text{ ppb} \\ 0 & \text{se } C_i \leq 40 \text{ ppb} \end{cases}$$

Il livello critico di esposizione all'ozono è determinato, pertanto, in base al valore della dose cumulata di ozono eccedente la soglia di 40 ppb.

Sulla base dell'analisi dei dati raccolti in Europa dai gruppi di ricerca coordinati dall'UNECE è stato proposto quale valore limite per il danno da ozono alle colture agrarie un AOT40 pari a 3.000 ppb x h cumulato in 3 mesi e quale valore limite per il danno da ozono alle foreste un AOT40 pari a 10.000 ppb x h cumulato in 6 mesi.

Per riportare le eccedenze dell'ozono al di sotto del livello critico, sono state avviate numerose iniziative a livello internazionale.

Nell'ambito della Convenzione di Ginevra dell'UNECE sull'Inquinamento Atmosferico Transfrontaliero a lunga distanza, è stato firmato il 1° dicembre 1999 a Göteborg un protocollo sull'abbattimento dell'acidificazione, dell'eutrofizzazione e



dell'ozono al suolo che prevede consistenti riduzioni delle emissioni degli inquinanti precursori dell'ozono.

Nell'ambito della strategia comunitaria sull'ozono è stata proposta una direttiva sui tetti nazionali alle emissioni e una direttiva sulla qualità dell'aria relativa all'ozono. Entrambe le direttive sono ormai nella fase finale e la loro attuazione richiederà il varo di numerose misure di riduzione delle emissioni degli inquinanti che danno origine all'ozono.

Tutte queste iniziative sono basate su un approccio integrato che prevede l'adozione delle misure più efficaci in termini di costi da sostenere per ricondurre le eccedenze dei livelli critici al di sotto della soglia di tollerabilità.

È pertanto evidente l'importanza di una corretta determinazione della soglia di tollerabilità, in quanto da essa discende l'entità delle riduzioni delle emissioni da ottenere e, conseguentemente, i costi economici e sociali da sostenere.

Esempio di scenario calcolato dallo IIASA nell'ambito delle politiche di controllo dell'ozono (tratto dal sito web dello IIASA) rappresentante l'AOT40 medio (in ppm x h) in Europa

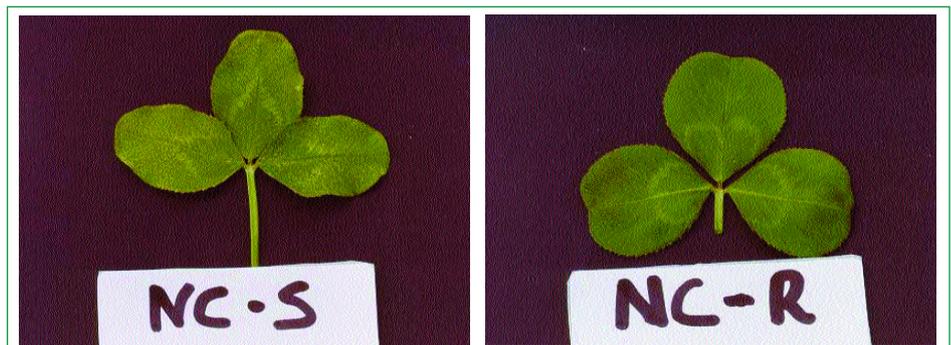
Lo studio condotto

Obiettivi dello studio

Lo studio di cui si riportano i risultati ha seguito l'approccio di Livello II, con lo scopo di individuare l'incidenza dei parametri ambientali sulla risposta delle piante all'ozono in Italia.

I risultati ottenuti dallo studio sperimentale sono stati analizzati e contribuiscono, insieme alle conoscenze acquisite negli anni precedenti (vedi tabella I), alla comprensione dei meccanismi che regolano la risposta delle piante all'ozono, dell'effetto dei parametri microclimatici nella modulazione di tale risposta e della relazione tra i livelli di ozono e l'entità del danno.

Cloni di *Trifolium repens* L. cv. Regal sensibile (NC-S) e resistente all'ozono (NC-R) dopo l'esposizione all'ozono



SPECIE	CONDIZIONI SPERIMENTALI	RISPOSTA A LIVELLO FISILOGICO E BIOCHIMICO	DANNI VISIBILI	REFERIMENTI
<i>Nicotiana tabacum</i> <i>Raphanus sativus</i>	Mesi estivi 1989-1990; trattamento con EDU	Differente risposta ai trattamenti \pm EDU	Aumento dell'indice di danno fogliare; riduzione della biomassa; effetto protettivo dell'EDU	Manes et al., 1990
<i>Phaseolus vulgaris</i>	ADT 40-5033 ppb per 54 giorni (mesi estivi)	Riduzione di fotosintesi, conduttanza, traspirazione	Lesioni necrotiche alla fine del periodo di esposizione	Schenone et al., 1994
<i>Raphanus sativus</i>	Mesi estivi 1991; trattamento con EDU	Differente risposta ai trattamenti \pm EDU	Riduzione della crescita; lesioni clorotiche e necrotiche sulle piante; effetto protettivo dell'EDU	Allegrini et al., 1994
<i>Phaseolus vulgaris</i>	62,1 ppb (media delle 7 ore giornaliere) (luglio - agosto)	Nelle piante trattate con EDU: aumento SOD, ascorbato perossidasi, glutazione reduttasi	Danno visibile sia sulle piante +EDU che -EDU	Ranieri, Soldatini, 1995
<i>Phaseolus vulgaris</i>	130 ppb per 4 ore; 110 ppb per 9 ore; 110 ppb per 12 ore; 50 ppb per 12 ore	Induzione di 4 proteine di patogenesi (PRs)	Lesioni necrotiche fogliari; non si ha necrosi	Maffi et al., 1995
<i>Phaseolus vulgaris</i>	48 ppb per 6 ore per 6 giorni a settimana; EDU a tre concentrazioni	Riduzione della capacità fotosintetica; riduzione del contenuto della clorofilla a; aumento delle perossidasi	Piccole lesioni bronzee (inizio trattamento); lesioni maggiori e clorosi (fine trattamento); riduzione della biomassa	Astorino et al., 1995
<i>Hordeum vulgare</i>	200 ppb per 2, 4, 6 e 24 ore	Riduzione della fotosintesi; aumento di acido abscissico; degradazione della violaxantina; diminuzione del contenuto in pigmenti	Riduzione della germinazione; riduzione dell'accrescimento del coleotile; ingiallimento degli apici fogliari nelle foglie vecchie	Antonietti et al., 1995
<i>Trifolium subterr.</i> <i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Lycopersicon esc.</i> <i>Lactuca sativa</i>	ADT 40-6.571 ppb x h; ADT 40-10.092 ppb x h; ADT 40-10.557 ppb x h; ADT 40-5.111 ppb x h; trattamento con EDU	Più elevata intensità fotosintetica nelle piante trattate con EDU nel fagiolo e nel pomodoro	Lesioni necrotiche; maggiore biomassa epigea; minore senescenza nelle piante trattate con EDU	Postiglione, Fagnano, 1995
<i>Nicotiana tabacum</i>	150 ppb per 2 ore; trattamento con EDU	Diminuzione della velocità di assimilazione della CO ₂ ; inibizione della fotosintesi reversa	Lesioni necrotiche	Valenti et al., 1995
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Tre mesi estivi 1994-1995; trattamento con EDU	Azione favorevole dell'EDU su fotosintesi, conducibilità stomatica e traspirazione	Riduzione della biomassa; aumento della senescenza fogliare; effetto protettivo dell'EDU	Postiglione et al., 1996
<i>Nicotiana tabacum</i>	300 ppb per 30 minuti	Aumento di acido abscissico; degradazione della violaxantina; aumento delle lipossigenasi		Ederli et al., 1997
<i>Trifolium repens</i>	Mesi estivi 1997-1998	Assimilazione nella più alta nel clone resistente	Presenza di danno visibile nel clone sensibile; maggiore biomassa nel clone resistente	Postiglione et al., 2000
<i>Phaseolus vulgaris</i>	150 ppb per 3,5 ore	Riduzione del contenuto di clorofilla a, b e totale; cambiamenti nei parametri di fluorescenza della clorofilla a	Lesioni clorotiche	Guidi et al., 2000
<i>Cucurbita pepo</i>	150 ppb per 5 ore per 5 giorni	Riduzione della fotosintesi e della conduttanza stomatica; diminuzione della clorofilla a	Lesioni clorotiche sulle foglie mature	Castagna et al., 2001

EDU: etilendiurea
SOD: superossido dismutasi

Tab. 1 - In Italia sono state condotte varie sperimentazioni su specie agrarie che hanno evidenziato l'esistenza di danni visibili ed a lungo termine. In tabella è riportata una lista non esaustiva di tali sperimentazioni

Siti sperimentali

L'attività sperimentale è stata condotta durante il periodo estivo del 2000 in cinque siti caratterizzati da differenti condizioni ambientali, al fine di verificare i danni da ozono in diversi ambienti rappresentativi della penisola italiana e l'eventuale interazione tra condizioni climatiche, inquinamento da ozono e danni alle piante coltivate e vegetazione.

I siti sono:

- Isola Serafini (PC), sito rurale dove ha operato il CESI di Milano;
- Roma, sito urbano dove ha operato il Dipartimento di Biologia vegetale dell'Università "La Sapienza" di Roma;
- tre siti in Campania, dove ha operato il Dipartimento di Ingegneria agraria ed Agronomia del territorio dell'Università di Napoli: "Parco Gussone", sito urbano annesso alla Facoltà di Agraria di Portici (NA); "Centro Rotary", sito rurale realizzato a S. Angelo dei Lombardi (AV); "Torre Lama", Azienda Agraria Sperimentale, sito rurale presso Bellizzi (SA).

Il sito rurale di Isola Serafini è localizzato in pianura padana (40 m s.l.m.) nel Comune di Monticelli d'Ongina (PC), distante circa 70 km dall'area fortemente industrializzata e urbanizzata di Milano.

Il sito di Roma (20 m s.l.m.) è localizzato nel Giardino botanico dell'Università "La Sapienza" in un'area fortemente urbanizzata.

Il sito urbano di Portici è localizzato in pianura (30 m s.l.m.) ed è fortemente inquinato da traffico veicolare.

Il sito di S. Angelo dei Lombardi è localizzato nella zona collinare interna dell'Irpinia (700 m s.l.m.) in un'area rurale lontana da fonti di inquinamento.

Il sito di Bellizzi è situato nella pianura meridionale del litorale tirrenico (Piana del Sele, 30 m s.l.m.) in un'area rurale priva di fonti locali di inquinamento.

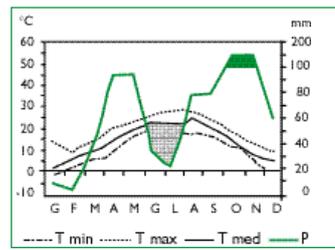
Procedure sperimentali

L'effetto dell'ozono sulla vegetazione è stato studiato mettendo a confronto due cloni di trifoglio bianco (*Trifolium repens* L. cv. Regal) selezionati dalla North Caroline University, uno resistente (NC-R) e uno sensibile all'ozono (NC-S).

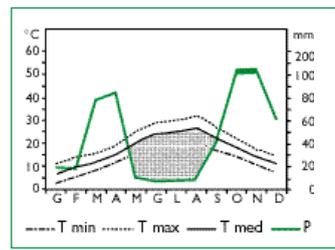
Le talee, fornite dal Centro di Coordinamento dell'UNECE, sono state poste a radicare in ambiente controllato in vasi con un diametro di 14 cm, riempiti con un substrato idoneo alla radicazione. Durante la fase di radicazione, le talee sono state inoculate con *Rhizobium*, anch'esso fornito dal Centro di Coordinamento.

A radicazione avvenuta ed in sincronia tra le unità operative, è stato effettuato il trapianto e l'esposizione in aria ambiente: il 17 maggio ad Isola Serafini, il 19 a Roma, il 12 a Bellizzi, il 15 a S. Angelo dei Lombardi, il 19 nel sito di Portici. Il trapianto è avvenuto in vasi con un diametro di 28 cm riempiti con una miscela di substrato commerciale (torba e perlite) addizionato ad osmocote (14:14:14), un concime complesso a lenta cessione.

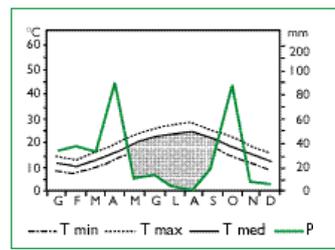
Ciascun vaso, di sezione tronco conica, è stato posto su altri vasi riempiti d'acqua, realizzando un incastro di 3-4 cm. La continuità idrica tra vaso e riserva idrica è stata



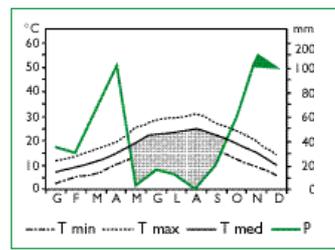
Isola Serafini (PC)



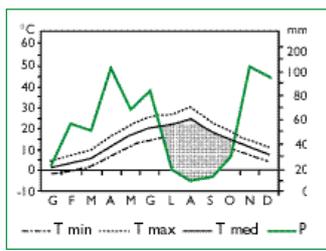
Roma



Portici (NA)



Torre Lama (Belizzi - SA)



S. Angelo dei Lombardi (AV)

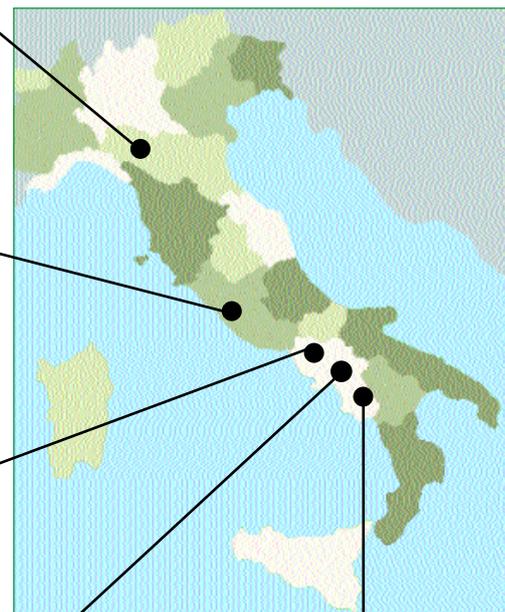
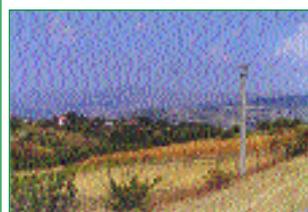


Fig. I - Siti sperimentali e relativi dati di temperatura e precipitazione dell'anno 2000

garantita con corde di lana di vetro. Sono state utilizzate 25 piante per clone per un totale di 250 piante nei cinque siti.

Il monitoraggio ambientale è stato effettuato utilizzando le stazioni climatiche e meteorologiche già presenti presso i siti sperimentali. In figura 1 sono riportati i dati di temperatura e precipitazioni dell'anno 2000 nei cinque siti sperimentali.

L'andamento dell'ozono è stato seguito in continuo con analizzatori spettrofotometrici ad UV collegati ad acquisitori di dati.

L'intera stagione di monitoraggio è stata suddivisa in 5 periodi di crescita dalla durata di 28 giorni, il primo dei quali è stato considerato di adattamento ed escluso dalle elaborazioni, come previsto dal protocollo. Ogni 28 giorni quindi, la biomassa epigea è stata raccolta tagliando a circa 7 cm di altezza, ed è stata determinata in laboratorio la biomassa totale.

Durante i periodi di crescita, sono stati effettuati rilievi ecofisiologici con un misuratore di scambi gassosi LCA-2 dell'ADC a Isola Serafini, con un CIRAS-I della PP System a Roma e con un Licor 6200 nei tre siti della Campania.

Al fine di stimare il flusso di ozono all'interno delle piante, i dati di conducibilità stomatica misurati durante le ore centrali della giornata (11,00 – 13,00) sono stati moltiplicati per 0,618 (valore del rapporto di diffusività tra vapore acqueo ed ozono) e per la concentrazione di ozono registrata nelle stesse ore.

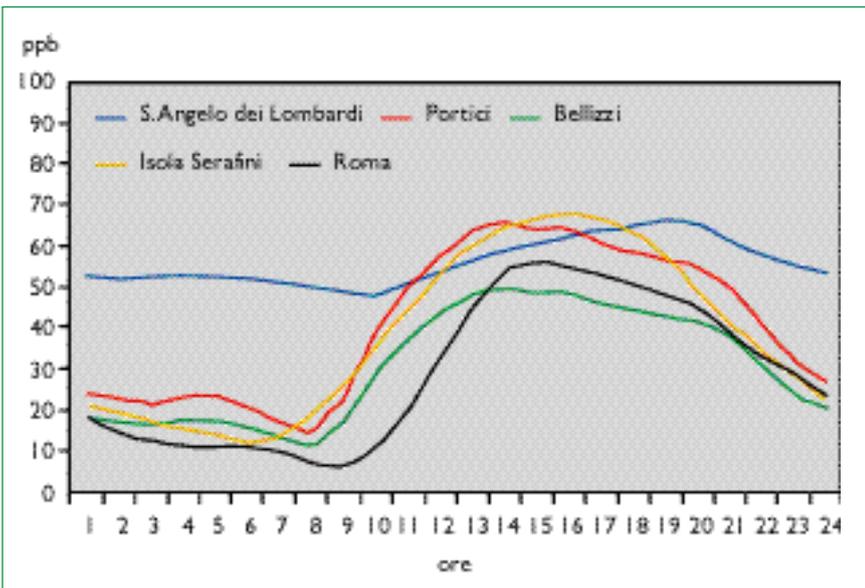


Fig. 2 - Andamento giornaliero dell'ozono nei 5 siti sperimentali: valori orari medi di tutto il ciclo colturale

Risultati dello studio

In figura 2 ed in tabella 2 è riportato l'andamento dell'ozono nelle cinque località esaminate.

È da notare come l'andamento dell'ozono nel sito collinare è diverso da quello dei siti in pianura: non segue il tipico andamento a campana della temperatura ed il valore medio orario è costantemente superiore a 40 ppb, con differenze limitate tra i valori diurni e quelli notturni.

In tabella 3 è riportata la produzione di biomassa. La produzione del trifoglio è risultata molto influenzata dalle condizioni ambientali; in particolare le elevate temperature deprimono le produzioni di questa specie che è più adatta agli ambienti temperato-umidi. In tutte e cin-

que le località, comunque, la produzione del clone sensibile è stata significativamente più bassa rispetto a quella del clone resistente. Sono da notare alcuni casi in cui si sono registrati minori cali di resa in corrispondenza di una diminuzione del livello di ozono (5° raccolto), a segnalare una capacità di ripresa delle piante in ambiente con livelli di ozono più bassi.

	O ₃ max ppb	O ₃ 24 h ppb	O ₃ 7 h (10-17) ppb	ACT40 ppm x h	Flusso di ozono nmol m ⁻² s ⁻¹
Isola Serafini (PC)					
2° raccolto	70,7	39,5	62,8	5,6	27
3° raccolto	72,3	39,3	64,2	5,7	28
4° raccolto	75,7	39,7	68,5	6,2	23
5° raccolto	56,3	27,5	48,5	2,6	17
Media	68,8	36,5	61,0	(Tot) 20,0	24
Roma					
2° raccolto	64,6	35,4	55,6	4,0	22
3° raccolto	67,8	33,1	56,1	4,4	20
4° raccolto	64,3	28,4	52,7	3,6	15
5° raccolto	45,8	19,3	34,5	1,4	9
Media	60,3	28,9	49,4	(Tot) 13,5	17
Portici (NA)					
2° raccolto	76,0	43,7	62,4	5,7	62
3° raccolto	85,8	42,7	63,5	6,6	38
4° raccolto	81,7	44,1	65,3	7,0	46
5° raccolto	63,7	32,9	50,8	3,5	43
Media	76,8	40,9	60,5	(Tot) 22,9	47
S. Angelo (AV)					
2° raccolto	67,2	52,5	53,9	5,5	18
3° raccolto	70,9	54,6	58,5	6,9	20
4° raccolto	77,1	59,9	64,0	7,8	34
5° raccolto	54,0	45,6	50,9	3,9	16
Media	67,3	53,2	56,8	(Tot) 23,9	22
Bellizzi (SA)					
2° raccolto	57,0	33,0	47,1	1,6	23
3° raccolto	60,9	32,3	48,3	1,8	50
4° raccolto	60,9	33,0	49,0	2,5	89
5° raccolto	48,3	29,8	40,0	1,5	54
Media	56,8	32,0	46,1	(Tot) 7,5	54

Tab. 2 - Andamento dell'inquinamento da ozono nei 5 siti sperimentali

Raccolto	Isola Serafini (PC)			Roma			Portici (NA)			S. Angelo (AV)			Bellizzi (SA)		
	NC-R	NC-S	S/R	NC-R	NC-S	S/R	NC-R	NC-S	S/R	NC-R	NC-S	S/R	NC-R	NC-S	S/R
2°	85,3	65,6	0,77	32,4	31,7	0,98	45,8	38,3	0,84	50,3	43,4	0,86	38,1	34,1	0,90
3°	65,5	47,0	0,72	21,0	15,7	0,75	55,4	40,9	0,74	34,8	29,0	0,83	43,6	35,9	0,82
4°	52,8	38,1	0,72	14,2	8,5	0,60	46,5	34,0	0,73	25,5	21,4	0,84	28,2	17,0	0,60
5°	21,7	19,7	0,91	9,9	6,0	0,61	12,2	10,8	0,89	19,3	16,1	0,83	23,5	17,8	0,76
Totale	225,3	170,4	0,76	77,4	61,9	0,80	159,9	124,0	0,78	129,9	109,9	0,85	133,4	104,8	0,79

Differenza minima significativa (DMS) = 5,31 (Probabilità = 0,01)

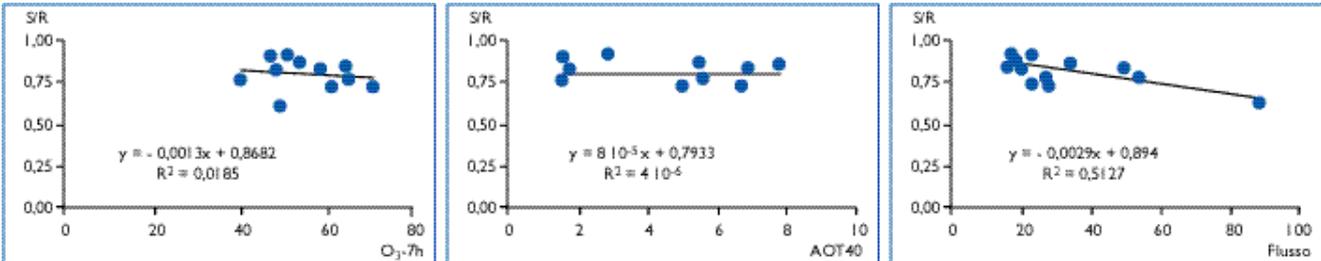
Tab. 3 - Produzione di biomassa (g sostanza secca pt⁻¹). Interazione località x raccolto x clone

L'indice comunemente adottato per esprimere il danno da ozono alla vegetazione è il rapporto tra le produzioni (biomassa secca) dei due cloni (S/R). Tale rapporto viene utilizzato in quanto si ritiene che elimini le altre cause di variazione che influenzano nello stesso sito la produzione del trifoglio, come temperatura, radiazione, VPD.

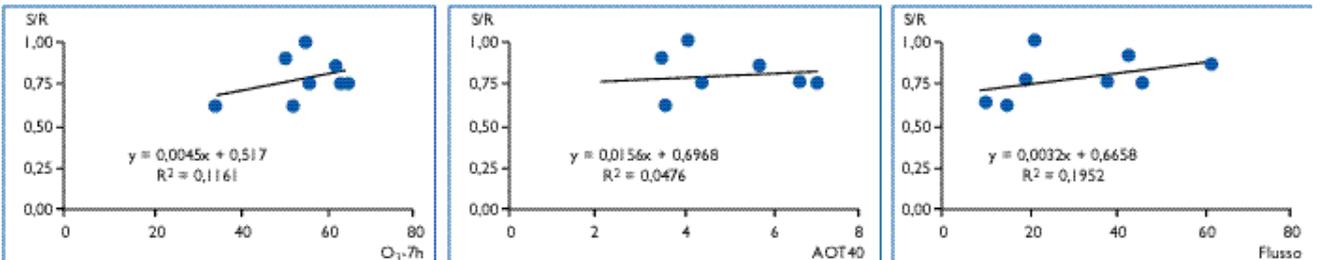
Sono stati pertanto posti in relazione i valori dell'ozono con il rapporto tra le produzioni dei cloni aggregando le località in relazione alle caratteristiche dei siti (figura 3).

Una relazione statisticamente significativa è emersa solo tra S/R ed il flusso di ozono calcolato con i valori di conducibilità stomatica nell'elaborazione congiunta dei valori delle 3 località rurali. Ciò conferma che il rapporto S/R esprime bene il danno in relazione a concentrazioni crescenti di ozono nelle località rurali, caratterizzate da bassi valori di NO_x , mentre nessuna relazione significativa con l'andamento dell'ozono è emersa per le aree urbane in cui sono frequenti alte concentrazioni di NO_x . La presenza di alte concentrazioni di NO_x sembra interferire sul sistema di resistenza esaminato.

Aree rurali (Bellizzi, Isola Serafini, S. Angelo dei Lombardi)



Aree urbane (Portici, Roma)



Tutte le località

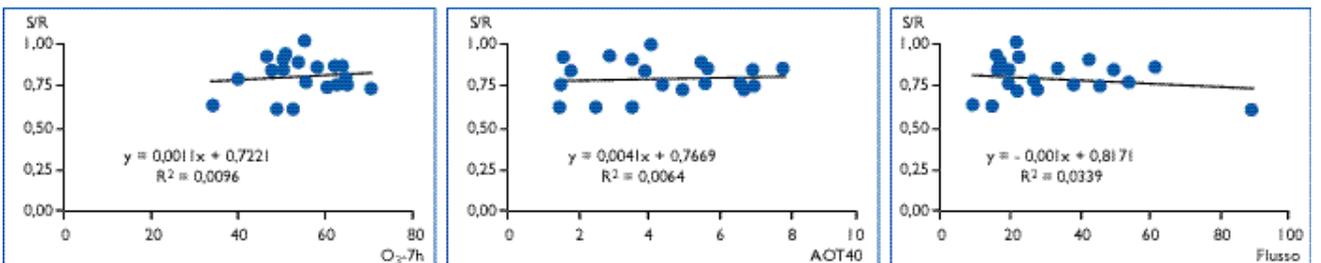


Fig. 3 - Relazioni tra valori dell'ozono (concentrazioni medie O_3 nelle 7 ore, AOT40, flusso di ozono) e rapporto S/R: dati dei 4 cicli colturali aggregati per caratteristiche dei siti

Conclusioni

Le ricerche condotte dagli Istituti italiani ed illustrate nel presente opuscolo rappresentano solo il primo passo per lo studio dell'influenza dei fattori ambientali nella stima dei flussi di ozono.

I risultati ottenuti dallo studio sperimentale, unitamente alle conoscenze acquisite negli studi effettuati precedentemente in Italia (vedi tabella 1), hanno condotto alle seguenti conclusioni:

1

In Italia i valori di ozono nel periodo estivo sono molto elevati e superiori a quelli normalmente registrati per il nord-Europa.

Infatti, i valori di ozono troposferico registrati nelle cinque località italiane sono risultati molto più alti dei valori normalmente registrati per il nord-Europa, superando abbondantemente le soglie di danno riportate dalla letteratura internazionale. Si può osservare dalla tabella 2 che non solo il valore scelto per l'AOT40 come livello critico viene superato in tre mesi, ma che addirittura tale dose cumulata viene raggiunta spesso dopo un solo mese di esposizione delle piante all'aria ambiente e che, in particolare, nel sito collinare il valore orario medio di concentrazione di ozono non scende mai al di sotto di 40 ppb.

2

La presenza di ozono determina consistenti cali di resa nei raccolti. Come si vede dalla tabella 3, la presenza di ozono in elevate concentrazioni ha determinato cali di resa nei raccolti mediamente compresi tra il 15 ed il 25%.

3

La presenza di elevate concentrazioni di NO_x e PAN rende più complesso lo studio del danno da ozono nelle aree urbane e industriali. La ricerca ha dimostrato che la relazione tra inquinamento atmosferico e danno da ozono risulta assai complessa. Una relazione statisticamente significativa tra il rapporto tra le biomasse dei due cloni (S/R) ed il flusso di ozono calcolato con i valori di conducibilità stomatica è emersa solo nelle località rurali, a conferma del fatto che il rapporto S/R esprime bene il danno in relazione a concentrazioni crescenti di ozono nelle località rurali, caratterizzate da bassi valori di NO_x. Nelle aree urbane, caratterizzate invece da una maggiore entità e complessità dell'inquinamento atmosferico, non è emersa nessuna relazione significativa tra il rapporto tra le biomasse dei due cloni (S/R) e l'andamento dell'ozono. La presenza di alte concentrazioni di NO_x e di PAN potrebbe interferire sul sistema di resistenza esaminato e quindi sull'andamento del rapporto S/R.

4

Il livello critico per l'ozono calcolato con la metodologia di Livello I non si dimostra adeguato per descrivere il danno da ozono in Italia.

Lo studio ha confermato quanto già emerso da altre sperimentazioni condotte in Italia e cioè che dall'applicazione della metodologia di Livello I si deducono cali di resa nei raccolti di entità assai superiore a quella che normalmente viene osservata. Pertanto, l'utilizzo del valore del livello critico calcolato secondo la metodologia di Livello I non risulta adeguato a descrivere il danno da ozono in Italia.

5

Il flusso di ozono all'interno della foglia rappresenta un parametro in grado di caratterizzare il danno di ozono alla vegetazione.

La concentrazione di ozono può fornire un valore indicativo dell'inquinamento nei diversi siti, ma il danno effettivo alla vegetazione, dovuto all'ingresso dell'ozono attraverso gli stomi, è legato alla conduttanza stomatica, dipendente dalla specie e dai fattori ambientali (temperatura, UR, VPD, stress idrico...); infatti, a parità di concentrazioni di ozono, il danno è maggiore in quelle condizioni che favoriscono gli scambi gassosi (elevata evapotraspirazione, buone disponibilità idriche ...). Un parametro che può quindi essere utilizzato per valutare in maniera più dettagliata l'azione dell'ozono sulla vegetazione è la stima della velocità dei flussi di questo inquinante all'interno della foglia. Come si vede dall'esame delle figure, e in accordo con la letteratura internazionale, anche negli esperimenti effettuati in Italia il flusso di ozono riesce a riprodurre il danno da ozono più correttamente dell'AOT40.

6

Nella particolare situazione italiana è determinante tenere conto dell'incidenza dei fattori ambientali per valutare correttamente il danno da ozono.

Lo studio condotto ha consentito di chiarire alcuni aspetti, ma è necessario svolgere ulteriori ricerche in tal senso. In particolare, è necessario introdurre nell'AOT40 dei fattori di modificazione che tengano conto dell'incidenza dei fattori ambientali in differenti condizioni climatiche: tra di essi, la temperatura e la disponibilità idrica rappresentano negli esperimenti condotti in Italia dei parametri essenziali, rivestendo un ruolo fondamentale nella modulazione del danno da ozono. Infatti, elevate temperature in condizioni di disponibilità idriche non limitanti inducono maggiore traspirazione; quindi, alla maggiore apertura stomatica, corrisponde un maggiore ingresso dell'ozono nei tessuti fogliari. In condizioni di stress idrico, molto frequenti nella stagione estiva in Italia, questa relazione tra temperatura e conducibilità stomatica si altera. Infatti, ad alte temperature si riscontrano generalmente basse umidità del suolo con limitata disponibilità idrica per le piante; di conseguenza il danno da ozono è meno evidente di quanto ci si potrebbe aspettare adottando una curva dose/risposta costruita in condizioni idriche ottimali. Il calcolo dell'AOT40 modificato secondo la metodologia di Livello II potrebbe consentire di considerare questi parametri, fondamentali per una corretta stima del danno da ozono, mediante l'introduzione di opportuni fattori di correzione. Tali fattori di correzione andrebbero probabilmente valutati per differenti fasce climatiche.

Bibliografia essenziale

- Allegrini I., Cortiello M., Manes F., Tripodo P., 1994. Physico-chemical and biological monitoring as integrated tools in evaluating tropospheric ozone in urban and semi-rural areas. *The Science of the Total Environment*, 141, 75-85
- Astorino G., Margani I., Tripodo P., Manes F., 1995. The response of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Lit. to different dosages of the anti-ozonant ethylenediurea (EDU) in relation to chronic treatment with ozone. *Plant Science*, 111, 237-248
- Cathey H.M., Heggstad H.E., 1982. Ozone sensitivity of herbaceous plants: modification by ethylenediurea. *J.Amer. Soc. Hort.Sci.*, 107, 1035-1042
- Emberson L.D., Wieser G., Ashmore M.R., 2000. Modelling of stomatal conductance and ozone flux of Norway spruce: comparison with field data. *Environm. pollution.*, 109 (3), 393-402
- Fagnano M., 1995. Tropospheric ozone concentration in Portici (Naples) in relation to meteorological parameters. *Agric Medit. S.V.*, 390-394
- Fuhrer, J., Skärby, L., Ashmore, M.R., 1997. Critical Levels for Ozone Effects on Vegetation in Europe. *Environmental Pollution*, volume 97, 91-106
- Fumagalli I., Mignanego L., Ambrogi R., 1999. Effetti dell'inquinamento atmosferico sui vegetali: 10 anni di ricerche condotte dall'ENEL. *Acqua e Aria*, 8, 109-118
- Fumagalli I., Gimeno B.S., Velissariou D., De Temmerman L., Mills G., 2001. *Atmospheric Environment*, 35, 2583-2587
- Fumagalli, I., Mignanego, L., Violini, G., 1997. Effects of tropospheric ozone on white clover plants exposed in open-top chambers or protected by the antioxidant ethylene-diurea (EDU). *Agronomie*, 17, 271-281
- Heagle, A.S., Miller, J.E., Sherrill, D.E., 1994. A white clover system to estimate effects of tropospheric ozone on plants. *J. Environ. Qual.*, 23, 613-621
- Manes F., Altieri A., Tripodo P., Booth C.E., Unsworth M.H., 1990. Bioindication study of effects of ambient ozone on tobacco and radish plants using a protectant chemical (EDU). *Annali di Botanica (Rome)*, 48, 133-149
- Manes F., Donato E., Vitale M., 2001. Physiological response of *Pinus halepensis* needles under ozone and water stress conditions. *Physiologia Plantarum*, 113 (2), 249-257
- Postiglione L., Fagnano M., Merola G., 2000. Response to ambient ozone of two white clover (*Trifolium repens* L., cv.'Regal') clones, one resistant and one sensitive, grown in Mediterranean environment. *Environm. pollution.*, 109 (3), 525-531
- UNECE, 1996. *Proceedings of workshop on Critical Levels for ozone in Europe*. University of Kuopio, Department of Ecology and Environmental Science. L. Kärenlampi and L. Skärby (Editors). <http://icpvegetation.ceh.ac.uk>

Riferimenti



Giuliana Gasparrini
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio
Servizio per la Protezione Internazionale dell'Ambiente
Via Capitan Bavastro, 174 – 00147 Roma
E-mail: gasparrini.giuliana@minambiente.it



Giovanni Vialetto, Stefania Racalbutto
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
Centro Ricerche Casaccia
Via Anguillarese, 301 – 00060 S. Maria di Galeria (Roma)
E-mail: violetto@casaccia.enea.it; racalbutto@casaccia.enea.it



Fausto Manes, Maria Antonietta Giannini, Francesca Capogna, Aura de Bonfils
Università "La Sapienza" di Roma
Dipartimento di Biologia Vegetale
Piazzale Aldo Moro, 5 – 00185 Roma
E-mail: fausto.manes@uniroma1.it



Luigi Postiglione, Massimo Fagnano, Gerardo Merola, Adriana Forlani, Roberta Piccolo
Università "Federico II" di Napoli
Dipartimento di Ingegneria Agraria ed Agronomia del Territorio
Via Università, 100 – 80055 Portici
E-mail: postigli@unina.it; fagnano@unina.it



Ivano Fumagalli, Nella Belgiovine, Lorella Mignanego
Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano
Via Rubattino, 54 – 20134 Milano
E-mail: belgiovine@cesi.it; ivan.fumagalli@jrc.it

Questo opuscolo, realizzato dall'ENEA, illustra i risultati di uno studio condotto dall'Università "La Sapienza" di Roma, dall'Università "Federico II" di Napoli e dal CESI di Milano - nell'ambito dell'accordo di Programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e l'ENEA - con l'obiettivo di determinare l'incidenza dei parametri ambientali sulla risposta delle piante all'ozono in Italia

Edito dall'ENEA
Funzione Centrale Relazioni Esterne
Lungotevere Thaon di Revel 76 – 00196 Roma
www.enea.it

Edizione a cura di Diana Savelli e Mauro Ciamarra
Progetto grafico: Cristina Lanari
Stampa: Grafiche Ponticelli SpA
Finito di stampare nel mese di marzo 2002