



OZONO TROPOSFERICO IN PROVINCIA DI TRENTO

livelli ed effetti sulla vegetazione nel 2008

OZONO TROPOSFERICO IN PROVINCIA DI TRENTO

livelli ed effetti sulla vegetazione nel 2008

Gottardini Elena, Cristofolini Fabiana, Cristofori Antonella

Fondazione Edmund Mach

Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige (Trento)

Ferretti Marco

TerraData environmetrics

Via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena

Relazione relativa allo studio realizzato nel 2008 nell'ambito della convenzione stipulata tra la Fondazione Edmund Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A (FEM) e:

- Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento (Det. N. 23/2 del 08.10.2008);
- Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento (Det. N. 174/2 del 09.07.2007).

Nota

Questa relazione descrive l'attività svolta nel 2008 dalla Fondazione Edmund Mach – Istituto Agrario di San Michele all'Adige (FEM) in stretta collaborazione con TerraData environmetrics e pertanto in alcuni casi il contributo di ciascuno diventa difficilmente separabile. La relazione che costituisce la base di questo documento è la seguente:

Ferretti M., Bacaro G., Calderisi M., Cristofolini F., Cristofori A., Gottardini E., Rocchini D., 2008. Ozono troposferico in Trentino 2008. Relazione tecnica TDe 27-2008/16 (V1 R0): 28 pp.

Forma raccomandata di citazione:

Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Ferretti M., 2009. Ozono troposferico in provincia di Trento: livelli ed effetti sulla vegetazione nel 2008. Relazione tecnica dello studio realizzato nel 2008 nell'ambito delle convenzioni stipulate dalla Fondazione Edmund Mach con il Servizio Foreste e Fauna e con l'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente della Provincia Autonoma di Trento. 35 pp.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano le organizzazioni e le persone che a vario titolo hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro.

Tra le istituzioni:

- il Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento (PAT) per il contributo economico;
- l'Agenzia Protezione Ambiente della Provincia di Trento (APPA TN) per il contributo economico.

Tra le persone:

- Mauro Confalonieri (Servizio Foreste e Fauna, PAT) per il sostegno al lavoro e la collaborazione organizzativa.

Ultimo, ma non in ordine di importanza, un particolare ringraziamento al personale delle Stazioni Forestali della Provincia per il prezioso contributo nell'installazione delle stazioni di monitoraggio dell'ozono presso i siti di Livello I e la puntuale sostituzione settimanale dei campionatori passivi.

Riassunto	6
Introduzione	7
ATTIVITA' SPERIMENTALI	8
Obiettivi	8
Materiali e metodi	8
Misure delle concentrazioni di ozono	8
Rilievo dei sintomi visibili	10
<i>Selezione dei siti di Livello I</i>	10
<i>Individuazione delle aree di campionamento</i>	11
<i>Rilevamento dei sintomi da ozono sulla vegetazione</i>	14
Esposizione di cloni di pioppo ozono-sensibili	17
Analisi dei dati	17
Risultati	18
Concentrazioni di ozono	18
Sintomi fogliari visibili	22
<i>Osservazioni sui plot di Livello I</i>	22
<i>Osservazioni sui siti di Monte Terlago, Margone e Passo Lavazè</i>	26
<i>Osservazioni sui cloni di pioppo</i>	27
Conclusioni	28
ATTIVITA' DIDATTICA	29
Corso introduttivo: <i>Sintomi da ozono sulla vegetazione: metodi, valutazione e validazione</i>	29
Corso internazionale: <i>9th UNECE/ICP-Forests Intercalibration Course on the Assessment of Ozone Visible Injury</i>	31
ATTIVITA' DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA	32
Organizzazione dell'incontro informativo	
<i>Ozono troposferico in Trentino: verso la comprensione dei reali effetti sulla vegetazione</i>	32
Partecipazione a <i>IUFRO Conference, Murten (CH)</i>	33
BIBLIOGRAFIA ED ULTERIORI LETTURE	34

Riassunto

L'attività del 2008 relativa all'ozono ed ai suoi effetti sulla vegetazione è stata affrontata da FEM mettendo in atto iniziative diverse, realizzando misure ed osservazioni in campo, organizzando e partecipando ad attività formative e di divulgazione.

*Per quanto riguarda le attività in campo, nel periodo Maggio-Luglio sono state misurate le concentrazioni di ozono nei 15 siti della rete di monitoraggio delle foreste (Livello I) e presso due ulteriori siti, di cui uno dedicato alla calibrazione dei campionatori passivi con analizzatori convenzionali e l'altro equipaggiato con pioppi ozono-sensibili. Le concentrazioni misurate sono state in genere lievemente superiori a quelle del 2007, ma, con poche eccezioni, non significativamente diverse. A metà giugno ed a fine agosto 2008 sono state condotte inoltre osservazioni di sintomi visibili sulla vegetazione in sei siti, tre dei quali a basso livello (medie: 84.4÷94.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) di ozono e tre ad alto (medie: 128.4÷176.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). I risultati evidenziano la generale assenza di sintomi specifici da ozono (solo una segnalazione in piante fuori dai plot), mentre largamente diffusi sono i casi di sintomi dovuti ad altre cause e – su abete rosso – quelli non direttamente riconducibili ad agenti identificabili. Ulteriori osservazioni condotte su tre siti (Margone, Monte Terlago e Passo Lavazè) hanno portato all'identificazione di sintomi da ozono su *Rhamnus cathartica* e *Cornus sp.* presso Monte Terlago e di sintomi non direttamente spiegabili sull'abete rosso di Passo Lavazè. Cloni di pioppo ozono-sensibili piantati ai vivai forestali di Casteller e Masi di Cavalese non hanno evidenziato la comparsa di sintomi fogliari attribuibili all'ozono, coerentemente con i bassi valori dell'inquinante misurati presso questi siti (medie: 82.1÷89.2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).*

Relativamente all'attività formativa, sono stati organizzati due corsi, uno introduttivo ed uno di intercalibrazione a livello internazionale, tenutosi a San Michele a/A a fine Agosto.

L'aspetto divulgativo si è concretizzato con l'organizzazione a Trento di un incontro informativo sui primi risultati raggiunti e con la partecipazione al congresso dell'International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) tenutosi in Svizzera, nell'ambito del quale i risultati del lavoro sono stati presentati attraverso un poster.

Introduzione

Un considerevole numero di studi indica l'ozono troposferico come un elemento importante da considerare in relazione a questioni come cambiamenti climatici, salute umana, effetti sulla vegetazione (The Royal Society, 2008).

La rete di misura degli inquinanti atmosferici gestita dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente - che utilizza analizzatori convenzionali - è attiva primariamente nelle aree urbane della provincia di Trento. Dal 2007 FEM - in collaborazione con TerraData - ha avviato uno studio sui livelli dell'ozono anche in aree rurali e forestali della provincia: a tale scopo sono stati adottati dei campionatori passivi col fine di misurare le concentrazioni di ozono nei siti forestali di monitoraggio appartenenti alla rete UE e UN/ECE di Livello I (Gottardini et al., 2008). I dati così raccolti hanno permesso di sviluppare una prima mappatura delle concentrazioni e dell'esposizione in termini di AOT40 (Bacaro et al., 2008). Questa parte è stata integrata nel corso del 2007 con lo studio degli effetti dell'ozono sulla vegetazione, partendo dalla verifica dello sviluppo di danni fogliari specifici su piante supersensibili di *Nicotiana tabacum* L. cv Bel-W3, in risposta all'esposizione in aree caratterizzate da valori differenziati di concentrazioni dell'inquinante. Il passo successivo, affrontato nel 2008, è stato quello di verificare gli effetti anche sulla vegetazione spontanea, portando avanti osservazioni sulla presenza di sintomi visibili sulle foglie di alberi ed arbusti presenti in alcuni siti di misura ed, in parallelo, ripetendo le misurazioni di ozono tra maggio e luglio 2008, secondo i parametri stabiliti dalla Direttiva UE.

A supporto delle attività sperimentali, sono state intraprese iniziative anche nell'ambito della formazione, organizzando un corso di formazione mirato al riconoscimento dei sintomi sulla vegetazione imputabili all'ozono, sia un incontro di intercalibrazione a livello internazionale, utile anche come opportunità di confronto e collegamento con i massimi esperti del settore.

E' stato dato spazio anche all'attività divulgativa e di valorizzazione dei risultati scientifici ottenuti, realizzando un incontro pubblico di informazione a livello nazionale e partecipando - con la presentazione di un poster - ad un convegno internazionale.

ATTIVITA' SPERIMENTALI

Obiettivi

Gli obiettivi di questo studio sono stati:

- assicurare la ripetizione delle misurazioni di ozono negli stessi siti forestali utilizzati nel 2007;
- realizzare, in alcuni siti selezionati tra quelli di Livello I oggetto delle misurazioni di ozono, osservazioni sulla presenza di sintomi fogliari attribuibili ad ozono. I siti da dedicare a queste osservazioni sono stati selezionati in modo da valutare situazioni caratterizzate da concentrazioni di ozono ben distinte;
- realizzare osservazioni sulla presenza di sintomi fogliari attribuibili ad ozono presso l'area di monitoraggio di Livello II di Passo Lavazè, dove le concentrazioni di ozono vengono misurate con continuità nell'ambito del programma CONECOFOR;
- realizzare due impianti di pioppi ozono-sensibili, presso i vivai forestali di Casteller e Masi di Cavalese, dove si è provveduto anche alla misura dell'ozono.

Materiali e metodi

Misure delle concentrazioni di ozono

Le concentrazioni di ozono sono state rilevate mediante campionatori passivi nel periodo 30 aprile - 30 luglio 2008 presso:

- i 15 punti della rete UE-UN/ECE per il rilevamento delle condizioni dei boschi che ricadono sul territorio provinciale (densità nominale: 1 punto ogni 225 km², corrispondente ad una rete di 15*15 km), tra cui il vivaio di Casteller – sito di installazione di cloni ozono-sensibili;
- la centralina di Trento Parco Santa Chiara (Trento PSC) - sito di validazione delle misure;
- il vivaio di Masi di Cavalese - sito di installazione di cloni ozono-sensibili (Fig. 1; Tab. 1).

In tutti i casi sono stati utilizzati i campionatori passivi della ditta PASSAM AG. I campionatori passivi per la misura dell'ozono sono costituiti da fiale in polipropilene con un filtro in fibra di vetro imbevuto con una soluzione di acido acetico e 1,2-di(4-piridil)-etilene, che reagisce con l'ozono entrato nel campionatore per diffusione. La reazione comporta la formazione di un'aldeide, la cui determinazione quantitativa mediante spettrofotometria (a 442 nm) consente di risalire alla concentrazione di ozono in aria. In ogni sito è stato esposto un campionatore passivo di ozono (PASSAM AG – per dettagli vedi <http://www.passam.ch/>).

La completezza dei dati è risultata pari al 100% per Cavalese, pari o superiore all'85% per tutti gli altri siti tranne Condino (77%), con una media complessiva del 94% (Tab. 1).

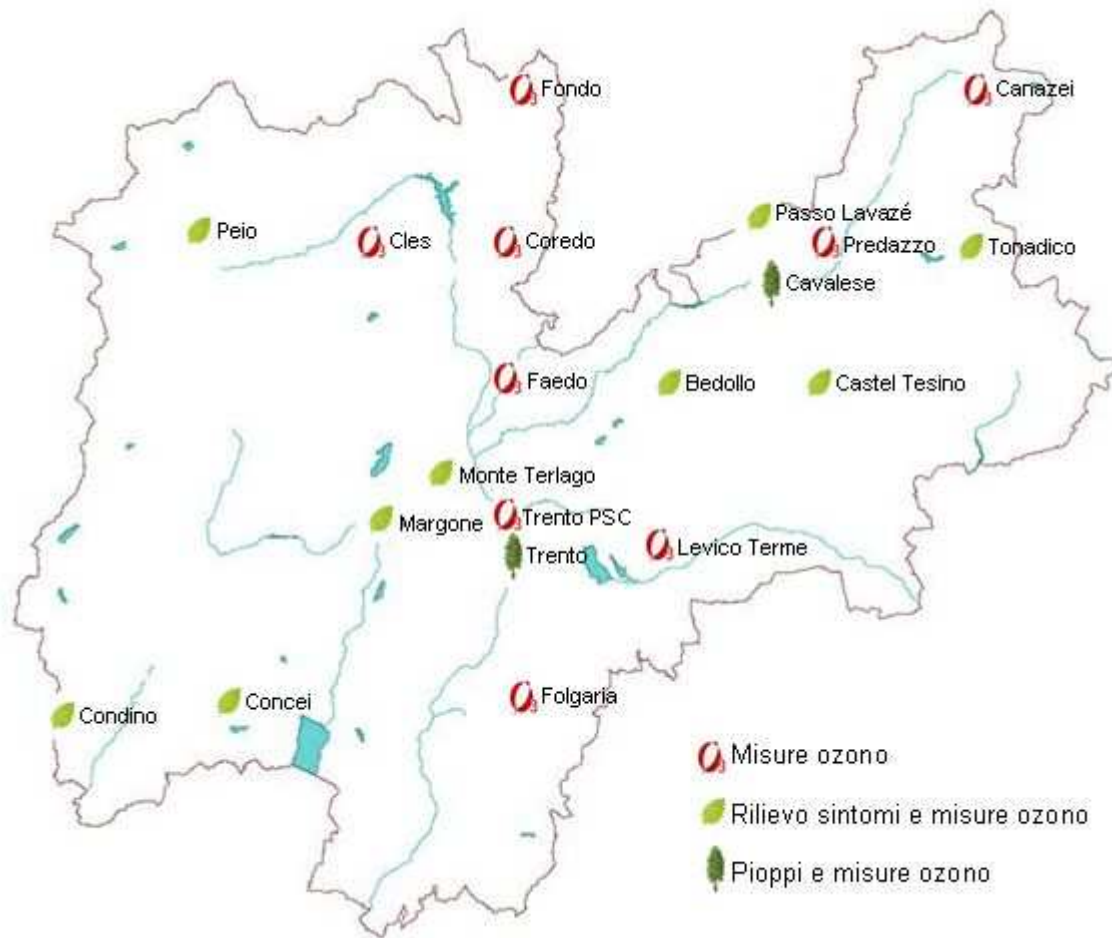


Figura 1. Area di studio e dislocazione dei siti di misura dell'O₃, rilievo sintomi e installazione di cloni di pioppo ozono-sensibili.

Tabella 1. Sintesi dei rilevamenti di ozono misurati nel 2008.

Nome stazione	x	y	Quota	Misurazione sintomi, n plot	O ₃ , completezza % settimane
Bedollo	1680976	5117859	1400	10	1.00
Canazei	1713980	5148362	1588	-	1.00
Castello Tesino	1698517	5117954	1549	10	0.85
Cles	1651186	5132648	1698	-	0.92
Concei	1635204	5084579	1309	10	1.00
Condino	1617253	5081830	1856	10	0.77
Coredo	1665450	5132359	1389	-	1.00
Faedo	1665324	5118424	306	-	0.92
Folgaria	1666290	5084879	1210	-	1.00
Fondo	1665949	5148025	1375	-	0.92
Levico Terme	1680918	5100063	1105	-	1.00
Peio	1632826	5133037	1675	10	0.92
Predazzo	1699060	5132798	1464	-	0.85
Tonadico	1713788	5132795	1854	10	1.00
Trento	1665808	5099179	359	1 (PO3PLAR)	1.00
Margone	1652157	5103618	918	19	-
Monte Terlago	1657519	5107861	694	19	-
Trento PSC	1664477	5103260	204	-	0.85
Cavalese	1692734	5128608	889	1 (PO3PLAR)	1.00
Passo Lavazè	1691895	5136896	1809	22	-

Rilievo dei sintomi visibili

Nel corso della stagione vegetativa 2008 sono stati effettuati rilievi dei sintomi fogliari presso i seguenti siti:

- sei siti di Livello I: Bedollo, Castello Tesino, Pejo, Tonadico, Condino e Concei; i rilievi sono stati condotti in due periodi: 12-26 giugno e 1-4 settembre;
- il sito di Livello II di Passo Lavazè; i rilievi sono stati condotti tra il 17 settembre e l'8 ottobre;
- i siti di Margone e Monte Terlago, interessati nel 2007 dallo studio con il bioindicatore ozono-sensibile *Nicotiana tabacum* cv. Bel-W3; i rilievi sono stati condotti durante gli esercizi di intercalibrazione nell'ambito del corso UN/ECE ICP-Forests, svoltosi a San Michele all'Adige (TN) a fine agosto.

Selezione dei siti di Livello I

La selezione dei sei siti di Livello I si è basata sui risultati delle misure di ozono effettuate con campionatori passivi nel corso del 2007 ed, in particolare, è stato utilizzato l'indice di esposizione AOT40 (Fig. 2). Sono stati scelti i 3 siti che mostravano i valori più elevati di AOT40 - ed i 3 con valori inferiori al livello critico di 5000 ppb*h (10000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$), (stabilito da UN/ECE per la protezione della vegetazione), che presentavano la minor differenza di quota rispetto ai precedenti (*range* di quota: 1300-1800 m s.l.m.). In termini di concentrazione di ozono, i tre siti ad alto AOT40 presentavano valori medi di concentrazione $>120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; i tre siti a basso AOT40 presentavano valori medi di concentrazione $<100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

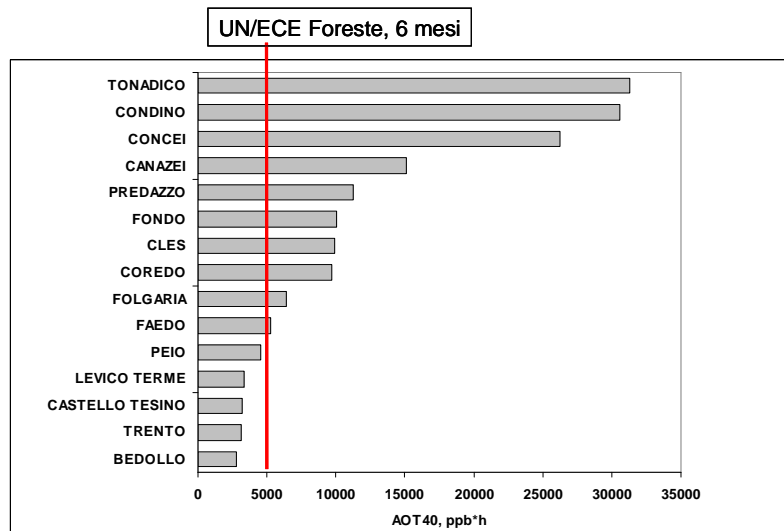


Figura 2. Valori di AOT40 elaborati per i 15 siti di Livello I a partire dai dati di concentrazione settimanale di O₃ misurati nel 2007 con campionatori passivi.

Individuazione delle aree di campionamento

Come previsto dalla metodica ICP-Forest (Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems - Intensive Monitoring Plots Level II - <http://www.gva.es/ceam/ICP-forests/index.htm>), il rilievo dei sintomi da ozono sulla vegetazione viene effettuato lungo il margine della radura/apertura dove è collocato il campionatore passivo. La selezione del sito di installazione del campionatore passivo, avvenuta nel 2007, aveva già tenuto in considerazione l'esigenza di trovarsi in una situazione sufficientemente aperta, tale che la dimensione minore della radura fosse almeno pari al doppio dell'altezza degli alberi circostanti. Il margine forestale preferenziale considerato per i rilievi è quello esposto alla luce, in quanto tale posizione è considerata quella maggiormente sottoposta agli effetti dell'ozono e quindi quella dove si osserva la massima espressione dei sintomi.

I rilievi non avvengono lungo tutto il margine forestale della radura, ma su una porzione la cui dimensione è dipendente dalla lunghezza del margine stesso. L'area da campionare è costituita da rettangoli (miniplot) delle dimensioni di 1x2 m ciascuno. La procedura per l'individuazione dei miniplot è la seguente (Fig. 3):

- si identifica un'area di raggio 500 m centrata sul sito di misura dell'ozono;
- all'interno dell'area si identificano i margini di foresta esposti alla luce più lunghi di 10 m;
- tra quelli identificati, si sceglie il margine di foresta che contiene il punto più vicino al sito di misura dell'ozono (=LESS: Light Exposed Sampling Sites);
- si misura la lunghezza del margine selezionato e si identifica un'area ampia 1 m; si ottiene così un transetto largo 1 m e lungo x (x=lunghezza del margine di foresta selezionato);
- riferendosi alla tabella 2, si stabilisce il numero n di miniplot, che dipende dalla lunghezza del margine forestale e dal livello di precisione prescelto (10% o 20%); (ad es. per x = 30 m, il numero di miniplot con errore del 20% è n= 9);
- si numerano tutti i possibili rettangoli 1x2 m non sovrapposti in cui risulta suddiviso x, assegnando loro il codice 0, 2, 4, 6, 8, 10..., x-2 a partire dall'estremità di sinistra e procedendo in senso orario;
- per ogni LESS si selezionano in modo casuale n codici (=numero di miniplot da campionare).

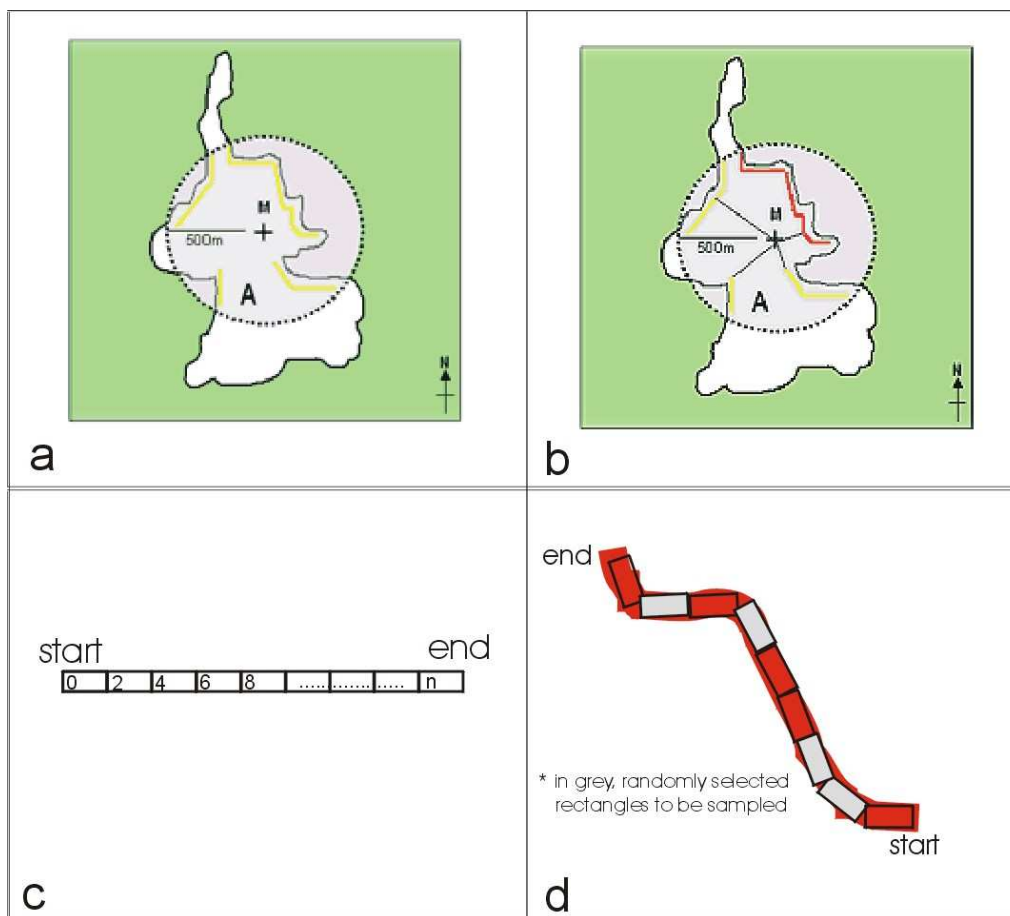


Figura 3. a: individuazione dell'area di raggio 500m e dei margini forestali in essa compresi; b: individuazione del LESS; c: identificazione e numerazione dei rettangoli in cui il LESS risulta suddiviso; d: selezione casuale degli n miniplot da campionare all'interno del LESS (Tratto da "Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems").

La procedura standard per l'individuazione dei LESS è stata rigorosamente applicata al sito di Passo Lavazè (Fig. 4), Monte Terlago e Margone. Per quanto riguarda i sei siti di Livello I, è stata adottata una procedura semplificata, considerando un margine forestale pari a 200 m e definendo *a priori* il numero di miniplot $n=10$.

Tabella 2. Dimensione del campione ad un definito livello di precisione, per differenti lunghezze del margine di foresta selezionato (Elaborato da "Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems").

Lunghezza del margine di foresta esposto alla luce (m) LESS	Possibili rettangoli 2x1 m non sovrapposti	Dimensione del campione (=N. miniplot) errore 10%	Dimensione del campione (=N. miniplot) errore 20%
10	5	5	4
15	8	7	6
20	10	9	7
25	13	11	8
30	15	13	9
35	18	15	10
40	20	17	11
45	23	18	12
50	25	20	12
60	30	23	13
70	35	26	14
80	40	28	15
90	45	31	16
100	50	33	16
150	75	42	18
200	100	49	19
250	125	54	20
300	150	59	21
350	175	62	21
400	200	65	21
450	225	67	22
500	250	69	22
600	300	73	22
700	350	75	22
800	400	77	23
900	450	79	23
1000	500	81	23
2000	1000	88	23

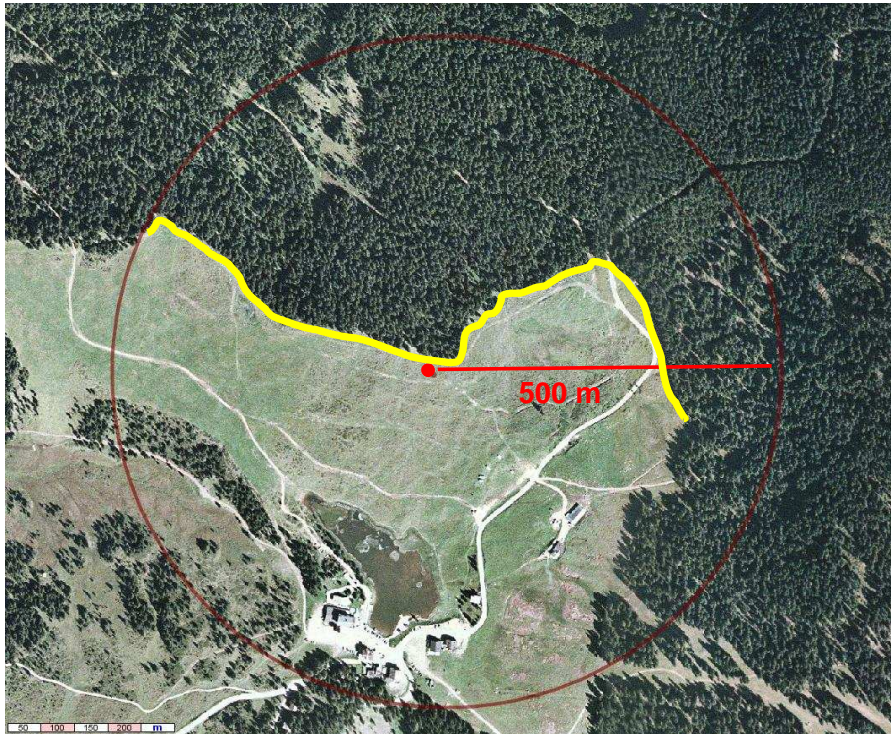


Figura 4. Individuazione del LESS presso il sito di Passo Lavazè.

Rilevamento dei sintomi da ozono sulla vegetazione

Una volta definiti i codici dei miniplot, si procede alla loro installazione che consiste nel delimitare i rettangoli individuati 1x2 m, posizionandoli con il lato maggiore lungo il margine forestale (Fig. 5), e con il vertice in alto a sinistra in corrispondenza del metro selezionato.

Per ogni miniplot è stata compilata la lista delle specie legnose che ricadevano completamente o in parte nel miniplot (es. rami di piante radicate all'esterno) sino ad un'altezza di 1.80 m da terra.

I sintomi attribuibili all'ozono si possono presentare come:

- piccoli punti rossicci, gialli o neri (*stipples*) omogeneamente distribuiti sulla superficie superiore della foglia;
- decolorazione omogenea, arrossamento o bronzatura generale della superficie superiore della foglia;
- aree clorotiche a bordi indefiniti, di colore giallo o verde chiaro (*chlorotic mottling*), sugli aghi delle conifere.

I sintomi da ozono interessano generalmente solo la superficie superiore della lamina fogliare delle latifoglie, si distribuiscono omogeneamente e non coinvolgono mai le venature. I sintomi appaiono prima sulle foglie più vecchie, esposte alla luce, mentre non colpiscono le zone ombreggiate della foglia (*shade effect*) e le foglie giovani.

Il rilevamento dei sintomi è stato effettuato con l'ausilio di una lente d'ingrandimento, seguendo i criteri suggeriti nel manuale dell'ICP-Forests che fornisce un diagramma di flusso per ottimizzare la diagnosi dei danni da ozono (Fig.6). La presenza di sintomi attribuibili ad altre cause, biotiche od abiotiche, è sempre stata considerata e indicata nelle schede di rilievo. Per assicurare la qualità del rilievo sono state inoltre utilizzate guide di campo, per confrontare i sintomi osservati con il materiale iconografico di riferimento (Innes et al., 2001).

Ad ogni specie è stato assegnato un codice da 0 a 4 secondo la tabella 3.

Il codice 4 è stato utilizzato per classificare piante che presentavano sintomi non chiaramente attribuibili né all'ozono né ad altri agenti noti quali funghi e/o insetti.



Figura 5. Installazione di un miniplot per il rilievo dei sintomi da ozono.

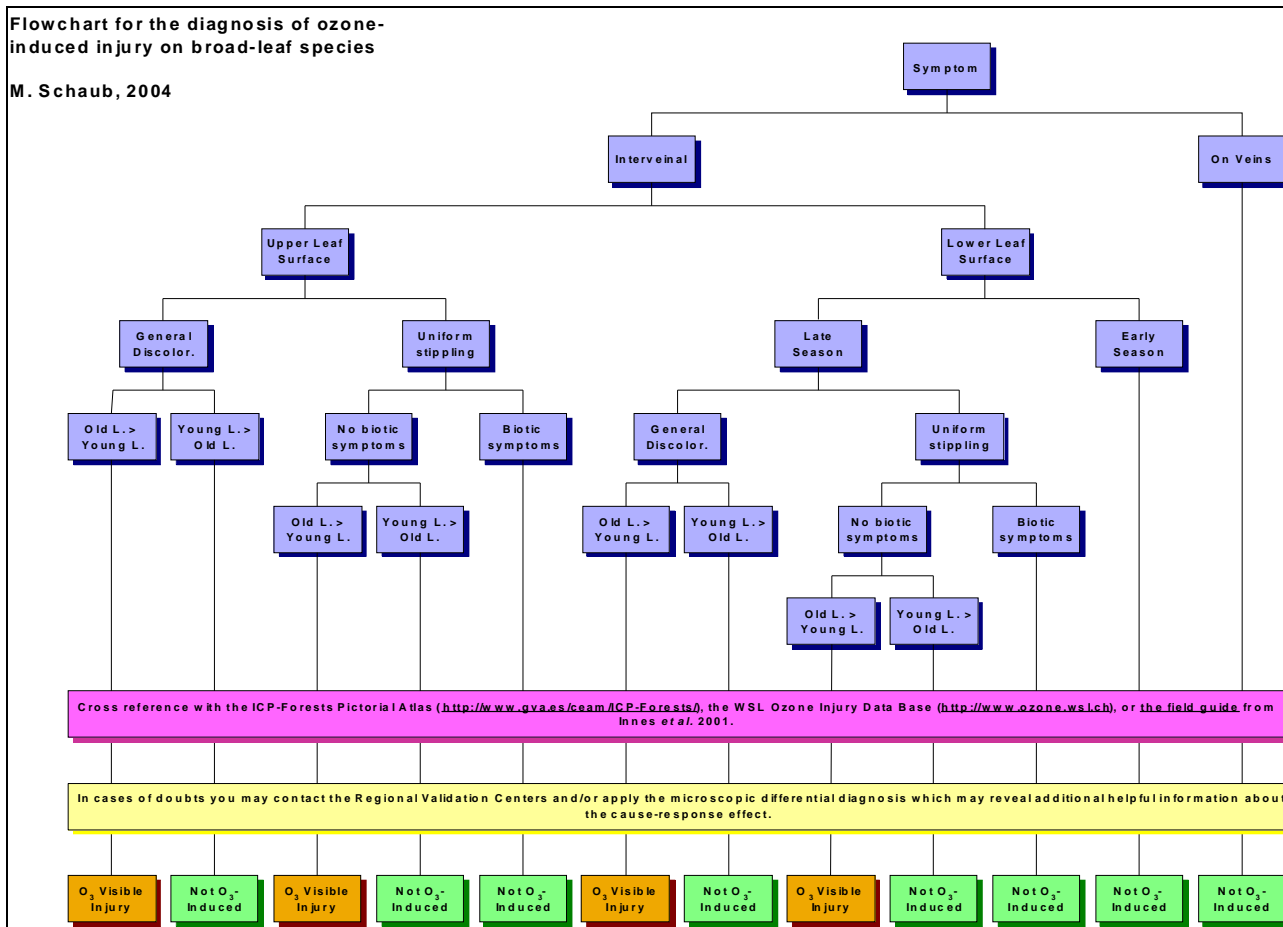


Figura 6. Diagramma di flusso per la diagnosi di danni indotti da ozono sulle latifoglie (Tratto da "Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems").

Tabella 3. Codici per il rilievo dei sintomi sulla vegetazione. (elaborato da Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems)

Codice	Descrizione dei sintomi
0	sintomi assenti
1	sintomi da ozono
2	sintomi da altri agenti
3	sintomi 1+2
4	sintomi non attribuibili con sicurezza né a 1, né a 2

Esposizione di cloni di pioppo ozono-sensibili

Presso i vivai forestali di Casteller e Masi di Cavalese sono stati piantati esemplari di due diversi cloni di pioppo ozono-sensibili forniti dallo Swiss Federal Research Institute WSL di Birmensdorf (CH).

Tali cloni sono stati distribuiti a 11 nazioni europee (Spagna, Italia, Francia, Lituania, Ungheria, Germania, Svezia, Repubblica Ceca, Cipro, Belgio e Svizzera) che partecipano al progetto PO3PLAR “Bio-indicator approach to contribute towards an O₃ risk assessment across Europe”. Queste piante vengono impiegate come bio-indicatori in programmi di monitoraggio degli effetti dell’ozono sulle piante ed in particolare vengono utilizzate per completare gli studi presso i siti di monitoraggio delle foreste di Livello II. Per il Trentino tale sito si trova al Passo Lavazè, ad una quota non adatta alla sopravvivenza di questa pianta. E’ stato pertanto scelto il vivaio di Masi di Cavalese come località più prossima, ma di quota adatta alla pianta; il vivaio di Casteller è stato invece scelto in quanto già sede di monitoraggio dell’ozono, come controllo, per avere una situazione di confronto; sulla base della modellistica fornita dalla provincia, si riteneva infatti che queste due località fossero caratterizzate da livelli ben distinti di ozono. Ciò avrebbe consentito di verificare le risposte dei cloni a diverse concentrazioni di questo inquinante. I cloni utilizzati nei due vivai erano ripartiti secondo quanto riportato in tabella 4.

Tabella 4. Numero di piante per ciascun clone di pioppo impiantate presso i vivai di Casteller e Masi di Cavalese.

Clone	Vivaio Casteller	Vivaio Masi di Cavalese
<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier cv. Dorskamp)	4	4
<i>Populus maximowiczii</i> Henry x <i>P. x berolinensis</i> Dippel (nome abbreviato: Oxford clone)	2	2

Il protocollo di lavoro prevedeva le seguenti tappe:

- marzo: radicazione delle talee
- maggio: impianto in terra piena
- giugno-ottobre: osservazione dei sintomi fogliari
- ottobre: misura dell’altezza delle piante; taglio a 10 cm dal livello del terreno e calcolo della biomassa (peso secco).

Analisi dei dati

Le concentrazioni di ozono sono state elaborate per descriverne le caratteristiche di andamento medio, decorso stagionale e tendenze spaziali e confrontarle con quelle registrate nel 2007.

Nei confronti dei sintomi da ozono, per ogni sito, relativamente al numero di rettangoli (miniplot) al suo interno, sono stati calcolati il numero medio di specie e i relativi intervalli di confidenza. Per il calcolo di questi ultimi è necessario assumere una distribuzione di riferimento e, nel caso in questione, la distribuzione assunta è di tipo *t*.

In seconda analisi è stato valutato il numero medio di casi con presenza dei descritti sintomi. Per il numero di casi “sintomatici”, sono stati calcolati degli intervalli di confidenza (IC) asimmetrici (P=95%). In questo caso, infatti, è stata assunta come distribuzione di probabilità quella di tipo Poissoniano. La

distribuzione di Poisson è spesso utilizzata per modellare dati relativi a conteggi e che rappresentano, usualmente, il numero di occorrenze di un certo evento che avvengono durante un definito lasso di tempo. In accordo con l'equazione, la distribuzione di *Poisson* descrive la probabilità di ottenere un certo conteggio x (ovvero un'incidenza) quando la media dei conteggi per unità di riferimento è pari a λ (Crawley, 2007):

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}.$$

dove $x = 1, 2, 3, \dots$

Uno dei vantaggi di utilizzare tale distribuzione, soprattutto per il calcolo degli intervalli di confidenza, è che non vengono mai calcolati intervalli con valori negativi (che non avrebbero senso in termini di conteggi). Gli IC calcolati risulteranno dunque asimmetrici.

Tutte le analisi sono state effettuate utilizzando il software R (R Development Core Team, 2008).

Risultati

Concentrazioni di ozono

Le concentrazioni medie sul periodo 30 aprile – 30 luglio sono riportate in Tabella 5. I valori più elevati ($>120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) sono stati registrati a Concei, Condino e Tonadico, mentre i più bassi ($<90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) in 5 siti della rete (Bedollo, Castello Tesino, Fondo, Levico Terme, Trento) e nei siti del Vivaio di Masi di Cavalese e presso Trento Parco Santa Chiara. La tendenza all'aumento delle concentrazioni con la quota è più debole rispetto al 2007 (Fig. 7).

Tabella 5. Concentrazioni medie (\pm deviazione standard) di ozono tra il 30 aprile ed il 30 luglio 2008 in provincia di Trento.

Nome stazione	Completezza %	[O ₃], media ($\mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$)	
Bedollo	1.00	88.0 \pm	20.89
Canazei	1.00	99.1 \pm	24.10
Castello Tesino	0.85	84.4 \pm	21.72
Cles	0.92	113.1 \pm	21.61
Concei	1.00	128.4 \pm	32.22
Condino	0.77	176.1 \pm	34.22
Coredo	1.00	93.8 \pm	19.37
Faedo	0.92	99.9 \pm	32.77
Folgaria	1.00	104.4 \pm	18.34
Fondo	0.92	89.9 \pm	11.63
Levico Terme	1.00	87.2 \pm	21.88
Peio	0.92	94.6 \pm	16.76
Predazzo	0.85	94.9 \pm	19.92
Tonadico	1.00	130.2 \pm	24.42
Trento	1.00	89.0 \pm	22.21
Trento PSC	0.85	83.5 \pm	17.19
Cavalese	1.00	82.1 \pm	19.11

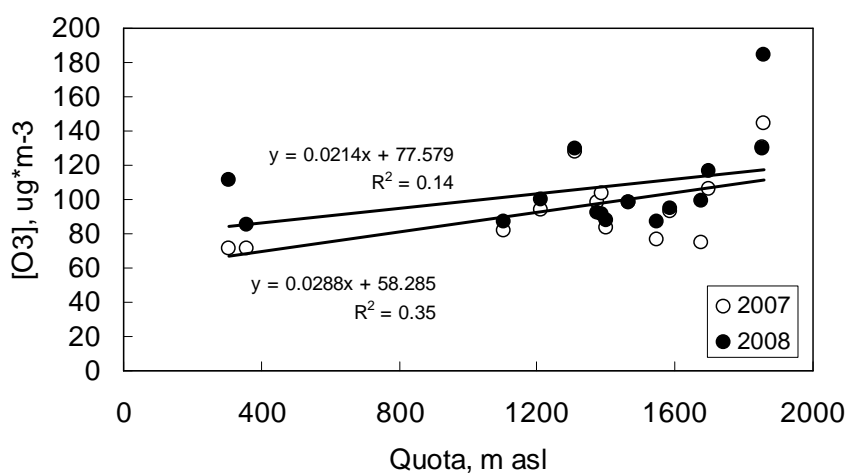


Figura 7. Concentrazioni di ozono e quota, 2007 e 2008.

In generale si può osservare per il 2008 un aumento delle concentrazioni di ozono rispetto all'anno precedente in quasi tutte le stazioni di misura (Fig. 8). Tali aumenti non sembrano dipendere dalla quota (Fig. 9) o avere una particolare distribuzione spaziale (Fig. 10).

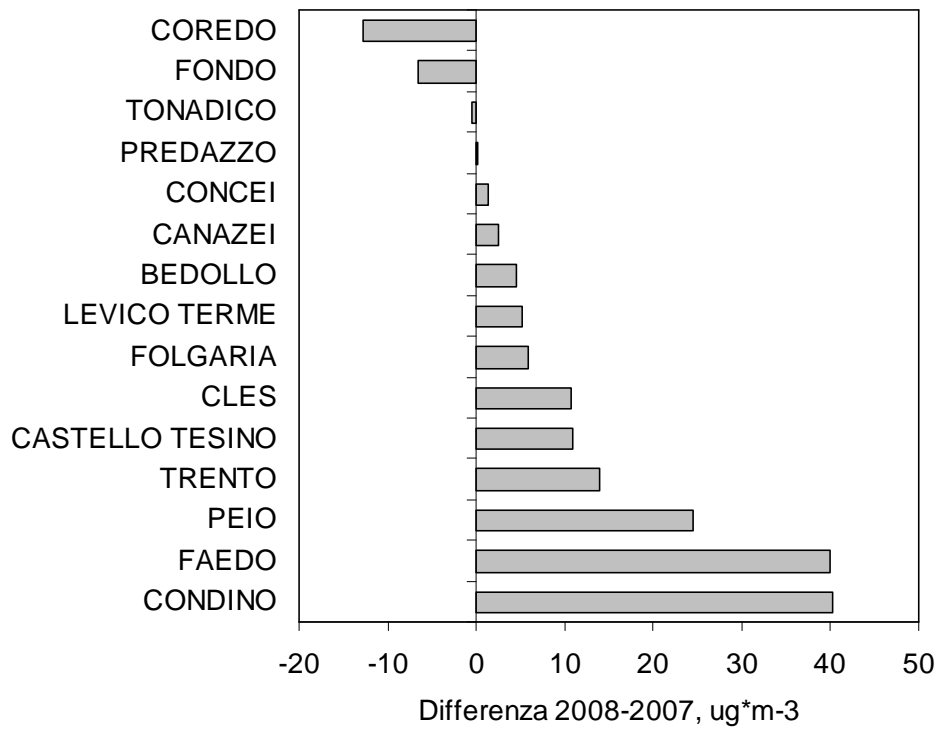


Figura 8. Differenza (2008-2007) tra le concentrazioni rilevate negli stessi siti, per lo stesso periodo nei due anni di indagine.

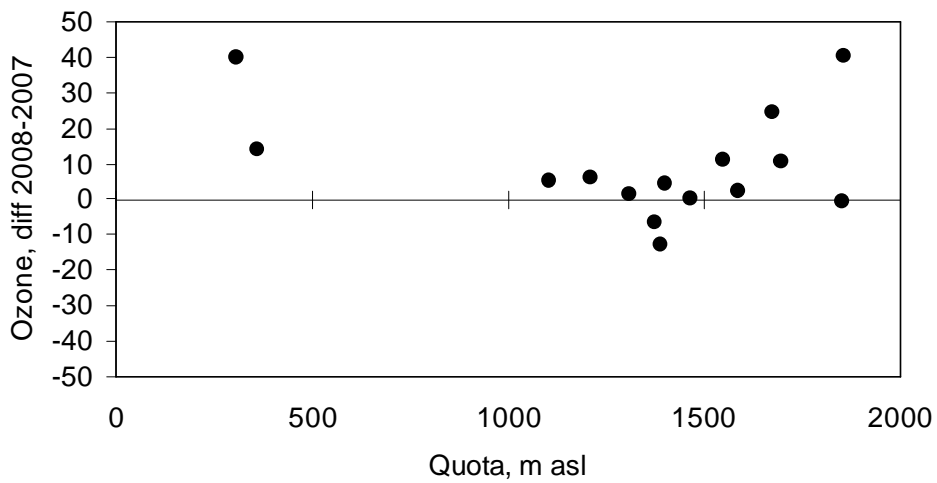


Figura 9. Differenza tra le concentrazioni medie di ozono (2008-2007) in funzione della quota.

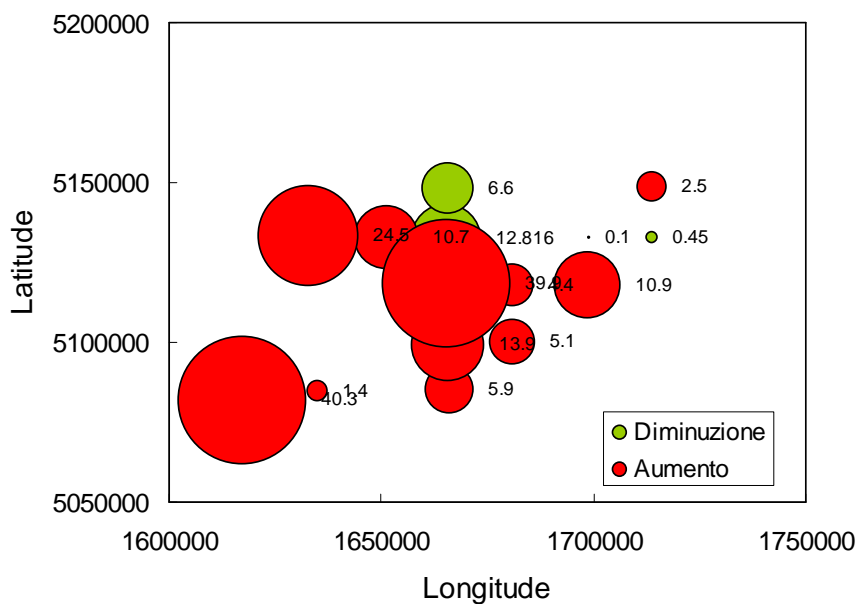


Figura 10. Localizzazione spaziale e direzione della variazioni 2008-2007. I dati sono in $\mu\text{g}^*\text{m}^{-3}$.

L'andamento temporale delle concentrazioni è riportato in figura 11 assieme a quello del 2007 per il periodo comune. Le concentrazioni 2008 mostrano due massimi, alla metà di maggio e tra la fine di giugno e la metà di luglio. Rispetto al 2007, come si vede, nella prima ed ultima parte del periodo comune di rilevamento le concentrazioni misurate sono simili, mentre una certa differenza è osservabile tra la fine di giugno e la metà di luglio. Come si nota, tuttavia, le differenze sono in genere ampiamente comprese nell'intervallo di confidenza.

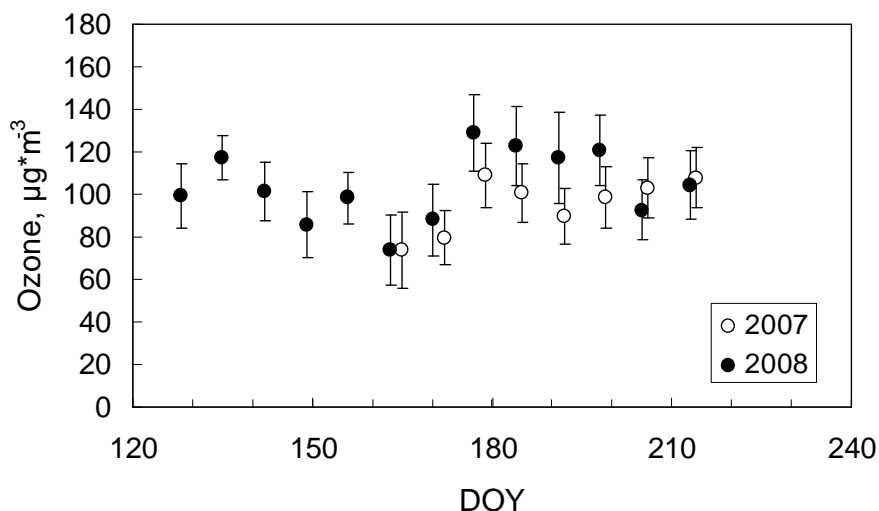


Figura 11. Andamento temporale delle concentrazioni 2008 e 2007. Le barre di errore indicano l'intervallo di confidenza ($P=95\%$).

Sintomi fogliari visibili

Osservazioni sui plot di Livello I

Le osservazioni sui sintomi sono state condotte in due occasioni, alla fine di giugno ed alla fine di agosto 2008. Complessivamente nei due rilevamenti sono state fatte 314 osservazioni. Sono state osservate 28 specie arboree/arbustive distribuite nei 60 miniplot di 2*1 m installati presso i 6 siti di Livello I (Figura 12). L'abete rosso è la specie più frequente ed è risultata presente in 5 siti su 6. Il maggior numero di specie è stato rilevato, sia nel primo che nel secondo rilevamento, presso il sito di Concei, seguito da quello di Condino (Figura 13). La Tabella 6 riporta il numero medio di specie per miniplot (2 m²) per ciascun sito e ciascuna data di rilevamento.

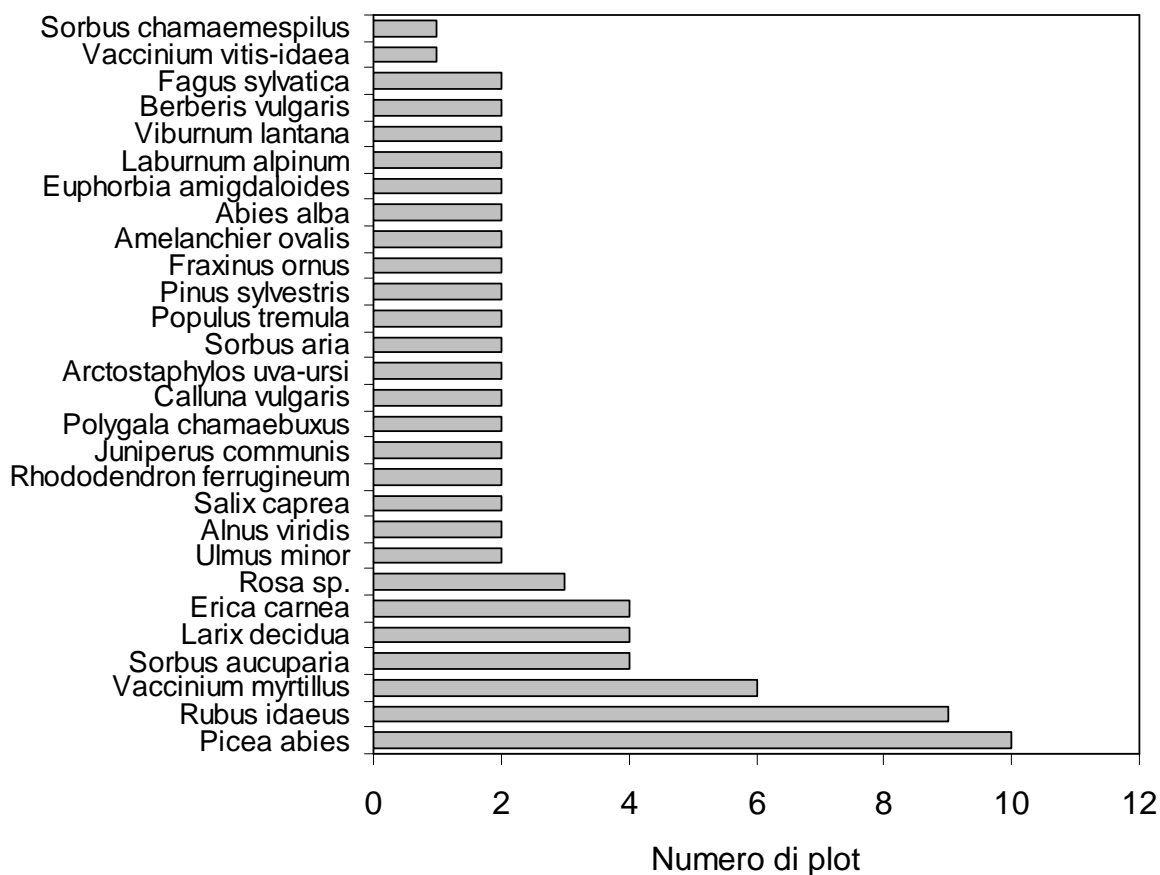


Figura 12. Specie rilevate nelle due serie di osservazioni.

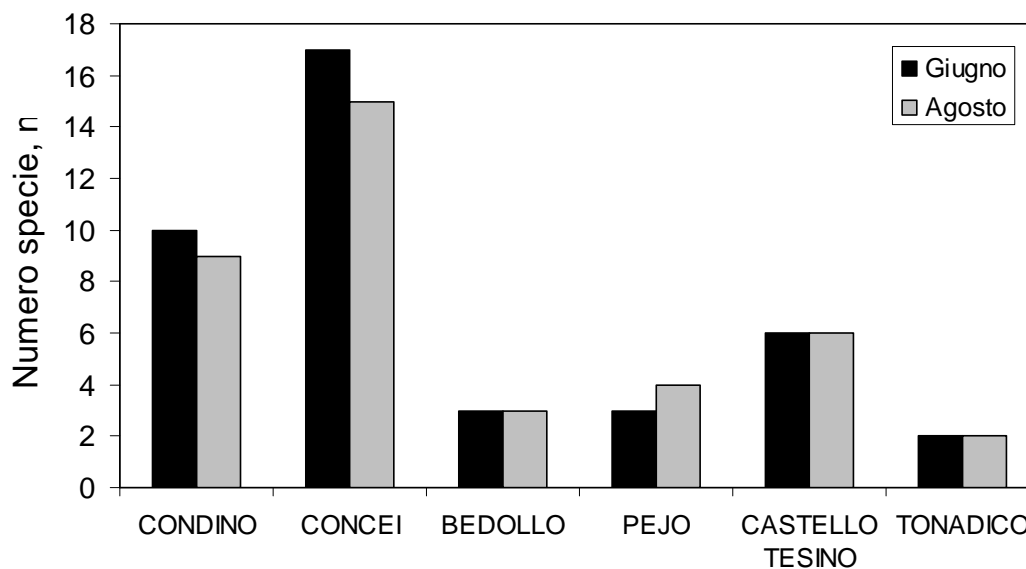


Figura 13. Numero di specie rilevate per sito ed epoca di osservazione.

Tabella 6. Media della ricchezza di specie per area di saggio (IC 95%)

SITO	DATA	N° medio di specie/plot (IC 95%)
BEDOLLO	20/06/2008	2 (+)2.337 (-)1.662
CASTELLO TESINO	23/06/2008	2.6 (+)3.203 (-)1.996
TONADICO	24/06/2008	1 (+)1.000 (-)1.000
CONDINO	12/06/2008	5 (+)5.953 (-)4.046
CONCEI	12/06/2008	3.4 (+)4.757 (-)2.042
PEJO	23/06/2008	1.3 (+)1.645 (-)0.954
BEDOLLO	04/09/2008	2 (+)2.337 (-)1.662
CASTELLO TESINO	03/09/2008	2.7 (+)3.378 (-)2.021
TONADICO	03/09/2008	1 (+)1.000 (-)1.000
CONDINO	02/09/2008	5.3 (+)6.518 (-)4.081
CONCEI	02/09/2008	3.7 (+)5.092 (-)2.307
PEJO	01/09/2008	1.4 (+)1.900 (-)0.899

Relativamente ai sintomi rilevati, la Tabella 7 riporta i risultati in termini di incidenza (n casi positivi in rapporto al totale dei casi) media per sito e per tipologia di sintomo osservato. Nei plot esaminati e sulle specie presenti non sono mai stati osservati sintomi attribuibili con certezza all'ozono, né durante il primo né durante il secondo rilevamento. Sono stati rilevati sintomi attribuibili ad ozono in un solo caso, presso il sito di Concei, su piante di Viburno esterne ai miniplot. Viceversa, sono risultati assai frequenti i sintomi attribuibili ad agenti diversi (funghi, insetti) rilevati in oltre 171 casi e risultati più frequenti nel secondo rilevamento. L'aumento dell'incidenza tra i rilevamenti di giugno e settembre si è dimostrato più elevato nei siti di Condino e Concei (Fig. 14), due tra i siti con maggiori livelli di ozono. Una certa frequenza è risultata anche per i sintomi non attribuibili con certezza né all'ozono né ad altre cause (Fig. 15). Tali sintomi, la cui causa potrebbe essere attribuibile al gelo, sono stati rilevati esclusivamente sull'abete rosso (Fig. 16), la specie più rappresentata nel campione esaminato e pressoché l'unica nel sito di Tonadico - un altro dei tre siti a più elevato livello di ozono -.

Tabella 7. Casi di sintomi per sito e data di osservazione. Sono riportati gli intervalli di confidenza (P= 95%)

SITO	DATA	Casi, n	Sintomi Assenti	Sintomi da Ozono	Altri Sintomi	Sintomi Combinati	Sintomi Non Attribuibili
BEDOLLO	20/06/2008	20	0.25 (+) 0.583 (-) 0.081	0 (+) 0.184 (-) 0.000	0.5 (+) 0.920 (-) 0.240	0 (+) 0.184 (-) 0.000	0.25 (+) 0.584 (-) 0.081
CASTELLO TESINO	23/06/2008	26	0.115 (+) 0.337 (-) 0.024	0 (+) 0.142 (-) 0.000	0.692 (+) 1.095 (-) 0.410	0 (+) 0.142 (-) 0.000	0.192 (+) 0.449 (-) 0.062
TONADICO	24/06/2008	10	0.1 (+) 0.557 (-) 0.003	0 (+) 0.369 (-) 0.000	0.1 (+) 0.557 (-) 0.003	0 (+) 0.369 (-) 0.000	0.8 (+) 1.577 (-) 0.345
CONDINO	12/06/2008	50	0.76 (+) 1.040 (-) 0.537	0 (+) 0.074 (-) 0.000	0.24 (+) 0.419 (-) 0.124	0 (+) 0.074 (-) 0.000	0 (+) 0.074 (-) 0.000
CONCEI	12/06/2008	34	0.765 (+) 1.121 (-) 0.499	0 (+) 0.109 (-) 0.000	0.235 (+) 0.464 (-) 0.101	0 (+) 0.109 (-) 0.000	0 (+) 0.109 (-) 0.000
PEJO	23/06/2008	13	0.385 (+) 0.898 (-) 0.125	0 (+) 0.284 (-) 0.000	0.538 (+) 1.110 (-) 0.216	0 (+) 0.284 (-) 0.000	0.077 (+) 0.429 (-) 0.002
BEDOLLO	04/09/2008	20	0.15 (+) 0.438 (-) 0.031	0 (+) 0.184 (-) 0.000	0.6 (+) 1.048 (-) 0.310	0 (+) 0.184 (-) 0.000	0.25 (+) 0.584 (-) 0.081
CASTELLO TESINO	03/09/2008	27	0.037 (+) 0.206 (-) 0.001	0 (+) 0.137 (-) 0.000	0.704 (+) 1.099 (-) 0.424	0 (+) 0.137 (-) 0.000	0.259 (+) 0.534 (-) 0.104
TONADICO	03/09/2008	10	0 (+) 0.369 (-) 0.000	0 (+) 0.369 (-) 0.000	0.1 (+) 0.557 (-) 0.003	0 (+) 0.369 (-) 0.000	0.9 (+) 1.709 (-) 0.411
CONDINO	02/09/2008	53	0.226 (+) 0.395 (-) 0.117	0 (+) 0.070 (-) 0.000	0.698 (+) 0.963 (-) 0.491	0 (+) 0.070 (-) 0.000	0.075 (+) 0.193 (-) 0.020
CONCEI	02/09/2008	37	0.027 (+) 0.151 (-) 0.001	0 (+) 0.100 (-) 0.000	0.973 (+) 1.348 (-) 0.681	0 (+) 0.100 (-) 0.000	0 (+) 0.100 (-) 0.000
PEJO	01/09/2008	14	0.143 (+) 0.516 (-) 0.017	0 (+) 0.264 (-) 0.000	0.714 (+) 1.314 (-) 0.342	0 (+) 0.264 (-) 0.000	0.143 (+) 0.516 (-) 0.017

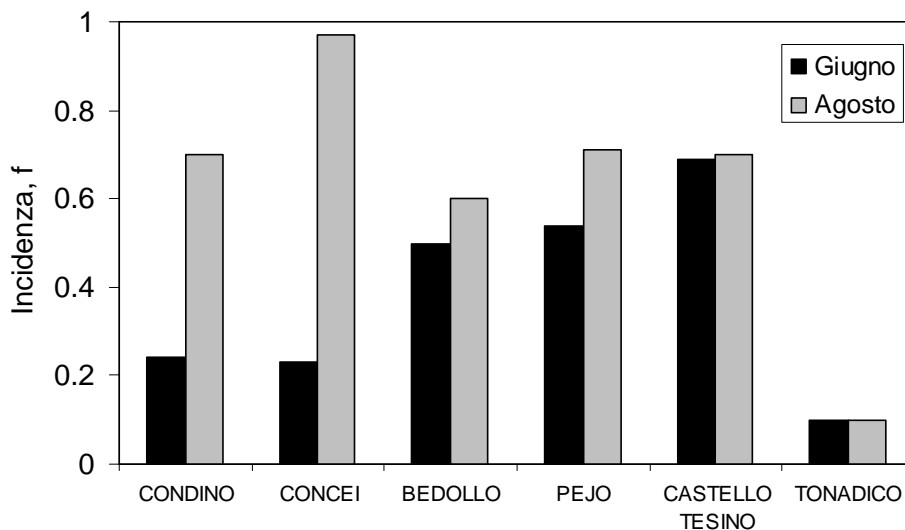


Figura 14. Incidenza dei sintomi attribuibili a cause diverse dall'ozono per sito e data di rilevamento. Intervalli di confidenza in Tabella 7.

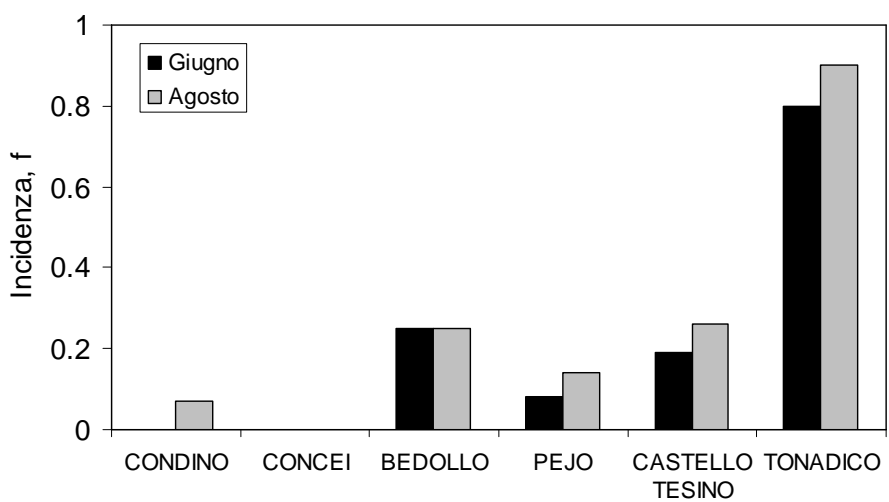


Figura 15. Incidenza dei sintomi non attribuibili né ad ozono né ad agenti diversi. Intervalli di confidenza in tabella 7.



Figura 16. Sintomi su abete rosso, non chiaramente attribuibili ad ozono e/o altre cause note.

Osservazioni sui siti di Monte Terlago, Margone e Passo Lavazè

I dati rilevati presso i siti di Passo Lavazè, Monte Terlago e Margone sono riportati in Tabella 8. Sintomi attribuibili ad ozono sono stati rilevati presso Margone su piante di *Rhamnus cathartica*, *Cornus mas*, *Viburnum lantana* e *Prunus mahaleb*, mentre una certa frequenza è stata mostrata sia da sintomi attribuibili ad altre cause, di gran lunga prevalenti, e da sintomi combinati (attribuibili ad ozono e ad altri agenti). Presso il sito di Monte Terlago sono stati osservati sintomi da ozono, da soli o in combinazione con sintomi attribuibili ad altre cause, su *Acer campestre*, *Viburnum lantana* e *Cornus sanguinea*. Da notare, per il sito di Lavazè, una certa frequenza di sintomi non attribuibili con certezza a nessuna causa, rilevati di nuovo su abete rosso.

Tabella 8. Incidenza e IC (P=95%) dei diversi sintomi nei siti di Margone, Terlago e Passo Lavazè.

Sito	Casi, n	Sintomi Assenti	Sintomi da Ozono	Altri Sintomi	Sintomi Combinati	Sintomi Non Attribuibili
MARGONE	63	0.142 (+) 0.271 (-) 0.065	0.032 (+) 0.115 (-) 0.004	0.746 (+) 0.992 (-) 0.548	0.079 (+) 0.185 (-) 0.026	0 (+) 0.059 (-) 0.000
MONTE TERLAGO	71	0.155 (+) 0.277 (-) 0.077	0 (+) 0.052 (-) 0.000	0.704 (+) 0.929 (-) 0.523	0.141 (+) 0.259 (-) 0.067	0 (+) 0.052 (-) 0.000
LAVAZE'	106	0.141 (+) 0.233 (-) 0.079	0 (+) 0.035 (-) 0.000	0.679 (+) 0.856 (-) 0.531	0 (+) 0.035 (-) 0.000	0.179 (+) 0.290 (-) 0.108

Osservazioni sui cloni di pioppo

Le osservazioni dei sintomi fogliari sui cloni di pioppo installati presso i vivai di Masi di Cavalese e Casteller non hanno portato al riscontro di alterazioni visibili attribuibili ad ozono.

I rilievi effettuati alla fine della stagione vegetativa relativi alla determinazione della crescita dei pioppi hanno mostrato differenze nella produzione di biomassa, valutata in termini di peso secco, sia tra i due siti che tra i due cloni di pioppo (Fig. 17a).

Nello specifico, confrontando i due siti, si osserva come gli individui insediati presso il vivaio di Casteller abbiano prodotto, per entrambe i cloni, una quantità maggiore di biomassa rispetto a quelli del vivaio di Cavalese. Questa variabilità è probabilmente attribuibile alla quota più elevata del vivaio di Cavalese, con conseguenze negative sulla velocità di crescita dovute alle relative condizioni climatiche, mentre è da escludere un'influenza dell'ozono che, nelle misurazioni del 2008, si è dimostrato a concentrazioni basse per entrambe i siti (vedi Tab. 5 pag. 19, dove il sito di Casteller corrisponde a "Trento" e Masi di Cavalese a "Cavalese").

Esaminando i dati relativi alla crescita dei due diversi cloni, è stato rilevato un maggiore sviluppo della parte aerea delle piante per gli individui appartenenti al clone *Populus x euramericana* (PxEUR) rispetto al clone *Populus maximowiczii* Henry x *P. x berlinensis* Dippel (PxMAX). Questa differenza è riscontrabile non solo in termini di biomassa prodotta, ma anche in termini di altezza raggiunta dagli individui a fine stagione vegetativa (Fig. 17b). Le altezze, misurate nel solo sito di Casteller, mostrano valori medi superiori ai due metri e mezzo per il clone PxEUR e di circa 180 cm per il clone PxMAX..

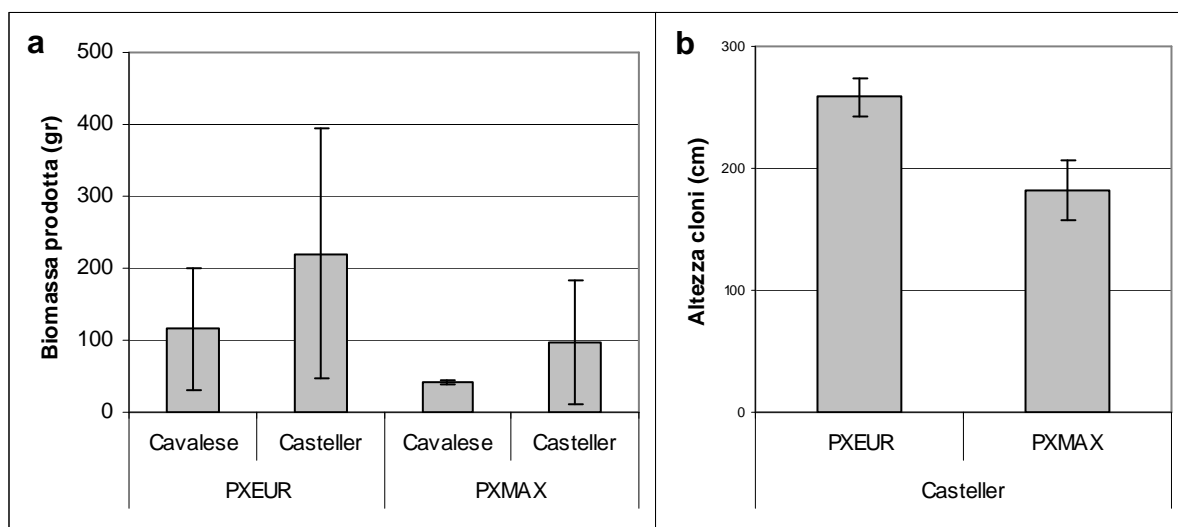


Figura 17. Crescita degli individui appartenenti ai cloni di pioppo *Populus x euramericana* (PxEUR) e *Populus maximowiczii* Henry x *P. x berlinensis* Dippel (PxMAX) presso i vivai di Cavalese e Casteller. Sono rappresentate in a) la produzione media di biomassa e in b) l'altezza media delle piante a fine stagione vegetativa. Le barre indicano la deviazione standard.

Conclusioni

Le principali conclusioni della campagna ozono 2008 sono riassumibili come segue:

- i livelli di ozono risultano simili a quelli rilevati nel 2007, con poche variazioni degne di nota ed in genere verso l'aumento. Considerando che le stime di AOT40 basate sulle misure del 2007 indicavano eccedenze dei livelli critici per la vegetazione, è ragionevole pensare che tali livelli siano superati anche nel 2008;
- i sintomi attribuibili con relativa certezza ad ozono sono risultati rari. Ciò può essere ricondotto anche alla tipologia di vegetazione esaminata, che raramente ha portato all'osservazione di specie la cui sensibilità all'ozono è riconosciuta. D'altra parte è evidente che le specie arbustive ed arboree esaminate non sembrano mostrare sintomi specifici;
- i sintomi attribuibili a cause diverse dall'ozono sono largamente prevalenti. Ciò è ragionevole e rispecchia quanto da attendersi in condizioni non acute di contaminazione. Di un certo interesse, nei siti di Livello I, l'aumento di questi sintomi tra le due date di osservazione avvenuto con più evidenza in due dei tre siti a più alta concentrazione di ozono e che merita ulteriori approfondimenti;
- i sintomi non attribuibili con certezza ad una causa specifica sono risultati di una certa rilevanza per l'abete rosso, in particolare nel sito di Tonadico. Anche questo aspetto merita un ulteriore approfondimento.

ATTIVITA' DIDATTICA

Con il patrocinio dell'Agenda Provinciale per la Protezione dell'Ambiente e del Servizio Foreste e Fauna della PAT, la Fondazione E. Mach - in collaborazione con altri soggetti - ha intrapreso nel 2008 iniziative nell'ambito della formazione, al fine di migliorare le conoscenze degli operatori FEM relativamente agli effetti dell'ozono sulla vegetazione e di incrementare i contatti a livello internazionale. A tale scopo sono stati organizzati due distinti eventi: un corso base, di carattere introduttivo, ed un incontro internazionale di intercalibrazione.

Corso introduttivo

Sintomi da ozono sulla vegetazione: metodi, valutazione e validazione
25-27 agosto, San Michele all'Adige (TN)



La Fondazione Edmund Mach, TerraData environmetrics e l'Università degli Studi di Firenze hanno organizzato un corso rivolto a coloro che si occupano di tematiche ambientali, bioindicazione, effetti degli inquinanti sulla vegetazione, stato di salute delle piante. I temi chiave affrontati nel corso delle lezioni teorico-pratiche hanno riguardato:

- diagnosi dei sintomi da ozono
- riconoscimento di specie vegetali sensibili e non
- monitoraggio degli effetti sulla vegetazione spontanea
- utilizzo di bioindicatori introdotti
- principali tecniche campionarie
- qualità e trattamento dei dati
- esercitazioni pratiche di riconoscimento di sintomi da ozono
- tecniche microscopiche di validazione dei sintomi fogliari

Al corso hanno partecipato 15 persone; di queste, 5 con qualifica forestale, 4 ricercatori (liberi professionisti, universitari, ricercatori ENEA), 4 dipendenti FEM e 2 studenti. I partecipanti provenivano in prevalenza dal Trentino ma il corso ha visto adesioni anche da Perugia, Aosta, Napoli, Varese.

Dalla scheda di valutazione del corso, compilata da parte degli studenti in forma anonima, è emerso complessivamente un giudizio più che positivo, sia per gli aspetti logistici sia per i contenuti didattici del corso (Fig. 18).

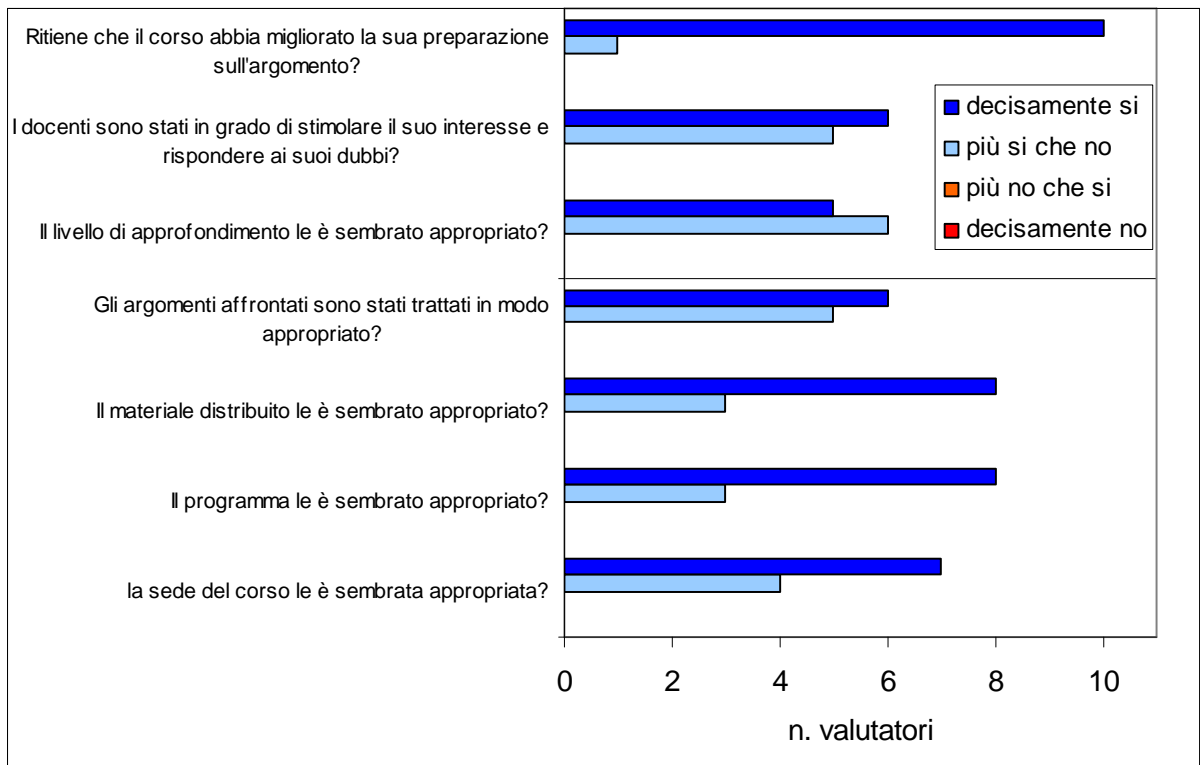


Figura 18. Esito del test di valutazione del corso base "Sintomi da ozono sulla vegetazione: metodi, valutazione e validazione" da parte dei corsisti.

Corso internazionale

9th UNECE/ICP-Forests Intercalibration Course on the Assessment of Ozone Visible Injury

27-29 agosto, San Michele all'Adige (TN)



Presso la Fondazione Edmund Mach – Istituto Agrario di San Michele all'Adige si è svolto, dal 27 al 29 agosto 2008, il 9° corso internazionale di intercalibrazione per la valutazione degli effetti dell'ozono troposferico sulle foreste. Il corso è stato organizzato dalla Fondazione Edmund Mach in collaborazione con TerraData environmetrics di Siena, nell'ambito del programma internazionale UN/ECE per la valutazione ed il monitoraggio degli effetti degli inquinanti atmosferici sulle foreste.

Il corso si è svolto in co-operazione con l' "Istituto Federale svizzero di ricerca per le foreste, la neve ed il paesaggio" (WSL) di Birmensdorf, Svizzera ed il "Centro di studi ambientali del mediterraneo" (CEAM) di Valencia, Spagna.

Al corso hanno partecipato 18 studiosi provenienti da 8 nazionalità diverse: Italia, Spagna, Svizzera, Turchia, Repubblica Ceca, Ungheria, Repubblica Slovacca, Cipro.

Il programma ha previsto una breve parte teorica ed una cospicua attività pratica, sia in laboratorio sia in campo. Durante l'esercitazione in campo sono state applicate le metodiche standardizzate di osservazione adottate da tutti i partecipanti al Gruppo di Lavoro "Ambient Air Quality" di ICP-Forests. Le attività di intercalibrazione, che vengono intraprese annualmente, assicurano che tutti gli operatori applichino correttamente le procedure di rilievo dei sintomi da ozono ed interpretino i sintomi in maniera univoca al fine di ottenere dati comparabili a livello internazionale.

ATTIVITA' DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

Il giorno 18 giugno 2008 si è tenuto a Trento un incontro informativo organizzato da FEM-IASMA, TerraData environmetrics, APPA TN e Servizio Foreste e Fauna della PAT dal titolo:



Ozono troposferico in Trentino verso la comprensione dei reali effetti sulla vegetazione

18 Giugno 2008, ore 8.30 – 13.00

Trento, piazza Dante 15

Palazzo Provincia - sala Esposizioni

incontro informativo organizzato da



AGENZIA PROVINCIALE PER LA
PROTEZIONE DELL'AMBIENTE



SERVIZIO FORESTE E FAUNA
CERTIFICATO UNI EN ISO 14001 - OHSAS 18001

FONDAZIONE EDMUND MACH



ISTITUTO AGRARIO
DI SAN MICHELE ALL'ADIGE



TerraData
environmetrics

L'inquinamento da ozono troposferico è attualmente oggetto di studio da parte della comunità scientifica nazionale ed internazionale anche per i suoi potenziali effetti negativi sulla vegetazione. Per cercare di comprendere la reale dimensione del problema a livello locale, questa tematica è stata recentemente affrontata anche in Trentino.

L'incontro ha lo scopo di informare sui primi risultati ottenuti e su come si intende orientare la ricerca in futuro; vuole inoltre essere un momento di confronto con quanto viene svolto nelle realtà montane a noi più prossime, anche nell'ottica di creare efficaci sinergie.

Programma

8.30 - 9.00	Registrazione partecipanti
9.00 - 9.30	Saluto delle Autorità
	<i>Fabio Berlanda, Direttore dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente</i> <i>Maurizio Zanin, Dirigente del Servizio Foreste e Fauna PAT</i>
9.30 - 11.00	Ozono troposferico e vegetazione in provincia di Trento <i>Moderatore: Nicola La Porta, FEM-IASMA</i>
	Lo studio dei livelli e degli effetti dell'ozono nelle aree rurali e forestali trentine nel 2007-2008: concetto ed implementazione <i>Elena Gottardini, FEM-IASMA</i>
	I livelli di Ozono in provincia di Trento misurati dalla rete provinciale di monitoraggio degli inquinanti atmosferici <i>Gabriele Tonidandel, APPA Trento</i>
	Ozono in aree rurali e forestali della provincia di Trento: concentrazioni e variabilità a diverse scale spaziali <i>Fabiana Cristofolini, FEM-IASMA</i>
	Concentrazioni di ozono in provincia di Trento e sintomi sulla vegetazione sensibile <i>Antonella Cristofori, FEM-IASMA</i>
	Procedure di Quality Assurance nel biomonitoraggio dell'ozono in Trentino <i>Cristina Nali, Alessandra Francini, Università di Pisa</i>
11.00 - 11.30	Pausa caffè
11.30 - 12.30	Ricerche su ozono troposferico ed effetti sulla vegetazione in altre realtà montane
	Lombardia - <i>Antonio Tagliaferri, ERSAF Regione Lombardia</i>
	Piemonte - <i>Bona Griselli, ARPA Piemonte</i>
	La Rete Nazionale Integrata CONECOFOR. Parte A - Rilevamento dell'ozono negli ecosistemi forestali. Parte B - Effetti sulla vegetazione. <i>Armando Buffoni, Ambiente Italia; Filippo Bussotti, Università di Firenze; Bruno Petriccione, Corpo Forestale dello Stato</i>
12.30 - 13.00	Verso la comprensione dei reali effetti dell'ozono sulla vegetazione in Trentino - un'ipotesi di lavoro <i>Marco Ferretti, TerraData; Elena Gottardini, FEM-IASMA</i>

Partecipazione a IUFRO Conference, Murten (CH)

Dal 7 al 12 settembre si è tenuto a Murten (CH) il 23° Congresso IUFRO per esperti in effetti di inquinamento atmosferico e cambiamenti climatici sugli ecosistemi forestali. Nell'ambito di tale occasione è stato presentato il lavoro di seguito riportato in forma di poster.

Local scale variability of ozone concentration, exposure and impact on vegetation in a subalpine environment, Northern Italy

Elena Gottardini¹, Fabiana Cristofolini¹, Antonella Cristofori¹, Marco Ferretti²



¹IASMA Research Centre - Natural Resources Department, San Michele a/A (TN), Italy

²TerraData environmetrics, Siena, Italy



Introduction

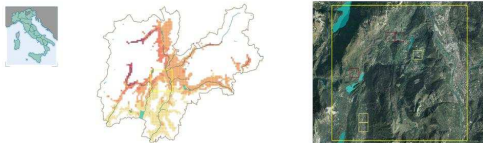
Potential risk assessment to vegetation due to ozone is often evaluated by means of modelling at large (e.g., EMEP, 50°50 km) or local scale (e.g., CALGRID applications, up to 1°1 km) (Figure 1). For example, the Province of Trento (Northern Italy) is 6212 km², and includes nominally few EMEP grid cells (each cell is 2500 km²); on the other hand, the CALGRID provides outputs estimates for a total of 6212 grid cells.

These models provide estimates of mean values for their minimum mapping unit, but the reliability of such mean values under complex terrain conditions and/or for sub-regional risk assessment and/or in correlative studies to detect ozone effects on vegetation is uncertain.

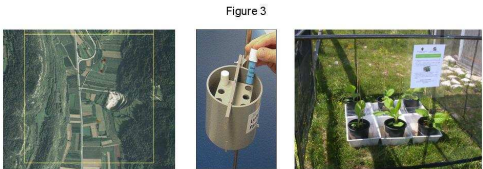
Objective

To test local scale variability of ozone concentration and exposure and effects on vegetation.

Methods



A 15*15 km grid square covering a predicted range of ozone concentration from 72 to 120 µg/m³ was identified and six 1*1 km grid cells were randomly selected within two concentration strata, with predicted ozone <77.4 µg/m³ (n=3) and >110.9 µg/m³ (n=3) (Figure 2).



Within each grid cell, three sites were randomly selected and equipped with passive samplers (Figure 3). One site per grid cell was also equipped with the supersensitive *Nicotiana tabacum* Bel-W3 (Figure 3).



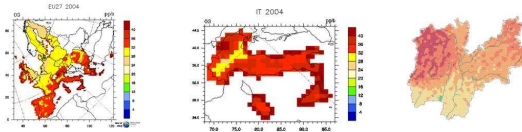
Three additional sites equipped with real time conventional ozone monitors were used to verify the performance of the passive samplers and the response of bioindicators. Measurements were carried out over four weeks, between 30 May and 27 June 2007.

The variability of ozone concentration within the 1x1 km grid cells was examined by means of the coefficient of variation (CV), while Repeated Measures ANOVA was used for testing the null hypothesis of no difference within the 15*15 km grid square.

Conclusions

1. Visible foliar symptoms correlated to the ambient ozone levels measured in Trentino.
2. Significant differences in ozone concentrations were found within the examined 15*15 km grid square, and a certain variation occurred also at the 1°1 km resolution.
3. Significant differences occurring at the scale of 15*15 km suggest that even greater differences may occur at the resolution adopted by large scale models currently being used to estimate potential risk to vegetation due to ozone.
4. Coupled with the likely variability of other important meteorological, soil and vegetation variables, our findings suggests that risk assessment based on large scale models needs to be considered with great caution.

Figure 1. EMEP (for Europe and Italy) and CALGRID (for Trentino, Northern Italy) modelling.



Results

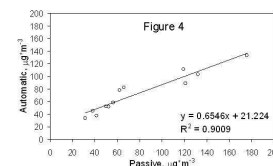
Descriptive statistics of ozone measurements are in Table 1, together with AOT40 estimates and LII on tobacco plants for the four-week period.

Grid cell	Ozone			Visible injury score			
	n	Mean	SD	AOT40	n	Mean	SD
Cadine	3	80.1	18.6	3215	1(6)	1.5	0.5
Gardolo*	1	45.4	13.6	589	1(6)	1.1	0.3
Gazza*	1	136.8	26.4	9988	1(6)	3.9	1.1
Lasino N	3	81.3	14.3	2981	1(6)	1.7	1.4
Lasino S	3	86.0	20.2	3550	1(6)	2.4	1.2
Margone	3	112.8	19.7	6704	1(6)	1.6	0.7
Maso Ardel	3	94.5	27.0	3152	1(6)	1.7	0.8
Monte Terlago	3	86.3	36.8	4985	1(6)	1.6	0.5
San Michele*	1	54.1	10.1	1006	1(6)	1.2	0.7

* off network calibration sites

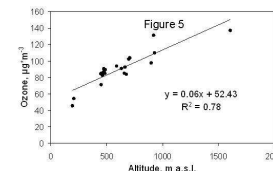
Reliability of ozone measurements and estimates

Calibration data show that passive samplers provide good estimates of ozone concentrations (Figure 4) and exposure (in terms of AOT40).

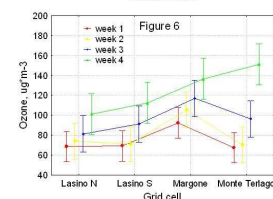


Variability of ozone concentration

A distinct increase of ozone with the elevation was obvious (Figure 5). Within the 1°1 km cells, CV of ozone concentrations was found to vary between 0.2 and 29.6 %.

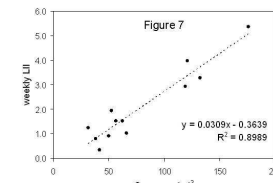


Significant differences in ozone concentrations were detected within the 15*15 km grid square: among grid cells (P=0.038), measurement weeks (P<0.0001) and their interaction (P=0.0006) (Figure 6).



Ozone and injury on sensitive vegetation

Symptoms on tobacco plants were largely explained by ozone concentration measured at the sites (Figure 7).



23rd IUFRO Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems
Air Pollution and Climate Change at Contrasting Altitude and Latitude

Murten, Switzerland
September 7-12, 2008

This study was carried out with the support of the Environmental Protection Agency of the Provincia Autonoma di Trento

Bibliografia ed ulteriori letture

- Bacaro G., Calderisi M., Cristofolini F., Cristofori A., Gottardini E., Rocchini D., Ferretti M., 2008. Studio di un modello per la stima dell'ozono troposferico in provincia di Trento. Relazione tecnica dello studio realizzato nell'ambito della convenzione tra IASMA e Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento (Convenzione N. 4297 del 12/3/08). 45 pp.
- Box G. E. P., Cox D. R., 1964. An analysis of transformations (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 26: 211-252.
- Burrough P. A., McDonnell, R. A., 1998. *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford Press University, New York.
- Cressie N., 1993. *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York.
- Diggle P. J., Ribeiro J. P. Jr., 2007. *Model-based Geostatistics*. Springer.
- DIRETTIVA 2008/50/CE del 21 maggio 2008. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, 11.6.2008.
- Ferretti M., Bacaro G., Calderisi M., Cristofolini F., Cristofori A., Gottardini E., Rocchini D., 2008. Ozono troposferico in Trentino 2008. Relazione tecnica TDe 27-2008/16 (V1 R0): 28 pp.
- Gerosa G., Ferretti M., Bussotti F., Rocchini D., 2007. Estimates of ozone AOT40 from passive sampling in forest sites in South-Western Europe. *Environmental Pollution*, 145: 629-635.
- Goodchild M.F., 2004. GIScience, Geography, Form, and Process. *Annals of the Association of American Geographers* 94, 709-714.
- Gottardini E., Cristofori A., Cristofolini F., Ferretti M., 2008. Rilevamento di Ozono presso i siti forestali UN/ECE Level I nella Provincia di Trento nel 2007. Istituto Agrario di San Michele all'Adige (IASMA). Centro Sperimentale. Relazione dello studio realizzato nell'ambito della convenzione tra Servizio Foreste e IASMA: 26 pp.
- Gottardini E., Cristofori A., Cristofolini F., Ferretti M., 2007. Bio-monitoraggio integrato dell'ozono in provincia di Trento. Istituto Agrario di San Michele all'Adige (IASMA). Centro Sperimentale. Relazione dello studio realizzato nell'ambito della convenzione tra APPA Trento e IASMA nel campo della tutela e studio della qualità dell'aria (Det. N. 174/2 del 09.07.2007).
- Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Ferretti M., 2008. Ozono troposferico in Trentino: verso la comprensione degli effetti sulla vegetazione. *Terra Trentina* 10: 30-33.
- Günthardt-Goerg M.S., Vollenweider P., 2007. Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: New diagnostic perspectives. *Environmental Pollution* 147: 467-488.
- Innes J.L., Skelly J.M., Schaub M., 2001. Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. *Ozon, Laubholz- und Krautpflanzen. Ein Führer zum Bestimmen von Ozonsymptomen*. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Stuttgart, Wien; Haupt. 136. ISBN 3-258-06384-2.
- Lam, N. S. N., 1983. Spatial interpolation methods: a review. *The American Cartographer* 10: 129-149.

- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W., 2003. Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.
- Mangoni M., Buffoni A., 2008. Status and trend of ground-level ozone at the CONECOFOR plots, 1996-2005. In: Ferretti M., Bussotti F., Fabbio G., Petriccione B., (Eds.), 2008. Ecological condition of selected forest ecosystems in Italy. Status and changes 1995-2005. Fourth report of the Task Force on Integrated and Combined (I&C) evaluation of the CONECOFOR programme. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Vol. 34, 2005-2006: 85-100.
- Pawitan Y., 2001. In All Likelihood: Statistical Modelling and Inference Using Likelihood. Oxford University Press, Oxford.
- R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rocchini D., Ricotta C., 2007. Are landscapes as crisp as we may think? Ecological Modelling 204, 535-539.
- Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems (Intensive Monitoring Plots /Level II), 2004. Submanual_ICP.doc, <http://www.gva.es/ceam/ICP-forests/>.
- UN-ECE, 2004. Mapping critical levels for vegetation (Chapter 3). In: Revised Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and Geographical Areas Where They are Exceeded. Umweltbundesamt, Berlin, Germany, 53 p. http://www.oekodata.com/icpmapping/pub/manual_2004/mapman_3.pdf.
- TECHNE Consulting s.r.l, 2006. Studio modellistico sulla generazione e trasporto dell'ozono. APPA TN, N.Raccolta 13/05, pp.106.
- The Royal Society, 2008. Ground Level Ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications. The Royal Society: 132 pp.
- Vingarzan R., 2004. A review of surface ozone background levels and trends. Atmospheric Environment, 38: 3431-3442
- Wold H., 1982. Soft modelling. The basic design and some extensions, in: K.-G. Joreskog, H. Wold. Eds. Systems Under Indirect Observation, vols. I and II, North-Holland, Amsterdam.
- Wold S., et al., 2001. PLS-regression: a basic tool of chemometrics. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 58: 109 - 130.