

Bio-monitoraggio integrato dell'ozono in provincia di Trento

IASMA - Elena Gottardini, Antonella Cristofori, Fabiana Cristofolini
TerraData environmetrics – Marco Ferretti



Relazione dello studio realizzato nel 2007 nell'ambito della convenzione stipulata tra APPA Trento e IASMA nel campo della tutela e studio della qualità dell'aria (Det. N. 174/2 del 09.07.2007).

Bio-monitoraggio integrato dell'ozono in provincia di Trento

IASMA - Elena Gottardini, Antonella Cristofori, Fabiana Cristofolini
TerraData environmetrics – Marco Ferretti



Relazione dello studio realizzato nel 2007 nell'ambito della convenzione stipulata tra APPA Trento e IASMA nel campo della tutela e studio della qualità dell'aria (Det. N. 174/2 del 09.07.2007).

Riassunto	2
Premessa	2
Metodi	3
<i>Periodo di indagine e area indagata</i>	3
<i>Produzione del materiale vegetale</i>	3
<i>Disegno di campionamento e selezione dei siti</i>	5
<i>Esposizione dei campionatori passivi e dei bioindicatori</i>	7
<i>Calibrazione bioindicatori- campionatori passivi-centraline automatiche</i>	7
<i>Rilievi in campo</i>	8
<i>Calcolo dell'indice di danno fogliare</i>	9
<i>Modellizzazione dei valori orari e stima di AOT40</i>	10
<i>Quality Assurance</i>	11
Risultati	12
<i>Confronto tra valori di ozono</i>	13
<i>Stima dei valori di AOT40</i>	14
<i>Valori di ozono e risposta dei bioindicatori</i>	16
Considerazioni conclusive	18
Riferimenti bibliografici	19

Riassunto

Nella primavera-estate 2007 in provincia di Trento è stato realizzato uno studio di bio-monitoraggio dell'ozono; a tale scopo sono state effettuate misure dell'inquinante con campionatori diffusivi per verificare gli effettivi livelli e la coerenza dei dati rilevati con quelli predetti dalla modellistica. La contemporanea esposizione di piante ozono-sensibili (*Nicotiana tabacum* L. Bel-W3) ha consentito di verificare gli effetti sulla vegetazione in relazione ai livelli di ozono.

I siti per la realizzazione dello studio sono stati selezionati secondo un disegno di campionamento basato su un approccio statistico che permette di escludere errori dovuti a criteri soggettivi di scelta delle aree di studio ed a controllare gli errori campionari.

I risultati hanno evidenziato una buona correlazione tra i dati di ozono ottenuti dai campionatori passivi e quelli misurati dagli analizzatori automatici della rete APPA; ciò conforta sulla validità dell'utilizzo di tali dispositivi per la stima dell'inquinante a scala maggiore, rendendoli preferibili ai valori forniti dal modello. I dati si dimostrano ben utilizzabili anche per la stima dei valori di AOT40 su base statistica.

E' stata inoltre dimostrata la validità del bioindicatore specifico per l'ozono e verificato che i livelli dell'inquinante sono tali da causare un danno alla vegetazione sensibile, proporzionale alle concentrazioni misurate; ciò suggerisce la possibilità di estendere spazialmente il monitoraggio di questo inquinante in modo integrato.

Premessa

Attualmente l'ozono (O₃) è ritenuto il contaminante gassoso di potenziale maggiore pericolosità per la vegetazione agraria, semi-naturale e forestale (UN/ECE 2004). Dati preliminari disponibili in siti forestali del Trentino evidenziano concentrazioni elevate (Buffoni e Tita, 2003; Mangoni et al., in stampa), ma non esistono osservazioni dirette né sull'effettiva distribuzione territoriale di questo inquinante, né sui suoi effetti sulla vegetazione.

L'obiettivo del presente studio è quindi valutare se siano ipotizzabili effetti di questo inquinante sulla vegetazione in Trentino. A questo fine è necessario:

- (i) disporre di stime realistiche sull'esposizione ad ozono della vegetazione agraria e forestale della provincia,
- (ii) verificare se ci siano evidenze di effetti su vegetazione di riconosciuta sensibilità,
- (iii) verificare se queste siano relazionabili ai livelli di ozono, ed infine
- (iv) se vi siano evidenze di effetti sulla vegetazione naturale e coltivata *in situ*.

È da sottolineare come le risposte a tali quesiti portano, come valenza aggiuntiva, a soddisfare le richieste della Direttiva 2002/3/CE in materia di ozono nell'aria.

In questo studio sono stati affrontati in specifico i punti (i), (ii) e (iii), lasciando il punto (iv) ad un successivo approfondimento.

Stime relative all'esposizione ad ozono della vegetazione agraria e forestale sono desumibili dai dati forniti dallo *Studio modellistico sulla generazione e trasporto dell'ozono* (modello Techne RF 4, Dicembre 2006 - dati relativi al 2004). Tale Studio riporta le concentrazioni modellizzate di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medie quindicinali per il periodo 1 Maggio - 31 Agosto 2004 e le stime di AOT40¹ per celle unichilometriche.

Una prima parte del nostro lavoro è stata perciò dedicata all'individuazione, sulla base dei dati forniti dal modello, di celle a predetti alti e bassi livelli di ozono e ad effettuare misurazioni per verificare sia gli effettivi livelli di ozono che la coerenza dei dati rilevati con quelli prodotti dal modello.

Sono state quindi effettuate misure mediante dosimetri passivi, da confrontare con i dati del modello, ed elaborate stime di AOT40 su base statistica. Sono stati inoltre studiati gli effetti sulla vegetazione sensibile in relazione all'esposizione a diversi livelli di ozono, utilizzando bioindicatori specifici di sensibilità conosciuta.

Questo rapporto presenta i risultati ottenuti.

Metodi

Periodo di indagine e area indagata

Lo studio di bio-monitoraggio dell'ozono è stato realizzato nel corso della primavera - estate del 2007. L'area interessata dallo studio ha compreso la valle di Cavedine, estendendosi a est fino a Cadine-Sopramonte ed a ovest fino all'abitato di Margone.

Lo studio ha preso in considerazione anche le stazioni automatiche di monitoraggio degli inquinanti atmosferici di Grumo S. Michele a/A, Gardolo e Monte Gazza.

Produzione del materiale vegetale

Per la realizzazione dello studio degli effetti dell'ozono sulla vegetazione sensibile sono state utilizzate piante di tabacco, in particolare la cultivar americana di *Nicotiana tabacum* L. Bel-W3. Si tratta di una cultivar ampiamente utilizzata nel biomonitoraggio dell'ozono; la metodologia si basa sulla stima degli effetti macroscopici indotti da questo inquinante sulle foglie. I pregi fondamentali di questo sistema sono:

(1) AOT40: esposizione cumulativa all'ozono oltre la soglia di 40 ppb ($\approx 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), espressa in unità di ppb/h.

- la notevole sensibilità di questa pianta all'ozono che, quando vengono superate concentrazioni di 40-50 ppb per 4-5 ore, le piante presentano evidenti sintomatologie fogliari;
- la tipicità e specificità dei sintomi: si manifestano aree necrotiche tondeggianti, su entrambe le lamine fogliari, con localizzazione internervale, di colore variante dal grigio all'avorio-marrone.

Le piante di tabacco della cultivar ozono-sensibile Bel-W3 sono state prodotte nelle serre dell'Istituto Agrario, a partire da semi forniti dal Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "Giovanni Scaramuzzi" della facoltà di Agraria dell'Università di Pisa.

La semina è avvenuta il 27 marzo 2007 su pastiglie di torba poste in cella fitoclimatica (20-23°C; 70-80% UR). Dopo tre settimane, a sviluppo completo delle prime due foglie, è avvenuto il primo trapianto in vasetti di torba (Fig. 1).



Figura 1. Piantine di tabacco a tre settimane dalla semina, trapiantate in vasetti di torba.

Dopo altre tre settimane, con la terza e quarta foglia in espansione, le piante sono state trapiantate in vasi di plastica di ca. 4 dm³ di volume, contenenti una miscela in parti uguali di letame maturo, terra di bosco e torba, addizionata con opportuno concime a lento rilascio. Le piante sono state tolte dalla cella climatica e poste in serra. Dopo circa otto settimane dalla semina (4-5 foglie completamente espanse) le piante erano pronte per l'esposizione.

Al fine di allestire complessivamente 9 stazioni di biomonitoraggio, ciascuna costituita da 6 piante, sono stati numerati 54 vasi. I 9 gruppi di 6 piante sono stati costituiti per estrazione casuale delle piante; i 9 gruppi sono stati a loro volta assegnati casualmente alle altrettante stazioni.

Disegno di campionamento e selezione dei siti

I valori stimati di ozono forniti dal modello elaborato da Techne (2006) sono stati il punto di partenza dello studio. Secondo questo modello, a tutte le celle di 1 x 1 km in cui risulta suddiviso il Trentino sono associati dei valori stimati di ozono, espressi come medie quindicinali per il periodo maggio-agosto, relativamente al 2004.

Per il nostro studio si è deciso di limitare l'area di interesse alle celle presenti al di sotto dei 1000 m s.l.m. poiché altrimenti i livelli di ozono più alti risultavano collocati alle quote più elevate e quindi spazialmente molto separati dai livelli più bassi.

Per ciascuna cella presente sotto i 1000 m s.l.m. si è calcolato il valore medio di ozono del periodo maggio - luglio (in riferimento alla dir. 2002/3/CE). Sulla base dei dati ottenuti e della loro rappresentazione cartografica, è stata arbitrariamente scelta un'area di studio di 15x15 km, dove fossero presenti celle a basso ed alto ozono, spazialmente interdisperse (Fig. 2).

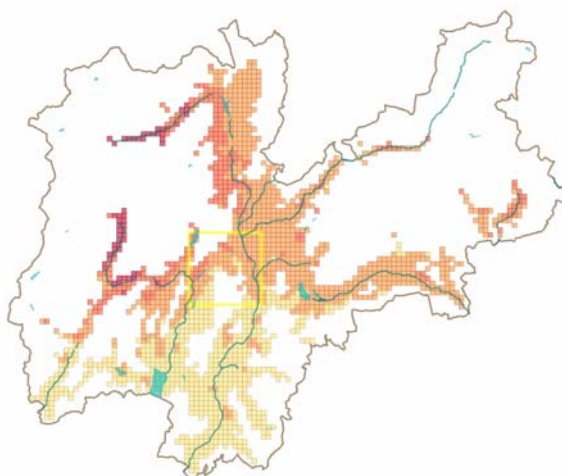


Figura 2. Rappresentazione grafica dei livelli medi di ozono stimati dalla modellistica per le celle 1x1 km presenti in Trentino sotto i 1000 m s.l.m.; il riquadro giallo delimita l'area di studio di 15x15 km.

Il disegno di campionamento è stato successivamente realizzato seguendo un approccio statistico. Per definizione tale approccio permette di escludere l'errore dovuto a criteri soggettivi di scelta delle aree di studio e/o non rappresentativi della popolazione in esame ed a controllare gli errori campionari.

In tale area di studio risultavano esserci 154 celle idonee; dei relativi valori medi di ozono predetti dal modello sono stati calcolati il 10° e il 90° percentile, risultati rispettivamente:

- 10° percentile = 77.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 90° percentile = 110.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Questi valori sono stati assunti come limiti per definire le celle a basso (quelle inferiori al 10° percentile) ed alto (quelle superiori al 90° percentile) livello di ozono.

Adottando tale criterio, sono stati individuate 16 celle a basso e 16 ad alto livello di ozono (rispettivamente con valori $< 77.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $> 110.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$); tra queste ne sono state selezionate casualmente 3+3 celle (Tab. 1) (Fig. 3).



Figura 3. Area di studio con celle ad alto (rosso) e basso (giallo) livello stimato di O_3 ; le celle con il bordo evidenziato sono quelle selezionate casualmente per lo studio.

In ciascuna delle 6 celle sono state individuate tutte le aree aperte disponibili² e tra queste ne sono state selezionate 3 casualmente (Fig. 4).



Figura 4. Esempio di quadrante 1x1 km con individuazione di tre aree aperte (punto rosso).

² Per area aperta è stata considerata ogni area la cui dimensione minima era uguale o maggiore all'altezza dell'ostacolo più prossimo.

Esposizione dei campionatori passivi e dei bioindicatori

In ciascuna delle tre aree aperte di ogni quadrante è stato esposto un campionatore passivo di ozono (PASSAM AG – per dettagli vedi <http://www.passam.ch/>) (Fig. 5, a sinistra), posizionato su un palo a circa 1,8 m dal livello del suolo.

In una delle tre aree aperte individuate per ogni cella è stata installata anche un'unità di biomonitoraggio, costituita da 6 piante di *Nicotiana tabacum* L. cv. BelW-3 (Fig. 5, a destra), equipaggiata di sensori per temperatura e umidità relativa. Le piante sono state poste sotto una copertura di rete ombreggiante, fissata ad una intelaiatura, al fine di riparare le piante dalla radiazione solare diretta e da altri agenti che avrebbero potuto danneggiarle (vento, grandine, animali). Ogni stazione è stata attrezzata con un cartello esplicativo.



Figura 5. A sinistra: esposizione di campionatori passivi per l'ozono. A destra: stazione di biomonitoraggio equipaggiata con 6 piante di *Nicotiana tabacum* L. cv. BelW-3.

Tutte le foglie di ogni pianta sono state numerate progressivamente dal basso verso l'alto, contrassegnando con fili di colore diverso le foglie n. 3, 6, 9. Questa operazione è stata effettuata al fine di facilitare le successive fasi di rilievo dei sintomi e l'esatta attribuzione della classe di danno alla corrispondente foglia.

Calibrazione bioindicatori - campionatori passivi - centraline automatiche

Al fine di realizzare una calibrazione dei dati, presso le centraline automatiche di rilievo degli inquinanti atmosferici di San Michele a/A, Gardolo e Monte Gazza sono stati posizionati tre dosimetri per l'ozono e una stazione di biomonitoraggio. L'elenco completo delle stazioni è riportato in Tabella 1.

Tabella 1. Elenco delle località di riferimento per le celle 1x1 km selezionate casualmente (le prime sei) e delle tre centraline automatiche utilizzate per la calibrazione (ultime tre, in corsivo), con coordinate e quote dei siti di esposizione delle stazioni di biomonitoraggio.

Località	Coordinate		Quota m s.l.m.
	est	nord	
Cadine	1659612	5105043	635
Lasino N	1653295	5098253	451
Lasino S	1653601	5097346	475
Margone	1652305	5103689	900
Maso Ariol	1656329	5107577	657
Monte Terlago	1657730	5107759	698
<i>San Michele a/A</i>	<i>1664123</i>	<i>5118120</i>	<i>209</i>
<i>Gardolo</i>	<i>1663127</i>	<i>5107995</i>	<i>195</i>
<i>Gazza</i>	<i>1651408</i>	<i>5105102</i>	<i>1608</i>

Rilievi in campo

La campagna si è svolta tra il 30 maggio ed il 27 giugno 2007 (4 settimane). Due squadre, ciascuna composta da due operatori di IASMA, hanno effettuato il lavoro in campo ed ognuna ha effettuato i rilievi sempre dello stesso gruppo di stazioni.

Il 30 maggio è iniziata l'esposizione dei campionatori passivi e di tutte le piante di tabacco, previa identificazione e valutazione dei sintomi fogliari.

Si è quindi proceduto, con cadenza settimanale (ogni Mercoledì), ad effettuare le seguenti operazioni:

- sostituzione dei campionatori passivi per l'O₃;
- misura delle altezze delle piante;
- identificazione e valutazione dei sintomi fogliari.

Utilizzando un'apposita scheda, per ogni foglia (> 6 cm) di ciascuna pianta è stata registrata la percentuale di superficie necrotizzata, valutata per confronto con le fotografie del manuale VDI (Fig. 6) (VDI, 2003-04). La percentuale è stata espressa in classi di danno del 5%: 0= nessun danno fogliare; 5=>0-5%; 10=>5-10%; 15=>10-15%; etc.



Figura 6. A sinistra: esempio di una scheda del manuale VDI (Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf) utilizzata come confronto per l'attribuzione delle classi di danno fogliare. A destra: esempio di foglia di tabacco con sintomi di necrosi da ozono.

In casi particolari, alle foglie veniva attribuito uno dei seguenti codici:

- Y = yellowing: foglia ingiallita o scolorita; l'alterazione del colore condiziona la valutazione dei sintomi da ozono;
- D = dead: si considera foglia morta quando la lamina fogliare è completamente necrotica (assenza di tessuti verdi);
- X = danni sconosciuti: si considera foglia non valutabile quando tale condizione è prevalente, impedendo la valutazione dei sintomi da ozono.

Al fine di garantire una corretta esecuzione del lavoro, soprattutto relativamente all'identificazione e quantificazione dei sintomi fogliari, questa fase è stata preceduta da uno specifico addestramento del personale coinvolto (vedi capitolo *Quality Assurance*).

Calcolo dell'indice di danno fogliare

I dati di danno fogliare sono stati elaborati per il calcolo dell'indice di danno fogliare (LII, *Leaf Injury Index*) applicando la formula:

$$LII = \sum_n^N (D_t - D_{t-1}) / N$$

dove:

LII = Indice di danno fogliare

n = numero progressivo della foglia dal basso verso l'alto;

N = numero di foglie valutate;

D_t = danno fogliare alla fine della settimana considerata (t)

D_{t-1} = danno fogliare alla fine della settimana precedente (t-1).

Modellizzazione dei valori orari e stima di AOT40

E' noto che i valori di ozono restituiti dai dosimetri sono medie settimanali che di per se non sono indicative dei valori di AOT40, basati invece sull'accumulo di valori orari. Per superare questa incoerenza, i dati dei dosimetri sono stati usati come input per un modello che permette di ricostruire il profilo giornaliero dell'ozono una volta che siano note coordinate, quota del sito e sua quota relativa rispetto all'ambiente circostante (Loibl et al., 1994) (Fig. 7) secondo la formulazione:

$$O_3(h_r, t) = a_1 + a_2 e^{-(t-a_3)^2 a_4} \cdot \ln \left(\frac{h_r + \frac{b_1 t^2 + b_2 t + b_3}{b_4 t^2 + b_5 t + 10000} e^{-b_6 t}}{100} \right)$$

Dove:

h_r = quota relativa (m slm)

t = ora del giorno

a_1, a_2, a_3, a_4 e $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ coefficienti ottenuti dal fitting.

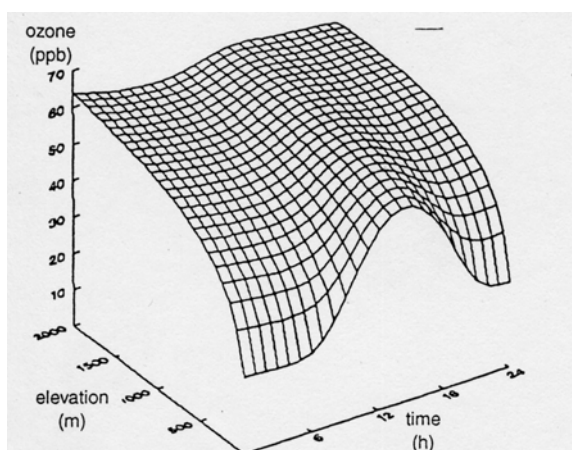


Figura 7. Forma della funzione di Loibl.

Opportunamente calibrato sui livelli medi settimanali misurati dai dosimetri, il modello permette di ricostruire le concentrazioni orarie di ozono sotto l'assunzione di stazionarietà di tali concentrazioni orarie su base settimanale. Tale assunzione è ovviamente una semplificazione, ma i suoi effetti tendono a compensarsi nel tempo. Questo approccio è stato usato con successo in varie applicazioni in Italia ed Europa (Gerosa et al., 2003; 2007).

Quality Assurance

La qualità dei dati sperimentali è stata assicurata da:

- adozione di procedure operative standard: il manuale ANPA (b) è stato utilizzato per la produzione del materiale vegetale e il manuale VDI (a) per il rilievo dei sintomi fogliari;
- partecipazione degli operatori ad un corso di addestramento tenuto dalla Facoltà di Agraria dell'Università Pisa e TerraData environmetrics nell'ambito del quale sono stati affrontati i seguenti argomenti:
 - generalità sull'ozono troposferico, i suoi effetti sulle piante e sul biondicatore *Nicotiana tabacum* Bel-W3;
 - descrizione e valutazione dei sintomi, calcolo dell'indice di danno fogliare;
 - esercizi su immagini di armonizzazione e calibrazione; l'esito di questa parte è riportata nell'Allegato 1;
- controlli di campagna tramite affiancamento di un esperto (TerraData environmetrics) e acquisizione in parallelo dei dati sui bioindicatori (altezza piante, percentuali di area fogliare necrotizzata).

Risultati

Al termine del lavoro preliminare e di quello sperimentale i dati disponibili per le valutazioni sono i seguenti:

- valori di O₃ stimati dal modello (Tab. 3);
- valori di O₃ misurati dalle tre centraline automatiche APPA (Tab. 2);
- valori di O₃ misurati con campionatori passivi (Tab. 3);
- indici di danno fogliare, calcolati a partire dalle valutazioni in campo sui bioindicatori (Tab. 4).

Tabella 2. Valori medi di ozono misurati con le centraline automatiche nei tre siti di calibrazione.

Sito	Centraline automatiche - Concentrazioni di O ₃ (ug*m ⁻³)			
	30.05-06.06	06-06-13.06	13.06-20.06	20.06-27.06
Gardolo	33.21	44.92	52.02	78.05
Gazza	88.90	111.25	103.13	133.14
San Michele	37.46	51.24	58.24	82.18

Tabella 3. Valori medi di ozono stimati dal modello e misurati con campionatori passivi.

Quadrante	Modello		Passivi - Concentrazioni di O ₃ (ug*m ⁻³)				media	sd
	media mag-lug	sd	30.05-06.06	06-06-13.06	13.06-20.06	20.06-27.06		
Cadine	75.28	10.02	61.85	81.70	90.15	114.05	86.94	21.62
Lasino S	75.65	12.18	90.33	99.33	119.80	136.47	111.48	20.72
Lasino N	77.05	13.36	67.80	74.90	80.83	103.90	81.86	15.63
Maso Ariol	116.43	29.09	67.50	70.23	96.37	151.07	96.29	38.77
Margone	122.00	25.22	92.30	105.33	117.03	136.43	112.78	18.73
Monte Terlago	124.88	28.89	41.53	52.33	56.43	65.90	54.05	10.09
San Michele	89.72	14.21	41.53	52.33	56.43	65.90	54.05	10.09
Gardolo	93.32	13.76	31.45	38.10	49.95	62.25	45.44	13.57
Gazza	98.73	16.54	120.90	119.03	132.10	175.63	136.92	26.45

Tabella 4. Valori medi di LII rilevati nelle quattro settimane di esposizione delle piante.

Quadrante	Bioindicatori - Indice di danno fogliare (media di medie per pianta)					
	30.05-06.06	06-06-13.06	13.06-20.06	20.06-27.06	media	sd
Cadine	1.79	2.09	0.82	1.40	1.53	0.55
Lasino S	1.69	1.31	2.65	3.97	2.41	1.18
Lasino N	0.78	0.35	2.28	3.29	1.67	1.36
Maso Ariol	2.42	1.55	0.68	2.17	1.70	0.77
Margone	2.07	0.63	1.47	2.21	1.60	0.72
Monte Terlago	1.13	1.16	1.93	2.17	1.60	0.53
San Michele	0.35	1.95	1.53	1.03	1.21	0.69
Gardolo	1.25	0.80	0.91	1.53	1.12	0.33
Gazza	3.97	2.94	3.27	5.36	3.88	1.07

Confronto tra valori di ozono

I dati ottenuti nella campagna 2007 dai campionatori passivi di ozono sono un buon predittore di quelli misurati dagli analizzatori automatici ($R^2=0,90$), anche se si nota una certa sovrastima per i valori alti (Fig. 8).

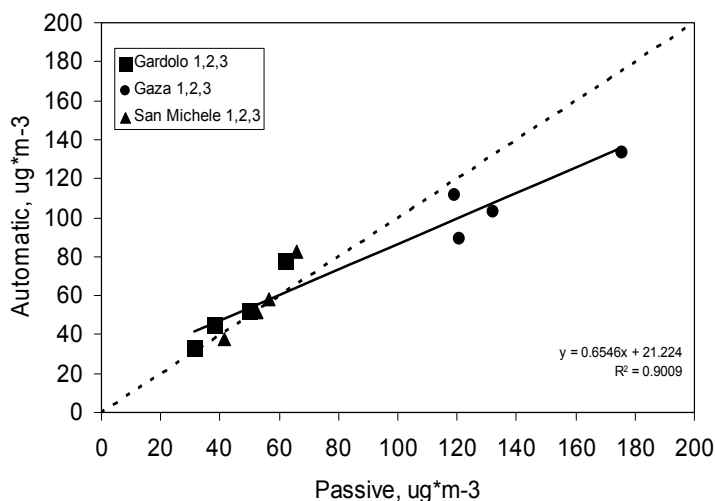


Figura 8. Regressione tra i valori medi settimanali di O₃ misurati con passivi (x) ed i corrispondenti valori misurati con le centraline automatiche (y).

Anche se il confronto tra dati del modello e dati misurati è reso difficoltoso dai diversi anni di interesse (2004 modello; 2007 misure), le due serie apparentemente non concordano. Ciò è valido sia considerando tutti i 9 quadrati di indagine sia i siti di calibrazione (Fig. 9). In particolare, sembra che i dati del modello non siano in grado di riprodurre la variabilità esistente nella realtà. Sebbene l'obiezione di incoerenza temporale del confronto sia valida, merita notare tuttavia che anche nei dati riportati agli stessi autori del modello era possibile osservare livelli bassi di accordo tra stime e misure.

A parte queste considerazioni, risulta evidente che – date le evidenti discordanze riscontrate – i dati del modello non sono utilizzabili per una stima di rischio per la vegetazione.

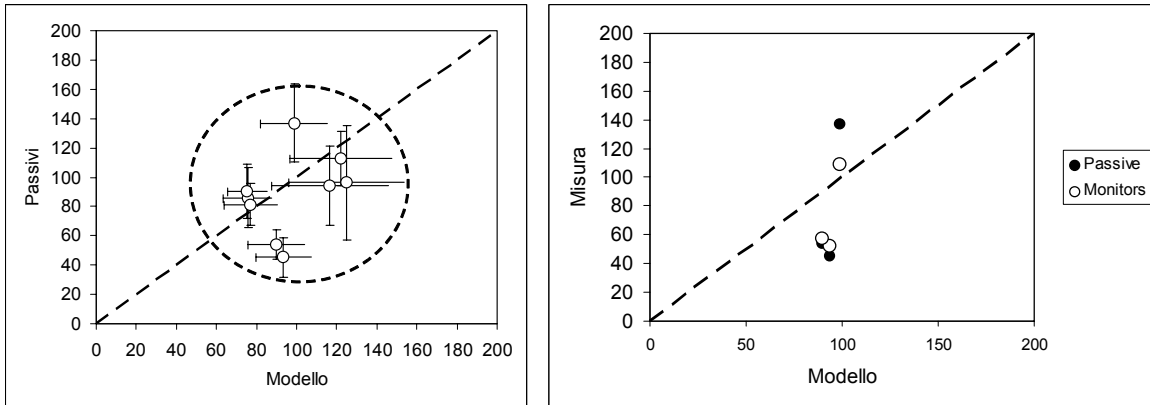


Figura 9. A sinistra: Valori di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) forniti dal modello³ (x) e valori medi misurati dai campionatori passivi (y) nei 9 quadranti oggetto di studio. A destra: valori di ozono forniti dal modello e misure effettuate tramite campionatori passivi e analizzatori automatici presso le tre centraline.

Stima dei valori di AOT40

La Fig. 10 riporta i profili orari giornalieri medi stimati dai dati raccolti mediante dosimetri e quelli misurati dalle centraline. Esiste un buon accordo complessivo, sebbene alcune differenze (peraltro comprese nella deviazione standard) siano osservabili soprattutto nel sito di Gaza.

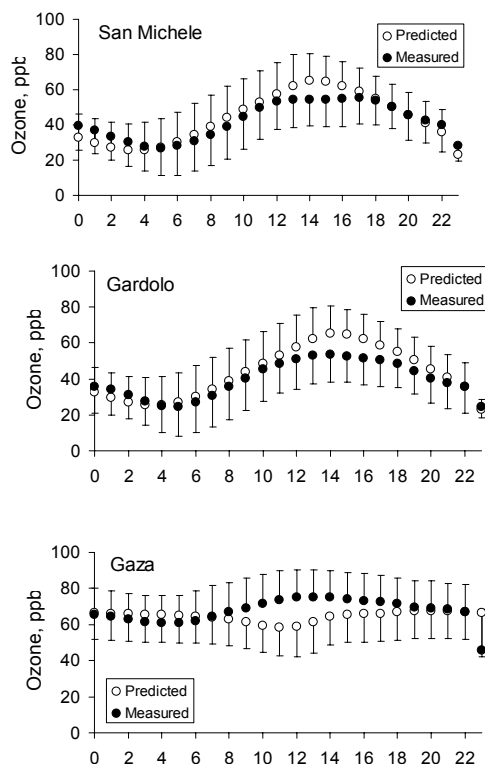


Fig. 10 – Profilo medio giornaliero misurato dalle centraline e predetto dal modello nei tre siti. Le barre di errore indicano la deviazione standard.

³ Il modello si riferisce al 2004.

Le stime di AOT40 su base statistica così ottenute hanno evidenziato una potenziale criticità di superamenti delle soglie indicate dalle diverse normative europee (Fig. 11).

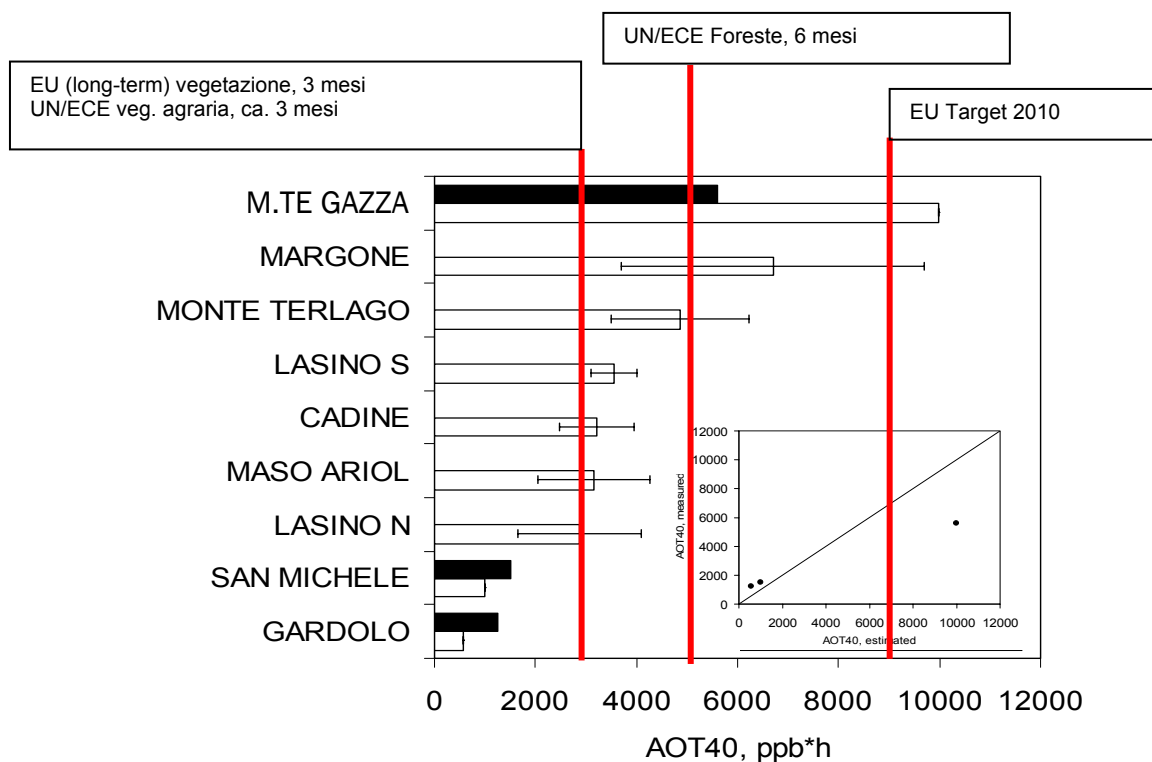


Figura 11. Stime di AOT40 calcolato su base statistica a partire dal dato medio di ozono rilevato tramite campionatori passivi nei 9 siti di studio (barre vuote) e valori di AOT40 calcolati dai dati orari ottenuti dagli analizzatori automatici posizionati presso le tre centraline (barre piene). Le linee rosse rappresentano le soglie indicate dalle principali normative europee.

Merita considerare che i valori soglia indicati dalle varie normative siano su base trimestrale (Direttiva UE e UN/ECE vegetazione agraria) o semestrale (UN/ECE vegetazione forestale), mentre le stime di AOT40 si riferiscono ad un periodo di tempo limitato alle 4 settimane di campionamento. Nonostante ciò, si notano già superamenti.

Valori di ozono e risposta dei bioindicatori

A livello dei siti di calibrazione (le tre centraline automatiche), i dati di indice di danno fogliare (LII) ottenuti dalla valutazione del bioindicatore correlano con i livelli di ozono misurati sia dalle centraline ($R^2=0,90$) sia dai campionatori passivi ($R^2=0,73$) (Fig. 12).

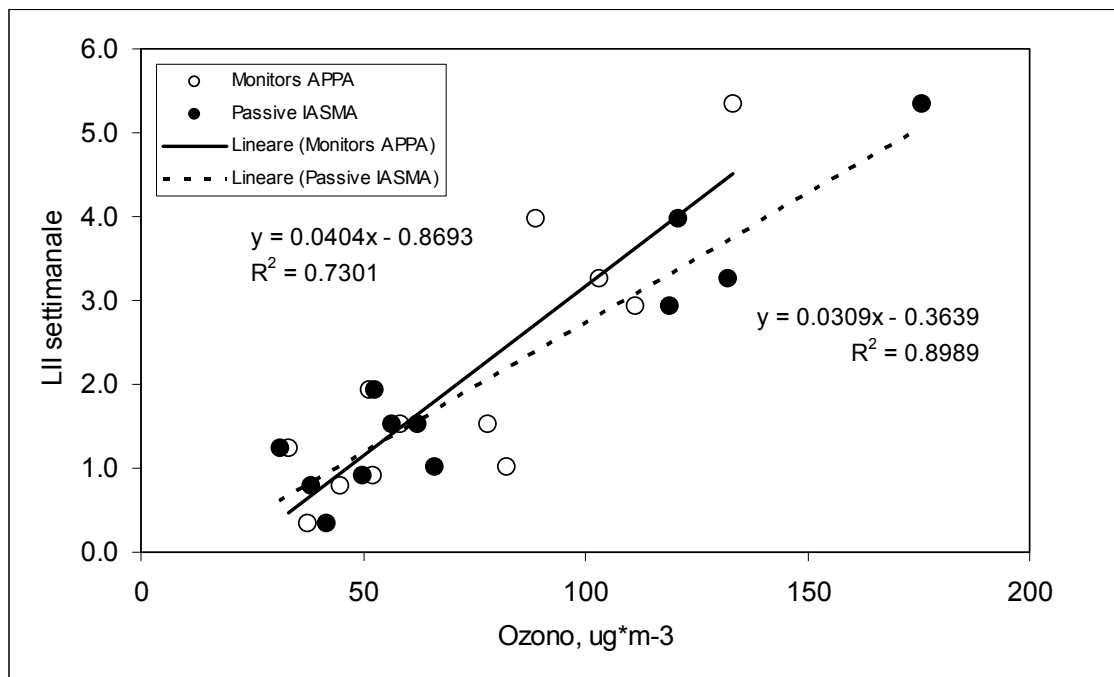


Figura 12. Regressione tra i valori settimanali di LII (y) e O₃ misurati con passivi e con analizzatori automatici (x) presso le tre centraline.

Considerando tutte le 9 celle studiate, i valori di LII mostrano una correlazione significativa con i dati misurati dai campionatori passivi ($R^2=0,64$); tale correlazione migliora leggermente valutando i dati di ozono come AOT40 ($R^2 = 0,67$) (Fig. 13)

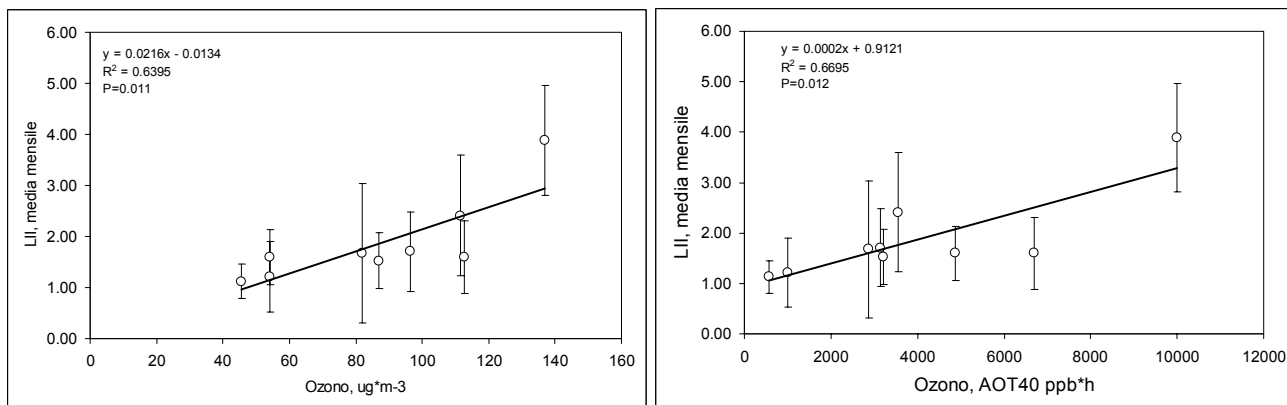


Figura 13. Regressione tra i valori medi mensili di LII (y) e di ozono (x), espressi come ug/m₃ (a sinistra) e come stima di AOT40 (a destra).

Viceversa, non è possibile evidenziare alcun accordo tra gli indici di danno fogliare e i valori di ozono forniti dal modello (Fig. 14).

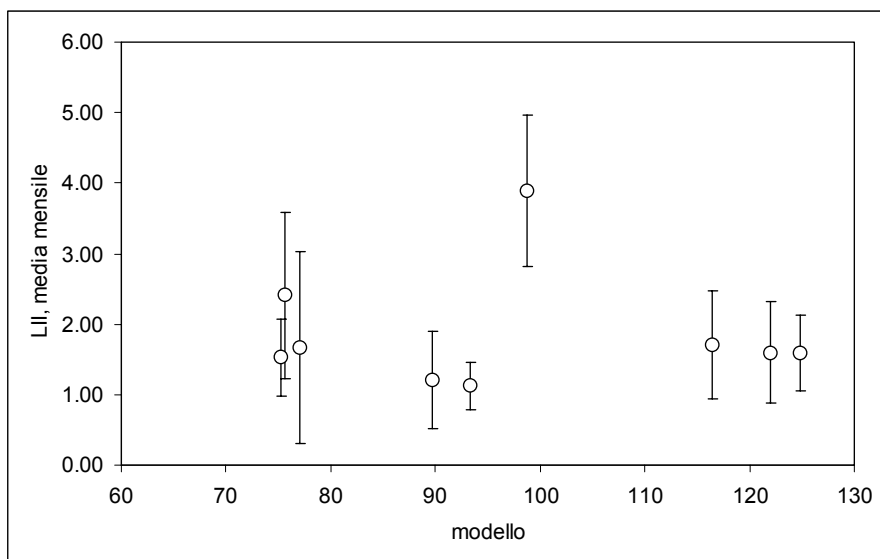


Figura 14. Relazione tra valori medi mensili di LII (y) e O₃ stimato dal modello (x) nelle 9 celle.

Considerazioni conclusive

La buona correlazione tra i dati di ozono ottenuti dai campionatori passivi e quelli misurati dagli analizzatori automatici della rete APPA conforta sulla validità dell'utilizzo di tali dispositivi per la stima dell'inquinante a scala maggiore, rendendoli preferibili ai valori forniti dal modello, per stime di rischio. I dati si dimostrano inoltre ben utilizzabili per la stima dei valori di AOT40 su base statistica.

L'esperienza condotta ha inoltre consentito di verificare come i livelli di ozono presenti siano tali da cagionare danno alla vegetazione sensibili secondo una progressione proporzionale alle concentrazioni. Inoltre, lo studio ha dimostrato la validità del bioindicatore specifico per l'ozono *Nicotiana tabacum* L. Bel-W3 anche nel contesto locale, in accordo con le esperienze di altri studi a livello nazionale e internazionale (Klumpp et al., 2006). L'accordo con le misurazioni dei campionatori passivi suggerisce anche la possibilità di estendere spazialmente il monitoraggio di questo inquinante in modo integrato.

In base a queste valutazioni, si prospetta la possibilità di pianificare di una rete di monitoraggio provinciale dell'O₃ con campionatori passivi (da attivare nel periodo Maggio-Luglio, ai sensi della Direttiva 2002/3/CE), nonché uno studio dei danni sulla vegetazione spontanea per valutare l'impatto dell'ozono.

Allo scopo di aumentare il livello di preparazione in tale campo e di allacciare contatti con il mondo scientifico sia nazionale sia internazionale che si interessa della problematica, si è ritenuto opportuno programmare un corso per il riconoscimento dei sintomi da ozono sulla vegetazione spontanea, da realizzare nel corso del 2008.

Si propone inoltre una presentazione pubblica dei risultati ottenuti con lo studio del 2007, eventualmente da realizzare congiuntamente al Servizio Foreste della PAT.

Riferimenti bibliografici

ANPA. Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Serie Atti 2/1999. ANPA, Roma.

Buffoni A., Tita M., 2003 - Ozone measurements by passive samplers at the permanent plots of the CONECOFOR programme. In: Ferretti M., Bussotti F., Fabbio G., Petriccione B., (Eds.), Ozone and Forest Ecosystems in Italy. Second report of the Task Force on Integrated and Combined (I&C) evaluation of the CONECOFOR programme. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Special Issue, Arezzo Anno 1999 Vol. 30, Suppl. 1 2003.

Ferretti M., Fagnano M., Amoriello T., Ballarin-Denti A., Badiani M., Buffoni A., Bussotti F., Castagna A., Cieslik S., Costantini A., Cozzi A., De Marco A., Gerosa G., Lorenzini G., Manes F., Merola G., Mosello R., Nali C., Paoletti E., Petriccione B., Racalbutto S., Rana G., Ranieri A., Tagliaferri A., Vialetto G., Vitale M., 2007c. Measuring, modelling and testing ozone exposure, flux and effects on vegetation in southern European conditions - what does not work. A Review from Italy. Environmental Pollution, 146: 648-658.

Gerosa G., Ferretti M., Buffoni A., Spinazzi F., 2003 - Vegetation exposure to ozone at the Permanent Monitoring Plots of the CONECOFOR Programme in Italy: estimating AOT40 by means of passive samplers. In: Ferretti M., Bussotti F., Fabbio G., Petriccione B., (Eds.), Ozone and Forest Ecosystems in Italy. Second report of the Task Force on Integrated and Combined (I&C) evaluation of the CONECOFOR programme. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Special Issue, Arezzo Anno 1999 Vol. 30, Suppl. 1 2003: 53-62.

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.

Klumpp A., Wolfgang A., Klumpp G., Vergneb P., Sifakisc N., Sanzd M.J., Rasmussene S., Ro-Poulsene H., Ribasf À., Peñuelasf J., Kambezidisc H., Heg S., Garrecg J.P. and Calatayudd V. 2006. Ozone pollution and ozone biomonitoring in European cities Part II. Ozone-induced plant injury and its relationship with descriptors of ozone pollution. Atmospheric Environment, 40 (38): 7437-7448.

Loibl W., Winiwarer W., Kopsca A., Zueger . 1994. Estimating the spatial distribution of ozone concentrations in complex terrain. J Atmospheric Environment, 28 (16): 2557-2566.

Loibl W., Winiwarer W., Kopsca A., Zueger J., Baumann R., 1994. Estimating the spatial distribution of ozone concentrations in complex terrain. Atmospheric Environment, 28: 2557-2566.

Mangoni M., Buffoni A., in stampa. Status and trends of the key ecosystem indicators at the CON.ECO.FOR. plots - Ozone measurements. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Special Issue, Arezzo Anno 1999. Vol. 30, Suppl. 3 2007.

TECHNE Consulting s.r.l, 2006. Studio modellistico sulla generazione e trasporto dell'ozono. APPA TN, N.Raccolta 13/05, pp.106.

UN/ECE, 2004. Manual on the methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. Revision 2004. www.icpmapping.org.

VDI 3957 Blatt 6:2003-04. Biological measuring techniques for the determination and evaluation of the effects of air pollutants on plants (bioindication) - Determination and evaluation of the phytotoxic effect of photooxidants - Method of the standardised tobacco exposure.