

# Rilevamento di Ozono presso i siti forestali UN/ECE Level I nella Provincia di Trento nel 2007



# **Rilevamento di Ozono presso i siti forestali UN/ECE Level I nella Provincia di Trento nel 2007**

Elena Gottardini<sup>1</sup>, Antonella Cristofori<sup>1</sup>, Fabiana Cristofolini<sup>1</sup>, Marco Ferretti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fondazione Edmund Mach, Centro di ricerca - Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige (Trento)

<sup>2</sup> TerraData environmetrics - Via P.A. Mattioli 4, 53100 Siena

*Relazione dello studio realizzato nel 2007 nell'ambito della convenzione stipulata tra la Fondazione Edmund Mach - Istituto Agrario di S. Michele a/A (IASMA) e Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento per lo svolgimento di attività relative al monitoraggio e alla difesa fitosanitarie delle aree boscate del Trentino per l'anno 2007 (Determinazione del sostituto Dirigente del Servizio Foreste e Fauna N. 407 del 29/11/07; Convenzione N. 4297 del 12/3/08 ).*

Forma raccomandata di citazione:

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*. Relazione 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).

# Sommario

<b>Riassunto / Abstract</b>	4
<b>1. Introduzione</b>	5
<b>2. Metodi</b>	6
2.1 I siti di misura e la campagna 2007	6
2.2 I dosimetri passivi	7
2.3 Affidabilità delle misure	8
2.4 La stima di AOT40	8
<b>3. Risultati</b>	10
3.1 Affidabilità delle misure	10
3.2 Dati di concentrazione	11
3.2.1 <i>Andamento temporale</i>	13
3.2.2 <i>Andamento spaziale</i>	14
3.3 Comparazione dati 2007 con modelli previsionali esistenti	16
3.4 Stima di esposizione (AOT40) e rischio potenziale per la vegetazione	16
3.4.1 <i>Affidabilità delle stime</i>	16
3.4.2 <i>AOT40 nei siti di monitoraggio di Livello I</i>	17
<b>4. Ruolo dell'ozono nei confronti dello stato delle foreste e dati disponibili – Prospettive</b>	19
<b>5. Conclusioni</b>	20
<b>Ringraziamenti</b>	21
<b>Riferimenti bibliografici</b>	22
<b>Allegato 1</b>	23

## Riassunto

A causa del suo alto potere ossidante, dei suoi elevati livelli e della sua ampia diffusione in aree rurali e forestali, l'ozono troposferico ( $O_3$ ) è ritenuto il contaminante gassoso di potenziale maggiore pericolosità per la vegetazione agraria, semi-naturale e forestale.

L'obiettivo del presente studio è ottenere stime realistiche dell'esposizione ad  $O_3$  della vegetazione forestale della provincia di Trento, essenziali per poter valutare se siano ipotizzabili effetti di questo inquinante sulla vegetazione.

A tale scopo sono stati installati 15 siti di misura delle concentrazioni di  $O_3$ , riferendosi ai punti della rete UE e UN/ECE di monitoraggio delle foreste di Livello I della provincia di Trento; l'ozono è stato misurato utilizzando campionatori passivi, che forniscono un dato settimanale, successivamente convertito in valori di concentrazione media oraria. L'affidabilità dei dati ottenuti è stata verificata per confronto con i dati forniti in parallelo da centraline automatiche.

Le concentrazioni medie settimanali di  $O_3$  rilevate nel periodo 6 giugno - 19 settembre 2007 sono risultate comprese tra  $62.4 \pm 12.4$  e  $130.6 \pm 22.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . In termini di AOT40, l'indicatore di rischio utilizzato dalla normativa UE e dall'UN/ECE, i valori sono tali da prefigurare frequenti superamenti dei livelli critici nel corso della stagione estiva 2007.

Si discutono nel dettaglio andamenti spaziali e temporali dei dati raccolti e si ipotizza una linea futura per la prosecuzione del lavoro nell'ottica di una maggiore comprensione del fenomeno.

## Abstract

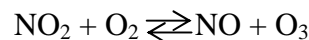
Ground level ozone is considered to be potentially the most dangerous gaseous air pollutant for vegetation. The aim of the present study is obtain estimates of ozone concentration and of the vegetation exposure to ozone in the province of Trento (Northern Italy). These estimates are essential to identify whether a potential risk exists for the vegetation in the area.

Fifteen monitoring sites were installed according to the systematic grid of the forest health assessment network (Level I). Passive sampling was used over the period June- September 2007 with a 1-week resolution. Reliability of measurements was tested against co-located real time ozone analysers. Mean weekly concentration ranges between  $62.4 \pm 12.4$  e  $130.6 \pm 22.3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . As far as AOT40 is concerned, the UE and UN/ECE limits are largely exceeded in the majority of sites. Time trend and spatial pattern of ozone concentrations are discussed. Suggestions are provided to obtain a better understanding of the risk that ozone poses to vegetation in Trentino.

# 1. Introduzione

L'ozono è un gas formato da tre atomi di ossigeno (O<sub>3</sub>) dotato di un elevato potere ossidante. In natura è presente nella stratosfera, lo strato alto dell'atmosfera terrestre compreso fra i 10 e i 50 km dal suolo. Ha la funzione importante di proteggere la superficie terrestre dalle radiazioni ultraviolette emesse dal sole, altrimenti dannose per gli esseri viventi. Nella troposfera, lo strato basso dell'atmosfera, la presenza dell'ozono è dovuta in parte al naturale scambio che avviene con la stratosfera e alle scariche elettriche durante i temporali; può avere una concentrazione compresa tra i 20 e gli 80 µg\*m<sup>-3</sup>.

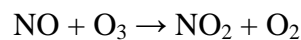
Concentrazioni di ozono più elevate sono causate dalla trasformazione fotochimica di inquinanti primari, detti anche precursori, costituiti principalmente da ossidi di azoto, idrocarburi e composti organici volatili (COV). L'ozono tipicamente entra a far parte della seguente reazione in equilibrio



Inquinanti quali gli idrocarburi sottraggono NO alla reazione, portando ad una produzione di ozono in eccesso. L'andamento di questa reazione è fortemente influenzato da diverse variabili meteorologiche, quali l'intensità della radiazione solare e la temperatura. Pertanto la presenza di ozono è variabile nell'arco della giornata e delle stagioni: normalmente i valori massimi giornalieri sono raggiunti nelle ore più calde, dalle 12:00 alle 18:00, per poi scendere durante le ore notturne; il periodo più critico per tale inquinante è tipicamente quello estivo.

La capacità dell'ozono di spostarsi con le masse d'aria anche a diversi chilometri dalla fonte, comporta la presenza di concentrazioni elevate anche a grandi distanze dalle sorgenti.

Paradossalmente in prossimità di fonti produttrici di monossido di azoto (NO), emesso principalmente dai veicoli a motore e dagli impianti di combustione, l'ozono viene consumato dalla reazione:



Di conseguenza i valori più elevati di questo inquinante si raggiungono normalmente nelle zone meno interessate dalle attività umane (MEMOSA Project, 1996).

A causa del suo alto potere ossidante l'ozono è dannoso per la salute umana, ma anche per quella degli animali e delle piante. Attualmente l'ozono è ritenuto il contaminante gassoso di potenziale maggiore pericolosità per la vegetazione agraria, semi-naturale e forestale (UN/ECE 2004). La normativa comunitaria prevede limiti di concentrazione di breve periodo per la protezione della salute umana e limiti di esposizione per la protezione delle specie vegetali coltivate o naturali (D.Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004, attuazione della direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria). Livelli critici per la protezione della vegetazione sono stati stabiliti anche dall'UN/ECE (UN/ECE 2004 e revisioni successive). Dati preliminari disponibili in siti forestali del Trentino evidenziano concentrazioni elevate di O<sub>3</sub> (Buffoni e Tita, 2003), ma non esistono misure sistematiche capaci di fornire informazioni sull'effettiva distribuzione territoriale di questo inquinante, né sui suoi effetti sulla vegetazione.

L'obiettivo del presente studio è di colmare questo vuoto e arrivare ad avere stime realistiche sull'esposizione ad ozono della vegetazione forestale della provincia, essenziali per poter poi valutare se siano ipotizzabili effetti di questo inquinante sulla vegetazione in Trentino.

## 2. Metodi

### 2.1 I siti di misura e la campagna 2007

Nell'estate 2007 sono state installate 15 stazioni per la misura dell'ozono troposferico; i punti di campionamento sono stati posizionati nell'area aperta più prossima a ciascuno dei 15 siti della rete UE di I livello ricadente sul territorio (Tab. 1; Fig.1). Si è considerata come area aperta una zona la cui larghezza minima fosse uguale o maggiore all'altezza dell'ostacolo più prossimo (piante circostanti). Come si nota, i siti di misura coprono gran parte della provincia, lasciando scoperta la zona occidentale. Il range di quota esplorato è compreso tra 300 e 1900 m s.l.m.

Le misure dei livelli di ozono sono state realizzate nel periodo 6 giugno - 19 settembre 2007.

Con finalità puramente descrittive, nella relazione verrà fatto riferimento anche ai dati raccolti con metodologie analoghe in aree rurali/forestali della provincia nel corso del periodo maggio-giugno 2007

Tabella 1. Siti della Rete UE provinciale di Livello I; coordinate e quote dei siti di misura dell'ozono.

<b>N. CEE</b>	<b>sito</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>quota</b>
49	FONDO	1665949	5148025	1375
52	CANAZEI	1713980	5148362	1588
71	PEIO	1632826	5133037	1675
72	CLES	1651186	5132648	1698
73	COREDO	1665450	5132359	1389
75	PREDAZZO	1699060	5132798	1464
76	TONADICO	1713788	5132795	1854
99	FAEDO	1665324	5118424	306
100	BEDOLLO	1680976	5117859	1400
101	CASTELLO TESINO	1698517	5117954	1549
127	TRENTO	1665808	5099179	359
128	LEVICO TERME	1680918	5100063	1105
157	CONDINO	1617253	5081830	1856
158	CONCEI	1635204	5084579	1309
160	FOLGARIA	1666290	5084879	1210

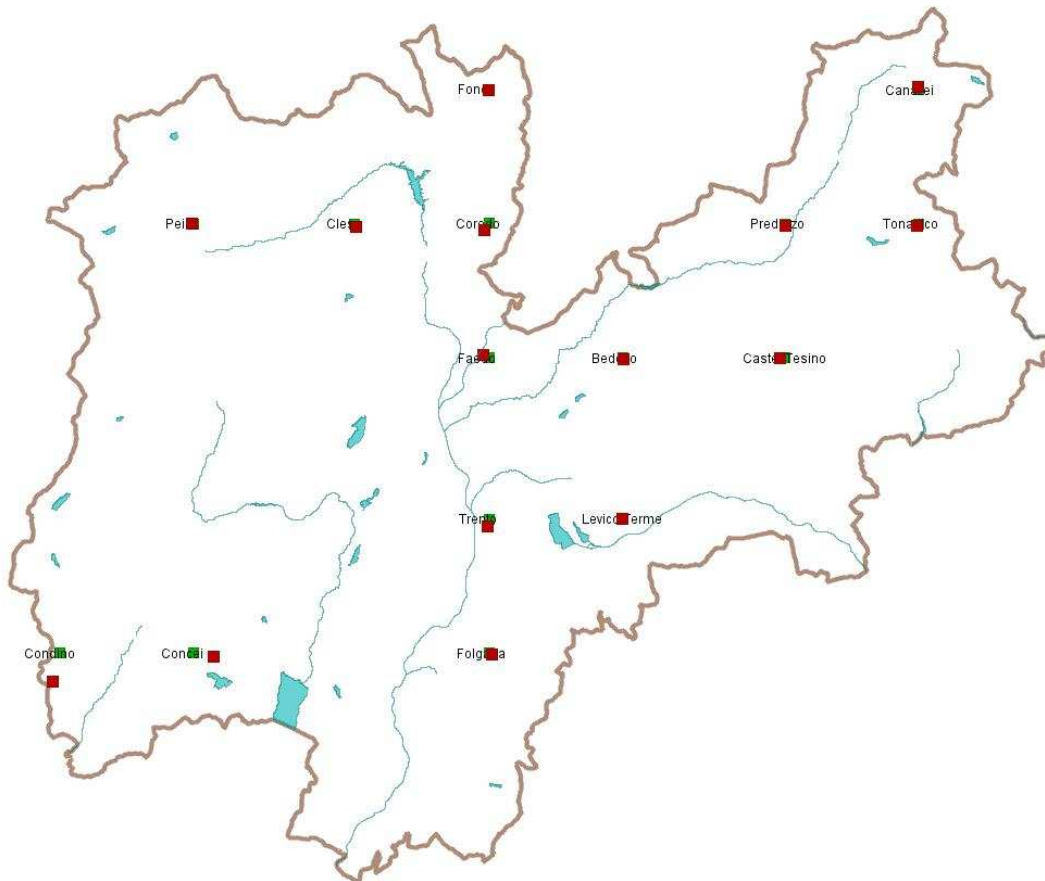


Figura 1. Posizione dei siti di monitoraggio di Livello I (in verde) e dei siti di misura dell'ozono (in rosso).  
In caso di completa sovrapposizione appare solo il colore rosso.

## 2.2 I dosimetri passivi

Le misure delle concentrazioni di ozono sono state effettuate tramite campionatori passivi nel periodo da giugno a settembre. In ogni sito è stato esposto un campionatore passivo di ozono (PASSAM AG – per dettagli vedi <http://www.passam.ch/>) (Fig. 2), posizionato a circa 2 m dal livello del suolo, all'interno di un espositore che ha la funzione di proteggere i dosimetri dalla luce e di minimizzare l'influenza dei venti più forti.

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 (442 nm) consente di risalire alla concentrazione di ozono in aria.

L'utilizzo dei campionatori passivi per la misura dell'ozono permette di risalire a valori di concentrazione settimanale media oraria. Dato il costo limitato e la facilità di gestione (non è richiesto l'uso di corrente elettrica), i campionatori passivi trovano ampio utilizzo soprattutto per il monitoraggio su ampie superfici e in aree remote. Campionatori passivi analoghi vengono correntemente utilizzati nel programma CON.ECO.FOR.





Figura 2. Esposizione di campionatore passivo per l'ozono. A sinistra dettaglio del supporto; a destra campionatore passivo esposto al sito di Livello I n. 76 Tonadico (Malga Juribello).

### 2.3 Affidabilità delle misure

Al fine di garantire la comparabilità dei valori di ozono ottenuti con i campionatori passivi con quelli misurati dalle centraline, è stata effettuata una calibrazione tra i due metodi analitici. A tale scopo sono stati posizionati tre campionatori passivi per l'ozono presso le centraline automatiche di rilievo degli inquinanti atmosferici di San Michele a/A, Gardolo e Monte Gazza (Rete monitoraggio inquinanti - APPA). Le misure hanno interessato il periodo 30 maggio – 27 giugno 2007.

### 2.4 La stima di AOT40

I limiti UE ed i livelli critici UN/ECE per la protezione della vegetazione vengono espressi come AOT40, letteralmente l'ozono *Accumulated Over Threshold of 40 ppb*.

$$AOT40 = \sum_{\substack{[O_3]_i > 40 \text{ ppb} \\ \text{globrad} > 50 \text{ W/m}^2}} ([O_3]_i - 40)$$

Nella definizione UN/ECE, tale espressione indica la somma di tutte le concentrazioni orarie (ore con radiazione  $> 50 \text{ w} \cdot \text{m}^{-2}$ ) eccedenti i 40 ppb nel periodo che va dal primo aprile al 30 settembre. In realtà, quindi, esistono alcune differenze con i limiti UE che indicano di considerare solo le ore dalle 8 di mattina alle 8 di sera del periodo 1 maggio-31 luglio (Tab. 2).



Tabella 2. Limiti UE e livelli critici UN/ECE (concentration based)

UN/ECE		EU
Recettore considerato	Foreste (+ seminat., coltivazioni)	Nessuna distinzione
Indice	AOT40	AOT40
Tempo di integrazione	ore di luce, aprile-settembre	08.00-20.00, maggio-luglio
Limite	5000 ppbh	Target (2010): 9000 ppbh; Long-term (2020): 3000 ppbh
Obiettivo ambientale	Non specificato	Per la vegetazione coltivata e seminaturale: ridurre le eccedenze di 1/3 entro il 2010 e nessuna eccedenza di 10000 ppbh

Nonostante le differenze di calcolo, per la stima dei valori di AOT40 sono comunque necessari dati orari di concentrazione. I valori di ozono ottenuti attraverso l'utilizzo di dosimetri sono concentrazioni medie orarie settimanali che non sono direttamente confrontabili con i valori di AOT40, basati invece sull'accumulo dei superamenti del valore soglia di 40 ppb/h dei singoli valori orari. Per superare questo ostacolo, è stato applicato un modello che, usando i dati dei dosimetri come input, permette di ricostruire le concentrazioni attraverso il profilo giornaliero dell'ozono atteso, una volta che siano note coordinate, quota del sito e sua quota relativa rispetto all'ambiente circostante (Loibl et al., 1994) (Fig. 3). La formulazione del modello è la seguente:

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

dove:

$h_r$  = quota relativa (m s.l.m.)

$t$  = 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.

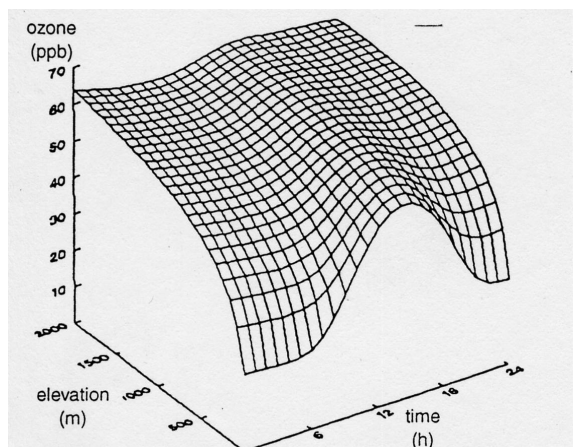


Fig. 3 – Andamento orario delle concentrazioni di ozono (asse z) in relazione alla quota (asse y) ed all’ora del giorno (asse x) (da Loibl et al., 1994).

Opportunamente calibrato sulle concentrazioni medie orarie per settimana misurate dai dosimetri, il modello permette di ricostruire le concentrazioni orarie di ozono durante il giorno, assumendo concentrazioni orarie stazionarie durante i diversi giorni della settimana. 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).

### 3. Risultati

#### 3.1 Affidabilità delle misure

I dati di ozono ottenuti con i campionatori passivi posizionati presso le centraline automatiche di APPA sono risultati ben correlati con quelli misurati dagli analizzatori automatici ( $R^2=0,90$ ), anche se si nota una certa sovrastima dei dosimetri passivi per i valori alti (Fig. 4). Questo conferma che il dato ottenuto dal campionatore passivo può essere considerato un buon predittore di quello misurato con il metodo stabilito come riferimento dal D. Lg. 183/04 (metodo fotometrico UV).

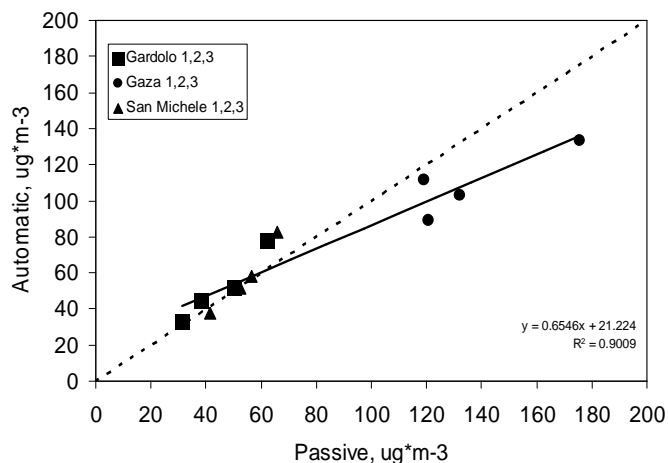


Figura 4. Regressione dei valori medi orari per settimana di  $O_3$  misurati con le centraline automatiche (y) contro quelli misurati dai passivi (x) (in  $\mu g \cdot m^{-3}$ ) (da Gottardini et al., 2007).

### 3.2 Dati di concentrazione

Le concentrazioni medie orarie di O<sub>3</sub> nel periodo 6 giugno - 19 settembre sono risultate comprese tra 62.4±12.4 e 130.6±22.3 µg\* m<sup>-3</sup> (Fig. 5). I valori medi orari registrati in tutti i siti sono riportati in Tab. 3 e rappresentati graficamente nell'Allegato 1.

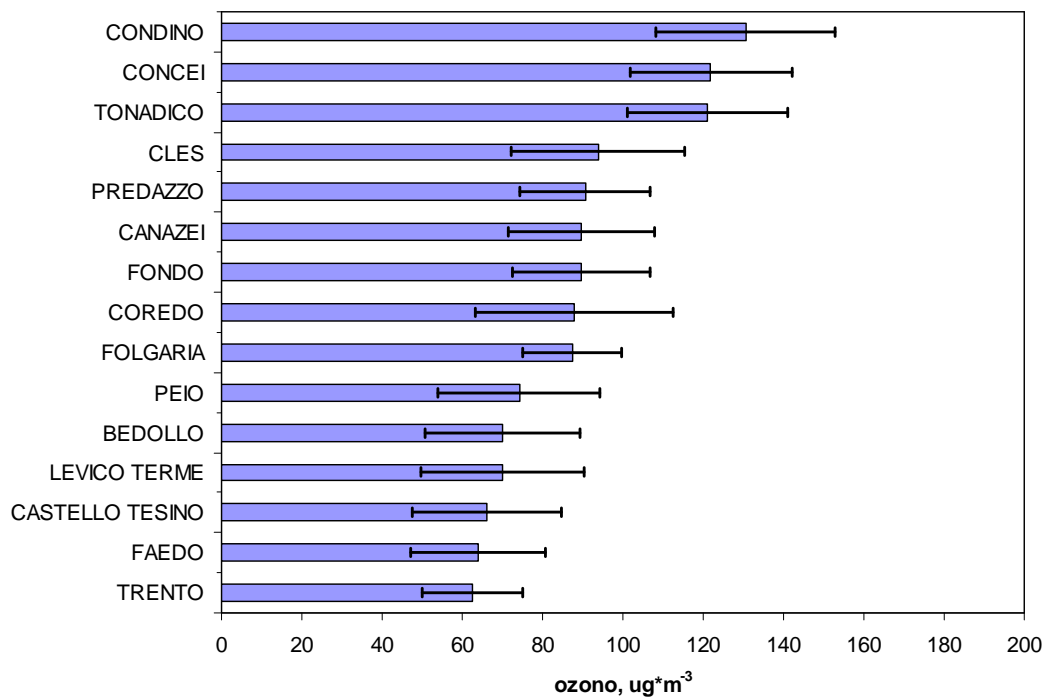


Figura 5. Concentrazioni medie orarie di ozono nei 15 siti di Livello I nel periodo 6 giugno-19 settembre 2007. Le barre di errore indicano la deviazione standard delle misurazioni alle varie date.

Tabella 3. Valori medi di ozono misurati con campionatori passivi nei 15 siti forestali di Livello I.

<b>Concentrazioni di O<sub>3</sub> (ug/m<sup>3</sup>) misurate con campionatori passivi</b>															
<b>COMUNE</b>	<b>6/06-13/06</b>	<b>13/06-20/06</b>	<b>20/06-27/06</b>	<b>27/06-4/07</b>	<b>4/07-11/07</b>	<b>11/07-18/07</b>	<b>18/07-25/07</b>	<b>25/7-1/08</b>	<b>1/8-8/8</b>	<b>8/8-16/8</b>	<b>16/8-22/8</b>	<b>22/8-31/8</b>	<b>31/8-5/9</b>	<b>5/9-12/9</b>	<b>12/9-19/9</b>
FONDO	76.5	77.4	110.7	95.6	91.2	115.2	107.7	112.9	94.6	78.9	73.8	69.5	63.7	85.1	
CANAZEI	101.2	79.1	119.9	76.3	64.9	64.9	122.6	112.1	89.2	83.9	84.2	81.4	91.9	85.3	
PEIO	41.5	57.5	75.4	87.3	70.9	91.6	85.7	87.6	98.9	59.7	103.3	40.4	81.6	56.8	
CLES	83.6	83.6	103.8	108.0		119.1	120.6	123.9	108.7	68.7	93.7	74.0	62.2	68.9	
COREDO	66.8		118.5	101.4	98.3	113.2	109.4	118.5	94.3	74.1	82.6	56.6	46.4	63.1	
PREDAZZO		78.5	108.7	93.5	83.6	108.1	93.6	119.9	113.1	81.4	85.3	76.4	63.5	78.3	85.5
TONADICO	103.2	113.9	166.9	139.3	128.5	120.2	144.2	125.1	126.4	105.3	122.0	110.6	92.5	96.9	
FAEDO	59.9	73.6	89.7	87.1	78.2	70.9	45.5	67.5	67.7	52.1	60.7	38.1	39.1		
BEDOLLO		65.1	92.2	86.2	80.5	79.8	94.4	88.1	77.6	43.7	47.7	49.7	41.9	63.0	
CASTELLO TESINO		51.6	79.1	73.8	70.0	68.5	105.0	86.1	73.5	48.4	60.5	42.9	59.8	38.2	
TRENTO	57.0	74.2	78.5		73.0	74.2	67.7	71.5	63.6	56.4	62.0	39.4	44.3	49.7	
LEVICO TERME		49.8	92.2	78.4	75.9	83.0	91.9	99.7	72.1	46.8	64.9	42.9	37.5	74.7	
CONDINO		112.5	157.8	141.4	129.5	154.7	142.2	170.5	148.9	113.8	124.5	111.7	94.7	106.8	119.7
CONCEI		119.2	138.5	142.1	128.1	127.5	115.9	126.4	115.1	157.4	135.3	104.7	86.5	88.7	
FOLGARIA		75.1	102.0	101.1	85.2	86.3	98.8	108.6	92.1	87.9	90.6	77.0	67.9	71.4	78.6

A parità di periodo di rilevamento (6 - 27 giugno) i dati risultano comparabili a quanto rilevato con metodologie analoghe in altre località rurali della Provincia (Tab. 4).

Tabella 4. Concentrazioni medie orarie di ozono nei 15 siti forestali di Livello I ed in altri 21 siti rurali-forestali nel periodo 6 – 27 giugno 2007 (in ug\*m<sup>-3</sup>).

<b>Tipologia</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Dev St</b>
Media Foreste Provincia	15	89.4	24.29
Altri siti	21	98.4	22.25

La Tabella 5 riporta invece le concentrazioni misurate dalle centraline automatiche APPA nel periodo 6 giugno - 19 settembre. Da notare come la completezza dei dati sia soddisfacente, con l'unica eccezione del Monte Gazza.

Tabella 5. Concentrazioni medie settimanali di ozono (in ug\*m<sup>-3</sup>) misurate dalle centraline APPA. In grassetto la completezza dei dati espressi come percentuale.

Data fine	Trento PSC <b>99.25</b>	Trento Gardolo <b>99.76</b>	Grumo S. Michele <b>95.82</b>	Rovereto LGP <b>95.22</b>	Borgo Vals. <b>96.46</b>	Riva del Garda <b>93.11</b>	M.te Gazza <b>66.67</b>
13/06/07	47.24	41.49	47.24	56.43	37.72	49.18	110.63
20/06/07	65.81	59.10	64.43	73.96	45.60	65.68	104.99
27/06/07	86.23	73.66	78.28	92.66	64.26	90.09	131.38
04/07/07	69.54	60.19	65.54	78.87	56.78	70.64	114.45
11/07/07	64.16	54.78	60.49	82.25	70.60	58.52	
18/07/07	98.85	78.66	81.77	120.10	98.30	103.16	148.75
25/07/07	98.52	75.82	81.73	115.27	98.13	85.15	126.66
01/08/07	91.24	72.65	80.47	113.52	87.65	81.02	128.26
08/08/07	82.91	66.03	73.01	112.76	82.25	75.78	117.85
15/08/07	56.60	48.11	56.17	79.44	54.21	44.49	104.12
22/08/07	56.04	47.67	57.60	70.90	55.62	44.65	107.28
29/08/07	31.76	30.20	35.86	52.21	31.58	29.06	98.72
05/09/07	43.95	46.53	50.70	53.82	44.75	41.01	82.75
12/09/07	50.35	51.20	55.58	66.30	44.62	47.84	85.07
19/09/07	53.66	51.22	57.16	70.77	49.48	50.10	103.78

### 3.2.1 Andamento temporale

La Figura 6 riporta l'andamento temporale delle concentrazioni di ozono. I valori più elevati sono stati registrati mediamente alla fine di giugno e nella seconda metà di luglio. Sono evidenti due depressioni nella curva della concentrazione media, nella prima metà di giugno e nella seconda metà di agosto. Si noti come l'andamento rilevato sia coerente con quello descritto dai dati APPA (stessa Figura 6), anche se su livelli tendenzialmente più elevati. Questo può essere dovuto alla distorsione campionaria insita nella distribuzione territoriale delle centraline APPA, localizzate più frequentemente in aree urbane.

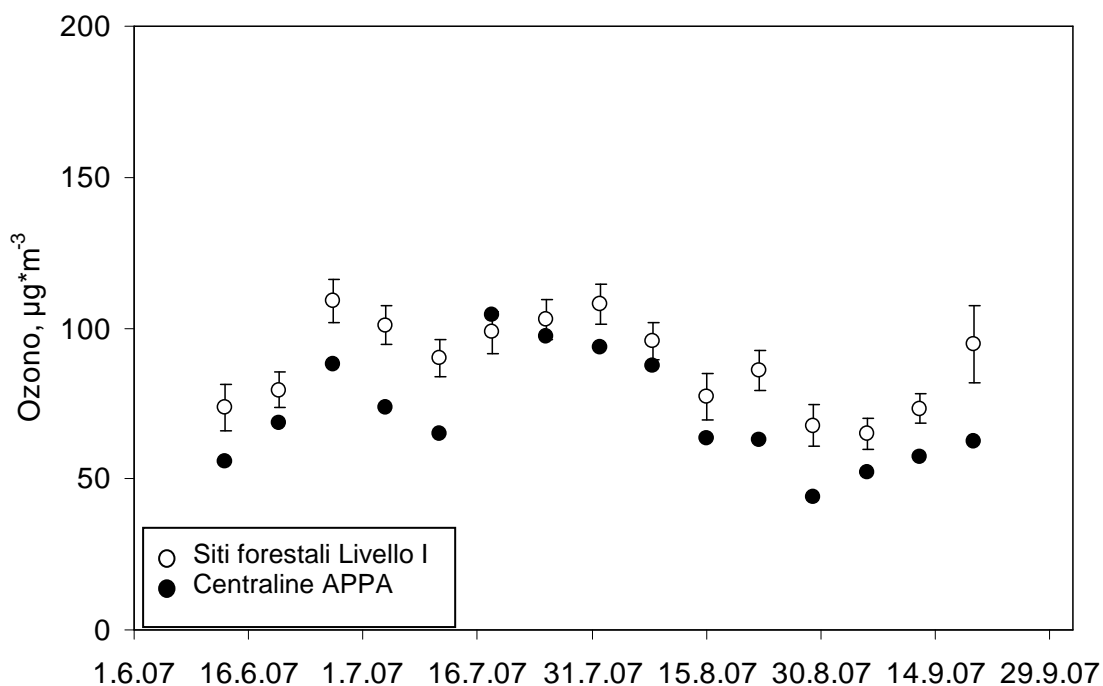


Figura 6. Andamento delle concentrazioni di ozono (medie orarie) nel periodo 6 giugno-19 settembre misurate con campionatori passivi ai siti forestali di Livello I e dalle centraline di monitoraggio degli inquinanti di APPA. Le barre di errore si riferiscono all'errore standard della media tra i diversi siti. Le stesse barre non sono stimabili per le centraline APPA distribuite con disegno campionario non statistico.

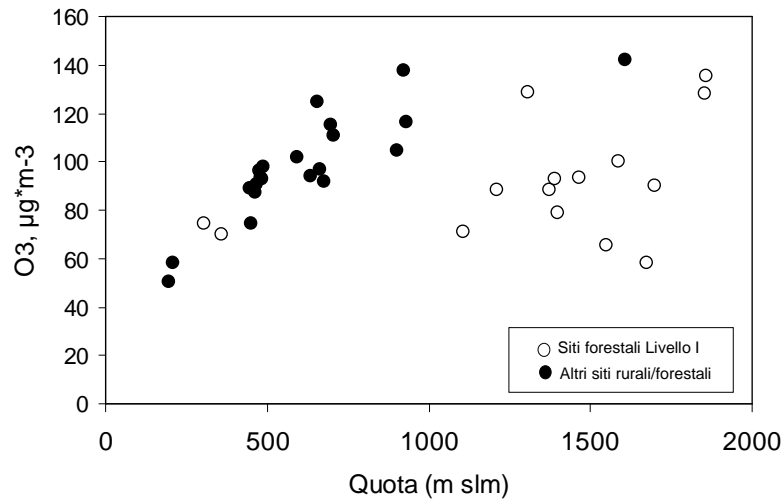
### 3.2.2 Andamento spaziale

In questo capitolo i dati sono analizzati per i tre gradienti geografici principali: quota, longitudine, latitudine.

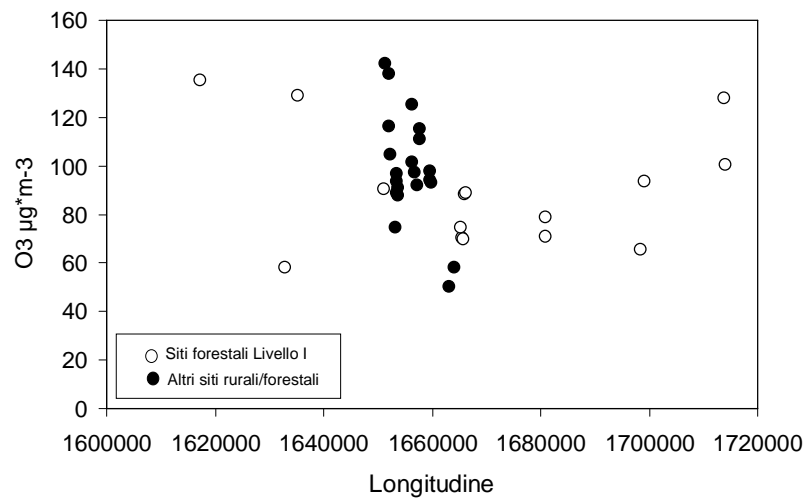
E' evidente un netto aumento delle concentrazioni di ozono che passano da valori di 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  per quote di 200 m s.l.m. a 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  per quote di 1000 m s.l.m. (Fig. 7 a). Successivamente si assiste ad una stabilizzazione, se non ad una leggera diminuzione, attorno a concentrazioni medie di 90  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . La maggior linearità delle tendenze nelle aree rurali-forestali denominate "altri siti" sembra imputabile al minor effetto della componente spaziale; tali siti sono infatti spazialmente aggregati poiché ricadono all'interno di un'area di 15x15 km individuata nel Trentino occidentale.

Nei confronti della longitudine e della latitudine si osservano invece valori di ozono più bassi (ca. 40-80  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) nella parte centrale della provincia, mentre nelle altre aree si arriva a concentrazioni tra 100 e 140  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (Fig. 7 b, c).

a)



b)



c)

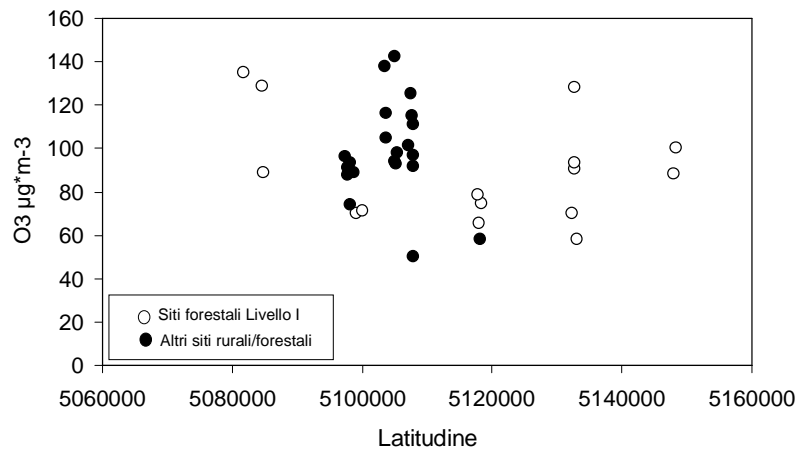


Figura 7. Concentrazioni di ozono in relazione a quota (a), longitudine (b) e latitudine (c).



### 3.3 Comparazione dati 2007 con modelli previsionali esistenti

Non vi è la possibilità di effettuare una comparazione diretta dei valori di ozono misurati nel 2007 con stime modellistiche riferite allo stesso periodo. I confronti possibili sono con il modello preparato da TECHNE per APPA Trento che ha una risoluzione spaziale di 1x1 km, ed eventualmente con il modello EMEP con risoluzione di 50\*50 km: entrambi sono tuttavia riferiti al 2004 e occorre quindi essere cauti nelle valutazioni. La figura 8 riporta il confronto tra i dati misurati nella campagna 2007 descritta nel presente lavoro e quelli modellati per gli stessi siti e lo stesso periodo dell'anno da TECHNE. Si nota come non esista accordo tra le due serie di dati. Sebbene non sia ovviamente possibile fare affermazioni sull'affidabilità del modello sulla base dei dati riportati in figura 8, è evidente che ogni valutazione di rischio ozono per le foreste basata sui dati modellati disponibili e non aggiornati rischierebbe di essere fortemente distorta.

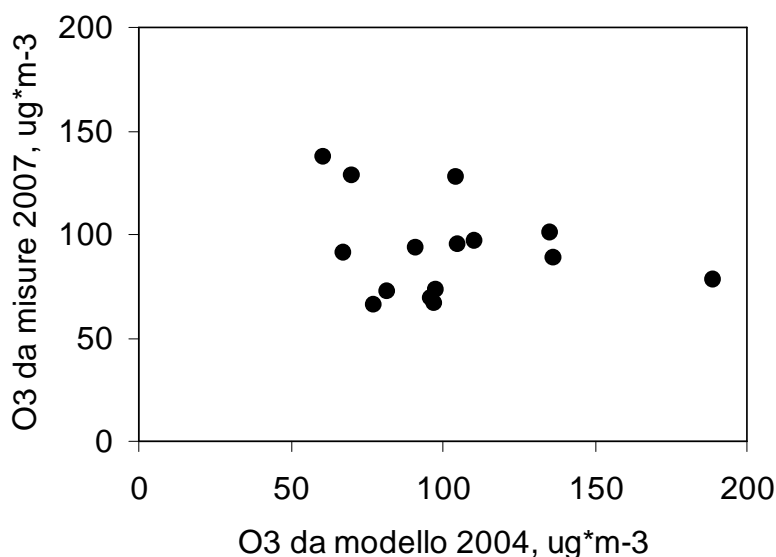


Figura 8 . Confronto tra i dati modellati nel 2004 e quelli misurati nel 2007 sui siti della rete di Livello I.

### 3.4 Stima di esposizione (AOT40) e rischio potenziale per la vegetazione

#### 3.4.1 Affidabilità delle stime

Similmente all'affidabilità delle misure di concentrazione (vedi 3.1), anche quella delle stime di AOT40 è stata valutata utilizzando misurazioni in parallelo su tre centraline automatiche della rete gestita da APPA. La Figura 9 riporta i profili orari giornalieri medi stimati di AOT40 partendo dai dati raccolti mediante dosimetri passivi e quelli misurati dalle centraline. Esiste un buon accordo complessivo, sebbene alcune differenze (peraltro comprese nella deviazione standard) siano osservabili soprattutto nel sito di Gazza.

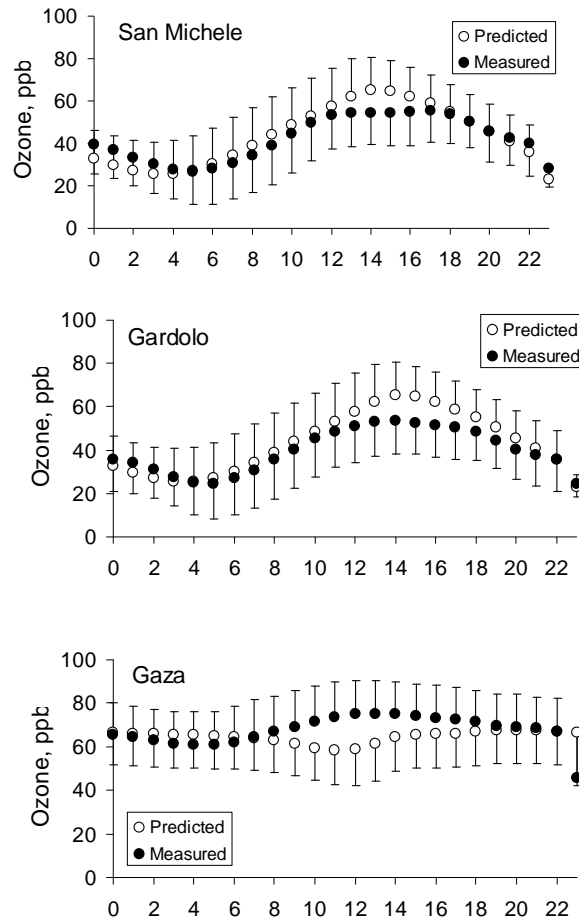


Figura 9. Profilo medio giornaliero misurato dalle centraline e predetto dal modello nei tre siti. Le barre di errore indicano la deviazione standard (da Gottardini et al., 2007).

### 3.4.2 AOT40 nei siti di monitoraggio di Livello I

La figura 10 riporta i valori di AOT40 stimati per i siti di Livello I nel periodo 13 giugno-12 settembre 2007. La linea indica la soglia di rischio potenziale stabilita in ambito UN/ECE per la vegetazione. Occorre sottolineare che tale soglia di rischio si riferisce a vegetazione sensibile in condizioni sensibili, ovverosia in condizioni stazionali tali da promuovere l'assorbimento di ozono (es. umidità edafica/atmosferica tale da assicurare conduttanza stomatica anche in condizioni estive).

I risultati indicano che il livello critico è superato in 10 stazioni su 15. Tuttavia, occorre considerare che il periodo a cui si riferisce la figura corrisponde a circa la metà di quello utilizzato in sede UN/ECE per il calcolo dell'AOT40, che è un indicatore basato sul cumulo delle concentrazioni sui 6 mesi compresi tra il primo di aprile ed il 30 settembre. Ne consegue che i dati riportati in figura 10 debbono essere considerati come sottostima del rischio potenziale.

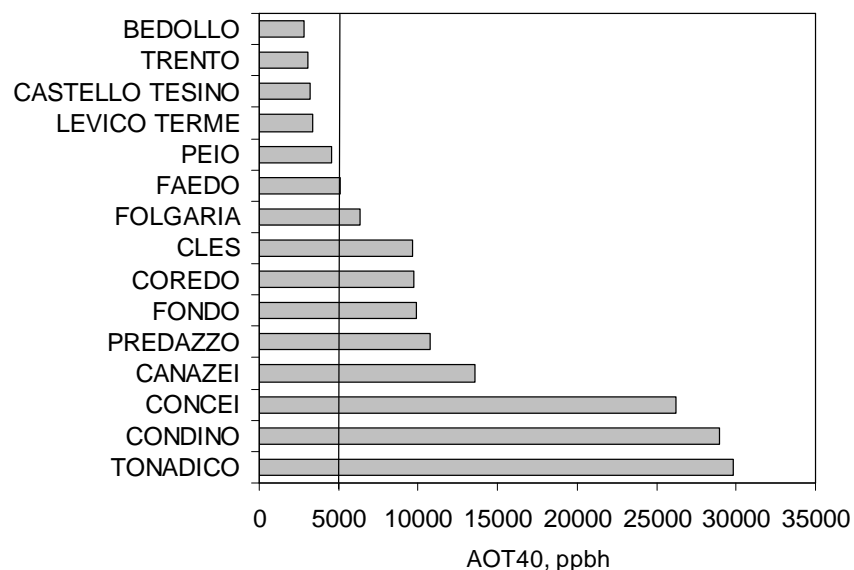


Figura 10. AOT40 nei siti di Livello I nel periodo 13 giugno-12 settembre 2007. La linea indica la soglia di rischio potenziale stabilita in ambito UN/ECE per la vegetazione.

Nella Figura 11 viene riportato l'andamento temporale dell'accumulo per le varie stazioni. Si può osservare che la soglia di 5000 ppb\*h viene superata assai precocemente (entro giugno) nei siti di Tonadico, Condino e Concei ed entro il mese di luglio nei siti di Canazei, Predazzo, Fondo, Coredo e Cles. Tra i restanti siti il superamento avviene entro agosto a Folgaria e Faedo e non avviene a Trento, Bedollo, Castello Tesino, Levico Terme e Peio. Merita ricordare tuttavia che i dati rappresentano sottostime e che il superamento è probabile avvenga in realtà in tutti i siti.

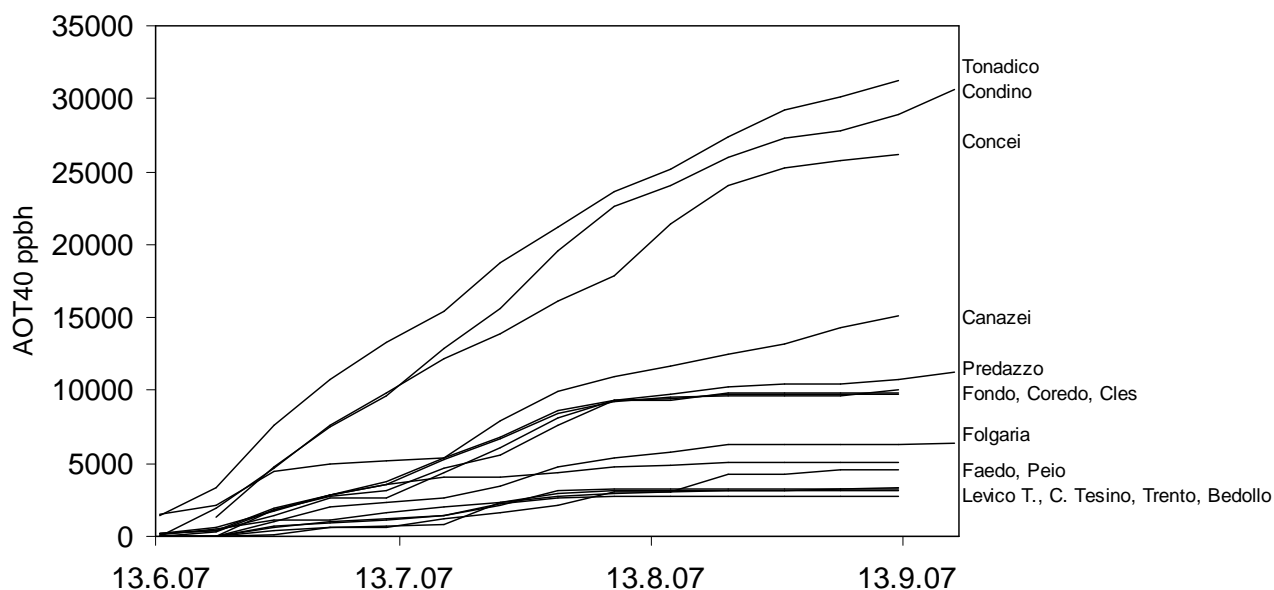


Figura 11. Evoluzione temporale di AOT40 nei siti di Livello I.

In Figura 12 sono rappresentati i valori di AOT40 calcolati per il periodo 20 giugno - 12 settembre, periodo in cui le misure di ozono erano disponibili per tutti i 15 siti. Si nota che, pur riferendosi a sottostime, dai dati raccolti emerge una situazione di rischio potenziale per 10 dei 15 siti esaminati.

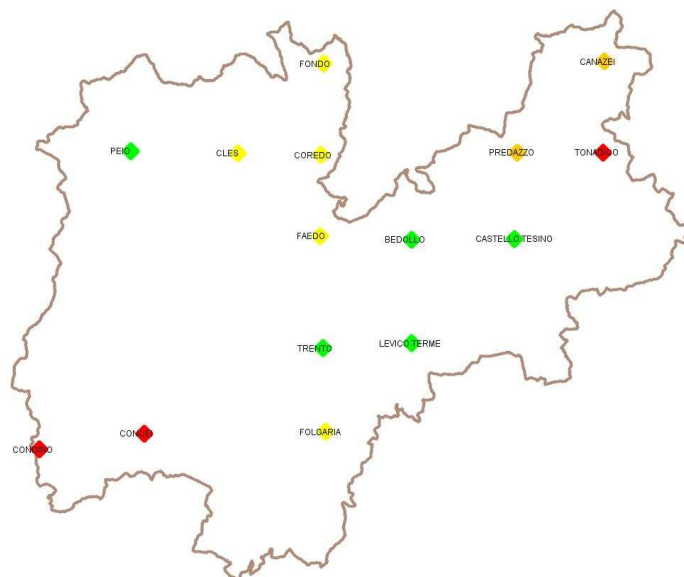


Figura 12. Valori AOT40 in ppb\*h calcolati per il periodo 20 giugno – 12 settembre 2007 in scala colorimetrica: verde < 5000; giallo >5000-10000; arancio >10000-15000; rosso 25000-30000.

#### 4. Ruolo dell'ozono nei confronti dello stato delle foreste e dati disponibili – Prospettive

Sebbene elevati livelli di ozono non implicino necessariamente effetti, la risposta della vegetazione sensibile documentata da uno specifico lavoro svolto in provincia esponendo piante notoriamente sensibili all'ozono (Fig. 13) (Gottardini et al., 2007) suggerisce la necessità di approfondire l'argomento sia dal punto di vista della stima di rischio, che dal punto di vista degli effetti.



Figura 13. A sinistra: stazione di biomonitoraggio con piante di tabacco ozono-sensibili (*Nicotiana tabacum* L cv. Bel-W3); a destra: tipici sintomi fogliari indotti dall'ozono su foglia di tabacco.

Nel caso della stima di rischio, sarebbe necessario

- (i) completare la copertura del territorio provinciale, estendo le misure possibilmente anche al settore occidentale;
- (ii) costruire mappe annuali di concentrazione ed esposizione. Uno specifico approccio è attualmente in corso;
- (iii) costruire mappe in cui il rischio potenziale sia “pesato” in funzione delle effettive condizioni di composizione e struttura della vegetazione, nonché edafiche e meteorologiche delle foreste trentine. A questo fine sarebbero utili i dati meteorologici e stazionali e i modelli e/o le spazializzazioni meteorologici già disponibili per la provincia di Trento.

Per quanto riguarda gli effetti sulla vegetazione, la disponibilità di serie storiche di dati sulle condizioni degli alberi nei siti forestali di Livello I e II della Provincia risulta preziosa. Questi dati permetterebbero il computo delle principali sorgenti di variabilità della condizione degli alberi ed eventualmente dell'accrescimento e quindi di verificare quanto della variabilità residua sia imputabile all'ozono.

Le possibilità in termini di analisi di dati sono le seguenti:

- valutazione e modellizzazione delle tendenze;
- identificazione dei siti outlier sia in senso assoluto che in termini di cambiamento rispetto agli altri siti;
- ripartizione delle sorgenti di variabilità tra i possibili fattori determinanti (clima, suolo, nutrizione, insetti, funghi, densità colturali, etc.);
- pesatura del ruolo dell'ozono nel determinare la variabilità residua al netto del ruolo dei suddetti fattori.

Questo approccio permetterebbe di valorizzare i dati esistenti ed ottenere risultati sia specifici per la questione ozono che utili a comprendere meglio il ruolo di vari fattori ambientali nell'evoluzione delle foreste trentine.

## 5. Conclusioni

I livelli di ozono registrati nel 2007 nei siti forestali di Livello I della provincia di Trento sono tali da prefigurare superamenti dei livelli critici UN/ECE e dei limiti UE. La presenza di pattern spaziali caratteristici suggerisce la possibilità di modellizzazioni spaziali utili a conseguire stime quantitative dell'esposizione all'ozono delle foreste della provincia di Trento. Riteniamo necessario continuare ed estendere le attività di monitoraggio che porterebbero informazioni utili anche ai fini degli adempimenti di reporting imposti dalla normativa europea: un vantaggio non secondario dell'approccio seguito è quello di poter scalare i dati a livello locale rendendo possibile stime quantitative dell'esposizione ad ozono non solo della vegetazione, ma anche della popolazione.

## Ringraziamenti

Gli autori ringraziano tutti coloro che a vario titolo hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro.

In particolare, per l'indispensabile collaborazione nell'installazione delle stazioni di monitoraggio dell'ozono presso i siti di Livello I e la puntuale sostituzione settimanale delle fiale di campionamento, si ringrazia il personale delle Stazioni Forestali che hanno dato il loro prezioso contributo.

Si ringraziano inoltre:

- Fabio Zottele (FEM - IASMA) e Duccio Rocchini (TerraData - Siena) per l'aiuto nelle applicazioni GIS;
- Giacomo Gerosa (Università Cattolica di Brescia) per il calcolo degli AOT40;
- Gabriele Tonidandel (APPA TN) per i dati delle centraline automatiche;
- Mauro Confalonieri (Servizio Foreste e Fauna, PAT) per il sostegno al lavoro e la collaborazione organizzativa;
- Il Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento per il contributo economico.

## Riferimenti bibliografici

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., Racalbuto 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.

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).

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

MEMOSA Projekt. 1996. Rilevamento e simulazione del comportamento di sostanze inquinanti aeriformi in ambiente alpino. Provincia Autonoma di Bolzano, Provincia Autonoma di Trento.

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. <http://www.icpmapping.org/>

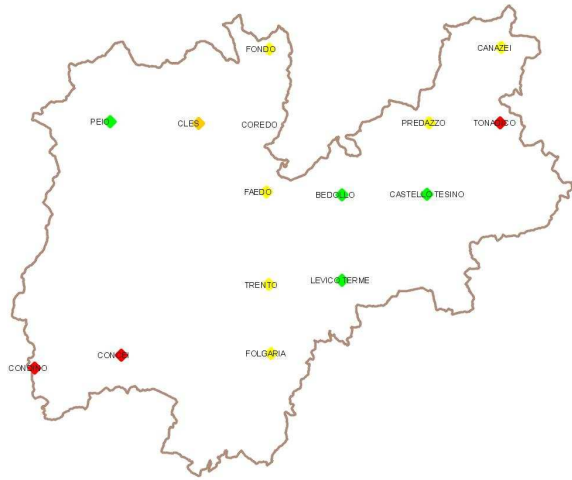
VDI 3957 Blatt 6:2003-04. Biological measuring techniques for the determination und evaluation of the effects of air pollutants on plants (bioindication) - Determination and evaluation of the phytotoxic effect of photooxidants - Method of the standardised tobacco exposure.



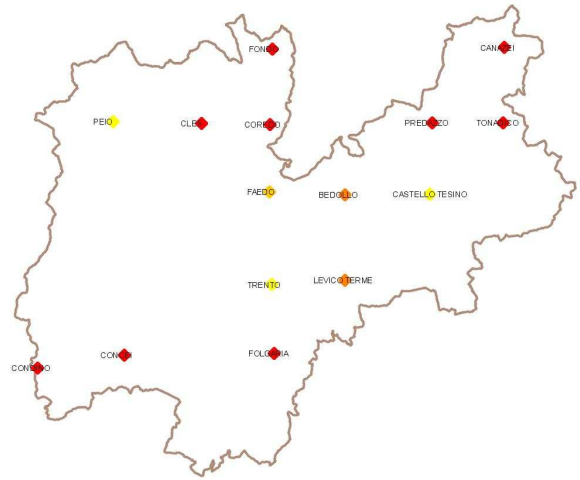
## Allegato 1

Rappresentazioni grafiche dei valori medi orari per settimana di ozono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) misurati con campionatori passivi presso i siti di monitoraggio di Livello I della Rete UE in provincia di Trento nel periodo 13 giugno – 12 settembre 2007.

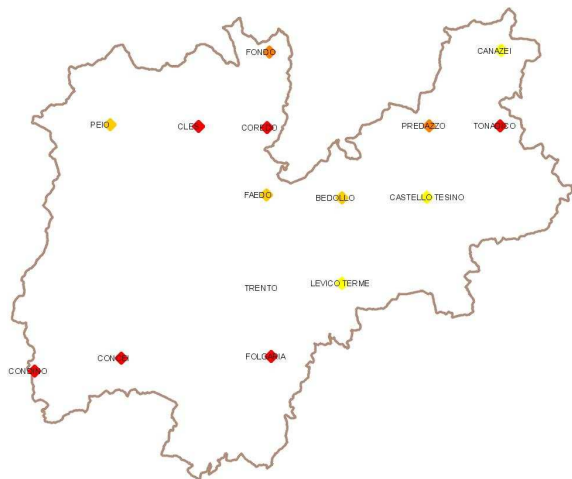
Scala colorimetrica: verde  $< 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; giallo  $> 70-80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; arancio  $> 80-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; arancio scuro  $> 90-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; rosso  $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



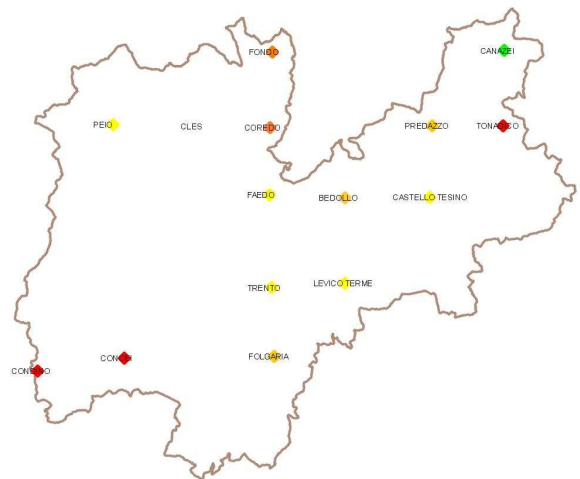
13 – 20 giugno 2007



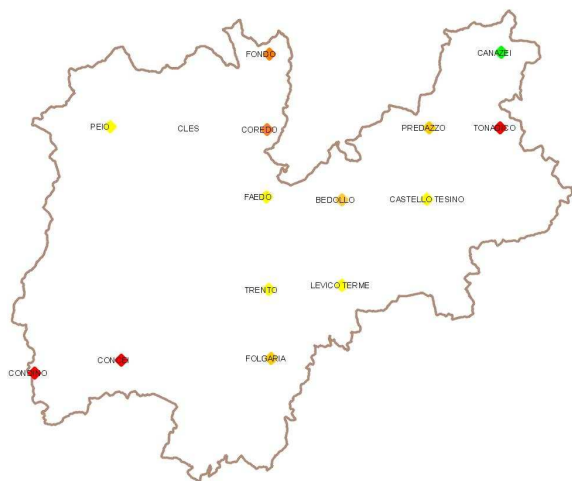
20 – 27 giugno 2007



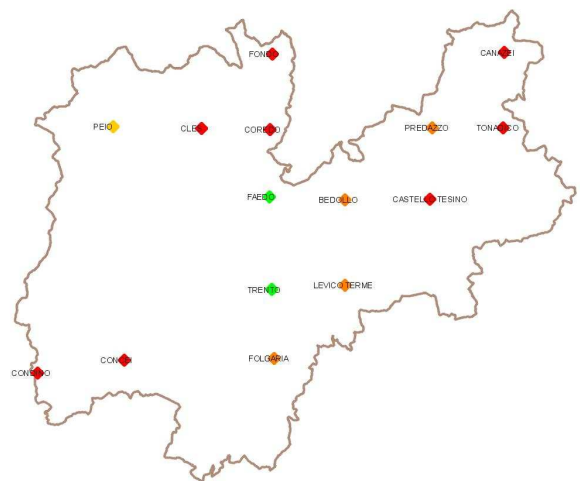
27 giugno – 4 luglio 2007



4 – 11 luglio 2007



11 – 18 luglio 2007



18 – 25 luglio 2007

