

Sezione Speciale: Atti 5° Congresso SISEF: Foreste e Società - Cambiamenti, Conflitti, Sinergie  
(a cura di: E. Lingua, R. Marzano, G. Minotta, R. Motta, A. Nosenzo, G. Bovio)

## Impatto del traffico veicolare su $\delta^{15}\text{N}$ , $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ di aghi ed anelli annuali di abete rosso (*Picea abies* L.) presso un'autostrada in Svizzera

Guerrieri MR <sup>(1)\*</sup>, Saurer M <sup>(2)</sup>, Siegwolf RTW <sup>(2)</sup>, Waldner P <sup>(3)</sup>, Cherubini P <sup>(3)</sup>

(1) Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, Italia; (2) PSI - Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Switzerland; (3) WSL - Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Switzerland. - \*Corresponding author: Maria Rosa Guerrieri - mguerrieri@unibas.it

**Abstract:** Impact of traffic on  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of needles and annual tree rings of Norway spruce (*Picea abies* L.) near a motorway in Switzerland. Increase of nitrogen depositions, as oxidized ( $\text{NO}_x$ ) and reduced ( $\text{NH}_x$ ) compounds, has important implications on ecosystem nitrogen cycle.  $\text{NO}_x$  comes predominantly from fossil fuel combustion in car engines and industrial processes, while agricultural activities (cattle farming, fertilizations) are the main sources for  $\text{NH}_x$  emissions. Such fertilisations could stimulate growth and, therefore, productivity of forests, especially in temperate forests, where nitrogen is a limiting factor. On the other hand an excess of nitrogen can lead to an acidification of the soil and have a negative impact on the microbial fauna and structure of plants.  $\text{NO}_x$  and  $\text{NH}_x$  depositions can be separated with the help of stable isotopes with different  $^{15}\text{N}$ -values reported for  $\text{NO}_x$  originating from combustion sources. Consequently it was observed that the nitrogen isotopic composition of the vegetation reflects the isotopic signature of nitrogen sources. Our preliminary results on needles of Norway spruce trees exposed to  $\text{NO}_x$  emissions along a transect perpendicular to a highway close to Faido and Brittnau show a clear isotopic enrichment in  $^{15}\text{N}$  in trees growing closer to traffic pollution, indicating an uptake of atmospheric nitrogen by stomatal pathway. Carbon and oxygen isotopic composition measured in tree rings reveals the physiological response in plants. Trees more exposed to air pollution from traffic show an increase in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  in tree rings, since mid sixties next to Erstfeld. This could mean a higher photosynthetic activity, enhanced by  $\text{NO}_x$  traffic emissions, under low or not changed stomatal conductance. Our results confirm that stable isotopes of carbon, oxygen and nitrogen measured in needles and tree rings represent an important tool to monitor the impact of  $\text{NO}_x$  load on tree physiology.

**Keywords:** Spruce, traffic, nitrogen, deposition, growth rings, needles, stable isotopes.

Received: Feb 07, 2006 - Accepted: Jun 19, 2006

**Citation:** Guerrieri MR, Saurer M, Siegwolf RTW, Waldner P, Cherubini P, 2006. Impatto del traffico veicolare su  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  di aghi ed anelli annuali di abete rosso (*Picea abies* L.) presso un'autostrada in Svizzera. Forest@ 3 (3): 437-445. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

### Introduzione

L'aumento delle deposizioni di azoto osservato negli ultimi decenni ha importanti implicazioni sul ciclo globale dell'azoto e sui processi biogeochimici che avvengono negli ecosistemi forestali. Pitcairn et al. (1995) riportano un aumento delle deposizioni di

azoto in Europa da 2-6 a 15-60 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, relativamente ai due decenni precedenti. L'azoto è presente nell'atmosfera in forma ossidata ( $\text{NO}_x$ ) e ridotta ( $\text{NH}_x$ ) ed il suo apporto negli ecosistemi terrestri ed acquatici può avvenire mediante deposizioni umide o secche (Bragazza et al. 2005). Le emissioni di  $\text{NO}_x$

sono causate principalmente dalla circolazione di autoveicoli e da attività industriali, che, secondo quanto riportato da Bragazza et al. (2005), costituirebbero più del 70% delle emissioni totali di NO<sub>x</sub>. Quelle di NH<sub>x</sub> derivano principalmente da attività agricole di natura intensiva (allevamenti animali e fertilizzazioni di monoculture specializzate). Nonostante recenti progressi tecnologici abbiano consentito una notevole riduzione delle emissioni, soprattutto grazie all'introduzione della benzina senza piombo e della marmitta catalitica (Pearson et al. 2000), le emissioni di NO<sub>x</sub> costituiscono ancora un serio problema per l'impatto che continuano ad avere sull'ambiente, provocando alte concentrazioni di ozono nella troposfera e processi di acidificazione e di eutrofizzazione degli ecosistemi terrestri ed acquatici (Galloway et al. 2003).

Negli ecosistemi forestali, queste deposizioni hanno importanti implicazioni legate al ciclo globale dell'azoto. Nelle foreste temperate, in particolare, dove spesso l'azoto rappresenta il fattore limitante, le addizioni di azoto hanno un effetto fertilizzante, perlomeno in una fase iniziale. Deposizioni croniche, tuttavia, provocando un eccesso di azoto rispetto alla domanda da parte delle piante e della microflora tellurica, comportano squilibri nei cicli biogeochimici, con possibili alterazioni dei processi fisiologici delle piante. La maggiore disponibilità di azoto per gli alberi, ad esempio, provoca una riduzione del rapporto della biomassa radici/chioma, alterando l'equilibrio sia strutturale che fisiologico della pianta (in quanto una minore biomassa radicale in proporzione a quella fogliare comporta una scarsa compensazione delle perdite traspirative di acqua). Un altro effetto è stato evidenziato da Bolsinger & Flückiger (1989) che, accanto ad un'autostrada, hanno osservato un cambiamento della composizione di aminoacidi all'interno delle foglie di *Viburnum opulus* L. e *Phaseolus vulgaris* L. che favorirebbe lo sviluppo e la crescita di alcune specie di afidi.

Un aspetto importante da considerare è quello dell'impatto sulle caratteristiche del suolo e sul conseguente cambiamento vegetazionale nel piano sottostante quello arboreo, all'interno di una foresta. In uno studio condotto da Kirchner et al. (2005) in una foresta di abete rosso nei pressi dell'autostrada A95 in Germania è stata osservata, ad esempio, una diminuzione di *Rubus fruticosus* L. e *Mycelis muralis* L. procedendo dal margine verso l'interno della foresta.

L'assorbimento di azoto da parte delle piante avviene generalmente attraverso le radici (sotto forma di ioni NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e di NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presenti nel suolo), ma biso-

gna considerare anche l'assorbimento di NO<sub>2</sub> che avviene per via stomatica e che contribuisce in maniera significativa al budget complessivo di azoto (Ammann et al. 1999, Siegwolf et al. 2001). In questo caso, affinché il gas assorbito possa essere utilizzato per la sintesi degli aminoacidi, viene convertito in nitrato e nitrito, attraverso l'attività della nitrato e nitrito-reductasi, e in ammonio (Welburn 1998).

La variazione della concentrazione dell'isotopo dell'azoto meno abbondante nel materiale vegetale viene espressa come composizione isotopica dell'azoto δ<sup>15</sup>N ed è data dal rapporto:

$$\delta^{15}N = \left( \frac{{}^{15}N / {}^{14}N_{\text{campione}}}{{}^{15}N / {}^{14}N_{\text{standard}}} \right) - 1 \cdot 1000$$

dove come standard si considera l'N<sub>2</sub> atmosferico.

Nell'ambito di un ecosistema forestale, il grado di arricchimento o impoverimento di <sup>15</sup>N è influenzato dai frazionamenti isotopici durante le trasformazioni biochimiche a livello dei diversi *pools* (suolo, pianta, atmosfera). In particolare, il δ<sup>15</sup>N nel materiale vegetale riflette principalmente quello del suolo (derivante da mineralizzazione della sostanza organica, attività microbiche e perdita di azoto) ed è associato ai processi di assimilazione, traslocazione a livello di pianta, nonché alla composizione isotopica dell'azoto nell'atmosfera.

La composizione isotopica dell'azoto misurata nelle foglie e negli anelli legnosi fornisce informazioni sull'input di azoto atmosferico per gli alberi, dal momento che il segnale isotopico delle due forme di deposizioni di azoto, NO<sub>x</sub> e NH<sub>x</sub>, è difatti differente: il primo mostra un valore δ<sup>15</sup>N più alto del secondo (Ammann et al. 1999, Stewart et al. 2002). La combinazione di δ<sup>13</sup>C, δ<sup>18</sup>O e δ<sup>15</sup>N consente di interpretare da un punto di vista fisiologico gli effetti delle deposizioni di azoto sugli alberi. La composizione isotopica del carbonio, infatti, è strettamente legata ai processi biochimici e fisiologici che avvengono durante la fotosintesi (a scala fogliare) e l'accrescimento secondario (traslocazione ed investimento strutturale dei fotosintati nel fusto). Il segnale derivante dal δ<sup>18</sup>O è espressione, invece, di processi fisico-chimici che hanno luogo a scala fogliare durante la traspirazione. Carbonio e ossigeno consentono di distinguere tra limitazioni biochimiche o del controllo stomatico in risposta a fattori ambientali (Scheidegger et al. 2000).

In studi condotti nei pressi di un'autostrada in Svizzera, sono stati osservati valori di δ<sup>15</sup>N più positivi in aghi ed anelli legnosi di alberi di abete rosso esposti alle emissioni di NO<sub>x</sub> derivanti dal traffico,

piuttosto che in alberi di controllo (Ammann et al. 1999, Saurer et al. 2004).

L'obiettivo del presente lavoro è quello di i) verificare se vi è un segnale dell'assorbimento di NO<sub>x</sub> negli aghi di alberi di abete rosso lungo transetti perpendicolari all'autostrada; ii) studiare i possibili effetti dell'aumento del traffico sugli alberi, in seguito alla costruzione dell'autostrada, attraverso uno studio retrospettivo basato su misure dendrocronologiche ed isotopiche ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) degli anelli legnosi.

## Materiali e metodi

### Area di studio e campionamento

Perpendicolari all'autostrada A2, in Svizzera, sono stati individuati tre transetti all'interno di foreste di abete rosso (*Picea abies* L. Karsten), nei pressi di Brittnau (cantone Argovia), Faido (canton Ticino) ed Erstfeld (cantone Uri - Fig. 1).

Per le analisi isotopiche del  $\delta^{15}\text{N}$  sono stati campionati aghi di due anni da due alberi all'interno di cinque *plots* a Faido ( $P_1 = 50$  m,  $P_2 = 125$  m,  $P_3 = 175$  m,  $P_4 = 400$  m;  $P_5 = 500$  m dall'autostrada) e otto *plots* a Brittnau ( $P_1 = 12.5$  m,  $P_2 = 25$  m,  $P_3 = 50$  m,  $P_4 = 62.5$  m;  $P_5 = 75$  m,  $P_6 = 87.5$  m,  $P_7 = 200$  m,  $P_8 = 300$  m dall'autostrada). Considerando lo studio sugli aghi preliminare, volto, cioè, ad accertare la presenza o meno di un segnale dell'assorbimento dell'azoto derivan-

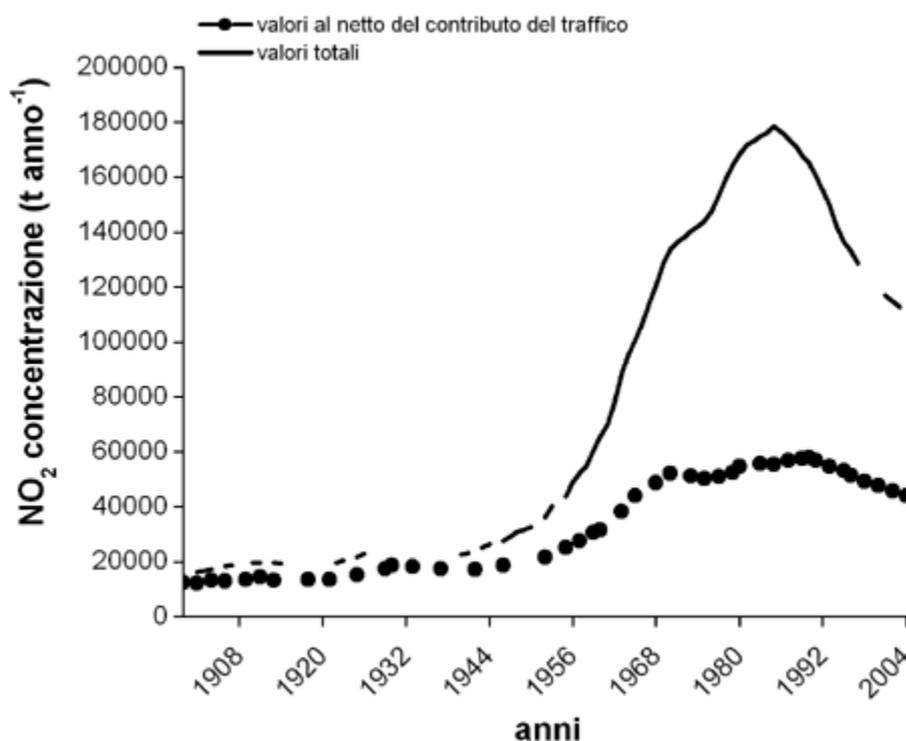
te dalle emissioni, si è ritenuto opportuno considerare solo due alberi per ciascun *plot*.

Tre carote di legno sono state estratte da sei alberi individuati in due aree poste a differente altitudine (approssimativamente 200 m di dislivello) vicino all'autostrada nei pressi di Erstfeld (fig. 1). In questo caso, tre alberi (indicati con  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ ) sono stati scelti nel *plot*  $P_1$  alle pendici di una parete rocciosa, mentre gli altri 3 (indicati con  $T_4$ ,  $T_5$  e  $T_6$ ), 200 metri più in alto, nel *plot*  $P_2$ . La distanza di ciascun albero dall'autostrada è di:  $T_1 = 99$  m,  $T_2 = 127$  m,  $T_3 = 193$  m,  $T_4 = 474$  m,  $T_5 = 495$  e  $T_6 = 525$  m. L'esposizione della pendice rocciosa è NE, con una pendenza di 30°. Nel *plot* a quota più elevata il popolamento si presenta più denso, con frequenti consociazioni tra abete rosso e larice (*Larix decidua* Mill). Nel *plot*  $S_1$ , invece, è stata riscontrata la presenza di altre specie quali *Abies alba* Mill. e *Carpinus betulus* L.

I dati disponibili di emissioni di NO<sub>2</sub> (a partire dal 1900) sono relativi all'intera Svizzera e derivano dalla rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici (NABEL), gestita dall'EMPA, su incarico dell'Ufficio Federale dell'Ambiente e delle Foreste (UFAM). I valori di NO<sub>2</sub> causati dal traffico vengono stimati considerando la differenza tra i valori totali di NO<sub>2</sub> derivanti da diverse fonti quali attività industriali, traffico, usi domestici (riscaldamenti) e i valori senza il contributo del traffico. Come è possibile



**Fig. 1** - Area di studio nei pressi di Erstfeld (fonte: ©AlpTransit San Gottardo SA. [online] URL: <http://www.alptransit.ch/>).



**Fig. 2** - Andamento della emissioni di NO<sub>2</sub> in Svizzera dal 1900 al 2004. Con la linea continua si rappresentano le emissioni totali di NO<sub>2</sub> derivanti da diverse fonti (traffico, attività industriali, riscaldamenti) mentre i simboli indicano l'andamento dei valori di NO<sub>2</sub> senza il contributo del traffico. E' chiaro il notevole apporto delle emissioni di NO<sub>2</sub> derivante dal traffico sulle emissioni totali. Dati riportati dall'Ufficio Federale dell'Ambiente (UFAM).

osservare in fig. 2, si registra un forte aumento della concentrazione di NO<sub>2</sub> a partire dagli anni '60, con un picco intorno agli anni '80. Da questo punto in poi si osserva una diminuzione delle emissioni, legata probabilmente all'introduzione della marmitta catalitica e della benzina senza piombo (per maggiori informazioni si veda Buwal 1995).

#### Preparazione dei campioni

Delle tre carote prelevate da ciascun albero, due sono state utilizzate per le analisi isotopiche ed una per le misure dendrocronologiche. Per essere sicuri dell'esatta datazione di ciascun anello destinato alle analisi isotopiche, abbiamo datato, misurato e crossdatato anche le carote destinate alle analisi isotopiche.

#### Misure dendrocronologiche

Per ciascuna carota ogni singolo anello è stato identificato, datato e misurato, partendo dalla corteccia fino al midollo, lavorando sotto uno stereomicroscopio. Per le misure delle ampiezze anulari, è stato utilizzato il sistema combinato di tavola misuratrice Lintab e software TSAP (*Time Series Analysis and Presentation*), entrambi della Frank Rinn, Heidelberg (Germania).

Le curve delle ampiezze anulari ottenute per ogni pianta sono state plottate e, ad una prima fase di confronto visivo (in modo da poter individuare pos-

sibili errori), è seguita l'analisi statistica, mediante la quale le curve di ciascuna pianta sono state confrontate con la cronologia media (per maggiori dettagli si veda, ad esempio, Cherubini et al. 2003). I parametri statistici ottenuti sono indicati in tab. 1.

#### Analisi isotopiche

Da ciascuna delle due carote destinate alle analisi isotopiche, gruppi di tre anelli sono stati individuati, separati e tagliati. Prima delle misure isotopiche, gli aghi e i gruppi di anelli sono stati macinati con un mulino (Retsch, Germania) e successivamente pesati in capsule di stagno. Il *pooling* di anelli consecutivi è stato necessario dal momento che spesso il materiale relativo ad un singolo anello non era sufficiente per le misure isotopiche.

La quantità di materiale usata per le analisi è stata, per gli aghi, di 3.8-4.2 mg sia per il carbonio che per l'azoto, mentre per l'ossigeno 1.1-1.3 mg. Per quanto riguarda gli anelli legnosi è stata analizzata una quantità di 0.6-0.8 mg sia per l'ossigeno che per il carbonio. Considerata la bassa concentrazione di azoto nel legno, per la misura del  $\delta^{15}\text{N}$  è stato necessario considerare una quantità di campione pari a 20 mg. I campioni sono stati bruciati in un analizzatore elementare (EA-1100, Carlo Erba, Milano, Italia) per le analisi isotopiche di carbonio e azoto (nel caso del materiale fogliare) e di carbonio (per i campioni legnosi). Dopo la combustione, l'acqua è stata rimossa

**Tab. 1** - Parametri derivanti dal confronto statistico (*t*-student) delle curve delle ampiezze anulari misurate per ciascun albero rispetto alla curva media. L'*overlap* indica il numero di anni considerati; *Gleichläufigkeit* rappresenta il coefficiente di concordanza, ovvero la misura della corrispondenza esistente di anno in anno tra andamenti di un determinato intervallo di due cronologie, basata sulla concordanza di segno della variazione (positivo, negativo o nullo - Kaennel & Schweingruber 1995).

Id campione	Overlap	Gleichläufigkeit	P	t Student
T1	101	74	0.001	5.3
T2	149	66	0.001	9.9
T3	116	69	0.001	7.8
T4	125	63	0.05	4.3
T5	109	61	0.05	3.0
T6	96	70	0.001	5.5

mediante trappola contenente perclorato di magnesio, mentre N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> sono stati separati in una colonna gascromatografica e convogliati successivamente nello spettrometro di massa (Delta - S Finnigan MAT, Bremen, Germania) mediante un'interfaccia (EA-1108, Carlo Erba, Milano, Italia) connessa all'analizzatore elementare.

La composizione isotopica dell'ossigeno è stata misurata separatamente, utilizzando un differente analizzatore elementare, connesso allo stesso spettrometro di massa, che decompone i campioni in assenza di ossigeno, mediante pirolisi termica ad una temperatura di 1080°C (Saurer et al. 1998). H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> derivanti da questa reazione sono stati rimossi mediante due differenti trappole, perclorato di magnesio e carborb, rispettivamente per l'acqua e per l'anidride carbonica, mentre CO e gli altri gas prodotti sono stati separati mediante colonna gascromatografica e convogliati nello spettrometro di massa. Il rap-

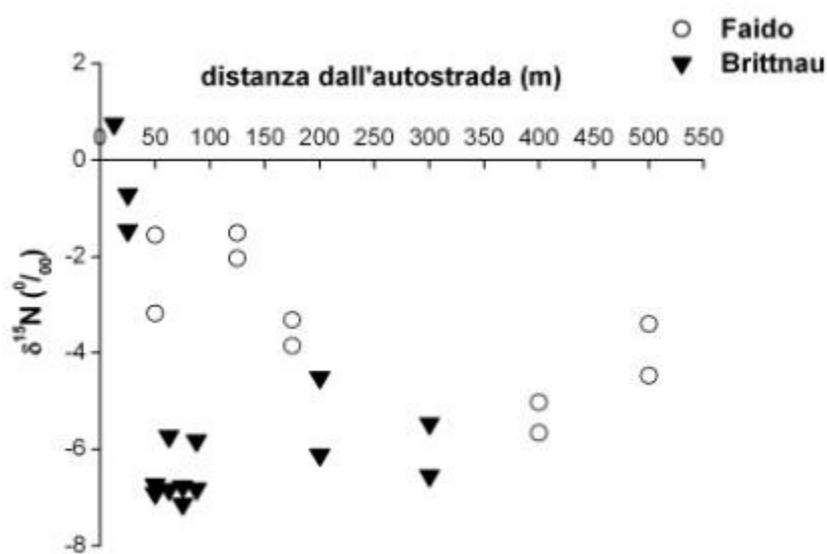
porto <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O è stato calcolato sulle molecole di gas di CO. Per maggiori dettagli metodologici si vedano ad es. Boutton 1991; Ehleringer & Rundel 1989; Ehleringer & Osmond 1991.

### Risultati e discussione

#### Aghi

In fig. 3 è possibile osservare un arricchimento isotopico in <sup>15</sup>N negli aghi maggiormente esposti alle emissioni di NO<sub>x</sub> provenienti dall'autostrada, soprattutto a Brittnau. Questo risultato conferma quanto osservato da Ammann et al. (1999) su campioni di aghi e di suolo, nei pressi della stessa autostrada, vicino a Solothurn. Nel suddetto lavoro vengono riportati anche i valori di δ<sup>15</sup>N misurati per NO<sub>2</sub> e NO, rispettivamente di +5.7 ± 2.8 ‰ e di +3.1 ± 5.4 ‰.

Allontanandosi dall'autostrada il valore di δ<sup>15</sup>N misurato negli aghi diminuisce. In particolare, a

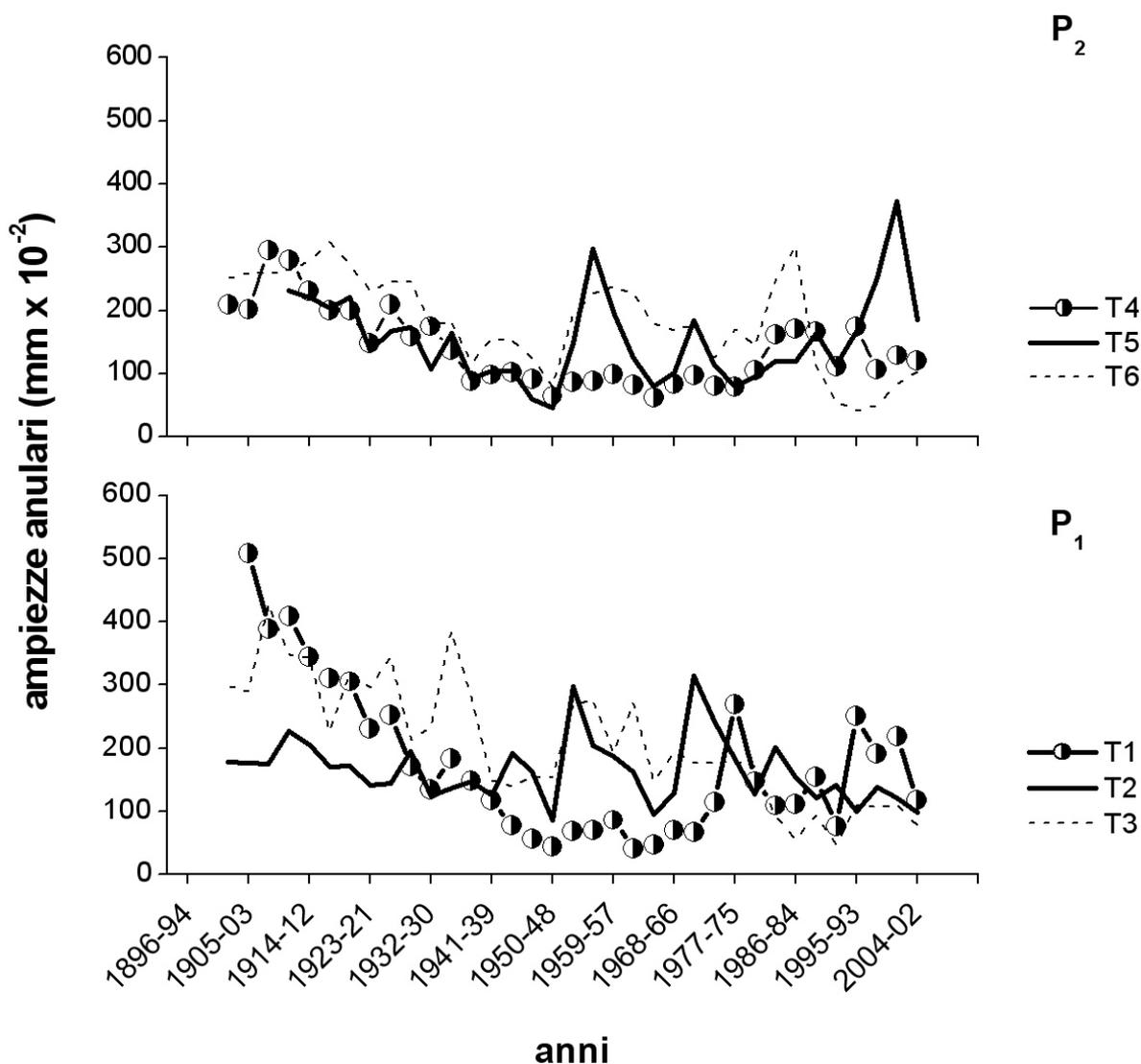


**Fig. 3** - Andamento del δ<sup>15</sup>N misurato su aghi campionati dalla porzione alta delle chiome di alberi di abete rosso lungo un transetto perpendicolare all'autostrada nei pressi delle località di Faido e Brittnau.

**Tab. 2** - Coefficiente di correlazione (R) e grado di significatività (P) derivante da correlazioni, per ciascun albero, tra i valori delle ampiezze anulari e temperatura (Temp) e precipitazioni (Prec) medie. I dati climatici sono relativi alla stazione più vicina all'area di studio (Zurigo).

Id Campione	Prec		Temp	
	R	P	R	P
T1	0.01	0.95	-0.20	0.24
T2	-0.20	0.24	-0.30	0.07
T3	-0.27	0.20	-0.58	1.8e-4
T4	-0.09	0.60	-0.25	0.13
T5	0.42	0.01	0.14	0.44
T6	-0.24	0.15	-0.63	<0.0001

Brittnau, l'impatto delle emissioni provenienti dall'autostrada si riduce drasticamente già a 50 metri di distanza dall'autostrada. In uno studio condotto da Kirchner et al. (2005), è stata messa in evidenza una



**Fig. 4** - Andamento delle ampiezze anulari di alberi di abete rosso in due differenti plot (P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>) lungo l'autostrada A2 nei pressi di Erstfeld. Ogni punto rappresenta la media dei valori misurati su 3 anelli consecutivi.

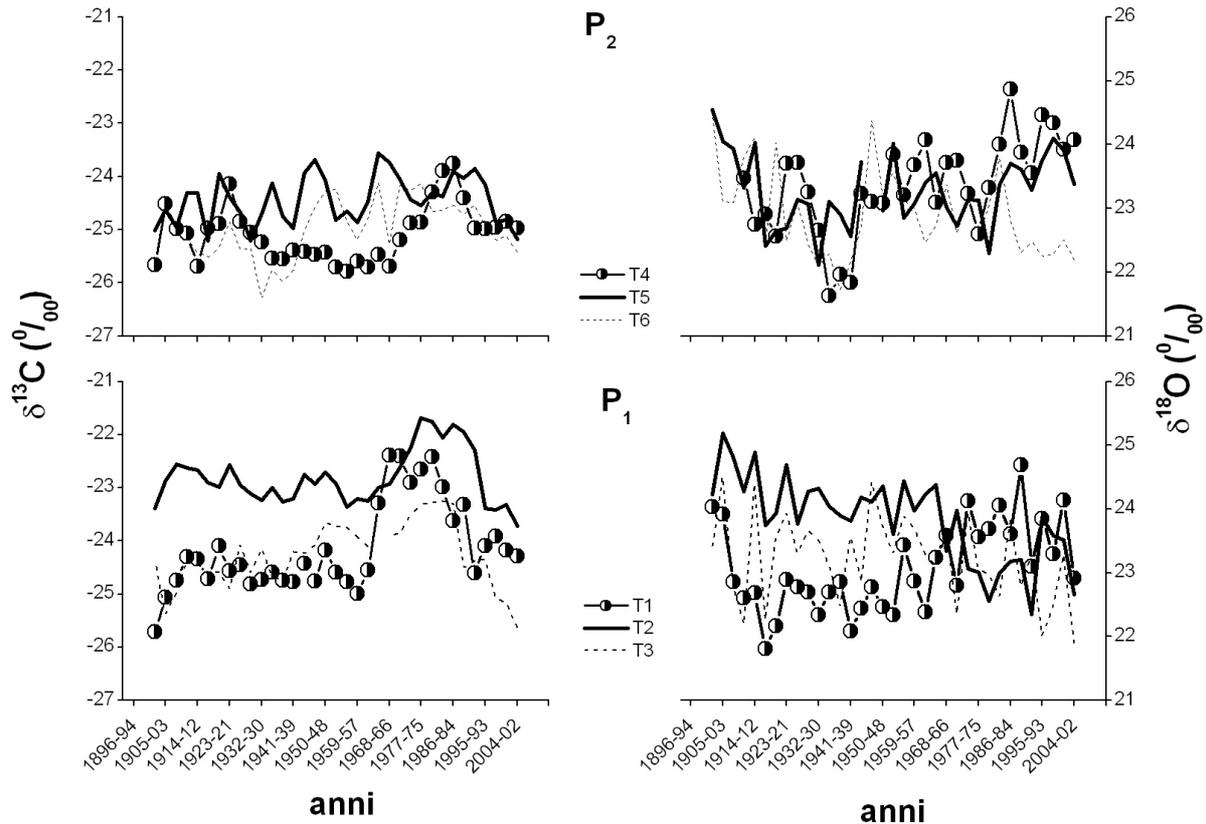


Fig. 5 - Andamento del  $\delta^{13}\text{C}$  e del  $\delta^{18}\text{O}$  misurati su gruppi di tre anelli consecutivi di alberi di abete rosso in due differenti *plots* lungo l'autostrada A2 nei pressi di Erstfeld.

diminuzione della concentrazione di  $\text{NO}_2$  e di  $\text{NH}_3$  lungo un transetto perpendicolare all'autostrada in una foresta di abete rosso ed è stato osservato un effetto barriera da parte degli alberi immediatamente prossimi all'autostrada, che ridurrebbero notevolmente l'impatto delle emissioni man mano che si procede verso l'interno della foresta. L'arricchimento isotopico osservato soltanto nelle immediate vicinanze dell'autostrada sembra confermare che l'assorbimento di azoto possa avvenire anche per via stomatica (Siegwolf et al. 2001).

#### Anelli di accrescimento degli alberi

##### 1) Ampiezza anulare

Ciascun punto della curva rappresenta la media dei valori misurati su gruppi di tre anelli consecutivi (in accordo con le misure isotopiche). Si osserva una notevole variabilità dell'ampiezza anulare tra gli alberi in entrambi i *plots* considerati (fig. 4), all'interno di una foresta di abete rosso nei pressi di Erstfeld. In generale, si verifica una riduzione dell'accrescimento sino agli anni '50 (normale trend dovuto all'età) e una successiva e lieve ripresa, soprattutto per le

piante 1 e 5. In generale gli alberi non hanno mostrato grosse variazioni delle ampiezze anulari, eccetto per l'albero  $T_1$  più vicino all'autostrada, indicando un possibile effetto fertilizzante delle emissioni di  $\text{NO}_x$  provenienti dall'autostrada. Se si considerano i valori medi per ciascun *plot* (dati non mostrati) si evidenziano valori di accrescimento maggiori negli alberi del *plot* posto alle pendici della parete rocciosa, più vicino all'autostrada.

Le basse correlazioni trovate tra ampiezza anulare e dati climatici misurati a Zurigo (tab. 2) indicano che né le precipitazioni né le temperature sono limitanti per l'accrescimento degli alberi nell'area di studio considerata. Solo per due alberi ( $T_3$  e  $T_6$ ) è stata trovata una correlazione significativa ( $P < 0.05$ ) tra ampiezze anulari e temperatura media annua.

##### 2) Cronologie isotopiche

Analizzando i risultati relativi ai valori di composizione isotopica di carbonio e di ossigeno misurati su gruppi di tre anelli consecutivi si nota che nel *plot* posto a quota più elevata, il trend del  $\delta^{18}\text{O}$  e, soprattutto, del  $\delta^{13}\text{C}$  non subisce grosse variazioni, né evidenzia un segnale di disturbo da parte delle emissio-

ni provenienti dall'autostrada (fig. 5).

Nel *plot* alle pendici della parete rocciosa, invece, l'andamento del  $\delta^{13}\text{C}$  è concorde per tutte le piante, mentre più variabile risulta quello del  $\delta^{18}\text{O}$ . In particolare, l'albero più vicino all'autostrada (indicato con  $T_1$ ), mostra un evidente aumento del  $\delta^{13}\text{C}$  e, meno pronunciatamente, del  $\delta^{18}\text{O}$ , a partire dagli anni '60, fino agli anni '80. Questo risultato potrebbe indicare una minore attività stomatica (Barbour et al. 2000, Scheidegger et al. 2000), con conseguente riduzione delle perdite di acqua per traspirazione, ed una maggiore efficienza dell'attività assimilativa, suggerendo un'elevata efficienza d'uso dell'acqua. Una delle spiegazioni di questa risposta positiva della pianta potrebbe essere in parte legata all'aumento delle emissioni di  $\text{NO}_2$  registrato in Svizzera proprio a partire dagli anni '60 (fig. 2). In uno studio condotto da Siegwolf et al. (2001), infatti, è stato osservato un aumento del  $\delta^{13}\text{C}$  per piante di pioppo sottoposte a fumigazioni di  $\text{NO}_2$ . La maggiore concentrazione di  $\text{NO}_2$  potrebbe avere un duplice effetto: fertilizzante da una parte, stimolando l'assimilazione di  $\text{CO}_2$  e tossico dall'altra parte, contribuendo ad una maggiore sensibilità e, quindi, chiusura stomatica.

L'albero  $T_2$  mostra un simile andamento del  $\delta^{13}\text{C}$  e del  $\delta^{18}\text{O}$  fino agli anni '70 dopodiché, ad un aumento del  $\delta^{13}\text{C}$  corrisponde una diminuzione del  $\delta^{18}\text{O}$ . Il minore arricchimento isotopico dell'ossigeno suggerirebbe un elevato tasso traspirativo, accompagnato da un maggiore "Pecllet effect" (Barbour et al. 2000). Questo potrebbe indicare una minore sensibilità stomatica alle emissioni di  $\text{NO}_2$  per quest'albero che si trova più distante dall'autostrada rispetto a  $T_1$ . I valori più elevati di  $\delta^{13}\text{C}$  e di  $\delta^{18}\text{O}$  nei primi 50 anni per questo albero indicherebbero una ridotta attività stomatica probabilmente indotta da una scarsa disponibilità idrica per la pianta, dovuta o alla particolare tipologia di suolo, a matrice prevalentemente rocciosa, o ad un poco sviluppato apparato radicale.

Per l'albero  $T_3$  si osserva solo un lieve cambiamento dell'andamento dei valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e, soprattutto di  $\delta^{13}\text{C}$ . L'impatto delle emissioni di  $\text{NO}_x$  derivanti dal traffico sembra, quindi, attenuarsi man mano che ci si allontana dall'autostrada, come osservato anche per gli aghi.

## Conclusioni

Nelle aree di studio di Faido e Brittnau, gli alberi di abete rosso più vicini all'autostrada hanno mostrato un chiaro arricchimento isotopico in  $^{15}\text{N}$ , confermando la possibilità per le piante di assorbire l'azoto anche per via stomatica. È interessante osserva-

re come gli alberi più vicini all'autostrada fungano da barriera, diminuendo l'impatto delle emissioni di  $\text{NO}_2$  legate alla circolazione dei veicoli, procedendo lungo il transetto, verso l'interno della foresta. Successive analisi su carote estratte dagli alberi considerati per il campionamento degli aghi consentiranno di capire se e con quale entità il segnale osservato negli aghi possa essere trasferito negli anelli di accrescimento.

Dallo studio retrospettivo sugli anelli di accrescimento degli alberi nei pressi di Erstfeld è emerso un segnale interessante, attribuibile in parte al possibile impatto dell'aumento delle emissioni di  $\text{NO}_x$  registrato in Svizzera a partire dagli anni '60. Questo segnale non è tanto visibile nelle ampiezze anulari (ad eccezione della pianta  $T_1$ ) quanto nei valori di composizione isotopica dell'ossigeno e, soprattutto del carbonio. In quest'ultimo caso, infatti, il trend crescente di  $\delta^{13}\text{C}$  osservato tra gli anni '60 e '80 per le piante  $T_1$  e  $T_2$  denoterebbe una maggiore attività fotosintetica, quindi un aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua per queste piante. Questo risultato suggerirebbe un effetto di fertilizzazione da parte delle emissioni di  $\text{NO}_x$  (e probabilmente anche di  $\text{CO}_2$ ) derivante dalla circolazione dei veicoli. L'andamento crescente dei valori di  $\delta^{18}\text{O}$  osservato negli anelli legnosi della pianta  $T_1$ , più vicina all'autostrada, indica, tuttavia, una riduzione dell'attività stomatica, suggerendo un effetto tossico da parte delle emissioni di  $\text{NO}_2$ .

Questo studio conferma la potenzialità della misura degli isotopi stabili di carbonio, ossigeno ed azoto quale utile strumento per il monitoraggio dell'impatto delle deposizioni di azoto sulla risposta fisiologica degli alberi negli ecosistemi forestali.

## Ringraziamenti

L'attività di ricerca è stata svolta da M.R.G. durante il periodo di stage presso il *Laboratory of Atmospheric Chemistry - Stable Isotopes Group* (Paul Scherrer Institute) - nell'ambito del Dottorato di Ricerca Internazionale in "Crop Systems, Forestry and Environmental Sciences" (Università degli Studi della Basilicata). Si ringrazia l'Istituto Federale di Ricerca per la Foresta, la Neve e il Paesaggio (WSL) per il campionamento degli aghi e per l'utilizzo del laboratorio di dendrocronologia; la Dr. Maya Jaeggi, il Prof. Marco Borghetti e il Prof. Antonio Saracino per il supporto scientifico. La presente ricerca è stata in parte finanziata dall'Ufficio Federale dell'Ambiente - UFAM (Bundesamt für Umwelt - BAFU).

## Bibliografia

- Ammann M, Siegwolf RTW, Pichelmayer F, Suter M, Saurer M, Brunold C (1999). Estimating the uptake of traffic derived NO<sub>2</sub> from <sup>15</sup>N abundance in needles of Norway spruce. *Oecologia* 118: 124-131.
- Barbour MM, Fischer RA, Sayre KD, Farquhar GD (2000). Oxygen isotope ratio of leaf and grain material correlates with stomatal conductance and grain yield in irrigated wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 625-637.
- Bolsinger M, Flückiger W (1989). Ambient air pollution induced changes in free amino acid pattern of phloem sap in host plant- relevance to aphid infestation. *Environmental Pollution* 56: 209-216.
- Boutton TW (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. In: "Carbon Isotope Techniques in Biological Sciences" (Coleman DC, Fry B eds). Academic Press, San Diego, USA, pp. 173-185.
- Bragazza L, Limpens J, Gerdol R, Grosvernier P, Hjek M, Hjek T, Hajkova P, Hansen I, Iacumin P, Kutnar L, Rydin H, Tahvanainen T (2005). Nitrogen concentration and δ<sup>15</sup>N signature of ombrotrophic Sphagnum mosses at different N deposition levels in Europe. *Global Change Biology* 11: 106-114.
- Ufficio federale dell'ambiente, UFAM (1995). Vom Menschen verursachte Luftschadstoff - Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 256: 420, Bern, Switzerland.
- Cherubini P, Gartner BL, Tognetti R, Bräcker OU, Schoch W, Innes JL (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biological Reviews* 78: 119-148.
- Ehleringer JR, Rundel PW (1989). 1. Stable isotopes: History, Units and Instrumentation. In: "Stable Isotopes in Ecological Research", vol. 68 (Rundel PW, Ehleringer JR, Nagy KA eds). Springer - Verlag, New York, USA.
- Ehleringer JR, Osmond CB (1991). Stable isotopes. In: "Plant Physiological Ecology. Field methods and instrumentation" (Percy RW, Ehleringer JR, Mooney HA, Rundel PW eds). Chapman & Hall, London, UK.
- Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, Cosby BJ (2003). The nitrogen cascade. *BioScience* 53: 341-356.
- Kaennel M, Schweingruber FH (1995). Multilingual Glossary of Dendrochronology. Paul Haupt Publishers, Berne, Switzerland.
- Kirchner M, Jacoby G, Feicht E, Bernhardt M, Fischer A (2005). Elevated NH<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> air concentrations and nitrogen deposition rates in the vicinity of a highway in Southern Bavaria. *Atmospheric Environment* 39: 4531-4542.
- Pearson J, Wellis DM, Seller KJ, Bennett A, Soares A, Woodall J, Ingroulle MJ (2000). Traffic exposure increases natural <sup>15</sup>N and heavy metal concentrations in mosses. *New Phytologist* 147: 317-326.
- Pitcairn CER, Fowler D, Grace J (1995). Deposition of fixed atmospheric nitrogen and foliar nitrogen content of bryophytes and *Calluna vulgaris* (L.) Hull. *Environmental Pollution* 88: 193-205.
- Saurer M, Robertson I, Siegwolf RTW, Leuenberger M (1998). Oxygen Isotope Analysis of Cellulose: an Interlaboratory Comparison. *Analytical Chemistry* 70: 2074-2080.
- Saurer M, Cherubini P, Ammann M, De Cinti B, Siegwolf RTW (2004). First detection of nitrogen from NO<sub>x</sub> in tree rings: a <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N study near a motorway. *Atmospheric Environment* 38: 2779-2787.
- Scheidegger Y, Saurer M, Bahn M, Siegwolf RTW (2000). Linking stable oxygen and carbon isotopes with stomatal conductance and photosynthetic capacity: a conceptual model. *Oecologia* 125: 350-357.
- Siegwolf RTW, Matyssek R, Saurer M, Maurer S, Günthard-Goerg MS, Schmutz P, Burcher B (2001). Stable isotope analysis reveals differential effects of soil nitrogen and nitrogen dioxide on the water use efficiency in hybrid poplar leaves. *New Phytologist* 149: 233-246.
- Stewart GR, Aidar MPM, Joly CA, Schmidt S (2002). Impact of point source pollution on nitrogen isotope signatures (δ<sup>15</sup>N) of vegetation in SE Brazil. *Oecologia* 131: 468-472.
- Welburn AR (1998). Trasley Review No 24. Why are atmospheric oxides of nitrogen usually phototoxic and not alternative fertilizers? *New Phytology* 115: 395-429.