

Inquinamento, scambi gassosi aria-pianta, ed equilibri fragili



Un impegno scientifico ma anche politico

- Da tempo si sa che gli inquinanti dell'aria non danneggiano soltanto la salute umana, ma anche la vegetazione
- Il primo allarme risale agli anni ottanta, con il “Waldsterben”, conseguenza delle piogge acide ...
- Dopo qualche anno le foreste tedesche si sono riprese. Gli accertamenti hanno fatto capire che le piogge, anche se acide, non furono la causa della malattia degli alberi.
- Purtroppo le origini di quella malattia (temporanea) non sono mai state chiarite completamente...

Un impegno scientifico ma anche politico

- Oggigiorno si sa però che esistono altre aggressioni da inquinamento contro la vegetazione.
- Tutti tipi di vegetazione possono subire danni : foreste, colture, pascoli ...
- Il 90% dei danni è dovuto ad un solo inquinante, l'ozono.
- Gli studi sono di due tipi: quelli fisico-chimici, per valutare le dosi di inquinanti ricevute, e quelli biologici, per capire i meccanismi che portano al danneggiamento.

Esempio di danno visibile da ozono su foglie

Molte colture (frumento, pomodori, cipolla, ...) dimostrano perdite di resa

I danni possono anche diventare visibili



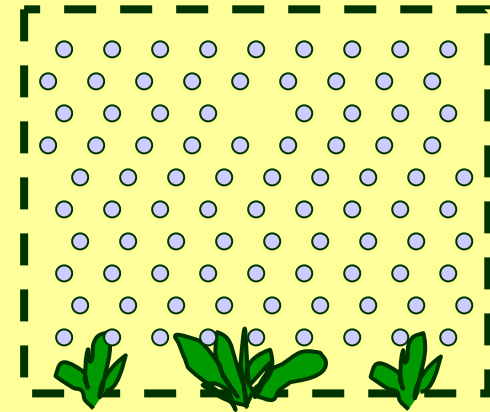
Ma è possibile quantificare il rischio ?

- Per valutare il rischio di danno bisogna prima sapere quanto inquinante è venuto a contatto con i tessuti
- Quel “quanto” si chiama *flusso accumulato* e viene espresso in numero di molecole per metro quadro di superficie coperta da vegetazione, dopo integrazione sul tempo (p.es. una stagione)
- Ma è possibile misurarla, questa grandezza ? Purtroppo non sempre e bisogna ricorrere a metodi indiretti

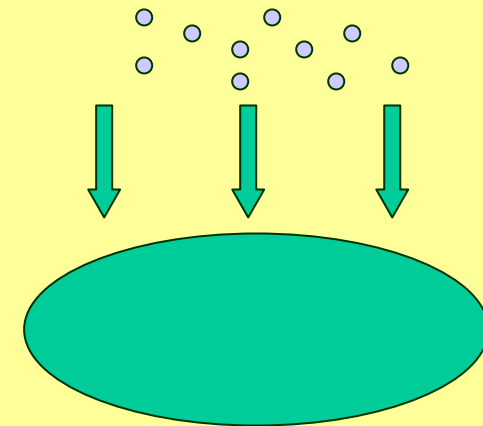
- Per molti anni però si è valutato il rischio non in funzione dei flussi ma delle concentrazioni, più facili da misurare.
- Il metodo scelto si ispira ad un concetto di tossicologia umana classica: la soglia, al di là della quale l'effetto si avverte. Ma si può applicarlo ai vegetali ?

Ma qual'è la differenza fra concentrazione e flusso ?

Concentrazione



Flusso



The AOT40 concept

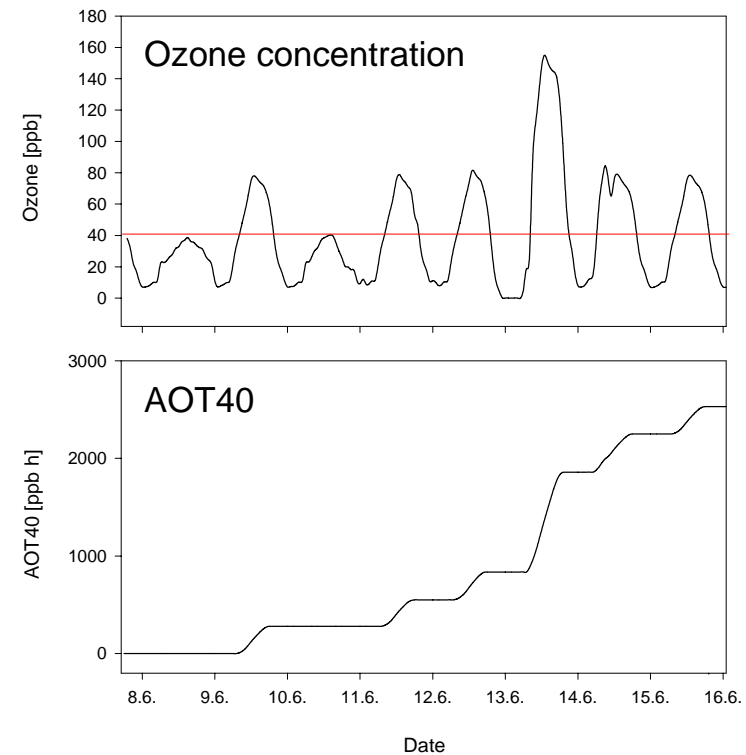
is used in most risk assessment studies to quantify the exposure of plants to ozone.

[UN/ECE Gothenburg Convention]

$$AOT40_{ah} = \sum_{\substack{\forall [O_3]_i > 40 \text{ ppb} \\ \forall Glob.Rad \geq 50 W / m^2}} ([O_3]_i - 40) \Delta t$$

The crop yield loss (if any) is **related** to AOT40

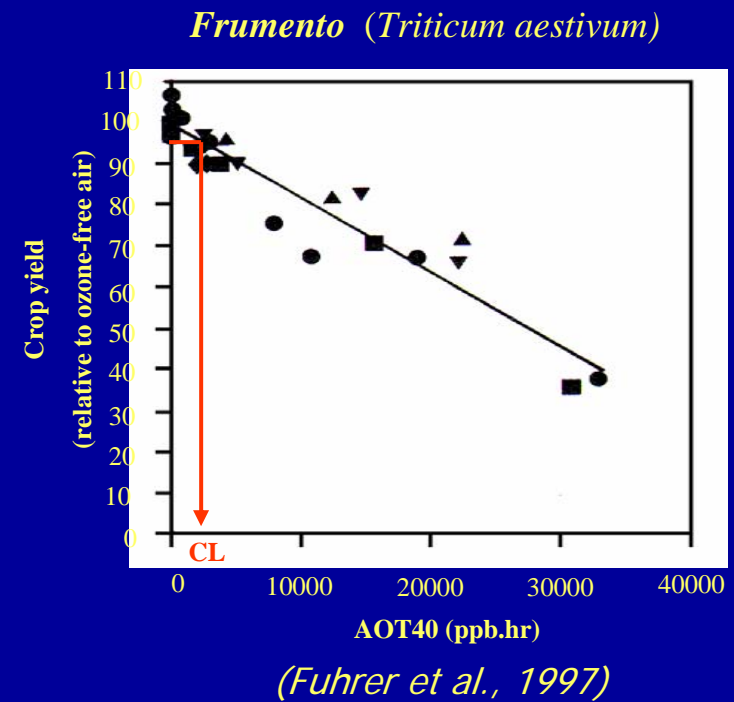
[UN/ECE Gothenburg Convention]



Si misura la perdita di resa utilizzando camere a cielo aperto Open Top Chambers, OTC)

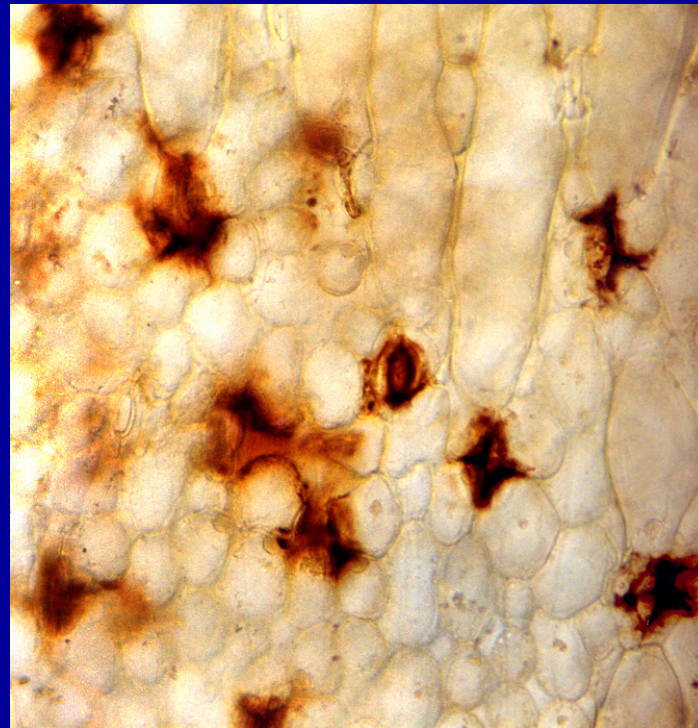


... e si ottiene questo tipo di risultato :



- Questi esperimenti sono stati ripetuti su una cinquantina di specie e sono durati anni.
- Basandosi su questi risultati, si sono definiti dei livelli critici da non superare. Per le colture, è stato deciso un valore di 3.000 ppb.ora
- Problema grosso però : nel sud dell'Europa, abbiamo dei valori di più di 15.000 ppb.ora, Tutta la vegetazione dovrebbe dunque essere morta !
- Visto che la vegetazione c'è ancora, vale a dire che nel metodo c'è qualcosa che non va ...

Questa bella foto di una foglia di cipolla danneggiata da ozono è la prova che l'inquinante passa dagli stomi per penetrare nei tessuti



Dunque dobbiamo valutare il flusso stomatico di ozono

- The **dose** of pollutant to a vegetated ecosystem (crop, forest, grasslands,...) is the **quantity of pollutant which penetrates the plant tissues per unit area in a given period.**
- The dose, or time-integrated stomatal flux, can thus be expressed as

$$D_{ah} = \int_{t_a}^{t_h} F_{ST}(t) dt$$

The letters *a* and *h* refer to the integration period, beginning at *anthesis* and finishing at *harvest*.

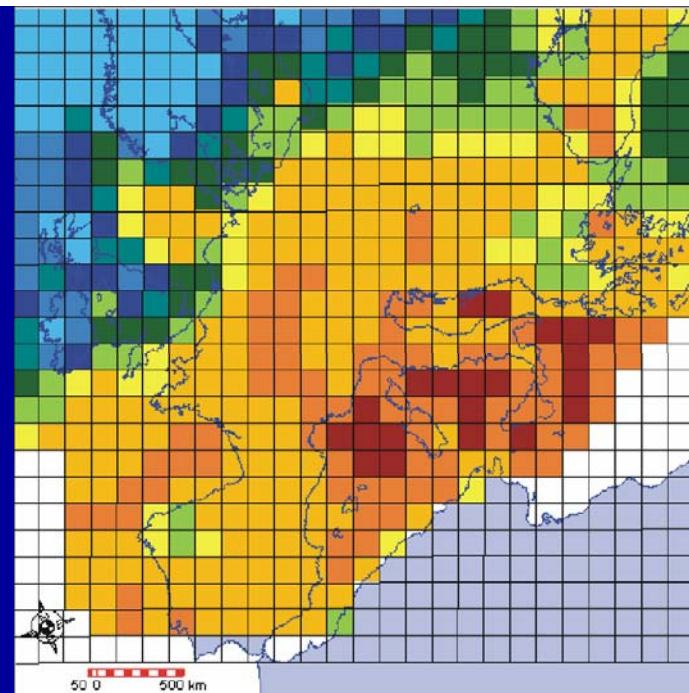
The letters *ST* refer to the *STOMATAL* flux because the pollutants penetrate into the leaves through the *STOMATA*.



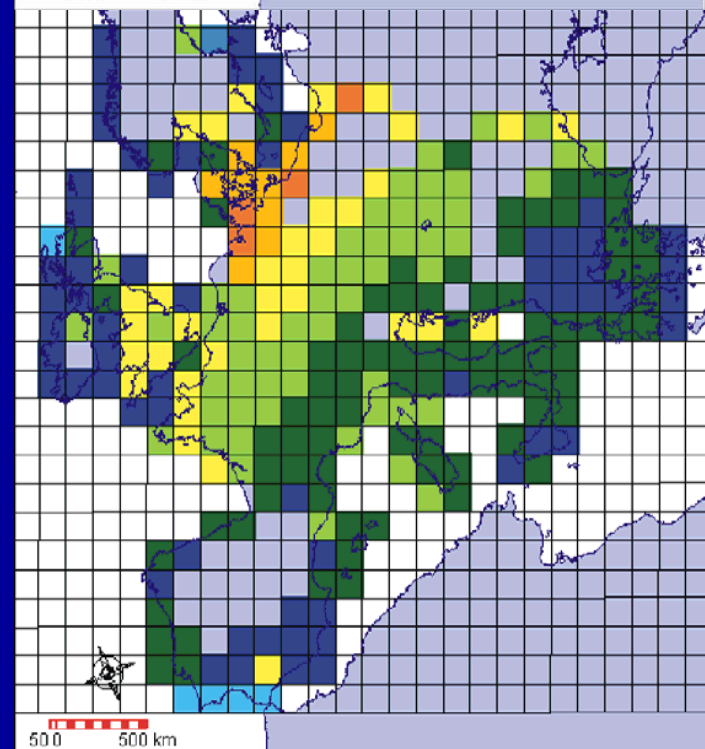
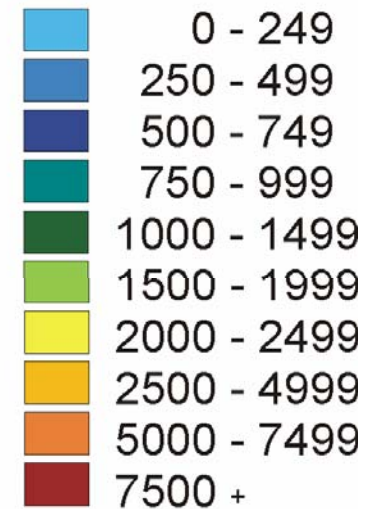
Queste due cartine d'Europa non si assomigliano molto ...

Eppure rappresentano i due modi utilizzati per valutare il rischio ozono alla vegetazione.

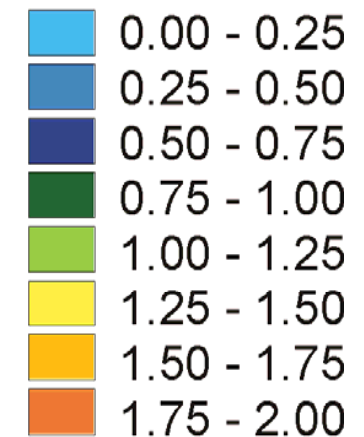
Come rimediare a questa situazione ?



ppb-h



nmol O₃ m⁻²s⁻¹



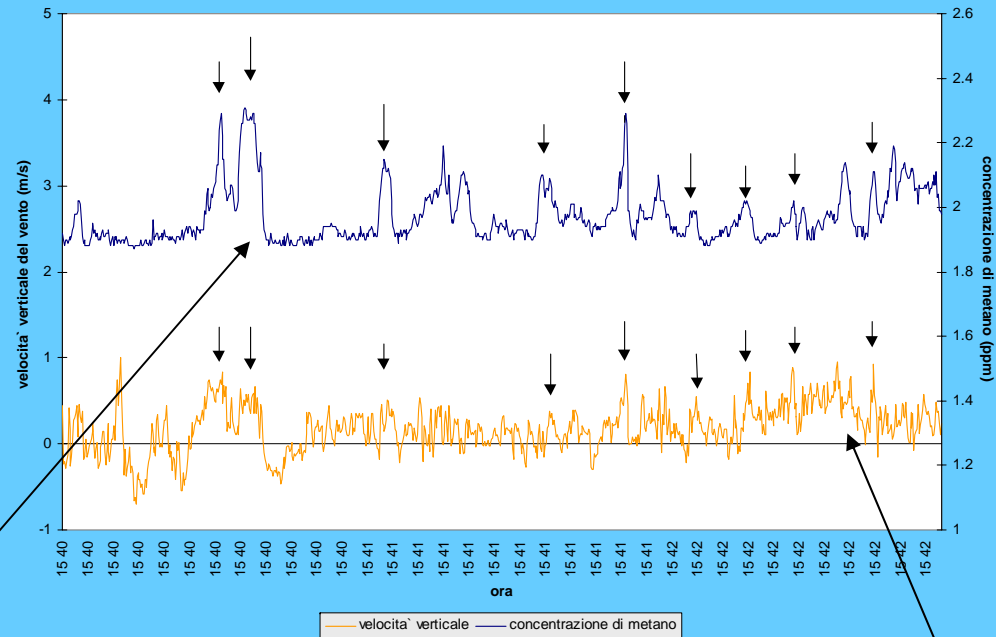
- Come già detto, il flusso stomatico non si può misurare direttamente
- Si può invece misurare il flusso totale di ozono, come di certe altre sostanze con un metodo micrometeorologico

Una stazione micrometeo

- termoneometro ultrasonico tridimensionale, oppure anemometro sonico
- Misuratore rapido di vapore acqueo
- Misuratore rapido di ozono
- Altri sensori lenti per la radiazione, la pioggia, ecc.



The eddy correlation method



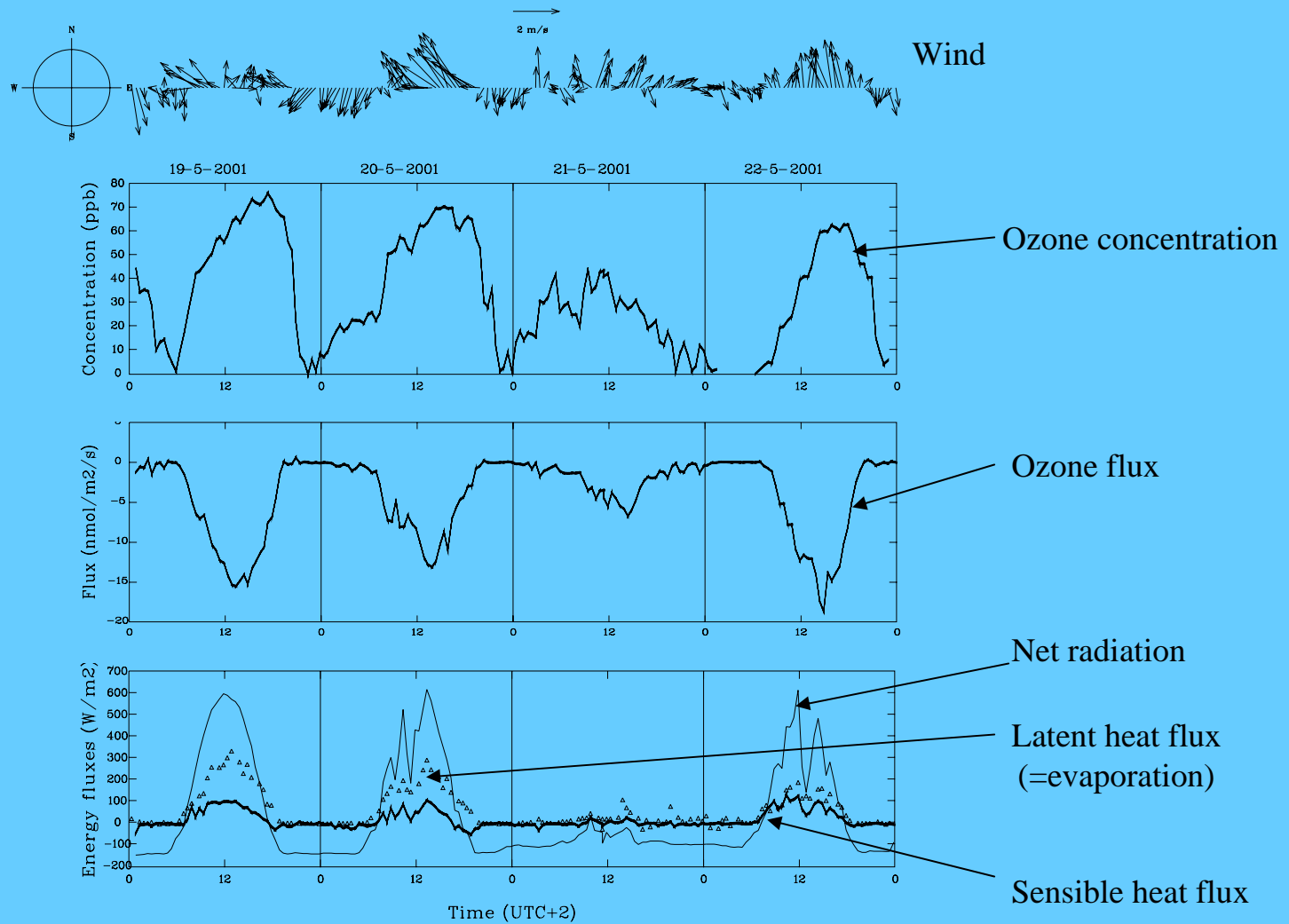
$$C = \bar{C} + C'$$

$$w = \bar{w} + w'$$

Vertical flux :

$$F = \overline{w'C'}$$

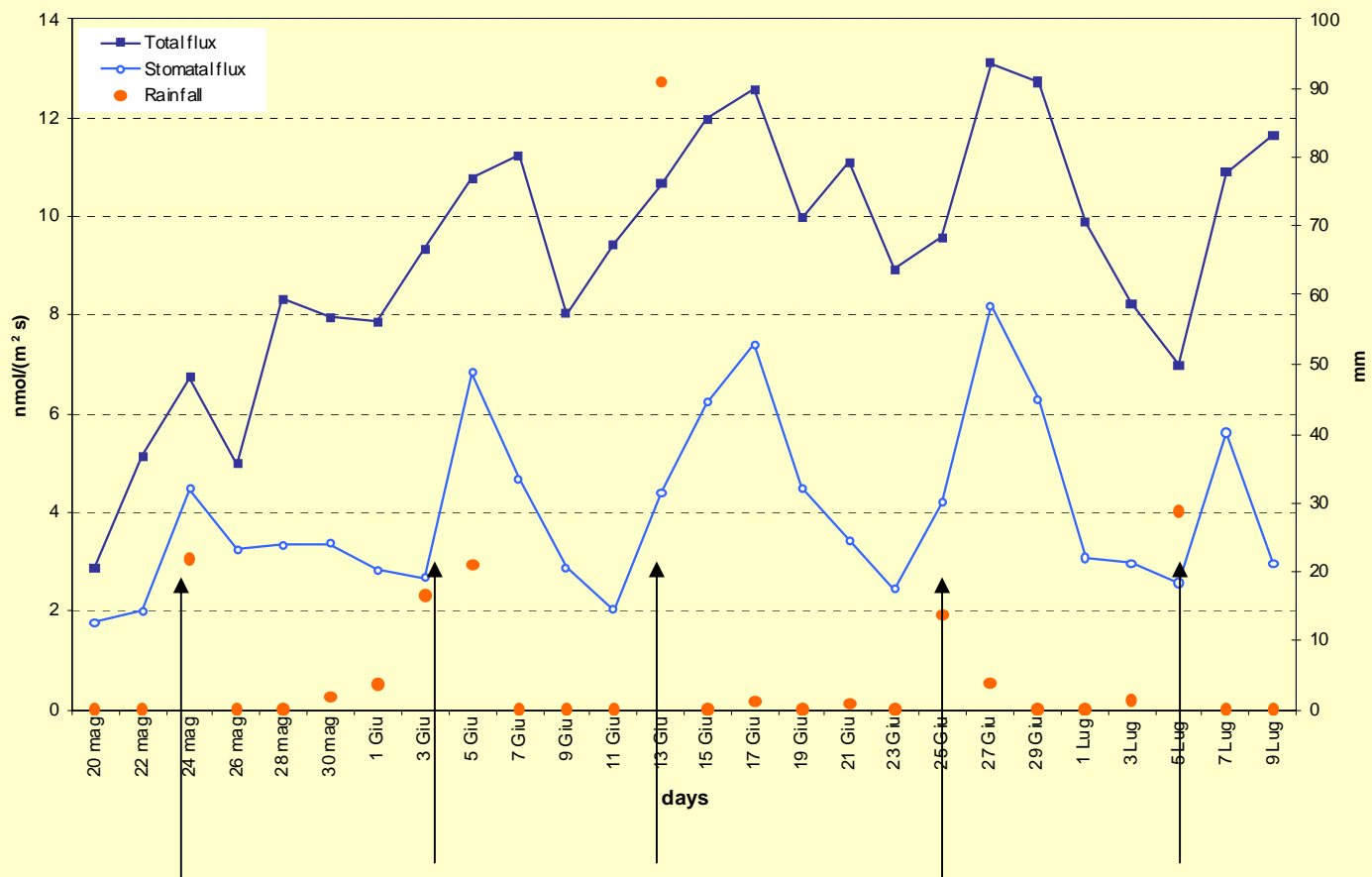
Example: four days of recordings of ozone concentrations and fluxes at Comun Nuovo (near Bergamo) in May 2001



- Però c'è qualcosa che ci aiuta ...
- È l'evaporazione, che passa anche lei dagli stomi
- L'idea è che se i vari flussi usano la stessa porta, devono essere funzione dell'apertura di essa.
- Questa idea viene confortata dal carattere laminare di tutti i flussi dentro la cavità stomatica
- Inoltre si osserva un aumento del flusso di ozono quando le piante ricevono più acqua



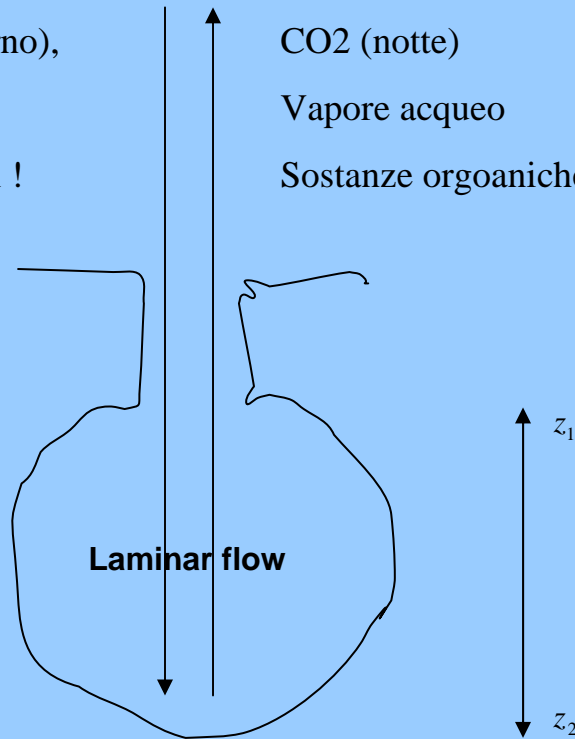
Voghera, campagna sulle cipolle, estate 2003



Irrigation days

Gli stomi : porte usate dalla foglia per fare entrare o uscire gas dai tessuti

Ossigeno (notte)	Ossigeno (giorno)
CO2 (giorno),	CO2 (notte)
ma anche	Vapore acqueo
Inquinanti !	Sostanze organiche emesse dalla foglia



Definition of the resistancer :

$$r \equiv \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{D}$$

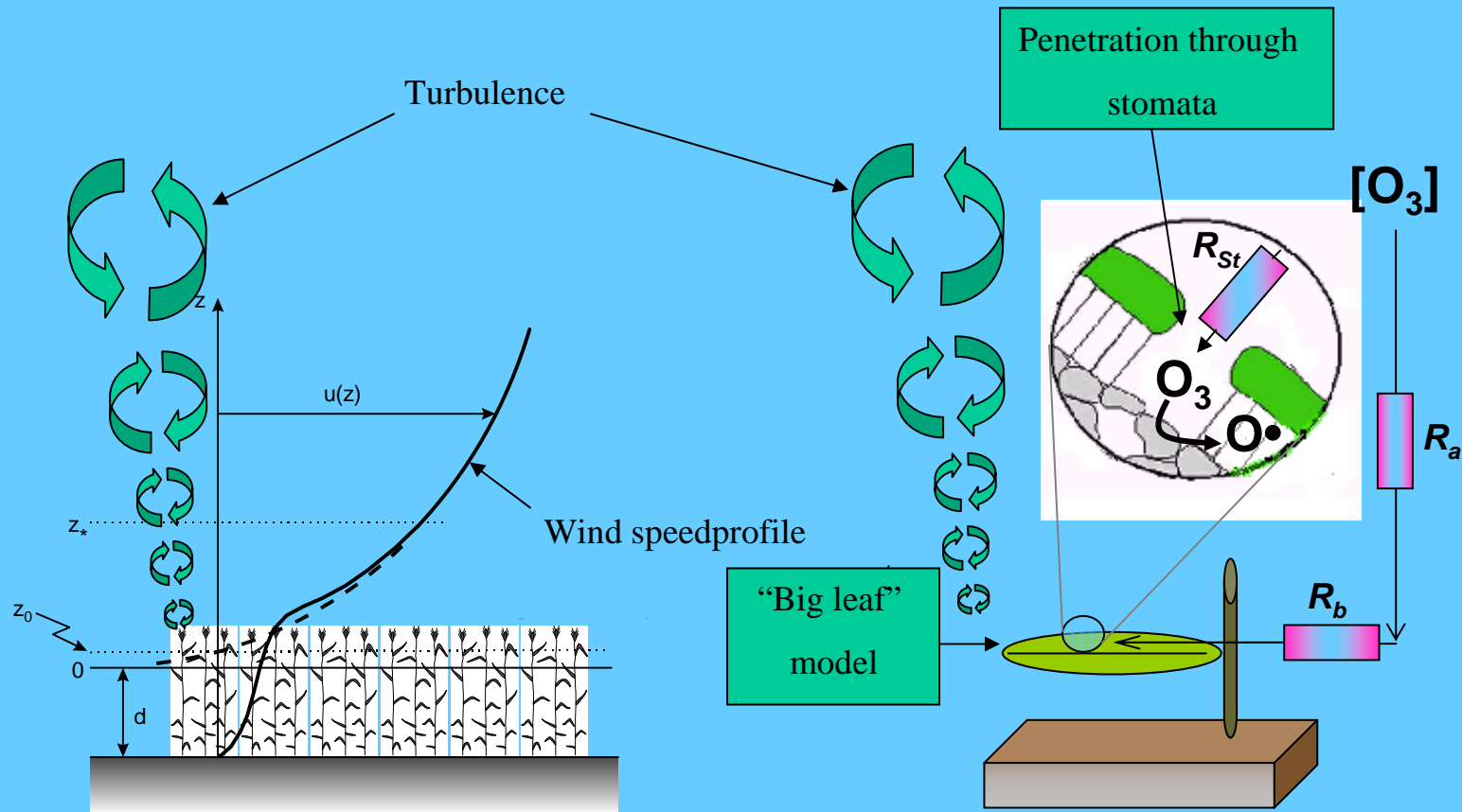
By integrating over the stomatal diameter, one gets

Molecular diffusion coefficient

$$\left. \begin{aligned} r_{O_3} &= \frac{z_2 - z_1}{D_{O_3}} \\ r_{H_2O} &= \frac{z_2 - z_1}{D_{H_2O}} \end{aligned} \right\} \longrightarrow \frac{r_{O_2}}{r_{H_2O}} = \frac{D_{H_2O}}{D_{O_3}} = 1.65$$

- L'uso della similarità fra flussi stomatici di vapore acqueo e di inquinante permette di quantificare quest'ultimo

Exchange of energy and chemical substances between the atmosphere and a vegetated surface

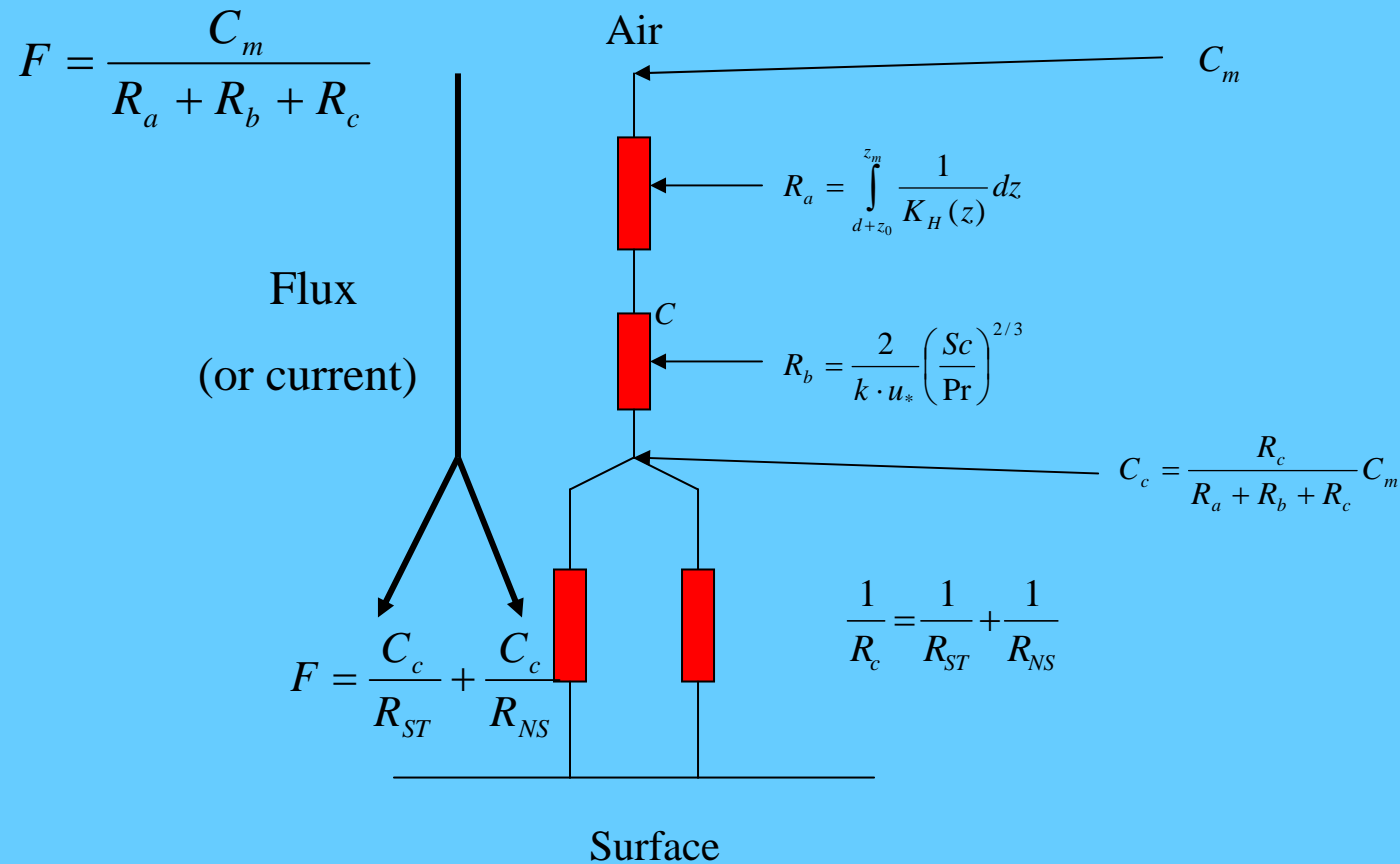


The resistance analogy

The resistance approach

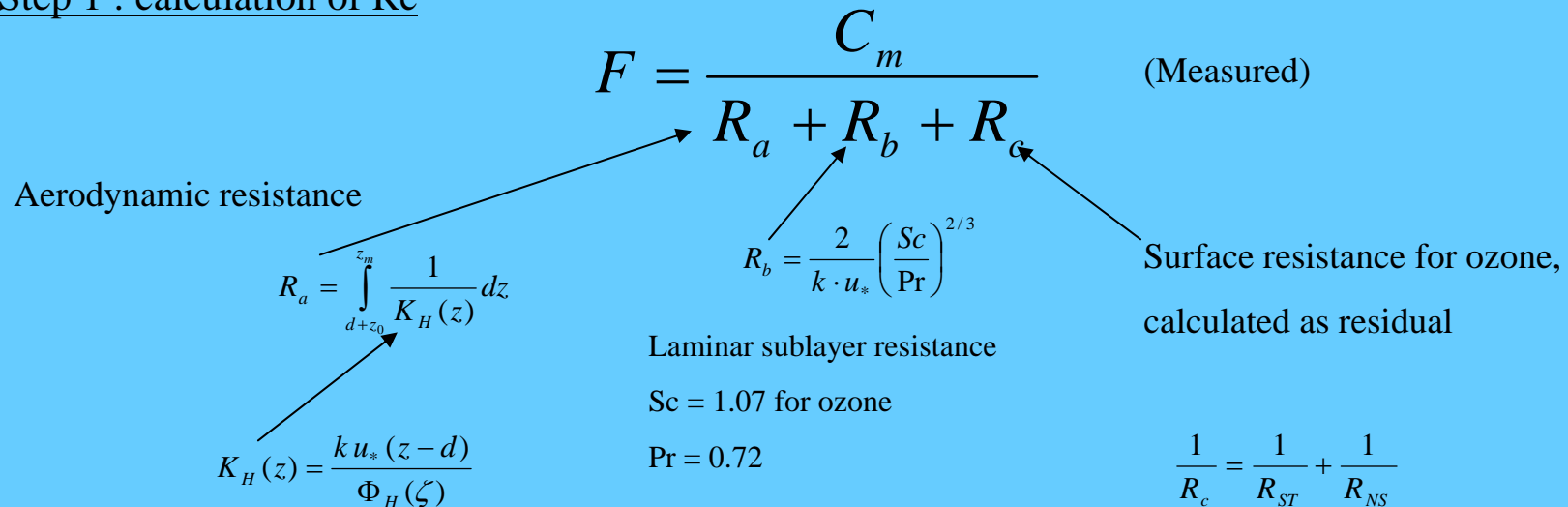
- The resistance approach, or analogy sees the transfer of the pollutant from air to surface as an electric circuit.
- Fluxes are analog to currents; concentrations to voltages; they are related by resistances as in the Ohm law:

$$F = \overline{w'C'}$$

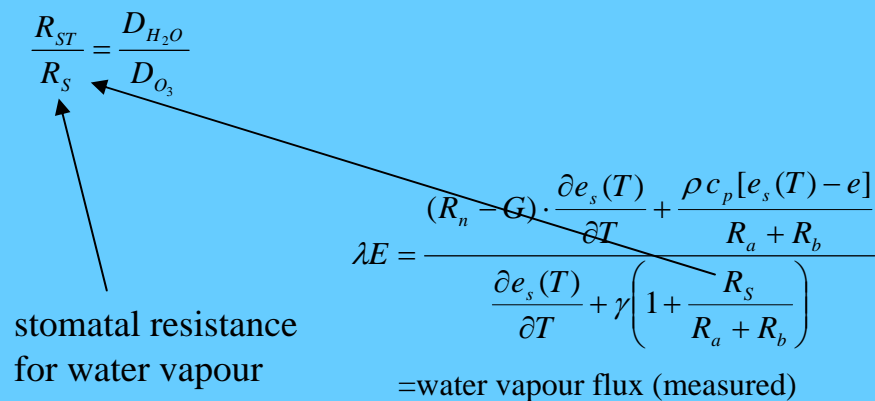


The resistance approach

Step 1 : calculation of Rc



Step 2 : calculation of Rst { stomatal resistance for ozone}



Step 3 : calculation of Fst

$F_{ST} = \frac{C_c}{R_{ST}} = \frac{R_c}{(R_a + R_b + R_c) R_{ST}} C_m$

$F = F_{NS} + F_{ST}$

Measurement sites

Le Dezert
Pin e forest

Klippeneck
Grass

Ispra
Grass

Comun Nuovo
Wheat; soybean



Cuatro Vientos
Low vegetation

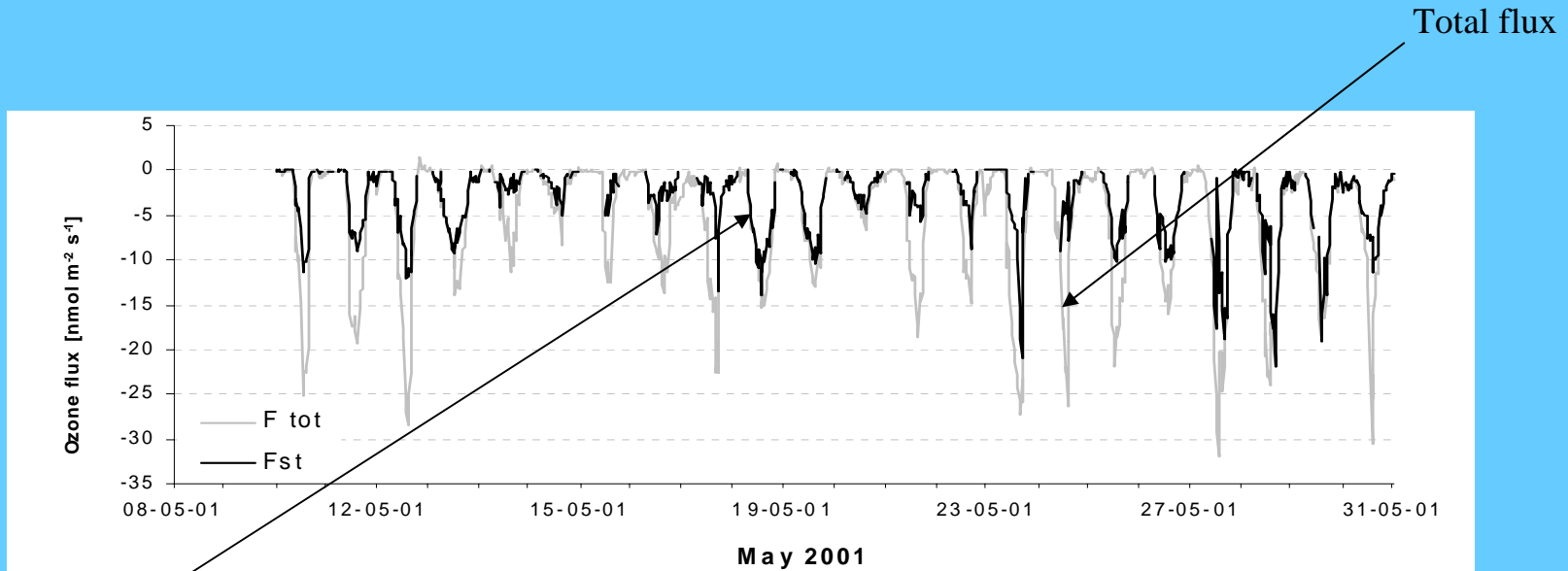
Burriana
Orange trees

Viols-en-Laval
"Garrigue"

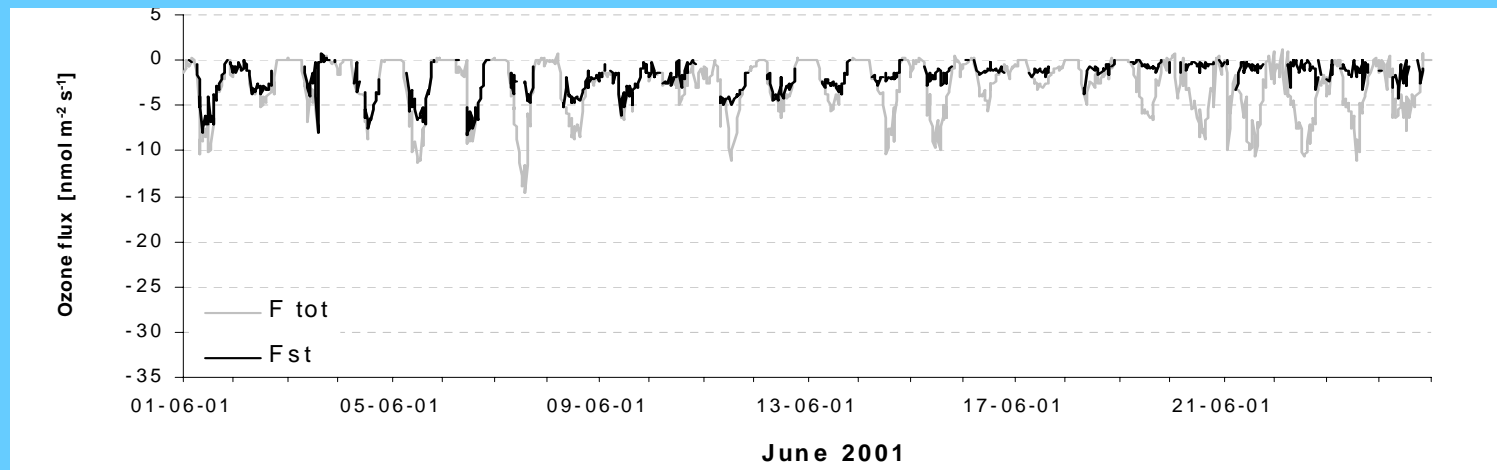
Castelporziano
Mediterranean pseudosteppe

S. Pietro Capofiume
Beet field

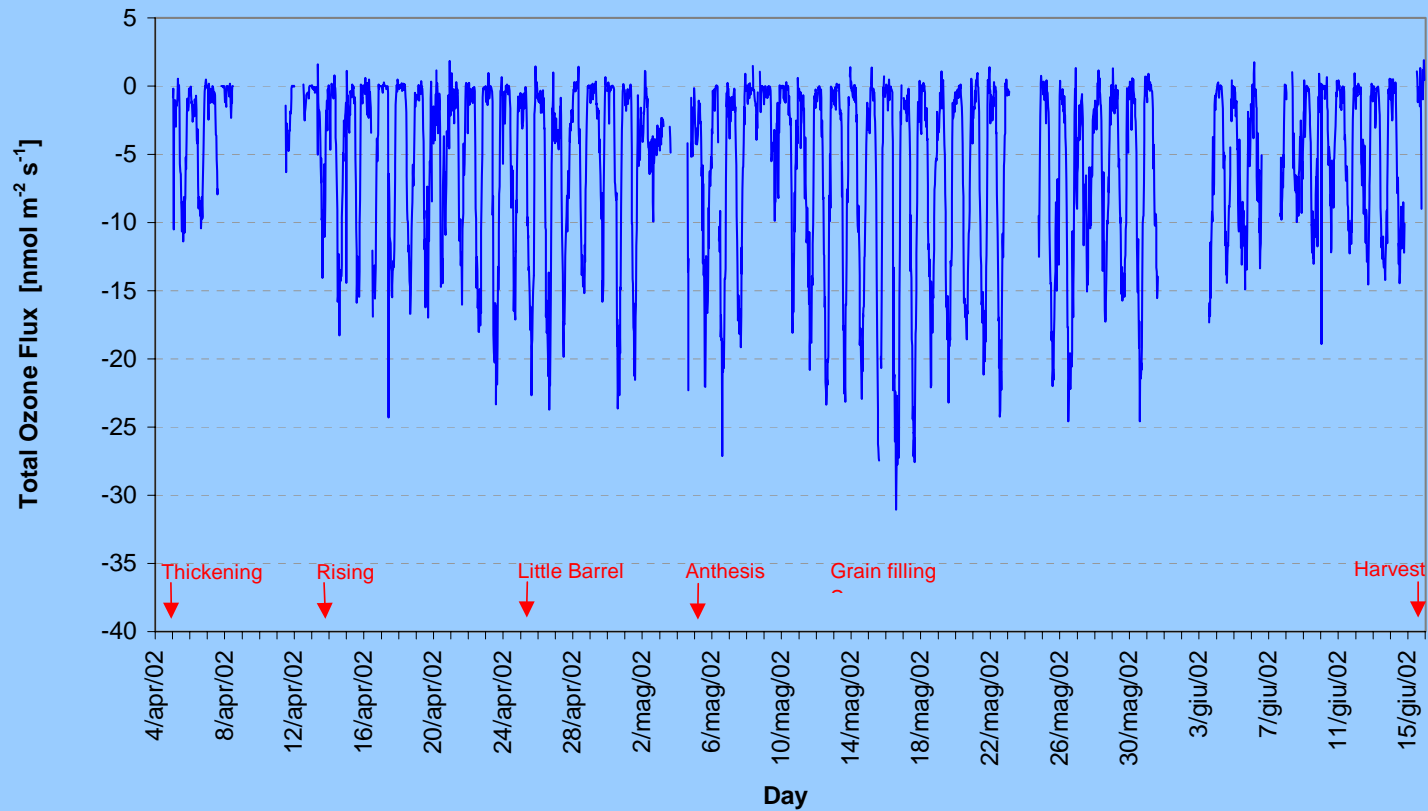
Ozone fluxes over wheat (*Triticum aestivum*) at Comun Nuovo (near Bergamo) in 2001



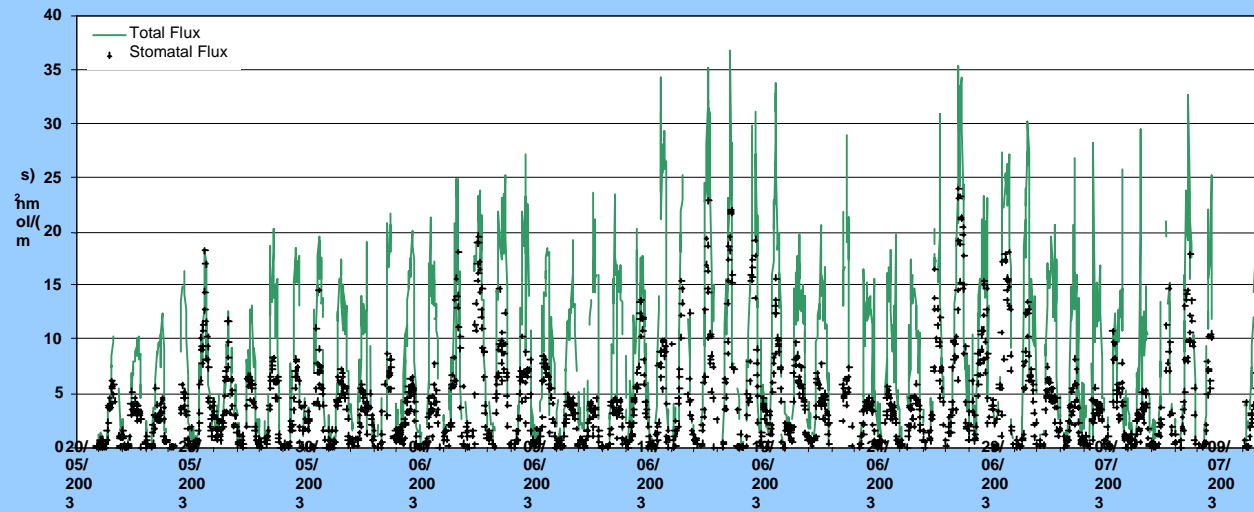
Stomatal flux



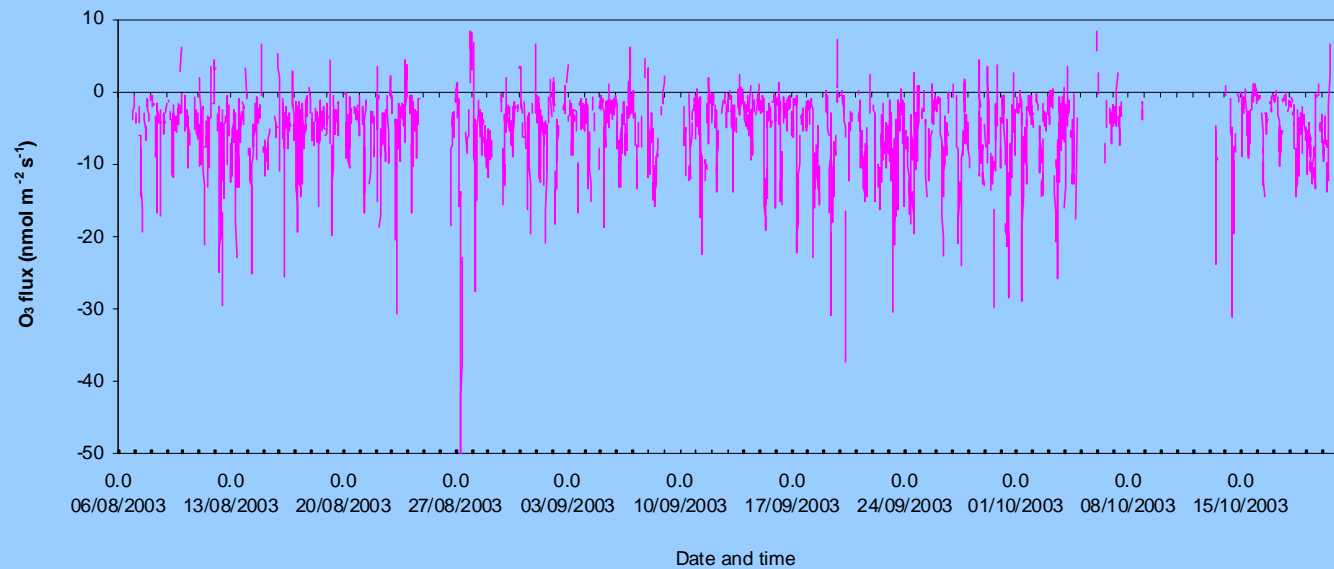
Ozone fluxes over barley (*Hordeum vulgare*) at Comun Nuovo in 2002



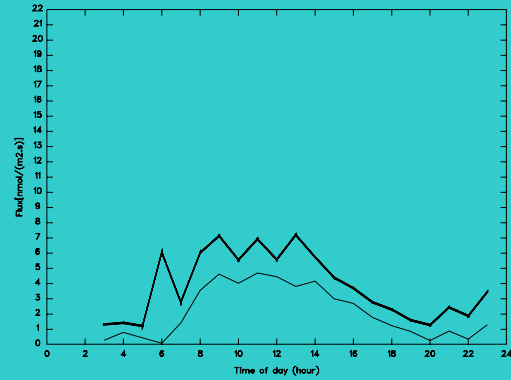
Ozone stomatal and stomatal fluxes as recorded from May to July 2003 over an onion (*Allium cepa*) field near Voghera (N. Italy)



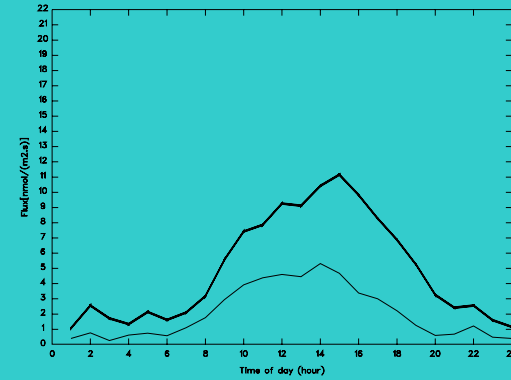
Ozone fluxes over a Holm oak (*Quercus ilex*) forest in August-September 2003



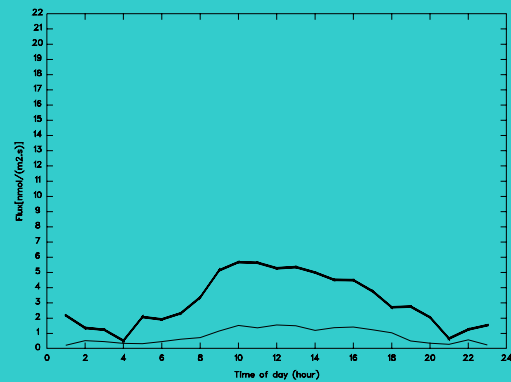
Total and stomatal ozone fluxes for three sites



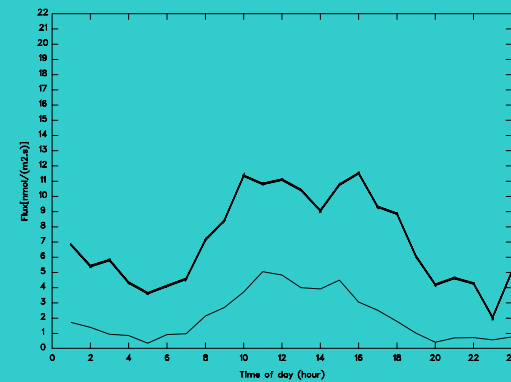
Klippeneck, September 1992



S. Pietro Capofiume, June 1993

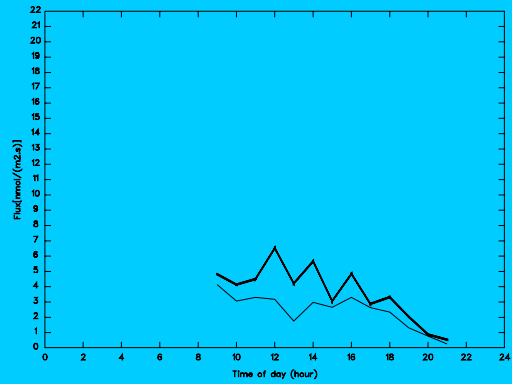


Castelporziano, June 1993

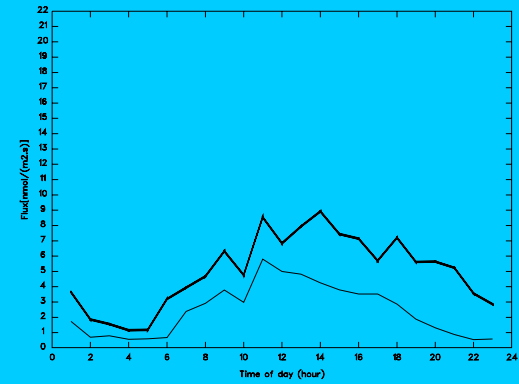


Castelporziano, May 1994

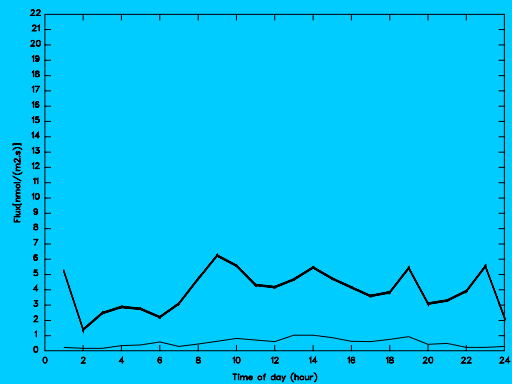
Total and stomatal ozone fluxes at four sites



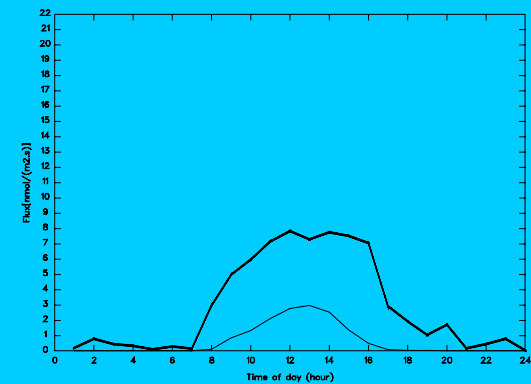
Le Dezert, April 1997



Cuatro Vientos, May 1997

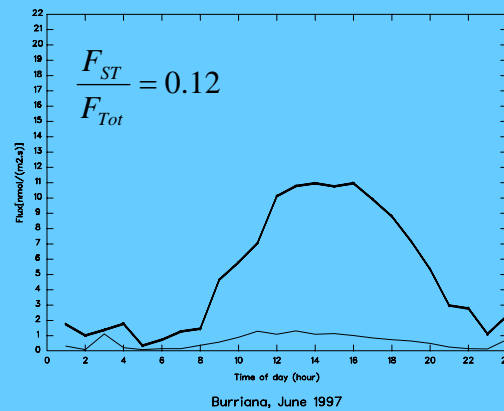
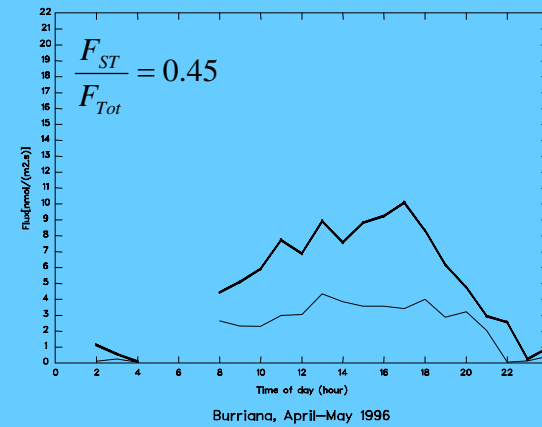
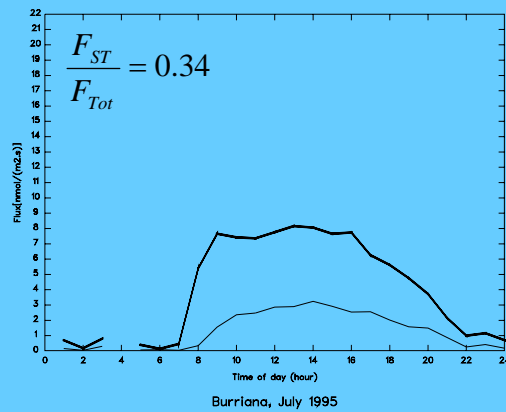


Viols-en-Laval, July 1998



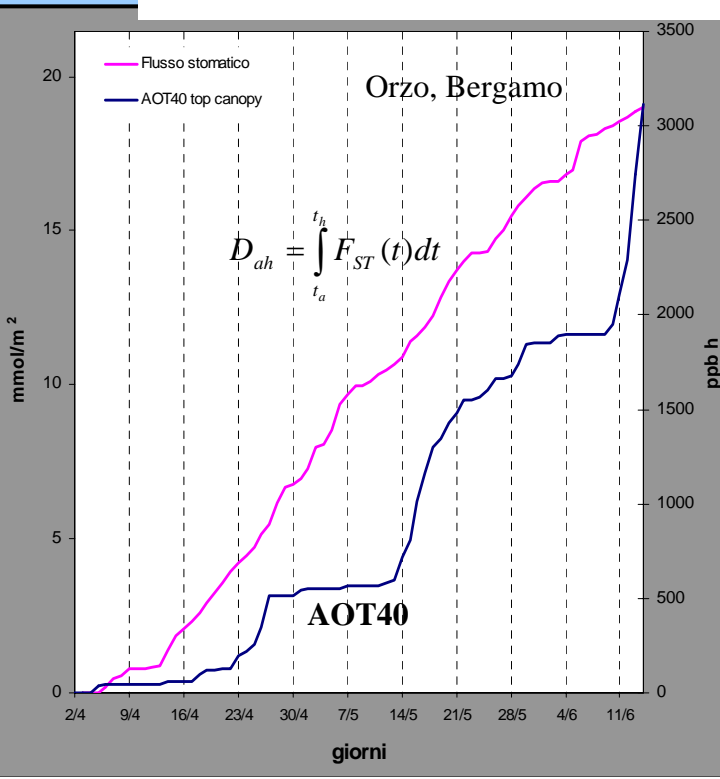
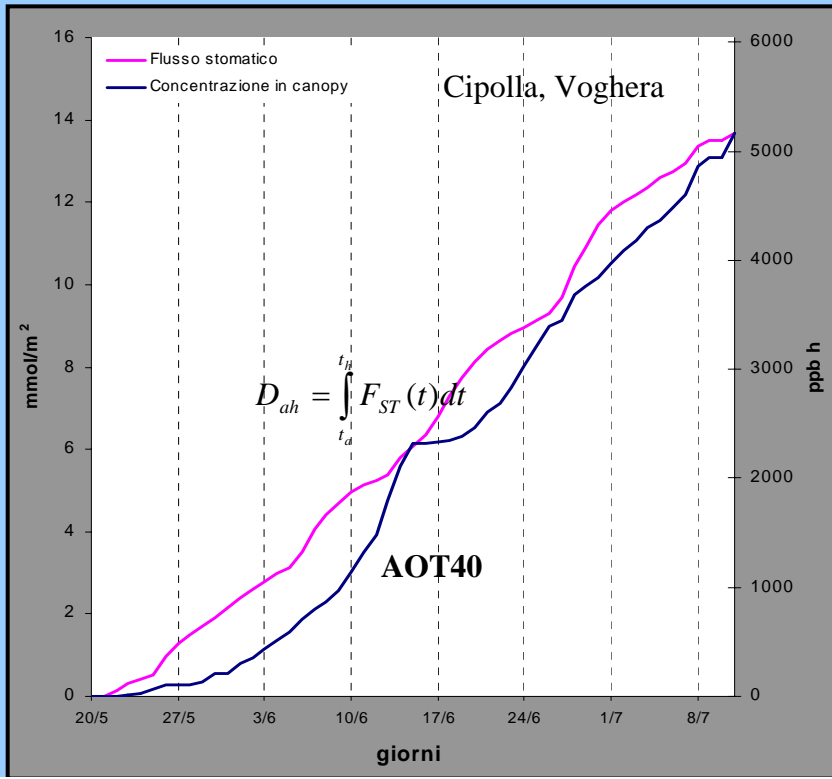
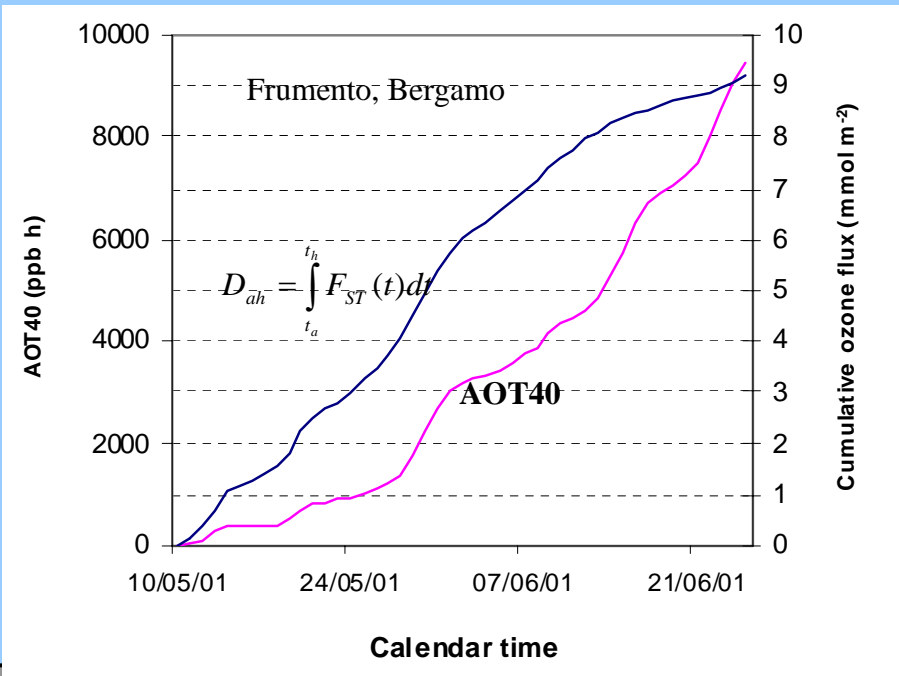
Ispra, September 1997

Total and stomatal ozone fluxes at Burriana (Spain) orange trees groves



- Disponiamo adesso di un “algoritmo” per valutare, se non il danno, almeno la quantità di inquinante venuta in contatto con i tessuti fogliari.
- Visto che esistono molti dati ottenuti con il vecchio sistema AOT40, ci possiamo chiedere come si confrontano i due approcci.
- Per confrontarli utilizziamo l’approccio delle curve cumulative.

Il distaccamento delle curve prova che i due approcci non sono equivalenti



EQUILIBRI FRAGILI

- Non basta però la valutazione del rischio danno in funzione del flusso.
- Cosa succede dentro le cellule ? Esistono processi di detossificazione (difese naturali della pianta) di cui il modello delle resistenze non tiene conto.
- Queste difese entrano in azione quando la piante si trova sotto stress.
- Se il flusso diventa eccessivo, la detossificazione si ferma.

CONCLUSIONI

- Quello che manca adesso è una valutazione del danno in funzione del flusso.
- Un bel pò di lavoro sarebbe da eseguire con le OTC per ottenere curve di calo di resa in funzione dei flussi
- Ma il calo di resa non basta : bisogna anche valutare il danno qualitativo, su cui si possiedono già dati interessanti.
- Lo studio della detossificazione è appena iniziato. Si basa sulla conoscenza dei processi biochimici ed è abbastanza complesso ...
- C'è dunque ancora molto da fare, ma la ricerca è sulla strada giusta.