



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Ozono e vegetazione: dalle evidenze delle sperimentazioni in ambiente controllato alle misure a livello di ecosistema

Giacomo Gerosa<sup>1</sup>, Riccardo Marzuoli<sup>1</sup>, Angelo Finco<sup>1</sup>, Robert Monga<sup>2</sup>, Antonio Ballarin Denti<sup>1</sup>, Filippo Bussotti<sup>3</sup>, Franco Faoro<sup>2</sup>

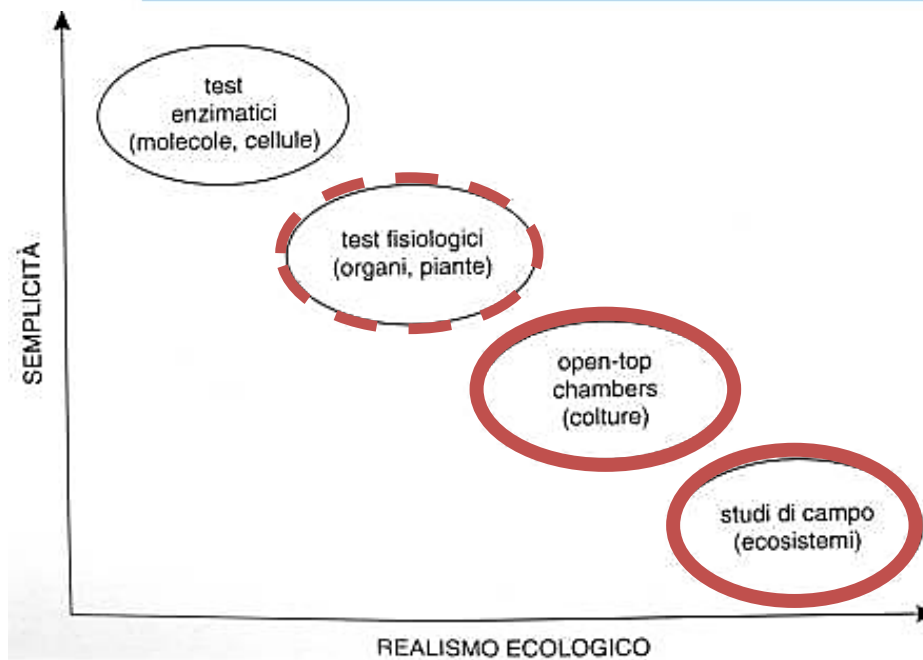
<sup>1</sup> *Università Cattolica di Brescia*

<sup>2</sup> *Università degli Studi di Milano*

<sup>3</sup> *Università degli Studi di Firenze*



# Principali temi di ricerca



Da Lorenzini e Nali, 2002

1. **Sperimentazioni in ambiente controllato** (Open-Top Chambers) per la valutazione dell'impatto dell'ozono a livello fogliare (fisiologico) e di singola pianta.
2. Misure con tecnica *Eddy Covariance* per la **caratterizzazione degli scambi gassosi ( $O_3$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ) a livello di ecosistema**, tra atmosfera e vegetazione. Stima dell'*uptake* stomatico a livello di ecosistema.



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Esperimenti in open-top chambers

## Misure a livello fogliare e di singola pianta



**ERSAF**  
Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste

  
Regione Lombardia

  
Fondazione  
Lombardia  
per l'Ambiente

### **CRINES facility – Realizzata nel 2002, implementata nel 2007.**

- 16 Open-Top Chambers (OTC) che operano per filtrazione e/o addizione di ozono
- Sistema automatico di irrigazione per esperimenti sullo stress idrico.
- Torre meteorologica, sensori agrometeorologici, lisimetri, dendrometri
- Software per controllo e acquisizione dati in tempo reale
- Laboratorio per la conservazione e l'analisi di campioni fogliari
- Strumenti per la misura di scambi gassosi a livello fogliare, porometri, fluorimetri.



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Specie vegetali studiate presso il sito sperimentale di Curno

## Specie agricole/orticole

Fagiolo

Pomodoro

Lattuga

Soia

Frumento tenero

Frumento duro

Erba medica

## Specie forestali

Faggio

Frassino

Pioppo

Quercia (farnia)

Carpino bianco

Leccio

Corbezzolo

Pino silvestre



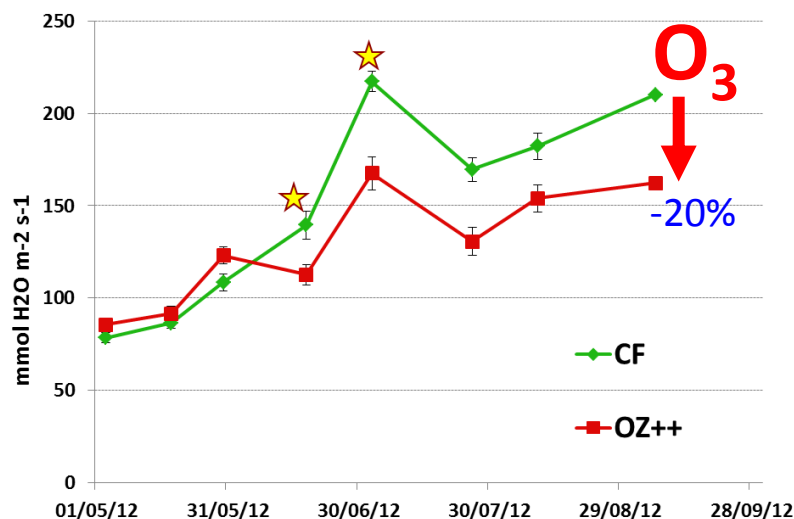


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

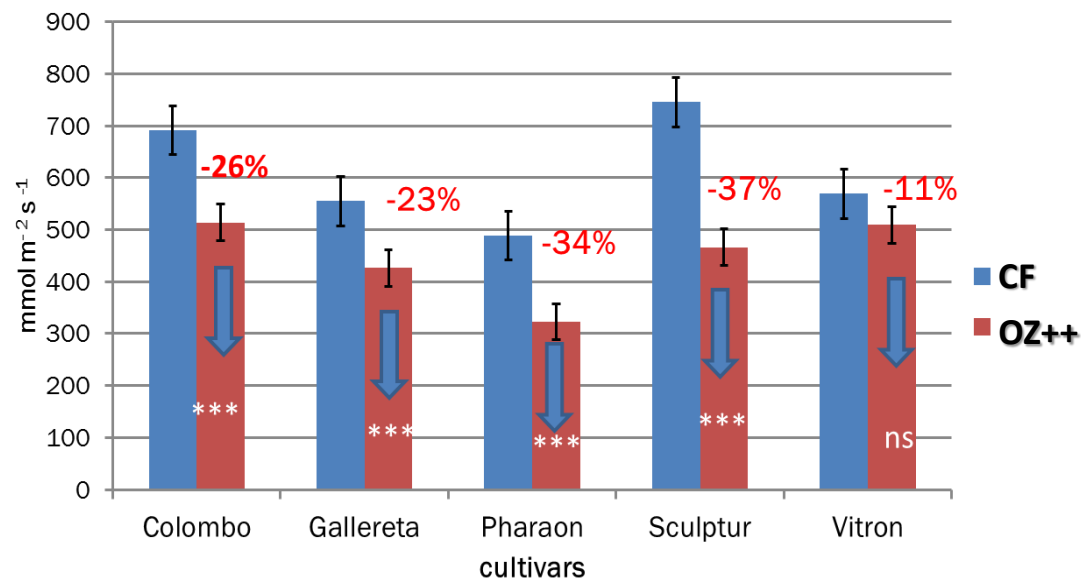
# EFFETTI OSSERVATI a livello fisiologico

## Stomatal conductance

*Quercus robur*



*Triticum durum*



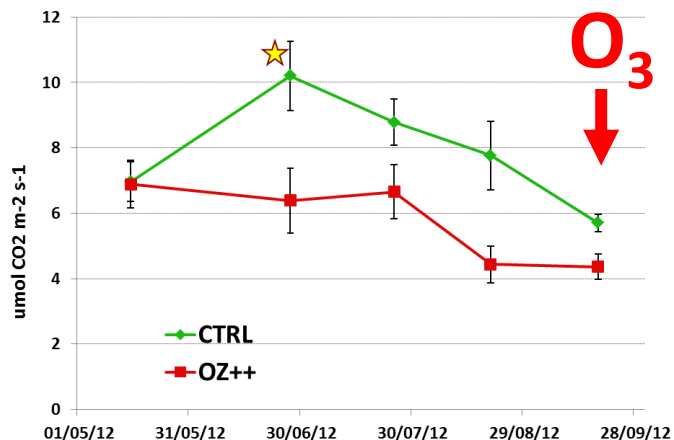


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

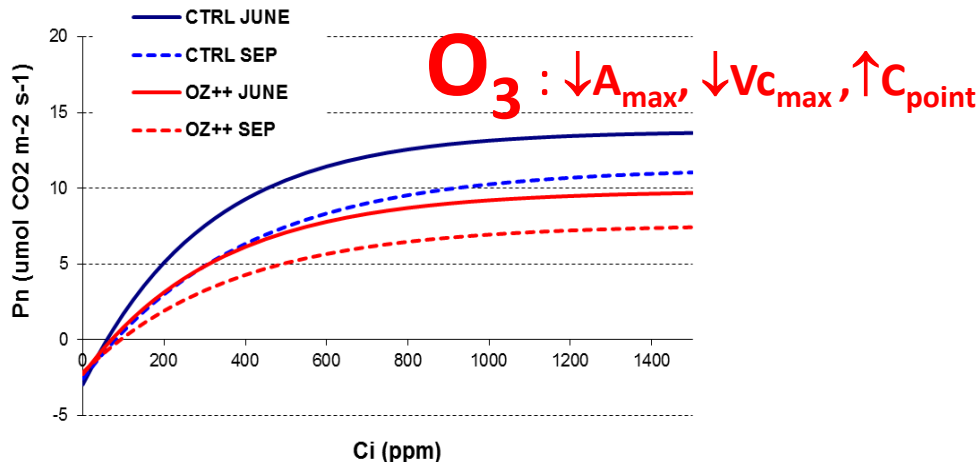
# EFFETTI OSSERVATI a livello fisiologico

*Quercus robur*

## Net Photosynthesis

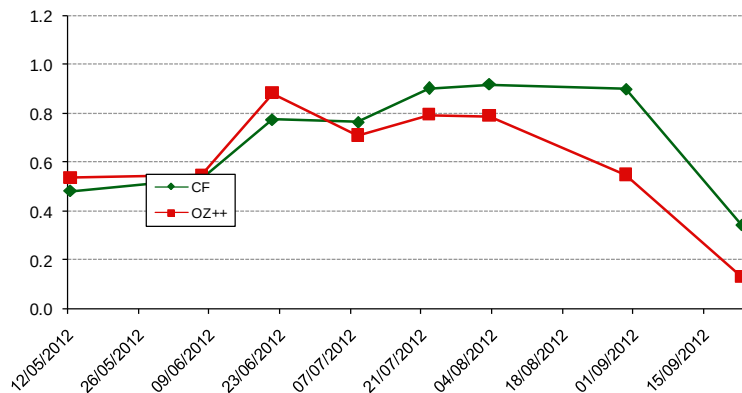


## Carbon assimilation efficiency



## Photosystems efficiency (PI)

Hornbeam 2012



|                  |      |
|------------------|------|
| Vcmax            | -30% |
| Amax             | -31% |
| Comp. Point      | +17% |
| Dark respiration | -20% |





# EFFETTI OSSERVATI a livello di pianta: resa agronomica



## Pomodoro

|                | Ozone Treat. | AOT40 ppb.h | AF <sub>ST</sub> O <sub>3</sub> mmolm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> | Total yield             |                | Marketable yield        |                              |                |
|----------------|--------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------|----------------|
|                |              |             |                                                                     | Fruits fresh weight (g) | Fruits number  | Fruits fresh weight (g) | Fruits mean fresh weight (g) | Fruits number  |
| <b>Oxheart</b> | <b>CF</b>    | 924         | 20.57                                                               | 10333.0                 | 90             | 8968.6                  | 119.6                        | 75             |
|                | <b>NF</b>    | 8162        | 36.63                                                               | 6621.6                  | 56             | 6199.6                  | 119.2                        | 52             |
| Difference     |              |             |                                                                     | <b>-35.90%*</b>         | <b>-37.77*</b> | <b>-30.87%**</b>        | -0.33%                       | <b>-30.66%</b> |

Gerosa et al., 2008. Ozone effects on fruit productivity and photosynthetic response of two tomato cultivars in relation to stomatal fluxes. *Italian Journal of Agronomy*.

## Effetto sulla fioritura

Table 4

Crop yield parameters of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in charcoal-filtered and non-filtered open-top chambers (OTC-F and OTC-NF, respectively)

| Ozone exposure | No. of pods/plant              | No. of seeds/plant | No. of seeds/pod | Average pod weight/plant (g) | Average seed weight/plant (g)  | Average seed weight/pod (g)    |
|----------------|--------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| OTC-F          | 6.22 ± 2.03                    | 27.07 ± 9.85       | 4.38 ± 1.22      | 3.77 ± 1.53                  | 12.39 ± 5.13                   | 1.82 ± 0.66                    |
| OTC-NF         | <u>4.46 ± 1.90</u> <b>-30%</b> | 18.06 ± 8.07       | 4.05 ± 1.09      | 2.31 ± 1.27                  | <u>7.36 ± 3.99</u> <b>-40%</b> | <u>1.63 ± 0.60</u> <b>-10%</b> |
| OTC(T)         | ns                             | ns                 | ns               | ns                           | ns                             | ns                             |
| T              | ns                             | ***                | ***              | ***                          | ***                            | ***                            |

## Fagiolo

## Effetto complessivo

## Effetto su riempimento semi

AOT40: CF-OTC = 600, NF-OTC = **5'000** ppb\*h  
AFst0: CF-OTC = 9, NF-OTC = **21** mmol O<sub>3</sub>m<sup>-2</sup>

Gerosa et al. 2009. A flux-based assessment of the effects of ozone on foliar injury, photosynthesis, and yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Borlotto Nano Lingua di Fuoco) in open-top chambers. *Environmental Pollution*.





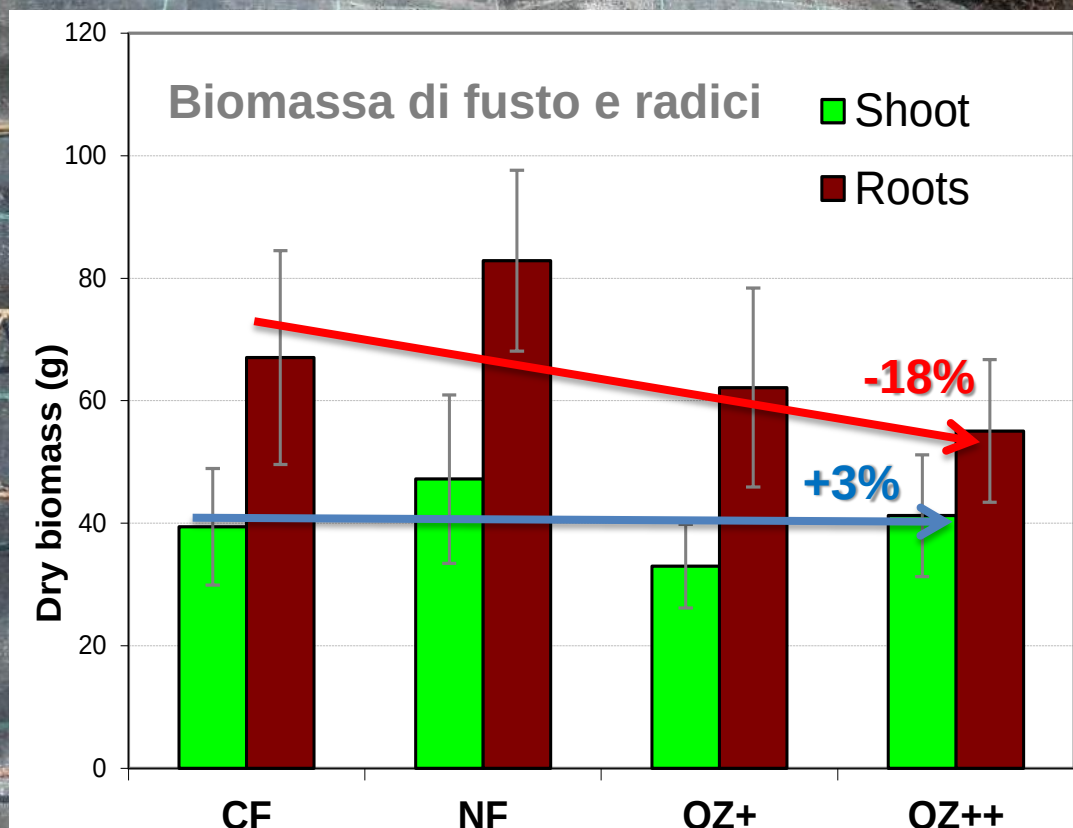


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# EFFETTI OSSERVATI

## Cali di biomassa epigea/ipogea

*Quercus robur* 2013



Dopo due anni consecutivi di trattamento con ozono

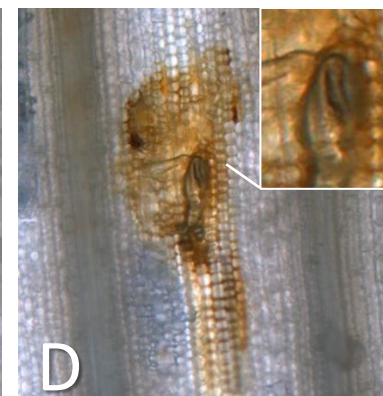
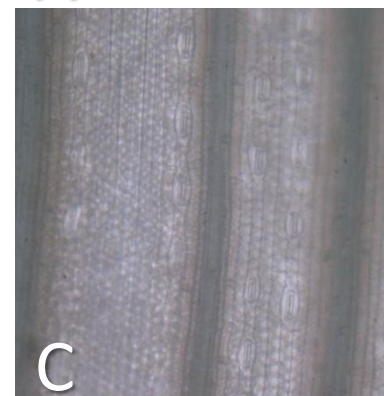
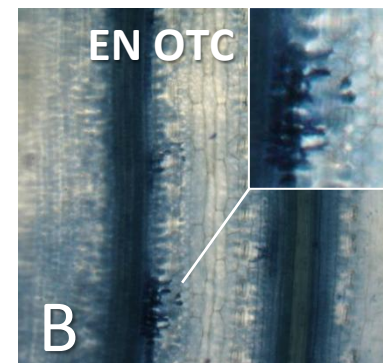
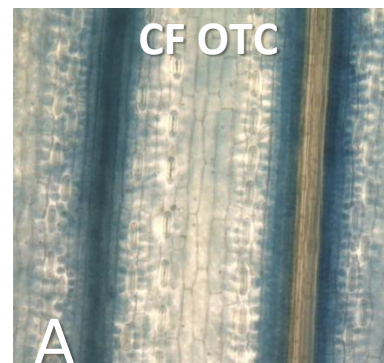




UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# EFFETTI OSSERVATI a livello microscopico e visibile

## Pomodoro



## Frumento duro cv. *Colombo*

A, B - Colorazione Blu di Evans  
per la rilevazione di cellule morte  
C, D - DAB per la rilevazione di  
depositi di  $H_2O_2$  (macchie marroni)



# Cosa abbiamo imparato

Il primo determinante della risposta è la genetica

**C'è variabilità nelle risposte della vegetazione all'ozono fra le diverse specie**

## Specie sensibili

Fagiolo

Soia

Erba medica

Pomodoro

Lattuga

Frumento tenero

Pioppo

Frassino

## Specie intermedie

Frumento duro

Pino silvestre

Faggio

Quercia (Farnia)

## Specie tolleranti

Leccio

Corbezzolo

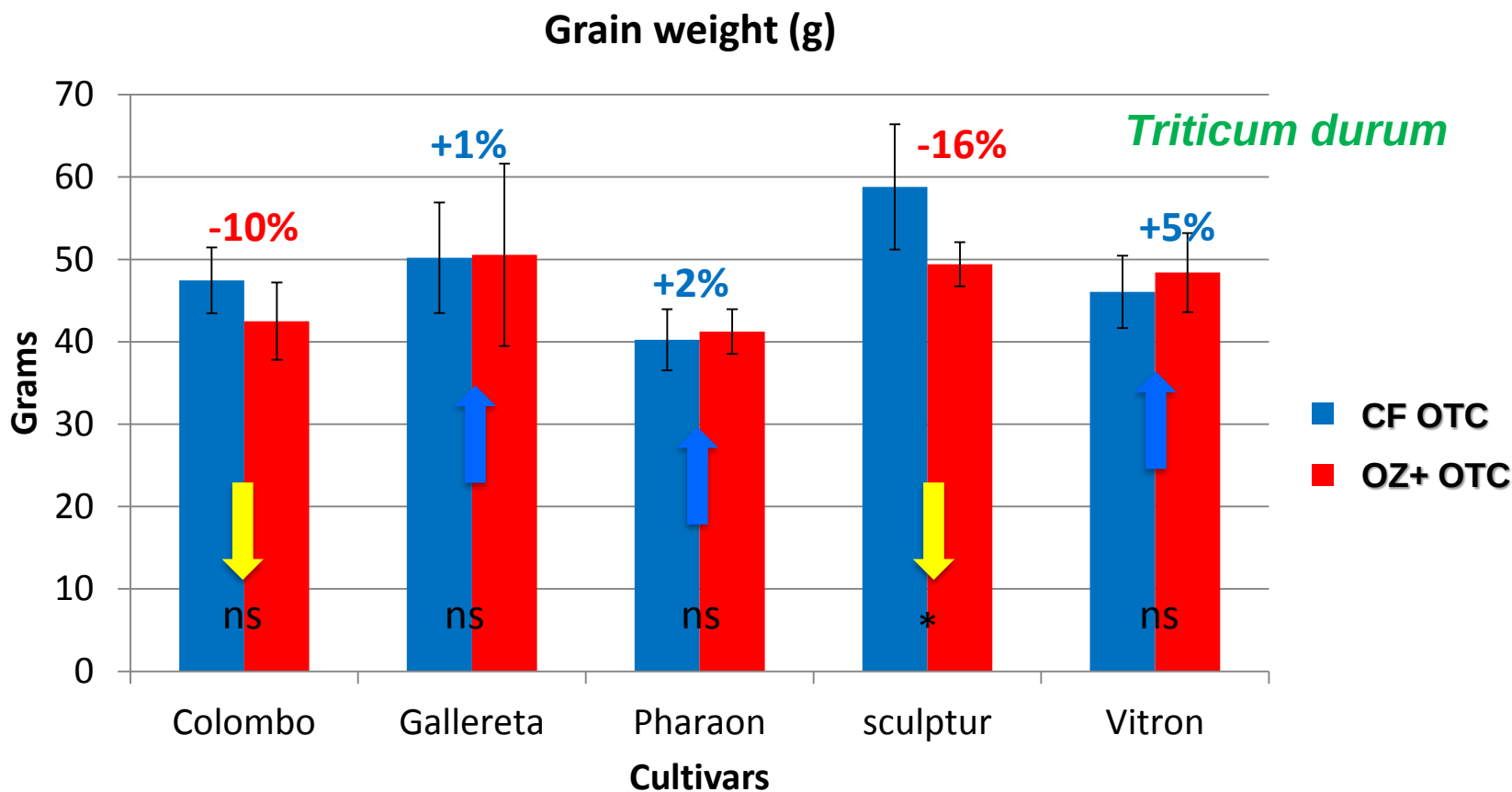
Carpino bianco



# Cosa abbiamo imparato

Il primo determinante della risposta è la genetica

ma anche che a livello intraspecifico...







UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

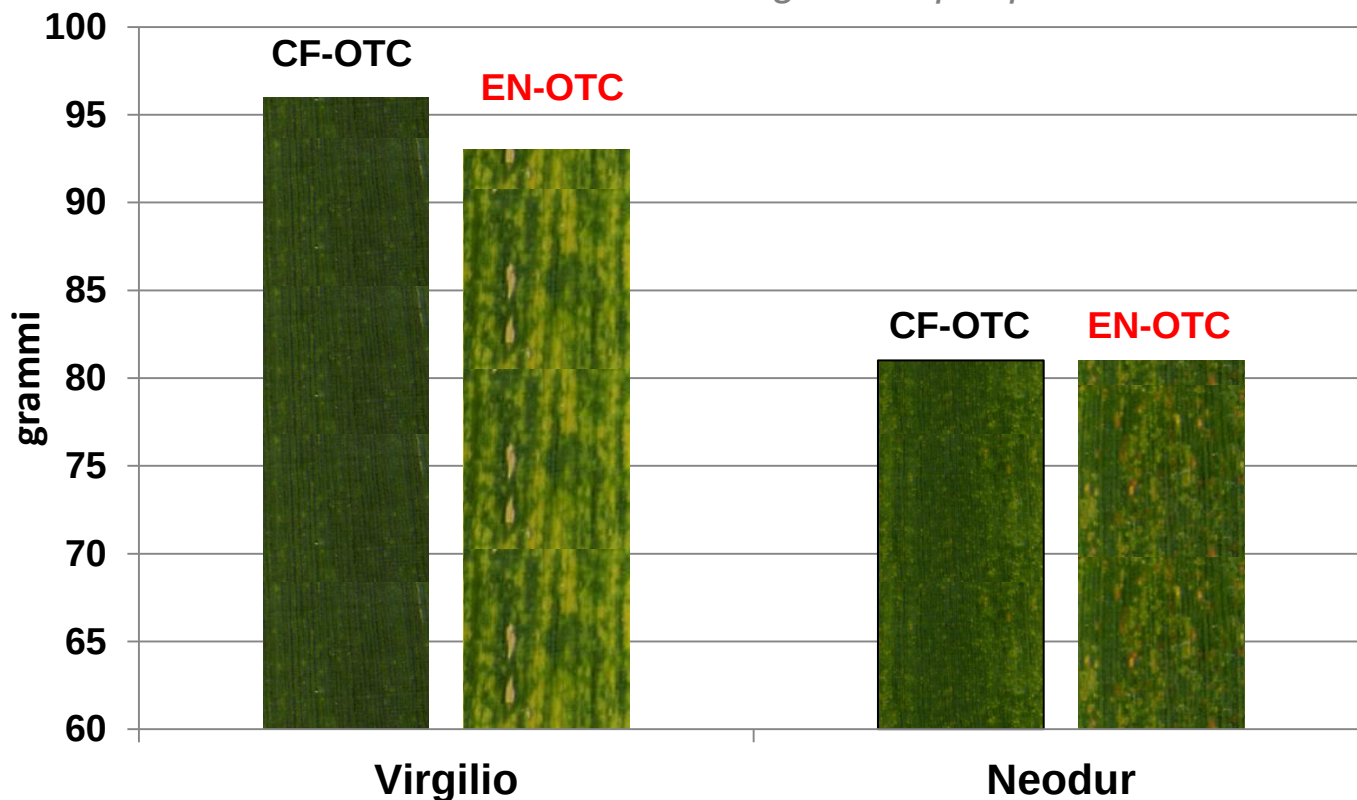
# Cosa abbiamo imparato

Il primo determinante della risposta è la genetica



*Triticum durum*

*resa media in granella per pianta*



... e la comparsa di sintomi visibili non è necessariamente indice di un significativo impatto a livello di produttività ...

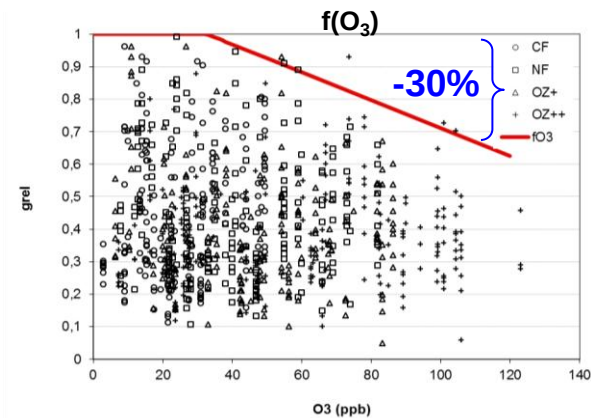
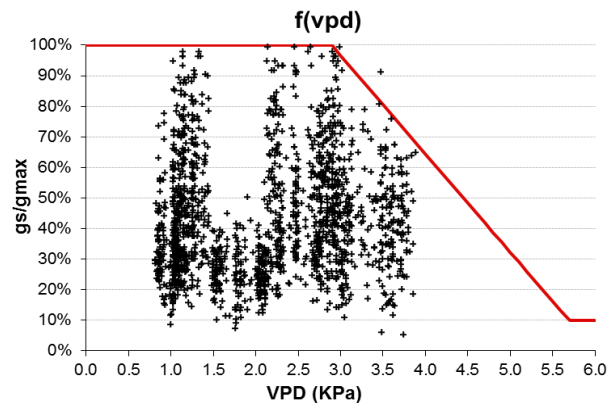
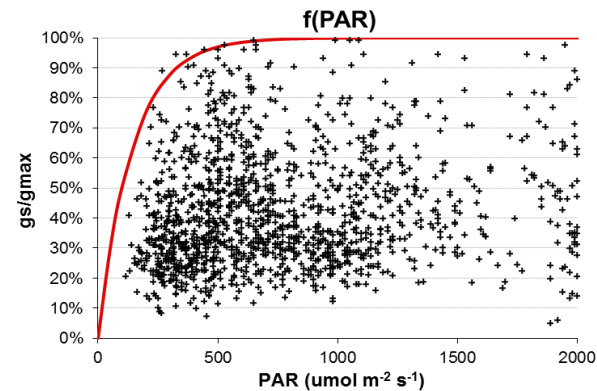
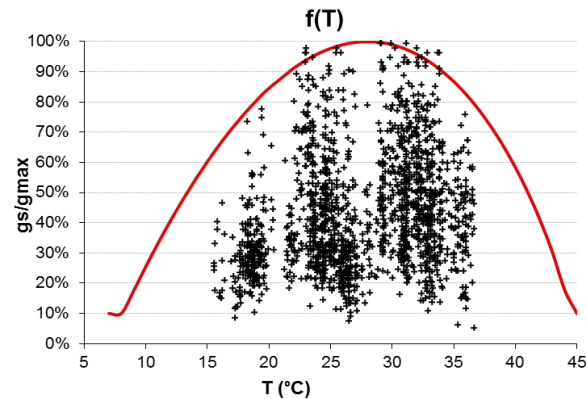


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Cosa abbiamo imparato

Il secondo determinante della risposta è la dose

*Quercus robur* ( $g_{max} = 328 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

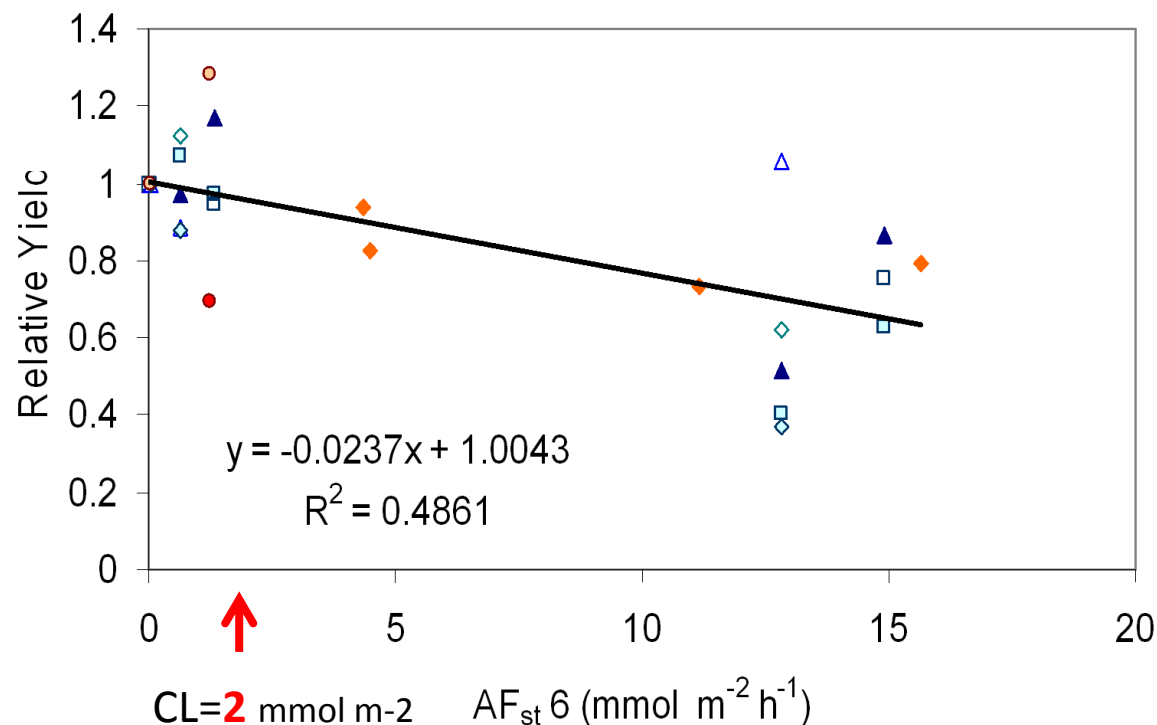


**Il danno è legato alla dose stomatica di ozono**  
**Il calcolo della dose richiede la modellazione della conduttanza stomatica**



# Contributo alla definizione di relazioni dose-danno basate sui flussi stomatici

## Pomodoro



- ◆ Bermejo, 2002 (Tiny Tim)
- Calvo, 2003; Calvo et al., 2007 (Ailsa Craig)
- △ Calvo et al., 2007 (UC 82 L)
- ◇ Calvo et al., 2007 (Moneymaker)
- Gerosa et al., 2008 (San Marzano) ←
- ▲ Calvo, 2003; Calvo et al., 2007 (Nikita)
- Calvo, 2003 (Claudia)
- ◇ Calvo et al., 2007 (Piedmont)
- Gerosa et al., 2008 (Oxheart) ←

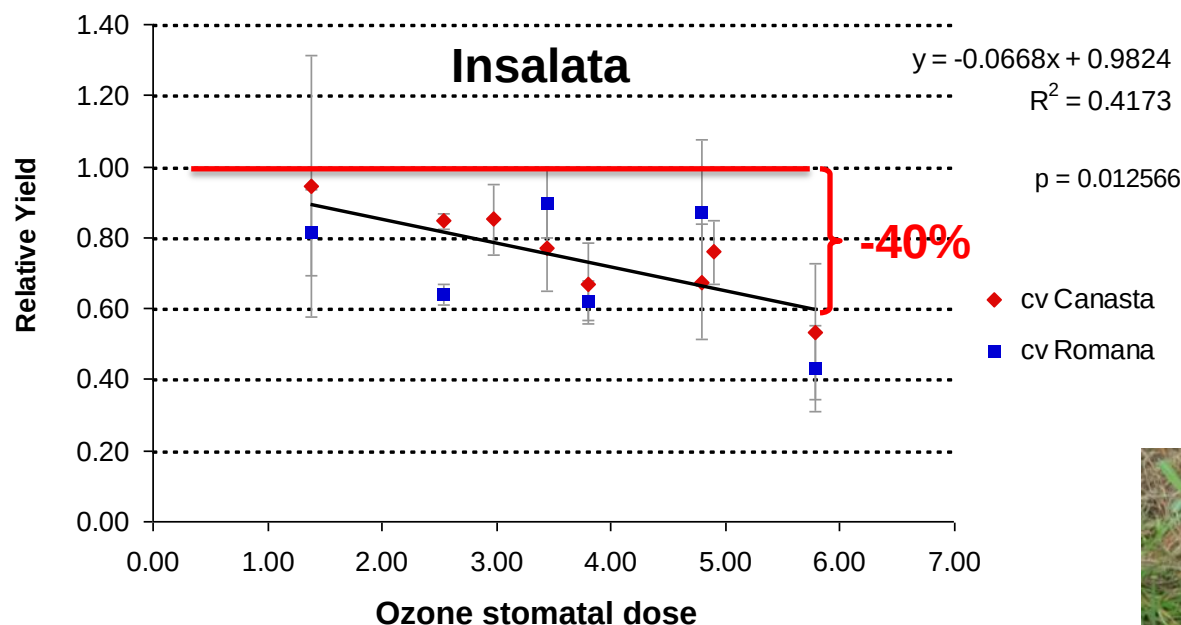
Mills et al., 2011. New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. *Atmospheric Environment*

Gonzalez-Fernandez et al., 2014. Setting ozone critical levels for protecting horticultural Mediterranean crops: Case study of tomato. *Environmental Pollution*



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Contributo alla definizione di relazioni dose-danno basate sui flussi stomatici



$POD_0$   $R^2 = 0.42$

$POD_{3.5}$   $R^2 = 0.33$

$POD_6$   $R^2 = 0.36$

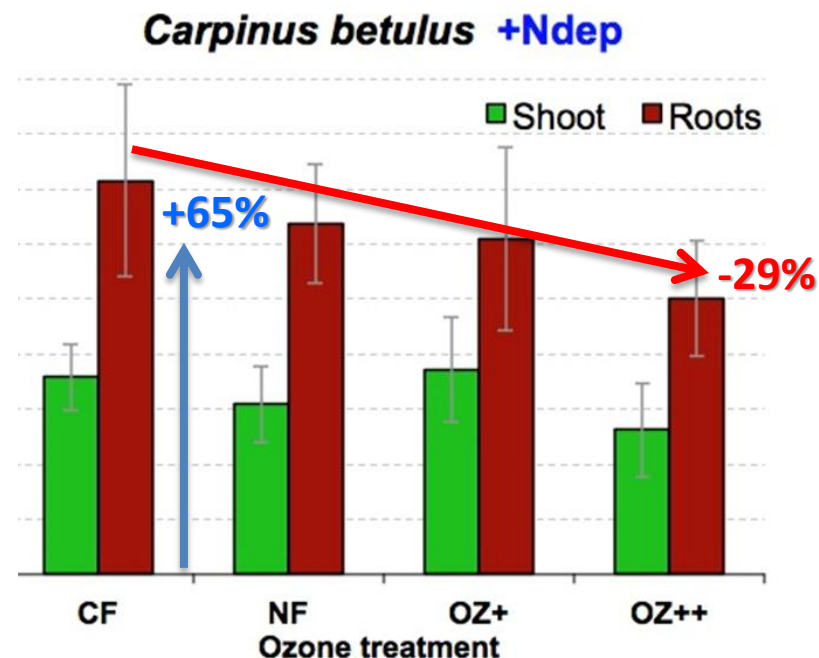
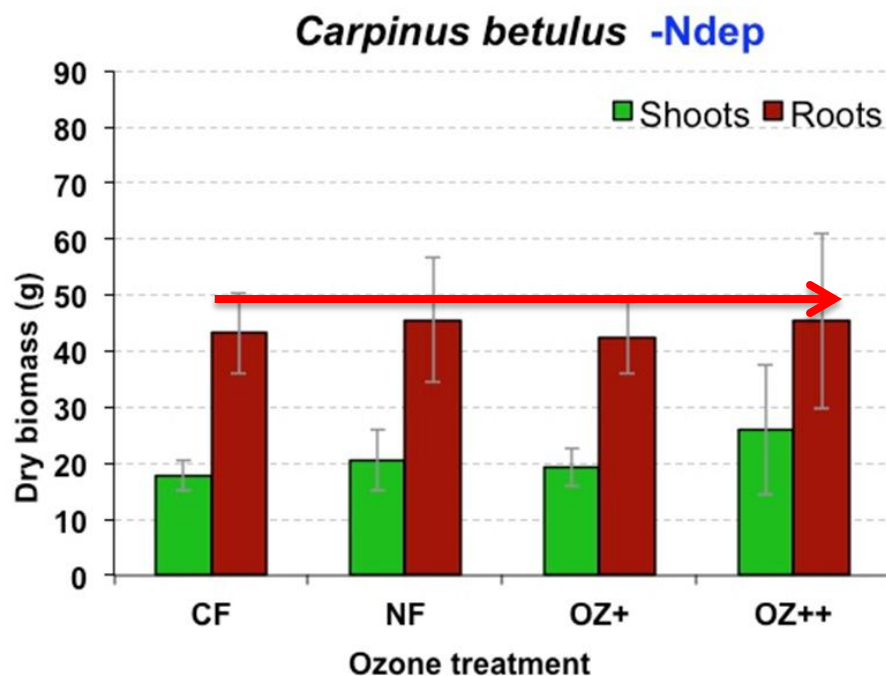






# Cosa abbiamo imparato

L'interazione con altri fattori abiotici può causare deviazioni nelle risposte all'O<sub>3</sub>



Effetto di differenti livelli di deposizione azotata sulla produzione di biomassa



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Misure micrometeorologiche a livello di ecosistema

Larch forest



Wheat



Holmoak

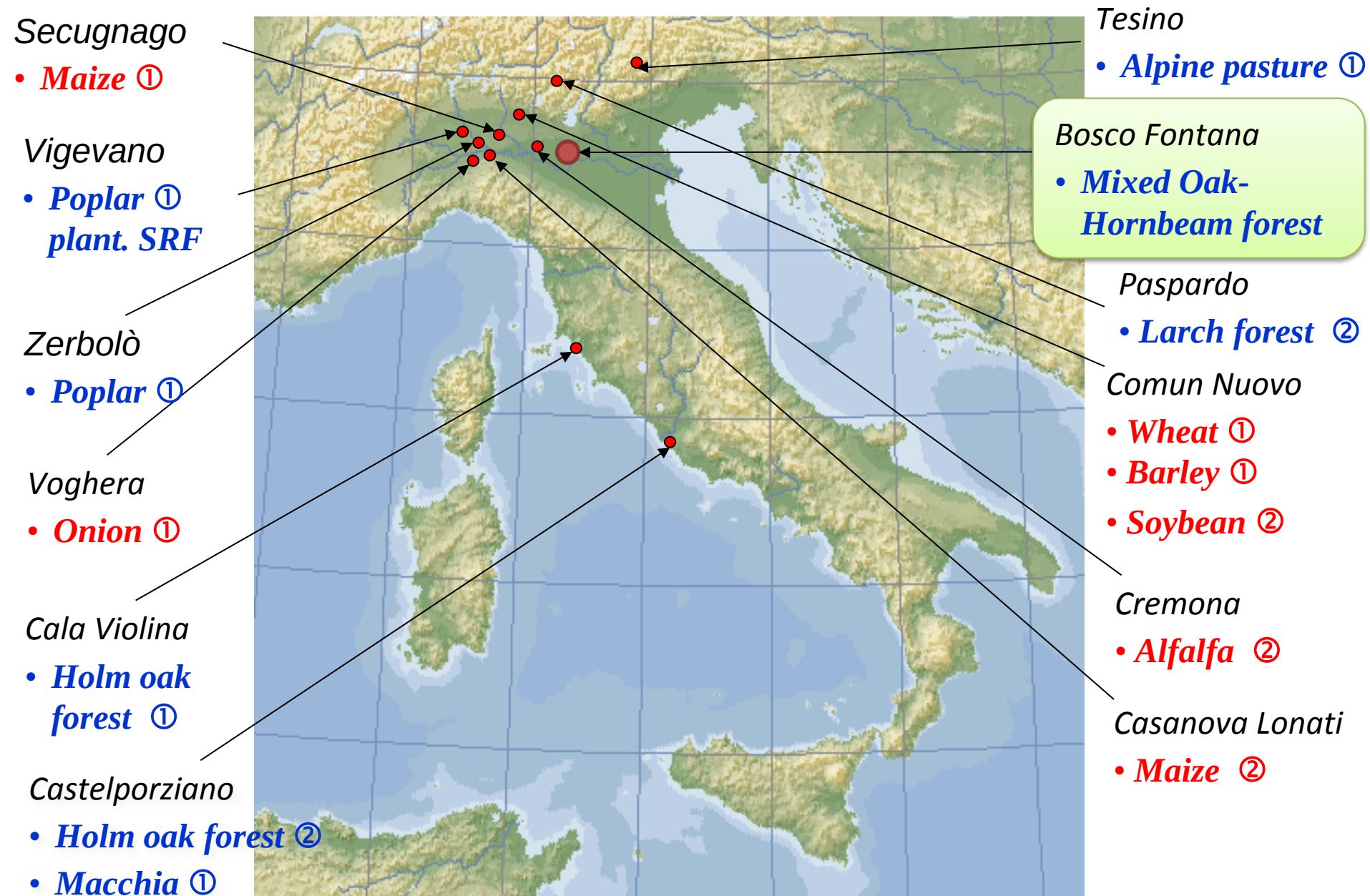


Cala Violina





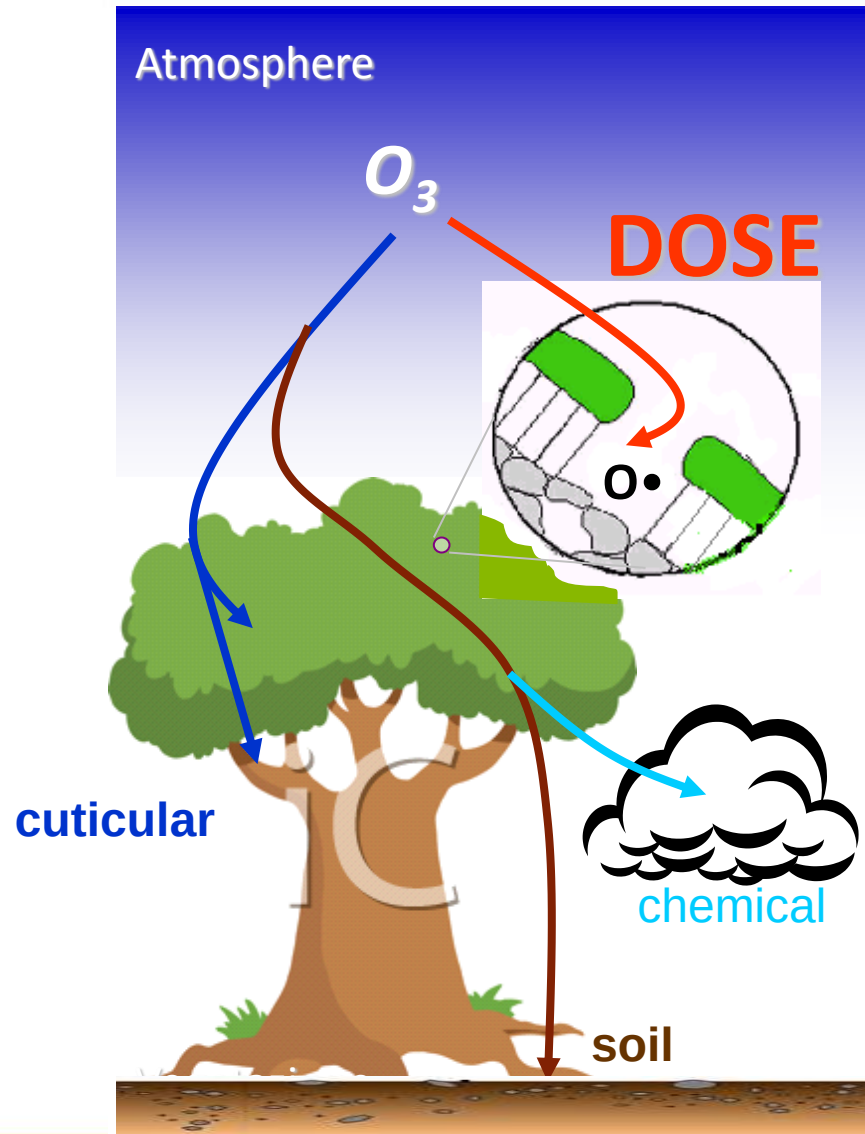
# Micrometeorological campaigns 2002 - 2013





UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Cosa abbiamo imparato



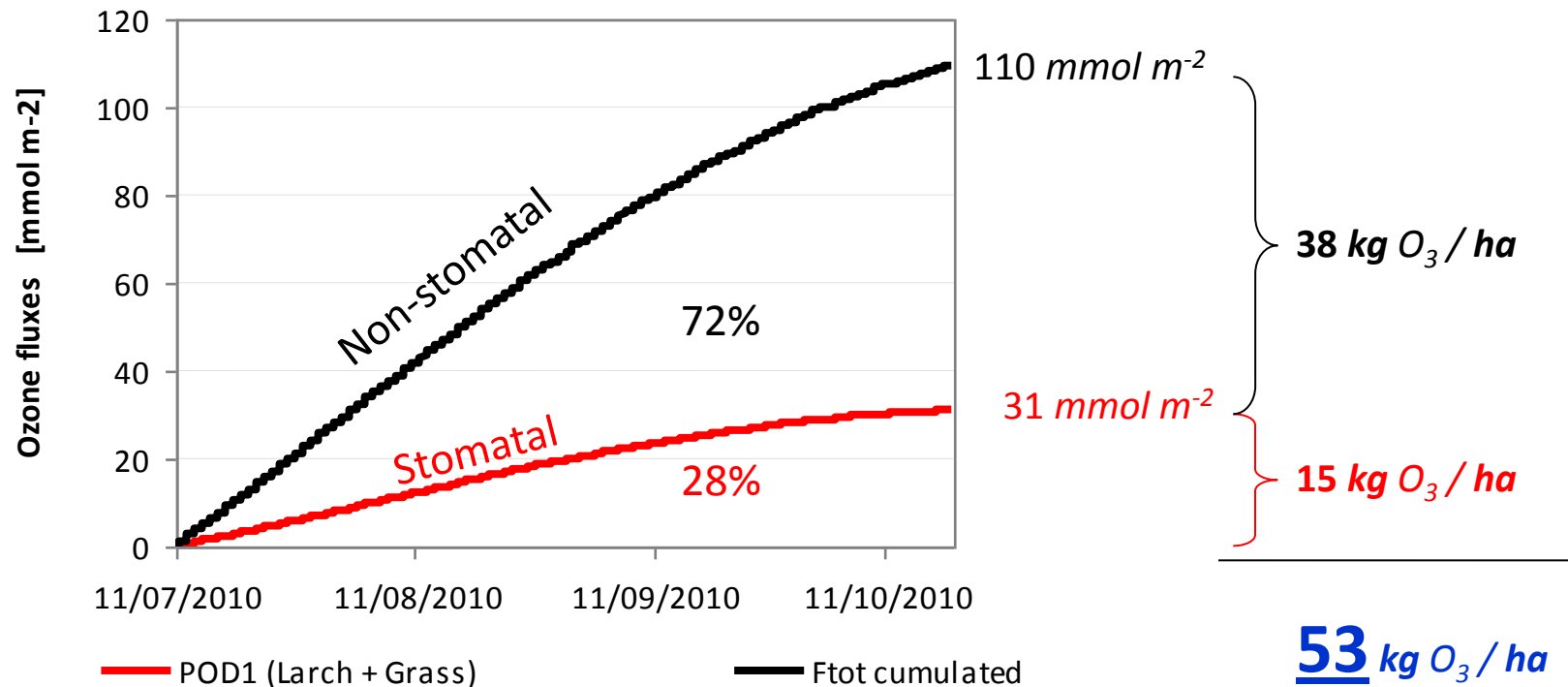
**Non tutto  
l'ozono  
ricevuto da un  
ecosistema  
viene  
assorbito  
dalla  
vegetazione**





# Cosa abbiamo imparato

L'assorbimento stomatico è solo una frazione (in genere piccola) dell'ozono rimosso



In 3 months

***Lariceto, Valcamonica, 2010***

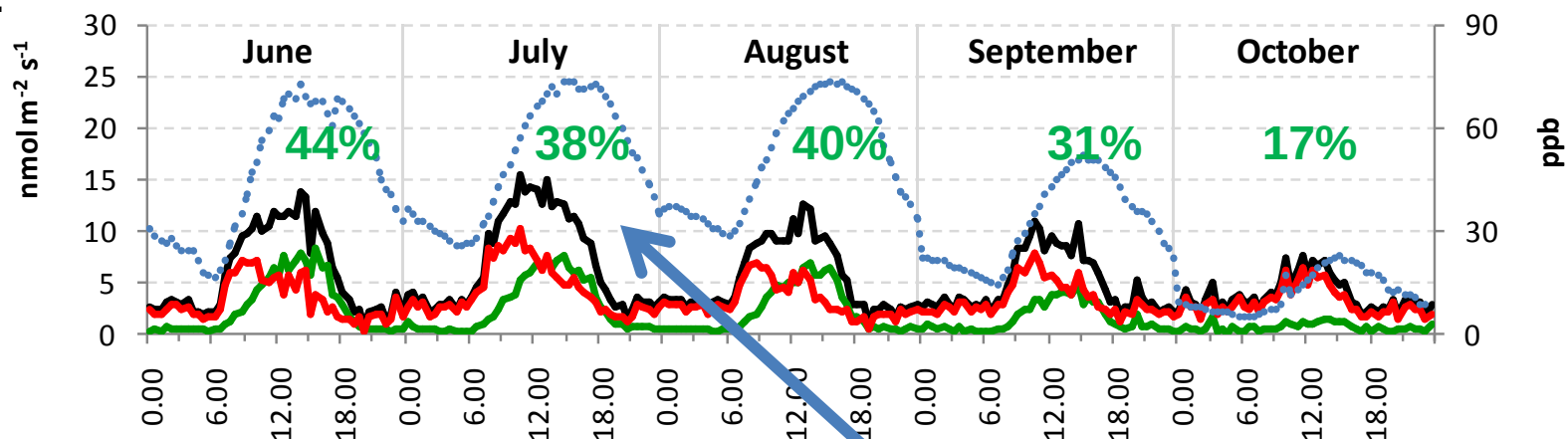
Gerosa et al. 2013. Ozone Fluxes to a Larch Forest Ecosystem at the Timberline in the Italian Alps. In: Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks, Intech, Rieka (CRO)



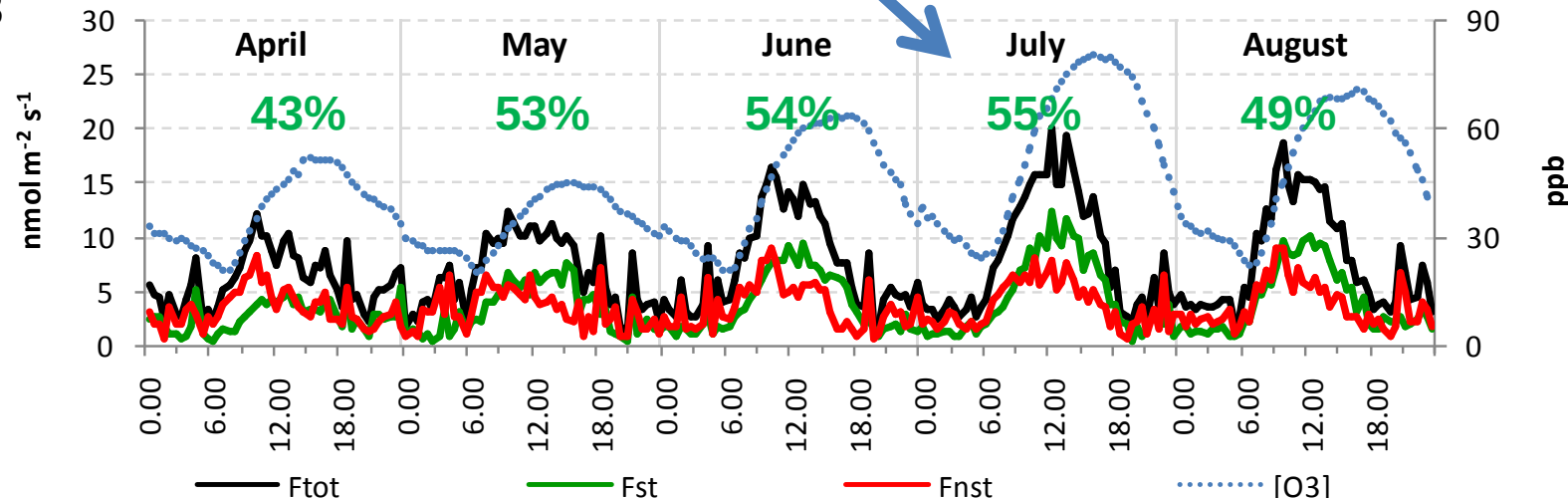
# L'uptake stomatico varia nella stagione ed anche tra un anno e l'altro

## Querco-Carpineto, Bosco Fontana

2012



2013



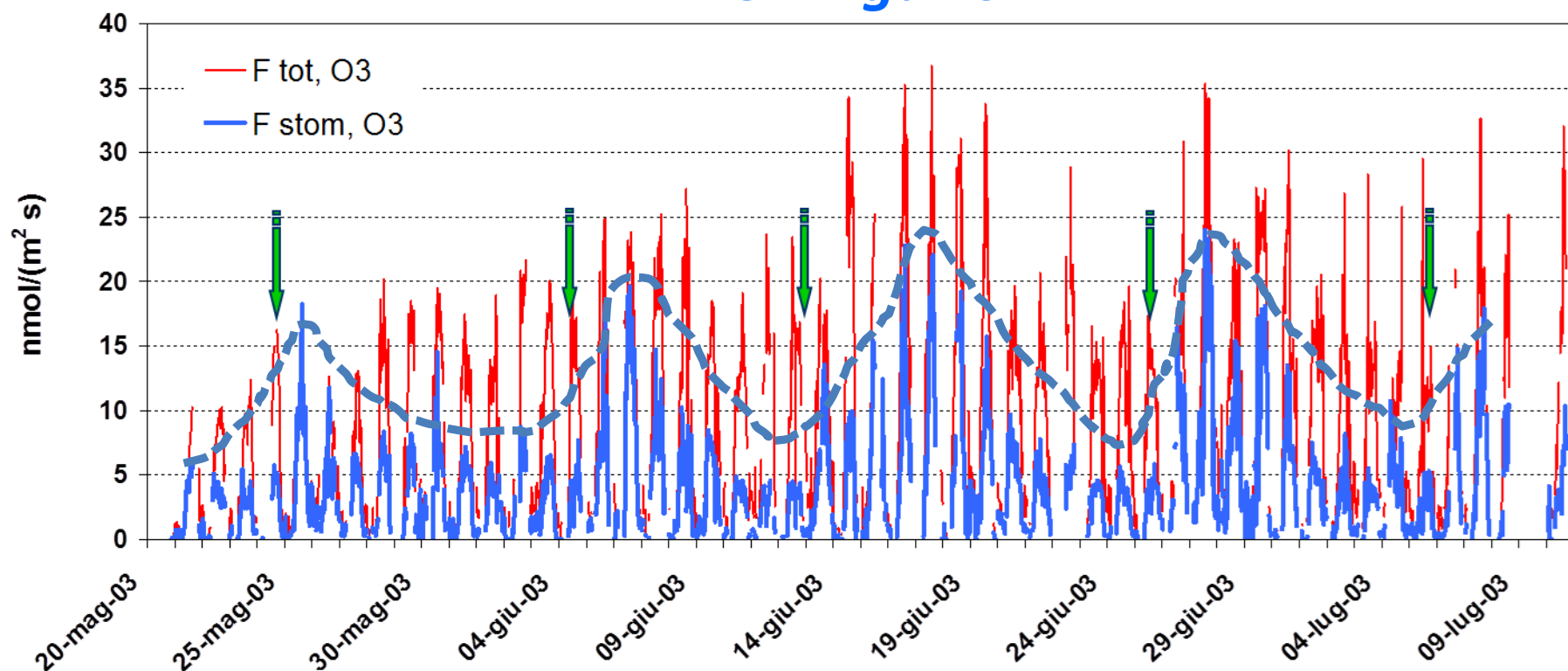


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# L'*uptake* stomatico varia in funzione della disponibilità idrica della vegetazione

***Cipolla, Voghera (PV), 2004***

***5 irrigazioni***



Gerosa et al. 2007 Comparison of Different Algorithms for Stomatal Ozone Flux Determination from Micrometeorological Measurements. *Water Air Soil Pollution* 179:309–321





UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# L'uptake stomatico evidenzia un elevato rischio ozono per gli ecosistemi studiati

| Ecosistema                  | Periodo | AOT40 (ppb h) | Dose (mmol m <sup>-2</sup> ) | AFst1.6 (mmol m <sup>-2</sup> ) | POD1 (mmol m <sup>-2</sup> ) |
|-----------------------------|---------|---------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Frumento (2001)             | Apr-Giu | 9482          | 9.2                          |                                 |                              |
| Orzo (2002)                 | Apr-Giu | 2566          | 8.7                          |                                 |                              |
| Soia (2001)                 | Giu-Set | 2256          | 1.7                          |                                 |                              |
| Soia (2002)                 | Giu-Set | 1334          | 7.4                          |                                 |                              |
| Lecceta (2003)              | Ago-Ott | 7952          | 6.5                          |                                 |                              |
| Lecceta (2004)              | Giu-Nov | 16330         | 45.1                         |                                 |                              |
| Macchia mediterranea (2007) | Mag-Lug | 8600          | 22.8                         | 12.6                            |                              |
| Larice 2010                 | Lug-Ott | 5010          |                              |                                 | 17.9                         |
| Larice 2011                 | Mag-Set | 15980         |                              |                                 | 22.2                         |
| Querco-carpinetto 2012      | Giu-Ott |               |                              |                                 | 13.5                         |
| Querco-carpinetto 2013      | Apr-Ago |               |                              |                                 | 29                           |

**AOT40:** valore obiettivo 9000 ppb h (UE). Livello critico UN/ECE 5000 ppb h per le foreste, 3000 pp h per le colture

**POD1:** livello critico 8 mmol m<sup>-2</sup> per conifere, 4 mmol m<sup>-2</sup> per decidue, 1 mmol m<sup>-2</sup> per frumento

Roma, 23 Gennaio 2014

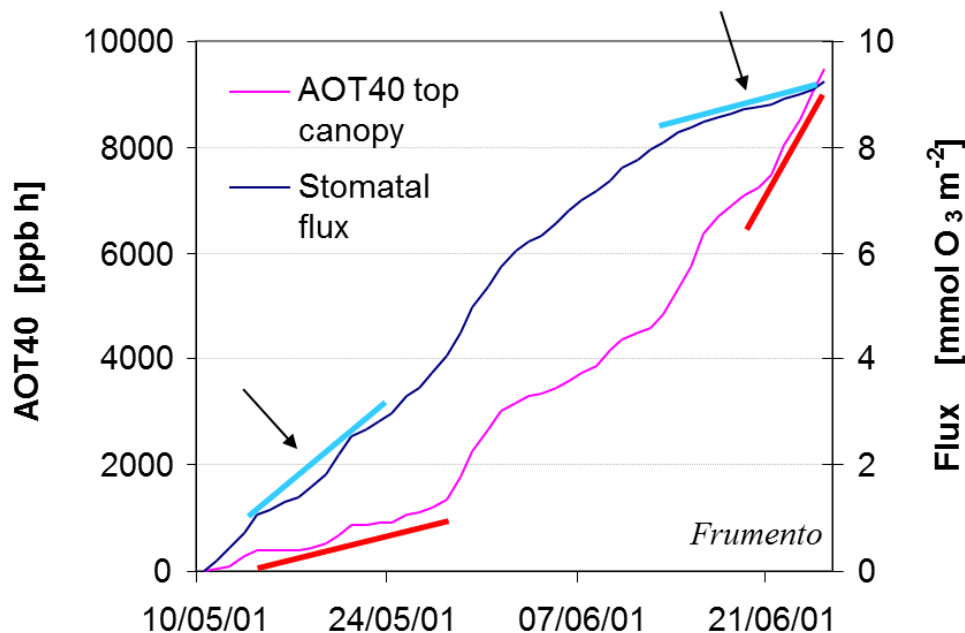
giacomo.gerosa@unicatt.it



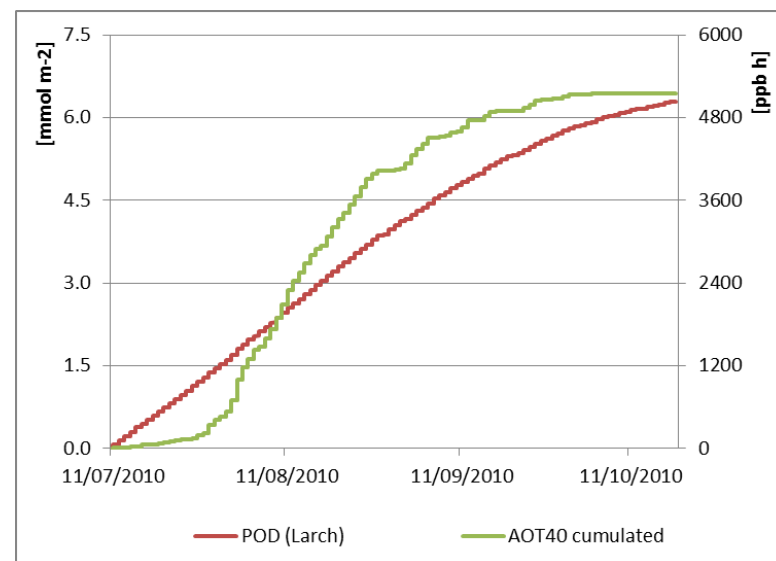
UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# L'uptake stomatico: gli indici usati in sede UE (AOT40) non consentono di stimare la dose fitotossica di ozono

## *Frumento, Comunnuovo (BG), 2000*



## *Lariceto, Valcamonica, 2010*



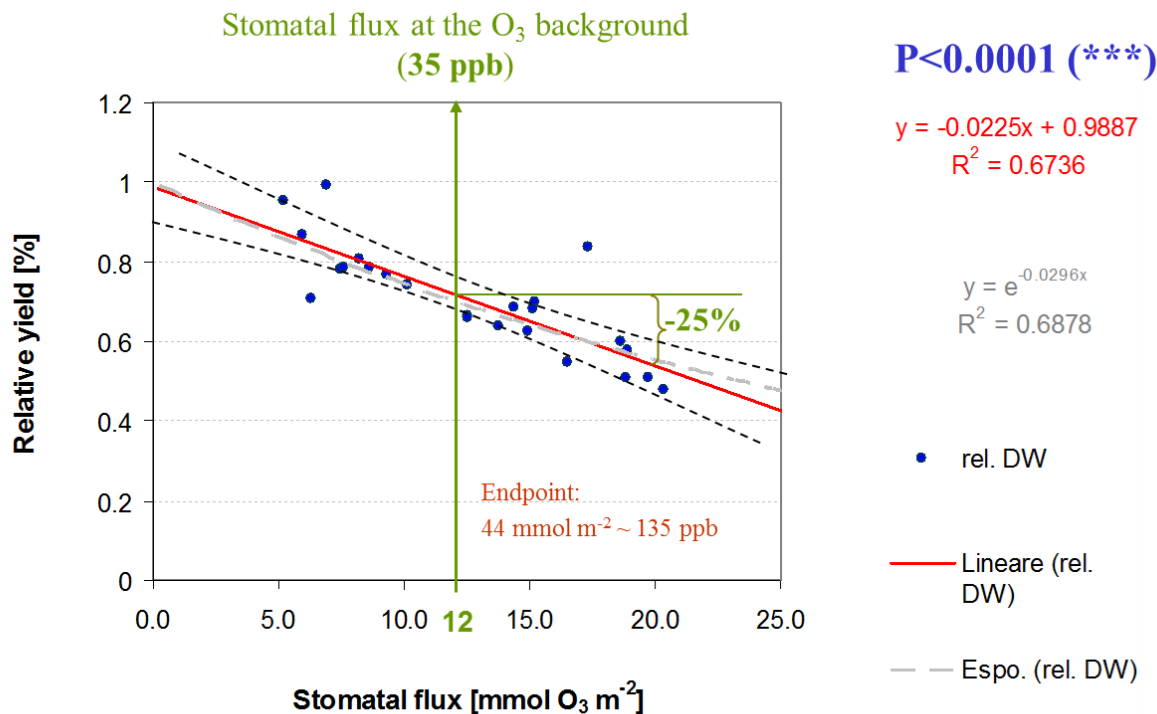
Gerosa et al. 2003. Micrometeorological determination of time-integrated stomatal ozone fluxes over wheat: a case study in Northern Italy. *Atmospheric Environment*

Gerosa et al. 2013. Ozone Fluxes to a Larch Forest Ecosystem at the Timberline in the Italian Alps. Intech book, Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# L'uptake stomatico: l'uso combinato di OTC ed EC può essere usato per dedurre relazioni dose-danno



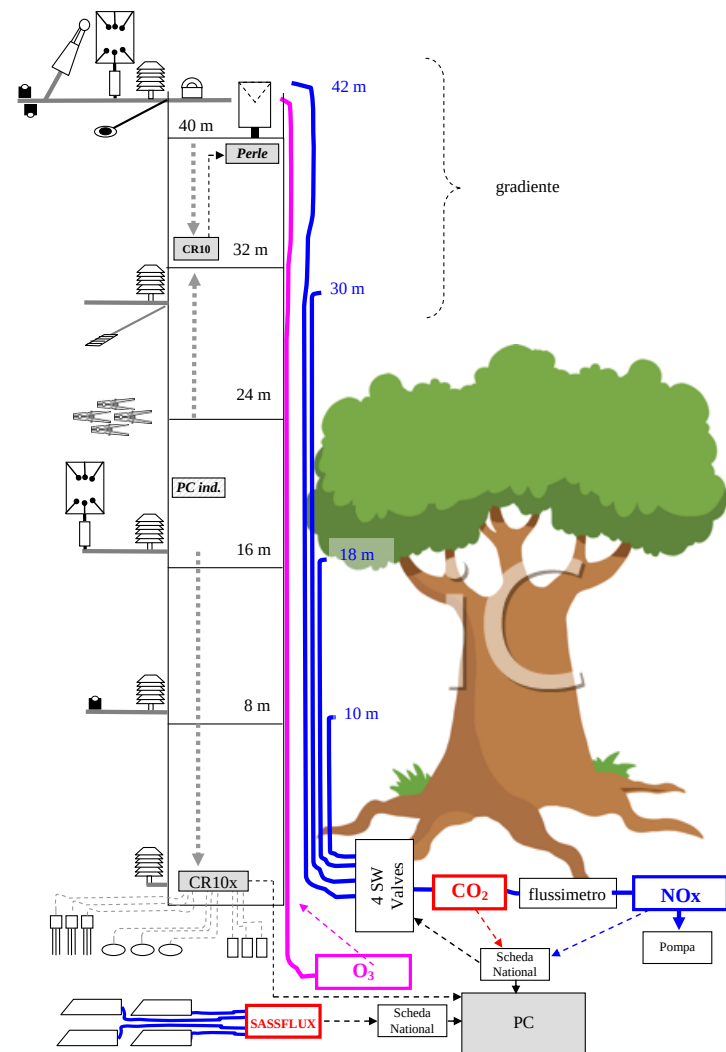
*Erba medica, Cremona 2005/06*



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# La deposizione non stomatica: comprendere i processi

Per comprendere  
l'altra parte della  
deposizione è  
necessario  
studiare più  
approfondita-  
mente i processi  
intra-canopy



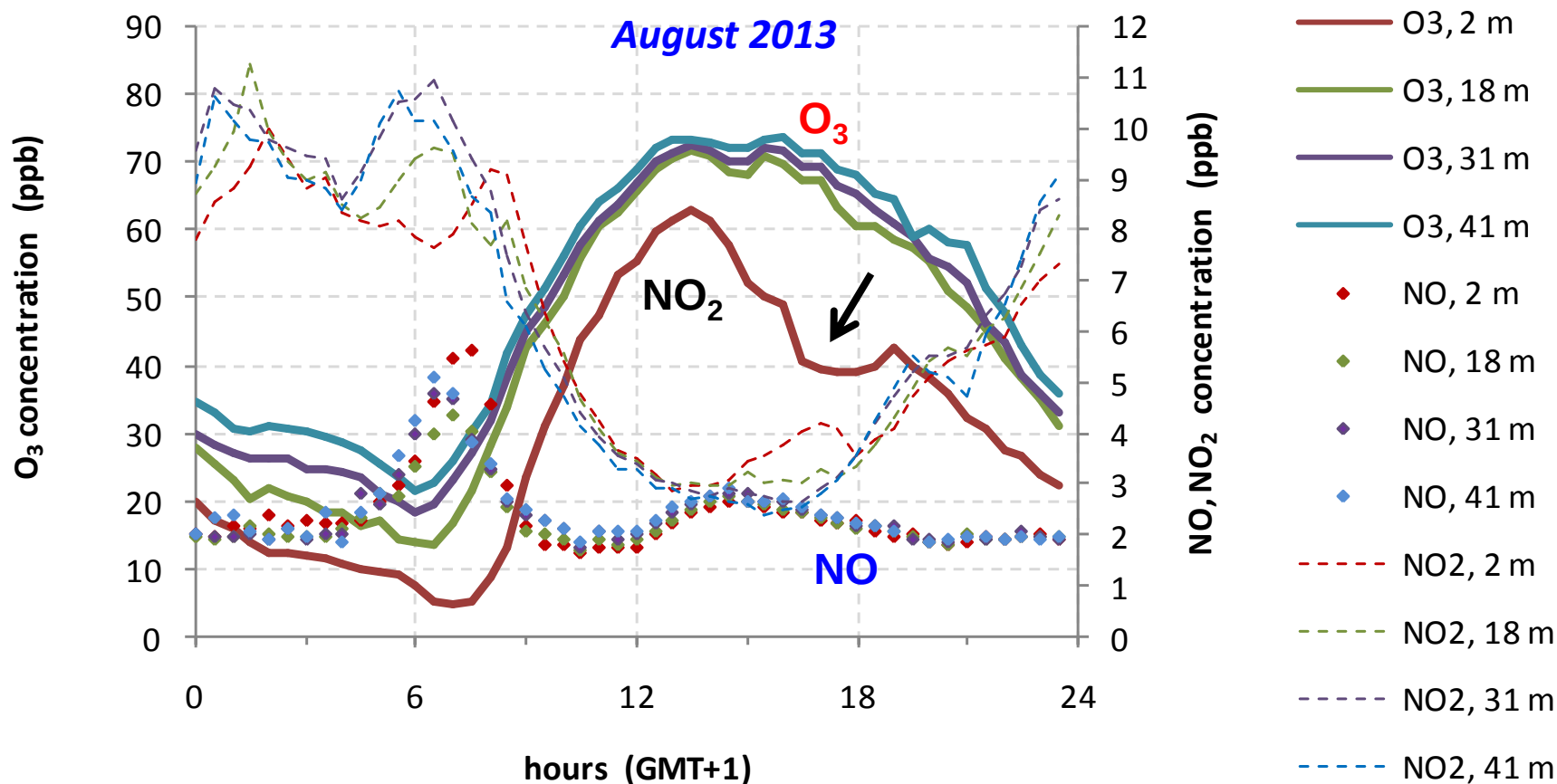




UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# La deposizione non stomatica: il ruolo della soil biochemistry (denitrificazione)

*Rimozione per via chimica nello spazio intra-canopy: reazione con NO vicino al suolo*



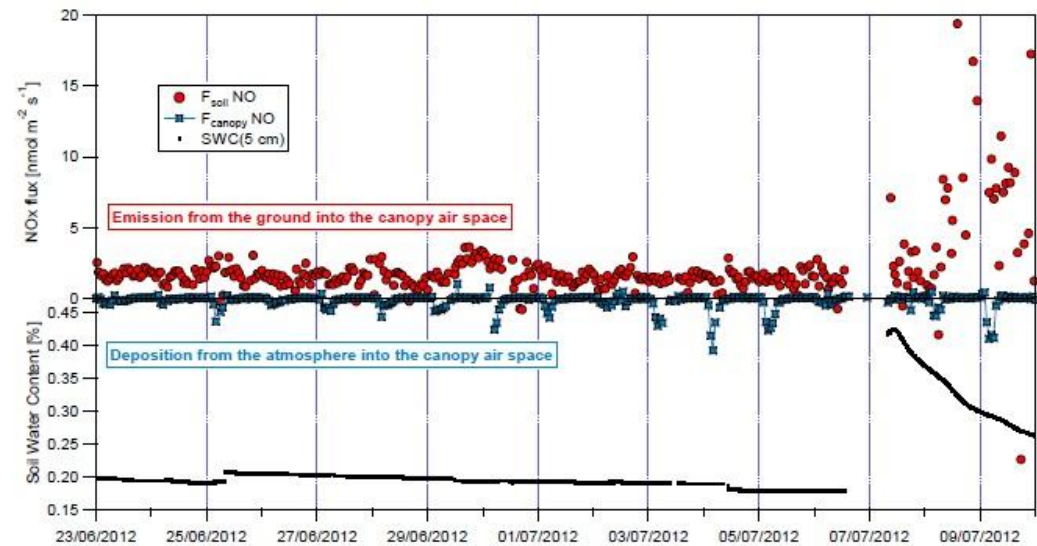
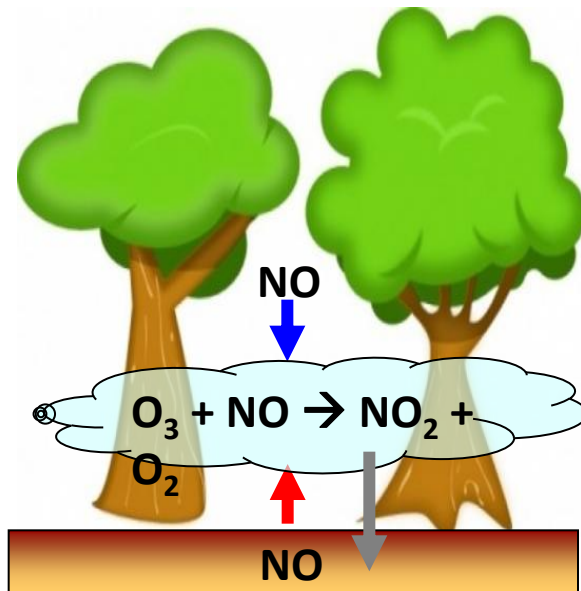


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# La deposizione non stomatica: il ruolo della soil biochemistry (denitrificazione)

## Soil biochemistry (denitrification):

NO emissions and NO<sub>2</sub> deposition (fluxes) at the mixed Oak-Hornbeam forest



**Figure 3.** Fluxes of NO from the soil and above the canopy, in relation to soil water content and rain fall. The difference is due to reaction with ozone, forming NO<sub>2</sub>, which is partly emitted (not measured) and partly taken up by plants and soil.

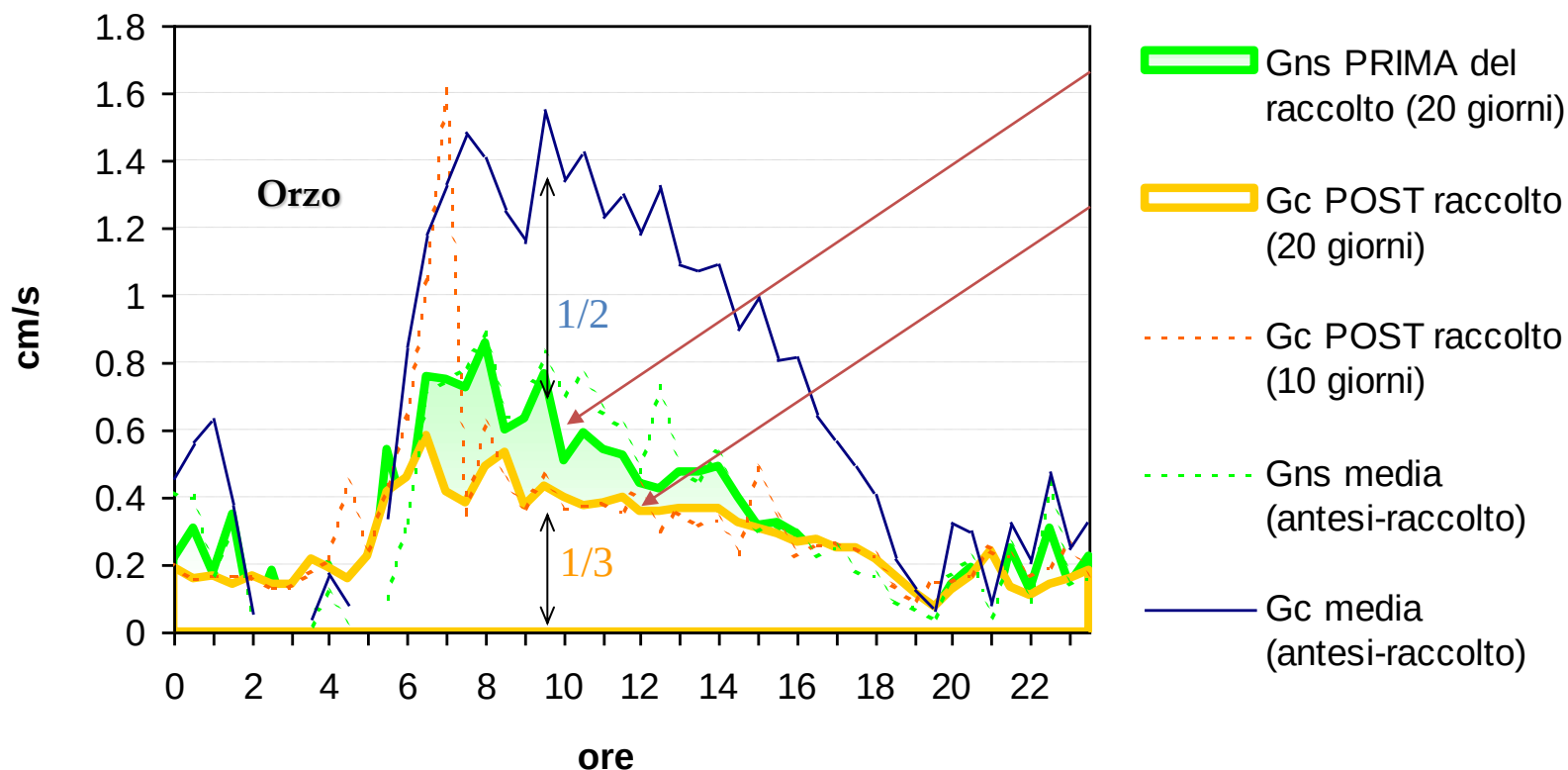


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Deposizione non stomatica: la decomposizione su non-living plant surfaces

**Suolo e superfici vegetali non traspiranti:**  
**~ 1/3 della deposizione totale**  
**Decomposizione foto-termica**

**Orzo,**  
**Comun Nuovo (BG), 2002**



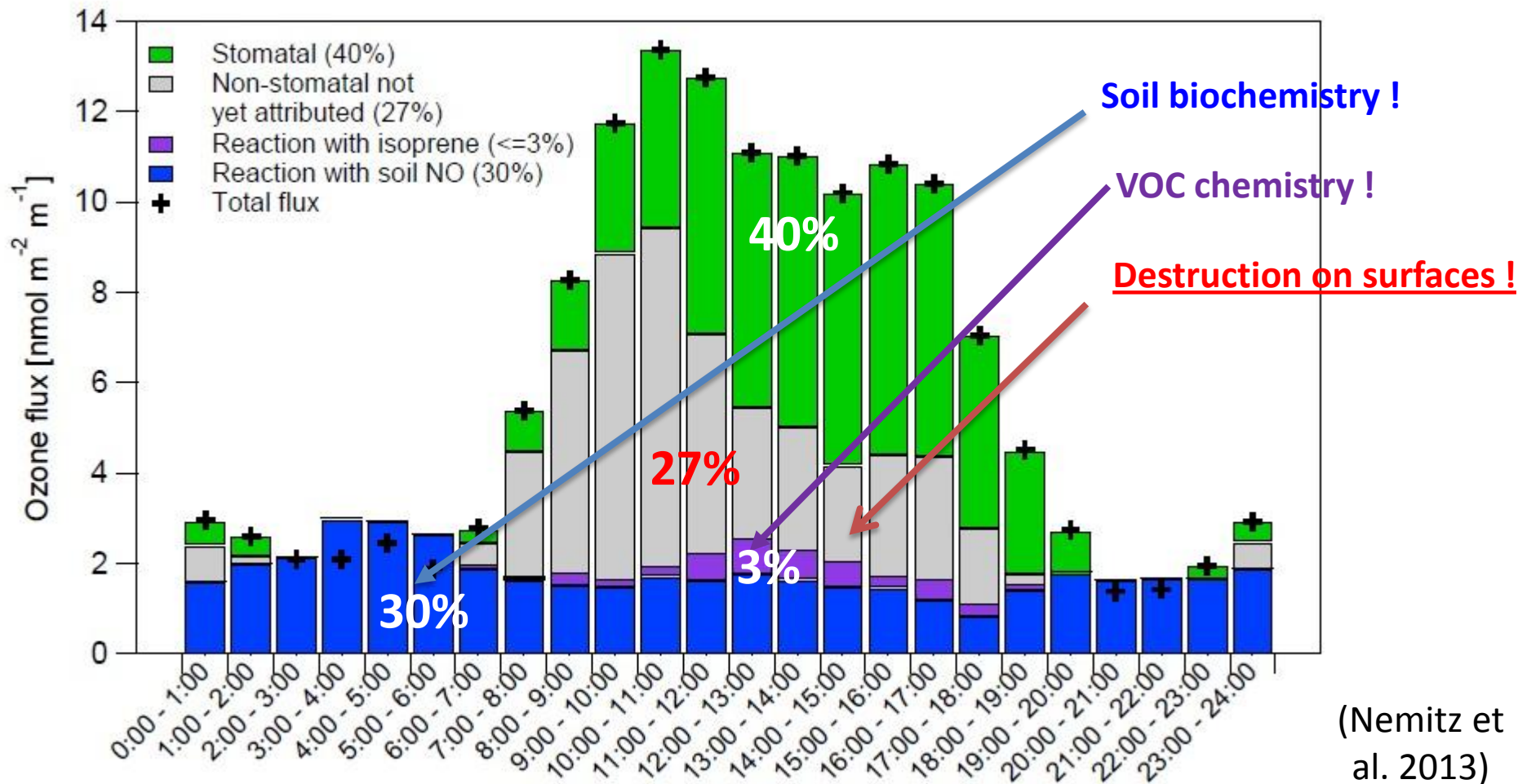
Gerosa et al. 2004. Stomatal ozone uptake by barley in Italy. "Effective exposure" as a possible link between concentration- and flux-based approaches. *Atmospheric Environment* 38 (15), 2421–2432



UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# La deposizione non stomatica: contributo relativo dei diversi processi

*Querc-Carpineto, Bosco Fontana, 2012*





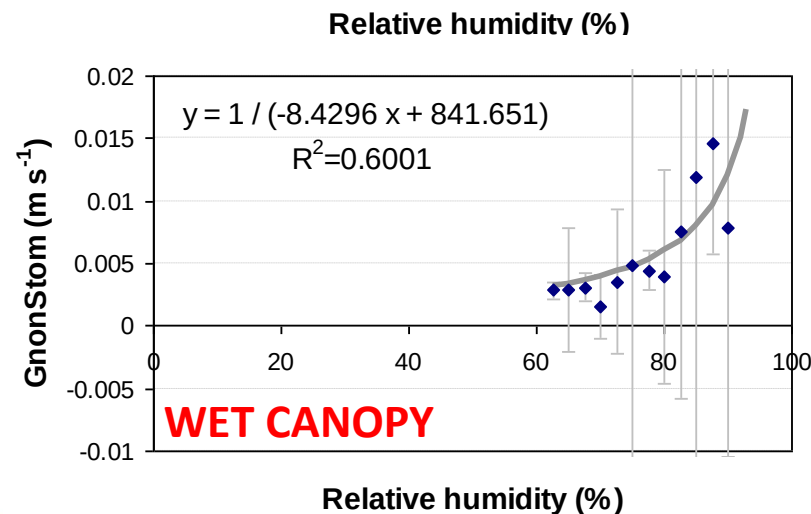
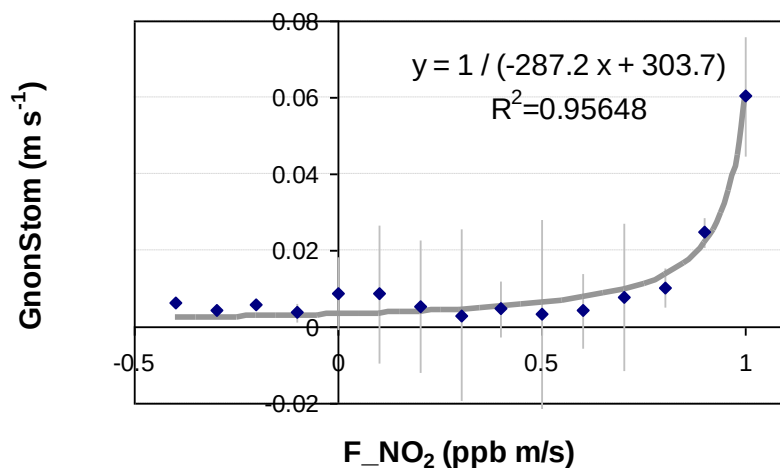
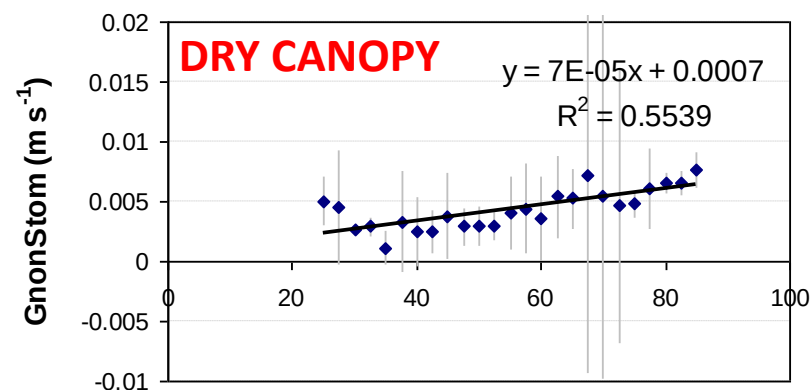
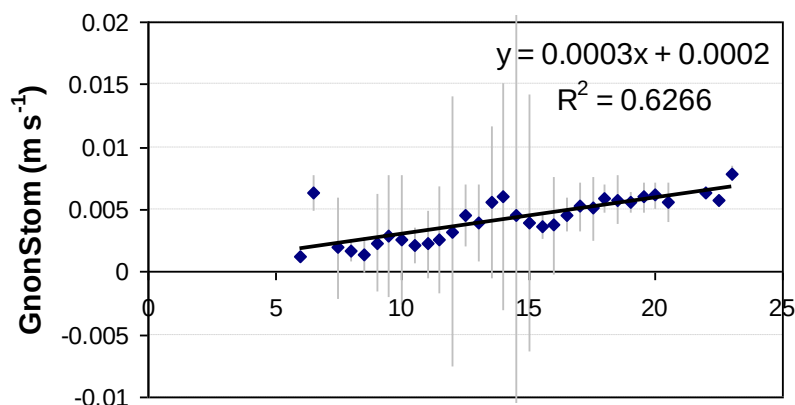


UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# Deposizione non stomatica: il ruolo dell'umidità atmosferica

## *Macchia mediterranea, Castel Porziano (Roma) 2007*

Gerosa et al. 2009 Interactions among vegetation and ozone, water and nitrogen fluxes in a coastal Mediterranean maquis ecosystem  
*Biogeosciences*, 6, 1783-1798

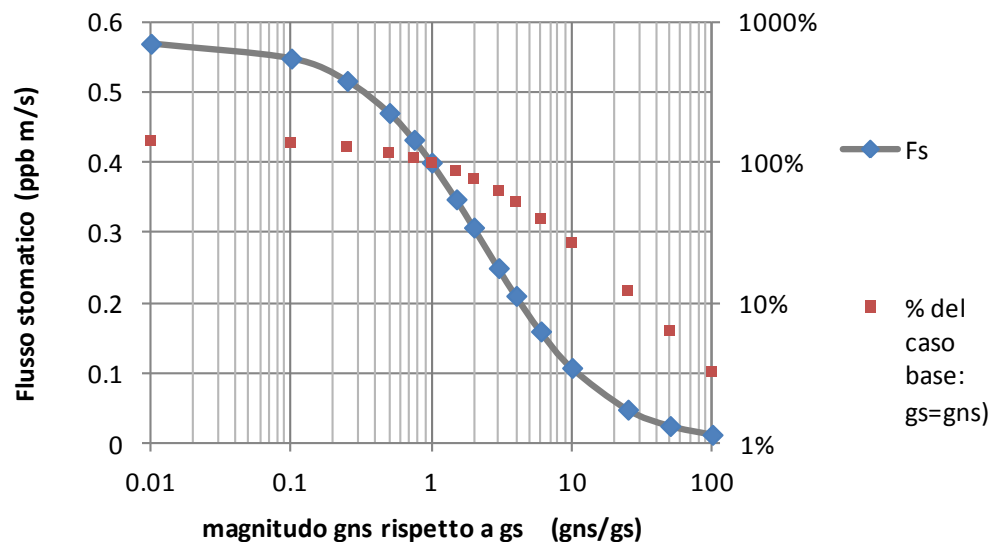




UNIVERSITÀ  
CATTOLICA  
del Sacro Cuore

# La quantificazione della deposizione non-stomatica permette la stima corretta della dose fitotossica

## Flusso stomatico



$O_3 = 100 \text{ ppb}$

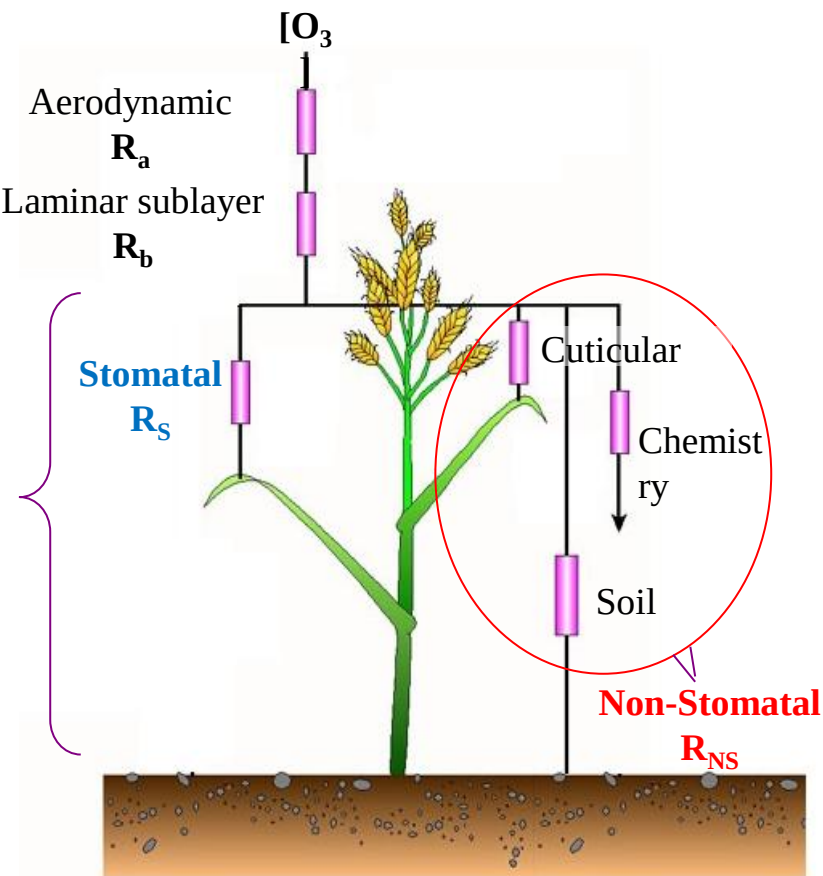
$R_a = 50 \text{ s/m}$

$R_b = 25 \text{ s/m}$

$R_s = 100 \text{ s/m} \rightarrow \text{fissa}$

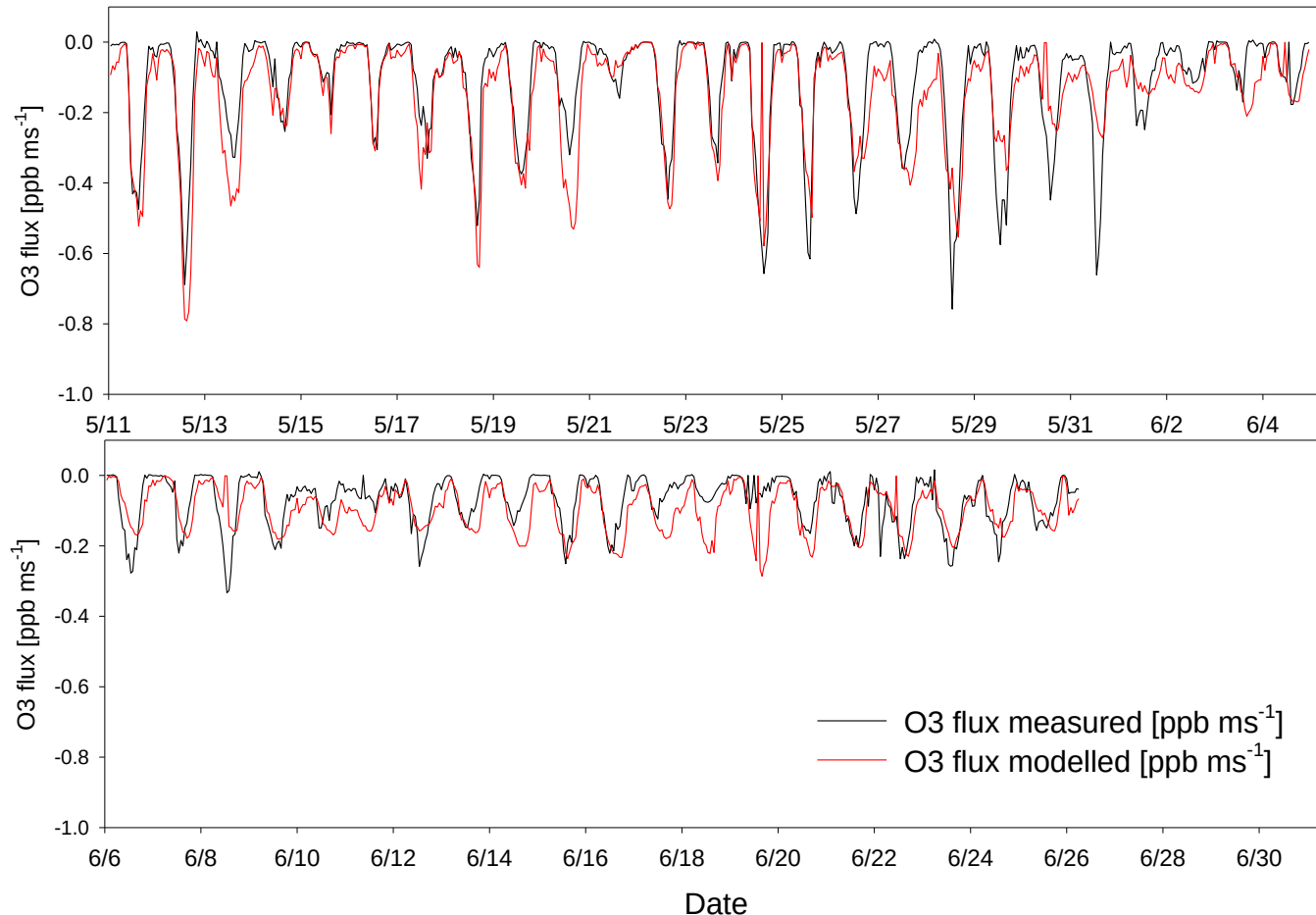
(uno si aspetta che la dose stomatica non cambi ...)

$R_{NS} = \text{variabile}$





## *Wheat data used for the ODEM model (CH)*





## Prospettive e sinergie

- Approfondire **risposte incrociate** (interazioni) con cambiamento climatico (T, UV)
- Studio delle **basi genetiche della risposta**
- **Misure pluriannuali/decennali** (istituire siti permanenti rappresentativi dei diversi ecosistemi/condizioni)
- Puntare alla **comprensione dei processi** di deposizione anche allargando lo spettro delle misure (e.g. ossidi di azoto)

**I nostri siti sono disponibili per fare ricerca con noi !!!**





Angelo



Robert



Riccardo



Antonio



Filippo



Franco

**Grazie per  
l'attenzione**