

Diss. ETH No. 17747

# Total Ozone Measurements at Arosa (Switzerland): Seasonal Variation and Precision of Dobson and Brewer Observations

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
BARBARA SCARNATO

MSc Physics, Universita' degli Studi di Milano. Italia

born 9 June 1977  
citizen of Italy

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Johannes Staehelin, examiner  
Prof. Dr. Thomas Peter, co-examiner  
Dr. Julian Gröbner, co-examiner  
Dr. Rene Stübi, co-examiner

2008



# Abstract

Over roughly the last 30 years, the annually-averaged total column ozone has decreased by approximately 3% in the northern midlatitudes, largely in response to anthropogenic effects. In an attempt to document and quantify long term ozone trends, a network of ground based instruments has been operated since the mid 1970s under the auspices of the WMO. The network is comprised of two main instruments: Dobson and Brewer spectrophotometers. The observed rate of ozone depletion, while significant, is small enough that data quality control of ground based measurements is of the utmost importance if long term trends are to be accurately diagnosed. The Dobson spectrophotometer network is based on a Primary Dobson instrument which is regularly calibrated by the Langley plot method at the Mauna Loa observatory and maintained by ESRL-NOAA. The calibration scale is subsequently transferred to a traveling standard instrument, used to compare with regional standard Dobson instruments. The station instruments are calibrated by side-by-side comparisons against the regional standard instruments during Dobson inter-comparisons. A similar procedure has been organized for the newer Brewer instruments.

Another important facet of the quality control of a long term ozone time series is data homogenization. Occasionally, an instrument must be replaced. It then becomes imperative to ensure the consistency between the old and new measurements. The problem is further complicated by the presence of two different types of instruments: there is a general trend to replace the older Dobson with the newer Brewer instruments. Therefore, both intra- and inter-instrumental data homogenization is at times necessary. With this in mind, the WMO suggests the simultaneous operation of both types of instruments in order to study the difference between observations and improve data quality.

At Arosa, two Dobson and two Brewer instruments have been simultaneously operated since 1992 and a third Brewer instrument was added in 1998, thereby providing a unique dataset for an in depth examination of data quality.

In the present work, a first step is to calculate instrumental precision. At Arosa, one standard deviation of the total ozone measurements (performed within 10 minutes) for Dobson ((observed with the AD wavelength pair) and Brewer instruments is found to be  $\pm 0.5\%$  and  $\pm 0.2\%$ , respectively. As pertains to inter-instrumental differences, quasi-simultaneous measurements between the two spectrophotometers in the mid- and high-latitudes typically exhibit a seasonal bias of a couple percent. This bias can be at least partially attributed to the different sensitivities of the wavelengths used in the respective retrieval algorithms: different estimations of total column ozone during different seasons might be a consequence of the seasonal variability of, mainly, ozone effective temperature (a weighted convolution of air temperature and ozone profile) and ozone slant path (air mass multiplied by total ozone; OSP).

The temperature dependence of the ozone cross section has been calculated using three distinct ozone absorption cross section spectra with differing resolutions (*Bass and Paur*, 1985; *Malicet et al.*, 1995; *Burrows et al.*, 1999). It is found that *Bass and Paur* (1985) or *Malicet et al.* (1995) are the most suitable spectra for total ozone measurements by Dobson and Brewer spectrophotometers. Taking into account the temperature dependence of the ozone cross sections and the OSP effect, the seasonal bias can be reduced from 2% to less than 1%, which deems sufficient for the study of long term trends. Furthermore, it is found that the OSP effect is comparable in comparison with the temperature effect.

In order to sustain homogeneous ground based total ozone measurements, Dobson instruments should not be replaced by Brewer instruments without a careful examination that takes advantage of quasi-simultaneous measurements. To convert the measurement of a Brewer instrument, empirical transfer functions are used, incorporating the ozone effective temperature and ozone slant path as proxies. However, even after the application of the transfer functions, a drift between Arosa's Dobson and Brewer observations on the order of 3% during the early 1990s is observed and remains unexplained.

# Prefazione

Nel corso degli ultimi 30 anni, nell' emisfero nord a medie latitudini la media annuale della colonna totale di ozono é diminuita di circa del 3 %, in gran parte in risposta a effetti di origine antropica. Con il tentativo di documentare e quantificare le tendenze a lungo termine dell'ozono, una rete di strumenti basati sulle misure da terra opera dalla meta' dagli anni settanta sotto il controllo dell'organizzazione mondiale meteorologica (WMO). La rete di monitoraggio é composta principalmente da due strumenti: gli spettrofotometri Dobson e Brewer. La percentuale osservata di riduzione della fascia di ozono é abbastanza piccola (sebbene significativa), quindi il controllo della qualita' dei dati basato sulle misure da terra é della massima importanza, se le tendenze a lungo termine dell'ozono devono essere accuratamente diagnosticate. La rete di monitoraggio operante con gli spettrofotometri Dobson é basata su un Dobson primario (standard) mantenuto da ESRL-NOAA, che é regolarmente calibrato attraverso un metodo chiamato grafico di Langley all'osservatorio di Mauna Loa. La scala di calibrazione é successivamente trasferita a degli strumenti standard secondari che vengono usati per calibrare degli strumenti di riferimento regionali. Quest'ultimi successivamente vengono trasportati nei diversi siti per la calibrazione sul luogo degli strumenti Dobson. Una procedura analoga é stata realizzata per gli spettrofotometri Brewer.

Un altro importante aspetto per il controllo di qualita' delle serie temporali storiche dell'ozono é l'omogeneizzazione dei dati rispetto agli strumenti in uso nei relativi periodi. Occasionalmente, uno strumento deve essere sostituito e diventa importante garantire la coerenza tra le vecchie e le nuove misure. Il problema é ulteriormente complicato dalla presenza di due diversi tipi di strumenti: c'e' una tendenza generale a sostituire il vecchio Dobson con il nuovo Brewer. Pertanto, é necessaria l'omogeneizzazione delle serie temporali

sia provenienti dallo stesso tipo di strumento che differente. Con questo in mente, la WMO suggerisce il funzionamento simultaneo di entrambi gli strumenti per studiare le differenze tra le misure e migliorare, di conseguenza, la qualità dei dati. Ad Arosa, due Dobson e due Brewer operano simultaneamente dal 1992 ed un terzo Brewer è stato aggiunto nel 1998, fornendo in tal modo un unico set di dati utile per un approfondito esame della qualità delle misure.

Un primo passo è quello di calcolare la precisione strumentale. Ad Arosa, la deviazione standard delle misure della colonna di ozono è rispettivamente  $\pm 0.5\%$  per Dobson (per osservazioni con lunghezze d'onda AD) e  $\pm 0.22\%$  per i Brewer. Per quanto riguarda le differenze inter-strumentali, a medie e alte latitudini, misure quasi simultanee tra i due spettrofotometri tipicamente mostrano differenze stagionali nell'ordine di un paio di percento. Questo bias è almeno in parte attribuito alle diverse sensibilità delle lunghezze d'onda utilizzate nei rispettivi algoritmi. Diverse stime della colonna totale di ozono durante le diverse stagioni potrebbero quindi essere una conseguenza della variabilità dell'effettiva temperatura dell'ozono (ponderata convoluzione del profilo della temperatura dell'aria e dell'ozono) e della dipendenza dalla massa d'aria d'ozono (massa d'aria moltiplicata per la colonna totale di ozono; OSP). La dipendenza della sezione trasversale di assorbimento (cross section) dell'ozono dalla temperatura è stata calcolata utilizzando tre distinti spettri di assorbimento di ozono con diverse risoluzioni (*Bass and Paur, 1985; Malicet et al., 1995; Burrows et al., 1999*). Da questo studio risulta che (*Bass and Paur, 1985*) e (*Malicet et al., 1995*) sono gli spettri ottimali per la misura della colonna di ozono effettuata con gli strumenti Dobson a Brewer. Tenendo conto della dipendenza del coefficiente di assorbimento dell'ozono alla temperatura e della dipendenza dalla massa d'aria di ozono (OSP), le differenze stagionali possono essere ridotte da 2% a meno di 1%, la seconda cifra risulta essere sufficiente per lo studio delle tendenze a lungo termine dell'ozono. Inoltre, si è riscontrato che l'effetto dell'OSP è dello stesso ordine di grandezza rispetto all'effetto della temperatura.

Al fine di ottenere delle misure della colonna di ozono omogenee gli strumenti Dobson non dovrebbero essere sostituiti da i Brewer senza un attento

esame, che si avvale di misure quasi-simultanee per un estensivo periodo. Per trasformare le misure effettuate dagli strumenti Brewer in scala Dobson, sono state utilizzate delle funzioni di trasferimento empiriche, che incorporano la temperatura effettiva dell'ozono e la massa d'aria di ozono come variabili esplicatorie. Tuttavia, anche dopo l'applicazione delle funzioni di trasferimento, le serie temporali di ozono dei due strumenti mostrano una tendenza a divergere del 3% durante i primi anni del 1990.