

Sistemas lidar en la campaña SOLAR

Lidar systems at SOLAR campaign

Wolfram E.^{1,2*}, **Otero L.**³, **Salvador J.**⁴, **D'Elia R.**¹, **Pallotta J.**⁵,
Dworniczak J.C.¹, **Vilar O.**¹, **Porteneuve J.**⁶, **Godin-Beeckmann S.**⁶,
Nakane H.⁷, y **Quel E.**¹

1. CEILAP(CITEFA-CONICET), Villa Martelli, Argentina
2. Becario CONICET
3. CONAE
4. BECARIO UNSAM, ESCUELA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
5. BECARIO AUGER
6. SERVICE D'AERONOMIE (IPSL), PARIS, FRANCE
- 7 National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

Como parte de los instrumentos incluidos en el container que se desplazó a la ciudad de Río Gallegos y dentro del marco de la campaña SOLAR, se desarrollaron dos sistemas lidar, presentándose los resultados obtenidos a partir de mediciones recientes realizadas en el sitio experimental del CEILAP. El primero de ellos es uno de absorción diferencial para la medición de la capa de ozono estratosférico, al cual se le realizaron algunas mejoras, pudiéndose observar los resultados obtenidos en los últimos meses, comparados con mediciones satelitales y de columna total en el sitio experimental mencionado. También se realizó uno de retrodifusión de 3 longitudes de onda, presentándose los resultados recientemente obtenidos con las mediciones realizadas sobre aerosoles y capa límite. Ambos instrumentos que funcionaron durante un largo periodo de prueba en el sistema definitivo montado en el interior del container, mostraron un comportamiento totalmente satisfactorio.

As part of the instruments included in the shelter that was displaced to Río Gallegos city involved with SOLAR campaign, two lidar systems were constructed. In the present paper we present the results obtained from recently measurements made at CEILAP experimental site. The first one of them is a differential absorption lidar for the measurement of stratospheric ozone layer. Same improvements were made on it and we show the results of measurements in the last month, satellite intercomparisons and total ozone column at the experimental site mentioned. Also a backscatter lidar with three emitted wavelength was made, showing here the last results obtained with this instrument of aerosols and planetary boundary layer. Both instruments working during long test period inside the shelter showed a satisfactory behavior.

Keyword: lidar, ozone profile, aerosol profile, remote sensing;

Palabras Clave: lidar, perfiles de ozono, perfiles de aerosoles, sensado remoto

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas están cambiando la atmósfera de la Tierra. Como hecho notable, el dióxido de carbono, el metano y las concentraciones de clorofluocarbonos se han incrementado. La ilustración más llamativa del desarrollo concurrente de teorías científicas, observaciones e implicaciones sociales del cambio de la atmósfera ha sido el adelgazamiento de la capa protectora de ozono de la Tierra¹.

El primer lugar donde el impacto humano sobre la capa de ozono fue claramente distinguido fue quizás el más inesperado: la Antártida. En 1985 científicos británicos² reportaron una disminución de la capa de ozono durante la primavera antártica del 50% comparada con las mediciones previas a 1970. Este cambio fue mucho más grande que cualquier variación natural en los promedios mensuales para este lugar.

El ozono en la estratosfera es vital para la salud de los seres humanos, los animales y las plantas sobre la Tierra debido a que este absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta emitida por el sol antes que esta alcance la superficie de la tierra. La cantidad de ozono en la estratosfera en cualquier región depende de un delicado balance entre los procesos de destrucción y producción fotoquímicas y el transporte ocasionado por la circulación. Es por ello que un estudio detallado del ozono en la atmósfera requiere de la sinergia entre distintas técnicas de sensado remoto capaces de registrar los diferentes elementos que están relacionados en este balance.

Con el objetivo de contribuir a este propósito, se ha desarrollado en el CEILAP sistemas de sensado remoto activo utilizando como emisores a distintas fuentes de radiación láser. Uno de ellos es un instrumento capaz de medir perfiles de la concentración de ozono en la estratosfera. Este sistema utiliza la técnica Lidar (Light Detection and

* Elian Wolfram. CEILAP, ewolfram@citefa.gov.ar

Ranging)³ de absorción diferencial que consiste en enviar pulsos de radiación láser a la atmósfera y detectar la radiación retrodispersada por las distintas moléculas, en especial por las moléculas de ozono en la estratosfera.

En el año 2004, el CEILAP programó la campaña SOLAR (Stratospheric Ozone Lidar of Argentina) con el objetivo de medir parámetros atmosféricos en una ciudad de la Patagonia argentina.

Los principales objetivos de esta campaña son: 1) Medir **perfiles de ozono estratosféricos** utilizando un sistema lidar de absorción diferencial (DIAL) y analizar el paso de vórtice polar antártico sobre el sur de la Patagonia, 2) Medir **perfiles troposféricos de aerosoles**, usando un sistema lidar de retrodifusión multilongitud de onda, 3) Medir **perfiles troposféricos de vapor de agua** usando un lidar Raman, 4) Obtener mediciones de **radiación UV en superficie** con diferentes radiómetros. Todos estos instrumentos están instalados dentro de un laboratorio móvil que se desarrollo en el CEILAP y que en estos momentos está ubicado en la ciudad de Río Gallegos.

Debido a un requerimiento operativo del instrumento lidar de absorción diferencial de contar con noches despejadas para medir ozono estratosférico, la elección de esta ciudad respondió a un estudio de la cobertura nubosa sobre diferentes

ciudades de la patagonia, correlacionado con la condición de máxima latitud dentro del continente argentino con el objetivo de acercarnos lo más posible a los límites del agujero de ozono⁴.

II DIAL DE OZONO ESTRATORFÉRICO

En esta sección describiremos brevemente los diferentes subsistemas que componen al instrumento DIAL para medir ozono estratosférico. En la figura 1 se muestra el arreglo experimental de este instrumento. La técnica DIAL requiere de la emisión de dos pulsos láser a diferentes longitudes de onda. La radiación absorbida por le ozono es emitida por un láser de excímero de XeCl en 308 nm y la longitud de onda de referencia en emitida por un láser sólido de Nd-YAG en 355 nm (tercera armónica).

Los fotones retrodispersados por las moléculas en la atmósfera son recolectados por cuatro telescopios newtonianos de 50 cm de diámetro cada uno y esta información es transportada hasta un espectrómetro por cuatro fibras ópticas. Allí son separadas las distintas longitudes de onda necesarias para la inversión de la señal y poder obtener los perfiles de concentración de ozono en la estratosfera.

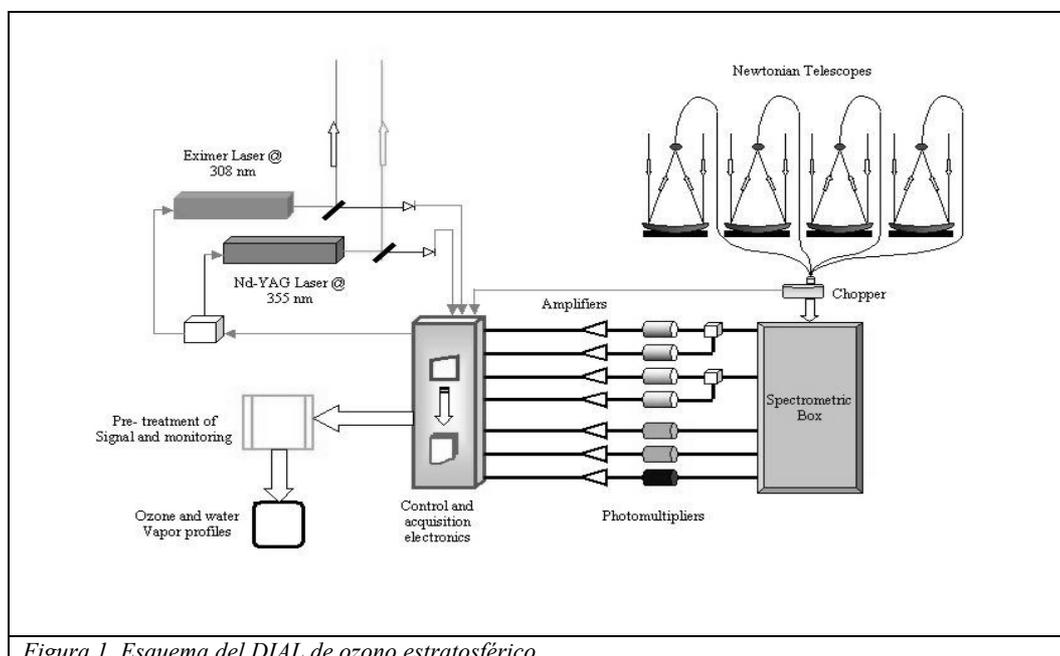
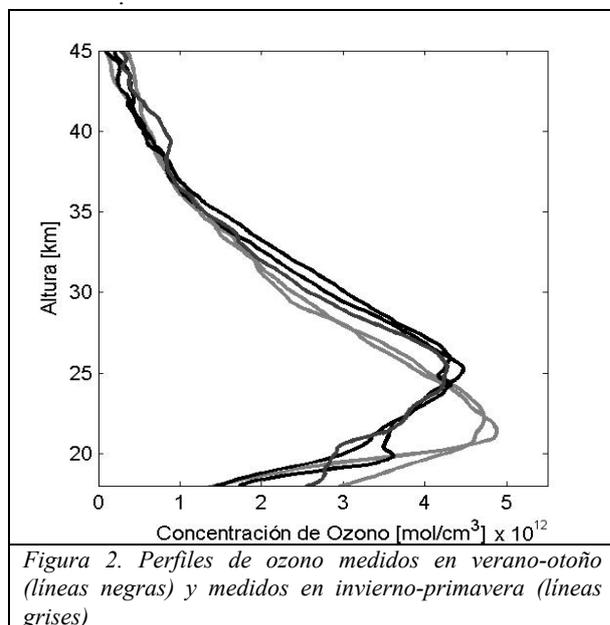


Figura 1. Esquema del DIAL de ozono estratosférico

El sistema DIAL es un instrumento poderoso para el monitoreo de perfiles de ozono⁵ en la estratosfera. Es una técnica autocalibrada ya que en los cálculos de inversión de las señales no intervienen constantes instrumentales. Este instrumento permite medir perfiles de ozono entre los 12 y los 45 km con una resolución espacial en función de la altura comprendida entre los 750 m a 12 km y 3,5 km a 45 km de altura. Una descripción detallada de este instrumento puede encontrarse en la referencia 6.

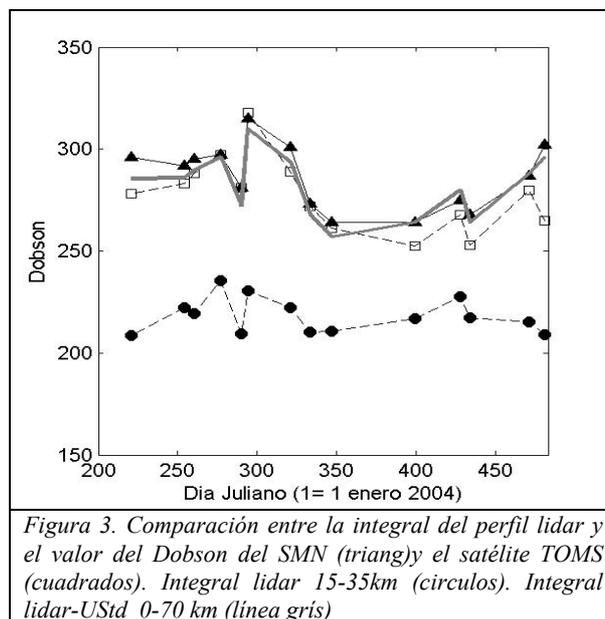
III. MEDICIONES DEL DIAL DE OZONO EN EL CEILAP

Durante el periodo comprendido entre agosto de 2004 hasta abril de 2005, el instrumento DIAL realizó mediciones rutinarias de la concentración de ozono estratosférico en el CEILAP, Villa Martelli. Los resultados de estas mediciones, se muestran en la figura 2, donde podemos observar el comportamiento climatológico típico de la capa de ozono a latitudes medias, las cuales están en acuerdo con mediciones similares realizadas por el grupo lidar en el CEILAP en años previos. Estos resultados coinciden con el balance esperado de la concentración de ozono estratosférico a estas latitudes entre los procesos fotoquímicos de creación y destrucción del ozono y los fenómenos de transportes a latitudes medias

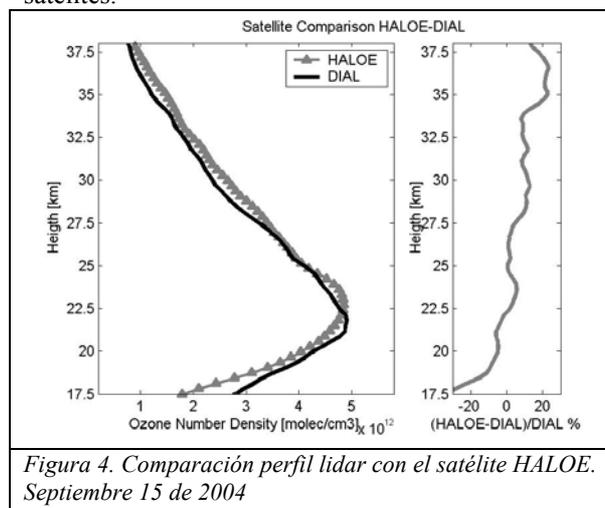


En la misma figura 3 es posible observar la integral de los perfiles lidar, que aporta el contenido de ozono total en unidades Dobson. Este procedimiento se realizó de dos formas: integrando el perfil para el rango dinámico del instrumento (círculos), es decir entre los 15 y los 35 km, y completando el perfil lidar por debajo de los 15 km y por sobre los 35 km con el perfil de ozono climatológico US Standard (línea gris). Los

resultados de la integral se compararon con los valores medidos por el radiómetro Dobson perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional ubicado en Villa Ortúzar, Cap. Federal (triángulos) y los valores de columna total medidos por el satélite TOMS (cuadrados). Como es posible ver en esta comparación la integral lidar-USStd sigue adecuadamente las variaciones diarias producidas por el radiómetro Dobson de columna total. Asimismo, la comparación de la integral del perfil lidar entre 15 y 35 km con el radiómetro Dobson, muestra que las variaciones diarias de la integral se deben a las variaciones de la concentración de ozono producidas en la estratosfera, precisamente dentro del rango dinámico de medición del lidar de absorción diferencial.



Las mediciones realizadas por este instrumento fueron inter-comparadas con diferentes satélites.



En septiembre 15 de 2004, el perfil de concentración de ozono medido por el DIAL en el CEILAP (34,5 S, 58,5 O) fue comparado el perfil de

ozono medido por el satélite HALOE sobre la latitud 34,4° S y la longitud 58,6° O (Figura 4, izq.) El error relativo entre las mediciones de los dos instrumentos es menor al 10% entre los 18 y 34 km incrementándose levemente más allá de los 34 km (Figura 4, der.)

La Figura 5 muestra la inter-comparación del perfil DIAL con el satélite SAGE II. Esta inter-comparación corresponde al 16 de octubre de 2004 y el perfil medido por este satélite para este día estuvo centrado el 32,8° de latitud sur, y 49,6° de longitud oeste. En esta figura puede apreciarse un importante acuerdo entre los dos instrumentos con un error relativo menor al 20% entre los 18 y los 38 km.

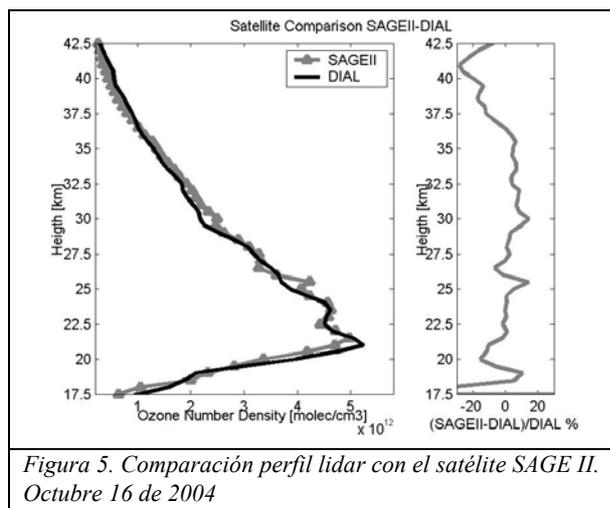


Figura 5. Comparación perfil lidar con el satélite SAGE II. Octubre 16 de 2004

IV. LIDAR MULTILONGITUD DE ONDA PARA MEDICIÓN DE AEROSOLES

Con el fin de obtener perfiles de extinción y retrodifusión de aerosoles, se ha desarrollado en el CEILAP un lidar de retrodifusión de multilongitud de onda que a su vez permite monitorear la evolución de la capa límite atmosférica y el sensado de cirrus. Este sistema fue diseñado para el estudio de la tropósfera desde los 300 m hasta los 13,5 km permitiendo El sistema emisor está basado en un láser sólido Nd:YAG (Quantel) de 30 Hz de repetición. La longitud de onda fundamental es 1064 nm generándose además la primera y segunda armónica, 532 nm y 355 nm respectivamente, lo que permite obtener información en las tres longitudes de onda simultáneamente con una resolución temporal de 10 s y espacial de 6 m. El sistema receptor está formado por un telescopio newtoniano de 1 m de distancia focal y 50 cm de diámetro, y en su foco se coloca una fibra óptica de 1 mm de diámetro que transporta la información luminosa colectada a una caja espectrométrica para separar las diferentes longitudes de onda. Por medio de dos fotomultiplicadores Hamamatsu 6780 – 03 (355 nm y 532 nm) y un fotodiodo de avalancha Licel (Si-APD) (1064 nm) se convierte la señal luminosa en una señal eléctrica que es digitalizada por una placa GPIB⁷.

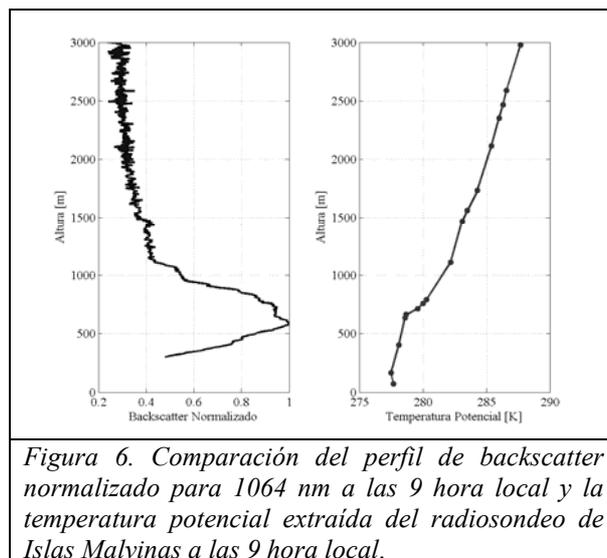


Figura 6. Comparación del perfil de backscatter normalizado para 1064 nm a las 9 hora local y la temperatura potencial extraída del radiosondeo de Islas Malvinas a las 9 hora local.

En la Figura 6 se puede observar una comparación entre un perfil de backscatter normalizado para 1064 nm medido en Río Gallegos y la temperatura potencial extraída del radiosondeo de Islas Malvinas a la misma hora. Se puede ver que a pesar de la distancia entre el sistema lidar y el sitio donde se midió el radiosondeo, los quiebres en el perfil de temperatura potencial son reflejados en perfil de backscatter marcando de esta manera para ambas mediciones la misma la altura de capa límite, la zona de “entrainment” y la capa residual nocturna. En la Figura 7 se puede ver la evolución de la capa límite atmosférica, la zona de “entrainment”⁸ y la capa límite residual en las primeras horas del día. También se pueden observar finas capas de aerosoles durante las primeras horas del día entre los 1000 y 2000 m.

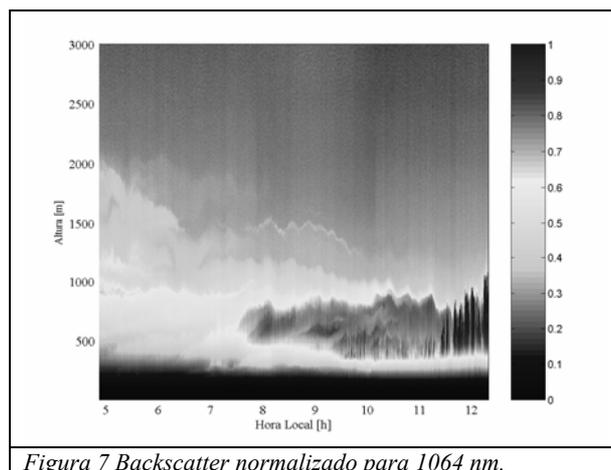


Figura 7 Backscatter normalizado para 1064 nm.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se describen dos de los sistemas lidar involucrados en la campaña SOLAR, y los primeros resultados de las mediciones con los mismos. Como test del lidar de absorción diferencial se realizaron mediciones típicas de perfiles de ozono en el CEILAP durante el periodo agosto de 2004 -

abril de 2005, las cuales están en acuerdo con el comportamiento esperado de los perfiles de ozono en latitudes medias, observando un pico de concentración máximo alrededor de los 23 km para los perfiles de finales del invierno - principios de primavera y de 25 km para los perfiles de finales de verano principios de primavera. La integral de los perfiles lidar completadas con los perfiles del US Std. se compararon con el radiómetro Dobson de Villa Ortúzar, pudiéndose observar que las variaciones en el contenido total de la capa de ozono se producen mayoritariamente dentro del rango dinámico del DIAL (14 -35 km).

Las primeras inter comparaciones de este instrumento con satélites, en particular con el HALOE y el SAGE II son presentadas. Los resultados muestran un acuerdo aceptable dentro de los errores de los respectivos instrumentos en el rango de interés de las mediciones de ozono estratosférico.

También se presentan en este trabajo las primeras mediciones del lidar multilongitud de onda instalado en Río Gallegos. La comparación de un perfil de retrodispersión con la correspondiente temperatura potencial muestran un comportamiento satisfactorio del monitoreo de la capa límite atmosférica y su evolución temporal durante el día.

La campaña SOLAR está prevista hasta finales del 2006 con dos períodos de mediciones intensivas entre agosto y diciembre de cada año.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la JICA (Japan International Cooperation Agency) por el financiamiento de la campaña SOLAR. Al CNRS por la donación del container y parte de la electrónica, y a la UTN y la UNSAM por las becas de algunos de los integrantes del grupo Lidar del CEILAP, que intervienen en la campaña. Agradecemos a Dr. Pat McCormick por

facilitarnos los perfiles del SAGEII.

Referencias

1. World Meteorological Organization, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring project, Report N 44, Genova 1999
2. Farman, J. C., B. G. Gardiner, J. D. Shanklin, Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction, *Nature*, 315,207-210,1985
3. Megie, G., Menzies, R. T. Complementary of UV and IR Differential Absorption Lidar for global measurements of atmospheric species. *Appl. Opt.*, 19, 1173 (1980).
4. Wolfram, E., B. Milicic, A. Pazmiño, O. Bonfili, J. Salvador, J. Pallotta, H. Nakane, S. Godin-Beekmann, E. Quel, ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA CAMPAÑA SOLAR PARA LA MEDICIÓN DE OZONO ESTRATOSFÉRICO UTILIZANDO LÁSER EN RÍO GALLEGOS: Presented at Congremet IX, October 3-7, 2005, Buenos Aires, A
5. Godin, S. Etude expérimentale par télédétection laser et modélisation de la distribution verticale d'ozone dans la Haute Province, Thèse d'Etat, Paris (1987).
6. Wolfram, E., Pazmiño, A., Otero, L., Salvador, J., Piacentini, R., Porteneuve, J., Godin-Beekmann, S., Quel, E. Stratospheric ozone lidar mobile system at Buenos Aires, Argentina. Reviewed and Revised Papers Presented at the 22nd International Laser Radar Conference (ILRC 2004), ESA, SP-561 Vol. II. Matera - Italia. ISBN 92-9092- Julio 2004. Pags. 589-592.
7. Otero, L., P. Ristori, J. Fochesatto, E. Wolfram, J. Porteneuve, P. H. Flamant, E. Quel. First Aerosol Measurements With A Multiwavelength Lidar System at Buenos Aires, Argentina. 22nd International Laser Radar Conference, Matera, Italia, ESA SP 561, Vol II, ISBN 92-9092 // ISSN 0379-6566, 769- 772, 2004.
8. Stull, R. "An Introduction to Boundary Layer Meteorology". Kluwer Academic Publisher. (1994).