m_amte.UDCM.REGISTRO UFFICIALE.U.0004077.20-02-2023

Doc XXVII, n. 5

Il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Stimato Presidente,

ai sensi dell'articolo 13, comma 1, della legge 28 dicembre 1993, n. 549, mi pregio di trasmettere la Relazione sull'attività di monitoraggio dei livelli di ozono stratosferico e della radiazione ultravioletta al suolo.

L'occasione è gradita per inviare i migliori saluti.

On. Gilberto Pichetto ~~Fratin~~

Al Presidente della Camera dei deputati
Onorevole Lorenzo FONTANA

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

Il Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

di concerto con

il Ministro della Salute

e con

il Ministro dell'Università e della Ricerca

Relazione sull'attività di monitoraggio dei livelli di ozono stratosferico e della radiazione ultravioletta al suolo

(Articolo 13, della legge 28 dicembre 1993, n. 549, "*Misure a tutela dell'ozono stratosferico e dell'ambiente*").

Al fine di ottemperare all'obbligo previsto dall'articolo 13, comma 1, della Legge 28 dicembre 1993 n. 549 e s.m.i., nel 2021 è proseguito il monitoraggio dei livelli di ozono stratosferico e della radiazione ultravioletta (UV) al suolo.

Come noto, la diminuzione dell'ozono stratosferico che si è verificata negli ultimi decenni è stata causata dall'aumento del contenuto di cloro, fluoro e bromo nella stratosfera originati dall'uso di sostanze ozono lesive (Ozone Depleting Substances - ODSs). A seguito dell'adozione delle misure previste da trattati internazionali (Convenzione di Vienna, 1985, e relativo Protocollo di Montreal, 1987), il contenuto di ODSs in atmosfera, dopo aver raggiunto i massimi livelli nel 1993 e nel 1997, rispettivamente per il cloro e il bromo, sta lentamente diminuendo (circa −0.02 ppbv per anno) e si prevede che questi livelli ritornino ai valori del 1980, cioè prima della scoperta del buco dell'ozono antartico, verso la metà di questo secolo. Tuttavia, si prevede che i cambiamenti climatici dovuti all'aumento dei livelli di gas serra nell'atmosfera, modificheranno il tasso di recupero dell'ozono e quindi l'evoluzione successiva del contenuto di ozono stratosferico. Molto probabilmente questo effetto, nella stratosfera, è diverso alle diverse quote e latitudini. Infatti, le evidenze scientifiche (Special Issue "Ozone Depletion and Climate Change", Atmosphere, ISSN 2073-4433, 2014)

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

suggeriscono di continuare a monitorare le possibili interazioni tra cambiamenti climatici e evoluzione storica del contenuto di ozono stratosferico e colonnare.

I modelli che accoppiano i processi chimici, quelli dinamici e climatici (CCM) hanno permesso di capire in dettaglio le interconnessioni tra la fotochimica dell'ozono e i processi radiativi e dinamici nella media atmosfera. Inoltre si è evidenziato che la variazione di ozono stratosferico ha un notevole impatto sui tassi di riscaldamento e sulla circolazione stratosferica, ed è pure evidente che il concomitante aumento dei gas serra raffredda la stratosfera e quindi rallenta l'efficienza delle reazioni di chimica omogenea che distruggono l'ozono nell'alta stratosfera.

Comunque, i recenti segnali del recupero del contenuto di ozono stratosferico non sono ancora molto chiari, e necessitano di ulteriori indagini ed analisi, e ciò include il mantenimento di una potenzialità osservativa, da satellite, ma anche con ozonosonde su pallone. L'ampiezza e la significatività del segnale di recupero del contenuto di ozono e soprattutto della sua indeterminazione dipendono fortemente dalle misure utilizzate negli studi, dalla loro qualità, stabilità e continuità temporale.

Attraverso il monitoraggio dell'ozono stratosferico è stato evidenziato un recupero del contenuto di ozono, in generale, nell'alta stratosfera e alle medie latitudini di circa +5% per decade.

Occorre tuttavia tener presente delle possibili interazioni tra cambiamenti climatici ed evoluzione storica del contenuto di ozono stratosferico e colonnare. Infatti, gli effetti del riscaldamento in troposfera e del raffreddamento stratosferico indotto dai gas serra rende meno efficace, soprattutto per l'istaurarsi di particolari regimi dinamici, il ripristino dei livelli di ozono dovuto alle diminuite emissioni di ODS.

Il monitoraggio del profilo verticale della concentrazione dell'ozono atmosferico, mediante sondaggi con sensori avanzati su palloni meteorologici, si è rilevato essenziale per lo studio dei trends multi-annuali del contenuto di ozono colonnare in stratosfera sulla penisola italiana.

L'analisi multi annuale del database disponibile (a copertura omogenea del periodo 1999-maggio 2022), permette un'analisi delle tendenze del contenuto di ozono nella troposfera e nella stratosfera terrestre.

I risultati delle attività di simulazione numerico-modellistica SPARC-CCMI sono stati utilizzati per illustrare meglio i meccanismi chimici e fisici che regolano le variazioni del contenuto di ozono nell'atmosfera alle medie latitudini. I trends del contenuto di ozono, statisticamente più significativi, nelle serie temporali delle osservazioni effettuate presso l'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

indicano un recupero del contenuto di ozono verso le situazioni pre-CFCs, statisticamente significativo, entro una deviazione standard, nella media/alta stratosfera e nella media/alta troposfera.

A questi scenari si aggiunge la provata incidenza di episodiche emissioni di triclorofluorometano (CFC-11, uno dei composti più importanti delle ODSs) in specifiche localizzazioni geografiche [Report on the Unexpected Emissions of CFC-11, Ozone Research and Monitoring, WMO-No. 1268, © World Meteorological Organization, 2021.].

Le emissioni globali di CFC-11 sarebbero dovute diminuire costantemente dopo il 2010 grazie all'eliminazione graduale della produzione e del consumo di CFCs (vedi Figura 1, area con ombreggiatura in blu, bank estimate emissions); tuttavia, si è osservato che le emissioni di CFC-11 hanno iniziato ad aumentare nel 2013 e sono state alte dal 2014 al 2018 (Figura 1, linea viola, emissions from observations).

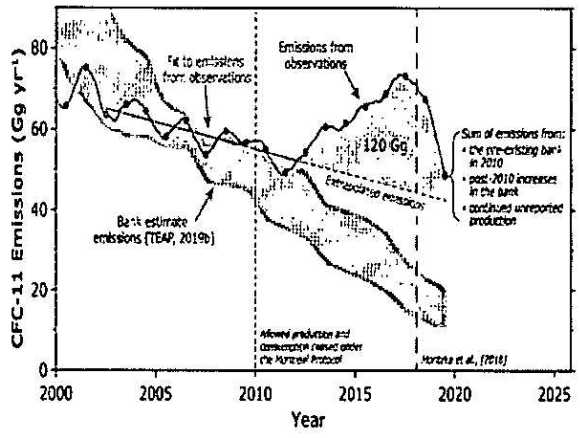

Figura 1 [Tratta Report on the Unexpected Emissions of CFC-11, Ozone Research and Monitoring, WMO-No. 1268]. Stima delle emissioni in atmosfera di CFC-11

Dopo la pubblicazione dell'evidenza di questo aumento si è registrato una diminuzione delle stesse, una parte importante dell'aumento di CFC-11 in atmosfera è stata localizzata in Cina orientale.

Gli aumenti delle emissioni osservati fino ad oggi sono abbastanza piccoli da non avere un impatto importante sul contenuto totale di CFC-11 atmosferico, e quindi non avranno un impatto rilevante sull'ozono stratosferico; però nell'immediato futuro potrebbero esserci altri aumenti delle emissioni. Gli andamenti di recupero nell'alta stratosfera sono ben documentati nei rapporti WMO più recenti.

Il recupero dei livelli di ozono come detto, è iniziato in concomitanza con la diminuzione dell'immissione in atmosfera dei composti di Bromo e Cloro, ma anche dal raffreddamento della stratosfera indotto dall'aumento dei gas serra, che ha rallentato l'efficienza dei processi chimici che distruggono l'ozono stratosferico.

Ad ogni buon conto, a medie latitudini, l'aumento del contenuto di ozono nella troposfera media è regolato anche dal rafforzamento della circolazione Brewer-Dobson, che trasporta più ozono dai tropici alle regioni extratropicali, ed alimenta gli scambi di aria tra parte bassa della stratosfera e

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

alta/media troposfera; questo effetto è solo in parte compensato dalla perdita di ozono associata all'aumento di H2O dovuto alla variazione positiva delle temperature media. La diminuzione di ozono osservata nella bassa stratosfera non ha una ben delineata validità statistica.

L'operatività dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS ha permesso il monitoraggio in tempo reale anche di eventi sporadici come la diffusione sul continente europeo di masse d'aria di origine piroclastica, oppure i casi di intrusione di aria proveniente da alte latitudini, ovvero di aria stratosferica polare povera di ozono, in periodo primaverile, allo studio con tutte le capacità osservative per stabilirne l'incidenza e valutarne la ricorrenza.

Si riporta di seguito un dettaglio tecnico-scientifico delle attività svolte e l'analisi dei dati ottenuti dalle osservazioni condotte fino al maggio 2022.

Ozono-sondaggi

Durante il 2019, il 2020, il 2021 e il periodo gennaio – maggio 2022 presso l'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS, sono continuate le attività di monitoraggio dell'ozono stratosferico con il Vaisala Digicora® sounding system, e i sensori elettrochimici per l'ozono ECC-6A della Science Pump Corporation®, e i sensori digitali RS92-SGP per temperatura, pressione, umidità relativa e venti. Gli ozono-sondaggi effettuati sono stati 67, e 65 hanno superato i criteri di qualità del dato sperimentale, tra i quali, quelli da essere necessariamente soddisfatti sono: - altezza massima del pallone superiore ai 25 km sul livello del mare (s.l.m.); - errori sulla misura di temperatura (T), pressione (P) e pressione parziale di ozono (PO3) inferiori al 10% a tutte le quote. La verifica di qualità dei dati è fatta in tempo reale, cioè appena dopo la realizzazione del sondaggio, e dopo il controllo, i dati sono subito disponibile in forma grafica presso:

http://cetemps.aquila.infn.it/osservatorio/Ozone_soundings_plots/

http://cetemps.aquila.infn.it/osservatorio/Ozone_soundings_kmz_files/

[per il periodo 1994-*2022 maggio incluso]*.

Rispetto ad altre tecniche di osservazione, gli ozono-sondaggi sono caratterizzati da una più alta risoluzione verticale (circa 0.1 km), e se basate sulla tecnica della cella elettrochimica con soluzione di ioduro di potassio, che si ossida quando al suo interno passa aria con ozono, l'incertezza della misura è circa ±5÷10%.

La procedura di controllo qualità dei dati è stata applicata in maniera retroattiva a tutto il database di ozono-sondaggi e radiosondaggi dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS. Questo ha

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

permesso di costituire una collezione di qualità dei profili verticali della concentrazione di ozono, ma anche di altri parametri atmosferici: temperatura, pressione, umidità relativa, intensità e direzione dei *venti, unica, in* Italia, per estensione temporale (1994 – maggio 2022), e pronta per utilizzi scientifici e per le valutazioni sullo stato dell'ozono stratosferico, così come richiesto dalle leggi vigenti.

Nel periodo 1994 - maggio 2022 sono disponibili 360 ozono-sondaggi, di maggiore omogeneità sono le 346 osservazioni nel periodo 2000 - maggio 2022.

Per testare ulteriormente l'accuratezza dei sensori e delle procedure degli ozono-sondaggi sono state progettate e realizzate campagna di misure intensive: nel periodo 12-16 giugno 2018; 26-30 aprile 2020, e 2 febbraio 2022, con sondaggi cadenzati su scala oraria e giornaliera. L'analisi dei profili di ozono misurati durante le campagne intensive di misura ha generato una serie di evidenze riguardo la qualità delle misure:

- il profilo di concentrazione di ozono è misurato con una risoluzione verticale di circa 30 m, dal suolo alla medio-alta atmosfera;

- le precisioni tipiche dei sensori di pressione, temperatura e umidità relativa sono inferiori rispettivamente a 0.5 hPa, 0.3 K e 2%;

- il profilo di pressione parziale di ozono presenta un'indeterminazione tra il 4 e il 10% nella troposfera e circa il 4% nel intervallo di quote tra i livelli di pressione di 100 e 10 hPa (stratosfera);

- l'effetto di tutte le indeterminazioni, inclusi gli errori sistematici, aumentano l'errore sulla misura della concentrazione di ozono a circa il ± 12% (le procedure di stima sono descritte in Komhyr et al., 1995, Witte et al., 2018 e Van Malderen et al., 2016);

- l'errore sulla colonna totale di ozono è inferiore a 20 DU, circa il 6%.

Referenze

• Komhyr, W. D., Barnes, R. A., Brothers, G. B., Lathrop, J. A., and Opperman, D. P.: Electrochemical concentration cell ozonesonde performance evaluation during STOIC 1989, J. Geophys. Res., 100, 9231–9244, https://doi.org/10.1029/94JD02175, 1995.

• Witte, J.C., A. M. Thompson, H. G. J. Smit, H. Vömel, F. Posny, and R. Stübi, 2018: First reprocessing of Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) profile records: 3. Uncertainty in ozone profile and total column. J. Geophys. Res. Atmos., 123, 3243–3268, https://doi.org/10.1002/2017JD027791, 2018.

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

• Van Malderen, R., et al., On instrumental errors and related correction strategies of ozonesondes: possible effect on calculated ozone trends for the nearby sites Uccle and De Bilt, Atmos. Meas. Tech., 9, 3793–3816, doi: 10.5194/amt-9-3793-2016 (2016).

Misura della radiazione UVA e UVB al suolo

Nel periodo precedente a giugno 2016, per il monitoraggio della radiazione UVA e UVB al suolo sono stati usati i piranometri Model UVB-1 e Model UVA-1 della Yankee Environmental System®, e da febbraio 2018 sono state installati nuovi sistemi SUV-A UVA, SUV-B UVB e SUV-E UVE che sono radiometri della Kipp&Zonen®. I nuovi sensori hanno operato in maniera automatica e forniscono dati che saranno pubblicati (in formato protetto) su una apposita piattaforma web con un "bollettino UV" giornaliero, pubblico e in tempo reale. Infatti è disponibile il dato UV-E, cioè la radianza UV pesata per la sensibilità tipica della cute umana. I sensori sono stati ri-calibrati a maggio 2019 e gennaio 2021.

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

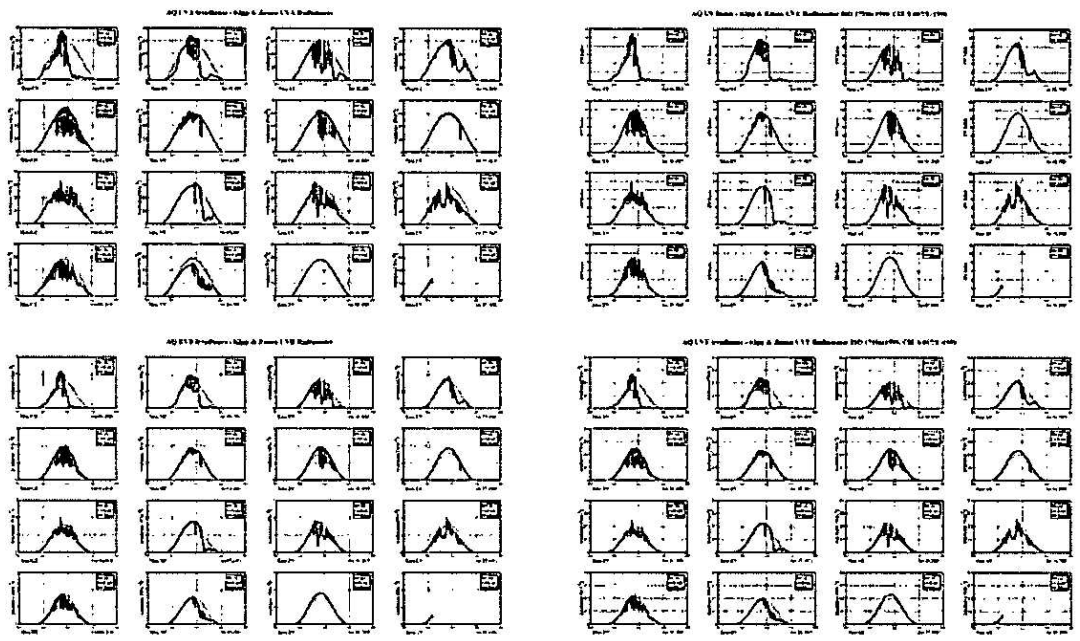

Figura 2. I profili (media mobile a 10 s, curva blu, e a 30 min, curva rossa) di **UVA, UVB, UVE e UV index** per ogni giorno nel periodo 8 – 6 giugno 2021. Gli andamenti sono modulati dall'angolo zenitale del sole e dalla copertura nuvolosa. Per UVA, UVB e UVE è indicata in giallo anche la curva (E-sid) dei valori aspettati per localizzazione geografica e periodo dell'anno in caso di cielo sereno.

In Figura 2 è mostrato il risultato tipico del monitoraggio giornaliero di, UVA, UVB, UVE e UV index orario nel periodo 8 – 23 giugno 2021.

Occorre ricordare che tutte le osservazioni mediante ozono-sondaggi del profilo verticale del contenuto di ozono e della radiazione UV-A e UV-B al suolo con piranometri calibrati, sono effettuate dalla e nella locazione geografica dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS:

[latitudine 42°22'58.92"N, longitudine 13°18'53.09"E, 683 m s.l.m.] per gli ozonosondaggi;

e [latitudine 42°22'06.01"N, longitudine 13°21'01.38"E, 662 m s.l.m.] per i sensori UV;

a rappresentare la situazione dell'atmosfera su tutto il centro Italia, ovvero nella porzione di atmosfera contenuta in un cilindro con diametro di circa 500 km, altezza di circa 30 km e centrato sulla città dell'Aquila.

Misura dello spessore ottico degli aerosol

Le informazioni relative allo spessore ottico degli aerosol sono riportate nel seguente sito (dati del mese di giugno 2022):

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/data_display_aod_v3?site=LAQUILA_Coppito&nachal=0&year=2022&month=6&aero_water=0&level=2&if_day=0&if_err=0&place_code=10&year_or_month=0 dove sono disponibili tutte le osservazioni del fotometro solare dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS.

Questo database, che si sovrappone agli ozono-sondaggi a partire dal maggio 2014, risulta importante per tener conto degli effetti radiativi degli aerosol atmosferici sul contenuto di ozono, in particolare nell'alta troposfera. Il fotometro solare è in fase di upgrade con l'installazione di un altro fotometro in grado di estendere la capacità osservativa al periodo notturno (in presenza di almeno una frazione del 14% di luminosità lunare).

Il primo passo è stato quello di inserire il nuovo fotometro nel programma Trans-National Access (TNA) under ACTRIS IMP (https://www.actris.eu/) per poter far uso delle infrastrutture scientifiche (CARS-ASP-FR) di calibrazione e validazione dello strumento. Dopo la sottomissione della proposta 'Lunar-Sky-Solar Photometer CALIBRATION within the italian Potenziamento della componente italiana della Infrastruttura di Ricerca Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure PER-ACTRIS-IT - PIR01_0001', in marzo 2021 c'è stata la valutazione positiva, e sono in corso le operazioni tecniche per la calibrazione, validazione e installazione del nuovo fotometro.

Analisi dati: profili verticali di ozono, ozono colonnare e trends, ozono colonnare e UV

Climatologia profili di ozono

Nella Figura 3 è mostrata la serie dei profili medi mensili della pressione parziale di ozono (in mPa) dal livello della stazione di lancio (683 m) a 30000 m, i profili sono ottenuti mediando per ogni mese gli ozono-sondaggi nel periodo 1994 – maggio 2022 (incluso).

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

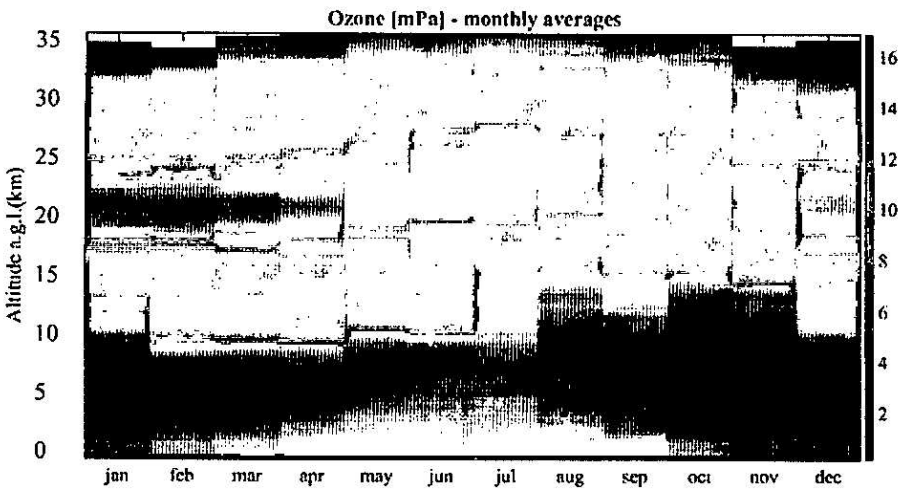

Figura 3. I profili medi mensili (ozono-sondaggi nel periodo 1994 – maggio 2022) della pressione parziale di ozono. La risoluzione in quota è di 250 m. Le barre orizzontali indicano la deviazione standard associata al valore medio.

Nella distribuzione in quota e stagionale del contenuto di ozono sono evidenti:

- alcune peculiarità riconducibili all'interazione ozono - radiazione solare ultravioletta nella regione tra 16 km e 25 km;
- e altre caratteristiche legate a effetti di trasporto di masse d'aria, tipici dell'alta troposfera e della bassa stratosfera, tra 10 km e 15 km;
- nella bassa troposfera il contenuto di ozono è correlato direttamente con la radiazione solare che raggiunge il suolo.

Le prime particolarità sono la posizione del massimo del contenuto di ozono e il suo valore a seconda delle stagioni: posizione massimo a quote basse e valore del massimo più alto a fine inverno, l'inverso in tarda estate; questo è il frutto del ciclo stagionale della radiazione solare e dell'inerzia chimica ovvero dell'efficienza ritardata dei meccanismi che producono e distruggono l'ozono stratosferico.

Gli effetti dovuti al trasporto atmosferico si manifestano in marzo e aprile e sono delle intrusioni, a quote intorno ai 12 km, di aria più ricca di ozono e proveniente dalla stratosfera e da alte latitudini; lo studio di questi processi è utile anche per la stima e l'analisi dei trends storici del contenuto di ozono stratosferico.

Infine, nella regione al di sotto dei 5 km, il contenuto di ozono risponde direttamente all'intensità del flusso di radiazione solare: massimo nei pressi del solstizio d'estate e minimo vicino al solstizio invernale.

Grazie all'estensione temporale e alla qualità della base dati dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS, i profili del contenuto di ozono mensile medio costituiscono il riferimento climatico ideale per valutare le variazioni e i discostamenti dei singoli ozono-sondaggi rispetto ai valori climatici medi, e questo è il primo passo per isolare eventuali trends temporali su scala multi-annuale del contenuto di ozono nell'atmosfera media che insiste sul centro Italia.

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

Trends dell'ozono troposferico e stratosferico

Questa analisi è condotta confrontando i risultati delle osservazioni dell'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS con i risultati di altre stazioni di monitoraggio dell'ozono stratosferico con ozono-sonde a sensori elettrochimici alle medie latitudini. I trend lineari del contenuto di ozono sono stati valutati in differenti strati dell'atmosfera: dallo strato limite planetario all'alta stratosfera, e sono direttamente confrontabili con i risultati dei modelli per differenti scenari dell'evoluzione delle emissioni di ODSs e/o di CO2.

In particolare si è studiato il recente passato alle medie latitudini e si è cercato di ricavare le cause dei trends usando anche le simulazioni degli scambi stratosfera-troposfera, e della forzante radiativa indotta dai gas serra.

I risultati dell'analisi degli ozono-sondaggi condotti all'Aquila nel periodo dal 2000 al 2021 con incluso i sondaggi di gennaio – maggio 2022 sono illustrati in Figura 4, in termini di profili verticali medi dei valori parziali del contenuto colonnare di ozono (Dobson Unit, DU) in funzione della quota. In Figura 4a) la variabilità (zona ombreggiata in rosso) è definita come una deviazione standard della media temporale delle 9 stazioni rappresentative delle medie latitudini (la linea rossa indica i profili verticali medi ottenuti dai dati delle stazioni di Boulder, Hohenpeissenberg, Legionowo, Madrid, Payerne, Prague, Sapporo, Tsukuba, Wallop), e la linea nera il profilo verticale medio relativo all'Aquila; mentre in Figura 4b) la variabilità indicata rappresenta la deviazione standard dell'insieme di misurazioni di tutte le 9 stazioni: questo è molto più comparabile con la variabilità dei dati dell'Aquila (barre orizzontali). La variabilità più alta nella stratosfera è una conseguenza della minore disponibilità dei dati, poiché non tutte le ozono-sonde raggiungono le quote oltre i 25 km. Per mantenere nella presentazione dei risultati una consistenza con i reports WMO (2014, 2018 e 2022) Scientific Assessment of Ozone Depletion per la valutazione degli andamenti multiannuali nei diversi strati dell'atmosfera misurati presso l'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS è stata applicata una regressione multilineare (MLR) per rimuovere la variabilità naturale dovuta a:

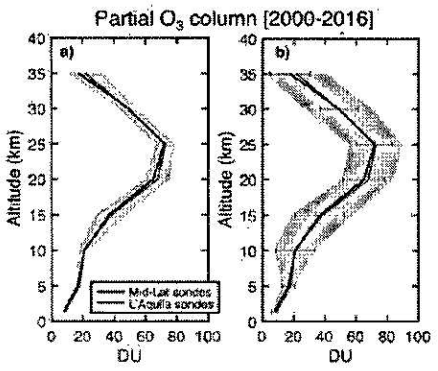

Figura 4. I profili verticali del contenuto colonnare parziale di ozono per gli strati di atmosfera indicate nella Tabella 1; le linee nere si riferiscono ai dati dell'Aquila, quelle rosse ai dati di 9 stazioni a medie latitudini (Boulder, Hohenpeissenberg, Legionowo, Madrid, Payerne, Prague, Sapporo, Tsukuba, Wallop). L'ombreggiatura in rosso nel pannello (a) indica la variabilità del dato medio (±1σ) tra le 9 stazioni mentre in (b) rappresenta la variabilità temporale (±1σ); le barre orizzontali in (b) indicano la variabilità temporale (±1σ) dei dati dell'Aquila.

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

Quasi Biennal Oscillation (QBO);

El Niño Southern Oscillation (ENSO);

il ciclo del sole;

e la variabilità stagionale [APC2020].

Un report degli andamenti dell'ozono alle medie latitudini dell'emisfero Nord (35° N - 60° N), a partire dal 1997 è presente in World Meteorological Organization, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, 2018 e sarà aggiornato a breve in World Meteorological Organization, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022.

Questi andamenti sono ricavati dalla composizione delle osservazioni effettuate con diversi sistemi: satelliti, ozono-sondaggi Lidar, tecnica radiometrica Umkehr, sensori elettrochimici su pallone, etc. e l'utilizzo di regressioni multilineari che tengono conto degli effetti di QBO, ciclo solare, aerosol vulcanici, ENSO. Il confronto tra i trends descritti nei report WMO (distinti per medie latitudini e per tutte le osservazioni), e le risultanze derivate dall'osservazioni dell'Aquila è nella norma.

I risultati sono in coincidenza, in termini di trend positivi o negativi dagli strati di atmosfera più bassi e in tutta la troposfera, c'è una forte differenza nella bassa stratosfera, mentre la diminuzione nella stratosfera media e l'aumento nella stratosfera superiore sembrano essere coerenti con la media di tutte le osservazioni; rimangono grandi le incertezze presenti sia nel profilo corrispondente alle medie latitudini che in quelli dell'Aquila.

I trends del contenuto di ozono totale, statisticamente più significativi, nelle serie temporali delle osservazioni effettuale presso l'Osservatorio Atmosferico di CETEMPS sono:

- (+6.0 ± 4.1) % per decade nella medio/alta stratosfera (tra 22.5 e 27.5 km s.l.m.);

- (+2.5 ± 1.0) % per decade nell'alta troposfera (tra 7.5 e 12.5 km s.l.m.);

- (+5.7 ± 2.7) % per decade nella media troposfera (tra 2.5 e 7.5 km s.l.m.).

Gli andamenti di recupero nell'alta stratosfera sono stati già riportati negli scorsi rapporti, e sono ben documentati anche nei rapporti WMO più recenti; il recupero dei livelli di ozono è iniziato in concomitanza con la diminuzione dei composti di Bromo e Cloro, ma ha avuto influenza anche il raffreddamento della stratosfera indotto dall'aumento dei gas serra, che ha rallentato l'efficienza dei processi chimici che distruggono l'ozono stratosferico.

L'aumento del contenuto di ozono nella troposfera media è regolato principalmente dal rafforzamento della circolazione Brewer-Dobson, che trasporta più ozono dai tropici alle regioni

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN

extratropicali, ed alimenta gli scambi di aria tra parte bassa della stratosfera e alta/media troposfera; questo effetto è solo in parte compensato dalla perdita di ozono associata all'aumento di H2O dovuto all'aumento delle temperature medie.

Tutti i dati raccolti nel periodo oggetto della presente Relazione sono visualizzabili in: **http://cetemps.aquila.infn.it/osservatorio/Ozone_soundings_plots/**

http://cetemps.aquila.infn.it/osservatorio/Ozone_soundings_kmz_files/

Il Ministro dell'ambiente
e della sicurezza energetica

Il Ministro della salute

Il Ministro dell'università
e della ricerca

Camera dei Deputati ARRIVO 21 febbraio 2023 Prot: 2023/0000290/TN