

LA RICERCA SCIENTIFICA A MONTE CIMONE
GAW-WMO Global Station



Ricorre quest'anno, 2024, il ventesimo anniversario del SENTIERO DELL'ATMOSFERA a Monte Cimone, la vetta più elevata dell'Appennino settentrionale. Il SENTIERO, grazie a CNR-ISAC ed alla collaborazione con AM-CAMM e Parchi Emilia Centrale - Parco del Frignano, venne inaugurato nel 2004 in occasione della Giornata Mondiale dell'Ambiente, stabilita nel 1972 dall'ONU e celebrata per la prima volta il 5 giugno del 1974.

Il SENTIERO nacque per far conoscere agli studenti, e successivamente ai turisti, i segreti dell'Atmosfera e del Clima che cambia e dove “nascono” le misure dei composti climalteranti per studiare e meglio comprendere il clima. Ciò è possibile visitando l'Osservatorio climatico Consiglio Nazionale delle Ricerche e la Stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare posti sulla vetta di Monte Cimone.

In queste pagine un sunto delle attività e delle osservazioni condotte dai due enti alla GAW-WMO Global Station.

Sestola, 7-giugno 2024 - Monte Cimone, 8 giugno 2024



LA RICERCA SCIENTIFICA A MONTE CIMONE

GAW-WMO Global Station

Monte Cimone, sulla cui vetta si trova la Stazione meteorologica del Centro Aeronautica Militare di Montagna (CAMM) del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare e l'Osservatorio climatico "Ottavio Vittori" del Consiglio Nazionale delle Ricerche, con i suoi 2165 m è la vetta più elevata dell'Appennino settentrionale. Da essa si gode di un orizzonte completamente libero, a 360°, dal quale si gode la vista di 4/10 del territorio nazionale e questo costituisce uno dei punti di forza delle attività di ricerca scientifica svolte a Monte Cimone, divenuto un punto strategico per le osservazioni atmosferiche. Questa caratteristica permette di ricevere masse d'aria da tutte le direzioni a seconda della circolazione: dall'Atlantico e dal Tirreno, dal Sahara e dal Bacino del Mediterraneo, dalla inquinata Pianura Padana e dall'Europa centrale e orientale. Monte Cimone risulta quindi un sito ottimale per le misure di composizione dell'atmosfera e quindi per lo studio del cambiamento climatico e della qualità dell'aria, così come per le misure meteorologiche.

Per la rilevanza, l'affidabilità e l'accuratezza dei dati rilevati, nonché la molteplicità delle misure condotte, nel 2011 la stazione dell'Aeronautica Militare e del Consiglio Nazionale delle Ricerche "Vittori" poste sulla vetta di Monte Cimone ottengono dal WMO la qualifica di "Stazione globale" nell'ambito del programma *Global Atmosphere Watch del World Meteorological Organization, GAW-WMO*. Monte Cimone diviene una delle nove stazioni globali GAW-WMO al mondo situate in alta quota, l'unica in Italia e nel Bacino del Mediterraneo.

L'obiettivo principale delle attività svolte riguarda lo studio della composizione dell'atmosfera ed i processi che la influenzano, dal trasporto su differenti distanze, alle intrusioni di polveri desertiche dal Sahara o di ozono dalla stratosfera, alla caratterizzazione di forzanti climatiche a vita lunga e breve (*Long e Short Lived Climate Forcers*), alla formazione di nuove particelle, solo per fare un esempio. Questi studi si basano sull'esecuzione di misure eseguite nell'ambito di innumerevoli progetti internazionali e nazionali che ha come riferimento la partecipazione al programma GAW-WMO.

In questo ambito, grande importanza ha la partecipazione, oltre a progetti di ricerca, anche a programmi europei riguardanti le Infrastrutture di ricerca, quali:

ACTRIS *Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure* <http://www.actris.eu/> per misure in continuo di specie a vita breve, come aerosol e gas reattivi;

ICOS *Integrated Carbon Observation System* <http://www.icos-ri.it/>, anche grazie alla collaborazione con il CAMM -AM, per la misura integrata del carbonio, e quindi di anidride carbonica, CO₂;

AGAGE *Advanced Global Atmospheric Gases Experiment* <https://agage.mit.edu/> per la misura in continuo dei gas serra fluorurati e gas dannosi per l'ozono stratosferico.

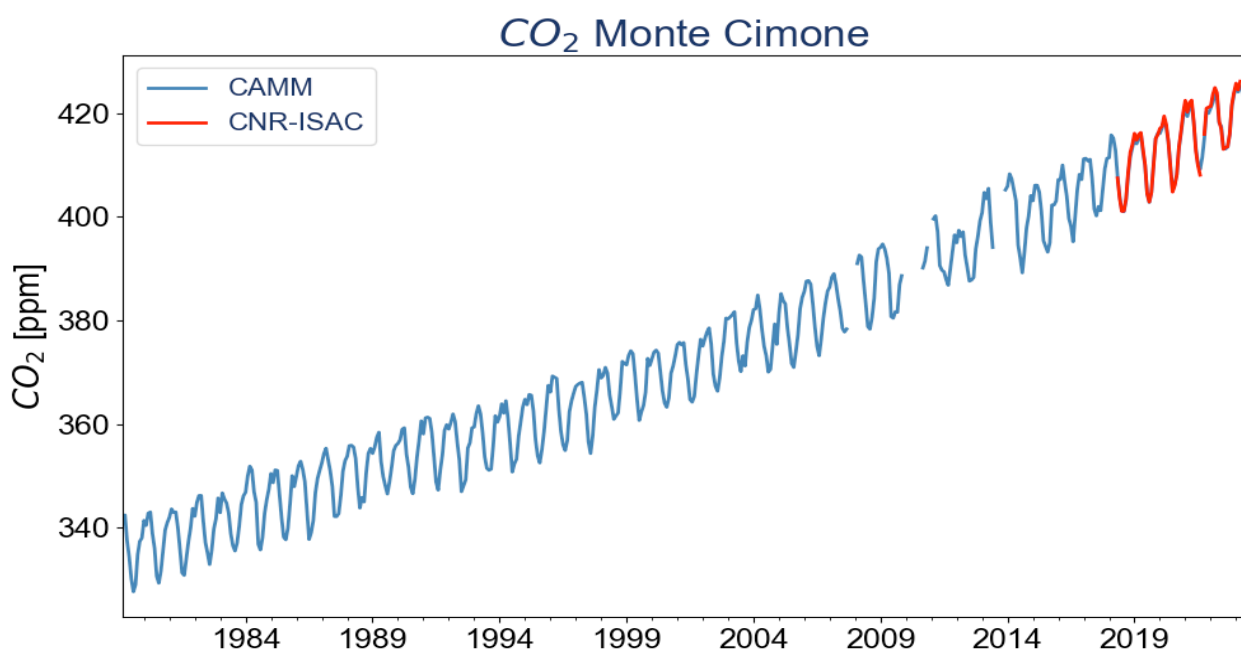
Nei paragrafi che seguono viene data evidenza alle attività di ricerca scientifica, legate alle misure ed osservazioni, condotte a Monte Cimone dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Urbino ed Aeronautica Militare.

1 – COMPOSTI GASSOSI CLIMALTERANTI E REATTIVI

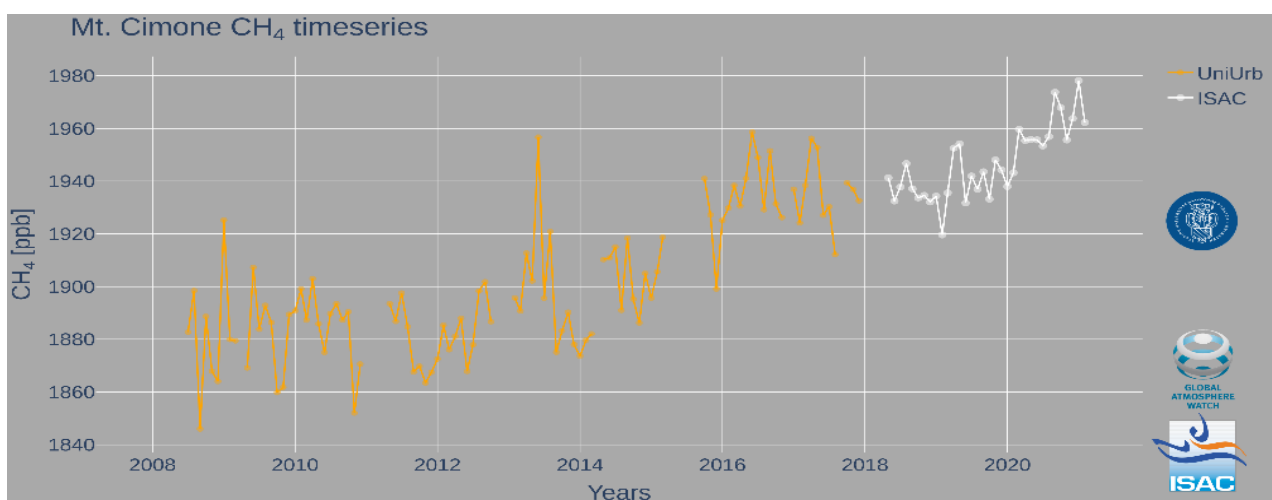
1.1 ANIDRIDE CARBONICA – CO₂, METANO – CH₄, PROTOSSIDO DI AZOTO – N₂O

Sono i tre più importanti gas serra direttamente influenzati dalle attività umane. In funzione dei tempi di residenza in atmosfera, la CO₂ e lo N₂O sono considerati *Long Lived Climate Forcers (LLCF)* mentre il CH₄ un *Short Lived Climate Forcer (SLCF)*.

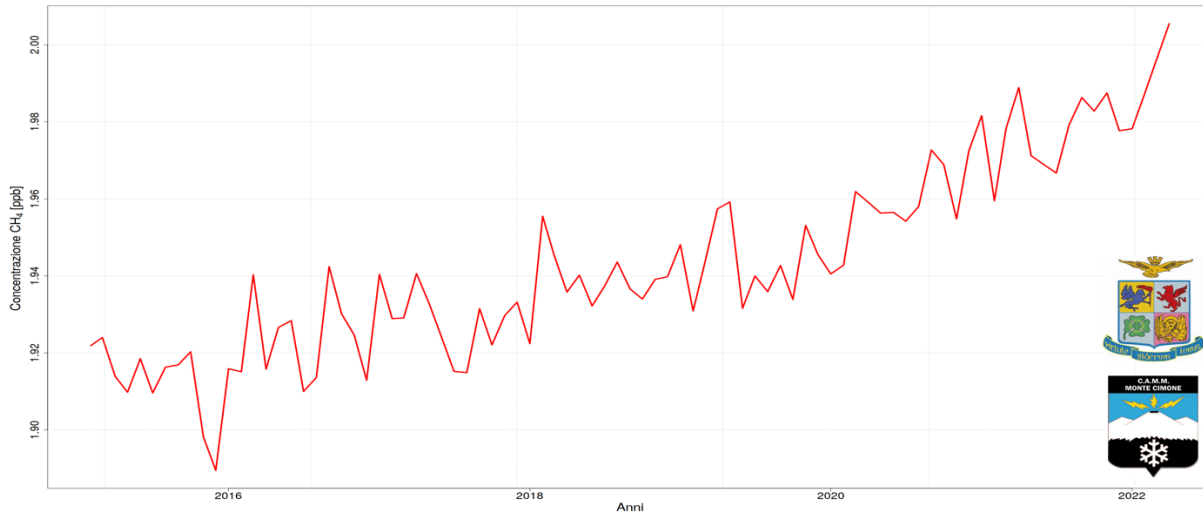
Le osservazioni a Monte Cimone contribuiscono al programma GAW-WMO ed a ICOS - Integrated Carbon Observation System, l'Infrastruttura Europea di riferimento per lo studio del carbonio. In particolari condizioni atmosferiche, le osservazioni eseguite a Monte Cimone sono potenzialmente in grado di caratterizzare le emissioni provenienti dal Nord Italia.



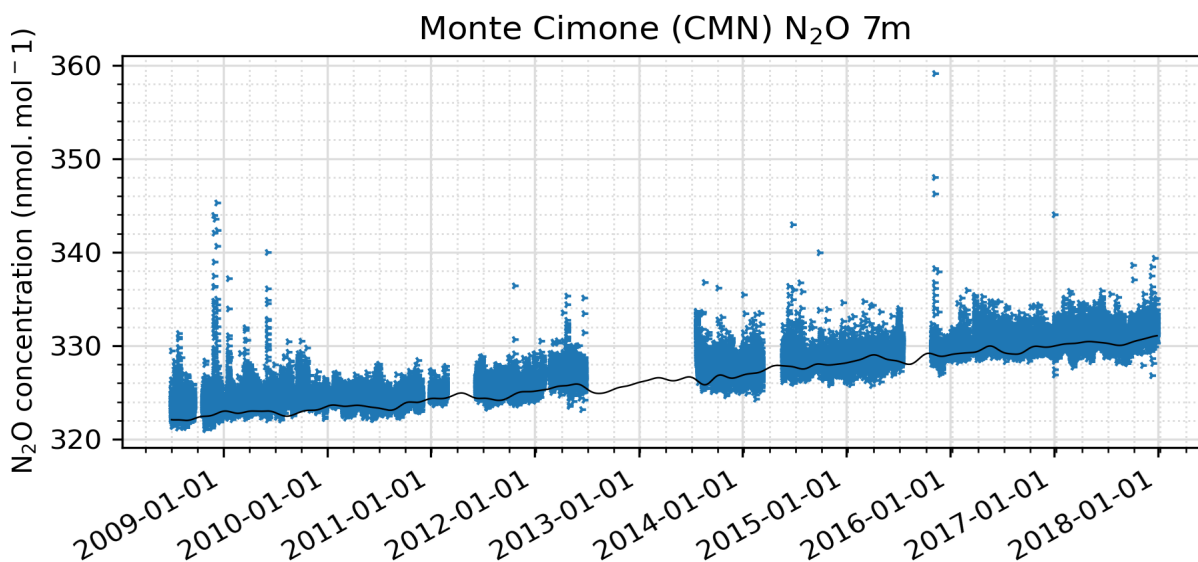
Nella figura sopra le misure di CO₂ dell'AM iniziate nel 1979 e quelle del CNR nel 2018.



Le misure di CH₄ CNR e Università di Urbino iniziarono nel 2009, ed a partire dal 2015 anche il CAMM inizia questo tipo di misure.



Le misure di N₂O dell'Università di Urbino iniziarono nel 2008 e sono state sospese alla fine del 2017. Nella primavera 2024, nell'ambito di ICOS, il CNR ha ripreso a misurare lo N₂O in modo continuativo attraverso la tecnica CRDS.



1.2 OZONO - O₃

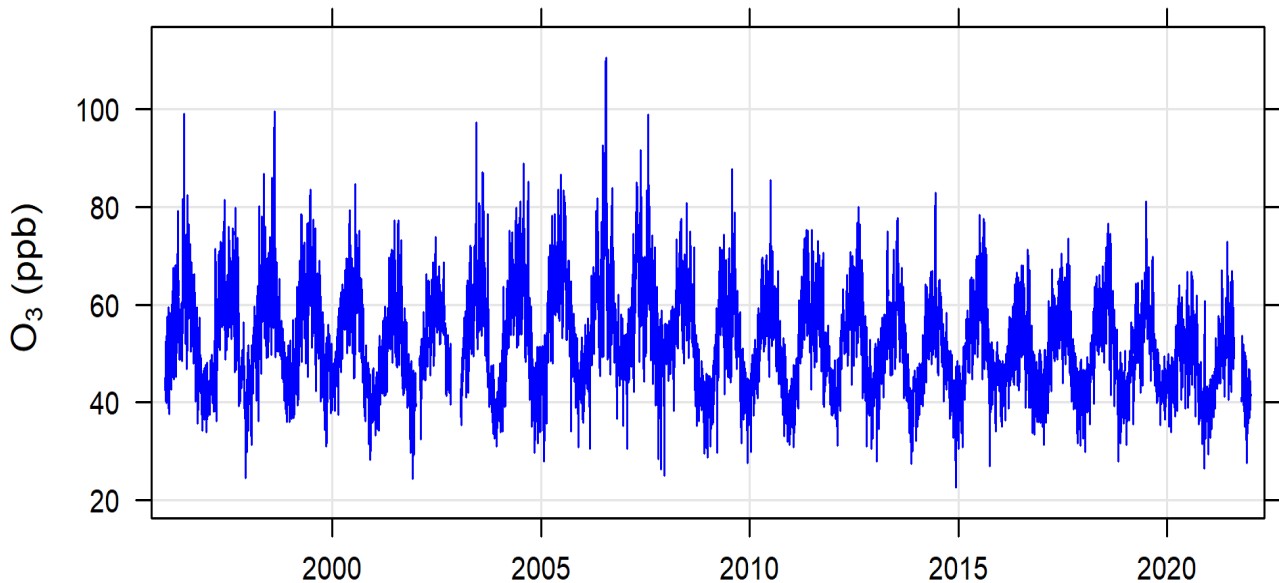
È annoverato fra i composti **Short Live Climate Forcer/Pollutant**, cioè un **gas serra a vita breve ed un inquinante dannoso per la salute e la vegetazione**.

La serie storica di Monte Cimone, con le misure iniziate nel 1996 all'Osservatorio CNR, rappresenta la più lunga serie continua in condizioni di fondo nel bacino del Mediterraneo. I dati sono parte del programma GAW-WMO e contribuiscono al World Data Center for Reactive Gases (WDCRG) ospitato da EBAS – NILU (Norvegia).

Tali dati sono stati usati in numerosi studi sulla valutazione delle tendenze a lungo termine di questo gas e sui processi che ne influenzano la variabilità. Tra questi i **trasporti di masse d'aria inquinate dalla Pianura Padana, i trasporti transfrontalieri di masse d'aria inquinate o i processi di trasporto**

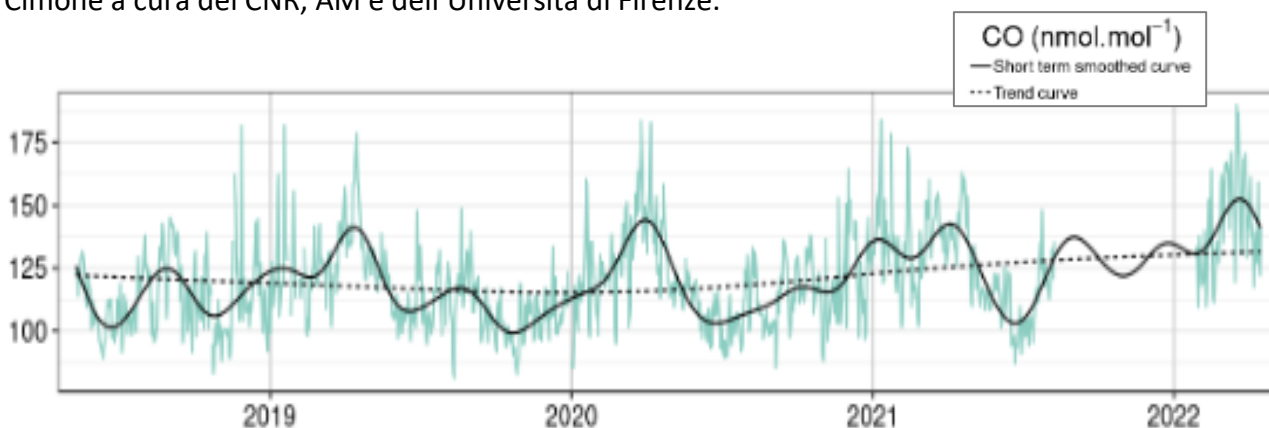
(intrusioni) dalla stratosfera. Recentemente le osservazioni di ozono di Monte Cimone hanno contribuito al primo Tropospheric Ozone Assessment Report (TOAR), prodotto dall'IGAC.

La riduzione della sua concentrazione (-0.19 ppb/anno) è in parte riconducibile alle misure di contenimento dell'inquinamento atmosferico relative alla Qualità dell'Aria promosse da anni dall'Unione Europea e dagli stati membri e conseguenza dell'impegno assunto dalle varie ARPA, le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente.



1.3 MONOSSIDO DI CARBONIO - CO

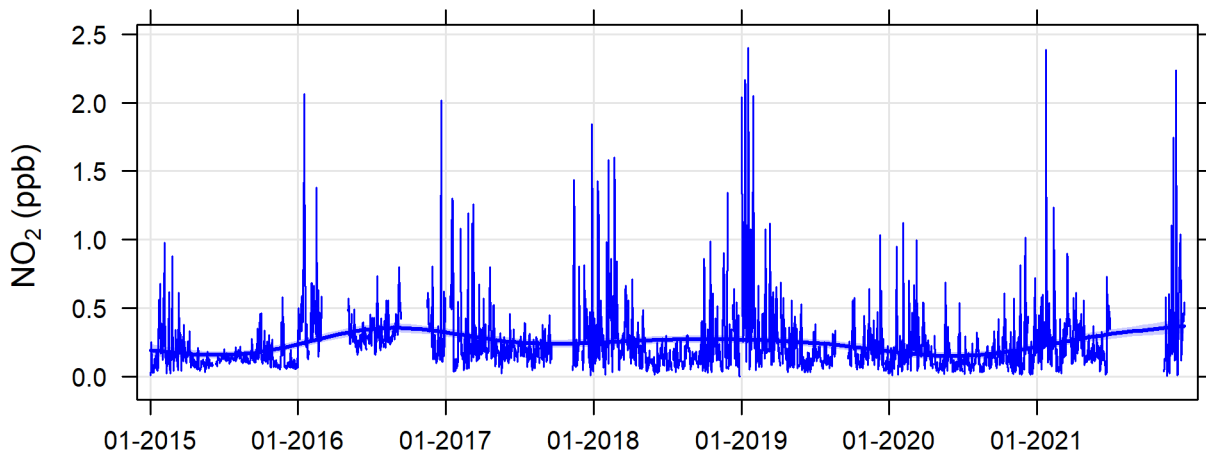
È un gas chimicamente reattivo, precursore dell'ozono in atmosfera. A partire dal 2018, è **osservato nell'ambito di ICOS quale tracciante di vari processi di combustione, inclusi gli incendi.** Nell'ambito di complesse metodologie di identificazione, è anche utilizzato come **tracciante di emissioni legate all'uso di combustibili fossili.** Nel periodo 1994 – 1997 furono eseguite misure di CO a Monte Cimone a cura del CNR, AM e dell'Università di Firenze.



1.4 OSSIDI DI AZOTO NO ED NO₂ (NO_x)

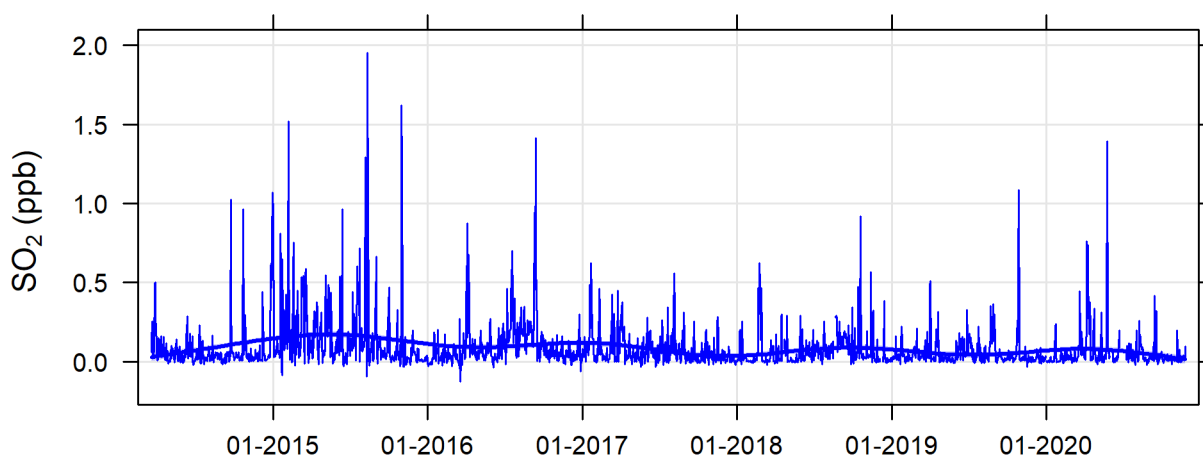
Sono gas molto reattivi con tempi di permanenza in atmosfera non superiori a pochi giorni (tipicamente ore). Sono gas inquinanti e principali precursori dell'O₃ in troposfera.

A Monte Cimone sono **misurati dal 2014 nell'ambito dell'infrastruttura Europea ACTRIS**. Sono in grado di **tracciare emissioni di inquinamento di vario genere (produzione di energia, traffico, incendi)**.



1.5 ANIDRIDE SOLFOROSA - SO₂

E' un gas reattivo inquinante osservato a Monte Cimone dal 2014. Sebbene le concentrazioni atmosferiche di tale gas non rappresentino più un problema dal punto di vista della protezione della salute umana, il monitoraggio di SO₂ è utile al fine di identificare **emissioni che utilizzano combustibili ad elevato tenore di zolfo**. Le osservazioni di SO₂ sono inoltre **traccianti di nubi vulcaniche** e possono essere utilizzate ai fini dell'identificazione della presenza di tali eventi in atmosfera, come il caso del vulcano islandese Eyjafjallajokull nell'aprile 2010 (tracciato a Mt. Cimone dall'arrivo di particolato atmosferico) o la più recente eruzione dell'Etna nel febbraio 2022, tracciato da valori anomali di SO₂.



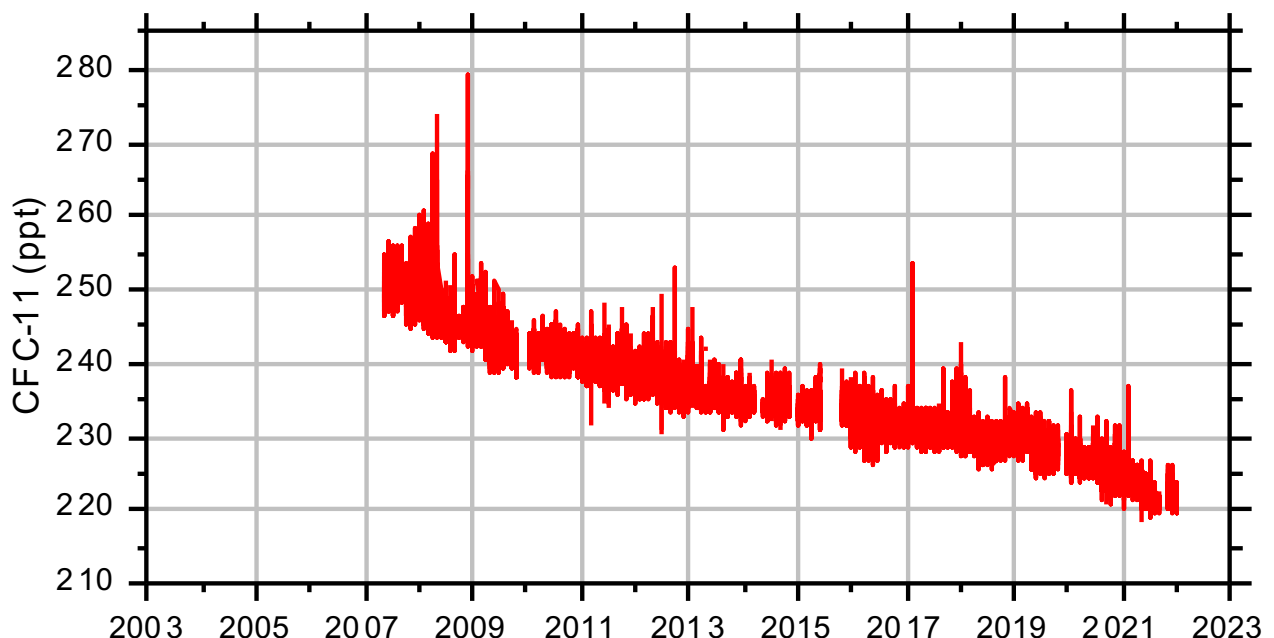
2 COMPOSTI GASSOSI CLIMALTERANTI SOGGETTI AL PROTOCOLLO DI MONTREAL

Il Protocollo di Montreal è lo strumento operativo di UNEP, il Programma Ambientale delle Nazioni Unite, per l'attuazione della Convenzione di Vienna (1985) a favore della protezione dell'ozono stratosferico. Ratificato da 197 Paesi tra i quali l'Italia è la dimostrazione che quando le Nazioni si uniscono legiferare a favore della protezione dell'Ambiente ci riescono.

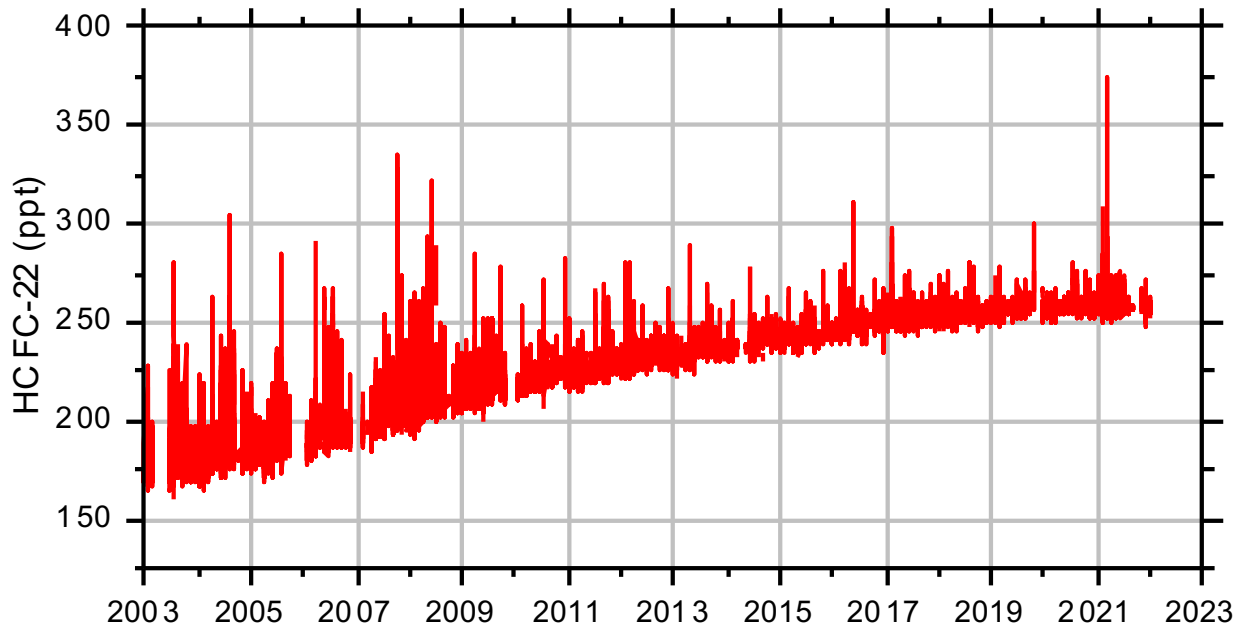
2.1 GAS DANNOSI PER L'OZONO STRATOSFERICO: CFC, HALON, SOLVENTI CLORURATI

I gas dannosi per l'ozono stratosferico (e responsabili del buco dell'O₃ in Antartide) sono misurati in continuo dal 2002 dall'Università di Urbino all'Osservatorio CNR di Monte Cimone, nell'ambito della rete globale AGAGE. Anche se si tratta di composti il cui uso è stato bandito da parecchi anni in base al protocollo di Montreal (CFC, HALON, HCFC, METIL BROMURO, METIL CLOROFORMIO, TRTRACLORURO DI CARBONIO), le osservazioni sono fondamentali per la verifica del rispetto degli impegni sottoscritti dall'Italia -e dagli altri paesi UE- e sono utili per individuare emissioni fraudolente sulla scala nazionale ed Europea.

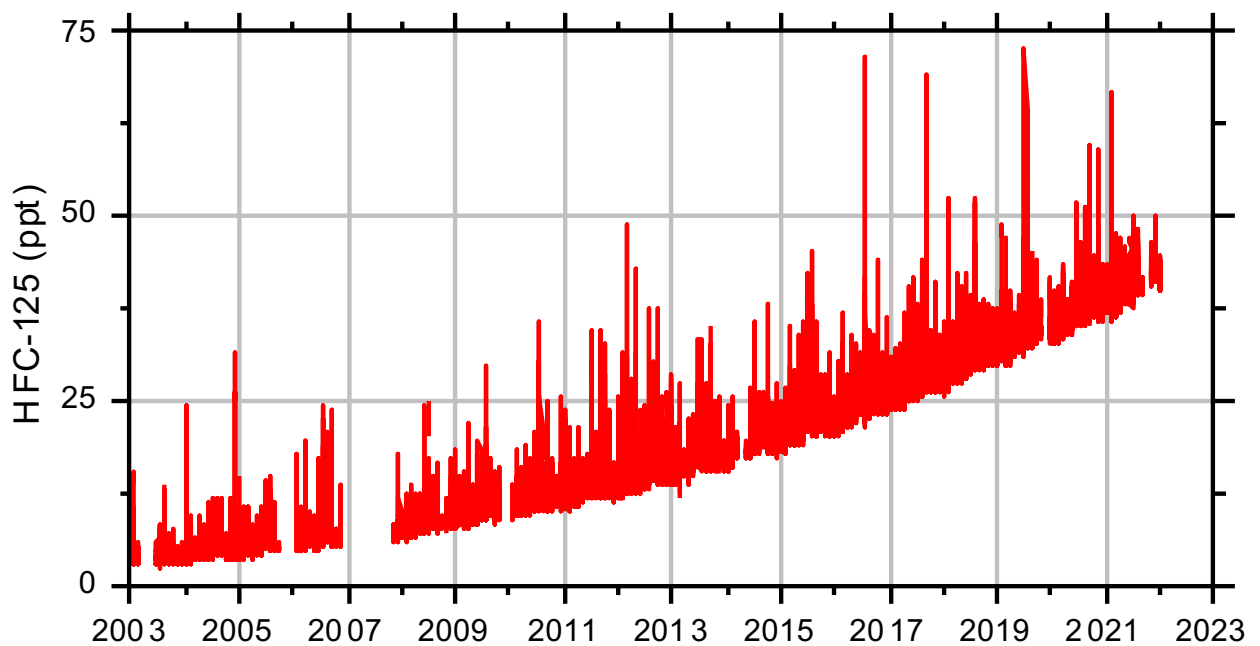
Protocollo di Montreal: phase-out dei composti responsabili della distruzione dell'ozono stratosferico; evoluzione temporale e transizione tra le diverse tipologie di composti impiegati per lo stesso utilizzo finale, refrigerazione industriale e domestica CFC11-11 ->HCFC-22 -> HFC-125



CFC11: Gas refrigerante ed espandente; tempo di vita 52 anni; congelamento e graduale riduzione della produzione a partire dal 1992, **dismissione completa entro il 1996***

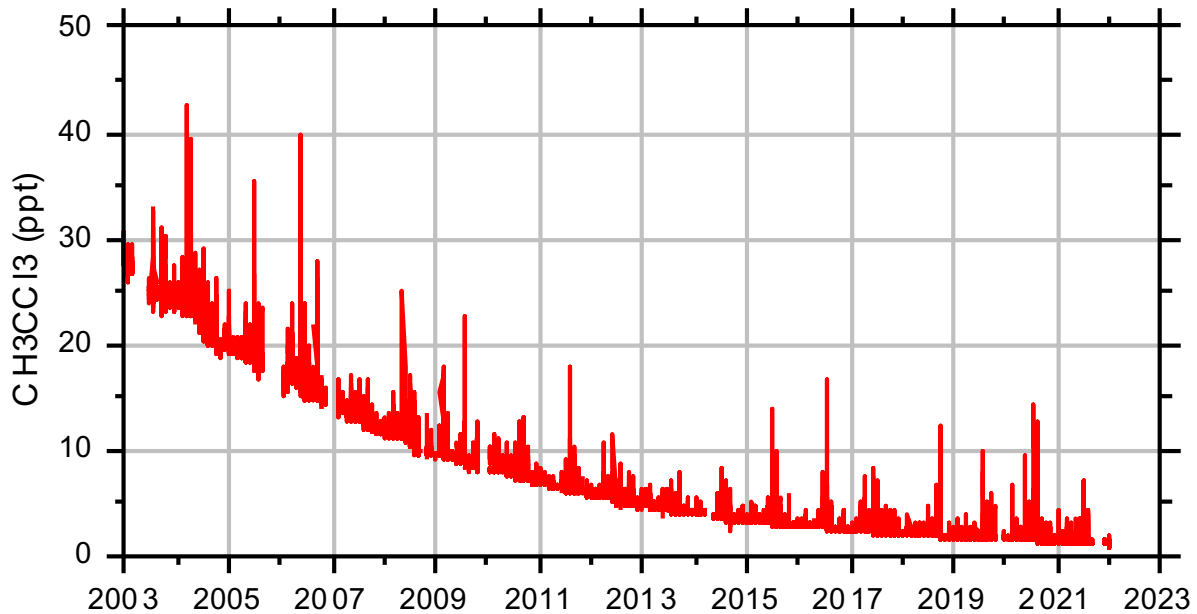


HCFC 22: Gas refrigerante; tempo di vita 12 anni; congelamento e riduzione della produzione iniziato nel 1996, **divieto assoluto dal 2020***



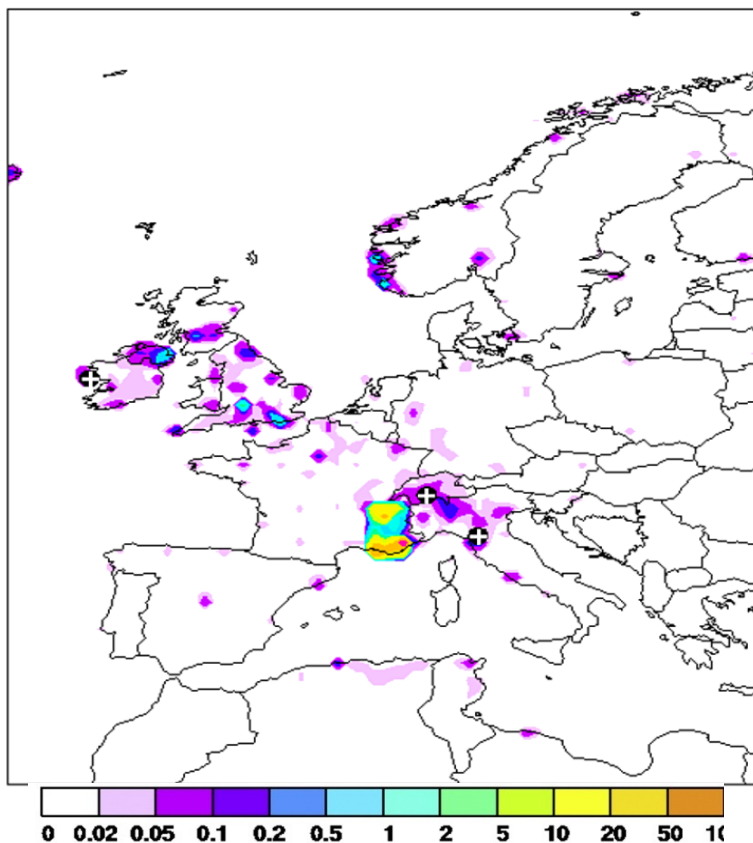
HFC 125: gas refrigerante; tempo di vita 1.3 anni: congelamento e riduzione a partire dal 2019, **riduzione del 85% entro il 2036***

Protocollo di Montreal: phase-out ed emissioni localizzate. Ruolo delle misure e della modellistica



1,1,1 tricloroetano (CH_3CCl_3): solvente e intermedio di reazione nella produzione di polimeri; tempo di vita 5 anni: **phase-out 1996***

Stima delle emissioni di **tricloroetano 1,1,1** dal dominio Europeo, espresse in $pg/m^2/s$ (anno 2012).



Attraverso lo studio dei dati di concentrazione combinata con i modelli di trasporto in atmosfera (*back-trajectories*) e metodi statistici di inversione (*inverse modelling*) è possibile localizzare le regioni da cui si sono potenzialmente originate le emissioni dei composti misurati e quantificarne i flussi.

*paesi "sviluppati": essenzialmente EU, USA, Australia; ai paesi in via di sviluppo, tra cui Cina, India e Sud-America è stata concessa una estensione temporale per la riduzione e la completa dismissione

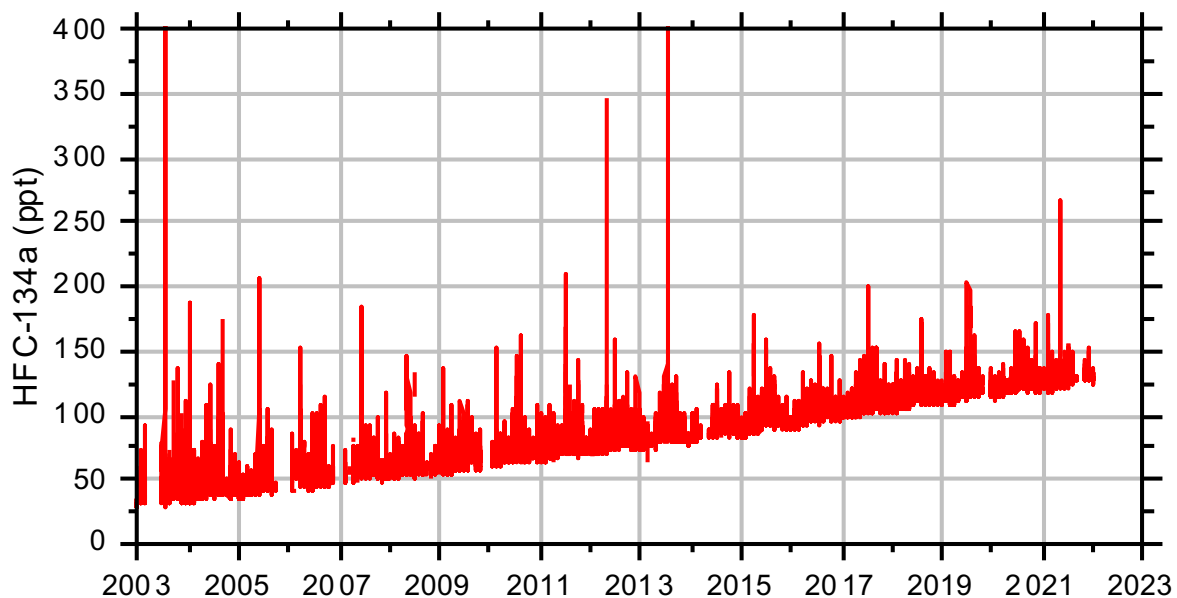
2.2 GAS SERRA FLUORURATI - HFC, PFC

Anche questi composti rientrano nel **programma di misure AGAGE**. Si tratta di **composti di sintesi** dotati di **potenziale di riscaldamento globale** fino a migliaia di volte più elevato di quello della CO₂. In particolare, gli HFC e PFC sono parte del Protocollo di Kyoto.

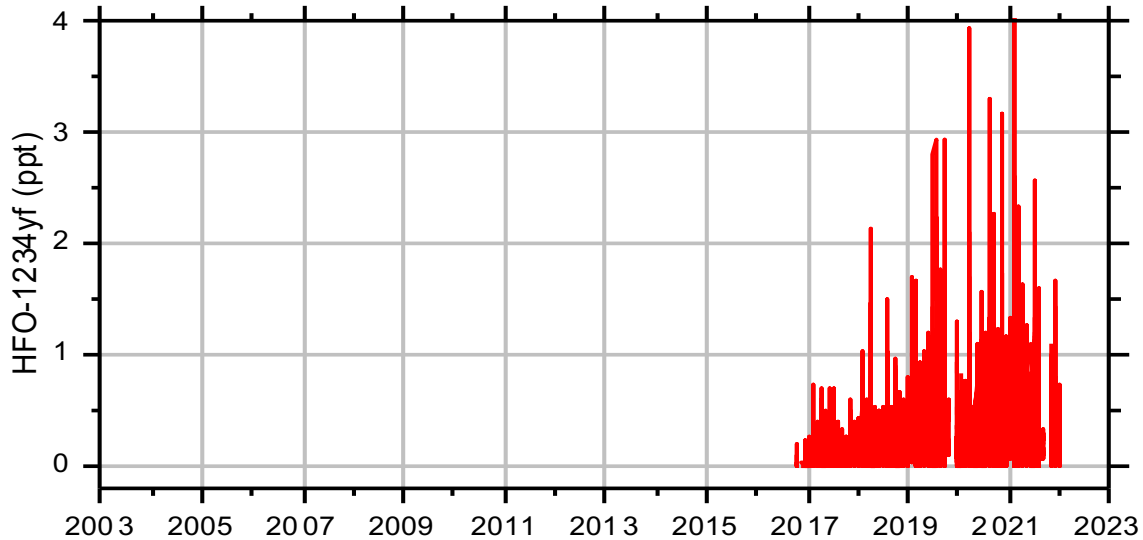
Le osservazioni combinate con modelli matematici permettono di stimarne le emissioni su scala nazionale ed Europea e tali stime possono essere usate per verificare gli inventari nazionali delle emissioni inviati annualmente all'UNFCCC.

Gli HFC sono ora regolati anche all'interno dell'emendamento di Kigali al protocollo di Montreal, firmato da 129 stati oltre all'EU nel 2016 in Rwanda. Le misure, in atto a Monte Cimone dal 2002, servono a misurarne il tasso di crescita e, attraverso la combinazione con tecniche di modellistica atmosferica, a individuarne le aree sorgente e quantificarne i flussi sulla scala nazionale ed Europea. Questa attività serve da supporto alla compilazione degli inventari nazionali delle emissioni che i paesi firmatari degli accordi sul clima sono tenuti a redigere ogni anno.

Protocollo di Montreal – Emendamento di Kigali del 2016 per il phase-out dei gas climalteranti: transizione dell'utilizzo degli HFC verso i nuovi HFO per la refrigerazione fissa (domestica) e mobile (veicoli).



HFC-134a: Gas refrigerante; tempo di vita 14 anni: congelamento della produzione e riduzione a partire dal 2019, riduzione del 85% entro il 2036*

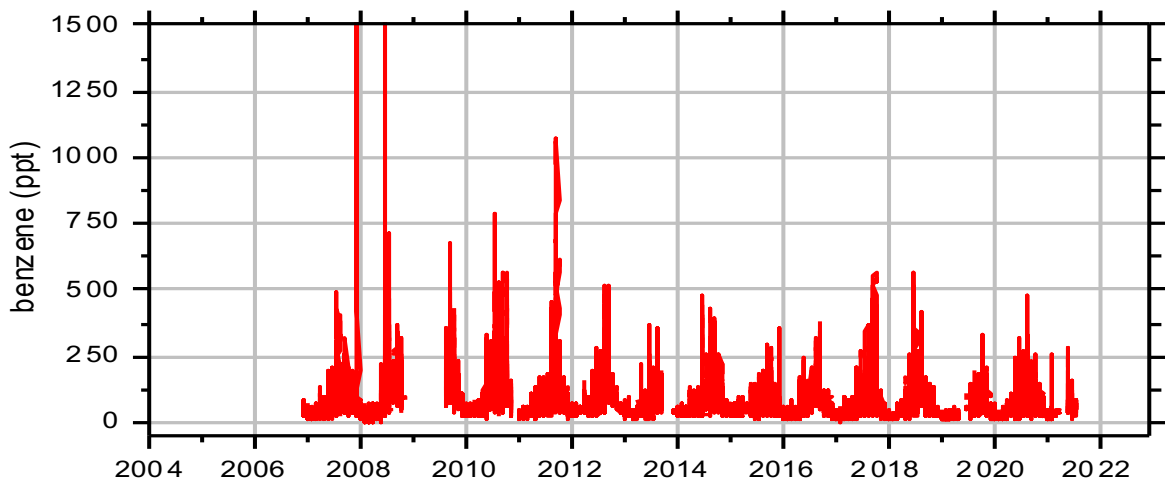


HFO-1234yf: Gas refrigerante; tempo di vita 12 giorni (virtualmente assente prima del 2015; concentrazioni al disotto dei limiti strumentali di rilevabilità fino alla metà del 2016)

*paesi "sviluppati": essenzialmente EU, USA, Australia; ai paesi in via di sviluppo, tra cui Cina, India e Sud-America è stato concessa una estensione temporale per la riduzione e la completa dismissione

2.3 COMPOSTI ORGANICI VOLATILI - COV

Sono misurati in continuo dal 2010 nell'ambito dell'Infrastruttura Europea ACTRIS. Sono gas molto importanti dal punto di vista ambientale perché sono altamente tossici (**benzene**), **precursori di ozono al suolo** (che è un gas serra ed un inquinante) e **di particolato** (inquinante). Le misure servono per **individuare i settori emissivi che contribuiscono all'inquinamento atmosferico dalla scala regionale alla scala Europea**. In questo ambito, i composti organici volatili misurati a Monte Cimone: **benzene, toluene, xileni, acetilene, propano, iso- e n-butano, iso- e n-pentano, esano, eptano, iso-ottano**.



Benzene (cancerogeno): derivante principalmente dai processi di combustione ma anche dall'evaporazione nei processi di lavorazione di prodotto petroliferi; tempo di vita variabile tra 6 - 20 giorni in base alla stagione

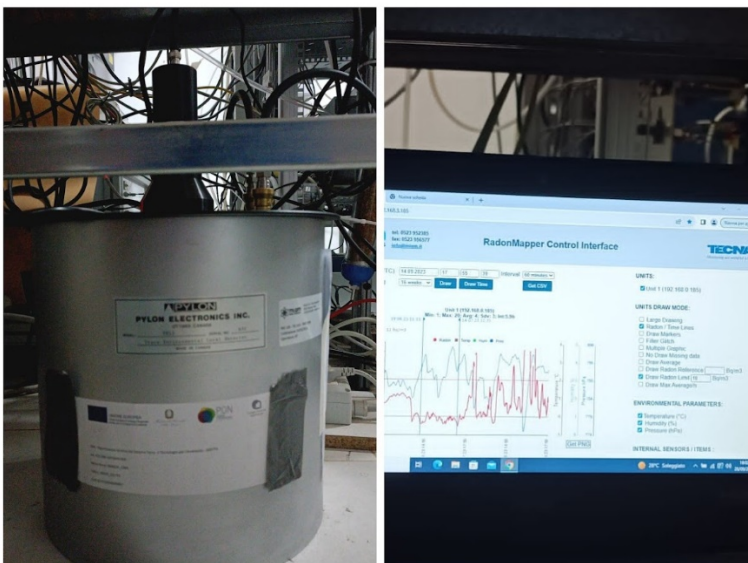
2.3 CAMPIONATORE AUTOMATICO DI FLASK

E' un sistema sviluppato nell'ambito di ICOS per effettuare campionamenti automatici di aria ambientale. Le flask campionate sono inviate a laboratori esterni ove il loro contenuto è analizzato per **quantificare i valori dei gas in tracce** (CO_2 , CH_4 , N_2O , CO , SF_6 , H_2) e degli **isotopi stabili utili alla determinazione dell'origine (biogenica o antropica) della CO_2 e del CH_4** . Il sistema, controllabile da remoto, può essere programmato in modo flessibile tale da implementare diverse strategie di campionamento e riempimento delle flask. Le misure effettuate nelle flask possono essere utilizzate come ulteriore controllo di qualità rispetto alle osservazioni continuative dei medesmi composti.



2.4 RADON-222

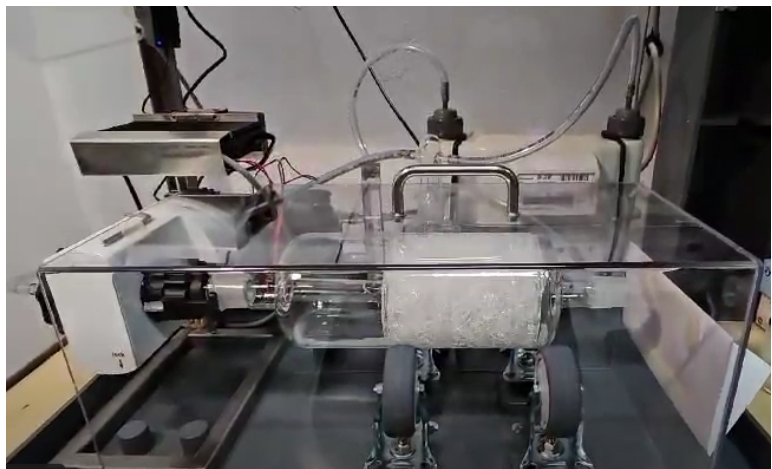
Nell'ambito delle attività della JRU ICOS-Italy, nella primavera 2023 sono state attivate osservazioni di **Radon-222 (^{222}Rn)**, un radionuclide di origine naturale che viene utilizzato quale **tracciante di masse d'aria che hanno origine o transitano nei pressi della superficie terrestre**.



Lo strumento in uso a Monte Cimone (detection limit: 0.93 Bq/m^3) è **attualmente in fase di test** per valutarne la capacità di poter fornire informazioni utili alla valutazione del contributo dei flussi di CO_2 (e di altri composti) provenienti dai bassi strati dell'atmosfera. Alla fine degli anni '90 furono eseguite misure di ^{222}Rn a cura dell'Università di Bologna.

2.5 CAMPIONAMENTO INTEGRATO DI "RADIOCARBONIO" NELLA CO₂ (¹⁴CO₂)

Il "radiocarbonio" (¹⁴C) rappresenta uno dei traccianti principali per quantificare il **contributo dell'uso dei combustibili fossili** sulla variabilità di CO₂ in atmosfera. Il sistema in fase di test a Monte Cimone è stato sviluppato da **ICOS (Central Radiocarbon Laboratory)** e si basa su un campionamento ad alto volume (durata: circa 2 settimane) della CO₂ atmosferica. La CO₂ presente nell'aria ambientale viene assorbita da una soluzione basica in un tubo Raschig rotante. I campioni della soluzione sono trasferiti in bottiglie di vetro e inviati al CRL per l'analisi del rapporto ¹⁴C/C nella CO₂ assorbita.



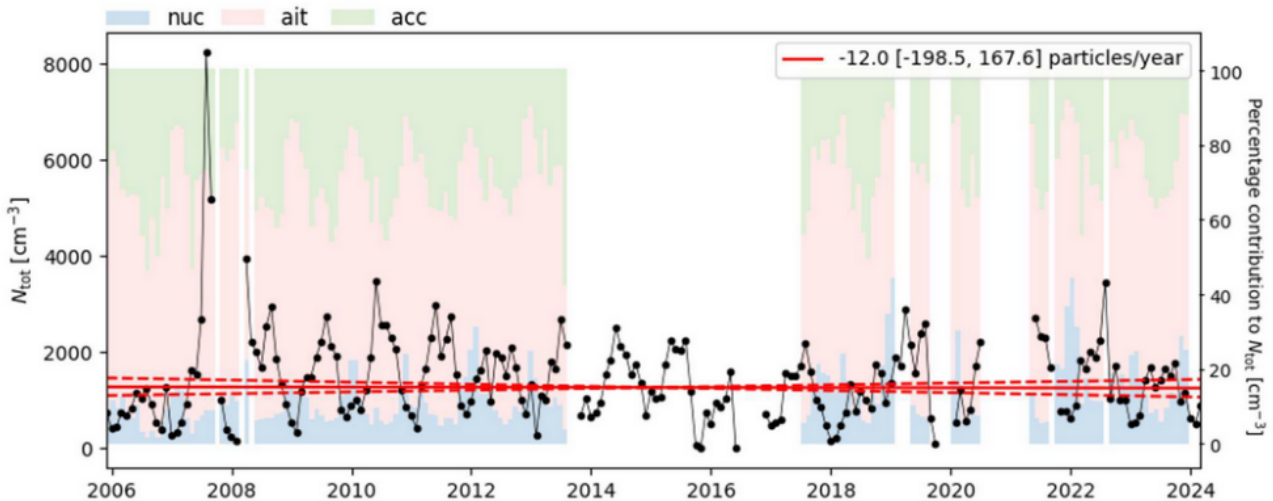
3 - PARTICOLATO ATMOSFERICO

Il particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2.5}), chiamato anche aerosol o polveri sottili, è un pulviscolo molto fine che rimane sospeso in atmosfera ed è inalabile. **Il particolato atmosferico influenza direttamente il bilancio energetico terrestre e quindi il clima poiché interagisce con la radiazione solare entrante diffondendola o assorbendola ("effetto diretto"), provocando così il raffreddamento della superficie terrestre o un possibile riscaldamento dell'atmosfera. E' la componente caratterizzata dalla maggior incertezza nella stima delle forzanti radiative totali, sia nella componente raffreddante, che in quella riscaldante. Infatti, la maggior parte delle specie di aerosol, quali solfato, nitrato, sale marino e polveri diffondono la radiazione, mentre le particelle di black carbon assorbono la radiazione. Inoltre, gli aerosol influiscono sul clima modificando le quantità, le proprietà microfisiche e radiative delle nubi ("effetto indiretto").**

Da un punto di vista sanitario, sono note le correlazioni tra esposizione acuta e cronica al particolato aerodisperso e alterazioni della funzionalità respiratoria, morbilità e mortalità per malattie respiratorie, broncopolmonari, cardiache e anche insorgenza di tumori.

3.1 CONCENTRAZIONE TOTALE IN NUMERO (CPC)

Il numero delle particelle è una proprietà importante per la caratterizzazione del particolato atmosferico, in quanto ne dà un'indicazione di concentrazione totale, non legata alla massa. Infatti, sono differenti i processi che portano all'aumento delle particelle nei diversi intervalli dimensionali. Sono le particelle più grandi (coarse mode e accumulation mode) a contribuire prevalentemente alla concentrazione in massa, che è l'unico parametro normato del PM.



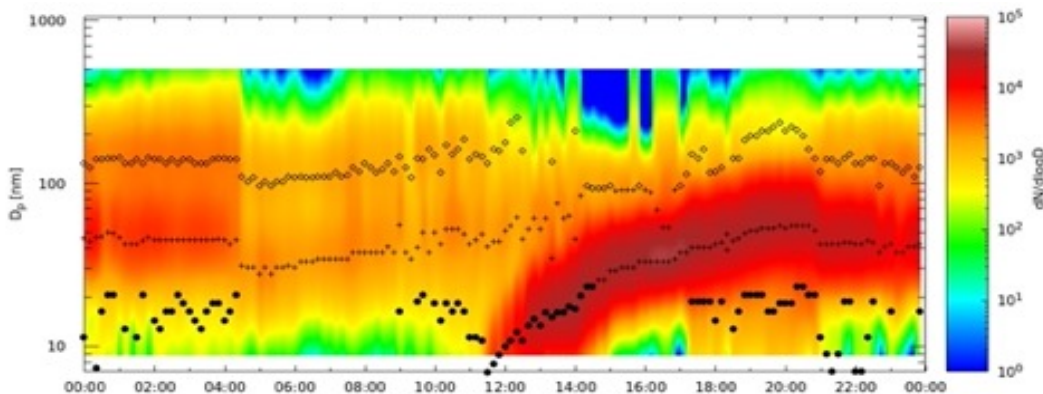
Queste misure sono state avviate all'Osservatorio CNR nel 2005. La diminuzione riscontrabile in figura (-12 #/anno) è probabilmente legata in misura significativa alla diminuzione delle emissioni di inquinanti per le normative europee sulla qualità dell'aria, poiché non si registrano variazioni significative nell'andamento della formazione di nuove particelle.

3.2 DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE (SMPS+OPC+APS)

L'osservazione della distribuzione dimensionale, cioè della concentrazione delle differenti particelle in funzione del diametro misurato dagli strumenti, permette di discriminare il contributo di particelle per lo più legate a:

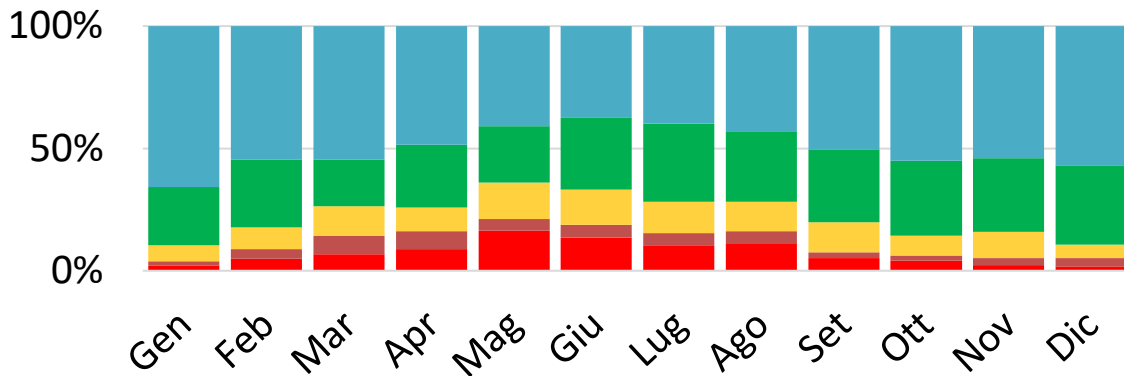
- i) **formazione recente di aerosol secondario** (particolato ultrafine, tra 1 e 50 nm, tra le mode di nucleazione e Aitken);
- ii) **particelle invecchiate e che possono aver subito il trasporto anche su lunghe distanze** (tra i 100 e 1000 nm, moda di accumulazione);
- iii) **particelle prodotte meccanicamente, es. polveri desertiche, vulcaniche, pollini e spore o sale marino** (da 1 a 10 μm , particelle nella moda grossolana).

Nella figura è riportato un episodio significativo di formazione di aerosol secondario (pennacchio rosso, che indica la comparsa improvvisa di particelle nanometriche a partire dalle ore 12, formate a partire da precursori gassosi). Le particelle di nucleazione danno un contributo trascurabile alla



concentrazione
in massa del PM,
ma sostanziale al
loro numero.

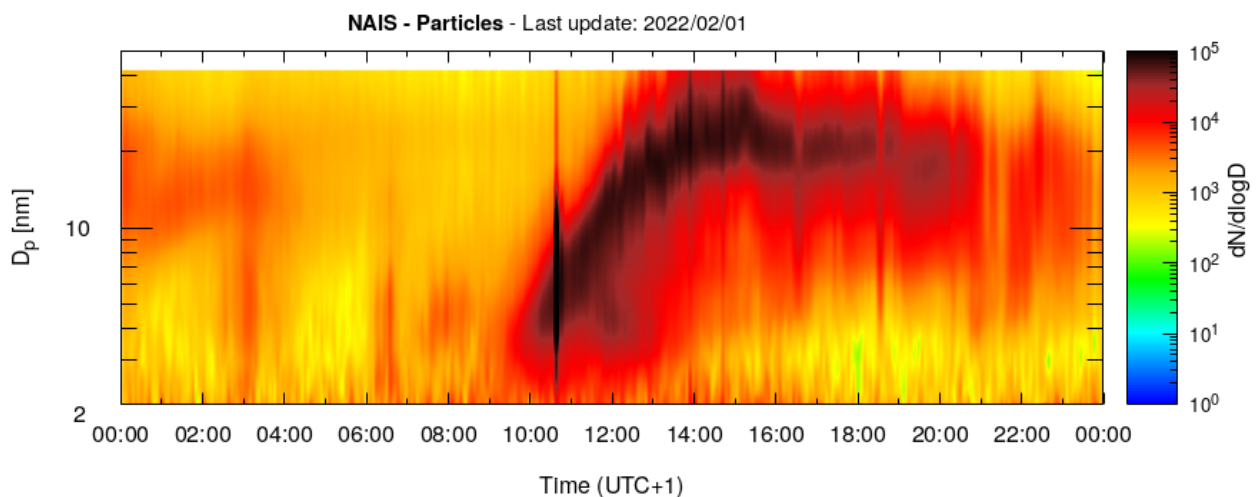
Un'analisi della serie storica dal 2005 ad oggi ha permesso di identificare fenomeni di formazione di nuove particelle nel 23% dei giorni, mentre il 50% del tempo non è caratterizzato da nucleazione e il restante appare come indefinito. La variazione stagionale degli eventi di formazione di nuove particelle presenta un massimo nella stagione estiva, come mostrato nella figura seguente.

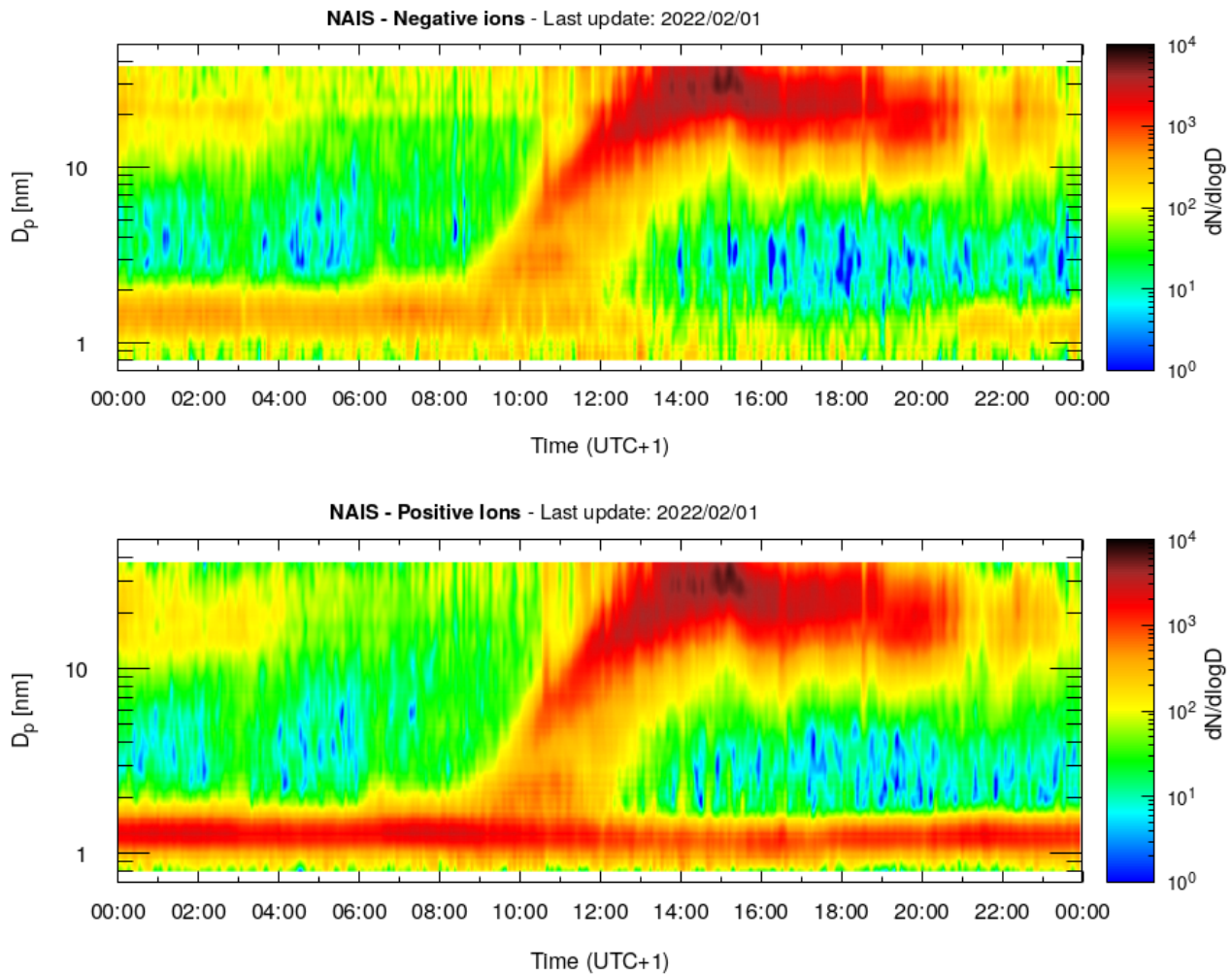


3.3 DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE DI IONI E PARTICELLE NEUTRE (NAIS)

A partire dal novembre 2021 a Monte Cimone sono eseguite misure di concentrazione di ioni liberi in atmosfera, che possono essere collegate alla **formazione di cluster e particelle ultrafini**. La loro osservazione in continuo (distribuzione dimensionale di ioni positivi e ioni negativi tra 0.8 e 42 nm) permette di studiare quale sia l'influenza degli ioni sulla nucleazione di nuove particelle in un sito di alta montagna, rappresentativo delle condizioni di fondo dell'atmosfera.

Nella figura è riportato un esempio di "New Particle Formation", NPF, legato alla presenza di ioni, sia positivi sia negativi. Infatti, l'andamento della distribuzione delle particelle neutre è identificabile anche nelle distribuzioni di ioni, sia positivi sia negativi. La presenza di ioni, che hanno un tempo di vita brevissimo, può essere legata al decadimento del radon o alla presenza di raggi cosmici e può influenzare o essere influenzata dai processi di nucleazione.

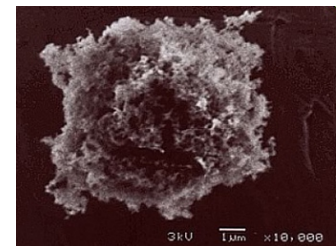




3.4 COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO (MAAP+AE33) e MISURE DI BLACK CARBON

Il coefficiente di assorbimento indica la capacità del particolato di assorbire la radiazione solare e quindi di riscaldare l'atmosfera. Esso è direttamente correlato alla frazione di black carbon, BC, (foto a fianco) e alla forzante positiva sul bilancio radiativo terrestre. Il BC è considerato un composto SLCF – Short Lived Climate Forcers.

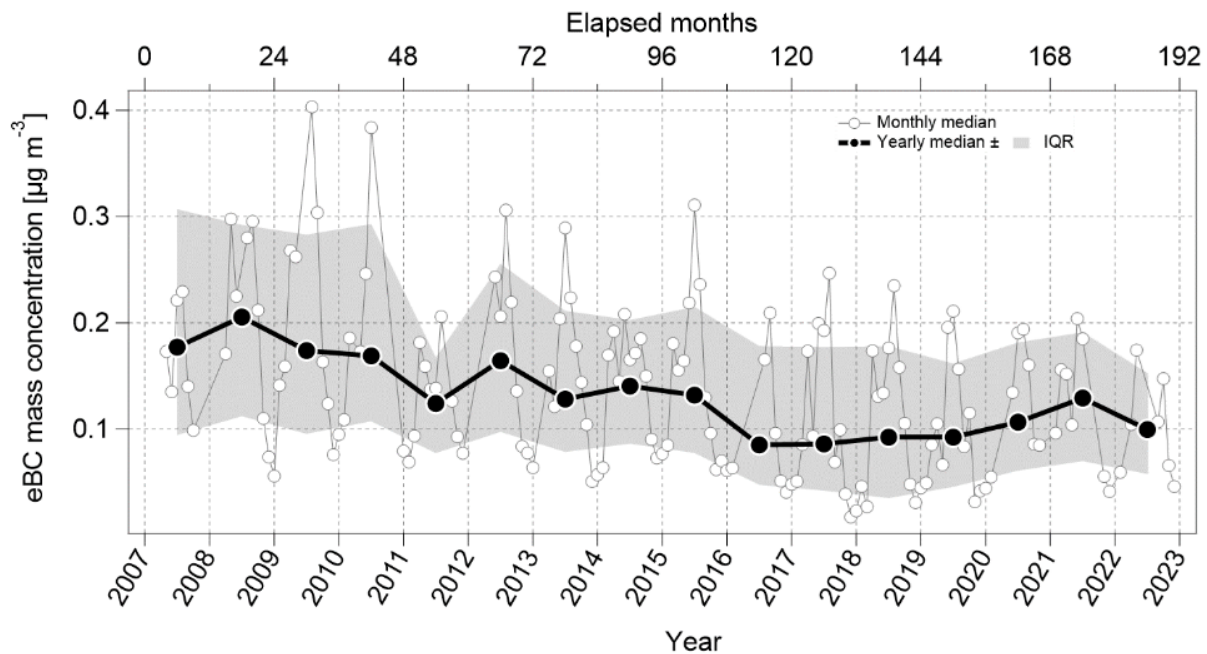
L'emissione di black carbon è legata ai processi di combustione e quindi è considerata **tracciante delle attività antropiche e degli incendi boschivi**. La sua osservazione a più lunghezze d'onda permette di derivare un parametro che indica la sorgente della combustione (fossile o biomassa).



La sua osservazione è attiva a Monte Cimone dal 2007, dal 2013 la misura è stata ampliata a più lunghezze d'onda, che permette di ricavare parametri aggiuntivi che permettono di separare il BC prodotto da biomasse, rispetto a quello da traffico.

Le misure di BC sono iniziate all'Osservatorio di Monte Cimone nel 2005 e negli anni si registra una tendenza in diminuzione, soprattutto per le concentrazioni minime autunnali e invernali ($-64 \text{ ng m}^{-3} \text{ decade}^{-1}$), come mostrato nella figura che segue. La tendenza negativa riflette il trend generale di diverse località in Europa e in particolare quello osservato in Pianura Padana per il PM, di cui rappresenta una frazione non trascurabile (5-15%). Il miglioramento della qualità

dell'aria è legato alle politiche più stringenti in termini di normative che regolano le emissioni. Questa tendenza è molto più accentuata nel periodo 2007-2016 ($-96 \text{ ng m}^{-3} \text{ decade}^{-1}$), mentre il periodo successivo le concentrazioni si stabilizzano.

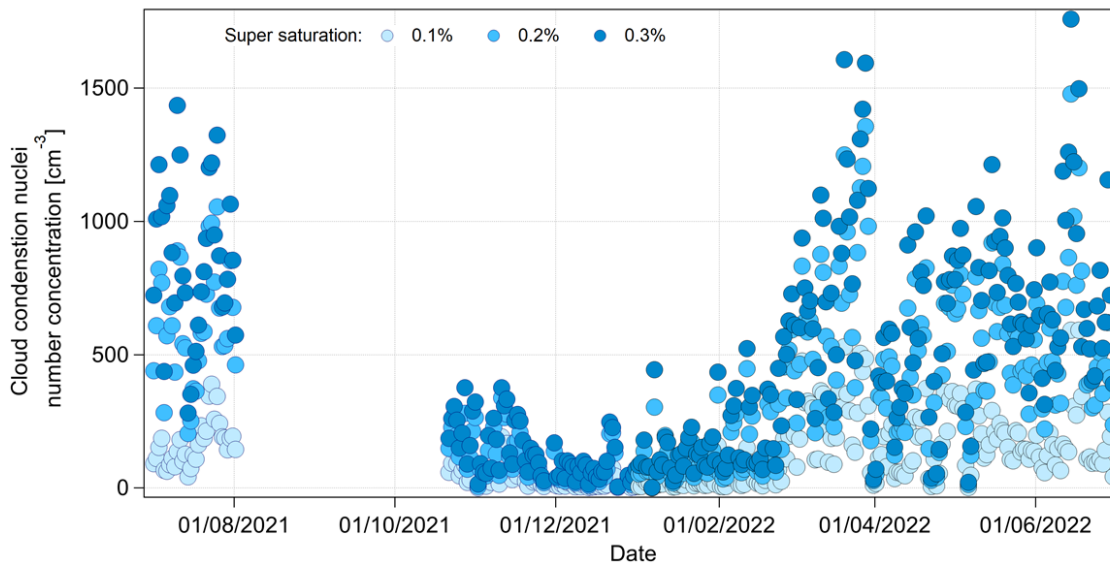


3.5 COEFFICIENTE DI SCATTERING (Nephelometer)

La misura del coefficiente di scattering si basa sulla misura della luce "diffusa" da una particella che interagisce con una sorgente luminosa; questa risulta proporzionale al diametro equivalente della particella stessa. La sua osservazione a più lunghezze d'onda **permette di derivare un parametro che indica la dimensione delle particelle.**

3.6 NUCLEI DI CONDENSAZIONE (CCN)

L'osservazione dei nuclei di condensazione attivi a diversi gradi di supersaturazione permette di **prevedere il comportamento delle particelle nel caso in cui si verificano le condizioni per la formazione di una nuvola.** Nello strumento vengono riprodotte le condizioni di saturazione in vapore acqueo e si misura la percentuale delle particelle che porta alla formazione di una gocciolina di nube, a diversi gradi di supersaturazione (la figura che segue riporta la serie temporale di un anno a tre livelli di supersaturazione (0.1%, 0.2%, 0.3%). La capacità di nucleare una gocciolina è funzione della dimensione e della composizione chimica della particella. Queste osservazioni sono fondamentali per la comprensione dell'impatto indiretto dell'aerosol sul clima.



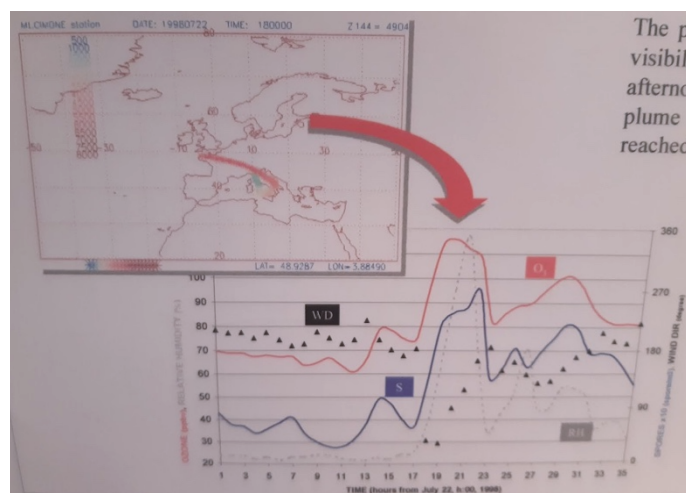
4 - AEROBIOLOGIA

L'aerobiologia è la disciplina associata notoriamente agli aspetti sanitari e in particolar modo alle allergie respiratorie, ma **nell'ottica One Health, Missione 6 del PNRR dedicata alla Salute, ben si presta per lo studio integrato delle problematiche ambientali e climatiche.**

Questo legame era chiaro anche alla fine degli anni '90, quando presso l'Osservatorio di Monte Cimone è stata realizzata dai ricercatori CNR-ISAC una campagna stagionale di monitoraggio aerobiologico per lo studio di spore fungine e pollini e del loro trasporto transfrontaliero, come evidenziato dalla figura riportata a lato.

La strumentazione (trappole volumetriche tipo Hirst), utilizzata all'epoca, e attualmente ancora in uso e raccomandata dalla **Rete Italiana di Monitoraggio in Aerobiologia della Associazione Italia di Aerobiologia (RIMA-AIA)** e dalla **Rete Nazionale di Monitoraggio di pollini e spore fungine d'interesse allergenico agronomico e ambientale (POLLNnet-ISPRA)** ha una autonomia settimanale del sistema di campionamento, e richiede poi la

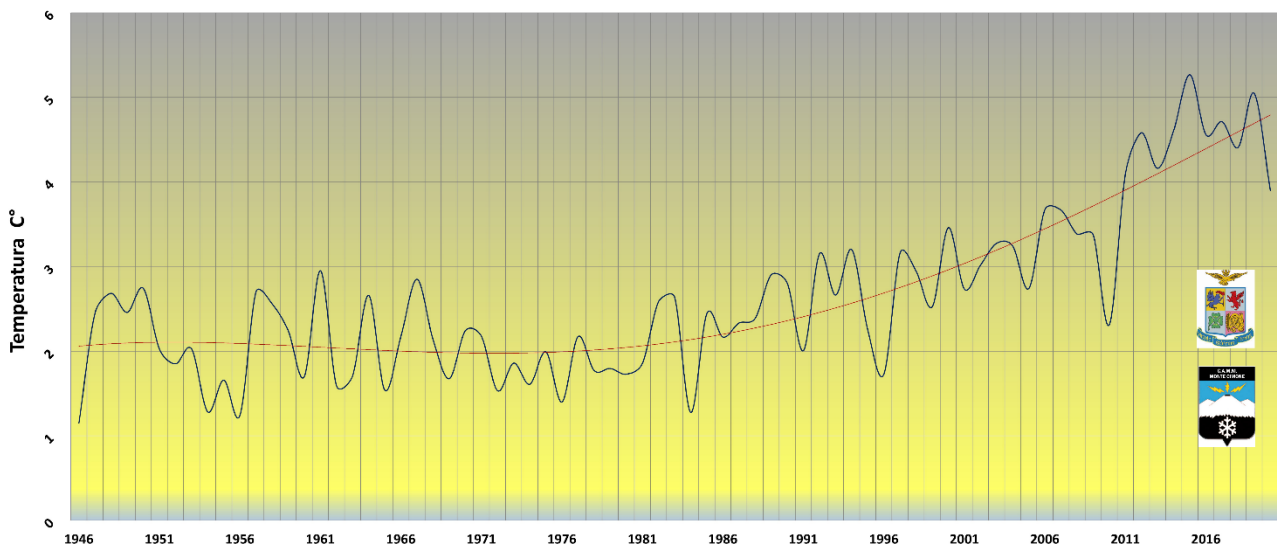
competenza di un operatore esperto nell'analisi morfologica al microscopio ottico del materiale campionato. I vetrini realizzati richiedono, vista la location, un'analisi completa del materiale e non statistica come realizzata nel campionamento urbano.



5 - OSSERVAZIONI METEOROLOGICHE

L'Osservatorio Meteorologico del CAMM di Monte Cimone, ubicato sulla vetta dell'omonimo monte, ad una altezza di 2165 m s.l.m., si distingue per la presenza di una stazione meteorologica avente una delle serie storiche più lunghe d'Italia. Basti pensare che il primo bollettino meteo è stato emanato nel settembre del 1937, e a parte una breve interruzione durante il secondo conflitto bellico, misure ed osservazioni sono state effettuate con continuità da operatori meteo fino a novembre 2019, mentre a partire da tale data è diventata pienamente operativa la Stazione Meteo Automatica cosiddetta Standard Weather Station (SWS).

In questo ambito i sensori per l'acquisizione di parametri meteorologici fondamentali per la navigazione aerea, la climatologia e la modellistica numerica sono: Temperatura (media, max, min), Umidità Relativa, Temperatura di Rugiada, Pressione atmosferica, Direzione e Forza del vento, Precipitazioni, Radiazione solare e Soleggiamento

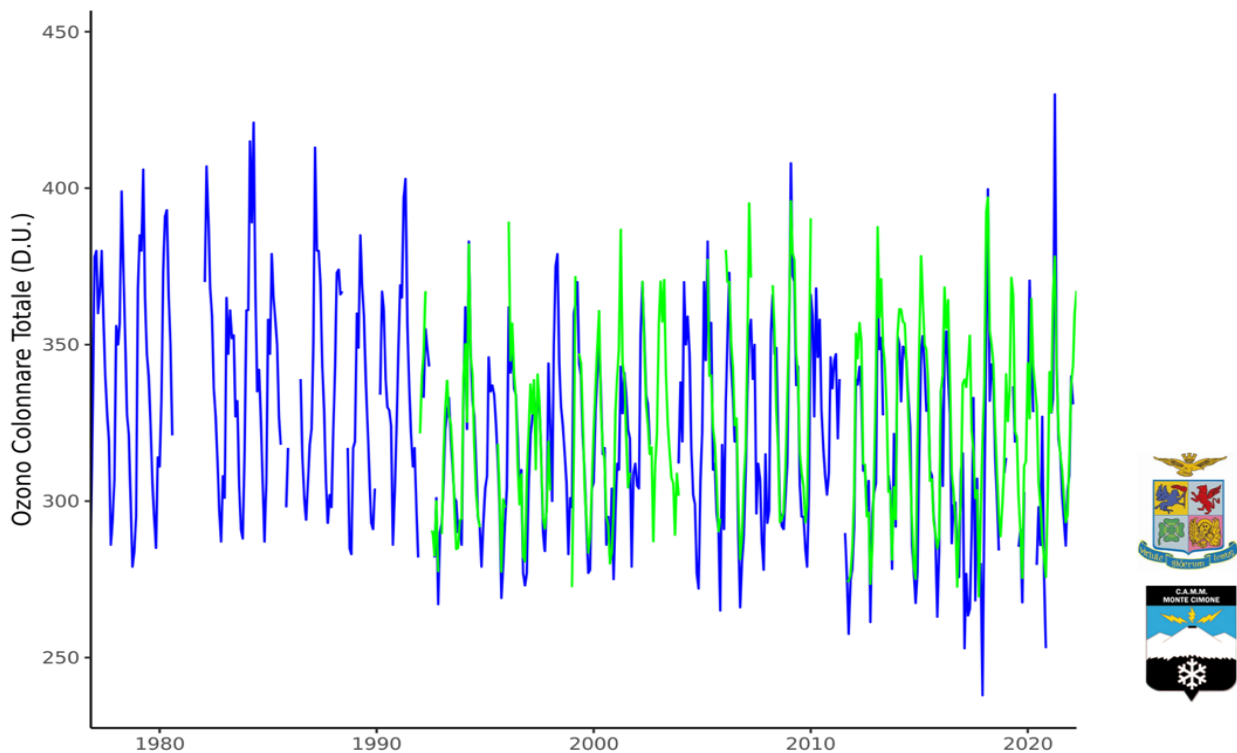


La Stazione Meteorologica di MONTE CIMONE è classificata come Stazione Meteorologica di Prima Classe, con un servizio S1-A2, vale a dire trasmissione di un bollettino METAR, di un bollettino SYNOP e di un QNH ogni ora. In Figura la serie storica della temperatura media annuale misurata dalla stazione di Monte Cimone (in blu) e la linea che ne descrive l'andamento (in rosso).

6 - OZONO COLONNARE

Nella sede logistica del CAMM, sita a Sestola (MO) a circa 1020 m s.l.m., da circa metà degli anni '70 sono iniziate le misure giornaliere del contenuto totale colonnare di ozono, eseguite manualmente con lo spettrometro Dobson. Il sito di Sestola ha una maggiore frequenza di giornate con cielo sereno rispetto alla base operativa, condizioni necessarie per il corretto svolgimento di questo tipo di misura. A partire dal 1979 le misurazioni sono diventate continue, mentre dal 1992 sono effettuate con lo spettrofotometro automatico Brewer.

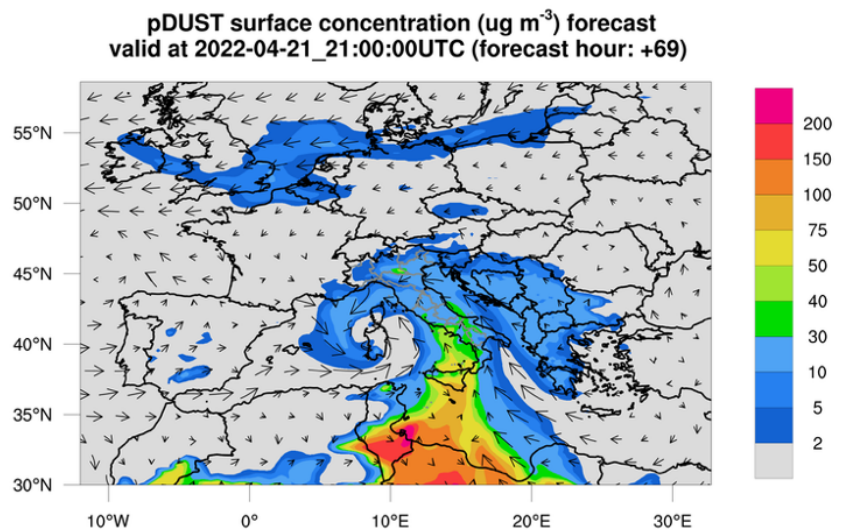
L'ozono, gas altamente reattivo, è contenuto principalmente nella stratosfera terrestre a circa 25 km di altezza. Si tratta di un gas essenziale per la vita sulla Terra, poiché assorbe la radiazione ultravioletta proveniente dal sole, particolarmente dannosa per l'uomo. A partire dagli anni '70, la comunità internazionale ha posto l'attenzione sullo strato di ozono vista la sua drastica diminuzione sull'Antartide dovuta all'interazione con CFC, prodotti e usati nelle attività umane soprattutto per la climatizzazione ed i frigoriferi (vedi Capitolo 2). In questo contesto si colloca il decennale monitoraggio da parte del CAMM.



In Figura, nella curva blu la media mensile di ozono colonnare totale misurata con strumento Dobson, mentre in verde i dati ottenuti con lo strumento Brewer.

7 - LA MODELLISTICA DI COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA E METEOROLOGICA

La modellistica di composizione dell'atmosfera, di previsione della qualità dell'aria e di diagnostica per i principali processi che governano i fenomeni di trasporto in atmosfera dalla scala continentale alla scala locale, sviluppata in ambito CNR-ISAC, consente di ottenere preziose informazioni anche nell'area montana di Monte Cimone.



Essa consente di ottenere informazioni - con risoluzione oraria - sia riguardo fenomeni di circolazione a larga scala quali **trasporti di polvere dal deserto del Sahara** (vedi immagine), **trasporti di inquinanti emessi durante eruzioni vulcaniche e/o incendi boschivi**, sia per fenomeni riguardanti la circolazione di **brezze di monte e di valle, tipicamente presenti nelle aree montane** ed in grado di trasportare in quota inquinanti di origine antropica o naturale. Infatti, tali attività modellistiche consentono di investigare accuratamente l'influenza che aree altamente inquinate/urbanizzate/industrializzate (es. Pianura Padana) manifestano verso aree remote e/o di alta quota, come Monte Cimone, in cui non sono presenti sorgenti antropiche significative.