

## 2.1.1 Lo stato

### Aspetti generali

Il fenomeno dell'impoverimento dell'ozono stratosferico è stato osservato dagli scienziati già all'inizio degli anni '80. Il contenimento di questo fenomeno è diventato ben presto un obiettivo di cooperazione internazionale, per la consapevolezza dei danni arrecati alla salute umana e agli ecosistemi.

Circa il 90% dell'ozono presente in atmosfera è contenuto nella stratosfera; lo strato di ozono stratosferico si estende fino a un'altezza variabile da 10 a 40 km sopra la superficie terrestre. La presenza e la quantità di ozono contenuta nella stratosfera sono regolate da delicati meccanismi che coinvolgono anche la radiazione solare. Infatti le radiazioni a onde corte provenienti dal Sole contribuiscono alla formazione dell'ozono nella stratosfera. Radiazioni con lunghezza d'onda più elevata, insieme a reazioni chimiche, tendono invece a dissociarlo. Si crea in questo modo un equilibrio dinamico fra produzione e distruzione d'ozono (Figura 1).

La maggior parte dell'ozono stratosferico si crea sopra i tropici dove la radiazione solare è più intensa. La circolazione atmosferica lo sposta poi verso le regioni polari dove si realizza un massimo dell'ozono totale in primavera e un minimo in autunno. Con il termine ozono totale si intende il quantitativo di ozono presente in una colonna che si estende dal suolo al limite superiore dell'atmosfera; esso viene solitamente misurato in unità Dobson.

### Le regioni polari

Come accennato in precedenza l'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico è un fenomeno che si è iniziato a osservare approssimativamente all'inizio degli anni '80 sopra le regioni polari. La causa principale è l'immissione in atmosfera di sostanze di origine antropica che intervengono a modificare l'equilibrio tra distruzione e produzione di ozono. Sulle regioni polari la deplezione è agevolata da pattern stabili di circolazione atmosferica e da temperature estremamente basse. Come risultato si ha nella stratosfera polare una serie di reazioni chimiche che distruggono un grande numero di molecole di ozono durante la primavera polare, cioè Marzo/Aprile per l'Artide e Settembre/Ottobre per l'Antartide.

La maggiore deplezione, nota come "buco dell'ozono", si verifica ogni anno sull'Antartide in primavera, cioè nel periodo da Settembre a Novembre. Nel mese di Settembre dell'anno 2000 il buco nello strato di ozono è stato tra i maggiori per superficie e profondità, avendo superato la dimensione di 27 milioni di km<sup>2</sup> (circa pari alla dimensione dell'Europa). Dopo aver raggiunto la massima dimensione si è però avuta una rapida dissipazione del buco, che verso la fine di Ottobre era della minima dimensione dello stesso periodo dell'ultima decade (Figura 2). In contrasto durante il 1999 il buco di ozono è stato molto persistente, come appare sempre dal grafico in Figura 2; ha raggiunto infatti la massima dimensione intorno alla metà di Settembre e a metà Novembre era diminuito solamente di circa il 50%.

Dal 1990 il fenomeno di deplezione è stato osservato anche sopra l'Artide con una diminuzione del 30-40% dello strato di ozono in primavera (Febbraio \Marzo). Le misure di ozono totale possono essere fatte a partire dai dati forniti da satelliti, e sulla base di questi dati sono state anche elaborate mappe che stimano la distribuzione dell'ozono totale. In Figura 3 si trova la mappa dell'ozono totale medio del mese di Marzo relativa all'anno 1980 sopra l'Artide. La mappa, elaborata dal RIVM (National Institute of Public Health and the Environment – Olanda) sulla base di dati forniti dal satellite TOMS (NASA), mostra una condizione di non deplezione. Valori molto bassi di ozono stratosferico sono stati rilevati sopra l'Artide nel mese di Marzo degli anni 1993, 1996 e 1997. In Figura 4 viene riportata la mappa, elaborata da RIVM sulla base di dati del satellite GOME (ESA), della media di ozono totale di Marzo relativa all'anno 1997. Il confronto tra questa mappa

e la precedente evidenza valori di ozono totale meno elevati di quelli del 1980, e quindi una diffusa condizione di deplezione.

### Le medie latitudini

Le medie latitudini (25° - 60° latitudine) non sono esenti dal fenomeno dell'impoverimento dell'ozono stratosferico; infatti anche qui sono state riscontrate condizioni di deplezione, benché di minore intensità rispetto a quelle che si verificano ai poli terrestri.

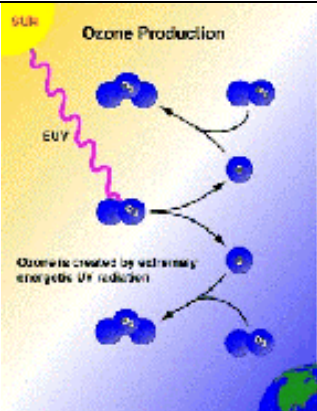
Tra il 1979 e il 1991 si è verificato un trend di diminuzione dell'ozono totale, quantificabile in perdite del 4% e dell'1,8% per decade rispettivamente in inverno\primavera ed estate\autunno alle medie latitudini nell'emisfero settentrionale. Nell'emisfero meridionale invece il trend di diminuzione è stato del 3,8% per decade. È comunque importante tenere conto che esistono differenze regionali nella variazione dell'ozono stratosferico. In [Figura 5](#) sono riportate le variazioni percentuali nell'ozono totale mediate tra 60° latitudine sud e 60° latitudine nord. I valori particolarmente bassi trovati negli anni 1992 e 1993 possono essere in parte spiegati con l'eruzione del Mt. Pinatubo avvenuta nelle Filippine nel Giugno del 1991.

Le maggiori deplezioni alle medie latitudini si verificano sopra la Siberia in primavera e sull'Europa in inverno e primavera, mentre sul Nord America si registrano trend di variazione minori sia in inverno che in primavera. In estate e in autunno invece non si sono riscontrati trend di diminuzione dell'ozono. Sui tropici non sono mai stati osservati pattern di diminuzione.

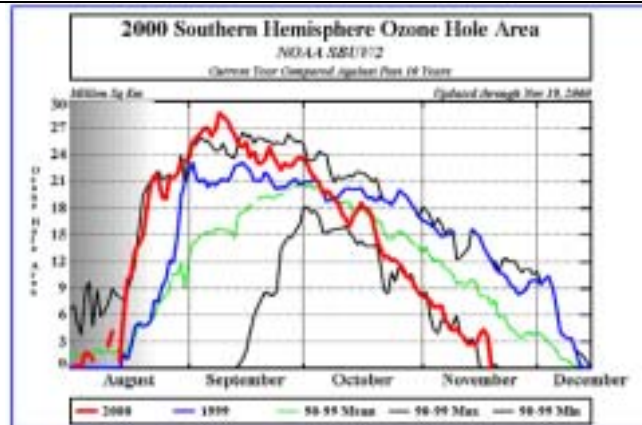
In accordo con quanto detto sino a ora, anche in Europa dal 1980 si è osservata una diminuzione dello strato di ozono. In [Figura 6](#) viene mostrata la media di ozono totale del mese di Marzo sopra l'Europa, elaborata dal RIVM sulla base di dati satellitari. Il grafico mostra la diminuzione dell'ozono stratosferico, che ha raggiunto livelli dell'8% per decade. I valori minimi sono stati toccati durante la fine degli anni '90.

### Riferimenti bibliografici e siti internet

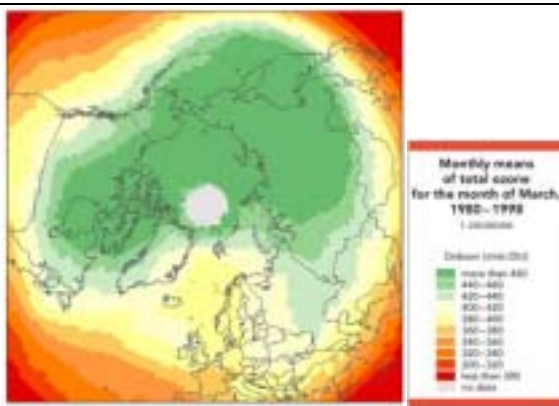
- ⌘ "Environment in the European Union at the Turn of the Century", European Environment Agency, Copenhagen, 1999
- ⌘ "Stratospheric Ozone Depletion – Environmental Signals 2000", European Environment Agency, Copenhagen, 2000
- ⌘ "Antartic Ozone Bulletin- #8/2000", WMO, Nov. 2000
- ⌘ <http://www.wmo.ch>
- ⌘ <http://www.rivm.nl>
- ⌘ <http://see.gsfc.nasa.gov>



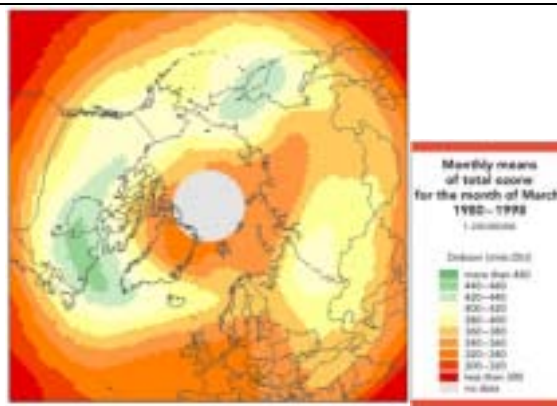
**Figura 1**  
Produzione di ozono stratosferico  
Fonte: GSFC - NASA



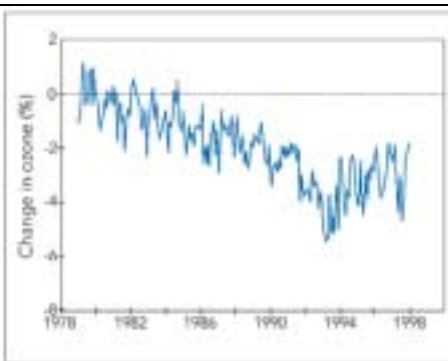
**Figura 2**  
Dimensioni del buco di ozono sopra l'Antartide  
Fonte: NCEP – NOAA



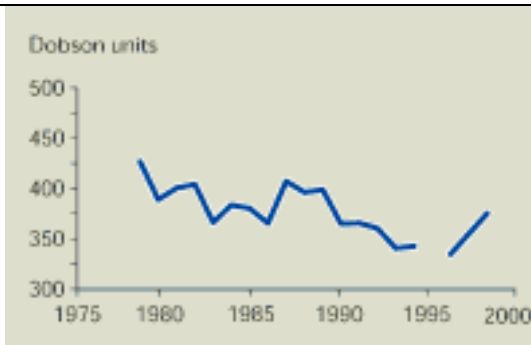
**Figura 3**  
Mappa di ozono totale per il mese di Marzo – 1980  
Fonte: EEA



**Figura 4**  
Mappa di ozono totale per il mese di Marzo – 1997  
Fonte: EEA



**Figura 5**  
Variazioni percentuali nell'ozono totale mediato da 60° latitudine sud a 60° latitudine nord.  
Fonte: EEA



**Figura 6**  
Ozono totale sopra l'Europa in Marzo  
Fonte: EEA

## 2.1.2 L'aumento della radiazione solare ultravioletta

### Aspetti generali

Grazie all'energia proveniente dal Sole si è potuta sviluppare la vita sulla Terra, la radiazione che ci proviene da questo astro riscalda il pianeta ed è elemento essenziale per la fotosintesi delle piante. Tuttavia una parte della radiazione solare, precisamente nello spettro ultravioletto (UV), produce effetti dannosi agli organismi biologici.

La radiazione ultravioletta è solitamente differenziata, per bande di lunghezza d'onda, in UVA con lunghezza tra 320 nm e 400 nm, UVB tra 290 nm e 320 nm e infine UVC tra 200 nm e 290 nm. Tuttavia questa differenziazione è piuttosto arbitraria e spesso legata agli scopi della disciplina che tratta l'argomento. Le radiazioni a onda corta (UVB e UVC) sono quelle più energetiche e per questo anche quelle ritenute più dannose alla vita di animali e piante.

Le radiazioni ultraviolette di tipo C sono assorbite dall'ozono in atmosfera prima di raggiungere la superficie terrestre, e così anche gran parte delle radiazioni UVB. Per quanto riguarda le radiazioni UVA queste non sono quasi per nulla assorbite dallo strato di ozono. Date queste premesse è ovvio come l'ozono stratosferico costituisca una barriera di protezione alla vita sul nostro pianeta. La sua diminuzione alle medie e alte latitudini fa sì che una maggiore quantità di radiazione UV raggiunga la superficie terrestre destando preoccupazione per gli effetti sull'uomo e gli ecosistemi terrestri e marini.

### L'analisi dei trend di radiazione UV

Oltre alla quantità di ozono presente in stratosfera sono molte le variabili che condizionano l'intensità della radiazione al suolo; tra queste anche l'elevazione del sole, le condizioni del cielo e la presenza di aerosol in atmosfera.

Nonostante questo, il legame tra diminuzione dell'ozono stratosferico e aumento di radiazione ultravioletta è stato confermato dagli studi condotti. Alle alte latitudini nell'emisfero boreale, durante i periodi di presenza del buco nell'ozono, si sono osservati considerevoli aumenti della radiazione UV. Anche alle medie e alte latitudini dell'emisfero nord sono stati osservati aumenti di radiazione UVB correlati con bassi valori del quantitativo di ozono presente in stratosfera. Tuttavia proprio la grande quantità di parametri ad elevata variabilità locale, che influenzano i valori di radiazione UV al suolo, rende difficile stabilire dei trend di radiazione.

Anche per l'Europa valgono queste difficoltà generali, anche per una certa carenza di lunghe serie di misure a terra e difficoltà di calibrazione. Tuttavia le misure disponibili mostrano un incremento della radiazione UV in anni recenti, confermato dai dati satellitari. Il RIVM (National Institute of Public Health and the Environment – Olanda) ha prodotto una stima della variazione percentuale dei valori annuali di radiazione UV dal 1980 al 1998 (Figura 1), che mostra un aumento soprattutto nella zona centrale dell'Europa.

La più lunga serie di misure di UV disponibile in Europa è quella di Salonico in Grecia. I dati mostrano una diminuzione dell'ozono totale del 4,5% per decade nel periodo dal 1991 al 1998, accompagnato da un aumento del 19% per decade della radiazione in grado di provocare eritema solare, di questa solo una piccola parte è però legata alla diminuzione di ozono (Figura 2).

### Gli effetti della radiazione UV

Come si è detto l'aumento della radiazione UV che raggiunge la superficie terrestre può avere ripercussioni su diversi sistemi biologici. Gli effetti possono riguardare la salute umana, gli ecosistemi marini e la vegetazione.

Gli effetti della radiazione UV sulla salute dell'uomo si limitano essenzialmente alla pelle e agli occhi a causa della bassa capacità di penetrazione dei tessuti umani tipica di queste

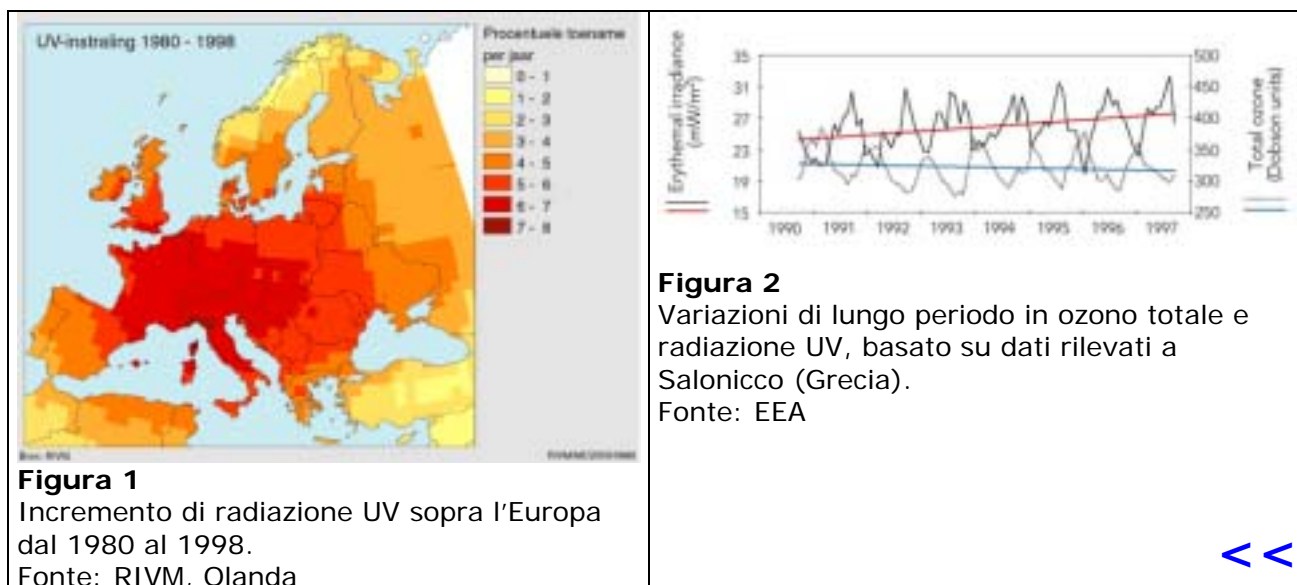
radiazioni. La risposta della pelle all'esposizione a radiazione ultravioletta può essere caratterizzata da fenomeni acuti, come l'eritema, o da fenomeni cronici, quali invecchiamento o tumori della pelle. Senza l'implementazione di regolamentazioni internazionali tese a contenere la deplezione dell'ozono stratosferico, delle quali si parlerà in seguito, si stima che si sarebbe verificato nei prossimi anni un sensibile aumento dei casi di tumore alla pelle. Sempre in relazione alla salute umana, studi epidemiologici hanno mostrato che lo sviluppo di un certo tipo di cataratta è associato all'esposizione a radiazione UVB. Anche a livello della cornea sono stati notati legami tra esposizione a UVB e sviluppo di fotocheratite.

Come si è detto anche gli ecosistemi marini sono influenzati dall'aumento di radiazione UV. A subirne le dirette conseguenze sono principalmente fitoplancton e zooplancton, che sono alla base della catena alimentare delle specie animali marine. Il fitoplancton deriva l'energia per la fotosintesi dalla luce solare, per questo vive a profondità marine tali da consentire la penetrazione di una sufficiente quantità di luce. Per proteggersi dall'aumento della radiazione UVB, il fitoplancton scende a maggiori profondità marine; riceve così una minore quantità di luce, compromettendo la propria produttività. Altri studi hanno mostrato che la radiazione UVB è in grado di causare danni irreversibili o addirittura la morte dello zooplancton, e di ridurre la capacità riproduttiva dei sopravvissuti. I danni a questi organismi potrebbero causare un'alterazione degli equilibri tra le specie marine, compromettendo quindi anche la pesca e le scorte alimentari per l'uomo.

Per quanto riguarda la vegetazione, la risposta all'esposizione alla radiazione UV include alterazioni a livello fisiologico, biochimico e morfologico. Gli effetti si traducono in problemi di crescita: limitata dimensione delle foglie e conseguente riduzione dell'area adibita alla cattura dell'energia solare.

### Riferimenti bibliografici e siti internet

- ⌘ "Environment in the European Union at the Turn of the Century", European Environment Agency, Copenhagen, 1999
- ⌘ "Stratospheric Ozone Depletion – Environmental Signals 2000", European Environment Agency, Copenhagen, 2000
- ⌘ B.L. Diffey, "Solar ultraviolet radiation effects on biological systems", *Physics in Medicine and Biology*, 1991, 36 (3), pg. 299-328
- ⌘ <http://www.eea.eu.int>
- ⌘ <http://www.nilu.no>
- ⌘ <http://see.gsfc.nasa.gov>
- ⌘ <http://www.ciesin.org>



## 2.2.1 Il consumo e la produzione di sostanze lesive dello strato d'ozono

### Aspetti generali

Non vi è ormai alcun dubbio che la causa principale dell'impoverimento dello strato di ozono stratosferico alle medie latitudini e nelle regioni polari sia l'emissione di particolari sostanze antropogeniche. L'emissione di composti inerti contenenti cloro e bromo è in grado di alterare il bilancio del ciclo di produzione e distruzione dell'ozono stratosferico. Infatti un singolo atomo di composti di cloro o bromo è in grado di distruggere migliaia di molecole di ozono prima di essere rimosso dall'atmosfera. Altri agenti che contribuiscono alla deplezione dell'ozono stratosferico sono le emissioni naturali, le grandi eruzioni vulcaniche, i cambiamenti climatici e i gas serra, il metano e gli ossidi di azoto.

Un indicatore rilevante della presenza di composti di cloro e bromo in atmosfera, basato sulle misure in troposfera, è la "concentrazione potenziale di composti di cloro e bromo". Si ottiene in questo modo un'indicazione diretta del potenziale impatto di queste sostanze sullo strato di ozono. Come conseguenza delle politiche internazionali la concentrazione potenziale nella troposfera dei composti del cloro sta diminuendo dal 1994. Tuttavia la concentrazione potenziale di composti del bromo è ancora in crescita (Figura 1).

Tra i composti di origine antropica che causano i maggiori danni allo strato di ozono vi sono i clorofluorocarburi (CFC), il tetracloruro di carbonio ( $\text{CCl}_4$ ), il tricloroetano ( $\text{CH}_3\text{CCl}_3$ ), i composti alogenati (halon), gli idroclorofluorocarburi (HCFC), il bromuro di metile ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) e il cloruro di metile ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ). Queste sostanze sono utilizzate come solventi, refrigeranti, propellenti, schiumogeni e detergenti. Sono inoltre presenti negli estintori (halon) e nei pesticidi (bromuro di metile).

Questi composti sono caratterizzati da una diversa capacità di distruzione dell'ozono, per questo motivo sono pesati in termini di ODP (Ozone Depleting Potential). Il potenziale di deplezione di ozono di una sostanza fornisce l'impatto (rispetto a quello del CFC-11) dell'emissione di 1 kg di quella sostanza in termini di distruzione dell'ozono stratosferico. Pertanto l'impatto di una sostanza sullo strato di ozono è dato dalla sua capacità di deplezione e dalle sue emissioni totali. In Tabella 1 si danno i valori di ODP dei principali composti.

Il maggior contributo alla distruzione dell'ozono è dato dai CFC, che nel 1995 costituivano il 41% del totale effettivo di composti di cloro e bromo in stratosfera (per emissioni naturali e antropogeniche). Il tetracloruro di carbonio e il tricloroetano contribuivano al totale effettivo entrambi per l'11%, i composti alogenati per il 9% e le emissioni antropogeniche di bromuro di metile per il 3%. Gli HCFC, utilizzati per sostituire i CFC, costituiscono solo l'1% dei composti in stratosfera, dal momento che sono in gran parte dissociati e rimossi a livello troposferico e solo una piccola parte raggiunge gli strati superiori dell'atmosfera. È importante tuttavia notare che sia i CFC che le sostanze alternative (HCFC e HFC) sono potenti gas serra.

### Produzione e consumo di sostanze ODP

La produzione globale di sostanze capaci di distruggere l'ozono stratosferico ha iniziato a diminuire in modo significativo già dalla fine degli anni '80, grazie alle misure di salvaguardia adottate a livello internazionale (Figura 2). Allo stesso modo anche in Europa si sono avute drastiche diminuzioni sia nella produzione che nel consumo.

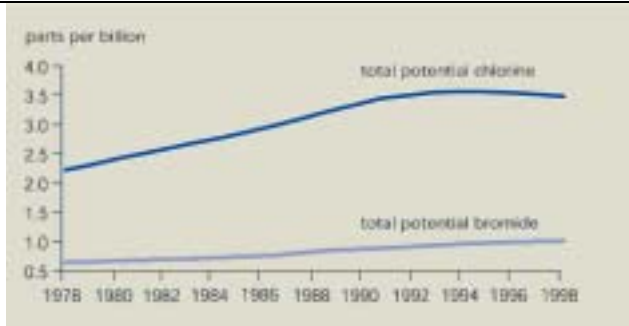
Nel 1996 la produzione di CFC nei Paesi sviluppati era scesa al 7% dei massimi livelli raggiunti alla fine degli anni '80, mentre HCFC e HFC utilizzati per sostituire i CFC erano in crescita. L'aumento di HCFC e HFC si rileva anche a livello globale come mostrato in Figura 3. Globalmente però durante gli anni '90 la produzione dei composti dannosi è diminuita a una velocità superiore a quella prevista dagli accordi internazionali. Per quanto concerne i Paesi in via di sviluppo, la produzione era piuttosto esigua nelle passate decadi, mentre in anni recenti si è avuto un aumento rispetto ai Paesi sviluppati. In Europa la produzione di CFC, tetracloruro di carbonio, tricloroetano e composti alogenati è crollata dal 1989 al 1997 (Figura 4), mentre quella degli HCFC è aumentata. La produzione di sostanze lesive dello strato d'ozono nei Paesi aderenti all'Agenzia Europea per l'Ambiente costituiva il 32% della produzione globale nel 1989, e il 25% nel 1997.

In Europa il consumo di CFC è diminuito in modo molto significativo, soprattutto nell'Europa Occidentale. Nel 1986 i consumi nell'Europa dei Quindici superavano di sette volte i consumi dei Paesi che stavano accedendo all'Unione, ma questa differenza è andata notevolmente diminuendo nel corso degli anni. Anche il consumo di sostanze alogenate e di tricloroetano è diminuito in tutti i Paesi, mentre quello di HCFC mostra aumenti in tutti i Paesi. È comunque importante osservare che dopo la produzione le sostanze dannose rimangono immagazzinate nelle apparecchiature che li utilizzano. Grandi quantità di composti alogenati e CFC sono ancora contenuti in estintori, refrigeratori e schiumogeni. Se non opportunamente rintracciati e recuperati potrebbero essere rilasciati in atmosfera.

Tra i problemi che restano aperti relativamente alla produzione e al consumo di queste sostanze ci sono quelli del contrabbando e della produzione illegale. Si stima che queste costituiscano il 10% della produzione globale del 1995. Purtroppo l'effetto di queste attività illegali potrebbe ritardare di alcuni anni il ripristino dello strato di ozono.

### Riferimenti bibliografici e siti internet

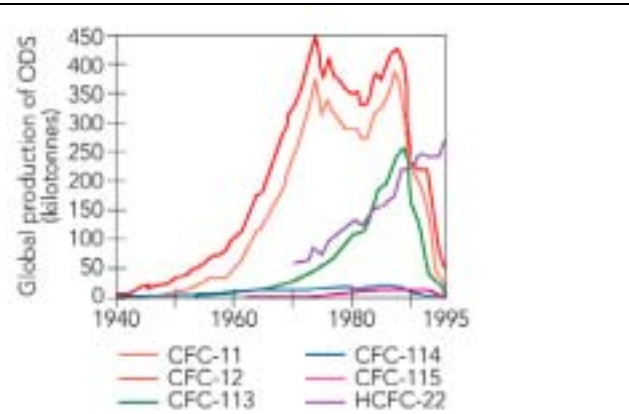
- ⌘ "Environment in the European Union at the Turn of the Century", European Environment Agency, Copenhagen, 1999
- ⌘ "Stratospheric Ozone Depletion – Environmental Signals 2000", European Environment Agency, Copenhagen, 2000
- ⌘ "Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria", Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma, 1999
- ⌘ <http://dataservice.eea.eu.int>



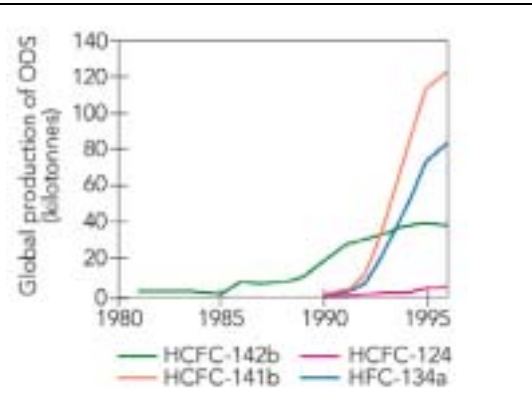
**Figura 1**  
Concentrazioni potenziali totali di composti di cloro e bromo nella troposfera.  
Fonte: EEA

Composto	ODP	Composto	ODP
CFC-11	1,0	HCFC-123	0,012
CFC-12	0,82	HCFC-124	0,026
CFC-113	0,90	HCFC-141B	0,086
CFC-114	0,85	HCFC-142B	0,043
CFC-115	0,40	HCFC-225ca	0,017
Halon 1301	12	HCFC-225cb	0,017
Halon 1211	5,1	CH <sub>3</sub> Br	0,37
Halon 2402	6,0	CH <sub>3</sub> Cl	0,02
CCl <sub>4</sub>	1,2	CH <sub>2</sub> ClBr	0,15
CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	0,12	CH <sub>2</sub> BrCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,026
HCFC-22	0,034	HFCs	<0,0005

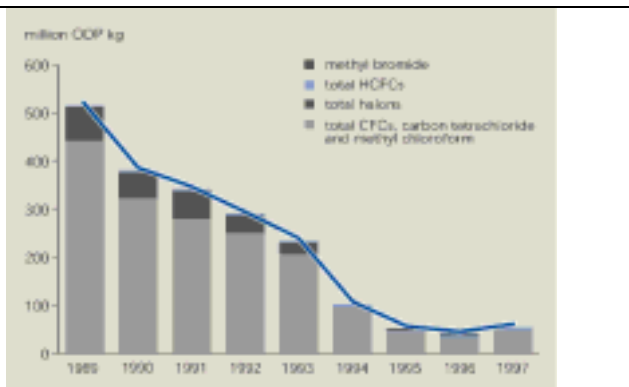
**Tabella 1**  
Potenzi di deplezione dell'ozono  
Fonte: EEA



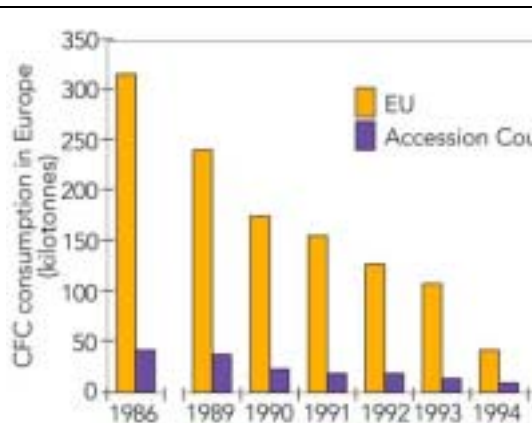
**Figura 2**  
Produzione globale di CFC. (ODS, *Ozone-depleting substance*, ossia Sostanze responsabili della deplezione dell'ozono)  
Fonte: EEA



**Figura 3**  
Produzione globale di HCFC. (ODS, *Ozone-depleting substance*, ossia Sostanze responsabili della deplezione dell'ozono)  
Fonte: EEA



**Figura 4**  
Produzione di sostanze lesive dello strato di ozono nei Paesi dell'Agenzia Europea per l'Ambiente  
Fonte: EEA



**Figura 5**  
Consumo di CFC in Europa. (Dato 1995 EU non pervenuto).  
Fonte: EEA

### 2.3.1 Protocolli e azioni internazionali

#### Le politiche internazionali

La prima sede in cui venne affrontato a livello globale il problema della deplezione dell'ozono stratosferico fu la Convenzione di Vienna del 1985. Obiettivo della Convenzione fu la regolamentazione a livello mondiale della produzione e del consumo di sostanze dannose all'ozono.

La Convenzione di Vienna trovò la prima attuazione nel Protocollo di Montreal, adottato nel 1987 ed entrato in vigore nel 1989. Nel Protocollo veniva stabilito un programma per mettere al bando i CFC (clorofluorocarburi) e i composti alogenati (halon). Nel tempo vennero introdotte modifiche, aggiornamenti e condizioni più restrittive attraverso aggiustamenti ed emendamenti al Protocollo di Montreal.

Nel 1990 durante la Conferenza di Londra venne introdotto il primo emendamento al Protocollo, nel quale si stabilirono condizioni più severe per l'eliminazione di CFC e composti alogenati e vennero introdotte nuove sostanze da controllare quali i CFC completamente alogenati, il tetracloruro di carbonio e il tricloroetano. In questa sede fu inoltre istituito un fondo multilaterale con il quale i Paesi sviluppati aiutavano i Paesi in via di sviluppo a realizzare i dettami del Protocollo. Dal 1991 al 1998 i paesi membri dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) hanno contribuito con 371,6 milioni di dollari, cioè circa il 45% dei contributi totali al fondo (Figura 1).

Successivamente, nel 1992 si elaborò il secondo emendamento al Protocollo durante la Conferenza di Copenhagen; in questa sede vennero poste limitazioni alla produzione degli HCFC (idroclofluorocarburi) e degli HFC (idrofluorocarburi) e regolamentazioni relative al bromuro di metile. Nell'Unione Europea gli emendamenti proposti a Copenhagen sono stati recepiti nel Regolamento 3093/94.

Infine nel 1997 durante la conferenza di Montreal venne concordato l'ultimo emendamento al Protocollo, che stabiliva tempi di riduzione e la messa al bando delle precedenti sostanze. In Tabella 1 sono presentate le fasi di eliminazione delle principali sostanze come stabilito dall'Emendamento di Montreal e dal Regolamento dell'Unione Europea 3093/94. Il Consiglio dei Ministri dell'Unione Europea ha approvato nel 1998 una proposta (COM(98)398) che pone limiti alla produzione (e non solo al consumo) di HCFC e impone controlli più severi per il consumo e l'utilizzo di HCFC e per la produzione e il consumo di bromuro di metile, come illustrato in Tabella 2.

Nel Protocollo di Montreal e in tutti i suoi emendamenti i Paesi in via di sviluppo e i Paesi sviluppati sono trattati in modo differente rispetto alle misure di controllo. Nei Paesi sviluppati sono consentite produzione e consumo di sostanze dannose allo strato di ozono solo in piccole quantità e per usi essenziali. Per i Paesi in via di sviluppo è permesso assecondare i bisogni domestici essenziali, fino a un massimo pari al 15% della produzione di base. In questi Paesi CFC, composti alogenati e tetracloruro di carbonio dovranno essere banditi entro il 2010 e il tricloroetile entro il 2015.

#### Gli scenari

Gli effetti sull'ozono delle sostanze in grado di distruggerlo sono valutati in termini di "composti del cloro stratosferici effettivi". In questo parametro vengono combinati gli effetti dei composti di cloro e bromo tramite i diversi potenziali di deplezione.

La totale reintegrazione dello strato di ozono dovrebbe avvenire quando il livello di composti del cloro stratosferici effettivi sarà inferiore al quello del 1980, cioè 2 ppb. Assumendo una piena adesione alle direttive internazionali lo strato di ozono dovrebbe ricostruirsi in non meno di 50 anni. Le stime indicano che il livello minimo di ozono dovrebbe verificarsi al più tardi entro la prossima decade (Figura 2).

Per stimare i tempi di ricostruzione dell'ozono stratosferico sono stati studiati diversi scenari di intervento (Figura 3). Lo scenario base prevede adesione completa al Protocollo di Montreal e a tutti i suoi emendamenti. Secondo questo scenario la ricostruzione dello strato

di ozono avverrà intorno al 2050. Lo scenario di "nessuna produzione", che prevede la cessazione della produzione di tutte le sostanze dannose a livello mondiale (tranne che per alcuni scopi), anticipa la ricostruzione intorno al 2043. Questi tempi possono essere ulteriormente ridotti (circa 2033) nello scenario minimo, nel quale si prevedeva che cessassero le emissioni dal 1999. I tempi maggiori sono invece stimati nello scenario massimo per cui i Paesi in via di sviluppo producono il massimo delle sostanze loro consentite dal Protocollo di Montreal. In questo scenario la ricostruzione è ritardata al 2052.

È convinzione diffusa che i benefici derivanti dall'applicazione del Protocollo abbiano ampiamente ripagato i costi dalla sua attuazione. È stato stimato che i danni economici, anche nei soli termini di danno alla pesca, all'agricoltura e ai materiali, derivanti dalla non applicazione del Protocollo avrebbero superato i costi sostenuti. Enormi benefici sono derivati anche alla salute umana. Le stime fatte suggeriscono che i casi di tumori alla pelle sarebbero cresciuti enormemente nel tempo (Figura 4).

### **Alcune questioni aperte**

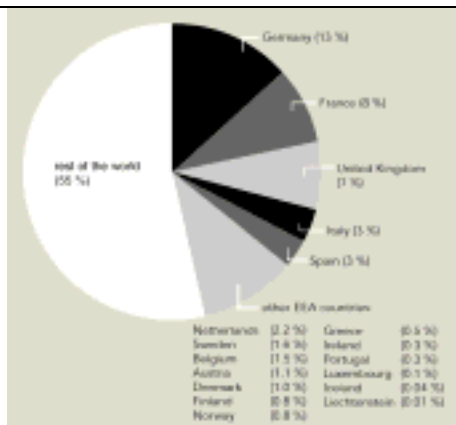
A tredici anni dalla sua approvazione il Protocollo appare come uno strumento positivo, tuttavia rimangono aperte alcune questioni.

Ulteriori misure, dirette soprattutto al controllo delle emissioni globali di halon e alla produzione di HCFC, potrebbero anticipare i tempi della ricostruzione dello strato di ozono. Tra i problemi aperti rimane quello del contrabbando del CFC. L'Agenzia di Investigazione Ambientale dell'Unione Europea stima che ogni anno il traffico illegale di CFC ammonti a 30000 t.

Per l'Unione Europea restano ancora molte sfide aperte. Tra queste vi sono: assicurare piena adesione al Protocollo da parte dei Paesi in via di sviluppo; ridurre la produzione delle sostanze dannose ancora consentite per usi essenziali; scoraggiare la produzione di HCFC in sostituzione dei CFC. Ancora: prevenire l'incremento di utilizzo del bromuro di metile nei Paesi in via di sviluppo; bloccare il passaggio di equipaggiamenti che utilizzino CFC ai Paesi in via di sviluppo e prevenire la produzione e il commercio di nuove sostanze dannose per lo strato di ozono.

### **Riferimenti bibliografici e siti internet**

- ⌘ "Environment in the European Union at the Turn of the Century", European Environment Agency, Copenhagen, 1999
- ⌘ "Stratospheric Ozone Depletion – Environmental Signals 2000", European Environment Agency, Copenhagen, 2000
- ⌘ "Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria", Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma, 1999



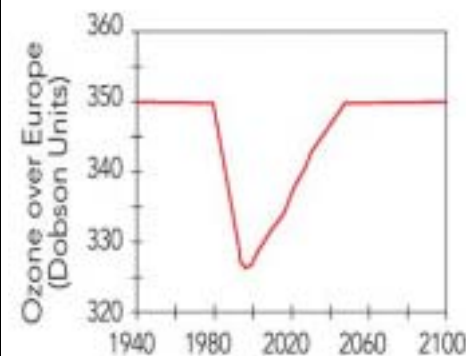
**Figura 1**  
Contributi percentuali dei Paesi membri EEA, al fondo multilaterale dal 1991 al 1998  
Fonte: EEA

**TABELLA VEDI PAGINA SEGUENTE**

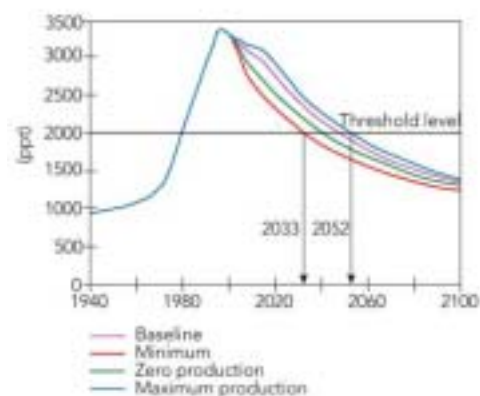
**Tabella 1**  
Programma di riduzione e messa al bando di alcune sostanze nei Paesi sviluppati concordemente all'Emendamento di Montreal e al Regolamento Europeo 3093/94  
Fonte: EEA

**TABELLA VEDI PAGINA SEGUENTE**

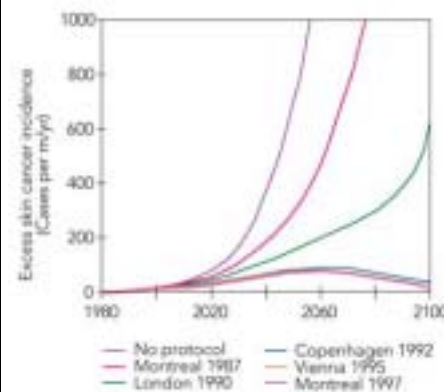
**Tabella 2**  
Controlli più restrittivi proposti dall'Unione Europea.  
Fonte: EEA



**Figura 2**  
Stime dei livelli di ozono  
Fonte: EEA



**Figura 3**  
Scenari di ricostruzione dell'ozono stratosferico  
Fonte: EEA



**Figura 4**  
Stima dell'incremento dei tumori alla pelle in diversi scenari  
Fonte: EEA

<b>Sostanza</b>	<b>Anno</b>	<b>Emendamento di Montreal</b>
Composti alogenati	1994	messa al bando (100%)
CFC, tetracloruro di carbonio, tricloroetano	1996	messa al bando (100%) (nell'Unione Europea messa al bando di CFC e tetracloruro di carbonio al 1995)
HBFC	1996	eliminazione: 100%
HCFC	1996	stabilizzazione dei consumi calcolati al 2,8% dei consumi di CFC nel 1989 più consumo totale di HCFC enl 1989 (2,6% per l'Unione Europea)
	2004	riduzione del 35% del valore precedente
	2010	riduzione del 65%
	2015	riduzione del 90%
	2020	messa al bando, sono ammesse code dello 0,5% per equipaggiamenti esistenti (nell'Unione Europea messa al bando dei consumi per il 2015)
Bromuro di metile	1995	Stabilizzazione della produzione e dei consumi ai livelli del 1991
	1999	riduzione del 25% del valore precedente (nell'Unione Europea riduzione del 25% entro il 1998)
	2001	riduzione del 50%
	2003	Riduzione del 70%
	2005	messa al bando (10%)

Tabella 1

<b>Sostanza</b>	<b>Anno</b>	<b>Proposta della commissione</b>
CFC, halon, HBFC tetracloruro di carbonio, tricloroetano		produzione e utilizzo proibiti
HCFC produzione	2000	stabilizzazione ai livelli del 1997
	2008	riduzione del 65% dai livelli del 1997
	2014	riduzione del 80%
	2020	riduzione del 85%
	2026	produzione proibita
HCFC consumo	1999	stabilizzazione dei consumi calcolati al 2,6% dei consumi di CFC nel 1989 più consumo totale di HCFC enl 1989
	2001	stabilizzazione dei consumi calcolati al 2% dei consumi di CFC nel 1989 più consumo totale di HCFC enl 1989
	2002	riduzione del 10% dai livelli del 2001
	2003	riduzione del 65%
	2004	riduzione del 70%
	2008	riduzione del 95%
	2015	messa al bando (100%)
Bromuro di metile	1999	riduzione del 25% della produzione e dei consumi dai livelli del 1991
	2001	messa al bando (100%) con possibili eccezioni per utilizzi critici

Tabella 2



### 2.3.2 Il quadro nazionale

L'Italia ha recepito la Convenzione di Vienna del 1985 attraverso la legge 4 luglio 1988, n.277, e il Protocollo di Montreal del 1987 attraverso la legge 23 agosto 1988, n. 393.

Operativamente si fa però riferimento alla legge 28 dicembre 1993, n. 549, e successive modifiche, la quale ha l'obiettivo di favorire la cessazione dell'impiego di sostanze lesive dell'ozono stratosferico e dannose per l'ambiente, nonché di disciplinare le fasi di raccolta, riciclo e smaltimento di tali sostanze. In particolare prevede regolamentazioni per la produzione, consumo, importazione, esportazione, detenzione e commercializzazione delle sostanze elencate in [tabella 2.3.2.1](#), in accordo con quanto disposto dal regolamento (CE) n. 3093/94 (prima dell'emanazione del decreto legge 10 febbraio 1996, che ha modificato la legge 549/93, si faceva riferimento al regolamento 594/1991). Inoltre vieta l'autorizzazione degli impianti che prevedono l'utilizzo di determinate sostanze (tra cui quelle di [tabella 2.3.2.1](#)), sempre in accordo con il già citato regolamento CE 3093/94. In ogni caso, l'utilizzo di queste sostanze deve obbligatoriamente cessare entro il 31 dicembre 2008.

E' prevista anche l'istituzione di centri di raccolta autorizzati per beni e prodotti contenenti le sostanze lesive dell'ozono stratosferico, e vengono specificate le modalità di raccolta e i requisiti che tali centri devono avere: anche i commercianti di beni e prodotti contenenti dette sostanze hanno l'obbligo di accettare in restituzione beni o prodotti dismessi.

Viene proposta altresì l'etichettatura dei prodotti contenenti sostanze lesive per l'ozono, tramite la dicitura: *"Questo prodotto contiene sostanze che danneggiano l'ozono stratosferico; alla fine del suo utilizzo deve essere consegnato agli appositi centri di raccolta: chiedere informazioni ai servizi di gestione della nettezza urbana nel vostro comune"*.

All'articolo 13 la legge prevede inoltre la predisposizione del monitoraggio dei livelli di ozono stratosferico e della radiazione UV al suolo.

Numerose sono le norme emanate nel corso degli anni che apportano modifiche a questa legge: il già citato D.L. 10 febbraio 1996, n. 56, il D.M. 26 marzo 1996, il D.L. 12 aprile 1996, n. 193, il D.L. 11 giugno 1996, n. 315, il D.L. 2 agosto 1996, n.411, il D.L. 4 ottobre 1996, n.520 la legge 179 del 16 giugno 1997, per finire con il D.M. 10 marzo 1999. Le modifiche, già recepite nella norma originaria, non ne variano il contenuto ma contengono indicazioni di carattere operativo come gli stanziamenti economici per fare fronte alle obbligazioni di legge e differimenti e fissazioni dei termini previsti dalla legge. L'ultima modifica apportata ha prorogato al 31 dicembre 2000 il termine del programma di dismissione degli halons originariamente fissato al 31 dicembre 1998 (ferma restando la cessazione totale fissata al 2008 dell'utilizzo di determinate sostanze).

#### La ricerca in Italia

I due enti di ricerca maggiormente coinvolti a livello nazionale in studi sull'ozono stratosferico sono CNR ed ENEA, i quali inoltre collaborano nell'ambito del PNRA (Programma Nazionale di Ricerca in Antartide, [figura 2.3.2.2](#)), istituito attraverso la legge n. 284 del 10 giugno 1985. Il programma di ricerca, patrocinato dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, è volto ad assicurare la presenza dell'Italia nell'ambito del Trattato Antartico, sottoscritto dall'Italia il 18 marzo 1981.

Tra gli altri progetti di ricerca del PNRA, l'Italia si è occupata dell'assottigliamento dell'ozono stratosferico assieme alla Russia attraverso un programma europeo, il progetto APE (*Airborne Polar Experiment*), che ha visto la partecipazione di numerosi gruppi di ricerca nazionali e comunitari. Scopo della ricerca è la conduzione di misure

per lo studio della chimica dell'atmosfera antartica, in particolare dei processi chimici responsabili di assottigliare lo strato di ozono e della interazione tra le masse del vortice polare e quelle delle medie latitudini dell'emisfero sud.

La campagna si è svolta ad Ushuaia (Argentina, in [figura 2.3.2.3](#) è visibile l'aeroporto) dal 15 settembre al 15 ottobre 1999 per mezzo di un aereo ([figura 2.3.2.4](#)) in grado di raggiungere quote stratosferiche (fino a 21 km), dotato di apposita strumentazione di monitoraggio: 12 strumenti, ciascuno specializzato per una diversa misura e per operare a quote stratosferiche ([figura 2.3.4.5](#)). Tra questi vari spettrometri (per lunghezze d'onda dall'UV all'IR), LIDAR per la misurazione di aerosols e strumenti per rilevare le concentrazioni di vari composti, tra cui ozono, vapore acqueo, CFC, N<sub>2</sub>O e SF<sub>6</sub>.

In tutto sono stati effettuati cinque voli ([figura 2.3.2.6](#)) che hanno permesso di evidenziare la formazione di nubi polari stratosferiche, ritenute i precursori dei fenomeni di distruzione dell'ozono. Inoltre osservazioni compiute in voli alla quota di 14 km indicano un rimescolamento maggiore del vortice polare a queste quote rispetto a quanto avviene a 18 km, la qual cosa consentirebbe un maggior trasporto di aria polare verso le medie latitudini. I dati elaborati hanno permesso di stabilire che esiste un buon accordo sui modelli teorici formulati e la realtà osservata, il che permette di concludere che la situazione può, con gli accordi internazionali presi, essere tenuta sotto controllo.

Oltre a ciò, il CNR, attraverso l'Istituto per lo Studio dei Fenomeni Fisici e Chimici della Bassa e Alta Atmosfera (Fisbat), conduce ricerca nel campo della strumentazione ottica per la misurazione di gas minori atmosferici e particelle di aerosols in atmosfera. In particolare, si sta ampliando l'applicazione della tecnica DOAS (Spettroscopia di Assorbimento Ottico Differenziale) per l'osservazione di gas stratosferici in tracce. Uno spettrometro DOAS (tipo GASCOD) è stato installato presso il Laboratorio "Ottavio Vittori" al Monte Cimone ed un secondo presso la stazione italiana di Terra Nova Bay in Antartide. Una versione apposita del medesimo spettrometro (opportunamente modificata) è stata installata anche a bordo dell'aereo utilizzato nel progetto APE.

Infine, va ricordato che il Fisbat partecipa alla rete mondiale di stazioni di ozonosondaggi (WODC, World Ozone Data Centre) del WMO (World Meteorological Organization) attraverso una stazione meteorologica situata in Emilia Romagna operante con continuità, l'unica stazione italiana riconosciuta da organismi internazionali.

### **Le attività dell'ANPA**

In base all'articolo 5 della citata legge 549/93, all'ANPA spettano determinate funzioni in materia di tutela e monitoraggio dell'ozono stratosferico. In particolare all'ANPA compete la redazione delle liste delle sostanze lesive per l'ozono, per modificare ed integrare quelle esistenti, nonché la definizione di norme tecniche e modalità per la diminuzione delle emissioni in atmosfera, per la raccolta, il ricupero ed il riciclaggio delle sostanze sospettate di ridurre la fascia di ozono.

Inoltre, all'ANPA spettano compiti economici (la destinazione dei fondi stanziati dall'Italia per questo scopo), e di controllo sullo stato di attuazione della legge. Tra gli obblighi previsti vi è anche l'autocertificazione, presso l'ANPA, da parte delle industrie che utilizzano certe sostanze ritenute lesive dell'ozono stratosferico. Tale certificazione deve contenere dati quali l'ubicazione degli impianti, le tipologie di sostanze ed i quantitativi utilizzati.

**Riferimenti bibliografici e siti internet**

- # [www.area.fi.cnr.it](http://www.area.fi.cnr.it)
- # [www.apegaia.iroec.fi.cnr.it](http://www.apegaia.iroec.fi.cnr.it)
- # [www.enea.it](http://www.enea.it)
- # ANPA *Il monitoraggio dello stato dell'ambiente in Italia*, 2000.

**Il capitolo è stato redatto dalla Fondazione Lombardia per l'Ambiente**  
[www.flanet.org](http://www.flanet.org)

- 1.1 triclora-fluoro-metano: C F Cl3 (CFC-11);
- 1.2 dicloro-difluoro-metano: C F2 Cl2 (CFC-12);
- 1.3 cloro-trifluoro-metano: C F3 Cl (CFC-13);
- 1.4 pentacloro-fluoro-etano: C2 F Cl5 (CFC-111);
- 1.5 tetracloro-difluoro-etano: C2 F2 Cl4 (CFC-112);
- 1.6 triclora-trifluoro-etano: C2 F3 Cl3 (CFC-113);
- 1.7 tetrafluoro-dicloro-etano: C2 F4 Cl2 (CFC-114);
- 1.8 pentafluoro-cloro-etano: C2 F5 Cl (CFC-115);
- 1.9 eptacloro-difluoro-propano: C3 F2 Cl7 (CFC-211);
- 1.10 esacloro-difluoro-propano: C3 F2 Cl6 (CFC-212);
- 1.11 pentacloro-trifluoro-propano: C3 F3 Cl5 (CFC-213);
- 1.12 tetracloro-tetrafluoro-propano: C3 F4 Cl4 (CFC-214);
- 1.13 triclora-pentafluoro-propano: C3 F5 Cl3 (CFC-215);
- 1.14 dicloro-esafluoro-propano: C3 F6 Cl2 (CFC-216);
- 1.15 cloro-eptafluoro-propano: C3 F7 Cl (CFC-217).
- 2.1 difluoro-cloro-bromo-metano: C F2 Br Cl (halon-1211);
- 2.2 trifluoro-bromo-metano: C F3 Br (halon-1301);
- 2.3 tetrafluoro-dibromo-etano: C2 F4 Br2 (halon-2402).
- 3.1 1,1,1 tricloraetano: CHCl3
- 4.1 tetracloruro di carbonio: C Cl4 (CFC-10).

**Tabella 2.3.2.1**  
 Sostanze lesive dell'ozono stratosferico regolamentate dalla legge 549/93.



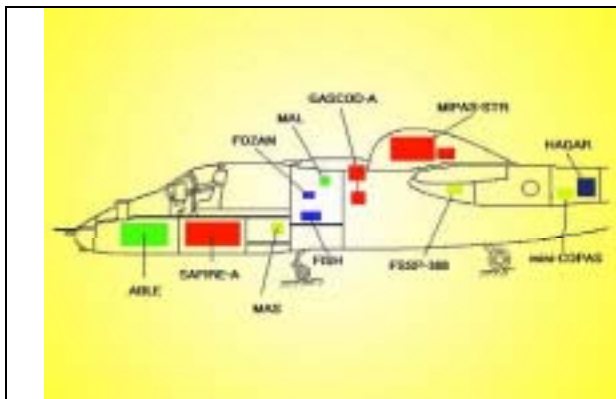
**Figura 2.3.2.2**  
 Il logo del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide.



**Figura 2.3.2.3**  
 L'aeroporto di Ushuaia, Argentina, utilizzato come base per il ricovero della piattaforma aerea di rilevamento.



**Figura 2.3.2.4**  
 L'aereo M55-Geophysica in un hangar dell'aeroporto di Ushuaia.



**Figura 2.3.2.5**  
La strumentazione a bordo



**Figura 2.3.2.6**  
I voli della campagna APE

