

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE “FERMO CORNI”

Classe V<sup>a</sup> B liceo scientifico tecnologico

A.S. 2005/06

---

## **Ozono e chimica della stratosfera**

---

Tesina di *De Simone Domenico & Martinelli Antonio*

## **INDICE**

<i>-Introduzione</i>	<i><b>pag. 3</b></i>
<i>-Stratosfera</i>	<i><b>pag. 4</b></i>
<i>-Ozonosfera e formazione/distruzione ozono atmosferico</i>	<i><b>pag. 5</b></i>
<i>-Buco dell'ozono</i>	<i><b>pag. 9</b></i>
<i>-CFC e loro ruolo</i>	<i><b>pag. 12</b></i>
<i>-Le posizioni politiche e le controversie sul buco nell'ozono</i>	<i><b>pag. 14</b></i>
<i>- Protocollo di Montreal</i>	<i><b>pag. 15</b></i>
<i>- Bibliografia e sitografia</i>	<i><b>pag. 17</b></i>

## Introduzione

L'atmosfera circonda completamente la Terra e forma spesso uno spesso strato.

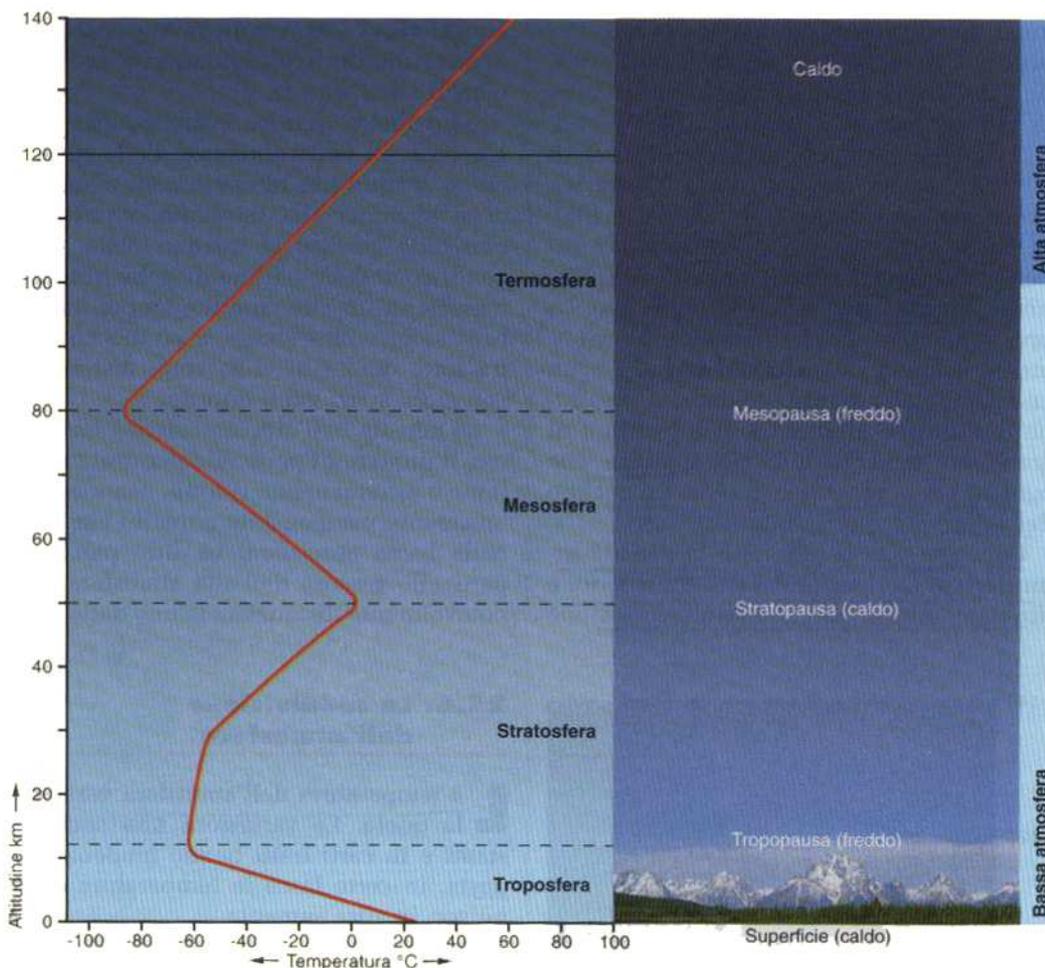
L'aria è un fluido inodore ed incolore allo stato gassoso che viene chiamato appunto atmosfera.

L'analisi chimica dell'atmosfera rivela la presenza costante di alcuni gas presenti in percentuali diverse. La tabella che segue mostra la composizione chimica dell'atmosfera e le rispettive percentuali:

Gas	Percentuali
Azoto (N <sub>2</sub> )	78,03%
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	20,99%
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	0,03%
Argon (Ar)	0,94%
Idrogeno (H)	0,001%
Neon (Ne)	0,0012%
Elio (He)	0,0004%

I primi quattro gas della tabella si trovano nella bassa atmosfera mentre i rimanenti tre nell'alta atmosfera.

Ora forniamo una suddivisione dell'atmosfera in base al gradiente termico in modo tale da individuare la stratosfera e il suo strato di ozono.

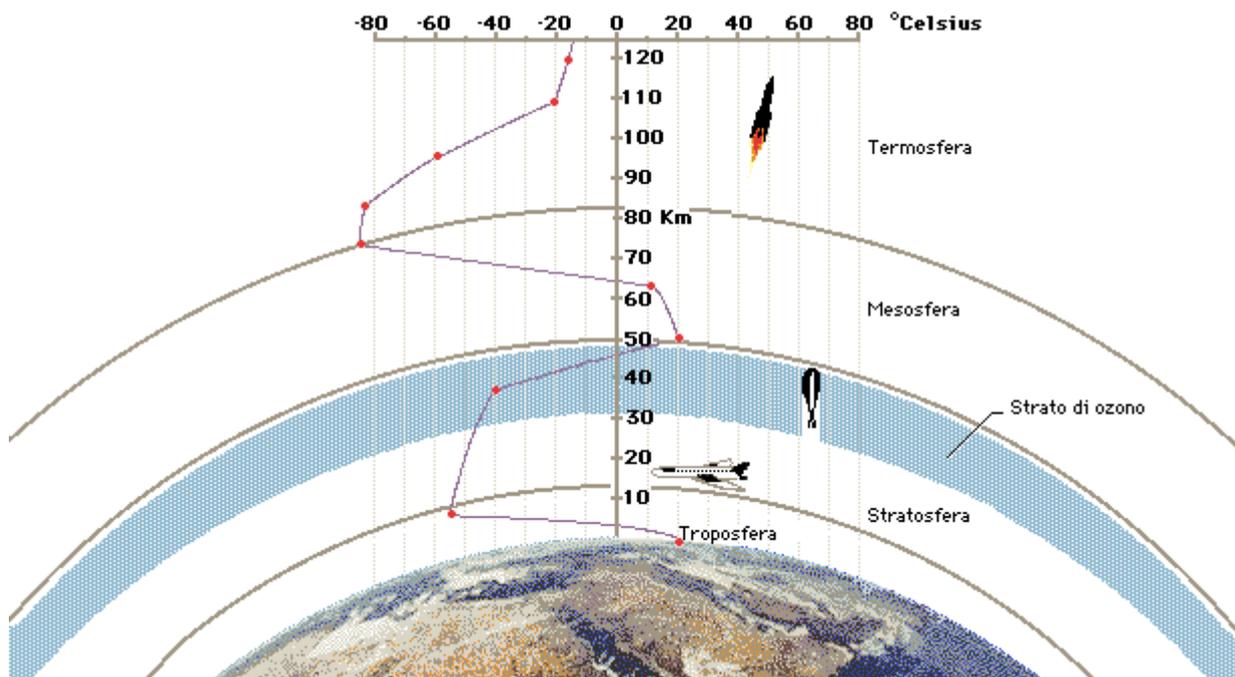


Così si suddivide l'atmosfera in base al gradiente termico.

## Stratosfera

La stratosfera si colloca immediatamente sopra la troposfera, lo strato atmosferico nel quale siamo naturalmente immersi, e si estende dai 15 ai 50 km circa di altezza.

Come detto in precedenza la composizione chimica della stratosfera si riferisce ai quattro gas citati prima con una percentuale pressoché irrilevante degli altri tre. I quattro gas  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  e Ar sono presenti nelle stesse percentuali della troposfera ma sono più rarefatti. In questo strato si registra un'assenza di vapore acqueo, che caratterizza invece la troposfera per la determinazione dei fenomeni meteorologici, assenti in questo strato. Questo strato è invece caratterizzato da un aumento della temperatura dovuto alla presenza dell'ozono, fenomeno che chiariremo dopo.



Altra immagine della suddivisione dell'atmosfera in base al gradiente termico; nella stratosfera il gradiente termico è positivo, infatti in questa sfera le temperature si alzano a causa della presenza dello strato di ozono.

## *Ozonosfera e formazione/distruzione ozono atmosferico*

### **Introduzione**

Ozonosfera, strato dell'atmosfera terrestre compreso tra i 20 e i 50 km di quota, caratterizzato da una concentrazione di ozono relativamente alta, che può raggiungere le 10 ppm (parti per milione). A queste quote, l'ozono si forma naturalmente per effetto dell'interazione delle molecole di ossigeno presenti nell'atmosfera con le radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole. La concentrazione naturale di ozono rimane pressoché costante grazie all'equilibrio tra il processo di produzione e quello di distruzione operato da alcuni composti dell'azoto, anch'essi presenti in atmosfera. L'assorbimento della radiazione ultravioletta nell'ozonosfera produce un'inversione nell'andamento della temperatura in funzione della quota: mentre nella troposfera la temperatura diminuisce al crescere della quota, nell'ambito dell'ozonosfera essa aumenta al crescere della distanza dalla superficie terrestre.

A livello della stratosfera, lo strato di ozono crea una sorta di schermo protettivo che assorbe le dannose radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole, consentendo la vita sulla Terra. Questo tipo di radiazioni, infatti, altamente energetiche e penetranti, possono alterare e danneggiare il DNA degli esseri viventi.

Nella troposfera, invece, la formazione dell'ozono è correlata soprattutto alle emissioni inquinanti degli autoveicoli e delle industrie, che rilasciano nell'aria anidride solforosa, ossidi di azoto e composti organici volatili. Questo ozono ha un notevole potere ossidante e risulta nocivo per la salute degli organismi, uomo compreso.

Per mantenere costante la quantità di ozono nella stratosfera devono avvenire reazioni fotochimiche che devono essere in perfetto equilibrio fra di loro, ma sono facilmente perturbabili da molecole che possono interferire in questo equilibrio, come i composti clorurati (come i clorofluorocarburi), i bromurati e gli ossidi di azoto.

L'emissione di questi composti in atmosfera accentua il naturale assottigliamento dello strato di ozono che permette alle radiazioni ultraviolette di arrivare sulla superficie terrestre con la seria possibilità di provocare gravi danni agli esseri viventi. Questo problema chiamato comunemente "buco dell'ozono" sta preoccupando gli studiosi, per questo nel 1987 molti paesi del mondo hanno stipulato, nel protocollo di Montreal, la regolamentazione delle emissioni dei composti citati in precedenza.

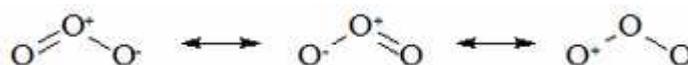


Lo strato di ozono respinge, attraverso l'assorbimento, le radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole.

## Ozono

L'ozono è un gas dall'odore caratteristico, le cui molecole sono formate da tre atomi di ossigeno (simbolo O<sub>3</sub>). Presente negli strati alti dell'atmosfera, si forma da molecole di ossigeno (O<sub>2</sub>) in prossimità di scariche elettriche, scintille, fulmini.

La sua struttura chimica è un ibrido di risonanza tra tre formule limite possibili:



che ne fa una molecola estremamente reattiva. È un energico ossidante e per gli esseri viventi è un gas altamente velenoso. È tuttavia un gas essenziale alla vita sulla Terra per via della sua capacità di assorbire la luce ultravioletta. Lo spettro di assorbimento dell'ozono va da lunghezze d'onda di 200 nm a 280 nm che permette l'assorbimento delle UV-C mentre non riesce ad assorbire efficacemente lunghezze d'onda maggiori come le UV-B (280-320 nm) e le UV-A (320-400 nm) che costituiscono il 10-30% (a seconda della latitudine) delle ultraviolette. La quantità totale di ozono che ci sovrasta è espressa in unità Dobson (DU) che equivale allo strato di ozono puro dello spessore di 0,01 mm alla densità che questo gas possiede alla pressione atmosferica a livello del suolo (1 atm). L'ozono non è stabile per lunghi periodi e non viene pertanto prodotto e commercializzato in bombole come gli altri gas industriali. Viene generalmente preparato al momento dell'utilizzo attraverso apparecchi detti *ozonizzatori* che convertono l'ossigeno dell'aria in ozono tramite scariche elettriche. Dato il suo potere ossidante, l'ozono viene impiegato per sbiancare e disinfettare, in maniera analoga al cloro. Tra gli usi industriali dell'ozono si annoverano i seguenti:

- disinfezione dell'acqua negli acquedotti
- disinfezione acqua delle piscine
- disinfezione dell'acqua destinata all'imbottigliamento
- disinfezione di superfici destinate al contatto con gli alimenti
- disinfezione dell'aria da spore di muffe e lieviti
- disinfezione di frutta e verdura da spore di muffe e lieviti
- ossidazione di inquinanti chimici dell'acqua (ferro, arsenico, acido solfidrico, nitriti e complessi organici)
- ausilio alla flocculazione di fanghi attivi nella depurazione delle acque

Ozono	
Nome IUPAC	
ozono	
Caratteristiche generali	
Formula bruta o molecolare	O <sub>3</sub>
Massa molecolare (amu)	48
Aspetto	gas blu
Numero CAS	10028-15-6
Proprietà chimico-fisiche	
Densità (g/l)	1,7 × 10 <sup>-3</sup>
Solubilità in acqua	0,57 g/l a 293 K
Temperatura di fusione (K)	80 (-193°C)
Temperatura di ebollizione (K)	161 (-112°C)
Tensione di vapore (Pa) a 261 K	5,5 × 10 <sup>6</sup>
Proprietà termochimiche	
Δ <sub>f</sub> H <sup>0</sup> (kJ·mol <sup>-1</sup> )	142,7
Δ <sub>f</sub> G <sup>0</sup> (kJ·mol <sup>-1</sup> )	163,2
S <sub>m</sub> <sup>0</sup> (J·K <sup>-1</sup> ·mol <sup>-1</sup> )	238,9
C <sub>p,m</sub> <sup>0</sup> (J·K <sup>-1</sup> ·mol <sup>-1</sup> )	39,2
Indicazioni di sicurezza	

- pulizia e sbiancamento dei tessuti
- abrasione superficiale di materie plastiche e altri materiali per consentire l'adesione di altre sostanze o per aumentarne la biocompatibilità
- invecchiamento accelerato di gomme e materie plastiche per verificarne la resistenza nel tempo

## **Formazione e distruzione non catalitica dell'ozono atmosferico:**

### ***Formazione:***

Al di sopra della stratosfera l'aria è assai sottile e la gran parte della concentrazione delle molecole di ossigeno esiste in forma atomica per effetto della dissociazione atomica delle molecole di O<sub>2</sub>. La dissociazione atomica è una reazione fotochimica, ovvero innescata da un input di energia sotto forma di energia luminosa e la reazione di fotolisi della molecola di O<sub>2</sub> avviene nel modo seguente:



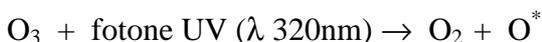
Mentre nella stratosfera stessa, l'intensità della luce UV-C è minore di quella dell'aria sovrastante perciò l'aria è più densa e l'ossigeno risulta maggiore in forma molecolare. Per questa serie di ragioni in questo strato il destino cui più comunemente gli atomi di ossigeno atomico vanno incontro è quello di collidere con quello molecolare indissociato generando così ozono:



Questa reazione così semplice sta alla base della formazione di tutto l'ozono atmosferico.

### ***Distruzione non catalitica dell'ozono:***

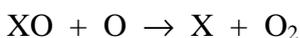
La distruzione non catalitica dell'ozono avviene naturalmente ad opera della luce UV in particolare come abbiamo citato prima di onde con lunghezze d'onda inferiori 320 nm quindi di luce UV-C e parte di UV-B. L'assorbimento di tali lunghezze d'onda permette quindi all'ozono di dissociarsi con la conseguente distruzione di tale molecola:



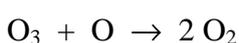
L'ossigeno O\* fa riferimento atomi che possiedono transitoriamente una configurazione elettronica differente da quella ordinaria, ed in particolare ci si riferisce ad atomi eccitati ovvero più energetici.

### ***Distruzione catalitica dell'ozono atmosferico:***

Esistono alcune specie atomiche indicate in generale X, che reagiscono efficacemente con l'ozono sottraendo da questo un atomo di ossigeno:



La somma delle due reazioni è :



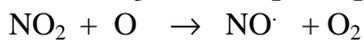
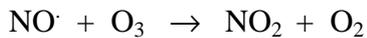
Quindi le specie chimiche del tipo X sono catalizzatori della distruzione dell'ozono nella stratosfera dato che accelerano (in questo caso O<sub>3</sub> e O) venendo alla fine rigenerati e partecipando nuovamente alla reazione, determinando così la distruzione di altre molecole di ozono.

Chimicamente, tutti i catalizzatori del tipo X sono radicali liberi, cioè atomi o molecole contenenti un numero dispari di elettroni; queste specie chimiche sono molto reattive perché hanno una spiccata tendenza a reagire in modo da associare il loro elettrone libero con un altro elettrone anche se questo si trova in una molecola differente.

La versione "naturale" di X, cioè già presente nella stratosfera, è la molecola dell'ossido d'azoto, NO·, prodotta quando l'ossido nitroso N<sub>2</sub>O sale dalla troposfera alla stratosfera, dove le sue molecole possono collidere con atomi d'ossigeno eccitati prodotti dalla decomposizione fotochimica dell'ozono.



Le molecole prodotte in questa reazione sono catalizzatori del tipo X e agiscono nel seguente modo:

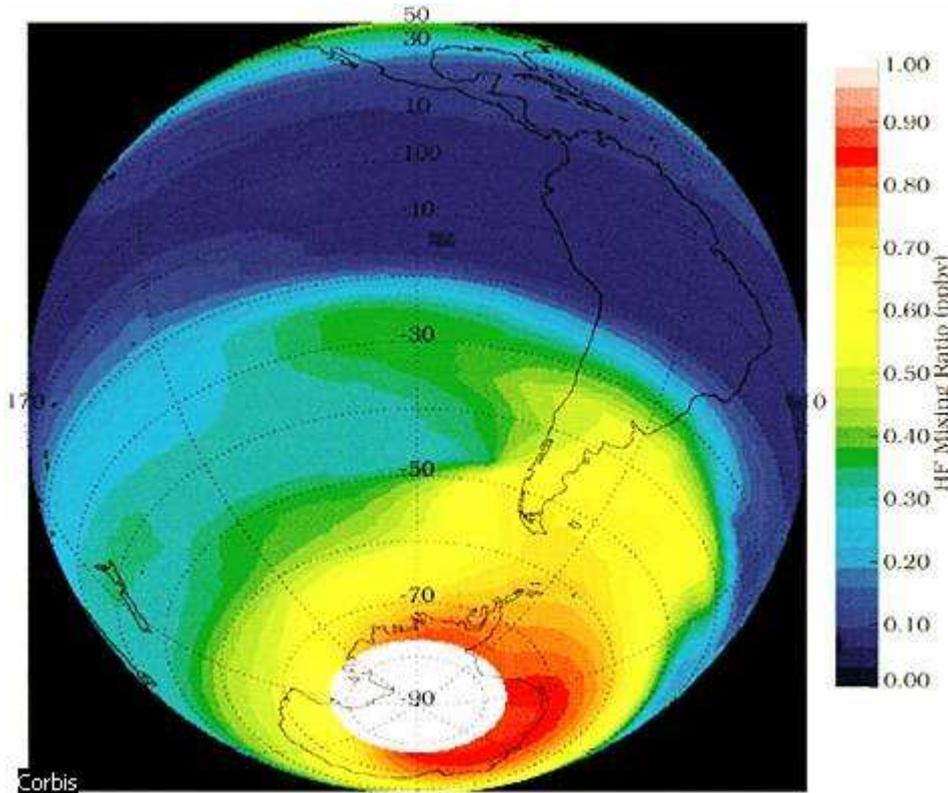


-----



La decomposizione dell'ozono da parte delle radiazioni UV o dei catalizzatori del tipo X dipende dalla concentrazione dell'ozono e dall'intensità della radiazione solare o dalla concentrazione del catalizzatore del tipo X ma in generale, la concentrazione dell'ozono aumenta fino a livelli a cui la velocità netta di distruzione eguaglia quella di produzione, allorché rimane costante fintantoché rimane invariata l'intensità della luce solare.

## Buco dell'ozono



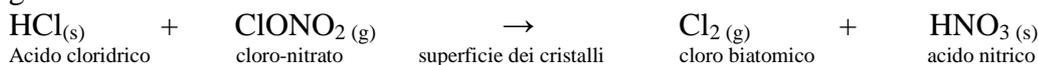
L'ozonofera è lo strato di atmosfera terrestre in cui è massima la concentrazione di ozono. Da questa immagine, un'elaborazione di dati raccolti dalla NASA, risulta evidente che la concentrazione di questo prezioso gas non è costante intorno al pianeta, ma varia a seconda della zona geografica. In particolare, appare sensibilmente più bassa in corrispondenza dell'Antartide, dove infatti si situa l'ormai noto buco nell'ozono. La scala sulla destra riporta i valori di concentrazione del gas tracciante utilizzato (fluoruro di idrogeno, HF): a concentrazioni maggiori di HF corrispondono concentrazioni minori di ozono.

Gli scienziati hanno scoperto che ogni anno l'ozono della stratosfera al di sopra dell'Antartide si riduce fino al 50% per alcuni mesi, soprattutto per azione del cloro. Questo buco nello strato dell'ozono si forma nei mesi da settembre a novembre che al Polo Sud corrispondono alla primavera. Il buco dell'ozono compare come effetto di particolari condizioni climatiche invernali che trasformano tutto il cloro presente nelle forme cataliticamente inattive come HCl e ClONO<sub>2</sub>, nelle forme Cl e ClO. Di conseguenza, il provvisorio aumento delle specie chimiche attive provoca un'estesa, seppure temporanea, diminuzione dell'ozono.

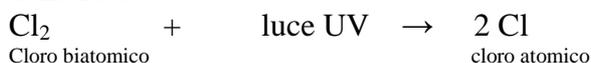
La conversione delle forme inattive del cloro in quelle attive avviene alla superficie di cristalli formati da una soluzione di acqua e acido nitrico, HNO<sub>3</sub>, formato dalla combinazione del OH e del NO<sub>2</sub> gassosi. La condensazione di questi gas in goccioline si verifica poiché la temperatura della bassa stratosfera sopra al polo sud, nei mesi invernali, scende fino a -80° anche se in questa parte di atmosfera la concentrazione dell'acqua è molto ridotta. Il meccanismo di riscaldamento della stratosfera (reazione tra ossigeno molecolare e ossigeno atomico) viene a mancare e, dato che la temperatura è piuttosto bassa si forma una zona di alta pressione sopra il polo sud tale, assieme alla rotazione terrestre, da creare un vortice, una massa d'aria formata da venti che superano la velocità di 300 km/h. in tale vortice non può entrare materia e l'aria all'interno viene ad essere isolata così che rimane fredda per mesi.

I cristalli prodotti dalla condensazione dei gas all'interno del vortice formano le nubi polari stratosferiche (PSC). I primi cristalli che si formano man mano che la temperatura scende sono quelli del triidrato dell'acido nitrico, HNO<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O. quando la temperatura scende sotto i -80°C si forma un altro tipo di cristalli di dimensioni maggiori. Le molecole di HCl in fase gassosa si legano alla superficie delle particelle di ghiaccio entrando a far parte del solido. Quando le molecole

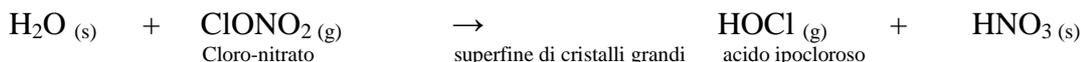
gassose di cloro-nitrato,  $\text{ClONO}_2$ , collidono con queste molecole di  $\text{HCl}$  si forma cloro elementare gassoso:



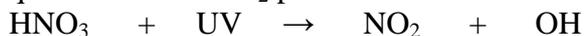
Durante i mesi invernali, il cloro elementare si accumula diventando la specie chimica gassosa contenente cloro più abbondante. Allorché ricompare il primo sole, all'inizio della primavera antartica, le molecole di  $\text{Cl}_2$  vengono decomposte in cloro atomico ad opera della componente UV della luce:



Allo stesso modo, la reazione di altre molecole di  $\text{ClONO}_2$  con l'acqua contenuta nel tipo di cristalli di dimensioni maggiori produce  $\text{HOCl}$  che, per effetto della luce solare, si decompone in atomi di  $\text{Cl}$  e radicali liberi  $\text{OH}$ .

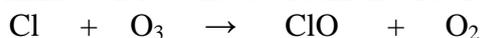


Solo quando le PSC e il vortice si sono estinti il cloro può tornare prevalentemente nella forma inattiva. La liberazione di acido nitrico dai cristalli nella fase gassosa causa la trasformazione di questo acido in  $\text{NO}_2$  per azione della luce solare:



Quando il vortice si estingue, l'aria contenente  $\text{NO}_2$  si mescola con quella polare. Il biossido di azoto si combina rapidamente con il monossido di cloro a formare il cloro-nitrato, cataliticamente inattivo. Conseguentemente, poche settimane che le PSC e il vortice sono scomparsi, i cicli di distruzione catalitica si arrestano e la concentrazione di ozono sale nuovamente fino ai normali livelli. L'effetto di tutto questo è il buco dell'ozono che si richiude per un altro anno. Il meccanismo chimico attraverso cui il cloro atomico catalizza la decomposizione dell'ozono negli strati inferiori della stratosfera sopra il Polo Sud si può dividere in 4 parti:

1- inizia con la consueta reazione tra cloro e ozono:

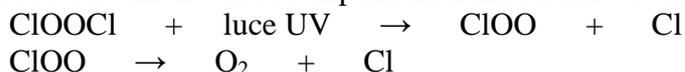


2- invece di reagire con l'ossigeno atomico, come avviene nella sequenza delle reazioni che portano alla decomposizione dell'ozono nella parte superiore della stratosfera, le molecole di  $\text{ClO}$  si combinano tra loro per formare dicloroperossido,  $\text{ClOCl}$  ( $\text{Cl}_2\text{O}_2$ )

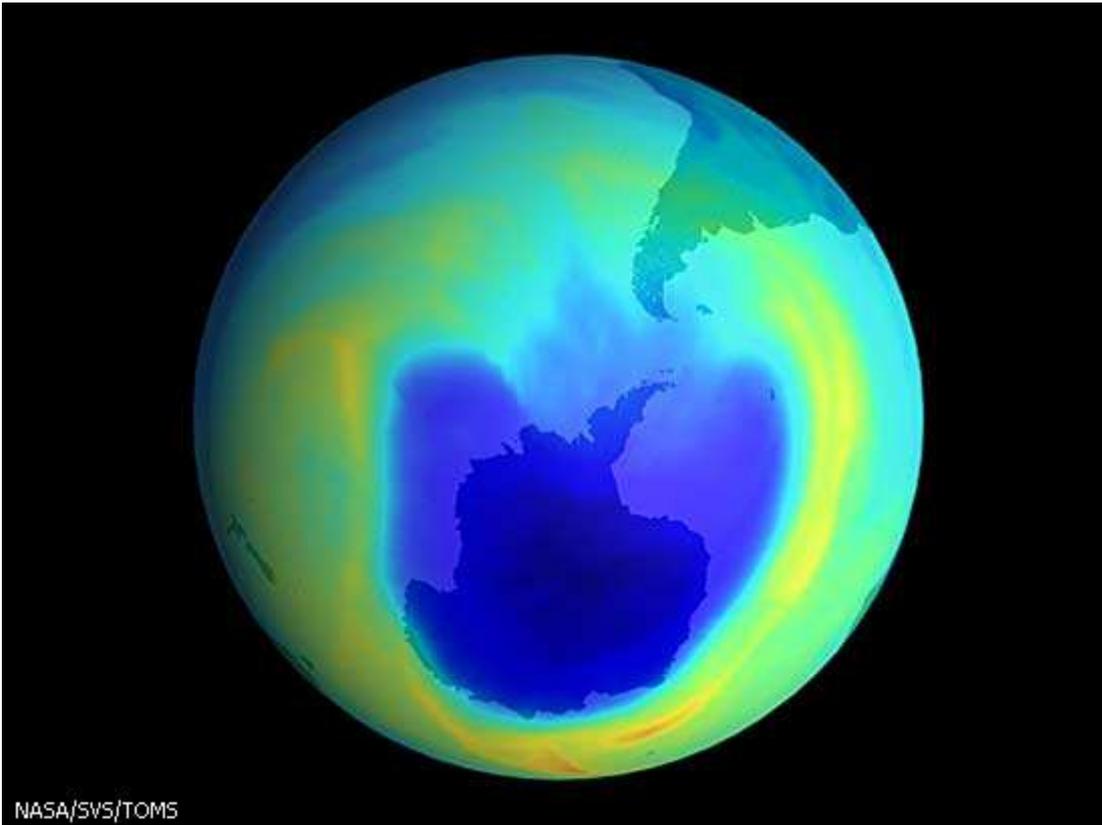


la velocità di questa reazione diviene importante ai fini della perdita di ozono poiché la concentrazione di cloro aumenta gradualmente in conseguenza all'attivazione del cloro.

3/4- durante la primavera antartica la luce solare aumenta, le molecole di  $\text{ClOCl}$  assorbono le radiazioni UV liberando un atomo di cloro. Il radicale  $\text{ClOO}$  risultante, instabile, successivamente si decompone liberando l'altro atomo di cloro



I rilevamenti compiuti dalla stazione scientifica inglese Antarctica Survey evidenziarono una diminuzione del 65% della concentrazione dell'ozono, localizzata per il 95% negli strati atmosferici compresi tra 13 e 22 km di distanza dalla superficie del pianeta. L'estensione e la durata di questa variazione stanno assumendo dimensioni sempre più ampie, come hanno confermato i rilevamenti eseguiti con palloni aerostatici e satelliti meteorologici; la concentrazione complessiva dell'ozono nell'ozonosfera è in costante diminuzione e non solo al di sopra del continente antartico, ma anche in corrispondenza delle regioni artiche.



Il fenomeno noto come "buco nell'ozono" è particolarmente evidente in questa immagine a colori falsati del Polo Sud ottenuta da un satellite nell'ottobre del 1999. Le zone in cui l'ozono è più rarefatto sono rappresentate in blu.

### ***Conseguenze biologiche del buco dell'ozono***

La riduzione della concentrazione dell'ozono nella stratosfera permette ad una frazione maggiore di radiazioni UVV di raggiungere la superficie terrestre. Gran parte degli effetti biologici degli UVV derivano dal fatto che esse vengono assorbite dalle molecole di DNA che possono essere danneggiate; l'eccessiva esposizione può causare cancro, tra cui il melanoma maligno, della pelle e può avere effetti negativi sul sistema immunitario dell'uomo e sulla crescita di alcune piante e animali. Si prevede che per ogni unità percentuale di diminuzione del livello di ozono nella stratosfera si verificherà un aumento dell'1-2% dell'incidenza del cancro della pelle.

## ***CFC e loro ruolo:***

### **I clorofluorocarburi**

I clorofluorocarburi (CFC) furono inventati negli anni '20. Sono composti del carbonio contenenti cloro e fluoro. Sono sostanze chimiche inventate dall'uomo, perciò dette di sintesi o sintetiche. Dalla loro introduzione, i CFC sono stati usati come:

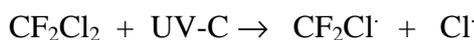
- Refrigeranti nei frigoriferi e negli impianti di condizionamento dell'aria
- Propellenti negli spray
- Agenti schiumogeni nella produzione di imballaggi
- Detergenti usati nell'industria elettronica
- Prodotti chimici per estinguere incendi

I CFC sono particolarmente indicati per questi usi poiché sono ininfiammabili, atossici, hanno un'alta stabilità chimica e le loro caratteristiche chimiche sono particolarmente adatte alle applicazioni citate. Sono inoltre relativamente economici rispetto ai prodotti alternativi e questa è sempre una buona ragione perché un particolare prodotto chimico divenga popolare nell'industria. I CFC sono relativamente sicuri finché restano nella troposfera e negli oceani. E' solo quando passano nella stratosfera che cominciano a rappresentare una minaccia per lo strato di ozono. I tre CFC (clorofluorocarburi) responsabili della liberazione del Cloro, radicale libero, che attraverso le reazioni chimiche descritte in precedenza distrugge le molecole di ozono sono:  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}-\text{CF}_2\text{Cl}$ .

Le tre sostanze citate prima sono anche note, rispettivamente nell'ordine precedente, con i nomi di CFC-12, CFC-11, CFC-113 ed in particolare le prime due hanno anche il nome commerciale di Freon-12, Freon-11 dato da una multinazionale che li produceva.

Queste tre sostanze non riescono ad essere rimosse una volta immesse nella troposfera da nessun processo naturale tanto che il CFC-11 si decompone naturalmente dopo 60 anni ed il CFC-12 dopo 105 anni, ed è anche questo uno dei motivi della loro pericolosità.

Una delle reazioni che libera il cloro è la seguente:



I CFC-11 e CFC-12 attualmente sono i responsabili della pressoché totale distruzione dell'ozono da CFC.

### **Alternative ai CFC**

Le due principali alternative ai CFC sono gli idroclorofluorocarburi (HCFC) e gli idrofluorocarburi (HFCs). Entrambe queste sostanze chimiche contengono idrogeno e questo significa che esse reagiscono con la troposfera prima di riuscire a raggiungere la stratosfera, dove è situato lo strato di ozono. Solo una piccola frazione di queste sostanze riesce ad attraversare la troposfera e a raggiungere la stratosfera e quindi esse presentano un pericolo molto minore per lo strato di ozono.

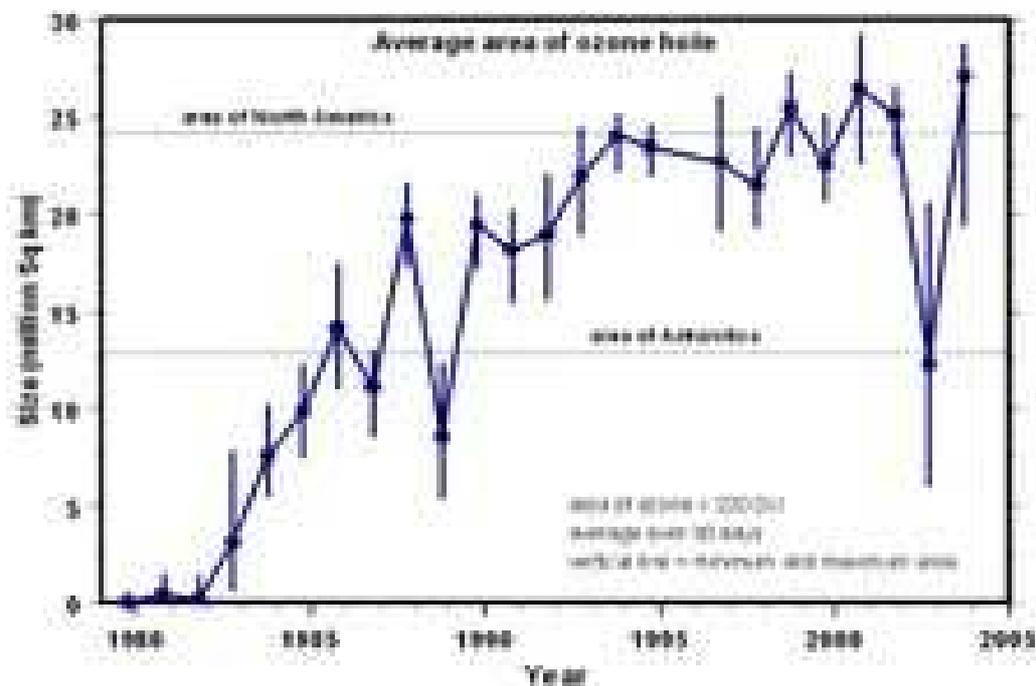
Gli HCFC contengono cloro, che può essere rilasciato così come quello presente nei CFC, ma essi vengono usati in quantità ridotta e non permangono in atmosfera tanto a lungo quanto i CFC.

Gli HFC non contengono cloro e non si conosce un modo in cui essi possano essere decomposti nella troposfera, per cui essi possono attaccare e distruggere le molecole di ozono.

### **Riscaldamento globale provocato da CFC**

CFC, insieme a HCFC e HFC, assorbono tutta la radiazione infrarossa riflessa dalla superficie della Terra. Questo significa che essi contribuiscono tutti al riscaldamento globale. Comunque l'impatto degli HFC e degli HCFC è molto minore di quello dei CFC in quanto essi non permangono in atmosfera così a lungo, il che significa che, nella loro vita media, essi assorbono una minore quantità di radiazione infrarossa. Per questo motivo hanno un impatto minore sull'ambiente.

## *Le posizioni politiche e le controversie sul buco nell'ozono*



Incremento del buco nell'ozonosfera dal 1979 al 2003.

Gli ambientalisti asseriscono che i CFC hanno causato danni così gravi allo strato di ozono che dovrebbero essere completamente banditi. La completa entità dei danni provocati dai CFC non è conosciuta e non lo sarà ancora per decine di anni; in ogni caso sono già state osservate marcate diminuzioni della colonna di ozono (come è stato spiegato sopra). Nel 1987 è stato firmato il protocollo di Montreal, che controlla le emissioni di CFC. In parte, questi sono stati sostituiti dai meno dannosi idroclorofluorocarburi (HCFC): per alcune applicazioni (come i condizionatori per automobili), si è passati anche all'uso di idrofluorocarburi (HFC), che non contenendo atomi di bromo o di cloro non sono dannosi per lo strato di ozono, ma che sono comunque dei potenti gas serra. In ogni caso, tutte le misure contro l'impoverimento dello strato di ozono che abbiano risvolti negativi per l'economia rimarranno degli argomenti controversi, dati i forti interessi economici in gioco: il dubbio più comune che viene avanzato è che la comprensione dei meccanismi di impoverimento dello strato di ozono non siano stati compresi appieno, e quindi le contromisure non saranno sicuramente efficaci. In quest'ottica, si pensa che la relativa facilità di introduzione del protocollo di Montreal è stata causata dalla disponibilità di sostituti a basso costo dei CFC. Fra la maggior parte dei chimici e fisici dell'atmosfera, è opinione diffusa che la comprensione scientifica ha raggiunto un livello che giustifica le contromisure adottate per limitare la diffusione dei CFC, anche se la decisione finale spetta all'opinione pubblica e ai legislatori.

## ***Protocollo di Montreal***

Riportiamo l'introduzione del testo presentato al protocollo di Montreal dove si è discusso del problema del buco dell'ozono.

“Concluso a Montreal il 16 settembre 1987

Le Parti al presente protocollo, essendo Parti alla Convenzione di Vienna per la protezione dello strato d'ozono;

memori del loro obbligo, ai sensi di tale Convenzione, di adottare adeguati provvedimenti per tutelare la salute dell'uomo e l'ambiente da effetti nocivi derivanti o che possono derivare da attività umane che modificano o possono modificare l'ozonosfera;

riconoscendo che le emissioni a livello mondiale di talune sostanze possono impoverire in misura significativa o modificare in altro modo l'ozonosfera, tanto da farne eventualmente derivare effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente;

consapevoli dei potenziali effetti climatici delle emissioni di dette sostanze;

coscienti che le misure adottate per proteggere l'ozonosfera dalla deplezione dovrebbero essere fondate su cognizioni scientifiche pertinenti, tenendo conto di considerazioni tecniche ed economiche;

determinate a proteggere l'ozonosfera con l'adozione di misure precauzionali per regolamentare equamente il volume mondiale totale delle emissioni delle sostanze che impoveriscono l'ozonosfera, in vista dell'obiettivo finale della loro eliminazione, secondo gli sviluppi delle conoscenze scientifiche, e tenendo conto di considerazioni tecniche ed economiche,

riconoscendo la necessità di norme speciali per far fronte alle esigenze dei Paesi in via di sviluppo per quanto riguarda tali sostanze;

notando i provvedimenti precauzionali già adottati a livello nazionale e regionale per controllare le emissioni di alcuni fluorocloroidrocarburi;

considerando l'importanza di promuovere una cooperazione internazionale per la ricerca e lo sviluppo della scienza e della tecnologia per quanto riguarda il controllo e la riduzione delle emissioni di sostanze che impoveriscono l'ozonosfera, tenendo conto segnatamente dei fabbisogni dei Paesi in via di sviluppo[...]

le nazioni partecipanti dovranno impegnarsi a seguire gli articoli proposti da questo protocollo; ve ne riportiamo qualcuno:

“[...]Articolo 2A - **CFC**

1. Ciascuna Parte si assicurerà che, per il periodo di dodici mesi avente inizio il primo giorno del settimo mese successivo alla data di entrata in vigore del presente Protocollo, e successivamente, per ogni periodo di dodici mesi, il suo livello calcolato di consumo delle sostanze regolamentate della categoria I dell'Annesso A non superi il suo livello calcolato di consumo per il 1986. Al termine di detto periodo, ciascuna Parte che produca una o più tali sostanze si assicurerà che il suo livello calcolato di produzione delle sostanze non superi il suo livello calcolato di produzione per il 1986, ad eccezione di un eventuale incremento di tale livello non superiore al 10 per cento massimo rispetto ai livelli del 1986. Tale incremento sarà consentito solo nella misura in cui corrisponde[...]

[...]Articolo 6 - **Valutazione e riesame delle misure di regolamentazione**

A decorrere dal 1990 ed in seguito almeno ogni quattro anni, le Parti procederanno ad una valutazione dell'efficacia delle misure di regolamentazione disposte nell'articolo 2 in base alle informazioni scientifiche, ambientali, tecniche ed economiche in loro possesso. Almeno un anno prima di ogni valutazione, le Parti convocheranno appositi gruppi di lavoro di esperti qualificati nei predetti settori determinando la composizione ed il mandato di ciascuno di tali gruppi. Entro un anno a decorrere dalla loro convocazione, i gruppi comunicheranno le loro conclusioni alle Parti, per il tramite del Segretariato.[...]

[...]Articolo 16 - **Entrata in vigore**

1. Il presente Protocollo entrerà in vigore il 1° gennaio 1989, a condizione che almeno undici strumenti di ratifica, accettazione, approvazione o adesione al Protocollo, siano stati depositati a tale data da Stati o da organizzazioni regionali di integrazione economica il cui consumo di sostanze regolamentate rappresenti almeno i due terzi del consumo mondiale stimato di sostanze regolamentate nel 1986, ed a condizione che siano state osservate le disposizioni del paragrafo 1 dell'articolo 17 della Convenzione. Se queste condizioni non sono state soddisfatte per quella data, il Protocollo entrerà in vigore il novantesimo giorno successivo alla data alla quale queste condizioni sono state soddisfatte.[...]”

questi sono solo alcuni degli articoli, i più significativi. I risultati di questo protocollo si vedono dato che dal 1989 la concentrazione di ozono nella stratosfera, pur diminuendo continuamente, non subisce più un processo veloce di distruzione, infatti prendendo da esempio la sostituzione dei CFC con altri composti non nocivi per l'ozono si osserva come tale distruzione è diminuita notevolmente.

## ***Bibliografia e sitografia***

- **“Chimica ambientale”, Colin Baird**
- **“Le scienze della terra e l’universo intorno a noi”, Alfonso Borsellini**
- **“Elementi di chimica sez. F” , Corradi Elis**
- **enciclopedia Wikipedia ([it.wikipedia.org](http://it.wikipedia.org))**
- **enciclopedia Encarta**
- **[www.interfred.it](http://www.interfred.it)**