



Un particolare ringraziamento ai proff. Ilaria Falconi, Filippo Mariani e Marco Marcelli per i loro importanti contributi già pubblicati sui settimanali: “AK Informa” e “Il Sesto Sole” e ora inseriti in questo testo.

A disposizione per i docenti un supporto elettronico (*pendrive*) contenente tre PowerPoint su: Energia, Cambiamenti climatici, Economia e clima. Eventuale richiesta va inviata a: [mision.mediterraneo@virgilio.it](mailto:mision.mediterraneo@virgilio.it).

Gli autori sono a disposizione di chi vantasse diritti sulle immagini, reperite liberamente sul web e qui riprodotte.

*Classificazione Decimale Dewey:*

**551.6 (23.) CLIMATOLOGIA E TEMPO ATMOSFERICO**

**LUIGI CAMPANELLA**

**ENNIO LA MALFA**

# **MUTAZIONE CLIMATICA**

**RACCOLTA DI ARTICOLI E STUDI PER CAPIRE  
IL FENOMENO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI  
E PER PREPARARSI ALL'ADATTAMENTO**





©

ISBN  
979-12-218-1146-9

PRIMA EDIZIONE  
**ROMA** 19 FEBBRAIO 2024

## INDICE

- 7 *Prefazione*
- 9 *Introduzione*
- 11 Capitolo I  
L'atmosfera
- 43 Capitolo II  
Notizie sul passato del clima terrestre. Ci sono stati nella storia della Terra momenti di maggior calore?
- 53 Capitolo III  
Rapporto clima ed evoluzione dell'umanità. Quando gli umani sono apparsi sulla Terra
- 71 Capitolo IV  
Cambiamenti climatici e sanità. La pandemia, il ruolo dell'ambiente urbano e l'analisi di vulnerabilità ai cambiamenti climatici
- 99 Capitolo V  
Clima ed economia. L'incidenza economica dei disastri ambientali nei vari stati del pianeta

- 109 Capitolo VI  
Il verde che ci consente di vivere. Qual è il peso del mondo animale e di quello vegetale sull'intero pianeta terrestre?
- 125 Capitolo VII  
Le risposte al problema
- 151 Capitolo VIII  
Impatto dei cambiamenti climatici sui suoli e sugli oceani. Il suolo e il cambiamento climatico
- 181 Capitolo IX  
Contributo di tre scienziati internazionali. Avere cura degli alberi è come aver cura del clima terrestre
- 189 Capitolo X  
I giovani, le scuole, la giornata del clima nelle scuole. Movimento studentesco per il clima
- 195 Capitolo XI  
Riflessioni. Ma quanto ognuno di noi incide sulle emissioni di CO<sub>2</sub>?
- 199 *Conclusione*

## PREFAZIONE

I cambiamenti climatici rappresentano un evento planetario a cui purtroppo si sta finendo per dare un carattere di ineluttabilità che finisce per smorzare le azioni di contrasto e soprattutto la forza con cui dovrebbero tali azioni essere condotte. Eppure si tratta di un evento che sta segnando profondamente la nostra vita, e non solo per gli aspetti ambientali, ovviamente prioritari; è paragonabile forse alla rivoluzione industriale o a quella telematica o perché no?, anche al Rinascimento o alla nascita delle Confederazioni Internazionali. Per comprendere queste ultime affermazioni vorrei riflettere con voi su due ricadute positive di un evento tanto drammatico come è quello del cambiamento climatico. Al pari di quanto è successo con l'emergenza pandemica, che abbiamo vissuto, la scienza si è trovata unita superando divisioni culturali, di scuola, clientelari o egemoniche, convinta che solo dall'analitico intreccio fra tutte le discipline possano arrivare risposte adeguate. Intorno ai grandi temi la Scienza si riscopre unica, coesa ed unita. C'è poi l'aspetto sociale: i cambiamenti climatici hanno fatto capire come siamo tutti passeggeri dell'astronave terra” e che più restiamo uniti più possibilità abbiamo di sopravvivere; la sicurezza climatica non ha confini o barriere: è garantita a tutti soltanto se rispettata ovunque. Da qui una rivalutazione degli accordi internazionali, del supporto ai Paesi più poveri da parte dei più ricchi, del concetto di solidarietà, sentimenti e sensazioni che tutti insieme arricchiscono la vita di ognuno di noi.

Valida quindi questa raccolta articoli sul problema dei cambiamenti climatici perché non solo affronta le tematiche scientifiche, ma spazia sugli effetti che tale situazione produce sulla salute umana, sulla società in genere e sulle economie delle nazioni.

Sono diversi per i docenti gli spunti proposti sul tema cambiamenti climatici capaci di aprire discussioni e riflessioni tra gli studenti.

Prof. LUIGI CAMPANELLA  
Dipartimento di Chimica  
La Sapienza Università di Roma

## INTRODUZIONE

Questa pubblicazione raccoglie, dal 2017 e fino a ottobre 2023, servizi sul problema dei cambiamenti climatici e sugli effetti su ambiente e società umana, pubblicati prima sul notiziario “*AK Informa*”, curato e diretto da Ennio La Malfa per oltre 18 anni fino a gennaio del 2021 e successivamente, fino a settembre 2023, sul nuovo notiziario “*Il Sesto Sole*”, nonché articoli e servizi trovati su altre riviste scientifiche..

Lo scopo di questa pubblicazione è quello di offrire a docenti e discenti, di ogni ordine e grado, ma non solo, informazioni capaci di approfondire il problema dell’effetto serra al fine di affrontare l’inevitabile adattamento ai cambiamenti climatici.

La prima parte propone di spiegare il fenomeno del riscaldamento globale e le sue ripercussioni sugli ecosistemi terrestri e sulla stessa civiltà umana, il tutto attraverso un linguaggio più comprensibile possibile per tutte quelle persone che vogliono saperne di più su questa crisi climatica sempre più incombente. La seconda parte cerca di offrire spunti di analisi e di riflessioni più profondi e articolati, utili soprattutto a docenti e persone già impegnate nel sociale e nell’ambientalismo attivo.

Come nella precedente raccolta di articoli e documenti storici “*La Storia da Riscrivere*” ci siamo impegnati a trasferire in questo dossier servizi che, raccolti in undici capitoli, alla fine propongono di rappresentare una guida per meglio affrontare la questione del clima terrestre.



## CAPITOLO I

### L'ATMOSFERA

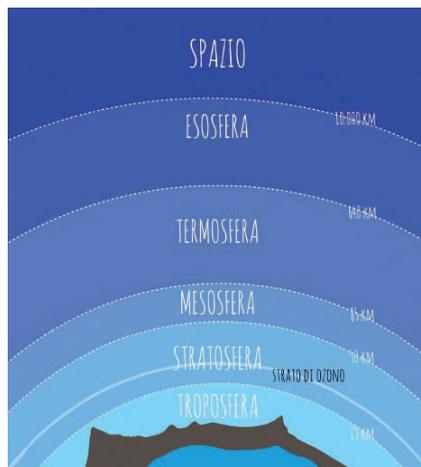


Se prendiamo un pallone da football e con un pennello gli passiamo una volta sola un leggero strato di vernice, meno di mezzo millimetro di spessore, stiamo rappresentando l'atmosfera che avvolge il nostro pianeta. Questo leggero strato di atmosfera è quanto ci permette di vivere.

Miliardi di anni fa appena la Terra aveva iniziato a raffreddarsi, gas prodotti dalle eruzioni di migliaia e migliaia di vulcani cominciarono a circondare il pianeta con una sorta di atmosfera primordiale, ma velenosa per ogni possibile forma di vita. Con il tempo però tale tossicità si attenuò e le prime cellule organiche cominciarono ad attivarsi, adattandosi all'atmosfera primordiale fino a riuscire ad interagire con i raggi solari: nasceva così la fotosintesi clorofilliana. Piano piano, ma senza mai un attimo di sosta, in milioni di anni da semplici cellule si formarono organismi più complessi come le prime piante le quali per svilupparsi si avvalsero dell'anidrite carbonica presente su tutto il pianeta e, come gas di scarto, cominciarono a produrre Ossigeno... Gas questo che ha permesso alla vita animale complessa sulla Terra

di svilupparsi sempre di più fino ad arrivare a noi esseri umani. Ma non solo, per altre complesse interazioni fisiche e chimiche, l'atmosfera terrestre, come vedremo, si organizzò per facilitare ancora di più la vita su questo pianeta come, ad esempio, bloccare, grazie all'ozono, i pericolosi raggi UVC solari che avrebbero potuto rendere sterili i suoli terrestri.

Lo schema che segue rappresenta il piccolo strato di vernice azzurra che abbiamo dato sul nostro pallone da football:



## La troposfera

La troposfera è la fascia dell'atmosfera a diretto contatto con la superficie terrestre ed ha uno spessore variabile a seconda della latitudine: ai poli è spessa solamente 8 km mentre raggiunge i 20 km all'equatore. In essa sono concentrati i tre quarti dell'intera massa gassosa e quasi tutto il vapore acqueo dell'atmosfera. È lo strato dove avvengono la maggior parte dei fenomeni di carattere meteorologico, causati dalla circolazione delle masse d'aria e che danno vita ai venti, alle nuvole ed alle precipitazioni atmosferiche.

La troposfera è scaldata principalmente dalla terra. Ne deriva che la temperatura diminuisce con l'altitudine, e varia da 15 °C a -70 °C, con un gradiente termico verticale medio di 6,5°/1000m. Ad un certo punto la temperatura si stabilizza a -55 °C circa: è la tropopausa, la zona

di transizione fra troposfera e stratosfera. La maggior parte degli inquinanti atmosferici emessi rimane confinata nella troposfera, alcuni concentrati vicino alla superficie terrestre, altri come O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, sono distribuiti in modo più uniforme.

La troposfera è il luogo della vita: tutte le piante e tutti gli esseri umani vivono in essa, utilizzando alcuni dei gas che la costituiscono.

### **La stratosfera**

La stratosfera è il secondo dei cinque strati in cui è stata suddivisa l'atmosfera (troposfera, stratosfera, mesosfera, termosfera e esosfera).

Essa si trova al di sopra della tropopausa.

La stratosfera è caratterizzata da un gradiente termico verticale positivo e molto piccolo, cioè in essa la temperatura aumenta leggermente con la quota, contrariamente a quanto avviene nello strato sottostante. Questo aumento di temperatura con la quota è dovuto alla dissociazione delle molecole di ozono presenti nella stratosfera. L'ozono è un gas le cui molecole sono formate da tre atomi di ossigeno: quando i raggi ultravioletti emessi dal Sole vanno ad urtare contro le molecole di ozono, queste si dissolvono, ovvero i tre atomi che le compongono si dividono. Il processo ha due effetti: la produzione di calore, tanto più grande quanto maggiori sono le dissociazioni, e l'arresto dei raggi ultravioletti che sono dannosi per la vita. L'emanazione di calore in seguito alla dissociazione dell'ozono ha effetto di riscaldare l'atmosfera circostante, per cui nella stratosfera la temperatura aumenta con la quota. La stratosfera inizia intorno ai 12 km (8 km ai poli e 20 km all'equatore) e termina ad un'altitudine di circa 50 km. Al di sopra di essa troviamo la stratopausa che, a differenza della tropopausa, non ha dimensioni verticali, neppure limitate; è una zona di transizione che divide l'atmosfera dallo strato immediatamente superiore, la mesosfera.

### **La mesosfera**

La mesosfera è il terzo dei cinque strati in cui è suddivisa l'atmosfera, ed è compresa tra la stratosfera e la termosfera. Va dai 50 agli 80 km

di quota. Essa è caratterizzata da una accentuata rarefazione degli elementi gassosi e da un graduale aumento di quelli più leggeri a scapito di quelli più pesanti. In questa parte dell'atmosfera la temperatura riprende a diminuire con l'altezza e raggiunge il valore minimo, variabile tra i  $-70$  ed i  $-90$  °C, intorno agli 80 km; a questa quota si possono osservare a volte le nubi nottilucenti, costituite probabilmente di cristalli di ghiaccio e minutissime polveri: esse sono visibili durante l'estate, al crepuscolo e si presentano come nubi sottili e brillanti, intensamente illuminate dagli ultimi raggi del Sole. L'osservazione di queste nubi mostra che nell'alta mesosfera esiste un complesso sistema di correnti aeree, ad andamento variabile, che dovrebbero raggiungere velocità fino a 300 km/h. Connesse a questi moti sono le variazioni di altezza della mesopausa, come avviene anche nella tropopausa e nella stratopausa.

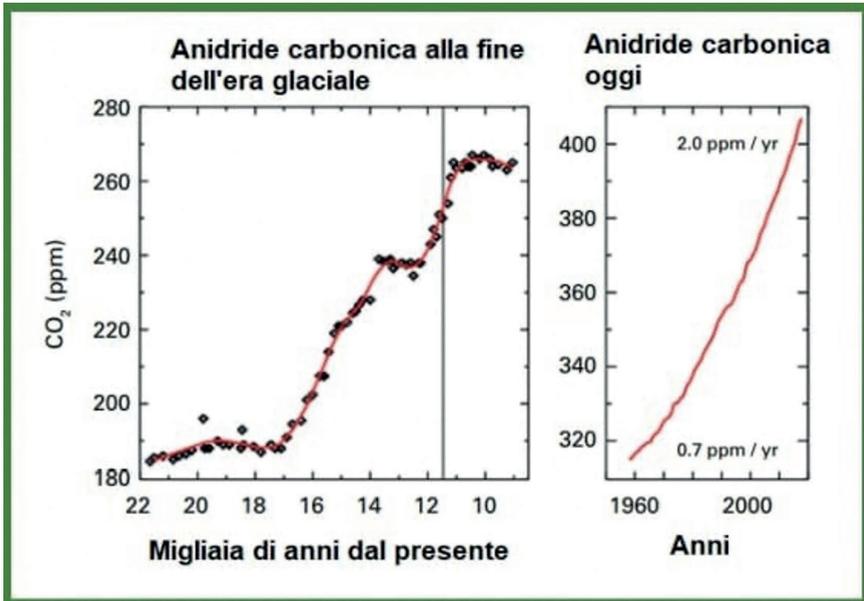
### **La termosfera**

La termosfera è il quarto di cinque strati dell'atmosfera terrestre. È compresa tra la mesosfera e l'esosfera, e va dagli 80 km ai 200 km circa di quota. Questa regione dell'atmosfera è caratterizzata da un continuo aumento della temperatura con l'altezza: secondo dati e calcoli teorici recenti tra i 110 e i 120 km essa dovrebbe essere già risalita a 0 °C, a 150 km si aggirerebbe intorno ad alcune centinaia di gradi sopra lo zero ed al limite superiore, in prossimità della termopausa, supererebbe il migliaio di gradi. Tuttavia questi dati si riferiscono alla temperatura cinetica delle particelle, che le fa viaggiare a una velocità di poco inferiore alla velocità di fuga. Nella termosfera si trova la ionosfera, lo strato dell'atmosfera terrestre che riflette le onde radio, in particolare gli strati D, E, F1 e F2 sono in grado di riflettere le onde radio lunghe, medie, corte e cortissime. Grazie a questo strato atmosferico è possibile che le trasmissioni radio possano essere trasmesse in più punti della superficie terrestre mentre per le trasmissioni televisive, per esempio, occorrono dei satelliti che ritrasmettono il segnale televisivo nel punto desiderato della superficie terrestre.

## **L'Esosfera**

L'Esosfera è lo strato più esterno dell'atmosfera, caratterizzata da una temperatura cinetica superiore ai 2000 °C. Le particelle gassose che raggiungono e superano la velocità di fuga (11,2 km/s) non partecipano più alla rotazione terrestre e si disperdono nello spazio. In genere sono gli elementi più leggeri (idrogeno e elio) quelli che lasciano più frequentemente la nostra atmosfera. L'atmosfera terrestre termina quando la densità dei suoi gas è uguale a quella dello spazio interstellare e si identifica con la frangia atmosferica che si trova a circa 2000-2500 km sopra la superficie terrestre. Qui le particelle gassose non sono più attratte dalla gravità terrestre e non partecipano più alla rotazione del pianeta. La temperatura di centinaia di gradi a grandi altezze non indica un caldo enorme, è solo la temperatura cinetica.

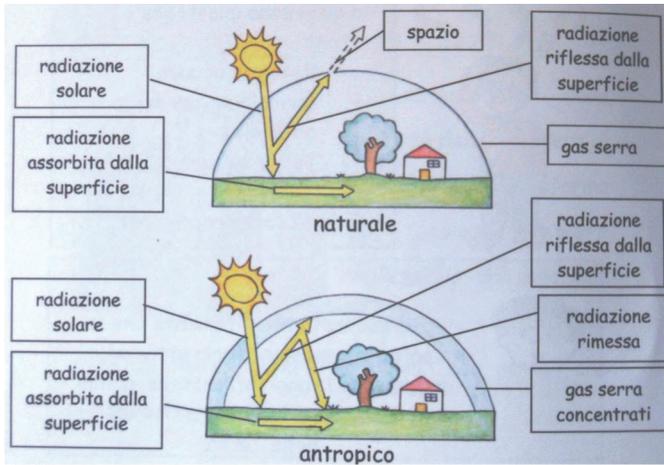
A partire da centinaia di milioni di anni fa, fino all'inizio dell'era industriale i valori di percentuale dei gas che compongono l'atmosfera terrestre, in particolare la CO<sub>2</sub>, il CH<sub>4</sub> (metano) ed altri, compreso l'Ossigeno sono restati equilibrati, a parte momenti in cui violente e gigantesche eruzioni vulcaniche hanno potuto rompere questi equilibri, ma che poi si sono rapidamente ristabiliti. Questo equilibrio dei valori a partire dalla fine dell'ultima glaciazione (circa 17.000 anni fa) soprattutto nella Troposfera è rimasto costante, ma poi negli ultimi 200 anni ha incominciato a degradarsi, si pensi che nel 1860 all'inizio del boom delle attività industriali sul pianeta e all'uso smodato del carbone e del petrolio la percentuale di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera era di 280 ppm (parti per milione d'aria) oggi, nel 2023 siamo arrivati a 425 ppm.



Il grafico a sinistra mostra l'andamento della concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera nell'arco di migliaia di anni: il valore più alto della scala è 280 ppm. A destra la concentrazione dalla metà del secolo scorso a oggi: il valore più basso della scala è 310 ppm e sale fino a oltre 400. Può sembrare basso rispetto a 1 milione di molecole d'aria, ma la capacità della CO<sub>2</sub> di trattenere calore è tale che anche valori così relativi sono molto significativi.

Tutto questo che vuol dire? Prima però cerchiamo di entrare nel merito del problema dell'effetto serra che preoccupa gli scienziati del pianeta, dopodiché cominceremo a capire.

## L'effetto serra



È dell'agosto 2018 il primo allarme lanciato dall'IPCC sui reali rischi legati all'aumento della temperatura terrestre, dove si dice che se ci avviciniamo troppo ai 2 gradi di aumento della temperatura nella troposfera, l'umanità dovrà far fronte ad un disastro climatico senza precedenti. I due gradi in più di temperatura, che secondo gli scienziati sono il limite massimo per evitare la catastrofe, furono indicati al summit sul clima di Parigi (2015) dove gran parte degli Stati del pianeta, Italia compresa, firmarono un accordo per evitare ciò. Accordo purtroppo ancora volontario e non vincolante, come invece era auspicabile.

Cos'è realmente l'effetto serra? Perché il surriscaldamento globale deve preoccuparci più di tanto? E, soprattutto, cosa possiamo fare per limitare i danni ed i rischi che ci vengono presentati dagli scienziati?

*Cos'è l'effetto serra?*

Nelle scienze dell'atmosfera, l'effetto serra è un particolare fenomeno di regolazione della temperatura di un pianeta (o satellite) provvisto di atmosfera, che consiste in una serie di fenomeni che portano all'accumulo all'interno della stessa atmosfera di una parte dell'energia termica proveniente dalla stella attorno al quale orbita il corpo celeste.

Tale effetto è il risultato della presenza in atmosfera di alcuni gas, detti appunto “gas serra”, che permettono l’entrata della radiazione solare proveniente dalla stella, mentre ostacolano l’uscita della radiazione infrarossa riemessa dalla superficie del corpo celeste (caratterizzata da una lunghezza d’onda di circa 15 micron, maggiore della lunghezza d’onda della radiazione entrante). Ciò porta da una parte ad un aumento della temperatura del corpo celeste coinvolto dal fenomeno e dall’altra parte a escursioni termiche meno intense di quelle che si avrebbero in assenza dell’effetto serra, e questo perché il calore assorbito viene ceduto più lentamente verso l’esterno.

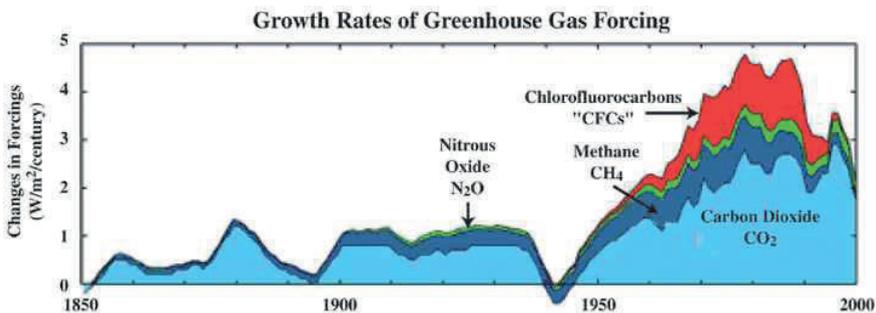
Il termine “effetto serra” deriva dall’analogia (non pienamente corretta) con quanto avviene nelle serre per la coltivazione (in questo caso vi è infatti un blocco della convezione atmosferica che è un’altra modalità di trasferimento del calore).

L’effetto serra, inteso come fenomeno naturale, è essenziale sulla Terra per la presenza e lo sviluppo della vita. Al contrario, l’aumento dell’effetto serra, che invece è causato dall’intervento dell’uomo sulla natura, alterando il normale equilibrio termico del pianeta, ha portato nel corso degli anni a degli sconvolgimenti devastanti dal punto di vista climatico e ambientale, tra cui il cosiddetto riscaldamento globale con il conseguente Cambiamento Climatico.

### *Storia*

La scoperta dell’effetto serra è dovuta al fisico–matematico francese Joseph Fourier nell’Ottocento per induzione in seguito ai suoi studi teorici sulla trasmissione del calore nei corpi. Nel 1824 fu lui a capire che l’atmosfera produce un effetto serra sul nostro pianeta: l’energia irradiata dalla Terra verso lo spazio è minore di quella ricevuta dalla radiazione solare (che ha una lunghezza d’onda minore). Un ipotetico corpo nero alla stessa distanza dal sole avrebbe una temperatura di circa 5,3 °C. Dato che la Terra riflette il 30% circa della radiazione ricevuta dal Sole, la temperatura effettiva del pianeta sarebbe di circa -18 °C, cioè circa 33 gradi centigradi in meno di quella attuale. Secondo la teoria dell’effetto serra è il vapore acqueo il principale gas a provocare l’effetto serra terrestre mentre si riteneva che gli altri gas presenti nell’atmosfera, apportassero un contributo trascurabile.

Nei primi anni del Novecento, il chimico svedese Svante Arrhenius introdusse l'ipotesi che l'aggiunta della CO<sub>2</sub> in atmosfera per mano antropica in seguito all'industrializzazione, avrebbe potuto intensificare il fenomeno dell'effetto serra naturale. Successivamente Arrhenius si spinse oltre affrontando per la prima volta il problema noto in climatologia come *problema del raddoppio* della CO<sub>2</sub> in atmosfera: Arrhenius calcolò manualmente che se la concentrazione di CO<sub>2</sub> fosse cresciuta del 50%, come conseguenza la temperatura sarebbe salita di 4,1 °C sulla Terra e 3,3 °C negli oceani.



**Variazioni nel tempo dei gas serra antropogenici nell'atmosfera.**

In un recente rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)<sup>(1)</sup> si enuncia come la maggior parte dell'aumento osservato nella temperatura media globale dalla metà del XX secolo è molto probabilmente dovuto all'aumento osservato della concentrazione di gas-serra antropogenici.

Nel 2017 secondo un rapporto della Cdp (Carbon Disclosure Project) il 71% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub> sarebbe imputabile a 100 aziende. Le più rilevanti tra queste sono: l'industria carboniera

(1) L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è il principale organismo internazionale per la valutazione dei cambiamenti climatici. L'IPCC è stato istituito nel 1988 dalla World Meteorological Organization (WMO) e dallo United Nations Environment Programme (UNEP) allo scopo di fornire al mondo una visione chiara e scientificamente fondata dello stato attuale delle conoscenze sui cambiamenti climatici e sui loro potenziali impatti ambientali e socio-economici. Nello stesso anno, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha avallato l'azione di WMO e UNEP, istituendo l'IPCC.

cinese che risulta responsabile del 14% delle emissioni, la Saudi Aramco Oil Company (4,5%), la russa Gazprom, (3,9%), National Iranian Oil Company (2,3%), ExxonMobil Corp (2%), Coal India (1,9%), Petroleos Mexicanos (1,9%), Russia Coal (1,9%), Royal Dutch Shell Plc (1,7%), China National Petroleum Corp (1,26%).

## **I Gas Serra**

I gas serra possono essere naturali e antropici. I gas serra possono essere presenti naturalmente in natura, oppure prodotti dall'uomo: in quest'ultimo caso si parla di gas serra antropici e sono proprio questi che devono preoccuparci. Se infatti grazie a questi gas la temperatura della Terra raggiunge un equilibrio perfetto, l'emissione di gas serra in quantità massicce da parte delle attività umane tende a incrinare tale equilibrio. Come abbiamo appena accennato infatti, tali gas aumentano la temperatura della Terra: il problema è che le emissioni prodotte dall'uomo sono troppo elevate e questo determina il fenomeno del surriscaldamento globale.

### *I principali gas serra presenti nell'atmosfera*

Nell'atmosfera terrestre sono presenti diversi gas serra e quelli più importanti sono di origine sia naturale che antropica: questo significa che sarebbero già presenti in natura, ma l'uomo ne produce una quantità tale da rendere il fenomeno dell'effetto serra preoccupante. Le industrie, i mezzi di trasporto, i combustibili impiegati per il riscaldamento, gli allevamenti di bovini e via dicendo producono un numero troppo elevato di gas serra, determinando un innalzamento delle temperature del Globo.

### **Il vapore acqueo**

Anche qui, chiedendo agli studenti che visitiamo nelle nostre "giornate del clima", di cui parleremo più avanti : quale è il principale gas serra, ci rispondono per il 90%, la CO<sub>2</sub>. E invece, sorpresa, il principale indiziato è il vapore acqueo.