

# IL CLIMA

**un piccolo libro per guardare lontano**

che mostra in un'unica prospettiva  
che cosa sia il clima,  
come la vita fondamentale dipenda da esso,  
come l'uomo lo stia cambiando,  
e quali siano le opzioni tecniche e politiche  
per mantenerlo favorevole  
ai futuri nove miliardi di uomini sul nostro pianeta.



COMMISSIONE EUROPEA  
CENTRO COMUNE DI RICERCA

### **Legal Notice**

*Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.*

*Its content does not necessarily reflect the official view of the European Commission.*

*Figures may be copied for educational use only.*

### **Contact**

Frank Raes

European Commission  
Joint Research Centre  
Institute for Environment and Sustainability

TP 290 I-21020 Ispra (VA)  
Tel. +39 0332 789958  
Fax +39 0332 785704

frank.raes@jrc.it  
<http://www.jrc.cec.eu.int/>

# IL CLIMA

**un piccolo libro per guardare lontano**

Frank Raes

*Institute for Environment and Sustainability  
Joint Research Centre, Ispra*

con

Elisabetta Vignati *IES JRC, Ispra*

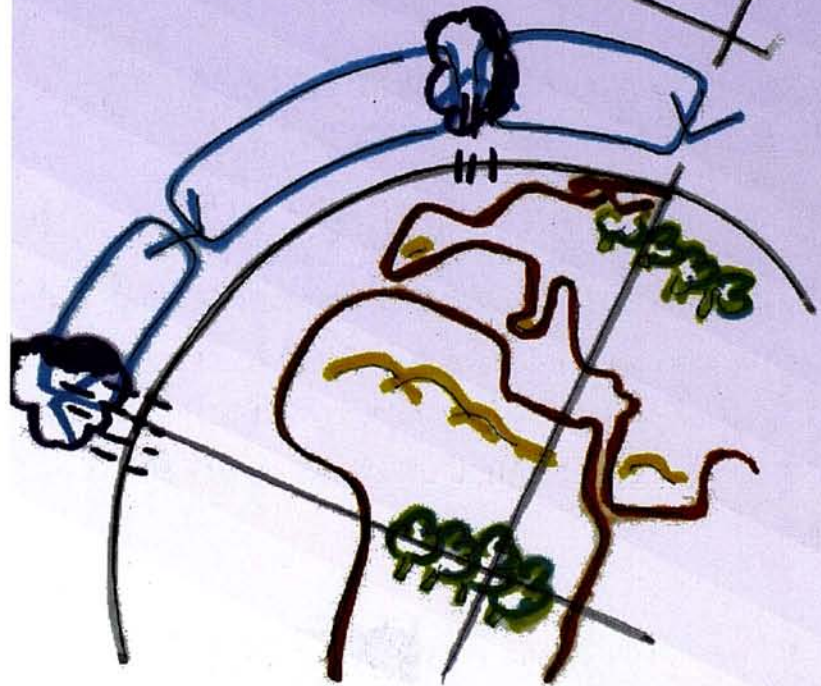
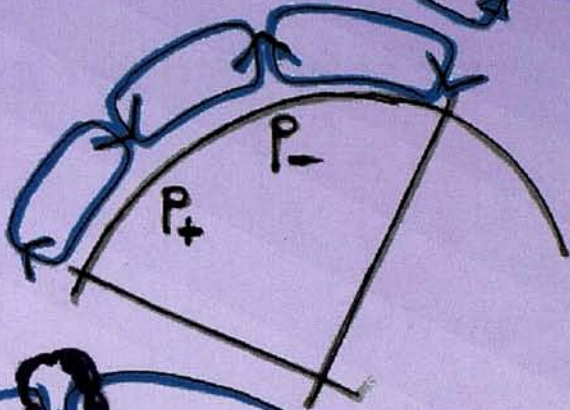
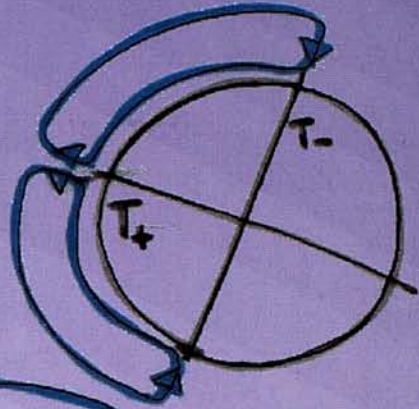
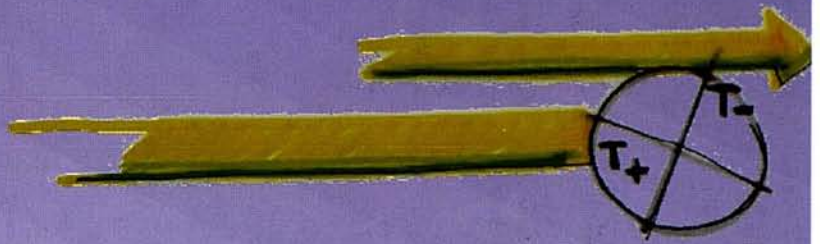
Enrico Bonazzi *Liceo Scientifico Statale, Luino*

**centro comune di ricerca**  
COMMISSIONE EUROPEA



COMMISSIONE EUROPEA  
CENTRO COMUNE DI RICERCA

EUR 19814IT



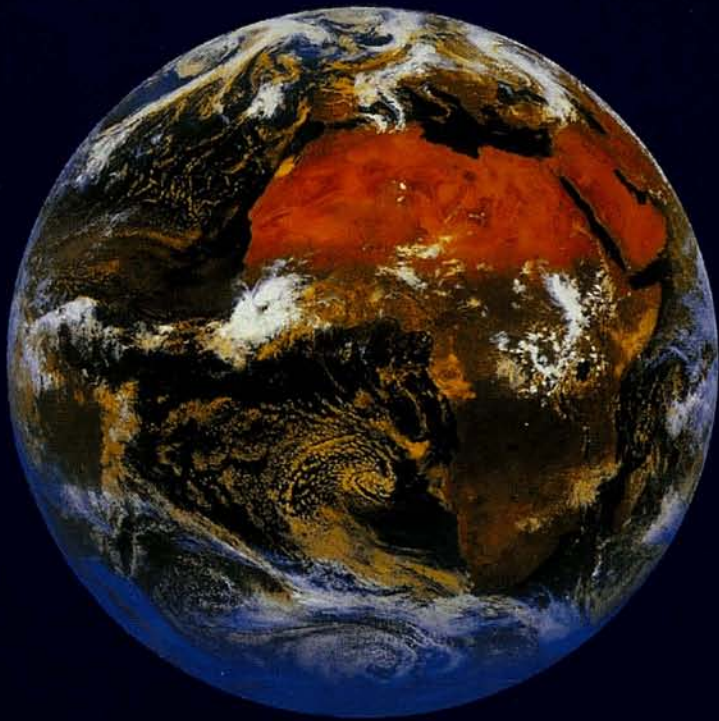
Due principali fattori creano il clima sulla Terra: l'energia proveniente dal Sole e l'esistenza di un'atmosfera e degli oceani in movimento che ridistribuiscono questa energia.

La radiazione del Sole che arriva tangenzialmente sulla Terra vicino ai poli non riscalda molto la superficie. Vicino all'equatore invece, ai tropici, l'inclinazione dei raggi solari rispetto al suolo aumenta notevolmente e il riscaldamento è elevato. La **temperatura** della Terra risulta quindi più alta all'equatore che ai poli. Questo dà origine a una circolazione nell'atmosfera di aria che si solleva ai tropici e che discende in corrispondenza dei due poli.

Per una serie di ragioni, tra cui la forma sferica della Terra e la presenza dei continenti, ogni circolazione si suddivide in tre percorsi: l'aria si innalza ai tropici e alle medie latitudini (le zone di bassa **pressione**) mentre discende nelle zone subtropicali e in prossimità dei poli (le zone di alta pressione).

L'atmosfera contiene acqua che è evaporata dagli oceani. Quando l'aria si solleva si raffredda, il vapore acqueo si condensa e si originano le **nuvole** e le **precipitazioni**. L'aria che discende, d'altro canto, si riscalda evitando la condensazione. Nuvole e precipitazioni si originano principalmente ai tropici e alle medie latitudini, mentre le zone subtropicali e polari sono abitualmente secche.

La distribuzione della vegetazione sulla Terra è legata direttamente ai due principali fattori climatici.



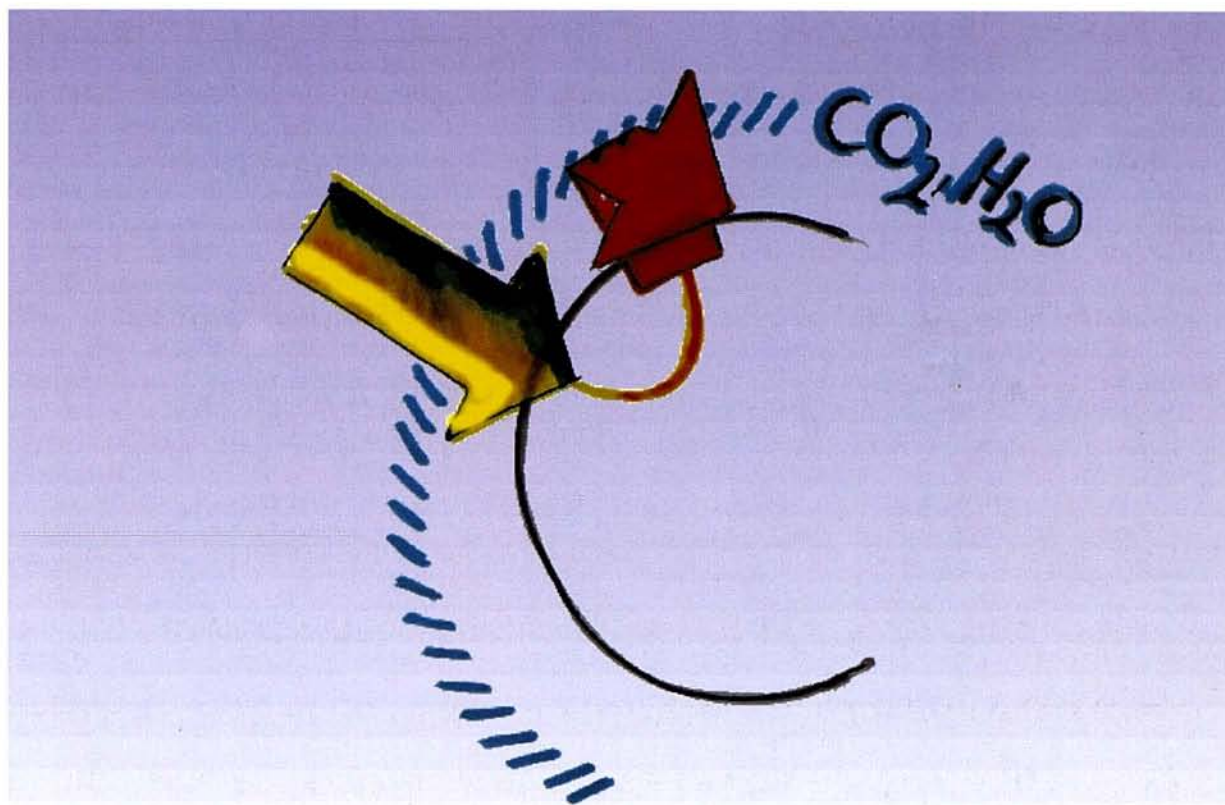
Ecco la Terra, vista il 21 giugno 1995 da un satellite posto a 30.000 km nello spazio. Essa mostra:

- estesi sistemi nuvolosi vicino all'equatore, che sovrappongono le foreste tropicali,
- i deserti del Sahara e della Namibia sotto un cielo sgombro dalle nuvole,
- ancora nuvole e un ambiente verde lungo l'Europa,
- i "deserti" di neve e ghiaccio in prossimità dei poli.

La situazione meteorologica in questa immagine è assai complessa. Oltre ai due fattori climatici finora esaminati, ci sono, infatti, altri fattori secondari che determinano il clima: l'esistenza dei continenti e degli oceani che si riscaldano in maniera differente, la disposizione delle montagne che deviano i venti, la rotazione della Terra e quindi l'alternarsi del dì e della notte.

Il riscaldamento avviene durante il dì, e per questo la circolazione atmosferica e la formazione delle nuvole e delle precipitazioni è maggiore. Nella notte questa attività è ridotta e riparte il giorno dopo. Data la complessità del sistema, non è possibile che la stessa situazione si ripresenti invariata giorno dopo giorno.

Ogni giorno il **CLIMA** si realizza in un modo leggermente diverso, e queste variazioni giornaliere costituiscono quello che chiamiamo il **TEMPO**.





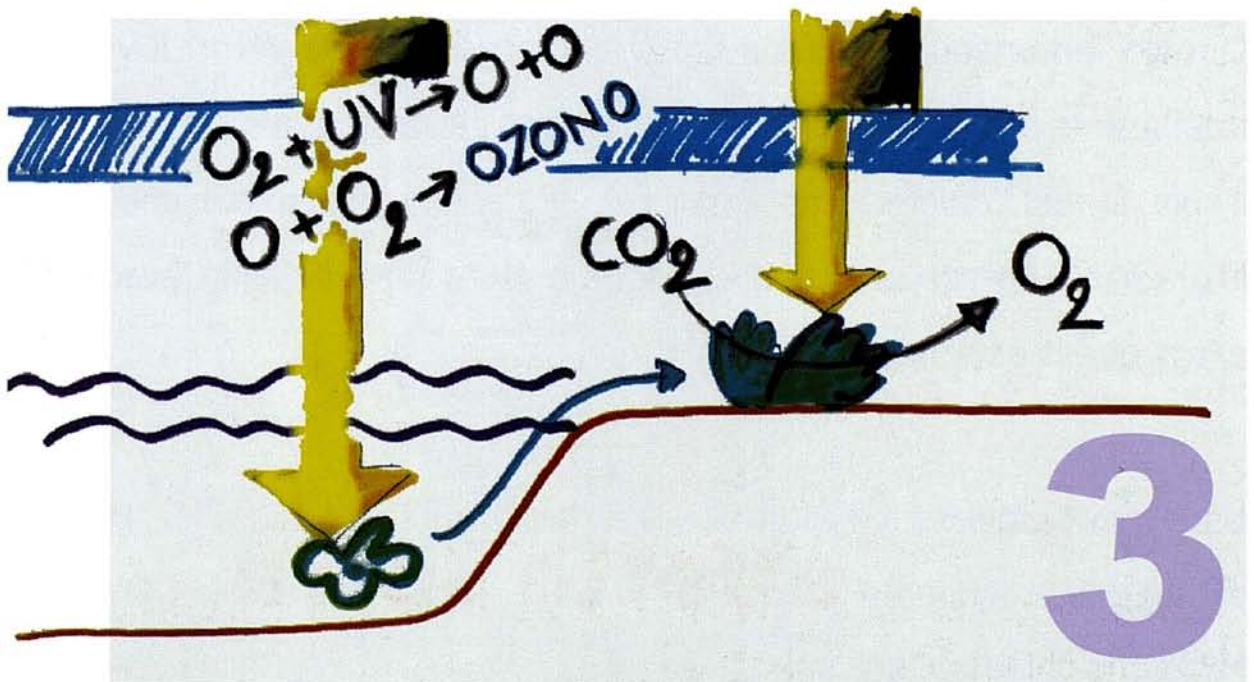
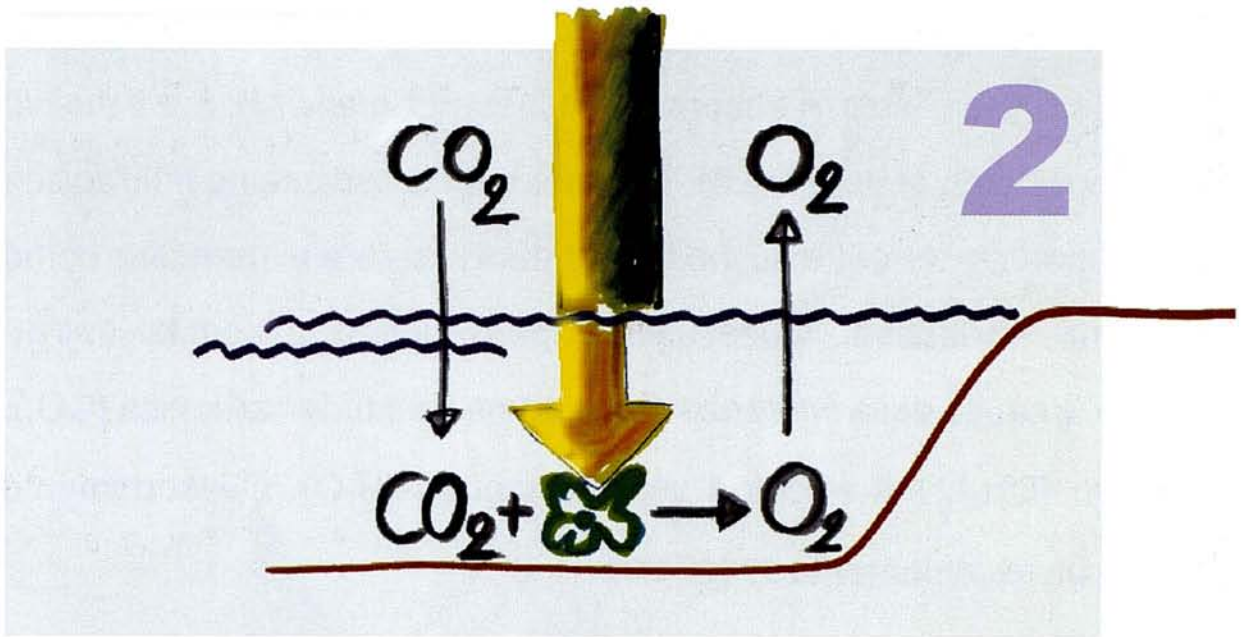
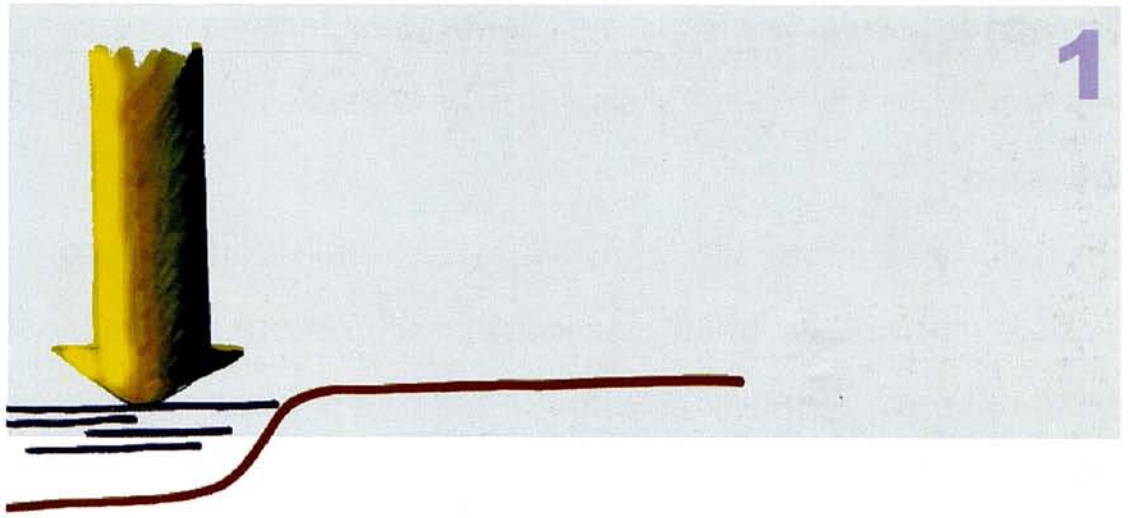
Quando si discute del clima è sufficiente considerare:

- la radiazione visibile, cioè lo spettro dei colori dell'arcobaleno dal rosso al violetto,
- la radiazione infrarossa, invisibile ma avvertita come calore,
- quella ultravioletta, anch'essa invisibile, che interagisce, per esempio, con il materiale genetico delle nostre cellule e può danneggiarlo.

La radiazione solare in arrivo è soprattutto visibile e ultravioletta. L'atmosfera della Terra è trasparente alla radiazione visibile: è il motivo per cui possiamo vedere il sole. Quando questa radiazione interagisce con la superficie terrestre, viene trasformata in calore e riemessa come radiazione infrarossa. Quest'ultima, però, viene assorbita dall'atmosfera, a causa della presenza di gas come l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), il metano ( $\text{CH}_4$ ), ma anche il vapore acqueo ( $\text{H}_2\text{O}$ ). L'assorbimento produce un riscaldamento della Terra.

Questo fenomeno è simile a ciò che succede in una serra. Il vetro è trasparente alla luce visibile, e l'interno della serra si riscalda quando c'è il sole. Questo calore si propaga come radiazione infrarossa, che non è in grado di attraversare il vetro. La temperatura interna risulta perciò più alta di quella esterna.

L'aumento della temperatura dovuto alla presenza di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e di altri gas è chiamato **effetto serra**.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  sono chiamati "gas serra".



Sin dall'inizio dell'esistenza della Terra, la sua atmosfera conteneva CO<sub>2</sub> dovuta all'attività vulcanica. C'è sempre stato un **effetto serra naturale**.

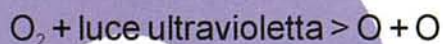
L'esistenza di un'atmosfera e dell'effetto serra naturale sono stati fattori determinanti per l'origine della vita. Infatti, senza i gas serra, la temperatura globale media sarebbe stata di circa 15 gradi sotto zero. A questa temperatura gli oceani sarebbero ghiacciati. La luce del sole, inclusa la sua parte ultravioletta e dannosa, avrebbe raggiunto la superficie e reso l'evoluzione della vita impossibile.

Grazie all'anidride carbonica presente nell'atmosfera, la temperatura si innalzò sopra il punto di congelamento dell'acqua e la radiazione poté penetrare gli oceani. La radiazione ultravioletta in ogni caso fu assorbita negli strati superficiali, mentre la luce visibile si propagò in profondità. Nel profondo degli oceani, protetta dai danni della radiazione ultravioletta, ma alimentata dalla luce visibile, la vita si sviluppò circa 3.5 miliardi di anni fa.

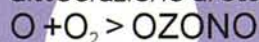
I primi organismi viventi negli oceani diedero inizio a una serie di processi che favorirono l'evoluzione biologica:

**a:** attraverso la fotosintesi alcuni organismi trasformarono l'anidride carbonica assorbita negli oceani in ossigeno (O<sub>2</sub>), che a sua volta si liberò nell'atmosfera.

**b:** nell'atmosfera la radiazione ultravioletta produsse ozono dall'ossigeno, attraverso le seguenti reazioni chimiche

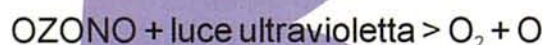


*dissociazione di ossigeno molecolare in atomi di ossigeno*



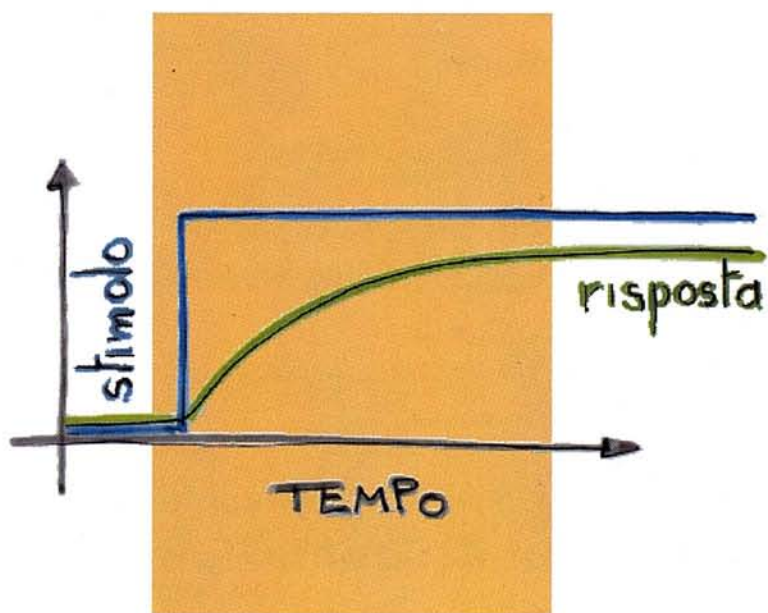
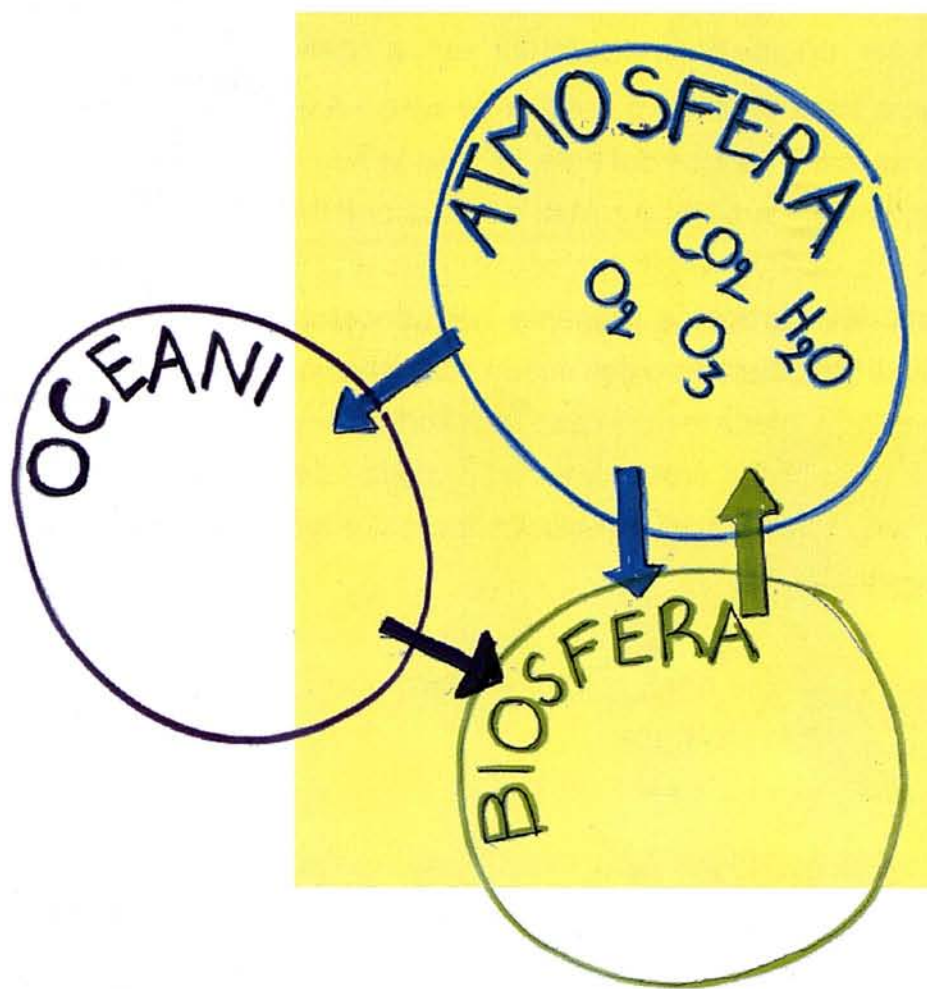
*combinazione di atomi e molecole di ossigeno per formare ozono*

mentre l'ozono stesso assorbe la luce ultravioletta attraverso la seguente reazione



*dissociazione di ozono in atomi e molecole di ossigeno*

**c:** come risultato di questa continua produzione e distruzione di ozono nell'atmosfera, si formò uno **strato di ozono** a un'altezza di circa 20 km. Questo strato ha protetto la superficie terrestre dalla radiazione ultravioletta, dando modo alla vita di colonizzare le terre emerse, dove poi esplose.



Per introdurre un discorso sul clima, non si può fare a meno di trattare i principali compartimenti del **SISTEMA TERRA**: l'atmosfera, gli oceani, la biosfera, ... Il clima è una parte integrante del Sistema Terra.

In questo Sistema, i vari compartimenti interagiscono continuamente: i cambiamenti che avvengono in uno influenzano ciò che succede negli altri. Per esempio, la presenza o meno dei gas serra nell'atmosfera determina lo stato fisico degli oceani: le acque possono risultare liquide o solide, sotto forma di ghiaccio. Tali transizioni comportano importanti conseguenze sulla biosfera, che a sua volta ha effetti sulla composizione dell'atmosfera, e viceversa.

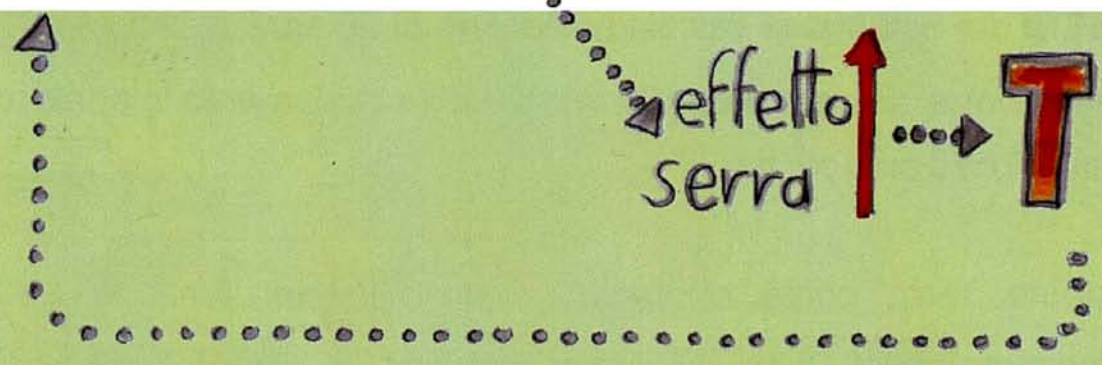
Un cambiamento improvviso in un compartimento non determina un effetto immediato in un altro, ma solo con un certo ritardo. Discutendo dei cambiamenti del clima, per esempio della temperatura media della Terra, è importante rendersi conto che il **tempo di risposta** del Sistema si calcola nell'ordine di 50 anni: l'aumento della concentrazione dei gas serra porta a un riscaldamento globale del pianeta solo 50 anni più tardi.

Il Sistema Terra, come qualunque altro sistema complesso, è caratterizzato dall'esistenza di meccanismi di **feed-back**. Un cambiamento in un compartimento comporta un cambiamento in un secondo compartimento, che a sua volta avrà effetti sul primo. Il feed-back è definito **positivo** quando il cambiamento iniziale viene amplificato; è definito invece **negativo** quando il cambiamento iniziale viene smorzato, portando a una correzione e a un controllo del Sistema.

# FEEDBACK NEGATIVO



# FEEDBACK POSITIVO

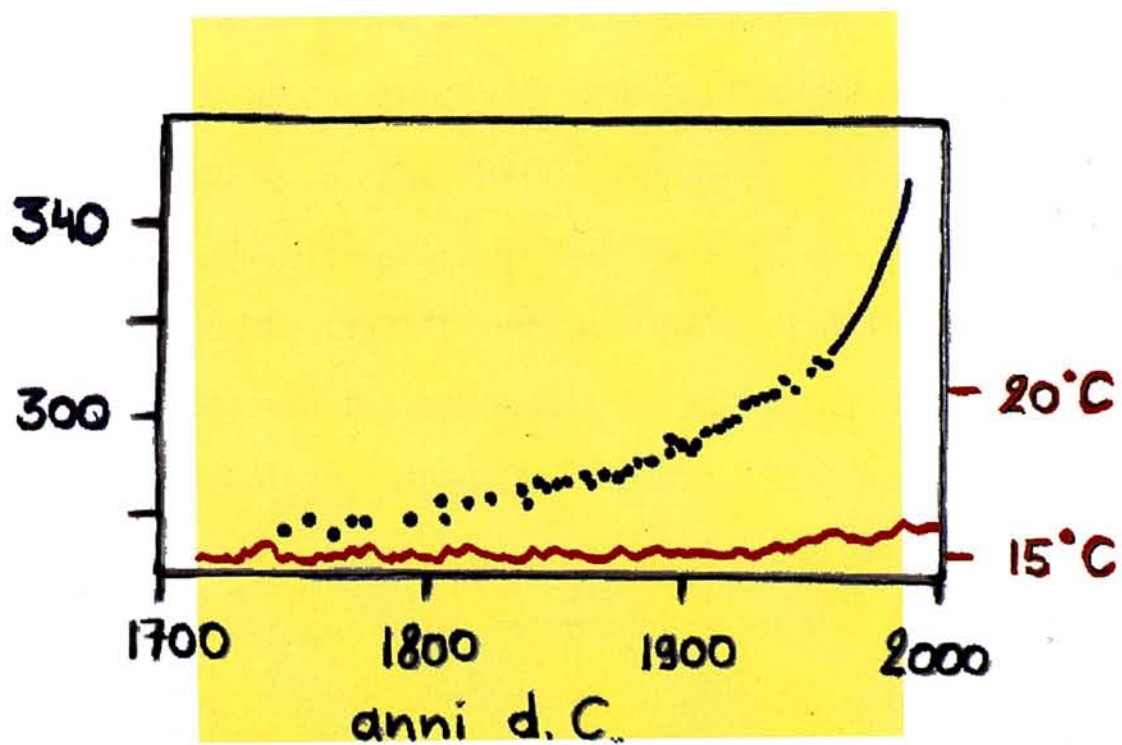
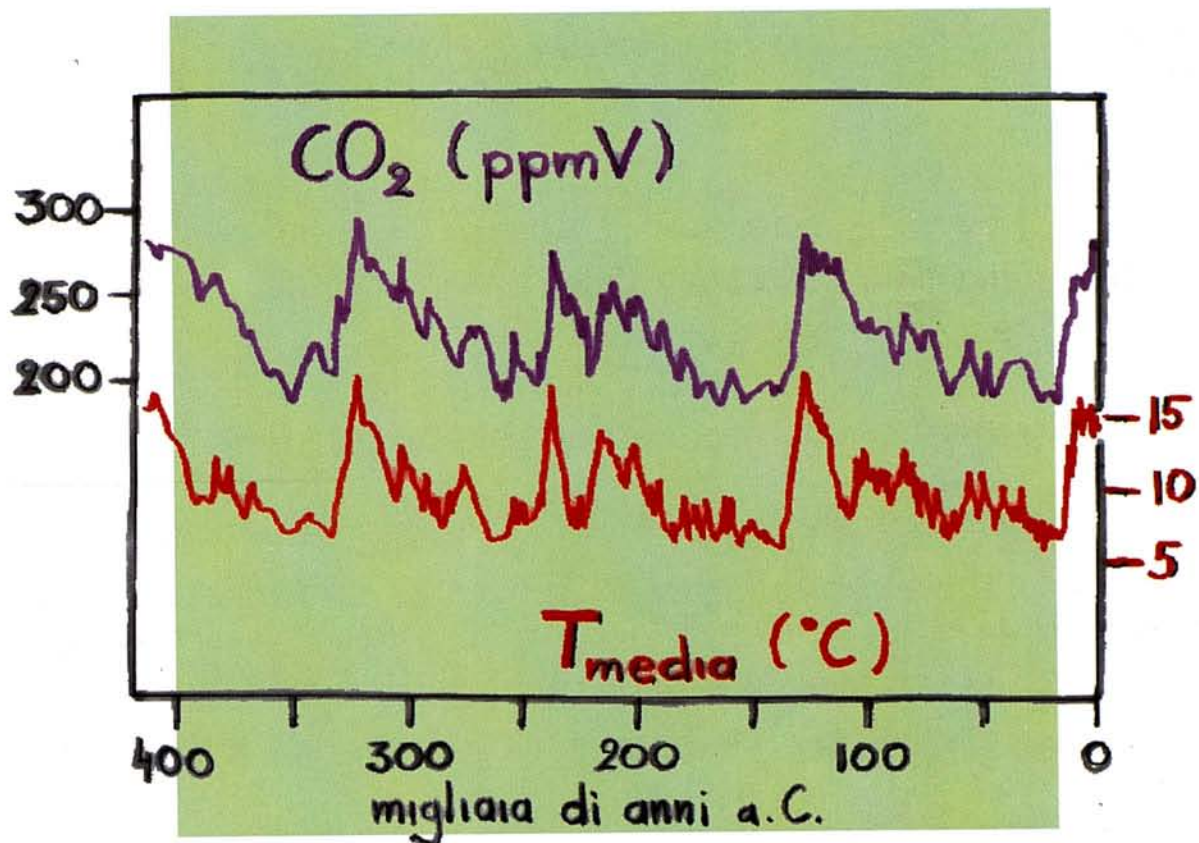


Un importante meccanismo di feed-back nel Sistema Terra-Clima è l'interazione fra la temperatura e il vapore acqueo.

Se per qualche ragione (per esempio un aumento di CO<sub>2</sub> dovuto ad attività umane) la temperatura della Terra aumentasse, si avrebbe un incremento dell'evaporazione degli oceani, che comporterebbe un aumento del vapore acqueo nell'atmosfera. Poiché il vapore acqueo è un gas serra, un aumento della sua concentrazione determinerebbe un ulteriore aumento della temperatura, un'ulteriore evaporazione degli oceani, e un effetto serra ancora più imponente. Questo feed-back positivo porterebbe a un continuo aumento della temperatura sulla Terra.

Comunque, le cose potrebbero andare anche in un modo diverso. Una maggiore concentrazione di vapore acqueo nell'atmosfera potrebbe causare maggiore nuvolosità e precipitazioni, che raffredderebbero la Terra. In questo caso, l'iniziale riscaldamento verrebbe corretto. Il raffreddamento diminuirebbe la quantità di vapore acqueo, di nuvole e di precipitazioni, favorendo di nuovo il processo di riscaldamento. Questo feed-back negativo manterrebbe così la temperatura sulla Terra costante.

Le maggiori incognite della ricerca sul clima futuro derivano proprio dalla difficoltà di prevedere quale delle due ipotesi abbia maggiore possibilità di verificarsi.





## **Il Clima sulla Terra è sempre cambiato.**

L'intensità stessa del sole è variabile e l'inclinazione dell'asse terrestre rispetto al sole cambia continuamente. Inoltre, la quantità di energia che raggiunge la superficie della Terra o il modo in cui questa energia è distribuita dall'atmosfera e dagli oceani non sono mai stati costanti. A volte, le eruzioni vulcaniche e le collisioni con i meteoriti hanno prodotto grandi quantità di pulviscolo nell'atmosfera, diminuendo drasticamente la radiazione solare incidente. Cambiamenti graduali o improvvisi nel movimento della crosta terrestre e la formazione delle catene montuose hanno cambiato la circolazione dell'atmosfera e le correnti oceaniche.

L'analisi delle bolle d'aria intrappolate a varie profondità nei ghiacciai permette di ricostruire la composizione dell'atmosfera e della temperatura della Terra **fino a 450.000 anni fa**. La temperatura è stata molto variabile: ci sono stati lunghi periodi caratterizzati da una temperatura media di circa 5-10 gradi inferiore rispetto a quella attuale (le ere glaciali), e periodi più corti con temperature simili a oggi (le ere interglaciali). Nel corso degli ultimi 450.000 anni, temperature alte sono sempre state in corrispondenza con alte concentrazioni di CO<sub>2</sub>, correlate all'effetto serra. L'attuale era interglaciale è cominciata 10.000 anni fa. A differenza dei periodi precedenti, essa mostra temperature notevolmente stabili.

La ricostruzione della concentrazione di CO<sub>2</sub> **durante gli ultimi secoli** e le misurazioni dirette fatte dal 1955 mostrano un rapido aumento di tale gas. Questo aumento corrisponde allo sviluppo industriale, ed è dovuto all'uso dei combustibili fossili: carbone, petrolio e gas naturale. Simultaneamente, la temperatura è aumentata di 0.6 gradi, valore nettamente inferiore ai 10 gradi, stimati basandosi sulla differenza dei valori di CO<sub>2</sub> e della temperatura tra i periodi glaciali e interglaciali. Questo fenomeno sembrerebbe non essere direttamente correlato all'effetto serra. Le ragioni potrebbero essere molteplici: da un lato l'uso di combustibile fossile determina anche l'emissione di particelle che riflettono la luce incidente e quindi raffreddano la Terra; dall'altro il tempo di risposta del clima è di circa 50 anni, fenomeno che ritarda l'aumento della temperatura rispetto all'aumento di CO<sub>2</sub>.

**1820**



**2001**

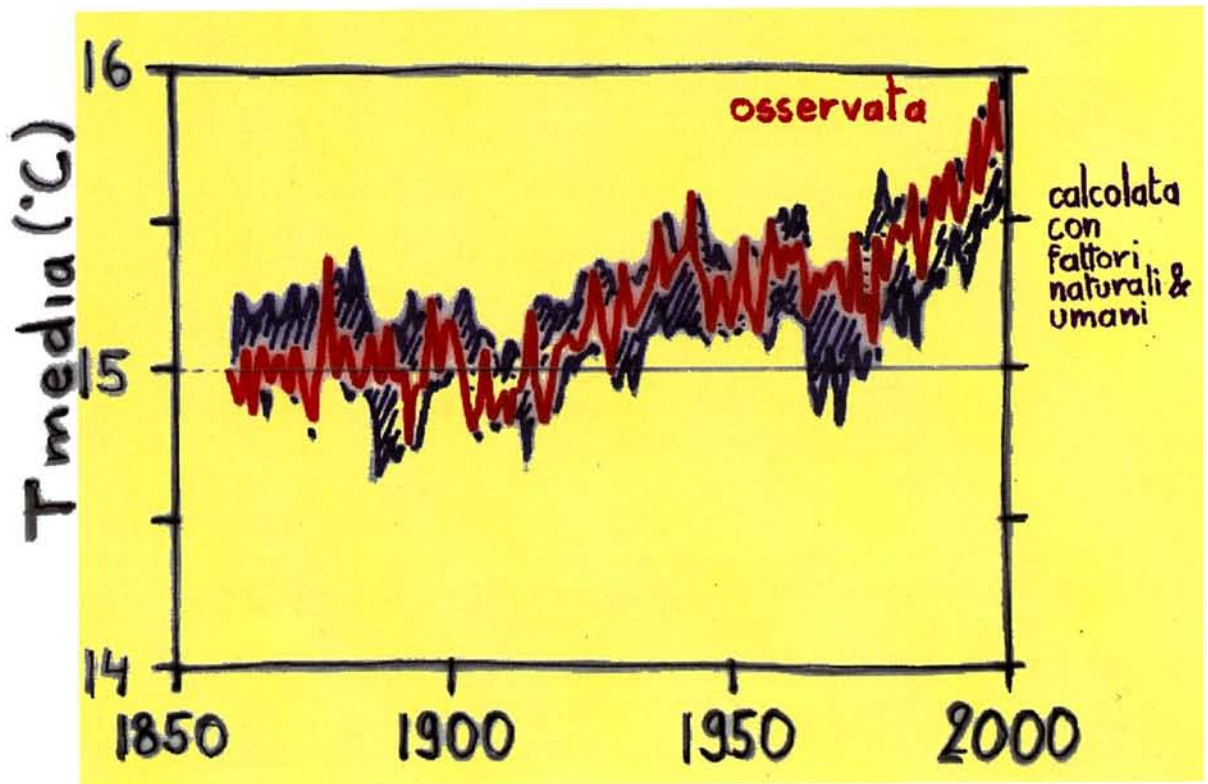
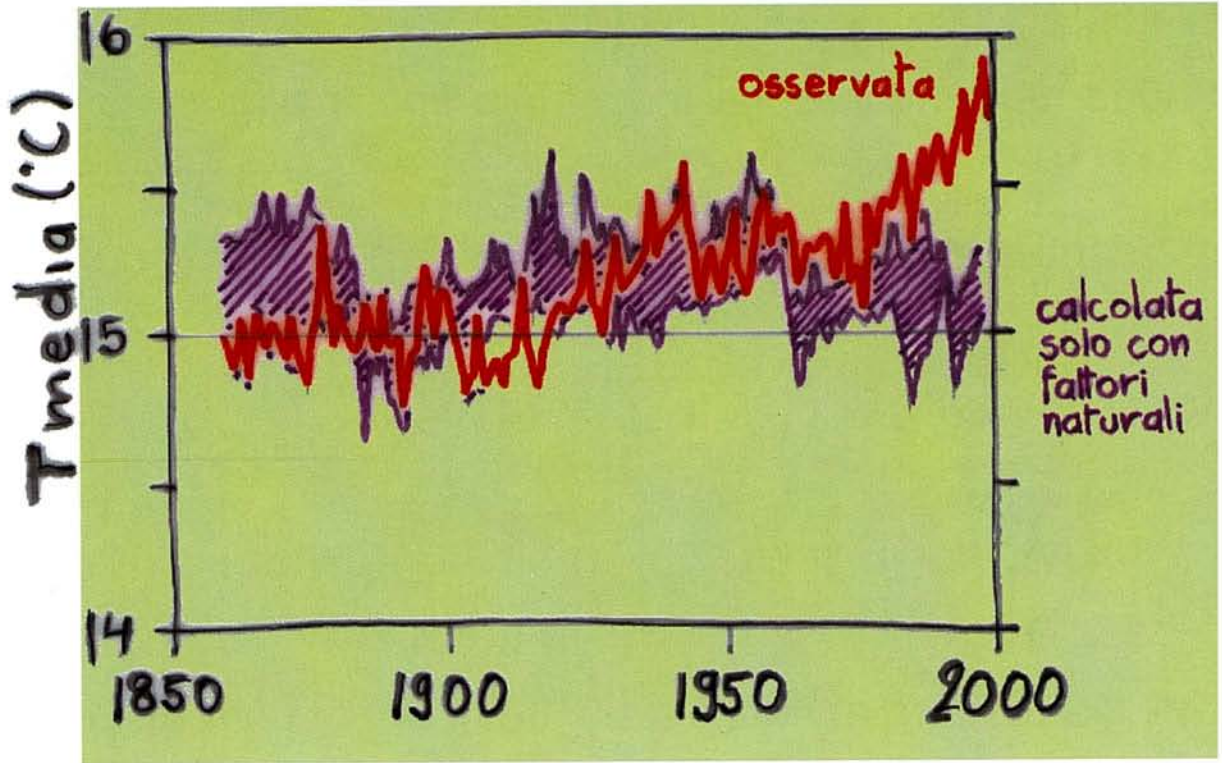


Il leggero aumento della temperatura media globale dal periodo della rivoluzione industriale fino a oggi ha avuto importanti effetti collaterali. È probabile che, a causa della maggiore evaporazione, la quantità di vapore acqueo sia aumentata, determinando ulteriori precipitazioni in aree dove già pioveva molto. Il livello del mare si è alzato di 15 cm, principalmente a causa dell'espansione termica degli

*"Il 4 agosto 1546 ... mentre cavalcavo diretto al Furka, giunsi vicino ad un'immensa massa di ghiaccio . Quanto alla lunghezza, si stendeva indefinitamente verso l'alto, tanto che non se ne poteva vedere la fine. A chi lo guardava ghiacciai nelle Alpi e altrove è l'effetto più visibile del offriva uno spettacolo terrificante."*

*(Sebastian Muenster, cosmografo)*

riscaldamento globale durante l'ultimo secolo. Per esempio, nel 1830 il Ghiacciaio del Rodano si estendeva fino nella valle di Goms. Ora si è ritirato di cinque chilometri e si trova cinquecento metri più in alto, difficilmente visibile dalla valle.

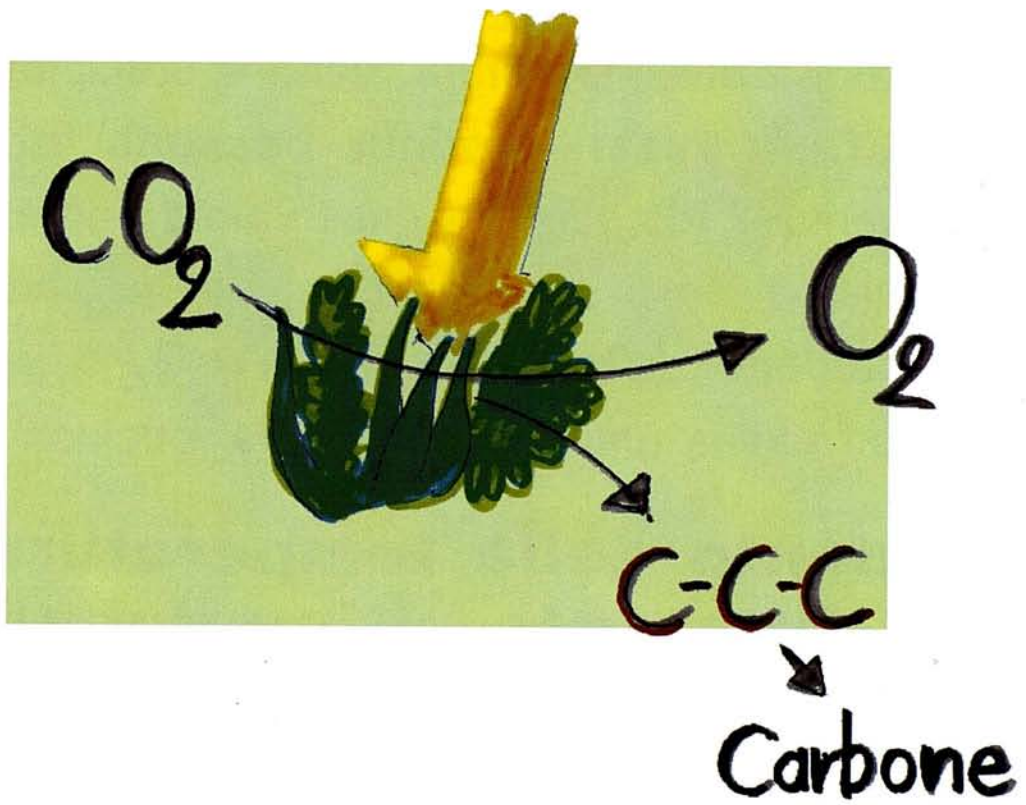
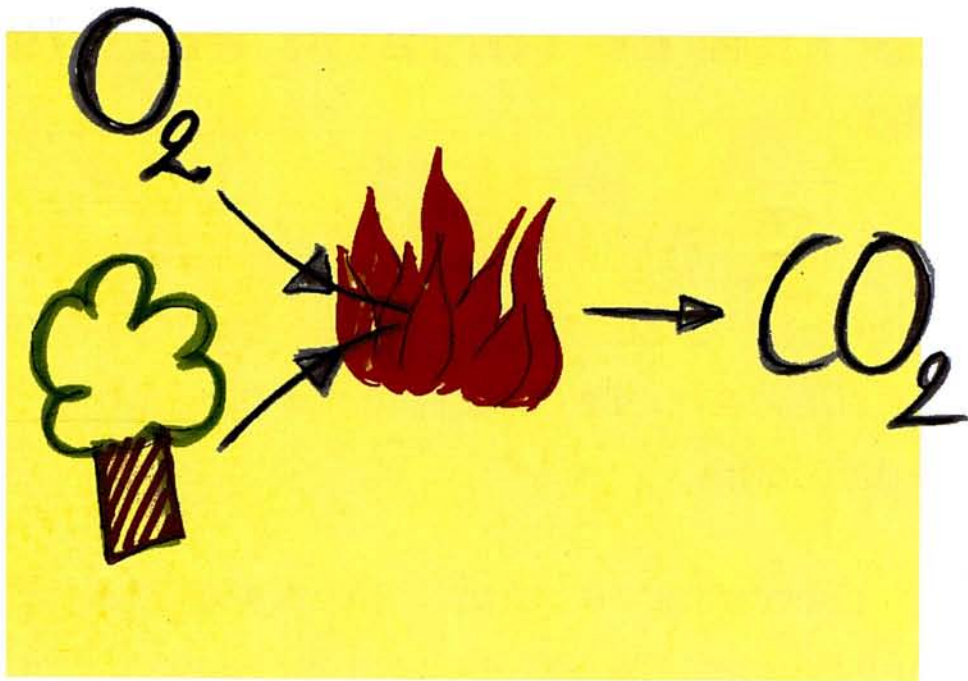


Gli anni '90 sono stati i più caldi del secondo millennio, e il 1998 il più caldo in assoluto. **È evidente che la Terra si sta riscaldando.**

Per un lungo periodo non è stato chiaro se questo riscaldamento fosse parte della naturale variabilità climatica, simile a quella osservata nel passato, o se fosse causato dall'uomo.

Questo problema è stato studiato dal Pannello Intergovernamentale per il Cambiamento Climatico, un gruppo di scienziati di tutto il mondo, coordinati dall'ONU. Nei loro studi, gli esperti usano modelli matematici che sono in grado di descrivere il clima attuale, cioè la distribuzione di temperatura, venti e precipitazioni sul globo. Con questi modelli possono ricostruire l'incremento di temperatura osservato durante gli ultimi 150 anni, ma solo prendendo in considerazione l'effetto serra prodotto dalle emissioni di CO<sub>2</sub> e di altri gas dovuti all'attività umana. Lo studio ha concluso che:

**l'aumento della temperatura globale durante le ultime decadi è da attribuire all'uomo, e in particolare alle sue emissioni di gas serra.**



L'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) si forma durante processi di **combustione**, in cui l'ossigeno reagisce con materiali organici quali legno, carbone, petrolio, ecc.

Le molecole di  $\text{CO}_2$  vengono continuamente rimosse dall'atmosfera dalla **fotosintesi**. In tale processo, grazie alla luce solare, le piante trasformano la  $\text{CO}_2$  in ossigeno e in sostanze organiche come legno e plancton. Il primo può fossilizzarsi e diventare carbone, mentre il secondo può trasformarsi in petrolio.

La concentrazione di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera è il risultato di un equilibrio fra questi continui processi di formazione e di rimozione.

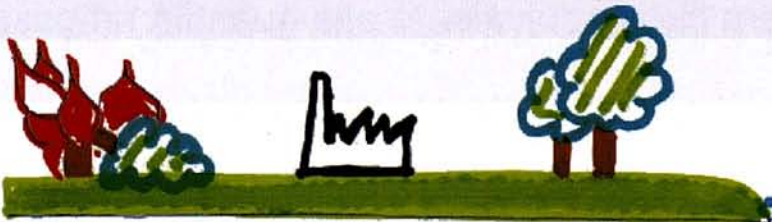
Le molecole di  $\text{CO}_2$  presenti nell'atmosfera oggi non sono le stesse di quelle presenti nel passato, e il tempo necessario a rinnovarle è di circa 50 anni. La relazione con il tempo di risposta del sistema climatico è molto evidente.

Durante gli ultimi 10.000 anni, fino a circa 150 anni fa, la quantità di  $\text{CO}_2$  emessa (all'anno) era circa equivalente alla quantità rimossa grazie alla fotosintesi, e ciò manteneva costante la concentrazione del gas nell'atmosfera.

↑ 3.3 PgC/a

EMISSIONI > ASSORBIMENTO

↑ 1.7   ↑ 5.4   ↓ 1.9   ↓ 1.9 PgC/a



1980 - 1989






L'uso di combustibili fossili come carbone, gas o petrolio libera in breve tempo l'anidride carbonica che è stata assorbita tramite la fotosintesi in milioni di anni.

Allo stato attuale, le emissioni industriali di CO<sub>2</sub> e quelle dovute agli incendi delle foreste ammontano a circa 7.1 miliardi di tonnellate di carbonio ogni anno (7.1 PgC/a). L'assorbimento di CO<sub>2</sub> da parte della vegetazione terrestre e marina, invece ammonta solo a 3.8 PgC/a.

A causa di questo disequilibrio tra produzione e rimozione, la CO<sub>2</sub> si accumula nell'atmosfera a una velocità di 3.3 PgC/a, determinando cambiamenti climatici ormai noti.

Firmando il **Protocollo di Kyoto** nel 1997, i paesi sviluppati promisero di ridurre entro il 2010 le emissioni di CO<sub>2</sub> del 5 % rispetto al 1990.

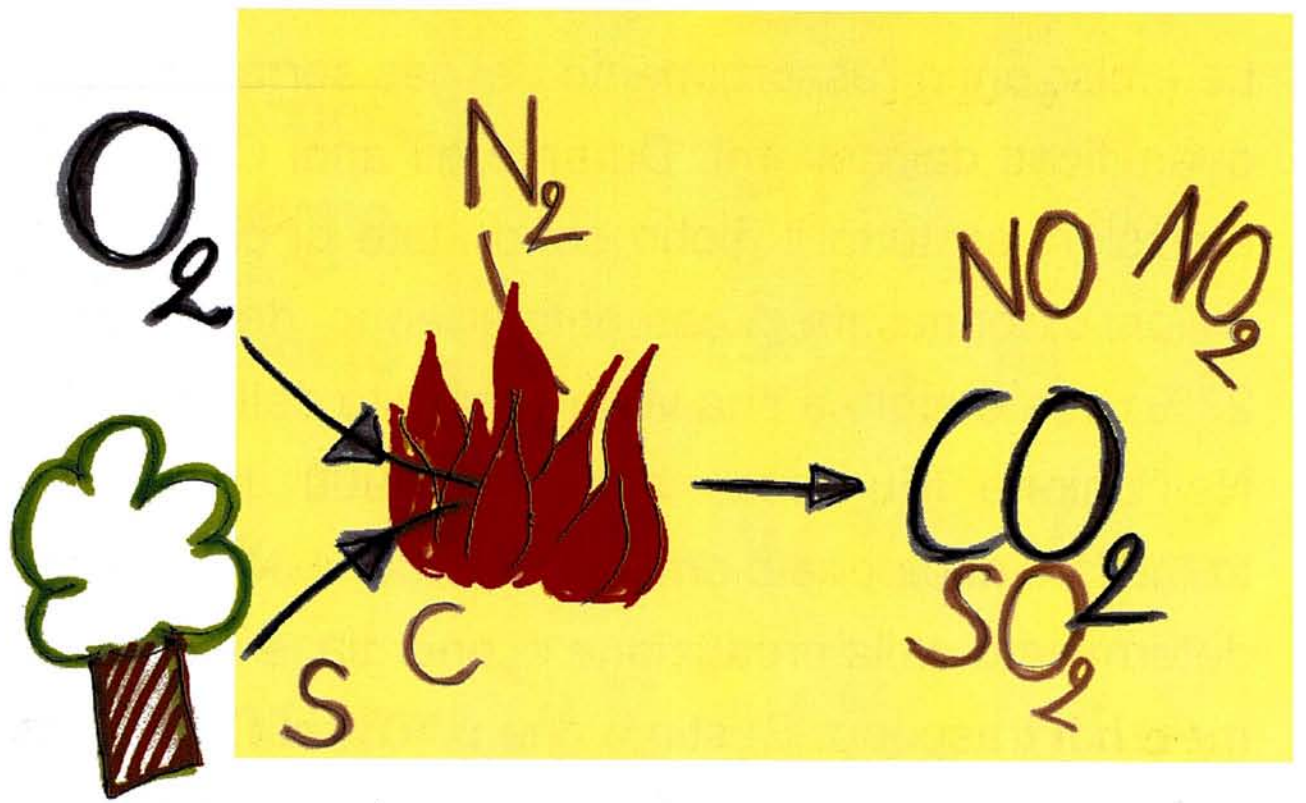
Una tale riduzione è di poco conto, se paragonata al 75% che è necessario a lungo termine per stabilizzare le concentrazioni di CO<sub>2</sub> al livello di 550 parti per milione (ppmv), che è comunque il doppio della concentrazione pre-industriale. La ratificazione del Protocollo di Kyoto può essere solo un primo passo.

			
<b>EMISSIONI</b>	<b>7100</b>	<b>906</b>	<b>119</b>
• produzione d'energia	} <b>76%</b>	<b>34%</b>	<b>32%</b>
• trasporto		<b>21%</b>	<b>23%</b>
• altre		<b>41%</b>	<b>44%</b>
• deforestazione	<b>24%</b>	<b>4%</b>	<b>1%</b>
<b>ASSORBIMENTO</b>			
• reforestazione	<b>27%</b>	<b>~10%</b>	<b>~10%</b>
	1980 - 1989	1990	1990

Secondo il Protocollo di Kyoto la “riduzione di emissioni” può essere raggiunta sia diminuendo l'uso dei combustibili fossili (o limitando gli incendi delle foreste), sia piantando più alberi, favorendo così l'assorbimento di CO<sub>2</sub> tramite la fotosintesi.

Le emissioni e l'assorbimento dei gas serra vengono quantificati dai governi. Durante gli anni Ottanta, le emissioni su tutto il globo sono state di circa 7100 milioni di tonnellate di carbonio all'anno, delle quali il 27% circa è stato a sua volta assorbito dalle foreste. Nell'Unione Europea, dei circa 900 milioni di tonnellate di carbonio emessi all'anno, il 34% è stato determinato dalla produzione di energia, e il 21% dai mezzi di trasporto. Si stima che il 10% sia assorbito dalle foreste europee. In paesi come la Svezia e l'Austria quest'ultimo valore potrebbe ammontare a più del 50%.

Queste cifre indicano che una politica di rimboschimento per favorire la rimozione di CO<sub>2</sub> potrebbe essere una soluzione praticabile nell'intento di rispettare il Protocollo di Kyoto. **Però ...**

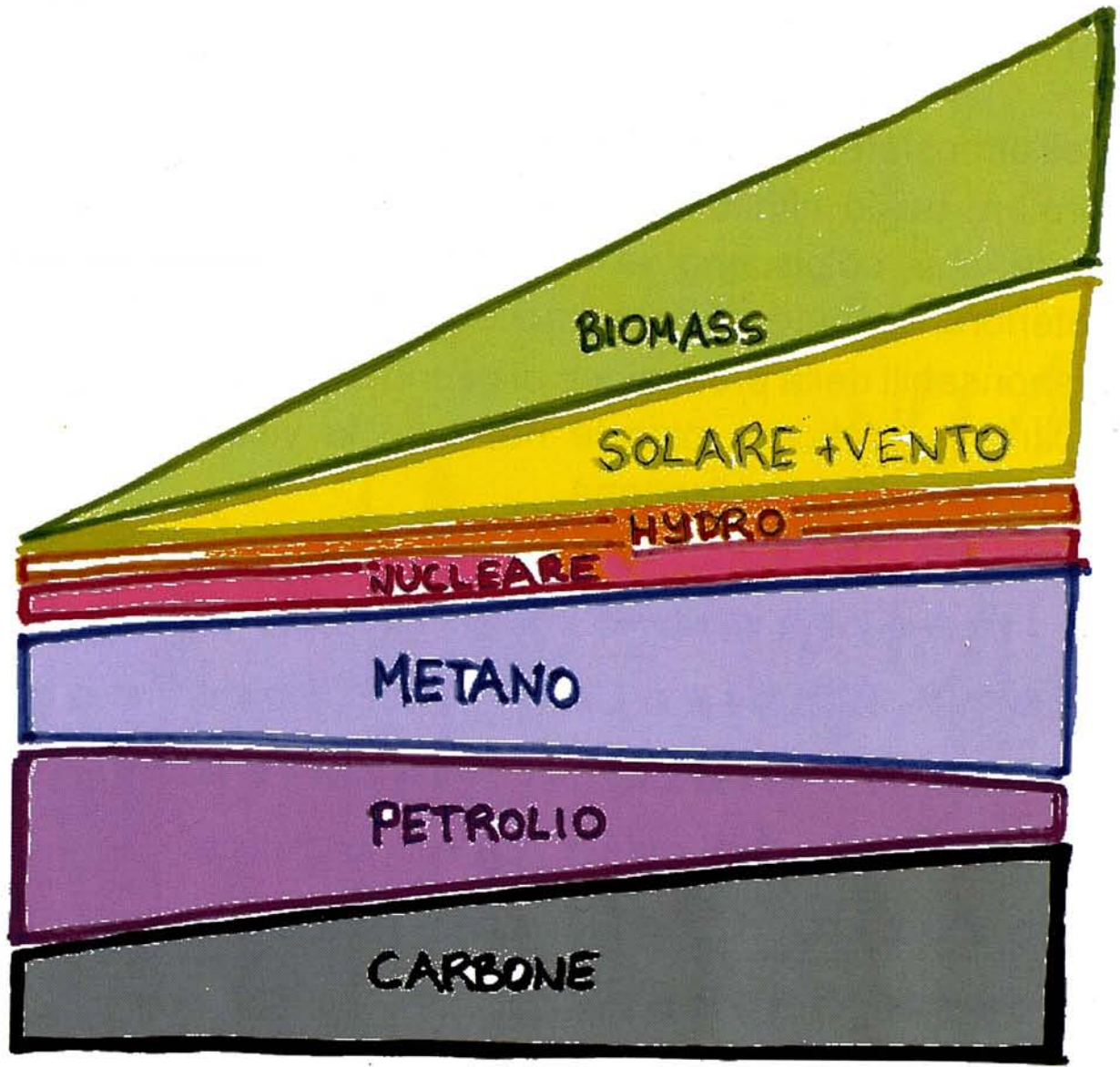


L'uso di combustibile fossile, tuttavia, non produce solo  $\text{CO}_2$ , ma anche ossidi di azoto ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ , attraverso la reazione di  $\text{O}_2$  con l'azoto), di anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ , attraverso la reazione di  $\text{O}_2$  con lo zolfo presente in ogni combustibile), e di piccole particelle o aerosol.

Nell'atmosfera,  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$  reagiscono ulteriormente a formare acido nitrico e solforico, producendo così piogge acide che colpiscono le foreste e l'agricoltura, e che deteriorano i materiali di costruzione.  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$  sono anche responsabili della produzione di ozono e di smog nelle città. Inoltre, le particelle piccole riducono la visibilità e sono dannose per la salute umana.

**È importante considerare i problemi ambientali nel loro complesso. Infatti il riscaldamento globale, le piogge acide e la produzione di smog hanno la stessa causa.**

Per questa ragione l'implementazione del Protocollo di Kyoto basata esclusivamente sul rimboschimento, senza prendere in considerazione la riduzione dei combustibili fossili, non è accettabile. Molti paesi (l'Europa al primo posto) hanno richiesto che la maggior parte della riduzione del 5,2% sia ottenuta diminuendo l'uso dei combustibili fossili.



2000

2050

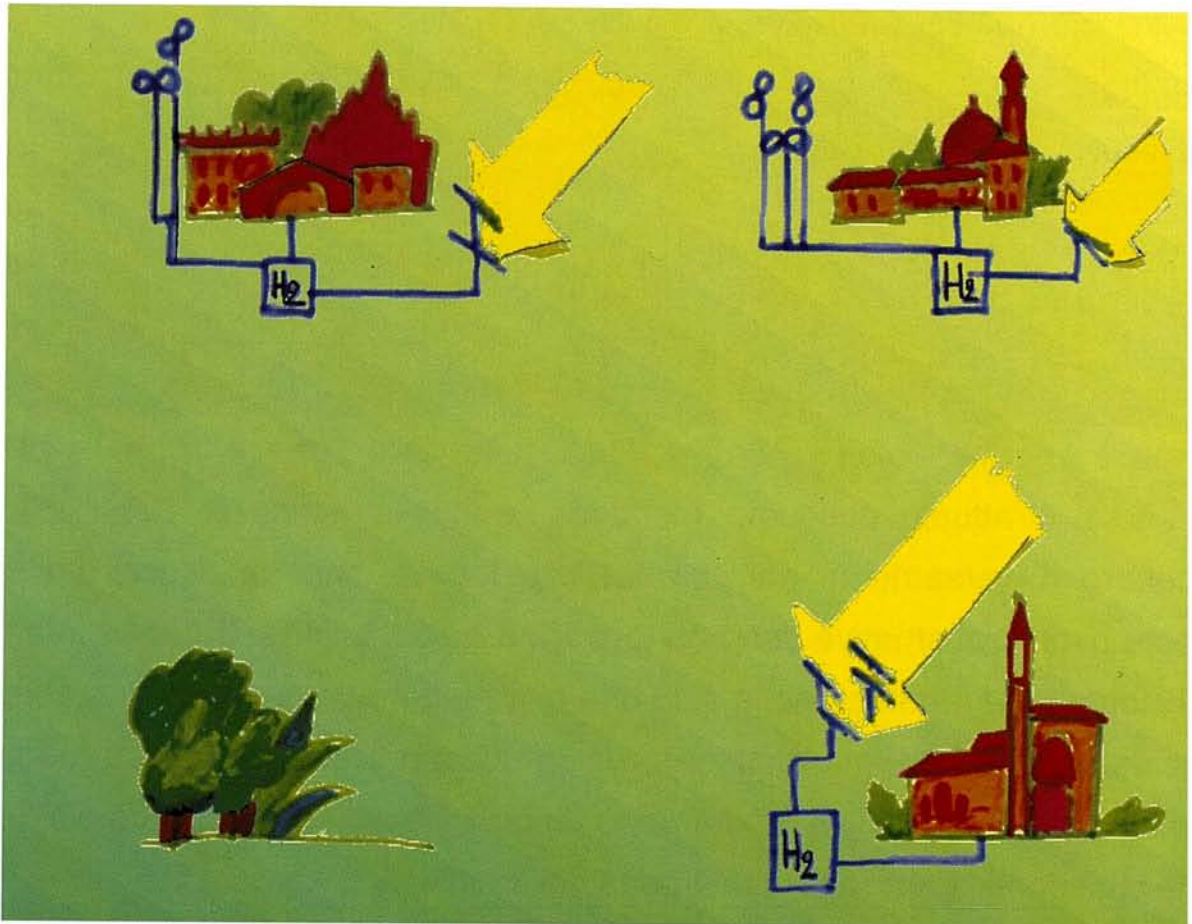
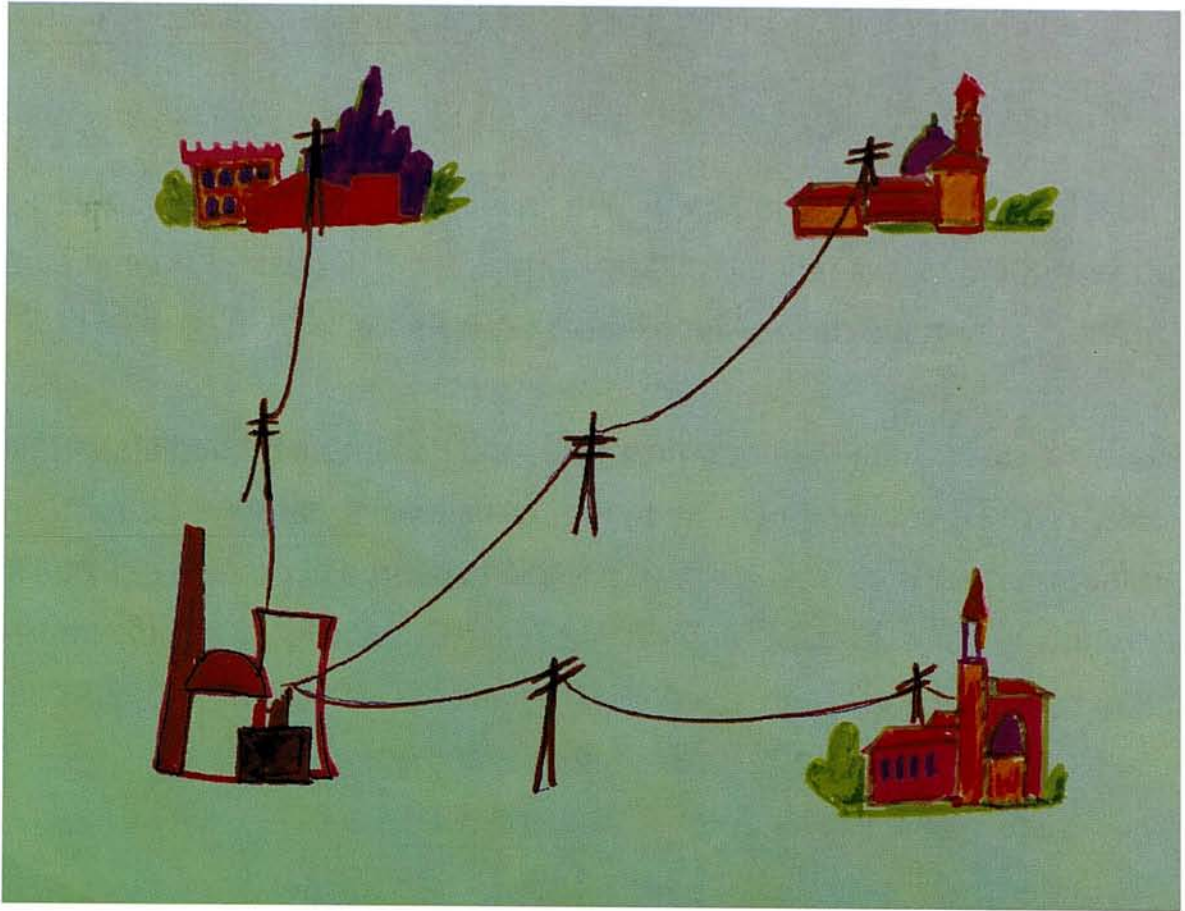
L'uso di combustibili fossili come carbone, petrolio e gas provvede all'80% dell'energia necessaria nel mondo nel 2000.

Le proiezioni economiche indicano che la richiesta mondiale di energia potrebbe raddoppiare o anche triplicare entro il 2050. Questo aumento sarà determinato soprattutto dallo sviluppo dei paesi asiatici.

La quantità di carbone ancora presente può facilmente soddisfare tale richiesta. All'attuale stato di sfruttamento, le riserve di carbone potrebbero durare per altri 600 anni, mentre si ritiene che le riserve di petrolio e di gas si esauriranno nei prossimi 50 anni. Tuttavia, il Protocollo di Kyoto, implementato correttamente, non accetta un aumento di utilizzo di carbone, petrolio e gas per coprire il fabbisogno futuro di energia.

È improbabile che l'energia nucleare, che non produce CO<sub>2</sub> o altri gas serra, possa soddisfare il fabbisogno energetico. Dopo incidenti come quello di Chernobyl, l'opinione pubblica è contraria all'attuale forma di produzione dell'energia nucleare attraverso la fissione. D'altro canto, si pensa che la tecnologia per lo sviluppo della produzione di energia per fusione sarà disponibile solo dopo il 2050.

La necessità futura di energia potrebbe invece essere soddisfatta dalle cosiddette "energie alternative", come quella solare o eolica o da biomassa. Il potenziale energetico presente nei flussi naturali del sole, del vento e delle maree è enorme: l'energia solare intercettata dalla Terra è 10.000 volte superiore all'attuale consumo mondiale, e quella eolica è 1000 volte superiore. Diversamente dal combustibile fossile, che ha riserve finite, queste risorse alternative sono rinnovabili, e quindi infinite. Sarebbe infatti sufficiente trasformarne anche solo una piccola parte in energia utilizzabile (per esempio in energia elettrica). Alcuni scenari predicono che a lungo termine queste tecnologie produrranno un quantitativo energetico da 5 a 10 volte superiore rispetto agli attuali consumi mondiali.





Oggi la maggior parte dell'energia è prodotta dalla combustione di carburante fossile e dalla fissione nucleare in grandi complessi centralizzati. Si suppone che le tecnologie per piccole unità di produzione energetica, sia quelle basate sulla produzione di energie classiche che quelle rinnovabili, saranno economicamente disponibili quando le grandi centrali di oggi avranno terminato il loro ciclo di vita. La produzione futura di energia diventerà così più diversificata e decentralizzata.

Un vantaggio importante delle piccole unità di produzione energetica è che possono essere disponibili dovunque e per tutti. Le turbine solari ed eoliche, in particolare, non solo non producono gas serra, ma potrebbero rivelarsi un sistema efficace per fornire energia ai miliardi di persone nelle aree tropicali in via di sviluppo.

Per chi ama la ciclicità, e ha una visione ottimistica dell'evoluzione del mondo, potrebbe essere di conforto pensare che il sole, all'origine del clima e della vita, potrebbe in futuro fornire le basi per una terra e un'umanità sostenibile.

→ 10.000 anni fa  
CAMBIAMENTI CLIMATICI  
= MOTORE DELL'EVOLUZIONE

10.000 anni fa → adesso  
STABILITÀ DEL CLIMA  
= CONDIZIONE PER LA CULTURA  
⇒ L'UOMO DIVENTA  
PARTE DEL SISTEMA

1800 → 1997  
SFRUTTAMENTO DELLE RISORSE  
⇒ SVILUPPO

1997 →  
CONTROLLO  
⇒ SVILUPPO SOSTENIBILE

La storia del clima è legata in generale a quella della vita e in particolare a quella dell'umanità. È probabile che la fuoriuscita di CO<sub>2</sub> dall'interno della Terra e il conseguente effetto serra naturale abbiano posto le condizioni necessarie per l'origine della vita 3.5 miliardi di anni fa. Il cambiamento climatico e la trasformazione delle foreste in deserto nell'Africa orientale, offrono altre opzioni per lo sviluppo di quel particolare gruppo di Primati da cui ebbero origine i predecessori dell'uomo, 2.5 milioni di anni fa.

Il clima relativamente stabile negli ultimi 10.000 anni corrisponde allo sviluppo della civiltà. Prima di allora l'uomo ha dovuto sempre adattarsi ai cambiamenti climatici, trasferendosi in posti migliori per sopravvivere. Non è irragionevole suggerire che con l'instaurarsi di un clima più caldo e più stabile, abbia potuto abbandonare il nomadismo e sviluppare l'agricoltura e più in generale la cultura. L'interazione dell'uomo con l'ambiente, in particolare l'utilizzo delle risorse naturali, ha consentito un'ulteriore accelerazione dello sviluppo.

Poiché l'uomo è una parte integrante del Sistema Terra, **il Sistema Terra è diventato intelligente.** L'uomo può riflettere sulle proprie azioni e adattarle. L'intelligenza è un nuovo meccanismo di feed-back all'interno del Sistema, ma non ci è ancora dato di sapere se questo feed-back sia negativo o positivo, se porterà ad un controllo o ad un'esplosione. Solo ora l'uomo si rende conto che attraverso un uso illimitato delle risorse naturali sta danneggiando l'ambiente. Egli ha anche dato inizio alla modificazione di quel clima che per 10.000 anni ha creato le condizioni per il suo sviluppo materiale e intellettuale.

Attualmente, l'azione politica internazionale sta cercando di controllare gli effetti collaterali negativi di questa evoluzione. Il Protocollo di Montreal del 1987 limita la produzione di gas che agiscono sullo strato protettivo di ozono. Il Protocollo di Kyoto del 1997 richiede la limitazione delle emissioni dei gas serra che portano a un riscaldamento su scala globale. Allo stesso tempo, la ricerca scientifica mira a un progresso tecnologico che vada in due direzioni: da un lato un utilizzo più efficiente delle risorse energetiche, e dall'altro un controllo dell'inquinamento.

Anche se i processi politici e gli sviluppi tecnologici sono lenti, sembra che l'intelligenza umana possa agire come un meccanismo di controllo nel Sistema Terra. L'uomo si prefigge il traguardo di uno sviluppo sostenibile, cioè di uno sviluppo che non finisca per ostacolare se stesso.

**I dati quantitativi in questa pubblicazione sono presi da:**

Climate Change 2001, The Scientific Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001.

Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-99  
European Environment Agency, Topic Report No 60 , 2001.

Petit et al., Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, Nature 399, 429, 1999

**Ringraziamo**

Marcella Schmidt per la citazione da Sebastian Muenster e per aver messo in luce le insidie del determinismo ambientale,

e

Giuliana Iannàccaro per aver intitolato questa pubblicazione "un piccolo libro per guardare lontano"

The mission of the JRC is to provide customer driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, whether private or national.



COMMISSIONE EUROPEA  
CENTRO COMUNE DI RICERCA





