

Capitolo 4.

Anidride carbonica ed effetto serra. Clima. Ozono. Desertificazione



Sommario

Introduzione

Clima e atmosfera

L'effetto serra

Buco dell'ozono ed inquinamento da ozono

Desertificazione

Iniziative per la riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici

Conclusioni

Bibliografia-Sitografia

INTRODUZIONE

Il ventesimo secolo è stato un periodo molto fertile dal punto di vista del progresso tecnologico e delle scoperte scientifiche, che insieme hanno contribuito a migliorare le condizioni di vita e la salute dell'uomo. La rivoluzione industriale, avviata tra la fine del '700 ed i primi anni dell'800, ha determinato però l'insorgere di una nuova malattia difficilmente curabile: la "febbre del pianeta".

All'inizio del terzo millennio, in piena globalizzazione, è ormai diffusa la notizia che le condizioni di salute della Terra, già di per sé non buone, continueranno a peggiorare. Sono infatti sempre più frequenti i segni di un cambiamento climatico: estati sempre più torride, alluvioni, tempeste, siccità, ghiacciai che si sciolgono....

Con l'ausilio di sofisticati sistemi matematici e simulazioni al computer i ricercatori cercano di prevedere quali saranno gli

effetti futuri e come varierà il clima terrestre nei prossimi 100 anni. Alcune di queste previsioni appaiono contraddittorie; da una parte c'è l'innegabile aumento globale delle temperature, dall'altro la prospettiva che alcune regioni del mondo, tra cui l'Europa centrale e orientale, potrebbero essere investite addirittura da una nuova era glaciale. Ma come si conciliano queste due affermazioni apparentemente così contrastanti tra loro? L'intera comunità scientifica è concorde nell'affermare che un contributo notevole ai cambiamenti climatici è dato dalle ripetute attività antropiche, che hanno causato un aumento dell'effetto serra.

Una recente ricerca effettuata da William F. Ruddiman, geologo statunitense, rivela che l'apporto umano al cambiamento del clima può essere addirittura vecchio di millenni. Secondo quanto emerge dalle sue ricerche la nascita delle attività agricole, risalenti a circa 11.000 anni fa, avrebbe generato nuove emissioni di anidride carbonica e di metano con conseguenze rilevanti sul clima. L'effetto sarebbe stato un riscaldamento medio di quasi 0,8°C misurati appena agli inizi della rivoluzione industriale. L'ipotesi sviluppata, dunque, porterebbe a pensare che l'uomo con il suo operare abbia forse arrestato un processo glaciale naturale che si verifica ogni 22.000 anni.

Ma cosa è esattamente l'effetto serra? Come può l'uomo interferire con le forze naturali fino a cambiare le condizioni ambientali? Quale impatto ha l'attività umana sul pianeta? Quali sono le problematiche ad esso collegate?

Prima di considerare, nello specifico, i fenomeni relativi ai cambiamenti climatici, appare opportuno rivolgere l'attenzione agli aspetti naturali e strutturali del clima e dell'atmosfera.

CLIMA E ATMOSFERA

Il clima è la media delle condizioni meteorologiche verificatesi in un dato luogo ed in un determinato periodo di tempo, effettuata sulla base delle rilevazioni dei diversi elementi climatici (temperatura, precipitazioni, umidità, vento ecc.). Convenzionalmente, il periodo scelto è di 30 anni, un periodo sufficientemente lungo per rappresentare una media effettiva di situazioni che ogni anno mutano. Il clima è un

sistema complesso i cui elementi sono, a loro volta, sistemi complessi che hanno una loro dinamica interna e si condizionano vicendevolmente mediante molteplici interazioni. Il clima è determinato da una serie di fattori: alcuni interni, altri esterni al nostro pianeta. Tra i fattori interni dobbiamo includere l'atmosfera, gli oceani, i ghiacciai, le superfici coperte di neve, la terra e le sue diverse forme di vegetazione. Hanno effetti sul clima la presenza e le caratteristiche di vaste aree di acqua (mari, laghi, fiumi ecc) nonché il profilo delle montagne. I fattori esterni sono, invece, principalmente, il sole, la rotazione della terra, le eruzioni vulcaniche e la conseguente distribuzione di oceani e terre emerse. E' necessario sottolineare gli aspetti principali e i fondamentali collegamenti fra questi elementi. Partiamo, dunque, da una descrizione del principale elemento interno "l'atmosfera" e del principale elemento esterno "il sole". In modo schematico si può considerare l'atmosfera divisa in tre fasce: a partire dalla terra troviamo la troposfera (da 0 a 12 km), la stratosfera (da 12 a 80 km), l'alta atmosfera (da 80 a 800km) (Figure 1 e 2).

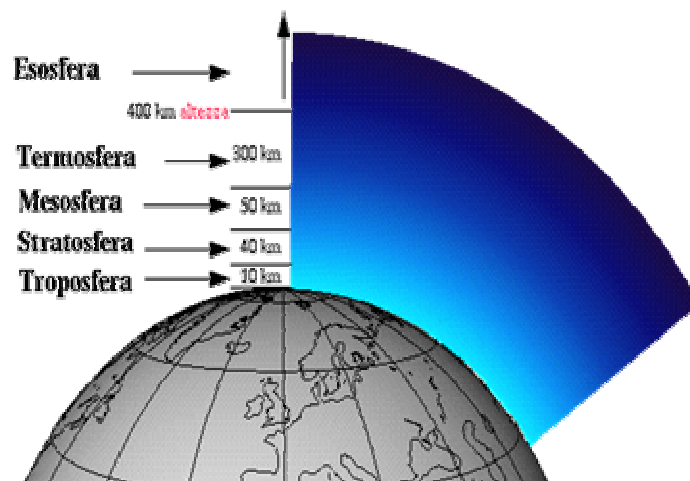


Figura1: Struttura dell'atmosfera

La troposfera è il primo strato d'aria: essa contiene il 75% dell'aria della terra e quasi tutte le sue impurità. La troposfera è il luogo della meteorologia. Le nuvole, le piogge, le correnti di

aria calda e fredda e tutti gli altri fenomeni si formano nella troposfera ed è in questo spazio che avvengono gli scambi di calore ed energia tra le superfici oceaniche, la terraferma e l'atmosfera. Sopra la troposfera c'è la stratosfera e anche qui avvengono importanti scambi legati alla circolazione atmosferica. La stratosfera è molto importante poiché possiede al proprio interno l'esosfera, ovvero il luogo in cui la presenza di molecole di ozono rende possibile un'adeguata protezione dalle pericolose radiazioni ultraviolette. Senza lo strato di ozono la vita come la conosciamo noi sarebbe impossibile, poiché, le radiazioni ultraviolette, altamente energetiche, potrebbero danneggiare le cellule viventi e sviluppare patologie complesse. Oltre la stratosfera c'è l'alta atmosfera, cioè la parte più esterna che però non è direttamente rilevante ai fini del nostro discorso. Contrariamente a quello che si può pensare l'atmosfera è uno strato sottile rispetto alla dimensione della terra, eppure, essa, grazie alle sue componenti, gioca un ruolo fondamentale e rende possibile la vita sul pianeta. (Figure 1 e 2)

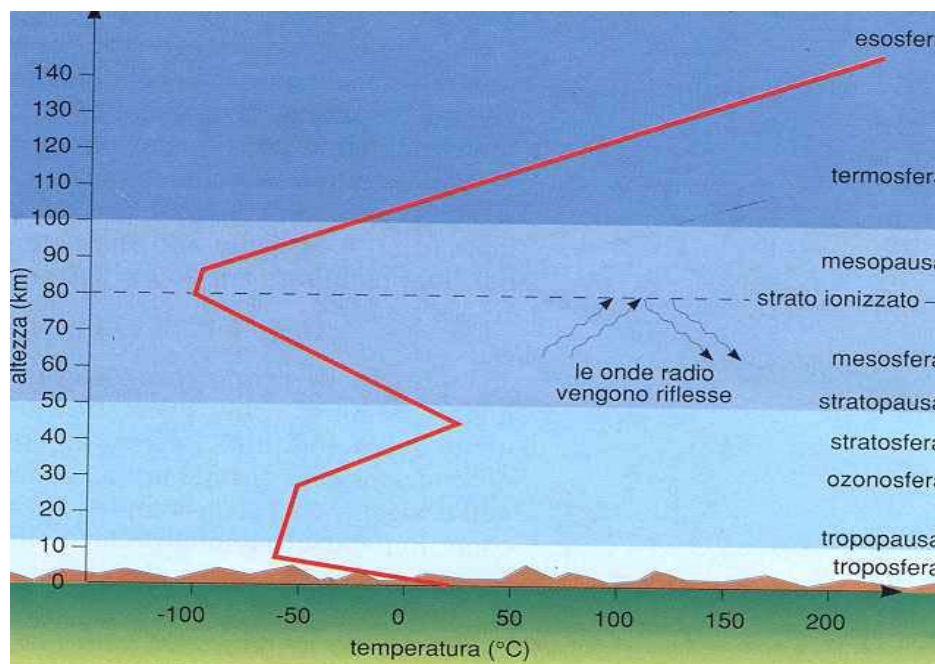


Figura 2: Struttura dell'atmosfera

Se osserviamo un campione d'aria non inquinata vedremo che essa è composta, prevalentemente, di azoto (78% circa) e ossigeno (20%). Questi due elementi costituiscono il 98% dell'aria che respiriamo. Ad essi va aggiunto circa l'1% di

argon. Tutto il resto (circa l'1%) è costituito da altre componenti tra cui vapore acqueo, anidride carbonica, idrogeno, elio, anidride solforosa ecc. L'anidride carbonica rappresenta una percentuale molto piccola ma svolge una funzione fondamentale come vedremo in seguito. Per comprendere questo punto dobbiamo considerare il legame tra atmosfera, la sua composizione e l'energia che la terra riceve dal sole. La radiazione solare rappresenta la fonte di energia che determina la temperatura del pianeta. Sebbene la terra riceva solo una piccolissima frazione dell'energia che il sole irradia, questa è sufficiente ad assicurare la vita sul pianeta e la quantità assorbita viene, in media, bilanciata dalla radiazione termica emessa dal pianeta. Nell'ultimo milione di anni, il fattore che ha avuto maggiore effetto sul clima terrestre non è stato tanto la quantità totale di radiazione solare, quanto la sua distribuzione spaziotemporale rispetto alla superficie terrestre su cui agiscono fattori quali: l'eccentricità dell'orbita, l'inclinazione dell'asse di rotazione e la precessione degli equinozi.

Nella strutturazione del clima, particolare rilevanza rivestono oceani, ghiacciai, e vulcani. Gli oceani coprono il 70% della superficie del pianeta e sono capaci di immagazzinare e trasportare calore su scala planetaria. Alcuni studi mostrano che essi hanno la potenzialità di produrre catastrofi climatiche, ossia brusche transizioni tra due stati climatici completamente diversi, in poche decine di anni (es. glaciazioni). Il meccanismo d'influenza del ghiaccio e della neve riflettono in modo (quasi) perfetto le radiazioni solari, e contribuiscono a creare alte e basse pressioni. Inoltre, la scomparsa del permafrost (cioè dello strato di suolo permanentemente ghiacciato che si trova al di sotto dello strato superficiale), per effetto del riscaldamento globale, produce l'emissione del metano in esso contenuto aumentando l'effetto serra e, di conseguenza, la temperatura. Anche il vapore acqueo contenuto nello strato inferiore dell'atmosfera gioca un ruolo importante. Un aumento di temperatura, infatti, aumenta la concentrazione massima del vapor acqueo nell'aria determinando un incremento dell'effetto serra.

L'attività dei vulcani ha una rilevanza centrale: essi possono essere considerati come elementi di raffreddamento generalizzati del pianeta. Quando le grandi masse gassose e di pulviscolo

emesse dai vulcani raggiungono gli alti strati dell'atmosfera, esse producono una sorta di coperta che impedisce ai raggi solari di penetrare e dunque di riscaldare la superficie del pianeta. Si verifica così un raffreddamento globale dovuto alle ceneri e all'anidride solforosa che vengono emesse durante le eruzioni. La componente biologica dei viventi sul pianeta stesso, sia quella marina che quella terrestre, ha un importante effetto sulla composizione dell'atmosfera da cui estrae e rilascia anidride carbonica ma, anche, metano e protossido di azoto. La difficoltà di descrivere con adeguata precisione le principali reazioni e retroazioni dei complessi sistemi presi in considerazione è all'origine dello scetticismo di alcuni scienziati che dubitano sulla possibilità di valutare il reale effetto umano sul clima e la sua futura evoluzione.

L'EFFETTO SERRA

Il fenomeno comunemente denominato “effetto serra” -a cui oggi si attribuisce una valenza soltanto negativa- in realtà esiste da milioni di anni ed ha favorito lo sviluppo della vita, come vedremo. La Terra, infatti, è costantemente esposta alle radiazioni elettromagnetiche provenienti dal sole; la temperatura del globo terrestre dipende dal bilancio termico tra energia ricevuta e energia riflessa (Figura 3).

Grazie al fatto di possedere una “atmosfera” che si comporta come una serra che avvolge l'intero pianeta, la Terra riesce a trattenere una quota del calore ricevuto dal sole e ad avere temperature più mitigate. Se così non fosse -fin dai tempi più remoti- la temperatura media terrestre si aggirerebbe addirittura intorno ai meno 18°C !.



Figura 3: Struttura dell'atmosfera

Non tutte le radiazioni solari raggiungono tuttavia la superficie terrestre. Circa il 25% di esse viene immediatamente riflesso nello spazio dal pulviscolo atmosferico e dalle nuvole ed un altro 25% viene assorbito dall'atmosfera stessa. Solo il 50% circa della radiazione solare raggiunge il suolo terrestre, per essere nuovamente riflessa sotto forma di raggi infrarossi (energia termica).

L'atmosfera terrestre è composta da una miscela di gas, di particelle solide e di vapore acqueo. Le particelle solide sono di origine organica (pollini, microrganismi) e non organica (polveri di varia natura), ma gran parte dell'atmosfera consiste di gas (azoto al 78%, ossigeno al 20%, ed altri gas tra cui metano, anidride carbonica, ossido nitrico, ammoniaca, idrogeno, anidride solforosa ecc.). Sono proprio questi gas che, ostacolando la dispersione delle radiazioni infrarosse, provocano il riscaldamento della parte più bassa dell'atmosfera e costituiscono la "parete" termoconservatrice della "serra". Tali gas si sono pertanto meritati l'appellativo di "gas serra".

Il fenomeno è del tutto naturale ed ha permesso lo sviluppo della vita sulla Terra, aumentandone la temperatura media fino ad un valore pari a 15 °C.

La questione che oggi suscita l'allarme è l'eccessiva emissione di biossido di carbonio proveniente dall'intensivo sfruttamento di combustibili fossili come il carbone, il petrolio, il metano, per la produzione di carburanti e di energia elettrica. L'anidride carbonica (CO₂) è uno dei "gas serra" e contribuisce ad ispessire lo strato atmosferico che trattiene il calore.

La CO₂ atmosferica rientra in un processo naturale chiamato "ciclo del carbonio" che si svolge in due tappe fondamentali:

fissazione della CO₂, cioè la sua trasformazione dalla forma atmosferica (gassosa) a quella inglobata in composti organici solidi, per mezzo della fotosintesi delle piante.

Ritorno nell'atmosfera della CO₂, in seguito ad ossidazione biologica della materia organica (attraverso diversi processi biochimici che comprendono la respirazione, la decomposizione e la fermentazione ad opera di microrganismi), e a reazioni di combustione (incendi di vegetazione ed uso di combustibili fossili).

Tuttavia, a causa del consumo massiccio dei combustibili fossili che l'uomo ha imparato a fare (soprattutto dalla rivoluzione industriale in poi), il carbonio sedimentato per milioni di anni ed incorporato proprio nei combustibili stessi (carbone e petrolio) rientra nuovamente in circolo nella sua forma gassosa ma in quantità molto maggiori rispetto a quella che gli organismi viventi possono assorbire e fissare. Ed è così che il contenuto di CO₂ nell'atmosfera aumenta, con la conseguenza di una maggiore opacizzazione dell'aria (chi non ha notato la caligine tipica delle aree industriali ?), e quindi di un maggiore impedimento alla dispersione dell'energia termica, la quale, dunque, rimane intrappolata negli strati bassi dell'atmosfera e favorisce l'innalzamento della temperatura.

La durata di un gas in atmosfera è detta anche "vita media atmosferica", e rappresenta l'approssimativo ammontare di tempo che ci vorrebbe perché l'incremento della concentrazione di un inquinante scompaia o ritorni ad un livello naturale. Questo dipende dalle sorgenti dell'inquinamento, dai depositi e dalla reattività della sostanza. La vita media dei gas serra può variare nel

seguinte modo: da 12 anni (metano e HCFC-22) a 50 anni (CFC-11), a circa un secolo (CO₂), a 120 anni (N₂O) a migliaia di anni (CF₄). Dall'inizio della rivoluzione industriale, la concentrazione atmosferica dell'anidride carbonica è aumentata del 30% circa, quella del gas metano è più che raddoppiata e quella dell'ossigeno nitroso è cresciuta del 13%. L'aumento di concentrazione di tali gas determina il "Forcing Radioattivo", ossia lo sbilanciamento tra onda solare entrante e la radiazione uscente e, di conseguenza, un aumento di temperatura. Le valutazioni e la possibilità di fare previsioni sono legate al numero e ai dati che siamo in grado di raccogliere per il passato. Per le rilevazioni delle concentrazioni di CO₂ particolare importanza rivestono i dati emersi attraverso prelievi (detti carotaggi) effettuati ad elevate profondità. Celebri sono quelli che provengono da Vostok, una stazione antartica russa in cui sono stati effettuati prelievi a partire dal 1989. Il ghiaccio estratto ad una profondità di 50 mt. presentava nel suo interno, "intrappolate", piccole bolle d'aria antica, preziose al fine di stabilire la composizione dell'atmosfera al tempo in cui quel ghiaccio si è formato e la relazione tra temperatura e contenuto di anidride carbonica che è centrale nella definizione del problema del cambiamento climatico.

Secondo Ruddiman, già citato nell'introduzione, il clima globale è dominato, da milioni di anni, da tre variazioni regolari della terra intorno al sole. Per effetto di questi cicli orbitali (che operano su periodi di 100.000, 41.000 e 22.000 anni), la quantità di radiazione solare che raggiunge le varie parti del globo, in una data stagione, può variare di oltre il 10%. Negli ultimi milioni di anni questi cambiamenti hanno prodotto una lunga sequenza di glaciazioni separate da brevi periodi interglaciali caldi. Le carote di ghiaccio prelevate hanno confermato che tra i periodi più caldi e quelli più freddi la concentrazione di CO₂ è oscillata tra 180 e 280 ppm e quella del metano tra 350 e 700 ppbv (parti per miliardo in volume). Gli incrementi e decrementi si sono verificati agli stessi intervalli delle variazioni di intensità della radiazione solare. La rotazione terrestre attorno al proprio asse avvicina e allontana l'emisfero settentrionale dal sole; durante l'estate, quando questa oscillazione porta i continenti

settentrionali più vicini al sole, l'atmosfera riceve un notevole apporto di metano che deriva dalla vegetazione in decomposizione; quando i continenti si allontanano dal sole, le emissioni di metano iniziano a diminuire, raggiungendo il minimo ogni 11.000 anni.

Le ricostruzioni degli andamenti climatici ottenute grazie alle carote di Vostok hanno però evidenziato qualcosa di strano: all'inizio dei precedenti intervalli interglaciali, la concentrazione del metano raggiungeva un picco di 700 ppbv quando la precessione portava la radiazione solare al massimo; la stessa cosa era successa proprio all'inizio dell'attuale periodo interglaciale. Poi, come era accaduto nei cicli precedenti, la concentrazione di metano era diminuita di 100 ppbv di pari passo con la diminuzione della luce solare. A quel punto, se la tendenza avesse continuato ad imitare le fasi interglaciali più antiche, durante il successivo minimo riscaldamento i livelli sarebbero dovuti scendere a un valore di circa 450 ppbv. Al contrario, 5000 anni fa, la linea di tendenza cambiò direzione risalendo, gradualmente, a 700 ppbv, fino a poco prima dell'inizio dell'era industriale. In poche parole, le concentrazioni di metano aumentarono proprio quando avrebbero dovuto diminuire. Che cosa potrebbe spiegare questi rovesciamenti inattesi? Ruddiman ritiene che ai meccanismi naturali si sia aggiunto qualcosa di nuovo: le pratiche agricole che generano metano avrebbero prodotto delle anomalie causando un aumento di temperatura. Ma come mai è passato inosservato questo riscaldamento? Ruddiman spiega che i cicli orbitali della terra stavano determinando un raffreddamento del pianeta ma, le pratiche agricole e, successivamente, l'industrializzazione hanno contribuito a mantenere calda la terra che, altrimenti, si sarebbe avviata su tipici assetti glaciali.

Un gruppo di scienziati della National Data Kare (centro nazionale per i dati sul clima) del NOAA guidato da Thomas Kare ha verificato che la crescente instabilità del clima e l'aumento di eccessi meteorologici non richiamano una variabile naturale ma sono dovuti per il 90% di probabilità alla combustione di petrolio e carbone (figura 4). Il ricercatore Scott Lehman (nel 1993) ha dichiarato che l'attuale sistema climatico si regge su un equilibrio che potrebbe rompersi da un momento all'altro. Tali affermazioni derivano dalla scoperta che la fine

dell'era glaciale, circa 10.000 anni fa, fu segnata da una serie di oscillazioni estreme tra picchi di calore e gravi gelate. Alcuni scienziati affermano che sappiamo troppo poco del cambiamento del clima per metterci all'opera. Dati riguardanti la CO₂ provengono anche dall'osservatorio di Muona Loa. Questi valori mostrano una crescita della concentrazione annuale del 16%, da 315,83 ppm del 1959 a 380 ppm del 2005; questo porta a supporre che il cambiamento in atto possa derivare non soltanto dalla variabilità naturale del clima, ma, anche, dal potenziamento delle emissioni antropogeniche. Il Comitato Intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) ritiene che la temperatura media del pianeta si è innalzata di 1°C circa in poco più di cento anni. L'organizzazione meteorologica mondiale ha previsto inoltre che tra il 1990 e il 2100 vi sarà un ulteriore aumento della temperatura media, stimato tra 1,4°C e 5,8°C. E' facile intuire che le conseguenze del surriscaldamento terrestre provocheranno una mutazione delle attività meteorologiche, con esito negativo sugli ecosistemi.

Temperatura media annuale superficiale
 Fonte: National Climatic Data center / NESDIS/NOAA

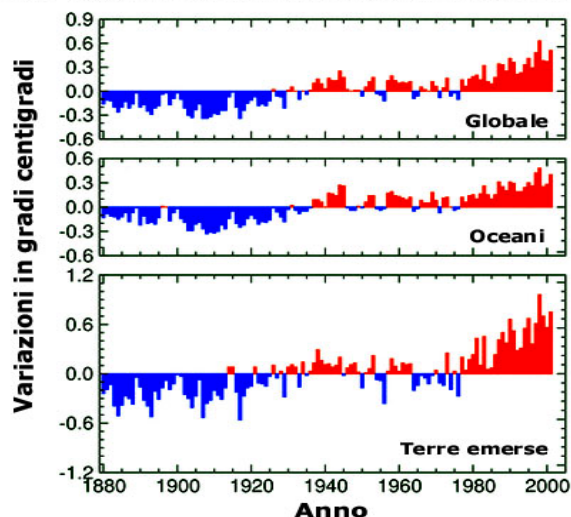


Figura 4: Questo grafico rappresenta la variazione delle temperature medie annuali superficiali nel corso degli anni 1880-2001. La linea dello zero rappresenta la media di tutte le temperature, mentre le barre rosse e blu indicano gli scostamenti da tale media. Come si può vedere, c'è una chiara tendenza di crescita. Le temperature riferite alle terre emerse presentano degli scostamenti maggiori di quelle degli oceani perché le terre si riscaldano e si raffreddano più velocemente delle acque.

L'aumento di temperatura legato al riscaldamento globale sembra essere la causa della riduzione della coltre glaciale artica. I ricercatori hanno seguito nel tempo questa alterazione e

hanno scoperto che l'area coperta da ghiaccio è andata diminuendo del 30% per decennio, dall'inizio delle registrazioni da satellite nel 1972. Negli ultimi decenni, la variazione dello spessore ha subito una perdita del 40% misurata dai sottomarini. I dati raccolti dal 1° satellite europeo ERS-1 hanno evidenziato una notevolissima riduzione dei ghiacci della Groenlandia, rispetto a 50 anni fa. Mark Meyer, esperto di glaciologia dell'università del Colorado, sottolinea che i piccoli ghiacciai hanno perso oltre il 10% della loro massa totale e, in questo secolo, i ghiacciai alpini circa il 50%. Alcuni modelli climatici indicano che entro il 2080 l'oceano artico, in estate, sarà del tutto libero da ghiacci. Secondo l'IPCC i ghiacci dell'artico si sono ritirati verso sud di 2,8° di latitudine a partire dalla metà degli anni 50. Recenti studi hanno stabilito che l'estensione del manto nevoso del Kilimangiaro è diminuita, dal 1912 ad oggi, dell'82% e, continuando con questo ritmo, tra 15-20 anni non resterà più traccia delle sue nevi perenni. Anche il ghiacciaio Quelccaya delle Ande peruviane si è ristretto del 20% dal 1963. Lo scioglimento dei ghiacciai costituirebbe una minaccia per la sopravvivenza di diverse specie animali, come gli orsi polari ed i pinguini, nonché per alcuni ambienti già oggi fortemente minacciati, come la barriera corallina.

La fusione dei ghiacci polari provocherà un ulteriore innalzamento del livello dei mari, che già nel XX secolo è stato valutato essere stato di 1 mm all'anno. Gli effetti di questi fenomeni non sono del tutto prevedibili; oltre ad una sicura erosione delle coste -che a lungo andare coinciderà con la trasformazione profonda di gran parte delle coste attuali, ovvero delle zone di confine tra terra e mare- ci potrebbe essere anche una sostanziale deviazione della Corrente del Golfo che potrebbe generare una nuova glaciazione nel nord dell'Europa.

I danni provocati da un aumento del livello del mare sarebbero gravissimi. Intere città, come New Orleans, Shanghai, Venezia o il Cairo risulterebbero totalmente sommerse; un arcipelago come le Maldive scomparirebbe. Uno studio dell'Unep (il programma per l'ambiente delle Nazioni Unite) ha identificato in 10 le nazioni più vulnerabili a causa dell'aumento del livello marino: Bangladesh, Egitto, Gambia, Indonesia, Maldive, Mozambico, Pakistan, Senegal, Suriname e Thailandia. Questo rapporto indica anche che

l'Italia e la Grecia sarebbero le nazioni più colpite nell'area mediterranea. Inoltre, l'aumento di temperatura delle acque determinerà la tropicalizzazione di mari temperati come il Mediterraneo dove la fauna e la flora verrebbero, progressivamente, soppiantate da specie provenienti dai mari del sud.

Un'altra ipotesi prevede che, in seguito ad una maggiore evaporazione delle acque marine, potrebbero esserci una maggiore frequenza e una maggiore intensità delle precipitazioni piovose, in molti casi anche a carattere violento, (tempeste, alluvioni, uragani), che provocherebbero inondazioni ed allagamenti di vaste aree urbane di pianura. Il cambiamento climatico non sarà comunque omogeneo nelle varie regioni del mondo: esistono anche vaste aree della terra, soprattutto quelle tropicali e subtropicali -già di per sé povere e al limite della sopravvivenza- che potranno essere devastate dalla siccità e dalla desertificazione, che aggraveranno ulteriormente lo sviluppo economico locale.

Alterazioni climatiche con frequenti periodi di siccità, che già in questi anni si sono estese dalle latitudini equatoriali a molte regioni temperate in Europa e negli Stati Uniti, si moltiplicherebbero; vaste aree intensamente coltivate, come le grandi pianure del Nord America ma, anche, la Pianura Padana, potrebbero diventare zone aride non adatte all'agricoltura.

Il cambiamento climatico non riguarda dunque soltanto la salute del Pianeta ma comporta anche serie implicazioni sulla salute dell'uomo.

Le temperature estremamente calde aumentano i rischi fisici a carico delle persone che presentano problemi cardiaci; inoltre, comporterebbero una maggiore frequenza dei colpi di calore ed un grande aumento dei problemi respiratori.

Malattie infettive ancora presenti nel sud del mondo, quali malaria, febbre gialla ed altre tra quelle veicolate da insetti, saranno favorite nella loro diffusione. La riduzione dell'umidità nelle zone tropicali avrà importanti ripercussioni anche sulla resa agricola, provocando con maggiore frequenza il verificarsi di carestie. Avremo dunque un mondo sempre più diviso in due, tra ricchezza e povertà, con risvolti sociali e politici che ogni paese ha dovrà affrontare. Occorre quindi un impegno serio e preciso da parte di ogni stato nel trovare delle soluzioni rapidamente

efficaci a protezione del clima. Ad oggi gli appuntamenti internazionali cui i diversi Paesi hanno preso parte per trovare soluzioni al problema ambientale planetario sono stati l'Earth Summit di Rio de Janeiro svoltosi nel 1992, ovvero il Congresso Mondiale sullo Sviluppo Sostenibile in cui più di cento Stati hanno siglato un accordo per ridurre le emissioni globali di gas serra del 5% entro il 2012.

La riduzione complessiva del 5%, però, non riguarda tutti in modo omogeneo. Alcuni paesi dovranno ridurre le loro emissioni rispetto a quelle del 1990, altri potranno stabilizzarle, altri, ancora, persino aumentarle. L'accordo definitivo si è raggiunto nel novembre 2004, quando si è registrata anche l'adesione della Russia che da sola scarica nell'atmosfera oltre il 17% delle emissioni nocive. I paesi dell'Unione Europea, nel loro insieme, si sono impegnati per una riduzione pari all'8%; la riduzione fissata per gli Stati Uniti è del 7%, quella per il Giappone del 6%. Possono, al contrario, aumentare le loro emissioni fino all'1% la Norvegia, all'8% l'Australia e al 10% l'Islanda. Nessuna limitazione è prevista per i paesi in via di sviluppo; la linea che è stata accettata dai paesi firmatari è che un tale vincolo rallenterebbe il cammino di tali paesi verso lo sviluppo socio-economico. Tuttavia, occorre osservare che la crescita di emissioni nei paesi in via di sviluppo sta avvenendo ad un ritmo che è circa il triplo di quello dei paesi sviluppati. Questo significa che attorno al 2010 non solo l'impegno dei paesi industrializzati sarà, probabilmente, vanificato ma anche che a tale data, le emissioni mondiali di gas serra saranno cresciute complessivamente di circa il 30% in più rispetto ai livelli del 1990. Il protocollo di Kyoto suggerisce una serie di misure per raggiungere gli obiettivi proposti:

elaborare una serie di politiche dirette ad aumentare l'efficienza energetica nei più rilevanti settori dell'economia nazionale e incrementare le capacità di assorbimento dei gas serra rilasciatoi in atmosfera attraverso azioni di forestazione;

promuovere riforme tese, da una parte, a ridurre quei fattori di distorsione dei mercati (incentivi fiscali, tassazione, sussidi ecc.) che favoriscono le emissioni di gas serra e, dall'altra, a incoraggiare politiche economiche finalizzate alla loro riduzione;

stabilire una collaborazione tra paesi industrializzati e paesi in via di sviluppo.

BUCO DELL'OZONO ED INQUINAMENTO DA OZONO

Strettamente legato al problema del surriscaldamento del Pianeta è l'ormai noto fenomeno della rarefazione dello strato di ozono nell'alta atmosfera (Figura 5).

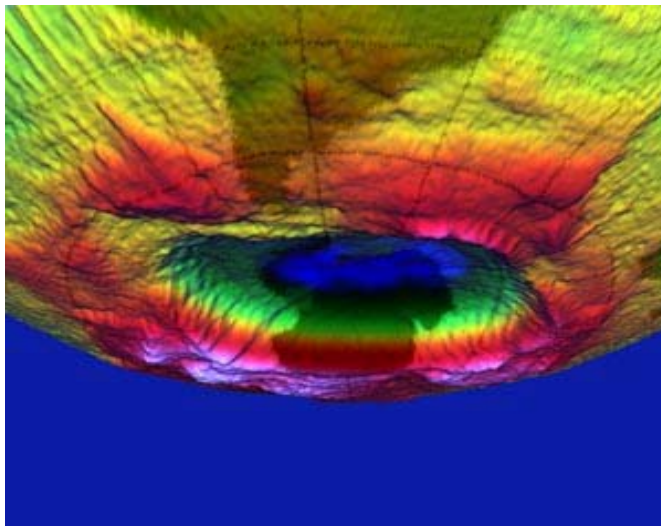
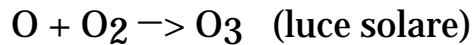


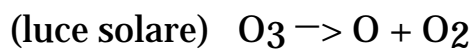
Figura 5: Il buco dell'ozono (modello grafico computerizzato relativo al Polo Sud)

L'ozono è un gas -formato da tre atomi di ossigeno, che svolge l'importante ruolo di scudo delle radiazioni ultraviolette provenienti dal sole; la presenza di ozono, infatti, è in grado di filtrare le radiazioni stesse e di impedire che arrivino al suolo con alta intensità. Lo strato di ozono si è formato nel corso di milioni di anni per cause diverse; tra queste c'è l'attività delle alghe verdi azzurre dei mari che erano presenti già milioni di anni fa. A queste alghe si deve l'iniziale produzione di ossigeno molecolare, che ha consentito lo sviluppo della vita anche sulla terra ferma, dando inizio ai processi evolutivi che hanno portato fino all'uomo. Nella stratosfera (una delle fasce più alte dell'atmosfera, situata a

circa 30 km di altezza rispetto al suolo) le radiazioni provenienti dal sole dissociano continuamente l'ossigeno molecolare in ossigeno atomico, il quale tende istantaneamente a combinarsi con altre molecole di ossigeno dando luogo alla formazione di ozono secondo la seguente reazione:



Le molecole di O_3 appena formate assorbono anch'esse le radiazioni solari e, attraverso il fenomeno chiamato fotolisi, tendono nuovamente a dissociarsi in molecole ed atomi di ossigeno:



La quantità di ozono tende dunque a mantenersi in equilibrio dinamico. L'ozono, che si forma soprattutto sulle zone equatoriali dove l'irraggiamento solare è maggiore, viene in seguito trasportato verso i poli dai venti atmosferici. Ogni anno, durante la primavera dell'emisfero australe, la concentrazione dell'ozono stratosferico misurata ai due poli subisce una diminuzione a causa di variazioni naturali (Figura 6).

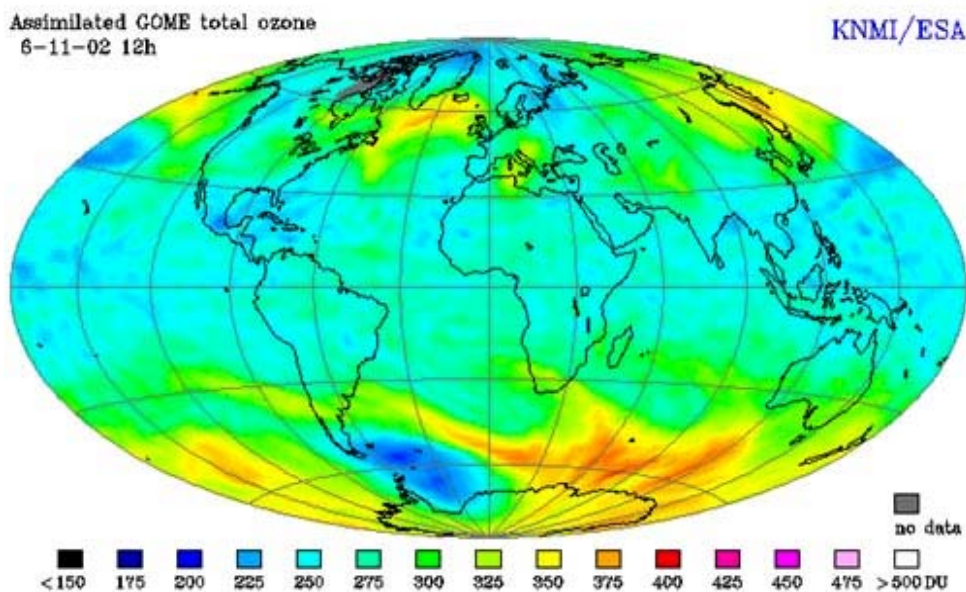


Figura 6: Elaborazione grafica realizzata dal Royal Netherlands Meteorological Institute (RNMI) e che rappresenta la distribuzione dell'ozono il giorno 06-11-2002.

Esiste una variazione ciclica pluriennale legata all'attività solare che viene definito "ciclo solare"; dura circa 11 anni e comporta una fluttuazione dell'ozono pari all'1-2%. Fenomeni casuali, come le eruzioni vulcaniche possono provocare variazioni anche del 10%. Inoltre, in tutto il corso dell'anno possono avvenire delle variazioni della durata di pochi giorni a causa delle particolari condizioni meteorologiche, con fluttuazioni dell'ordine del 30-50%.

Attualmente però l'emissione continua degli inquinanti chimici rilasciati in atmosfera ha accelerato il processo di assottigliamento dello strato di ozono atmosferico, generando addirittura un vero e proprio squarcio di tale strato che è stato rilevato in prossimità dell'Antartide. Questo squarcio, o "buco dell'ozono", tende ad allargarsi sempre di più, anche se dati recenti ne indicano una parziale riduzione (Figura 7).

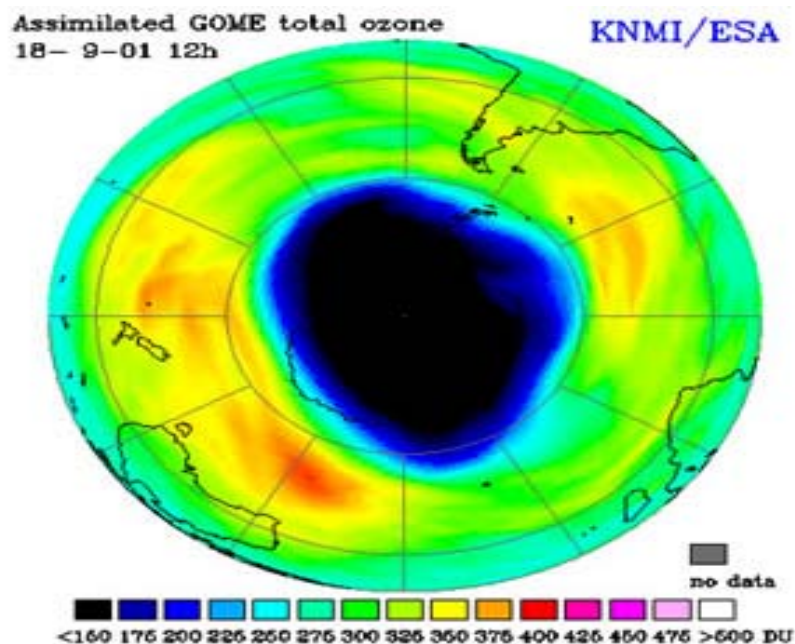


Figura 7: Rappresentazione del buco dell'ozono realizzata dal Royal Netherlands Meteorological Institute (RNMI); l'immagine si riferisce alla giornata del 18 settembre 2001. Mappa sulla verticale del Polo Sud della Terra.

Secondo il rapporto dell' Ozone Trend Panel della NASA (un gruppo di studio sull'ozono, formato da oltre 100 scienziati di 10 diversi paesi promosso dall'ente spaziale americano) l'ozono globale è diminuito fra il 1969 e il 1986 dell'1-2%, ma, alle alte latitudini questa diminuzione risulta più

marcata, intorno al 3%. Ricerche organizzate nei cieli sopra l'Antartide hanno riscontrato la presenza di CFC (clorofluorocarburi) in concentrazioni molte volte superiori a quelle rilevate in altre zone della Terra. Così, gli scienziati ritengono che i CFC, composti sintetici a base di cloro e di fluoro, siano i responsabili della distruzione dell'ozono stratosferico. Questi gas vagano nell'atmosfera e raggiungono la stratosfera. Qui i raggi ultravioletti rompono le loro molecole liberando il cloro. Questo provoca la trasformazione dell'ozono in ossigeno molecolare che è incapace di bloccare la parte più pericolosa dei raggi ultravioletti. Il cloro, dopo aver catturato l'atomo di ossigeno, lo ricede ad un altro atomo di ossigeno. Il cloro, di nuovo libero, risulta pronto a spezzare nuove molecole di ozono; un solo atomo di cloro può reagire con 30-40 mila atomi di ossigeno, con un risultato molto deleterio per l'ozono. Altri composti implicati nel fenomeno sono gli HCFC (idroclorefluorocarburi), una classe di composti chimici che vengono utilizzati temporaneamente per rimpiazzare i CFC e i gas Halon (alogenati) conosciuti come Bromofluorocarburi ed utilizzati come agenti estinguenti del fuoco.

Le conseguenze della riduzione dell'effetto schermante per le radiazioni UV operato dall'O₃ presentano aspetti negativi per la salute dell'uomo. La quantità eccessiva di raggi UV che giunge fino agli strati più bassi dell'atmosfera può causare mutazioni nel DNA delle cellule colpite, favorendo l'insorgere di melanomi e di altri tumori della pelle.

Anche l'ambiente risente però di questo assottigliamento dell'ozono stratosferico. A subire danno sono soprattutto gli esseri viventi dalle dimensioni ridotte come fitoplancton, zooplancton ed altri piccoli organismi che sono alla base delle catene alimentari. Le loro ridotte dimensioni, infatti, li espongono maggiormente agli effetti distruttivi dei raggi UV. E' stato inoltre dimostrato un rallentamento della crescita delle piante conseguente ad una inibizione parziale della fotosintesi. Alla lunga, le strategie adattative saranno vantaggiose principalmente per tutti quegli animali come insetti che, dotati di un esoscheletro che li ripara dalle radiazioni, avranno il sopravvento sui nuovi ecosistemi.

Un altro fenomeno atmosferico importante riguarda la presenza di ozono negli strati bassi dell'atmosfera (troposfera), dove un

aumento della concentrazione di O₃, normalmente bassa o trascurabile, è invece sinonimo di inquinamento.

A livello del suolo le molecole di ozono si formano quando inquinanti primari, come ossidi di azoto, cloruri, bromuri, ed altri composti volatili si degradano per effetto di raggi ultravioletti e reagiscono modificando la composizione di ossigeno nell'aria. Gli aumenti più rilevanti di ozono atmosferico a livello del suolo si registrano soprattutto nei periodi primaverili ed estivi, in cui le particolari condizioni di alta pressione, le elevate temperature e la scarsa ventilazione favoriscono il ristagno e l'accumulo delle sostanze inquinanti che, a seguito dell'irraggiamento termico, vengono coinvolte in una serie di reazioni fotochimiche che innalzano la concentrazione di O₃.

Questo fenomeno, detto smog fotochimico, è, talvolta, definito come "strato dell'ozono nel posto sbagliato" per distinguerlo dal problema della diminuzione dell'ozono atmosferico.

La presenza di elevati livelli di ozono a bassa quota può danneggiare la salute umana provocando, ad esempio, irritazioni agli occhi, al naso, alla gola e all'apparato respiratorio, con danni apprezzabili sul tessuto polmonare. Ancora una volta dunque è interesse comune salvaguardare l'atmosfera per preservare la salute.

Gli effetti dello smog fotochimico, su grande scala, sono particolarmente evidenti sui vegetali e determinano: una diminuzione della produttività agricola e della qualità dei prodotti, alterazioni nella fotosintesi, sensibilità delle piante all'attacco di insetti e parassiti, scarsa resistenza alle condizioni climatiche avverse. L'ozono ha un'azione distruttiva nei confronti di materiali come gomme, plastiche, opere d'arte, libri, composti tessili, ecc. La crescente consapevolezza della pericolosità dei CFC ha portato alla stipula di accordi internazionali, come quello di Londra che prevedeva la fine della produzione dei CFC entro il 2000 nei paesi sviluppati. Secondo Susan Salomon, ricercatrice della National Geographic and Atmospheric Society, nel prossimo decennio, il tasso di cloro, nella stratosfera, aumenterà di circa il 10% rispetto ai livelli attuali, poiché i CFC prodotti fino al 2000 impiegheranno tempo per raggiungere l'atmosfera; dopodiché, inizierà il loro lento declino. Occorreranno da 40 a 60 anni perché il buco dell'ozono sull'Antartide possa colmarsi. Tuttavia, sempre secondo la

Salomon molte sono, ancora, le dinamiche da indagare sulla deplezione dell'ozono.

Il mondo che ci è stato lasciato dai nostri antenati deve essere custodito e preservato in modo da poterlo consegnare in condizioni accettabili alle generazioni future. Quest'ultima affermazione risulta di anno in anno meno veritiera, perché le nuove generazioni trovano invece un pianeta sempre più degradato a causa dell'operato delle generazioni precedenti. Vogliamo impegnarci seriamente per arginare questi fenomeni e magari invertire questa tendenza?



DESERTIFICAZIONE



Desertificazione

La desertificazione è il processo per cui, in seguito alla distruzione di vaste foreste naturali, vengono a crearsi aree desertiche. L'eliminazione della copertura naturale di vegetazione aumenta, infatti, l'erosione del suolo da parte del vento. In mancanza di ostacoli il vento acquista maggiore velocità e soffia via gran parte degli strati superficiali del terreno.

Da quando circa 10.000 anni fa l'uomo ha smesso di essere cacciatore nomade, scegliendo di dedicarsi alle attività agricole e all'allevamento di bestiame, egli ha modificato sempre di più l'ecosistema ed ha abbattuto le foreste a vantaggio dei pascoli e dei terreni coltivabili. In passato boschi e foreste coprivano circa la metà delle terre emerse. Questa percentuale è scesa oggi al di sotto del 35%; inoltre, il pericolo di una ulteriore diminuzione è più che mai imminente. Le conseguenze ovviamente sono disastrose per tutti gli esseri viventi. Le foreste, infatti, oltre ad essere habitat naturale di numerose specie, hanno il ruolo fondamentale di compiere il fondamentale ricambio di ossigeno e biossido di carbonio; esse dunque stabilizzano il clima e contrastano il surriscaldamento ambientale. Inoltre le foreste assorbono dal terreno una quantità considerevole di acqua che poi evapora nell'atmosfera. Con la perdita delle grandi estensioni di vegetazione diminuisce la quantità delle precipitazioni e si riduce la capacità di trattenere acqua da

parte del terreno. Negli ultimi anni i danni si sono concentrati soprattutto nelle zone tropicali, in cui ogni anno scompaiono circa 15 milioni di ettari di foresta. Tra gli esempi più rappresentativi c'è il Brasile, dove ampie aree di foresta tropicale vengono convertite in pascolo, e dove c'è una raccolta indiscriminata di legname per usi commerciali.

Le ragioni di tale scempio in zone come l'Asia sud-orientale, l'Amazzonia e l'Africa centro-orientale sono da ricercare nell'incremento demografico degli ultimi decenni che ha determinato un aumento dei fabbisogni e, quindi, uno sfruttamento delle risorse naturali sempre più vicino alla soglia di criticità. Inoltre, le nuove regole del commercio, la crescente richiesta di legno pregiato da parte dei paesi dell'occidente (Italia compresa), la crisi energetica che costringe i paesi del terzo mondo ad utilizzare il legno come combustibile contribuiscono alla devastazione delle foreste. Se le condizioni delle foreste pluviali dell'Amazzonia, dell'Asia e dell'Africa sono drammatiche, la situazione delle aree verdi nei paesi occidentali è altrettanto preoccupante in virtù di alcune considerazioni: la speculazione edilizia, il cemento, l'asfalto e un turismo di massa sono i principali responsabili della deforestazione.

Secondo le stime del Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite (UNEP), un quarto delle terre del Pianeta è minacciato dalla desertificazione. In base alla definizione della convenzione ONU "la desertificazione è un processo di degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a numerosi fattori, comprese variazioni climatiche e attività umane". Il degrado delle terre assume il significato di una riduzione della loro produttività biologica ed economica, con una conseguente minaccia per la sopravvivenza di un quinto della popolazione mondiale. A seguito dello sfruttamento intensivo dei terreni e delle riserve idriche, unito al crescente avanzamento dell'urbanizzazione, anche il grado di biodiversità e la complessità degli ecosistemi si va via via riducendo, comportando notevoli disequilibri ecologici, che culminano con l'estinzione di numerose specie animali e vegetali.

Eminenti ecologi e biologi avvertono che gli esseri umani stanno causando un evento di estinzione di massa di gravità paragonabile a quello che vide la scomparsa dei dinosauri. L'entità e l'urgenza dei problemi causati dai cambiamenti

climatici e dalla desertificazione sono stati riconosciuti da tutti i paesi del mondo e sono diventati oggetto, sin dagli anni '90, della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione. La convenzione (il cui nome ufficiale è United National Convention to Combat Desertification) è stata adottata nel giugno del 1994; nell'ottobre del 1995 avevano firmato 115 paesi. Oltre alla firma i paesi devono procedere alla ratifica, mentre l'entrata in vigore dipende da condizioni che sono descritte nella Convenzione. Fra le condizioni ve n'è una che prevede che i paesi interessati mettano in atto un piano nazionale (Pan) per attuare una strategia di lotta alla desertificazione. Tale piano deve prevedere l'individuazione delle aree vulnerabili, le misure e gli interventi da adottare.

INIZIATIVE PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DI INQUINANTI ATMOSFERICI

1. L'esistenza dell'uomo da un lato e della rimanente parte del mondo naturale dall'altro sono su una rotta di collisione. Come abbiamo visto gli interventi dell'uomo infliggono gravi danni, spesso irreversibili, all'ambiente e alle risorse. Sono urgenti e necessari fondamentali cambiamenti per evitare la collisione di cui attualmente si sono costruita le premesse. A tal proposito, sembra efficace riportare l'appello lanciato dai membri della comunità scientifica mondiale all'umanità che contiene quattro direttive inestricabilmente interconnesse che devono essere realizzate simultaneamente -ed alla svelta- per arginare i problemi di cui abbiamo parlato:
2. "Occorre mantenere sotto controllo le attività che danneggiano l'ambiente per ripristinare e proteggere l'integrità dei sistemi terrestri da cui noi dipendiamo". Dobbiamo abbandonare i combustibili fossili e rivolgerci verso fonti energetiche meno inquinanti ed inesauribili (eolica, geotermica, solare, idrica, biomassa). L'energia eolica è una fonte pulita; essa viene utilizzata prevalentemente nei paesi dove c'è la presenza costante del vento, come ad esempio in Danimarca. In Italia gli incentivi per la produzione di questa energia sono ancora scarsi. L'energia geotermica è una fonte rinnovabile che consente un risparmio e riduce le emissioni di CO₂ e altri inquinanti. In Italia l'Enel ha investito molto negli ultimi anni nella

geotermia. Circa il 50% dell'energia solare che colpisce il nostro pianeta sviluppa una quantità di energia 30.000 volte superiore ai bisogni mondiali: in un solo giorno arriva sulla terra energia solare sufficiente per soddisfare i consumi elettrici del mondo per 15 anni; tale energia può essere utilmente sfruttata per mezzo di collettori solari e di cellule fotovoltaiche. L'energia idroelettrica è importante perchè consente di produrre elettricità secondo le necessità. L'acqua offre un'altra grande possibilità: la produzione di idrogeno; da esso si può ottenere energia pulita e carburante, anche se i costi di produzione sono piuttosto alti. La biomassa costituita da legno, scarti agricoli e liquami può produrre biogas.

3. “ Occorre amministrare le risorse cruciali per il benessere dell'uomo in modo più efficiente”. A tale scopo è necessario aumentare l'efficienza degli impianti per la produzione di energia ed utilizzare energia pulita a livello industriale, dotando gli impianti di efficienti sistemi di depurazione. Inoltre, bisogna scegliere elettrodomestici o lampadine meno energivori, regolamentare gli impianti di riscaldamento, migliorare l'isolamento termico delle case, potenziare l'uso dei mezzi pubblici, arrestare il disboscamento, incrementare la superficie dedicata ai boschi e adottare stili di vita ecologici.
4. “Occorre ridurre e cercare di eliminare la povertà”. Le nazioni più ricche e progredite hanno l'obbligo di fornire aiuti e sostegni a quelle in via di sviluppo, dato che posseggono le risorse finanziarie per questi interventi.
5. “Occorre stabilizzare la popolazione, assicurare la parità dei sessi e garantire il pieno controllo della donna sulle proprie decisioni di riproduzione”. Ciò sarà possibile solamente se tutte le nazioni riconosceranno che tale sforzo richiede migliori condizioni sociali ed economiche e l'adozione di progetti di pianificazione familiare efficaci e volontari, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, altrimenti, l'esplosione demografica in tali paesi rischia di vanificare tutti gli sforzi ecologici per proteggere la biosfera.

CONCLUSIONI

L'uomo si trova al cospetto dei delicati equilibri su cui si basano i fenomeni naturali e incomincia a comprenderli. L'uomo moderno prende consapevolezza del fatto che il mondo in cui viviamo in realtà non ci appartiene, ma che è un bene da condividere con tutte le forme di vita presenti e future. Naturalmente il progresso come lo intendiamo oggi, rivolto cioè a migliorare le condizioni di vita della collettività, è un processo che non può e non deve essere fermato, ma l'uomo ha tuttavia l'obbligo di fermarsi a pensare che la corsa alla perfezione spesso genera conseguenze irragionevoli. E' difficile pensare di poter rinunciare allo stile di vita di cui godiamo oggi, ma una soluzione ai numerosi e svariati problemi collegati all'inquinamento deve essere trovata prima che i danni siano irreparabili (anche se alcuni lo sono già, con l'estinzione di talune specie animali e vegetali). Il potenziamento delle campagne di sensibilizzazione soprattutto nelle scuole è di facile attuazione; educare un bambino al risparmio energetico, al riciclaggio e all'uso corretto di risorse idriche equivale ad avere in futuro in adulto consapevole ed attento. Investire fondi per la ricerca di forme di energia pulita e rinnovabile è un altro piccolo passo verso la guarigione di un Mondo sempre più ammalato.

Forse più difficile, ma determinante è compiere scelte politiche responsabili e coraggiose per ridefinire la nostra economia e adeguarla ai limiti planetari. Per agevolare la transizione verso l'energia pulita si potrebbero trasferire i milioni di dollari di sovvenzioni statali ed incentivi dai combustibili fossili all'energia rinnovabile. Secondo uno studio di Dong Koplov, studioso di economia industriale, se sovvenzioni e incentivi passassero da petrolio e carbone alle energie rinnovabili, si potrebbe conseguire una transizione completa in dieci anni. Questa impresa avrà dei costi e, probabilmente solleverà forti opposizioni da parte dei paesi produttori di petrolio, delle multinazionali del petrolio e delle "lobbies" ad esse collegate. Tuttavia, la considerazione che la loro ricchezza (il petrolio) potrebbe rilevarsi una bolla di sapone (tenendo conto che gli scienziati stimano riserve per circa 40 anni o poco più), dovrebbe spingere tali paesi e tali aziende a cercare forme di guadagno diverse.

Mentre gli esperti continuano a discutere sulla dimostrabilità del riscaldamento globale, la maggior parte del pensiero

scientifico è concorde nel dire che le conseguenze del fenomeno possono essere terribili e possono scuotere la nostra civiltà dalle fondamenta. Bisognerebbe tener conto di ciò che l'economista Herman Daly ha detto: "se si ignora il costo dell'inquinamento e non si calcola la perdita di risorse in costante diminuzione, secondo una contabilità tradizionale, la terra non è altro che un'azienda in liquidazione".

Tutto sommato il Pianeta Terra è ancora un buon posto in cui vivere, ma soprattutto per l'uomo è attualmente anche l'unico possibile. Gli uomini dovranno però cominciare ad adattare il loro operato alle capacità di mantenimento dell'ambiente e non continuare a pretendere che l'ambiente assorba tutti gli insulti delle attività umane senza conseguenza alcuna, a meno di non progettare seriamente di colonizzare nuovi pianeti e -abbandonata la Terra perché irrecuperabilmente compromessa- ricominciare, su quelli, una nuova era di sfruttamento sfrenato delle risorse.

Ma, "restando con i piedi per terra", ci convinciamo invece sempre di più che l'uomo è chiamato a rendersi conto di essere prossimo -su questo pianeta- ad un punto di non ritorno nello sfruttamento delle risorse energetiche, nella contaminazione dell'acqua e dell'aria, nell'impovertimento del suolo, nell'alterazione di un clima che appare impazzito un po' in tutte le aree del mondo. Abbiamo in mano non solo la salute del nostro pianeta che oggi è a rischio, ma anche il nostro futuro di specie civilizzata; pertanto, è necessaria un'etica nuova che includa l'esaltazione della vita ed altri valori non d'interesse, nonché un nuovo atteggiamento che ci faccia prendere cura di noi stessi e della Terra. Dobbiamo riconoscere che le capacità della Terra nel provvedere alle nostre cresciute necessità sono oggi limitate e renderci conto della fragilità a cui abbiamo portato l'intero pianeta; non dobbiamo più consentire che esso venga saccheggiato; non dobbiamo esaurire le risorse non rinnovabili e dobbiamo dare tempo ai sistemi di rigenerarsi. In altre parole la Terra è un luogo dove ognuno di noi transita per breve tempo, un luogo che apparteneva ad altri e che apparterrà ad altri ancora. A livello planetario bisogna raccomandare a tutti, come si fa con appositi cartelli nei "luoghi a rischio", un comportamento corretto e responsabile:

“Siete tutti cortesemente pregati di lasciare questo luogo -il pianeta Terra- nelle condizioni in cui l’avete trovato - GRAZIE !! - ”

BIBLIOGRAFIA

Antonio Navarra: “come cambia il clima” QUARK n.25 (febbraio 2003).

William F. Ruddiman: “Quando iniziammo ad alterare il Clima” LE SCIENZE n.441 (maggio 2005).

Mauro Bologna, Vincenzo Colorizio, Antonietta Meccia, Bruno Paponetti: “Ambiente e polmone”, CALEIDOSCOPIO ITALIANO n.156 (Medical Systems, SpA, Genova 2002). Pubblicazione reperibile nel sito www.medicalsystems.it (sezione editoria).

Colin Baird, “Chimica Ambientale”, Zanichelli.

F. Antonioli, M. Colacino, M. Cristaldi, A. Di Menno Di Bucchianico, V. Ferrara, P. Lionello, A. Pasini, M.Sciortino, G. Szpunar, F.N. Tubiello “Kyoto e dintorni”, Franco Angelici.

“La Terra e’ In Pericolo”, Le Scienze.

Ross Gelbspan, Baldini, Castoldi “Clima rovente”.

Piero Angela, Lorenzo Pinna “Atmosfera Istruzioni Per l’Uso”, Arnoldo Mondadori Editore.

Alessandro Lana “Il Cambiamento Climatico”, Il Mulino.

Elvio Cianetti, Rita Jurillo “Emergenza Ambiente”, Città Nuova.

L.Ciraolo, M.Giaccio, A.Morgante “Merceologia”, Monduzzi Editore.

www.legambiente.com

www.ecoage.com

www.arpav.it

www.miniwatt.it

www.newton.corriere.it

www.ITIS-molinari.mi.it

www.lamb.cgil.it

www.meteo.it

www.metereologia.it

www.sapere.it

www.studiare.altervista.org

www.wikipedia.org

www.geocities.com

www.bo.astro.it
www.cnr.it
www.dica33.it
www.ecoage.com
www.eduspace.esa.int
www.tiscali/liceodavinci/energia/effetto_serra.it