



## V INTERNATIONAL MEDIA FORUM FOR THE PROTECTION OF NATURE “CAPITALIZING THE ENVIRONMENT”

VILLA MONDRAGONE - MONTE PORZIO (Rome) 7-10 NOVEMBER 2007

*Abstract*

### CAMBIAMENTI CLIMATICI E PREVENZIONE DEL RISCHIO CLIMA

**Vincenzo Ferrara** - *Enea*

Il concetto di rischio è generalmente negativo, associato cioè alla possibilità di un danno anche rilevante. Il rischio viene generalmente riferito ad eventi che hanno una bassa probabilità di accadere, ma che producono conseguenze dannose o catastrofiche sia in termini economici, sia in termini di salute o di vite umane.

Il rischio clima, di cui qui di seguito parleremo, non è esattamente così, anche se alcuni aspetti possono essere assimilati al concetto precedente, perché con il termine rischio clima non ci riferiamo ad un singolo rischio ma ad un insieme di possibili rischi che sono legati sia alle cause e concause dei cambiamenti del clima sia agli effetti di tali cambiamenti. Inoltre, il rischio clima non va necessariamente associato ad un concetto negativo. I cambiamenti del clima possono produrre anche benefici effetti e nuove opportunità sia per gli esseri umani che per gli ecosistemi. Il problema, infatti non è il cambiamento del clima in quanto tale, ma la velocità con cui avviene o avverrà tale cambiamento.

Se il cambiamento climatico avviene in modo lento e graduale, i sistemi naturali, gli ecosistemi, hanno capacità di adattamento che sono connaturati con le stesse caratteristiche evolutive delle varie specie viventi. Si producono modifiche sia nelle caratteristiche e nei comportamenti, sia a livello genetico ereditario tali da permettere le migliori condizioni di adattamento alle mutate situazioni. I sistemi umani hanno capacità molto maggiori di adattamento, grazie anche alle tecnologie ed al *know how*. In queste condizioni il rischio clima non produce in generale danni o, comunque, non può essere associato ad un concetto di danno rilevante. In realtà si creano situazioni e condizioni diverse da quelle preesistenti che, se da una parte riducono alcune opportunità, dall'altra ne creano di nuove, ma c'è tutto il tempo necessario per sfruttare al meglio le nuove e reagire adeguatamente a quelle che si riducono

Se, però, il cambiamento del clima avviene in tempi troppo rapidi, ciò non permette né ai sistemi naturali, né a quelli umani di adattarsi alle nuove condizioni e alle diverse situazioni ambientali e territoriali che mutano. Allora il rischio clima è da associare certamente ad un concetto negativo perché i danni possono essere anche rilevanti ed i benefici molto scarsi. Non va dimenticato infatti che, per esempio, i più grandi danni ai sistemi viventi e le più grandi estinzioni di massa del passato, sono associati a cambiamenti climatici molto rapidi, quali quelli conseguenti all'impatto di asteroidi di notevoli dimensioni sulla superficie terrestre o quelli conseguenti a grandi eruzioni vulcaniche di uno o più vulcani quasi contemporaneamente.

Esaminiamo, ora i vari aspetti del rischio clima sia in termini di processi o cause e concause

che fanno insorgere un rischio di cambiamento del clima non naturale, sia in termini di effetti che provocano un rischio di danno associato o conseguente a cambiamenti non naturale del clima.

### **Accumulo dell'anidride carbonica e rischio cambiamenti climatici**

Dagli inizi del 1800 ad oggi, ma soprattutto in questo ultimo mezzo secolo, il clima globale del nostro pianeta ha subito, e sta subendo in modo sempre più evidente e rapido, un cambiamento che non trova giustificazioni in cause esterne al sistema climatico, tranne che per l'attività solare. Le cause esterne al sistema climatico, che sono quelle di tipo astronomico (eccentricità dell'orbita terrestre, obliquità dell'asse terrestre, precessione degli equinozi, ecc), avvengono in tempi molto lunghi ed incompatibili con un periodo di tempo di circa due secoli. In pratica sull'arco di due secoli queste cause di variazione non sussistono. Sussiste tuttavia l'influenza della variazione della intensità della energia solare, ma questa variazione che incide sul sistema climatico per 0,12 watt/m<sup>2</sup> circa, è trascurabile rispetto alla perturbazione energetica, o all'effetto serra aggiuntivo, che ha determinato i cambiamenti climatici osservati. L'effetto serra aggiuntivo ammonta, infatti, a 1,5 watt m<sup>2</sup> ed è il risultato del bilancio netto tra +3,1 watt/m<sup>2</sup> derivanti dall'effetto riscaldante dei gas serra aggiuntivi (anidride carbonica, metano e gas serra a lunga vita media) e -1,6 watt/m<sup>2</sup> derivanti dall'effetto raffreddante degli aerosol ed da inquinanti atmosferici antropogenici di vario tipo.

Ma non sussistono neanche cause interne al sistema climatico (orogenesi, epirogenesi, variazioni correnti oceaniche, ecc) che siano in grado di produrre effetti sui cambiamenti climatici osservati, perché anch'esse incompatibili con un arco di tempo pari a circa due ultimi secoli circa. L'unica causa interna potrebbe essere un'estesa e persistente attività vulcanica, ma anche le attività vulcaniche hanno avuto una influenza trascurabile in termini di perturbazione energetica introdotta sul sistema climatico.

La causa più plausibile è, invece, legata al ciclo del carbonio, che a sua volta ha influenzato il ciclo dell'acqua. Nel ciclo del carbonio naturale pre-esistente prima del 1800, le attività umane hanno introdotto un surplus di carbonio che hanno prelevato dalle viscere della terra (come combustibili fossili), dove era stato sepolto da immemorabile tempo, e dopo averlo utilizzato per produrre energia, lo hanno immesso (come anidride carbonica) nel sistema climatico.

Le emissioni di anidride carbonica, in realtà sono state effettuate in atmosfera, ma poi l'anidride carbonica si è distribuita tra atmosfera, oceani (sotto forma di carbonio e anidride carbonica disciolta) e geosfera terrestre (sotto forma di carbonio). La distribuzione tra atmosfera, oceani e geosfera, varia anno per anno, non solo in relazione alla quantità delle emissioni, ma anche in relazione alle capacità di assorbimento degli oceani e della biosfera terrestre che variano anno per anno.

Ma quanto carbonio, prelevato dal sottosuolo, è stato introdotto dalle attività umane nel ciclo del carbonio preesistente e nel sistema climatico? Per rispondere a questa domanda è necessario contabilizzare tutte le quantità di combustibili fossili utilizzate e le relative emissioni introdotte in atmosfera a partire dal 1750, una data questa che si può assumere come spartiacque tra il periodo precedente in cui l'uomo non usava o usava molto poco i combustibili fossili ed il periodo successivo in cui l'uomo ha usato in modo sempre più intensivo i combustibili fossili, anche e soprattutto per l'avvio della fase di industrializzazione.

Il 1750, tra l'altro, può essere assunto, secondo Paul Crutzen, premio nobel per la chimica, come l'anno di confine fra due epoche nella scala dei tempi geologici, e cioè fra l'olocene che è l'epoca iniziata circa 10 mila anni fa e una nuova epoca definita dallo stesso Crutzen come "antropocene" cioè l'epoca che appunto inizia dal 1750 ed è caratterizzata da un dominio delle attività umane tale da modificare le caratteristiche naturali del nostro pianeta..

Per quantificare le emissioni di anidride carbonica complessive globali, cumulate dal 1750 al 2000, e per definire la distribuzione in termini medi e di accumulo storico tra atmosfera, oceano e geosfera dell'anidride carbonica (in termini di carbonio, per tener conto con un unico parametro di riferimento le varie trasformazioni dell'anidride carbonica), utilizzeremo i dati di IPCC ottenuti da indagini, analisi e valutazioni storiche. Sulla base di tali dati si ricava che le emissioni di anidride carbonica provenienti dalle attività umane, ed espresse in GtC di carbonio (miliardi di tonnellate di carbonio), sono state, complessivamente, in questi ultimi 200 anni pari a circa 384 GtC. Una parte di queste emissioni, la parte più rilevante (pari al 64% circa) deriva direttamente dalla combustione dei combustibili fossili, un'altra parte (pari a circa il 36%) deriva dall'uso del suolo (per le attività antropiche), dalle modifiche di uso del suolo (soprattutto per le attività agricole, zootecniche e di pascolo) e dalla deforestazione:

L'anidride carbonica emessa in atmosfera è stata, in parte (per il 31% circa), assorbita dagli oceani, in parte (per circa il 26%), dalla geosfera terrestre ed infine, per la restante parte (43% circa), è stata accumulata in atmosfera. La distribuzione è riportata, con maggiori dettagli nella seguente Tabella.

Emissioni ed assorbimenti cumulati dal 1750 al 2000	Contenuto medio esistente prima del 1750 (in GtC)	Quantità introdotte da attività umane (in GtC)	Valori percentuali %
Emesso da combustibili fossili		244	64
Emesso da uso suolo		140	36
<b>TOTALE emissioni</b>		<b>384</b>	<b>100</b>
Accumulato nella geosfera	circa 2300	101	26
Accumulato negli oceani	oltre 38000	118	31
Accumulato nell'atmosfera	597	165	43
<b>TOTALE accumulato</b>		<b>384</b>	<b>100</b>

Come si può notare, il 57% delle emissioni totali di anidride carbonica, è stato assorbito dagli oceani e dalla geosfera terrestre mentre poco più del 40% è rimasto in atmosfera. La parte che si è accumulata in atmosfera e che corrisponde a 165 miliardi di tonnellate di carbonio, è quella che ha dato luogo all'aumento di circa 100 ppm (parti per milione) delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, portando il valore di 280 ppm che esisteva prima del 1800 (e che non era mai stato superato nell'ultimo milione di anni circa) al valore attuale di 380 ppm.

Gli oceani e la geosfera, assorbendo 229 miliardi di carbonio provenienti dalle attività umane hanno evitato che nell'atmosfera si accumulassero altre 132 ppm di anidride carbonica. In particolare, le concentrazioni atmosferiche evitate di anidride carbonica ammontano a 60 ppm ad opera degli assorbimenti della geosfera terrestre e a 72 ppm ad opera degli assorbimenti degli oceani.

Pertanto, senza gli assorbimenti della geosfera e degli oceani le attuali concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica non sarebbero di 380 ppm, ma di ben 512 ppm! Quello che oggi misuriamo (380 ppm) e che, quindi, ci appare come concentrazione atmosferica di anidride carbonica corrisponde a circa tre quarti di quella che potenzialmente poteva essere la concentrazione atmosferica della anidride carbonica. Ma, cosa ancor più importante, è il fatto che in soli due secoli le attività umane hanno immesso in atmosfera un surplus di anidride carbonica pari al 83% di quella che c'era precedentemente, surplus che fortunatamente è stato ridimensionato ad un valore pari a circa il 36% in più, grazie all'assorbimento della maggior parte dell'anidride carbonica emessa, ad opera degli oceani e della geosfera.

## **L'amplificazione dei fenomeni di accumulo in atmosfera**

E' ovvio che il ragionamento sopraddetto è teorico e che la concentrazione atmosferica di 512 ppm è il valore limite potenziale (ma non reale) che si potrebbe raggiungere alla data odierna. Specifichiamo: alla data odierna, perché con il crescere delle emissioni di anidride carbonica atmosferica, cresce anche il limite potenziale, oltre che le concentrazioni reali di anidride carbonica nell'atmosfera. Ma la domanda che ci rivolgiamo è la seguente: questo limite potenziale potrebbe diventare reale? Ovvero: gli oceani e la geosfera potrebbero restituirci, e magari anche con gli interessi, quel 57% delle emissioni che finora hanno assorbito ed immagazzinato? E' un rischio che corriamo oppure lo possiamo escludere?

Le tendenze di questi ultimi decenni mostrano quanto segue: a cavallo degli anni 1980 gli assorbimenti dell'anidride carbonica da parte degli oceani e della geosfera si erano ridotti al 39%, ma erano risaliti al 50% a cavallo degli anni 1990. Complessivamente, oceani e biosfera erano stati in grado di assorbire in media il 45% delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera tra il 1980 ed il 2000, rispetto alla media ultrasecolare del 57% precedentemente mostrata. Negli anni compresi fra il 2000 ed il 2005, l'assorbimento da parte degli oceani e della geosfera si è ulteriormente ridotto, portandosi al 41%.

In altre parole, mentre le emissioni di anidride carbonica in atmosfera sono in costante e progressivo aumento, viceversa sono in costante e progressiva diminuzione le capacità di assorbimento da parte degli oceani e della geosfera dell'anidride carbonica emessa tanto che l'accumulo di anidride carbonica è passato da un valor medio ultrasecolare del 43% , ad un valor medio del 59% degli ultimi anni. Ma siccome le emissioni non sono costanti, ma in aumento, l'accumulo effettivo in atmosfera sta procedendo, in termini di quantità per anno, a ritmi molto più elevati di quanto non mostri la differenza percentuale fra 43% e 59%. Oltre 15 miliardi di tonnellate di anidride carbonica per anno, rispetto ai 26 miliardi emessi ogni anno, si stanno aggiungendo, anno dopo anno in questi ultimi anni, alle quantità già accumulate in atmosfera a causa delle emissioni del passato.

Come mai accade questo? Ci sono due motivi. Il primo è legato alla temperatura. Mano a mano che la temperatura cresce diminuiscono le capacità degli oceani di portare in soluzione (e quindi di assorbire) l'anidride carbonica atmosferica. In altre parole l'acqua calda è meno capace di assorbire anidride carbonica dell'acqua fredda, anzi se la temperatura dell'acqua supera un certo valore, intervengono processi di degassazione, cioè l'anidride carbonica già contenuta viene emessa e non assorbita. Per motivi diversi, anche le capacità della geosfera di assorbimento dell'anidride carbonica diminuiscono perché i fenomeni di respirazione, con emissione di anidride carbonica, da parte degli ecosistemi e dei suoli, aumentano a ritmo più veloce dei fenomeni di assorbimento per esempio ad opera della fotosintesi clorofilliana e di accumulo di sostanza organica nei suoli. Superata una certa temperatura che dipende dagli ecosistemi vegetali, dal tipo di suolo e dalla disponibilità di acqua e nutrienti, la geosfera diventa, così come gli oceani, una sorgente di emissione di anidride carbonica e non già di assorbimento.

Il secondo motivo è legato a fenomeni di saturazione: anche se la temperatura, nel frattempo non aumentasse affatto, con l'aumentare delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica l'assorbimento da parte degli oceani e della geosfera non può procedere all'infinito, mantenendo un ritmo sempre invariato. Le acque oceaniche ad un certo punto raggiungono la saturazione e da quel momento in poi non sono più in grado di assorbire. Altrettanto accade, con la biomassa vegetale ed i suoli che, anche se le concentrazioni atmosferiche continuano ad aumentare, non sono più in grado di assorbire oltre un certo ritmo sempre che ci sia disponibilità di acqua e di nutrienti nei suoli.

## **Rischio di reazione a catena tra anidride carbonica e temperatura**

Il problema della maggiore o minore concentrazione atmosferica di anidride carbonica non sarebbe un problema se l'anidride carbonica non fosse un gas serra cioè un gas capace di modificare il bilancio energetico del sistema climatico e quindi anche la temperatura media globale.

Dal punto di vista della salute umana, infatti, il fatto che la concentrazione atmosferica di anidride carbonica sia di 380 ppm, di 512 ppm oppure maggiore, non rappresenta un rischio sanitario se la temperatura non cambia. L'anidride carbonica non è inquinante atmosferico e prima che possa dare un qualche problema di affanno respiratorio ai gruppi di popolazione più critici come gli anziani ed i bambini, le concentrazioni dovrebbero raggiungere valori un centinaio di volte superiori (da verificare).

Se la temperatura non cambia, la concentrazione di anidride carbonica atmosferica non rappresenta neanche un particolare rischio ambientale anche se gli ecosistemi sono più sensibili alla maggiore o minore presenza di anidride carbonica e possono trarne perfino vantaggio in alcuni casi. Gli ecosistemi vegetali terrestri, per esempio, traggono beneficio da una maggiore presenza di anidride carbonica che è un fertilizzante e favorisce la fotosintesi clorofilliana. Analogamente per gli ecosistemi vegetali marini dove, per esempio la maggiore produzione di fitoplankton favorisce l'intera catena trofica degli organismi viventi nel mare. Gli svantaggi, invece, si pongono per l'acidificazione degli oceani che si ripercuote negativamente sugli organismi marini dotati di strutture calcaree come i coralli e i molluschi dotati di guscio.

Il problema della maggiore o minore concentrazione di anidride carbonica è, in realtà, un problema di maggiore o minore temperatura media globale, perché anidride carbonica e temperatura media globale, così come metano e temperatura media globale, oppure gli altri gas serra e temperatura media globale, sono fattori fra loro strettamente connessi ed intrecciati, come dimostrano i dati paleoclimatici ottenuti dalle carote di ghiaccio antartico sia della base russa di Vostok, sia della base italo-francese di Dome-C.

Gli aumenti e le diminuzioni di temperatura, nei vari periodi climatici di glaciazione ed interglaciazione, sono perfettamente concordi ed in corrispondenza di fase con gli aumenti e diminuzioni di anidride carbonica atmosferica (ma anche di metano): se aumenta l'una (la temperatura) aumenta anche l'altra (l'anidride carbonica e il metano) e viceversa. Non sempre si distingue nettamente qual è la causa e quale è l'effetto. In alcuni casi, le variazioni di temperatura hanno preceduto le variazioni di anidride carbonica atmosferica, in altri le variazioni di anidride carbonica hanno preceduto le variazioni di temperatura. Questo significa che se, per un qualsiasi motivo aumenta, uno dei due parametri si innesca una specie di reazione a catena che porta alla massima amplificazione di entrambi i parametri. Viceversa, accade nel caso di diminuzione di uno dei due parametri.

Dunque, sulla base delle evidenze sperimentali ricavate dagli studi del clima del passato del nostro pianeta, possiamo affermare che: se per un qualsiasi motivo (per esempio a causa delle attività umane) aumentano le emissioni in atmosfera e le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, aumenta di conseguenza anche la temperatura media globale. Ma se aumenta la temperatura media globale, aumentano di conseguenza anche le emissioni di anidride carbonica, provenienti dagli oceani e dalla geosfera e aumentano le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica. E se aumentano le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, aumenta anche la temperatura media globale e così via in un processo intrecciato di reazione a catena divergente.

Questo processo di reazione a catena si ripropone esattamente negli stessi termini per il metano. Se la temperatura aumenta, aumentano anche le emissioni di metano che è ora sequestrato negli idrati di metano e nei composti clatrati che sono nel *permafrost* ed in fondo agli oceani. Ma aumentano anche le emissioni di metano che proviene dalle aree umide e dai processi di decomposizione organica. Siccome il metano ha una capacità di effetto serra 23 volte superiore a quello dell'anidride carbonica, le emissioni di metano sono ancora più efficaci per aumentare la temperatura che a sua volta aumenterà le emissioni di metano e così

via in un analogo processo intrecciato di reazione a catena divergente.

C'è la possibilità che si possa innescare un processo di reazione a catena tra anidride carbonica atmosferica e temperatura, e tra altri gas serra e temperatura, oppure possiamo sicuramente escluderlo?

### Rischio effettivo e rischio latente

Alle domande precedenti possiamo cercare di dare una risposta, esaminando meglio il significato degli accumuli reali e potenziali di anidride carbonica. Dobbiamo, quindi, quantificare le ripartizioni precedenti di anidride carbonica accumulata in atmosfera ed assorbita da oceani e geosfera in termini energetici (cioè in termini di effetto serra aggiuntivo all'effetto serra naturale esistente prima del 1750), non dimenticando, però che esistono anche altri gas serra in atmosfera, come il metano, il protossido di azoto, i vari idrocarburi alogenati e l'ozono, che complessivamente chiameremo gas serra a lunga vita media.

Ma non dobbiamo neanche dimenticare il contributo degli aerosol e della maggiore attività solare. Se mettiamo insieme tutti questi contributi in termini di flussi energetici positivi (effetto serra riscaldante) e negativi (effetto serra raffreddante) otteniamo la tabella seguente, dove i corrispondenti valori di variazione della temperatura sono stati calcolati dalla legge di Stefan-Boltzman e non tengono conto dei *feedback* del vapor d'acqua (che aumenterebbero ulteriormente i valori positivi di temperatura)

Elementi del bilancio energetico	Variazione di flusso energetico in watt/m <sup>2</sup>	Variazione di temperatura in °C
Emissioni totali antropogeniche di CO <sub>2</sub>	+3,79	+1,52
Assorbimenti oceani-geosfera	-2,16	-0,86
<b>TOTALE ANIDRIDE CARBONICA</b>	<b>+1,63</b>	<b>+0,66</b>
Emissioni altri gas serra a lunga vita	+1,35	+0,54
Attività solare	+0,12	+0,05
Aerosol	-1,60	-0,64
<b>TOTALE EFFETTO SERRA AGGIUNTIVO</b>	<b>+1,50</b>	<b>+0,61</b>

  

Contributo mascherato	+1,60	+0,64
Contributo latente	+2,16	+0,86
<b>Totale contributi mascherati e latenti</b>	<b>+3,76</b>	<b>+1,50</b>

L'effetto serra aggiuntivo reale è esattamente uguale al totale che avevamo visto quando abbiamo parlato del ciclo del carbonio, con la differenza che in questa tabella è stato reso evidente il contributo latente che, invece, è nascosto essendo contenuto negli oceani e nella geosfera. Le attività umane hanno introdotto finora nel sistema climatico una perturbazione energetica complessiva pari a 5,26 watt/m<sup>2</sup>, a cui sarebbe corrisposto un aumento di temperatura di 2,1 °C.

In realtà, l'aumento di temperatura effettivamente verificatosi (escluso il contributo del feedback del vapor d'acqua) è stato di 0,6° C. Ciò è avvenuto grazie agli assorbimenti di anidride carbonica da parte degli oceani e dell'atmosfera e grazie all'effetto raffreddante degli aerosol che hanno in pratica eliminato 3,76 watt/m<sup>2</sup> ed abbattuto l'aumento di temperatura di 1,5°C, portandone il potenziale aumento di 2,1° C a 0,6°C. Ma, parafrasando una famosa frase di Cicerone, fino a quando potremo abusare della pazienza degli oceani e della geosfera?

E' una possibilità teorica o ha un qualche fondamento? Purtroppo, la pazienza degli oceani e della geosfera sta diminuendo e un effetto di reazione a catena tra anidride carbonica e temperatura non si può escludere a-priori, anche se si bloccassero le emissioni di gas serra in atmosfera. I processi di reazione tra anidride carbonica e temperatura e tra temperatura ed anidride carbonica non sono contemporanei, ma avvengono con un certo ritardo ed è difficile capire esattamente come andrà a finire.

Ecco perché dobbiamo parlare di un rischio reale che riguarda l'attuale aumento di temperatura rispetto all'apparente aumento delle concentrazioni atmosferiche in base agli andamenti dei quali sono state effettuate dagli esperti di modellistica climatica, le proiezioni dei cambiamenti futuri del clima. Ma, dobbiamo anche parlare di un rischio latente che riguarda il mancato aumento di temperatura rispetto a concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica evitate. Le attuali proiezioni (lineari) dei futuri cambiamenti del clima tengono conto di vari *feedback* ma non delle doppie reazioni concatenate tra temperatura, anidride carbonica e viceversa. Questo rischio latente, che potrebbe potenzialmente portare, anche senza l'apporto di ulteriori emissioni, a concentrazioni atmosferiche di oltre 500 ppm e ad aumento della temperatura media globale di oltre 2°C, appare, per ora, non quantificabile.

#### **Europa 2003: quando i "sinks" diventano "sources" di anidride carbonica.**

Nella torrida estate del 2003, boschi, foreste e suoli europei, invece di funzionare come "sinks" (assorbitori dell'anidride carbonica atmosferica), hanno funzionato come "sources" cioè come sorgenti di emissione, emettendo complessivamente 1 miliardo e 850 milioni di tonnellate di anidride carbonica, un fatto che non ha precedenti in Europa in questo ultimo secolo.

Nel numero 437 della rivista Nature, del 22 settembre 2005, sono stati pubblicati i risultati di una estesa attività di ricerca intrapresa da 18 università ed Enti di ricerca di 7 paesi tra cui l'Italia (Università della Tuscia e CNR-Ibimet di Firenze), nell'ambito di un programma della UE che riguarda il bilancio dei flussi di anidride carbonica nelle foreste.

In questa ricerca sono stati utilizzati i dati sperimentali raccolti da un gran numero di postazioni di misura appartenenti ad una estesa rete sperimentale di monitoraggio europeo dei flussi di anidride carbonica dai suoli e dalle piante (foresta pluviale, boschi mediterranei, vegetazione tipica europea). I dati sui flussi di anidride carbonica raccolti e che riguardavano, in particolare i mesi di luglio e di agosto del 2003, hanno messo in evidenza che i boschi e le foreste europee, nel bilancio tra assorbimenti ed emissioni, avevano emesso circa 500 milioni di tonnellate di carbonio, equivalenti ad un miliardo e 850 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Una emissione simile significa che tutta la biomassa e la materia organica che era stata accumulata nei quattro anni precedenti in Europa era stata immediatamente perduta nel giro di due mesi e letteralmente andata in fumo nell'estate del 2003, ma non per colpa degli incendi.

Questo risultato, oltre che sbalorditivo perchè non era mai successa una cosa simile in Europa nell'ultimo secolo, è alquanto drammatico dal punto di vista scientifico ed ecologico, perchè significa che la produttività primaria, cioè la formazione e l'accumulo di biomassa da parte del mondo vegetale, aveva avuto un tracollo drastico di circa il 30% nell'estate del 2003, in una stagione, come quella estiva che, normalmente, è invece la più favorevole per l'accumulo di biomassa.. In estate, infatti, la produttività è la più elevata alle medie latitudini europee, perchè le condizioni di radiazione solare sono le migliori per fotosintesi clorofilliana, ma sono ottimali anche tutte le altre condizioni sia biogeochimiche dei suoli sia ambientali (umidità e temperatura) per gli ecosistemi vegetali.

Come mai si è verificata una cosa simile? La causa è stata, come noto, l'eccezionale rialzo delle temperature (in media oltre i 6°C rispetto ai valori normali) che ha accentuato la respirazione (perdita di anidride carbonica) delle piante e degli ecosistemi vegetali rispetto alla fotosintesi. Inoltre, la diminuzione delle precipitazioni ha modificato le caratteristiche chimiche, biogeochimiche e di evapotraspirazione dei suoli sfavorendo i processi vitali delle piante e

favorendo, viceversa, fenomeni di emissione di anidride carbonica da processi di decomposizione organica.

## **Il rischio clima come problema ambientale**

Il cambiamento del clima, con gli impatti che vengono generati sull'ambiente ed il territorio, pone problemi di pianificazione e di gestione del rischio ambientale e territoriale non solo in relazione all'aumento della intensità e della frequenza degli eventi meteorologici estremi, ma anche in relazione alle modifiche lente e spesso irreversibili della disponibilità di risorse naturali (per esempio, rischi sulla disponibilità di acqua, rischio di desertificazione), degli assetti del territorio e delle coste (per esempio aumento dei rischi idro-geologico in primo luogo), degli equilibri ecosistemici naturali e della biodiversità (per esempio rischi nella produzione agricola).

### ***Rischio di catastrofi naturali e clima***

I cambiamenti del clima hanno implicazioni nella prevenzione e nella gestione del rischio delle catastrofi naturali sia in forma diretta per fronteggiare i possibili maggiori danni derivanti dall'aumento della intensità e della frequenza degli eventi meteorologici estremi (ondate di calore e di gelo, uragani, alluvioni, inondazioni, siccità, ecc.), sia in forma indiretta per fronteggiare i maggiori fattori di rischio indotti dalle variazioni climatiche, quali le frane e gli smottamenti, le colate di fango, le valanghe, e tutti gli altri rischi idrogeologici e di dissesto del territorio.

Secondo le analisi condotte da Minich Re, il numero delle più grandi catastrofi naturali è aumentato di oltre quattro volte negli ultimi 50 anni passando da una media di 20 che era nel decennio 1950-1959 ad una media di 93 dell'ultimo decennio, con perdite economiche 15 volte superiori a valore costante del dollaro. Il valor dei danni economici è passato da una media di 4 miliardi di dollari di danni per anno nel 1950 a circa 65 miliardi di dollari di danni per anno nel 2004, con picchi che hanno superato i 178 miliardi di dollari nel 1995 e i 145 miliardi di dollari del 2004. Poiché il numero di eventi catastrofici di origine geologica (terremoti ed eruzioni vulcaniche) è rimasto più o meno costante, l'aumento delle catastrofi naturali è legato fundamentalmente ai disastri di origine idro-meteorologica (alluvioni, inondazioni e tempeste meteorologiche quali cicloni tropicali, tifoni ed uragani).

Un aspetto molto interessante da sottolineare è che l'aumento delle catastrofi naturali comporta danni di diverso tipo a seconda che i paesi colpiti siano sviluppati o in via di sviluppo. Mentre per i paesi sviluppati i danni sono principalmente di natura economica, per i paesi in via di sviluppo i danni maggiori riguardano le perdite di vite umane.

Ma l'aumento dei danni non può essere direttamente collegato ai maggiori rischi derivanti dai cambiamenti del clima. I maggiori danni vanno collegati in parte all'aumento della vulnerabilità territoriale alla normale variabilità degli eventi climatici estremi, indipendentemente da variazioni del clima, a causa dell'aumento delle attività umane sul territorio, dell'uso non razionale del territorio ed in mancanza di adeguata pianificazione territoriale e di idonei sistemi di prevenzione e di protezione civile.

Un'altra parte di danni va collegata all'aumento dell'intensità, piuttosto che della frequenza, dei fenomeni meteorologici estremi che ha aggiunto ulteriori rischi ambientali e territoriali a quelli già pre-esistenti, amplificando i problemi di vulnerabilità ambientale e territoriale più che determinarli ex novo. Nella maggior parte dei casi, infatti, i cambiamenti del clima, non tendono a produrre nuovi rischi, ma tendono ad incrementare la probabilità degli eventi estremi già esistenti, riducendone il periodo di ritorno. Nei pochi casi in cui si creano nuovi rischi, in certi contesti ambientali e territoriali dove non esiste una sufficiente esperienza per affrontarli adeguatamente (come nei paesi in via di sviluppo), i danni possono andare anche molto al di là delle aspettative più pessimistiche.

### ***Rischi ambientali ritardati e clima***



Le variazioni climatiche più lente, e non associate ai fenomeni meteorologici estremi, rappresentano anch'esse una fonte aggiuntiva di rischio anche se agiscono lentamente e su tempi molto lunghi. Queste variazioni non portano ad effetti diretti immediatamente percepibili, come nel caso precedente delle catastrofi, ma portano ad effetti diretti, indiretti e concatenati, inizialmente impercettibili, ma che si accumulano lentamente nel tempo modificano territorio ed ambiente fino ad esplodere in una situazione tardiva di disastro con una serie di ripercussioni sociali, economiche e di sviluppo. Tipici esempi di questi rischi che agiscono molto lentamente sono i processi di desertificazione che diventano disastri economici e sociali oltre che ambientali, o l'innalzamento del livello del mare che può trasformare completamente le caratteristiche degli ambienti marino costieri ed apportare gravi danni, ritardati nel tempo, ad intere comunità di popoli che vivono nelle aree costiere basse, o su atolli corallini o la cui sopravvivenza dipende dalla disponibilità di adeguati territori marino costieri.

In questi casi, spesso i rischi aggiuntivi o i nuovi rischi non solo non sono direttamente percepibili, ma anche difficilmente valutabili, perché molti degli impatti dei cambiamenti climatici lenti producono effetti visibili o quantificabili solo quando si cumulano e superano certe soglie.

Tra i fenomeni a soglia vale la pena ricordare quello delle barriere coralline che sbiancano e muoiono quando la temperatura del mare aumenta oltre i 29°C (soglia). Il problema non è solo ecologico e di perdita di una ricchissima biodiversità marina che è collegata con le barriere coralline, ma è anche un problema economico e di sopravvivenza per quelle popolazioni, come gli abitanti delle piccole isole tropicali, che vivono di pesca e turismo.

Un altro dei processi importanti a soglia è quello della corrente del Golfo: l'immissione di acqua dolce proveniente dallo scioglimento dei ghiacci polari artici provoca una lenta e progressiva riduzione della salinità marina, con pochi e non rilevanti effetti sulla stabilità della corrente marina che regola il clima del nord Europa, finché, superata una certa soglia che non conosciamo, la corrente si interrompe o devia improvvisamente, producendo effetti che potrebbero essere anche catastrofici oltre che di improvvisa variazione del clima come vedremo successivamente.

### ***Rischi di cambiamento improvviso del clima***

Anche il rischio di un cambiamento improvviso del clima non può essere esclusa, dal momento che il sistema climatico ha processi e comportamenti non lineari che evolvono da uno stato di equilibrio all'altro, una volta superata una certa soglia che spesso non conosciamo. Oltre al tipico esempio della corrente del Golfo, citato precedentemente, possono essere citati gli esempi di un possibile collasso della piattaforma di ghiaccio della penisola antartica o il collasso dei ghiacciai della Groenlandia. Il collasso dei ghiacci della Groenlandia è una ipotesi possibile anche se poco probabile, come ha dimostrato una ricerca pubblicata su *Science* e che paragona la situazione attuale a quella di circa 125 mila anni fa.

Sia nel caso del collasso dei ghiacciai della Groenlandia, che di quelli della penisola antartica, i casi il livello del mare potrebbe raggiungere in tempi piuttosto brevi, rispetto alla normale durata dei fenomeni di deglaciazione, i 4 metri di sollevamento rispetto alla situazione attuale. La complessità del sistema climatico non permette di ipotizzare scenari attendibili per questo tipo di eventi che hanno bassa probabilità di avvenire ma con conseguenze potenzialmente catastrofiche. Questo genere di processi rientrano a pieno titolo in un contesto di rischio anche se la definizione delle probabilità degli eventi che innescano rapidi cambiamenti del clima potenzialmente catastrofici, non è adeguatamente quantificabile.

### **Il rischio clima come problema dello sviluppo sostenibile**

Il cambiamento del clima causato dalle attività umane pone diversi problemi alle stesse attività umane, oltre che all'ambiente naturale, problemi che le presenti e future generazioni

dovranno affrontare. Il clima può essere considerato per le presenti generazioni come un bene globale pubblico, anche se i benefici di questo bene non sono equamente distribuiti. Essere consapevoli del rischio clima ed affrontarlo è un problema che riguarda tutti noi: i governi, le istituzioni, le imprese, le organizzazioni non governative e i cittadini, sia a livello internazionale, sia a livello nazionale e locale.

### ***Rischio clima e responsabilità globale***

Ogni popolo nel passato ha imparato ad utilizzare al meglio le condizioni climatiche caratteristiche del suo territorio in relazione alle proprie capacità e condizioni di sviluppo socio economico, ma anche in relazione ai servizi o ai benefici che gli ecosistemi naturali, disponibili sul territorio, potevano fornire: ecosistemi che a loro volta, dipendono dal clima nei loro equilibri e nella diversificazione biologica. Quando il clima e le caratteristiche ambientali mutavano, anche i sistemi umani e quelli ecologici cercavano di adattarsi alle mutate condizioni per massimizzare i benefici e minimizzare i danni. Tra l'altro, popoli o civiltà che non riuscivano ad adattarsi alle mutate condizioni climatiche sono scomparsi oppure scatenavano guerre e conflitti per accaparrarsi territori e risorse migliori.

Ma nella situazione attuale, qualora la causa del cambiamento climatico non apparisse indiscutibilmente naturale, la situazione che si creerebbe sarebbe molto differente da quella del passato. In altre parole, i cambiamenti climatici indotti dalle attività umane potrebbero innescare una serie di controversie internazionali tra paesi accusati di essere inquinatori e paesi danneggiati dai presumibili paesi inquinatori. Le motivazioni delle controversie riguarderebbero soprattutto i costi, benefici e danni derivanti direttamente o indirettamente dai cambiamenti del clima, controversie che rischierebbero di diventare molto aspre qualora, con le variazioni climatiche, si creassero o si aggravassero le ingiustizie sociali.

Le conseguenze dei cambiamenti climatici non saranno, e non potranno essere, uguali per tutti e geograficamente omogenee. Inevitabilmente vi saranno benefici per alcuni popoli (ed ecosistemi) e danni per altri popoli (ed ecosistemi). E' lecito, quindi, ipotizzare che i popoli che ne subiranno i maggiori danni (non solo economici ma anche degli ecosistemi sui loro territori o da cui ne traggono servizi o benefici) cercheranno di rivalersi contro i popoli presunti responsabili della variazione climatica o comunque contro quei popoli che risultassero i maggiori beneficiari dei cambiamenti del clima.

Paradossalmente, i paesi industrializzati, che sono storicamente i maggiori responsabili delle emissioni di anidride carbonica e degli altri gas ad effetto serra e, quindi dei cambiamenti climatici indotti dalle attività umane, non saranno, secondo le proiezioni future, quelli che subiranno le maggiori conseguenze negative dai cambiamenti del clima, anzi alcuni di loro potrebbero averne dei benefici. Per esempio, vasti territori del Canada settentrionale, dell'Alaska, della Groenlandia e della Siberia, attualmente inospitali e ricoperti di ghiacci per gran parte dell'anno, diventerebbero suoli agricoli, pascoli, aree abitabili ed utilizzabili per moltissime attività umane. Tra l'altro, la fusione dei ghiacci artici aprirebbe nuove possibilità per la navigazione marittima intercontinentale e consentirebbe trasporti e commerci via mare, tra Europa occidentale ed Asia orientale, molto più convenienti di quelli attuali.

Viceversa, i paesi più poveri, come i paesi africani e gran parte di quelli dell'America Latina, subiranno, invece, sempre secondo le attuali proiezioni sui futuri cambiamenti climatici, le maggiori conseguenze negative ed i maggiori danni derivanti dai cambiamenti del clima. Infatti, la maggioranza delle emissioni globali dei gas serra che si sono storicamente accumulati in atmosfera, proviene dai paesi industrializzati i quali, complessivamente, rappresentano solo il 20% della popolazione mondiale. I maggiori rischi di danni, secondo le più recenti proiezioni, ricadranno, invece, sul rimanente 80% della popolazione mondiale che, nei riguardi del riscaldamento climatico originato dalle attività umane, ha una responsabilità storica limitata ai soli motivi di sopravvivenza. Questo significa che i cambiamenti climatici attuali, ma ancor più quelli previsti per il futuro, creeranno nuove ingiustizie fra i popoli aumentando, anziché diminuire, le distanze fra paesi ricchi e paesi poveri.

Il rischio clima comporta, quindi, anche rischi nella cooperazione fra i popoli, nei rapporti internazionali e negli equilibri di tali rapporti internazionali. E' un aspetto, questo, da non sottovalutare, anzi da considerare in modo prioritario e con una attenzione non superficiale. Sarebbe molto difficile trovare a-posteriori, soluzioni accettabili nel contenzioso fra i vari paesi coinvolti, per evitare una degenerazione, probabilmente anche ampia, dei rapporti internazionali, perché è molto facile attribuire tutti gli eventi naturali negativi ai cambiamenti climatici, anche quelli palesemente incongruenti o incorrelabili, perché esistono molte incertezze sul funzionamento del sistema climatico e perché non è ancora possibile attribuire con certezza la responsabilità di quali attività umane siano le effettive cause di variazioni climatiche. Inoltre, non siamo ancora in grado di distinguere con certezza quali cause producono effetti immediati o effetti ritardati nel tempo, in quali condizioni tali effetti possano essere lineari (relazione diretta causa effetto) o non lineari (relazione complessa o "a soglia" tra causa ed effetto). Meno che mai sarebbe possibile stabilire con certezza quali paesi o quali popoli, possano ritenersi più o meno responsabili di tali variazioni, e quali esenti da responsabilità.

In questo quadro di incertezze, le Nazioni Unite, che rappresentano la comunità mondiale che vuole dialogare, hanno preferito affrontare il problema dei cambiamenti climatici, generato dalle attività umane, in termini di rischio: un rischio aggiuntivo per lo sviluppo sostenibile ed il benessere dell'umanità. Come normalmente si fa, quando si affronta qualsiasi problema di rischio, la migliore terapia da adottare è sempre quella della prevenzione. Essendo il cambiamento climatico generato dalle attività umane, un rischio globale, che interessa cioè tutti i popoli, anche la terapia da attuare dovrà essere globale.

Ma, per tener conto della disparità di situazioni tra paesi ricchi e paesi poveri è necessario identificare alcuni principi generali di azione per la protezione del clima contro le interferenze delle attività umane e criteri operativi di attuazione, in base ai quali la cooperazione internazionale e la ripartizione dei sacrifici e dei costi, così come dei benefici e dei danni devono trovare soluzioni idonee, ma soprattutto eque fra i popoli. La volontà di una cooperazione internazionale su azioni condivise, si costruisce sulla base di una consapevolezza responsabile e di una convinzione comune che i presunti costi sono opportunità, che le presunte interferenze sono occasioni di un nuovo modo di concepire lo sviluppo, ma soprattutto che è giusto, equo e doveroso che ogni paese faccia la propria parte per il bene dell'umanità.

Questa base è l'etica, dal punto di vista filosofico, ma è l'equità, dal punto di vista pragmatico. E l'equità costituisce il presupposto della giustizia. Dunque, il problema dell'etica e dell'equità è il problema di base affinché accordi e trattati internazionali in materia di clima non vengano considerati come atti che tendono a introdurre elementi di iniquità o di disuguaglianza negli equilibri politici internazionali, nelle opportunità di sviluppo dei vari paesi, nella condizioni di accesso e di concorrenza sui mercati internazionali.

Un aiuto, perché si affronti adeguatamente il problema etico e dell'equità viene anche dalla corretta informazione del pubblico e dalla partecipazione dei cittadini alle decisioni che i vari governi sono chiamati ad assumere nei negoziati a livello internazionale. La partecipazione costruttiva dei cittadini a supporto delle decisioni politiche è concretamente possibile se vi è una vera ed approfondita consapevolezza dei problemi. Purtroppo, e non è un caso solo italiano, la mancanza di informazioni in questo campo appare enorme, le problematiche sull'ambiente globale ed i cambiamenti globali, così come quelle sullo sviluppo sostenibile, rimangono ancora oggetti sconosciuti alla stragrande maggioranza della popolazione mondiale, mentre i problemi dei cambiamenti climatici non riescono a trovare canali di adeguata informazione, quasi salvo gli spazi che ottengono il sensazionalismo o negazionismo mediatico.

Nonostante la consapevolezza di questi problemi risalga agli anni compresi fra il 1980 ed il 1990, quando furono sviluppati i concetti dello sviluppo sostenibile e resi noti attraverso il

cosiddetto “rapporto Brundtland”, molto cammino è stato fatto ma molto cammino resta ancora da fare.

### ***Rischio clima e responsabilità delle imprese***

Da quanto abbiamo detto precedentemente, la responsabilità globale di tutti i Paesi del mondo nell'affrontare i problemi derivanti dal rischio clima, inclusi i risvolti etici e di equità, è, di fatto, un problema di responsabilità sociale che i singoli governi, in rappresentanza dei cittadini dei singoli paesi, devono discutere, concordare e poi assumersi nei consessi internazionali, quali quello delle Nazioni Unite. Ma la responsabilità sociale non è solo un problema dei governi o delle istituzioni internazionali.

In un mondo che diventa sempre più globalizzato, nell'economia, negli scambi commerciali e nei mercati, il problema del rischio di un cambiamento climatico è un problema che coinvolge in primo luogo, i settori produttivi, ed in particolare le imprese. Tutte le imprese che operano sui mercati internazionali usano e controllano ingenti risorse (finanziarie, ambientali ed umane), e sono, di fatto, anche potenti attori sociali: di conseguenza, non possono esimersi da un uso responsabile di tali risorse. Ma la effettiva responsabilità sociale delle imprese deriva da un altro contesto.

Le attività delle imprese si sviluppano, vivono e si sostengono con il contributo di un numero enorme di “azionisti” che non sono solo quelli che investono capitali finanziari o partecipano ai dividendi, ma anche, e soprattutto, i dipendenti e i collaboratori, i consumatori, i sindacati, le istituzioni pubbliche, le comunità locali, le associazioni di categoria, i gruppi di pressione, i movimenti e le associazioni non governative, i media, ecc. Senza il supporto di tutti questi azionisti, non ufficiali e non formali, chiamati in linguaggio tecnico: “stakeholders”, (cioè tutti i gruppi di interesse che influenzano o sono influenzati dalle attività delle imprese), difficilmente le imprese potrebbero sopravvivere ed operare. Le imprese in quanto titolari di responsabilità ed obblighi, non solo verso gli investitori, ma anche verso gli stakeholders, traggono beneficio dalle attività aziendali, ma rispondono anche degli effetti delle proprie azioni sia agli azionisti, sia agli stakeholders che potrebbero essere danneggiati.

Ebbene, se consideriamo non una singola impresa in un dato paese o su un dato territorio, ma tutte le imprese del mondo, così come agiscono ed operano sui mercati internazionali, e cioè nel territorio mondiale ed in un unico grande paese che si chiama pianeta terra, non vi è dubbio che la responsabilità complessiva di tutte le imprese si misura in termini della loro sostenibilità, ossia dalle capacità di adottare processi di funzionamento e metodi di produzione tali da non compromettere gli equilibri dell'ambiente naturale, incluso l'equilibrio del sistema climatico, e di salvaguardare la qualità della vita umana per le presenti e future generazioni. In altre parole gli stakeholders di tutte le imprese nel loro complesso sono le popolazioni presenti e future, sia dei paesi industrializzati sia di quelli in via di sviluppo.

Concorrere a ridurre il rischio clima, insieme alle istituzioni internazionali, i governi ed i cittadini, in un mondo che è un unico villaggio globale, non va più visto come un vincolo alla libertà di impresa, ma come una strategia, socialmente responsabile, utile a migliorare le capacità di competere e di differenziarsi sui mercati internazionali. Come è noto, la competitività delle imprese non si gioca più sul piano economico (o sul piano economico del minor costo dei prodotti), ma sul piano della qualità e, spesso, del contenuto “immateriale” dei prodotti, come, insegnano, tra l'altro, molte delle strategie produttive delle piccole e medie imprese industriali italiane.

La responsabilità sociale delle imprese richiede che le nuove e più avanzate strategie industriali su cui le imprese di oggi e soprattutto di domani dovrebbero confrontarsi sui mercati internazionali si basino principalmente sulla riduzione delle emissioni di gas serra per non inquinare il pianeta e sull'adozione di processi industriali di efficienza energetica e di risparmio energetico. I primi sintomi di questa tendenza viene proprio da alcune multinazionali americane lungimiranti, che contrariamente alle posizioni assunte dall'amministrazione USA in materia di protocollo di Kyoto, intendono partecipare ai

meccanismi flessibili previsti dallo stesso protocollo (vedasi successivamente). Con le tendenze in atto, non vi è dubbio che la futura concorrenza sui mercati internazionali si misurerà, anche e soprattutto, sulla responsabilità sociale verso le generazioni presenti e future, cioè su una qualità dei prodotti riferita, tra l'altro, al basso contenuto di emissioni gas serra, oppure al basso contenuto di intensità carbonica, o anche al basso contenuto di intensità energetica.

### **Bibliografia di riferimento**

- Adam, B. *et al.* (2000). *The risk society and beyond*. Sage Publications, London.
- Boer, G.J., and B. Yu, (2003). "Climate sensitivity and response". *Climate Dynamics*, v. 20, 415-429.
- Douglass, D.H., and B.D. Clader, (2002). "Climate sensitivity of the Earth, to solar irradiance". *Geophysical Research Letters*, v. 29: 33-36.
- IPCC, (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, IPCC-WG, Third Assessment Report, Cambridge University Press.
- Hansen, J., and M. Sato, (2004). "Greenhouse gas growth rates", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 101: 16109-16114.
- Jacob, D.J., *et al.* (2005). *Radiative forcing of climate change*. The National Academies Press, Washington, D.C., USA
- Ramanathan, V., (1981). "The Role of Ocean-Atmosphere Interactions in the CO<sub>2</sub> Climate Problem". *Journal Atmospheric Science*, v. 38: 918-930.
- Santer, B. D., *et al.* (1995). "Towards the detection and attribution of an anthropogenic effect on climate". *Climate Dynamics*, v. 12: 77-100.
- Sheraga, J.D. and Grambsch, A.E. (1998). "Risk, opportunities and adaptation to climate change". *Climate Research*, vol. 10: 85-95.
- Wielicki, B.A, *et al.* (2005). "Changes in Earth's Albedo Measured by Satellite". *Science*, vol 308, n. 5723: 825.

*Casaccia: 28 giugno 2006.*